

Then, even after that, your hearts were hardened and became as rocks, or worse than rocks, for hardness. For indeed there are rocks from out which rivers gush, and indeed there are rocks which split asunder so that water flowed from them. And indeed there are rocks which fall down for the fear of Allah. Allah is not unaware of what you do.

{QS. Albaqarah 2:74}

In this surah, it explains that even as hard as it is, a rock can split and water comes out from the cracks, forming rivers. It is a sign that the stone fears and obeys Allah. From the formation of stones we learn, do not have a hard heart and negate Allah because nothing is missed by Allah.



And He hath cast into the earth firm hills that it quakes not with you, and streams and roads that you may find a way.

{QS. An-Nahl 16:15}

According to Tafsir Al-Mukhtashar, this Surah explains that Allah made mountains that strengthen the earth so that it does not shake and tilt. Allah is the one who flows rivers so that you can drink and water your animals and plants, Allah is the one who divides the paths you take in the earth so that you can reach your destination without getting lost.



AGROGEOLOGI DAN PRODUKTIVITAS TANAH

Prof. Dr. Sc. Agr. Ir. M. Edi Armanto

Prof. Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si.

As'ad Syazili, SP., M.Sc.

Agrogeologi dan Produktivitas Tanah

Prof. Dr. Sc. Agr. Ir. M. Edi Armanto, dkk



AGROGEOLOGI DAN PRODUKTIVITAS TANAH

**Prof. Dr. Sc. Agr. Ir. M. Edi Armanto
Prof. Dr. Ir. Elisa Wildayana, M.Si.
As'ad Syazili, SP., M.Sc.**



Hak cipta 2024, pada penulis

Dilarang mengutip dan memperbanyak isi buku ini dengan cara apapun, baik sebagian maupun seluruhnya dalam bentuk apapun, tanpa izin tertulis dari penulis

M. Edi Armanto, Prof. Dr. Sc. Agr. Ir.
Elisa Wildayana, Prof. Dr. Ir. M.Si.
As'ad Syazili, S.P., M.Sc.

AGROGEOLOGI DAN PRODUKTIVITAS TANAH



Hak Penerbitan pada
Penerbit UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Cetakan Pertama, Februari 2024
xviii + 258 halaman

ISBN : 978 -623-399-153-7

Dicetak di Percetakan Universitas Sriwijaya
Isi diluar tanggung jawab percetakan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat Rahmad dan Hidayah-Nya jugalah, sehingga buku ini dapat diselesaikan. Salam Shalawat kita sampaikan kepada Rasul kita Muhammad SAW, beserta keluarga dan sahabat-sahabat Beliau sampai akhir zaman.

Buku berjudul “Agrogeologi dan Produktivitas Tanah” ini adalah buku referensi sesuai dengan definisi DIKTI. Buku referensi adalah suatu tulisan dalam bentuk buku yang substansi pembahasannya pada satu bidang ilmu kompetensi penulis. Isi tulisan memenuhi syarat-syarat sebuah karya ilmiah yang utuh, yaitu adanya rumusan masalah yang mengandung nilai kebaruan, metodologi pemecahan masalah, dukungan data atau teori mutakhir yang lengkap dan jelas, kesimpulan dan daftar pustaka.

Buku referensi banyak digunakan oleh mahasiswa sebagai bahan kajian untuk penelitian dan digunakan sebagai rujukan dalam perkuliahan. Buku referensi ditulis dengan mengikuti alur dan struktur logika bidang keilmuan (*scientific oriented*). Isi buku ini disusun dari hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis dan hasil penelitian lainnya yang relevan.

Buku ini dimaksudkan untuk membantu mahasiswa Fakultas Pertanian, MIPA, Fakultas Teknik dan Pengembang Wilayah dalam mempelajari agrogeologi dan produktivitas tanah. Buku ini disusun atas dasar kelangkaan pustaka yang membahas agrogeologi dan produktivitas tanah khas di Indonesia, sehingga menyulitkan mahasiswa mempelajari agrogeologi dan produktivitas tanah secara terpadu.

Draft penulisan buku ini telah dimulai sejak tahun 1990 dan diujicobakan sebagai diktat kuliah tahun 1994-2002, dengan penambahan materi, terutama oleh As'ad Syazili. Selama masa ujicoba, banyak masukan dan komentar yang penulis terima baik dari teman sejawat maupun mahasiswa. Selain itu, motivasi penulisan buku ini dipacu oleh tiga faktor utama. **pertama**, pertanyaan mahasiswa tentang bagaimana

keterkaitan agrogeologi dan produktivitas tanah dengan aktivitas pertanian dalam arti luas. **Kedua**, penulis sangat terkesan atas kuliah *Marine Geology at the Department of Geology, Kiel University, Germany* oleh Prof. Dr. R. Koester (tahun 1989-1990) yang pada waktu itu merupakan mata kuliah minor dan buku *Die Bodenkunde* oleh Prof. Dr. Dr. Dr.h.c. E. Mueckenhausen (*Bonn University, Germany*). *Lesson-learned* yang penulis petik dari beliau bahwa belajar ilmu tanah tanpa pengetahuan yang lengkap tentang geologi dan bahan induk tanah terasa hambar dan kurang mengakar pada persoalan tanah yang sesungguhnya. **Ketiga**, untuk membimbing dosen junior As'ad Syazili agar dalam waktu 10-15 tahun dapat memperoleh gelar Profesor.

Berbekal tiga motivasi di atas, maka buku ini ditulis dengan mengucapkan Bismillaahirrahmaanirrahiim dan dengan penekanan khusus kondisi agrogeologi dan produktivitas tanah di pulau Sumatera dan pengalaman penulis selama mengasuh mata ajaran agrogeologi di Jurusan Tanah FP Unsri sejak tahun 1993, maka buku ini diterbitkan. Sangat disadari bahwa buku ini masih belum sempurna dan perlu banyak perbaikan. Sehubungan dengan itu, penulis berharap masukan untuk perbaikan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi semua pembaca. Amiin YRA.

Kampus Indralaya, Februari 2024

Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
RENUNGAN DISKUSI AGROGEOLOGI	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Pengertian Geologi dan Dinamika Bumi	1
1.2. Sejarah Geologi	3
1. Teori Bencana	6
2. Evolusi Terus Menerus	7
1.3. Ruang Lingkup Geologi	8
II. TENAGA ENDOGEN DAN PEMBENTUKAN BUMI	12
2.1. Konstruksi Bumi	13
2.2. Lempeng Tektonik	14
2.3. Gempa Bumi	17
2.4. Magmatismus	19
1. Vulkanismus	21
2. Subvulkanismus	24
3. Plutonismus	24
2.5. Orogenesis	25
1. Kerucut Basalt	26
2. Gunung Api Perisai, Doma Basalt	26
3. Gunung Api Strato, Gunung Api Berlapis, Komposit	27
4. Gunung Api Abu, Kerucut Cinder	27
5. Maar	28
6. Kaldera	28
7. Gunung Api Generasi Kedua	29
2.6. Teori Geotektonik	30
2.7. Patahan Tektonik	31

III.	TENAGA EKSOGEN DAN PELAPUKAN BUMI	33
3.1.	Beberapa Tenaga Eksogen	33
	1. Iklim	34
	2. Air Mengalir (Sungai)	40
	3. Angin	45
	4. Laut dan Ombak Laut	47
	5. Es dan <i>Glaciers</i>	52
3.2.	Pelapukan Permukaan Bumi	55
	1. Pelapukan Fisik	55
	2. Pelapukan Kimia	57
	3. Pelapukan Biologi	59
IV.	PEMBAGIAN BATUAN DAN GENESISNYA	62
4.1.	Batuan Magmatit	63
	1. Kandungan SiO ₂	63
	2. Proses, Tempat dan Kecepatan Pembekuan	64
	3. Kegunaan Batuan Magmatit	74
4.2.	Batuan Sedimen	74
	1. Pembentukan Sedimen	76
	2. Klasifikasi Sedimen	84
4.3.	Batuan Metamorfite	114
	1. Tekanan	114
	2. Temperatur	116
4.4.	Siklus Batuan	119
	1. Siklus Kecil	120
	2. Siklus Menengah	122
	3. Siklus Besar	122
V.	MINERAL-MINERAL PENYUSUN BATUAN	123
5.1.	Sifat Mekanik	127
	1. Kekerasan Mineral	127
	2. Sifat Pecahan dan Belahan	128
	3. Elastisitas	129
	4. Warna Mineral	129
5.2.	Sifat Optis	130
	1. Warna Goresan	130
	2. Transparansi	131
	3. Kilap	131

5.3.	Sifat Habitus	133
5.4.	Struktur dan tekstur batuan	134
VI.	ANALISIS UMUR GEOLOGI	136
6.1.	Penentuan Umur Relatif	137
	1. Pengawetan Fosil Penunjuk	140
	2. Kriteria Fosil Penunjuk	141
	3. Interpretasi Fosil Penunjuk dan Umur Geologi	142
6.2.	Penentuan Umur Absolut	146
6.3.	Pembagian Kehidupan Zaman Geologi	148
6.4.	Penyelidikan Jangka Waktu Peristiwa Geologi	152
VII.	PETA GEOLOGI DAN MANFAATNYA	153
7.1.	Informasi Peta Agrogeologi dan Bahan Induk	153
7.2.	Manfaat Pengetahuan Agrogeologi Bagi Ahli Tanah	155
	1. Teknologi Tanah dan Air	157
	2. Analisis dan Perencanaan Sumberdaya Lahan	158
	3. Manajemen Lahan dan Air	158
VIII	HUBUNGAN GEOLOGI DAN PERTANIAN	160
8.1.	Geologi dan Manajemen Pertanian	161
	1. Pemilihan Lokasi Pertanian	161
	2. Pemilihan Lokasi yang Tepat	162
	3. Geologi Situs	163
8.2.	Manajemen Tanah	165
	1. Konservasi Tanah	166
	2. Perbaikan Struktur Tanah	169
8.3.	Penggunaan Pupuk	170
	1. Pemahaman Pupuk berdasarkan Bahan Mineral Tanah	171
	2. Dampak Pupuk terhadap Lingkungan	173
8.4.	Manajemen Air	174
	1. Irigasi Pertanian	174
	2. Tujuan Irigasi Pertanian	175
	3. Jaringan Irigasi Utama dalam Pertanian	176

IX	APLIKASI GEOLOGI DALAM PERTANIAN	178
9.1.	Hubungan antara Mineral, Batuan, Tanah dan Pertanian	178
9.2.	Agromineral	178
1.	Hara Makro	179
2.	Hara Mikro	190
X	MINERAL-MINERAL PEMBENAH TANAH	196
10.1.	Mineral Zeolit	200
10.2.	Mineral Gypsum	205
10.3.	Mineral CaCO ₃	211
10.4.	Mineral Bentonit	215
10.5.	Mineral Batu Kapur	216
10.6.	Mineral Vermikulit	220
10.7.	Mineral Perlite	225
10.8.	Mineral P Alam	231
XI	PRODUKTIVITAS DAN KESUBURAN TANAH	237
11.1.	Produktivitas Tanah	238
11.2.	Kesuburan Tanah	239
1.	Faktor-Faktor Kesuburan Tanah	240
2.	Indikator Kesuburan Tanah	242
11.3.	Pentingnya Kajian Geologi, Tanah, dan Tanaman	243
11.4.	Studi Kasus dan Contoh Praktik Terbaik	244
	DAFTAR PUSTAKA	246
	PENULIS	252

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1. Dinamika muka air laut selama 6.000 tahun SM di pantai Sumatera	35
3.2. Hubungan zona iklim dunia dengan tingkat pelapukan	37
3.3. Komposisi umum loss	46
3.4. Susunan kimiawi rata-rata air laut	49
4.1. Pembagian batuan atas dasar kandungan SiO ₂ dan contoh batuan	63
4.2. Titik melebur mineral-mineral penyusun batuan	65
4.3. Perbedaan sianit dengan granit	67
4.4. Pembagian batuan vulkanit berdasarkan umurnya	69
4.5. Pengaruh jauhnya jarak terhadap pembulatan batuan	80
4.6. Hubungan antara batuan tunggal dan kelompok	82
4.7. Ukuran fraksi berdasarkan DIN 4022 (mm)	106
4.8. Hubungan derajat pembulatan dan jenis batuan yang dibentuk	107
4.9. Kemampuan beberapa liat menyerap air	109
4.10. Susunan dan sifat mineral dominan dalam sedimen	112
5.1. Mineral-mineral penting penyusun batuan magmatit	124
5.2. Mineral-mineral yang sering ditemukan dalam batuan sedimen	125
5.3. Mineral-mineral khas batuan metamorfit	126
5.4. Alat bantu sederhana untuk menguji kekerasan mineral	128
5.5. Uraian skala kekerasan mineral	128
5.6. Beberapa jenis belahan mineral dan contohnya	129
5.7. Beberapa jenis elastisitas mineral	129
5.8. Beberapa warna khas mineral dan contohnya	130
5.9. Warna goresan beberapa mineral khusus	131

5.10. Sifat transparansi beberapa mineral	131
5.11. Struktur dan tekstur batuan magmatit	134
6.1. Waktu paruh dari beberapa isotop	148
6.2. Pembagian era geologi (tarikh geologi batuan)	149
6.3. Hubungan kehidupan dengan zaman geologi	150
11.1. Perbedaan antara kesuburan tanah dan produktivitas tanah	239

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Posisi lempeng <i>collision</i>	15
2.2. Peta sebaran gunung api	18
2.3. Peta sebaran gempa bumi	18
2.4. Sistematis keruangan dari magmatismus	20
2.5. Penampang tegak suatu gunung api (<i>shield volcanoes</i>)	21
2.6. Bentuk-bentuk gunung api	26
2.7. Proses pembentukan kaldera	29
2.8. Beberapa bentuk patahan tektonik	32
3.1. Proses pembentukan meander	44
4.1. Klasifikasi batuan berdasarkan genesis dan geologis	62
4.2. Struktur mineral pada batuan plutonit	64
4.3. Struktur pelapukan granit di lapangan	64
4.4. Struktur berbentuk tiang pada batuan basalt	74
4.5. Ilustrasi sedimentasi dan batuan sedimen	75
4.6. Proses pelapukan fisik, kimia dan biologi	77
4.7. Pelapukan fisik dan kimia	78
4.8. Curah hujan, suhu dan pelapukan	78
4.9. Struktur <i>ripple marks</i> karena ombak laut	79
4.10. Mekanisme proses pembentukan struktur <i>ripple marks</i>	79
4.11. Sedimen klastis atas dasar tingkatan sortasi dan pembulatan	81
4.12. Ukuran partikel dengan kecepatan aliran	81
4.13. Morfologi ukuran fraksi material tanah	82
4.14. Hubungan antara sedimen klastis dan batuan sedimen	83
4.15. Ilustrasi proses diagenesis pada batuan sedimen	84
4.16. Pembentukan dan tipe gunung pasir	87
4.17. Fenomena gletser dan <i>glacial tills</i>	89
4.18. Skema penggolongan sedimen	92
4.19. Gambaran umum system sungai	94

4.20. Sedimentasi oleh air sungai	95
4.21. Bentang alam hasil sedimentasi oleh air laut	100
4.22. Hubungan tekstur, ukuran, mineral dan nama tuan	107
4.23. Hubungan tekstur, ukuran, komposisi kimia dan nama batuan	110
4.24. Macam-macam <i>ripple marks</i>	114
4.25. Hubungan temperatur dan tekanan pada metamorfite	115
4.26. Tekanan dari semua arah	115
4.27. Tekanan dari satu arah	116
4.28. Mineral-mineral umum penyusun batuan metamorfik	117
4.29. Tekanan dan temperatur dari segala arah	117
4.30. Pembentukan mineral baru	118
4.31. Perubahan struktur metamorfite karena adanya tekanan yang tinggi	119
4.32. Siklus batuan di alam	120
6.1. Penentuan umur relatif dengan cara membandingkan jenis batuan dan fosil	138
6.2. Kelompok tumbuhan dan hewan pertama muncul di bumi	139
6.3. Fosil-fosil penting dalam batuan sedimen	143
7.1. Bentuk arsiran batuan pada peta agrogeologi	155
7.2. Hubungan agrogeologi dan produktivitas tanah dengan cabang ilmu tanah lainnya	156
9.1. Siklus Nitrogen	180
9.2. Sumber nitrogen dari bumi	180
9.3. Apatit dengan sistem kristal heksagonal	181
9.4. Siklus fosfor marin	181
9.5. Sumber kalium berdasarkan batuan beku	183
9.6. Proses dari dinamika K pada tanah dan tanaman	183
9.7. Aspek permukaan siklus C jangka panjang	185
9.8. Mineral Mg	187
9.9. Magnesit berstruktur trigonal	189
9.10. Belerang murni dalam bentuk kristal ortorombik	189
9.11. Kristal gipsum dengan struktur monoklin	189
10.1. Mineral Zeolit	202

10.2. Mineral Gypsum	205
10.3. Mineral Mineral CaCO_3	212
10.4. Mineral Bentonit	215
10.5. Mineral Batu Kapur	217
10.6. Mineral Vermikulit	221
10.7. Mineral Perlite	226
10.8. Sebaran P Alam	231
10.9. P alam	213

RENUNGAN DISKUSI AGROGEOLOGI

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, my Brothers
and Sisters,

Bismillaahir Rahmaanir Rahiim

قُلْ لَوْ كَانَ الْبَحْرُ مِدَادًا لِكَلِمَاتِ رَبِّي لَنَفِدَ الْبَحْرُ قَبْلَ أَنْ نُنْفِذَ كَلِمَاتِ رَبِّي
وَلَوْ جِئْنَا بِمِثْلِهِ مَدَدًا ﴿١٠٩﴾

Allah SWT berfirman (Al Quran, Al Kahfi [18] ayat 109):
"Katakanlah (Muhammad), sekiranya lautan menjadi tinta
untuk (menulis) kalimat-kalimat Tuhanku, sungguh habislah
lautan itu sebelum habis (ditulis) kalimat-kalimat Tuhanku,
meskipun Kami datangkan tambahan sebanyak itu (pula)".
Ayat ini menjelaskan bahwa Ilmu Allah SWT sangat luas dan
tidak terhingga (tidak terbatas). Oleh karena itu, untuk
mengantar manusia hidup selamat di Dunia dan Akhirat, Allah
SWT mewujudkan Tanda KetuhananNya melalui dua bentuk,
yaitu: Tanda (Ayat) Yang Dibaca dan Tanda (Ayat) Yang
Dilihat (Alam Semesta), Dikenali sebagai Ayat Al Kauniyyah.
Contoh Tanda (Ayat) Yang Dibaca adalah Kitab Suci Al Quran
Nur Karim.

ذَلِكَ الْكِتَابُ لَا رَيْبَ فِيهِ هُدًى لِّلْمُتَّقِينَ ﴿٢﴾

Allah SWT berfirman (Al Baqarah [2] ayat 2): *Kitab Al Quran
ini Tidak Ada Keraguan* padanya; petunjuk bagi mereka yang
bertaqwa.

Definisi Nas Al Kauniyyah (*nature*) adalah Nas Al Quran
dan Nas Hadist yang berkaitan dengan kejadian alam yang
dapat dilihat apakah di bumi atau di langit seperti tumbuh-
tumbuhan, tanah, hewan, cuaca, udara, air, perkara yang
berkaitan dengan angkasa luas dan seumpamanya.

وَمِنْ آيَاتِهِ خَلْقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَأَخْتِلَافَ أَلْسِنَتِكُمْ
وَالْوَيْحِمْ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّلْعَالَمِينَ ﴿١١﴾

Allah SWT berfirman (Ar Ruum [30] ayat 22) “Dan di antara tanda-tanda kekuasaan-Nya ialah menciptakan langit dan bumi dan berlain-lainan bahasamu dan warna kulitmu. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang mengetahui”.

وَإِذَا سَمِعُوا مَا أُنزِلَ إِلَى الرَّسُولِ تَرَىٰ أَعْيُنُهُمْ تَفِيضُ مِنَ الدَّمْعِ
مِمَّا عَرَفُوا مِنَ الْحَقِّ يَقُولُونَ رَبَّنَا ءَأَمَنَّا فَا كُتِبَ عَلَيْنَا مَعِ الشَّاهِدِينَ ﴿٨٣﴾

Oleh karena itu dalam Surah Al Maidah [5] ayat 83, Allah SWT berfirman “Dan apabila mereka mendengarkan apa yang diturunkan kepada Rasul (Muhammad), *Kamu Lihat Mata Mereka Mencururkan Air Mata* disebabkan *Kebenaran (Al Quran)* yang telah mereka ketahui (dari kitab-kitab mereka sendiri); seraya berkata: "Ya Tuhan kami, kami telah beriman, maka *Catatlah Kami Bersama Orang-Orang Yang Menjadi Saksi (Atas Kebenaran Al Quran dan Kenabian Muhammad SAW)*).

Pada saat ini, Nas Al Kauniyyah yang paling hangat diperbincangkan (didiskusikan) oleh para Ulama Tafsir dan Ilmuwan di seluruh dunia, antara lain:

- 1) Bentuk Bumi (misalnya *Mapping and Geomorphology*)
- 2) Asal Kejadian Alam (contohnya *Geology*)
- 3) Kehidupan di Planet (planet bumi, *Natural Resources, Biology*)
- 4) Kejadian Manusia (*Human Creation*).

Oleh karena itu di dalam Al Quran, Allah SWT menyebut langit sebanyak 610 kali, planet Bumi (425 kali), malam (120 kali), hari (76 kali), siang (46 kali), sungai (43 kali), laut (38 kali), bukit (40 kali), matahari (31 kali), bulan (26 kali), bintang (23 kali), dan pohon/vegetasi (7 kali). Semua yang disebutkan oleh Allah SWT berarti mewajibkan manusia untuk mempelajari

dan menelitinya, semakin banyak disebut, maka semakin intensif *Perintah untuk Belajar dan Meneliti*.

Sumberdaya Lahan tergolong sumberdaya alam yang tak terbarukan (*non-renewable natural resources, or finite resources*) karena lahan tidak mudah diperbaruhi secara alami dengan kecepatan yang dapat mengimbangi konsumsi. Biomassa dan air tanah di lahan semuanya dianggap sebagai sumberdaya yang tidak terbarukan, meskipun elemen secara individu dapat dilestarikan.

Allah SWT memberi petunjuk tentang bagaimana memahami semua ciptaan Allah, ilmu/teori, petunjuk/metodologi, kitab/referensi atau data. Oleh karena itu, menurut Al Qur'an kadar ilmu seseorang masih rendah jika orientasi bahasan masih hanya dunia, belum berbasis pada iman pada Allah dan akhirat (An-Najm [53] ayat 29-30).

فَاعْرِضْ عَنْ مَن قَوْلِي عَن ذِكْرِنَا وَلَمْ يُرِدْ إِلَّا الْحَيَاةَ الدُّنْيَا ﴿٢٩﴾

Allah SWT berfirman (An-Najm [53] ayat 29) “Maka berpalinglah (hai Muhammad) dari orang yang berpaling dari peringatan Kami, dan tidak mengingini kecuali kehidupan duniawi”.

ذَلِكَ مَبْلَغُهُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِنَّ رَبَّكَ هُوَ أَعْلَمُ بِمَن ضَلَّ عَنْ سَبِيلِهِ ۗ وَهُوَ أَعْلَمُ
بِمَن أَهْتَدَى ﴿٣٠﴾

Allah SWT berfirman (An-Najm [53] ayat 30) “Itulah sejauh-jauh pengetahuan mereka. Sesungguhnya Tuhanmu, Dialah yang paling mengetahui siapa yang tersesat dari jalan-Nya dan Dia pulalah yang paling mengetahui siapa yang mendapat petunjuk”.

الَّذِينَ تَرَوْنَ أَنَّ اللَّهَ سَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ وَاَسٰخَ عَلَيْكُمْ
نِعْمَتَهُ ظٰنِهْرَةً وَّٰبٰطِنَةً وَمِنَ النَّاسِ مَن يُجٰدِلُ فِي اللّٰهِ بِغَيْرِ عِلْمٍ وَلَا
هُدٰى وَلَا كِتٰبٍ مُّبِينٍ ﴿٤٠﴾

Allah SWT berfirman (Luqman [31] ayat 20) “Tidakkah kamu perhatikan sesungguhnya Allah telah menundukkan untuk (kepentingan)mu apa yang di langit dan apa yang di bumi dan menyempurnakan untukmu nikmat-Nya lahir dan batin. Dan di antara manusia ada yang membantah tentang (keesaan) Allah tanpa ilmu pengetahuan atau petunjuk dan tanpa Kitab yang memberi penerangan”.

وَمِنَ النَّاسِ مَن يُجَادِلُ فِي اللَّهِ بِغَيْرِ عِلْمٍ وَلَا هُدًى وَلَا كِتَابٍ مُّنِيرٍ ﴿٨﴾

Allah SWT berfirman (Al-Hajj [22] ayat 8) “Dan di antara manusia ada orang-orang yang membantah tentang Allah tanpa ilmu pengetahuan, tanpa petunjuk dan tanpa kitab (wahyu) yang memberi penerangan”.

Banyak kaum muslimin hanya mengikuti seniorinya atau orang yang “Dianggap berilmu... yang tidak jelas ilmunya”, sebenarnya yang harus diikuti adalah Al Quran; Al-Hadist; Ijtihad/Ijma dll.

وَإِن تَطَّعْ أَكْثَرَ مَنْ فِي الْأَرْضِ يُضِلُّوكَ عَنْ سَبِيلِ اللَّهِ إِنْ يَتَّبِعُونَ إِلَّا الظَّنَّ وَإِنْ هُمْ إِلَّا يَخْرُصُونَ ﴿١١٦﴾

Allah SWT berfirman (Al-An'am [6] ayat 116) "Dan jika kamu menuruti kebanyakan orang-orang yang di muka bumi ini, niscaya mereka akan menyesatkanmu dari jalan Allah SWT. Mereka tidak lain hanyalah mengikuti persangkaan belaka, dan mereka tidak lain hanyalah berdusta/menipu”.

Di dalam Ilmu Sumberdaya Lahan terdapat dua data penting, yaitu: *Spatial Data* dan *Attribute Data*. *Spatial Data* adalah segala sesuatu yang berkaitan dengan area, jarak, arah, distribusi, sudut dan lain-lain yang berkaitan dengan geografis dan diikuti dengan koordinat. *Attribute Data* adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan benda, objek, pertanian, tanah, imajinasi, idea, mimpi dan lain-lain.

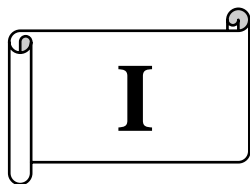
Ilmu Sumberdaya Lahan adalah alat hidup untuk membantu mengembangkan “*Soft skill of human*” agar dapat memahami, mengerti dan mengaplikasikan dalam kehidupan

manusia “Dua Bentuk Tanda (Ayat), yaitu Tanda (Ayat) Yang Dibaca dan Tanda (Ayat) Yang Dilihat (Ayat Al Kauniyyah)”. Jika kita dapat mengkaji kedua Ayat tersebut dengan menggunakan “*Truly Research Methods*”, niscaya membawa kepada Iman yang Mantap dan “*Science & Technology* yang baik dan benar.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا اتَّقُوا اللَّهَ وَانظُرُوا نَفْسَ مَا قَدَّمْتُمْ لِغَدٍ وَاتَّقُوا
اللَّهَ إِنَّ اللَّهَ خَبِيرٌ بِمَا تَعْمَلُونَ ﴿١٨﴾

Allah SWT berfirman (Al-Hasyr [59] ayat 18) “Hai orang-orang yang beriman, bertaqwalah kepada Allah SWT dan hendaklah setiap diri memperhatikan apa yang telah diperbuatnya untuk hari esok (akhirat); dan bertaqwalah kepada Allah, sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan”.

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi kita semua. Source: Al Quran & Al Hadist. Ameen. Many thanks for your attention. Billahi Taufiq Walhidayah, Wassalamu’alaikum Warrohmatullahi Wabarakatuh. والله أعلم



PENDAHULUAN

Agrogeologi secara definitif berasal dari kata Agro yang berupa pertanian sedangkan geologi merupakan bidang keilmuan yang mempelajari tentang batuan bumi, kemudian bahan induk tanah adalah ilmu terapan dalam bidang geologi yang berfokus dalam pengaplikasian geologi pada keilmuan bidang pertanian secara luas. Agrogeologi dan bahan induk secara umum merupakan bidang ilmu yang mengkaji tanah dalam analisisnya sebagai tubuh alam dan tanah sebagai penopang dan media tumbuh tanaman.

1.1. Pengertian Geologi dan Dinamika Bumi

Geologi merupakan studi salah satu cabang ilmu alam yang termasuk tua. Kata geologi berasal dari dua kata bahasa Yunani, *Geos* yang berupa: bumi dan *Logos*: yang berarti ilmu pengetahuan, tentang pelajaran tentang bumi. Secara umum geologi membahas material dalam pembentukan bumi dengan proses-prosesnya yang terjadi, baik secara di dalam bumi (bawah permukaan) ataupun di atas permukaan. Proses dalam bidang ilmu geologi terdapat proses (endogen) dimana terjadi akibat aktifitas vulkanik dan tektonik, sedangkan dalam proses (eksogen) terjadi akibat pelapukan, erosi, dan pembentukan bentang lahan. Segala proses tersebut mempengaruhi kandungan, ciri, karakteristik khusus pada batuan, sehingga dalam bidang keilmuan geologi mempelajari hal-hal tersebut, kemudian dapat dilakukan interpretasi dalam proses geologi yang berkontribusi dalam pembentukan batuan.

Geologi dapat didefinisikan secara terperinci sebagai cabang ilmu yang mempelajari secara, konsep, proses, dan susunan dalam proses pembentukan bumi yang berlangsung di dalam dan di permukaan bumi. Oleh karena itu, geologi

menjadi ilmu dasar untuk dapat mempelajari ilmu kebumihan lainnya. Mempelajari geologi seharusnya diarahkan untuk mengamati adanya kecenderungan perubahan bumi agar perubahan tersebut dapat diamati dan dikelola secara bijak dan benar.

Bumi merupakan planet yang bersifat dinamis/mengalami perubahan alam, perubahan muka bumi atau disebut sebagai dinamika bumi ini dikaji dan dipelajari secara spesifik dan detail, sehingga perlu dilakukan kajian atau pengamatan terhadap dinamika bumi secara periodik, sistematis dan penyimpulan terhadap fenomena alam (hukum alam) berdasarkan bukti-bukti alam yang tersedia.

Kontribusi individu terkait dinamika bumi sangat kecil, walaupun seperti itu apabila dijumlahkan secara keseluruhan akan menjadi sangat besar. Oleh karena itu, manusia dapat mempengaruhi laju erosi dan aliran permukaan dikarenakan kegiatan yang menyebabkan tertutupnya permukaan bumi misalkan pembuatan jalan atau pengembangan/pembangunan kota, mengubah dan menyebarkan material bumi dalam kegiatan penggalian bahan tambang dan menggunakannya untuk kebutuhan kehidupan manusia, sehingga kesimpulan yang dapat ditarik bahwa manusia menjadi faktor utama penentu kualitas lingkungan hidup.

Berdasarkan hal tersebut, banyak pertanyaan yang muncul berkaitan dengan hubungan antar manusia dan bumi, tetapi kajian walaupun sudah mendapatkan titik terang, namun pemikiran manusia terus mendalami hal tersebut, sehingga hingga saat ini belum ditemukan jawaban yang pasti, sebagai contoh:

- 1) Bagaimana kondisi kehidupan manusia apabila minyak bumi terkuras habis dan dampak peningkatan kadar CO₂ ke atmosfer?
- 2) Bagaimana pengaruh perubahan iklim global terhadap produktivitas pertanian, distribusi pencairan es dari kutub ke kutub atau posisi ketinggian permukaan bumi?

Secara umum, revolusi geologi dapat dibagi dalam tiga kategori besar, yaitu sebagai berikut:

- 1) Geologi Sejarah menjelaskan tentang sejarah perkembangan dan kehidupan bumi, planet-planet dalam sistem tata surya, *asteroid*, komet dan meteorit. Sebagian besar penelitian geologi sejarah mencari jawaban pertanyaan tentang mengapa bumi ini ada, mengapa bumi nampak seperti ini, mengapa batuan dalam sistem tata surya berbeda dan hubungannya dengan habitat kehidupan.
- 2) Geologi Terapan menguraikan tentang penggunaan kerak bumi secara teknis dan keilmuan. Geologi terapan diharapkan dapat meningkatkan kesadaran kita bagaimana dampak kegiatan manusia terhadap lingkungan dan kehidupan di atas permukaan bumi. Dengan kesadaran ini diharapkan manusia dapat menganalisis dan mengelola perubahan agar dampak negatif lingkungan dapat diminimalisasi. Pada akhirnya manusialah yang bertanggungjawab penuh terhadap terjadinya kerusakan di permukaan bumi. Bagaimana kehidupan dan bentuk bumi pada masa yang akan datang, sangat tergantung bagaimana cara manusia berinteraksi dengan alam saat sekarang.
- 3) Geotektonik mendiskripsikan peristiwa-peristiwa dinamis kerak dan isi bumi. Geotektonik menekankan pemahaman tentang cara bumi bekerja, produk geotektonik dan akhirnya melahirkan pemahaman kita tentang lempeng tektonik dan dinamika bumi.

1.2. Sejarah Geologi

Meskipun geologi sebagai cabang ilmu telah meniti jejak yang panjang dalam sejarah peradaban, catatan sejarah formal geologi yang berkembang pesat dimulai baru pada abad ke-19 atau tahun 1800an. Perkembangan sejarah ini mengemuka dari observasi penelitian atas beberapa fakta geologis yang

sebelumnya belum diberikan perhatian serius. Fakta-fakta tersebut antara lain melibatkan:

Strabo (63 SM - 23 M), seorang geograf terkemuka dari zaman Yunani kuno, mengamati keberadaan fosil-fosil makhluk laut yang terdapat di wilayah pegunungan, dan menghubungkannya secara fenomenologis dengan mekanisme perubahan dalam kerangka proses geodinamik, khususnya dalam hal perubahan relatif antara elevasi dan subsiden lanskap. Sementara itu, Avicenna (980-1037 M), seorang filosof terpandang dalam tradisi ilmu Arab, mencetuskan konsep abstrak kekuatan endogen sebagai penyebab mendasar di balik genealogi geologi, mengilustrasikan signifikansi paradigmatik air sebagai media transportasi dalam elaborasi serta konsolidasi metaplasma batuan sedimen. Meskipun hingga mencapai kurun waktu abad ke-17, eksplorasi geologi masih ditingkatkan, periode transisi abad ke-16 hingga ke-17 menjadi pangkal dalam penyebaran konstituen perintisan sejarah geologi.

Niels Stenson (1638-1687), seorang naturalis berkebangsaan Denmark, mengukir namanya dalam sejarah geologi melalui kontribusinya yang signifikan. Beliau dikenal sebagai salah satu perintis dalam pemahaman asal-usul batuan sedimen dan perkembangan dasar-dasar stratigrafi. Pemikiran terobosannya membentuk landasan konseptual yang mendasari ide bahwa lapisan geologis yang berada di posisi lebih tinggi secara relatif dapat dianggap sebagai yang lebih muda dibandingkan dengan lapisan yang berada di bawahnya.

Robert Hooke (1635-1703), seorang fisikawan berkebangsaan Inggris, memberikan sumbangsih penting dalam pemahaman geologi dan paleontologi. Beliau merinci bahwa fosil-fosil adalah sisa-sisa organisme laut yang telah punah, menyediakan bukti penting dalam rekaman fosil. Selain itu, Hooke mengkaji peran tenaga endogen dalam membentuk relief geologi, memandangnya sebagai pendorong dalam peristiwa vulkanisme, proses pengangkatan, dan penurunan permukaan bumi.

Christopher Packe (1743), seorang ahli pembuat peta asal Inggris, mencatatkan prestasi gemilang dengan menciptakan peta geologi pertama untuk daerah Kent, Inggris. Di sisi lain, Christoph Fuechsel (1722-1773) dari Jerman memberikan kontribusi penting dengan merincikan sejarah perkembangan geologi di Thuringen, mengklasifikasikan batuan-batuan ke dalam kelompok-kelompok tertentu, dan menghasilkan peta geologi Jerman pertama.

De Luc (1778), memperkenalkan istilah "Geologi" untuk pertama kalinya, sebuah langkah penting dalam terminologi ilmiah yang kemudian menjadi standar dalam dunia ilmu geologi. Kontribusi hebat dari para ilmuwan ini telah membentuk fondasi utama dalam pembentukan ilmu geologi modern dan penemuan lebih lanjut dalam bidang ini.

Pada abad ke-19, terdapat dua pendekatan mendasar dalam menganalisis asal-usul batuan, yang menggambarkan pergeseran paradigma penting dalam ilmu geologi. Pendekatan pertama adalah Neptunisten, yang berakar pada pemikiran Gottlob Werner (1749-1817), menyatakan bahwa semua batuan terbentuk melalui proses sedimentasi air. Werner mengungkapkan "Sistematik" geologi pada tahap awal dengan metode pengamatan, deskripsi objek, dan perkiraan perkembangan geologi. Pendekatan kedua adalah Plutonisten atau Vulkanisten, yang dipengaruhi oleh pemikiran James Hutton (1726-1797), seorang ahli geologi asal Skotlandia. Mereka melihat aliran magma dari inti kerak bumi sebagai kekuatan utama dalam pembentukan batuan, tanpa menekankan peran air dalam pembentukan sedimen.

Pada abad ke-19 sekitar tahun 1800an, penelitian mengenai vulkanisme berkembang pesat berkat kontribusi penting dari Alexander Von Humboldt (1769-1859). Permulaan abad ke-19 juga menyaksikan munculnya dua pendekatan utama dalam memahami sejarah bumi. Pendekatan pertama adalah teori bencana, yang mencoba menjelaskan peristiwa geologis sebagai bencana alam yang sporadis. Pendekatan kedua adalah evolusi terus menerus, yang menganggap bahwa

proses geologis berlangsung secara terus-menerus dan berkelanjutan.

Berdasarkan kedua pendekatan tersebut, muncul teori lempeng tektonik (*plate tectonics*) yang revolusioner pada abad ke-20. Teori ini mencerminkan pemahaman bahwa permukaan bumi terdiri dari lempengan-lempengan besar yang bergerak dan berinteraksi satu sama lain. Teori lempeng tektonik membawa pemahaman baru tentang perputaran material batuan di dalam bumi dan bahwa bumi adalah planet yang dinamis dan terus berubah. Penemuan ini telah menjadi tonggak besar dalam perkembangan ilmu geologi modern.

1) Teori Bencana (Katastrofal)

Teori bencana, yang didukung oleh dua ilmuwan geologi berpengaruh, yaitu George Cuvier dan Leopold von Buch. George Cuvier (1769-1832), menjadi bagian penting dalam sejarah perkembangan ilmu geologi. George Cuvier, yang merupakan seorang peneliti alam asal Perancis, mengungkapkan pandangan yang fundamental bahwa evolusi bumi secara substansial dipengaruhi oleh peristiwa bencana alam. Pendekatannya mengindikasikan bahwa dampak bencana-bencana ini adalah pemusnahan massal kehidupan di bumi, yang kemudian diikuti oleh munculnya bentuk-bentuk kehidupan yang baru di atas permukaan bumi. Cuvier memandang semua peristiwa geologis dalam konteks peran sentral bencana alam sebagai agen utama dalam membentuk sejarah geologis bumi.

Leopold von Buch (1774-1853) menyampaikan pandangannya bahwa peningkatan kerak bumi adalah akibat dari aktivitas vulkanisme yang berakar dalam bumi. Dia berargumen bahwa peristiwa bencana alam, seperti letusan gunung berapi, memiliki kontribusi penting dalam pembentukan fitur geologis seperti gunung dan perbukitan. Selain itu, dia berpendapat bahwa pembentukan danau berkaitan dengan aktivitas patahan tektonik. Pendekatannya menekankan peran signifikan fenomena geologis dalam

membentuk ciri-ciri geografis tertentu, seperti topografi gunung, perbukitan, serta asal-usul danau. Kontribusi pemikiran von Buch ini memiliki dampak yang luas dalam pemahaman ilmiah tentang dinamika bumi pada zamannya dan terus menjadi bagian penting dalam perkembangan ilmu geologi yang lebih lanjut.

2) Evolusi Terus Menerus

Teori evolusi dalam ilmu geologi telah didorong oleh kontribusi berarti dari beberapa ilmuwan ternama. K.E.A. von Hoff bersama Charles Lyell dan Charles Darwin. di antaranya K.E.A. von Hoff (1771-1837), seorang ahli geologi asal Jerman, serta Charles Lyell (1797-1875), seorang ahli geologi berkebangsaan Inggris. Pandangan mereka adalah bahwa kondisi geologis saat ini adalah hasil dari pengaruh terus-menerus dari proses yang terjadi di dalam dan di permukaan bumi. Pemikiran kedua ahli geologi ini menjadi dasar bagi pengembangan pemahaman tentang dinamika perubahan bumi. Melalui pendekatan ini, kita dapat menjelaskan dan memahami metode dinamika yang mengarah pada pemahaman yang lebih dalam tentang evolusi geologis bumi.

Charles Darwin (1809-1882), seorang ahli peneliti alam asal Inggris, memberikan klarifikasi yang penting tentang konsep Evolusi Terus Menerus melalui formulasi teori asal usul kehidupan di Bumi serta merumuskan teori evolusi yang berperan dalam penjelasan perkembangan ilmu paleontologi. Dalam teorinya tentang asal usul kehidupan, Darwin mengusulkan bahwa semua bentuk kehidupan di Bumi berasal dari nenek moyang bersama yang sederhana. Pandangan ini menjadi dasar bagi pemahaman evolusi, di mana segala bentuk kehidupan, termasuk manusia, memiliki leluhur bersama yang mengalami perubahan bertahap selama periode waktu yang sangat lama, sehingga kejelasan tentang *Evolusi Terus Menerus* melalui teori asal usul kehidupan di bumi dan melahirkan teori evolusi yang membantu menjelaskan tentang aktualisasi ilmu paleontologi.

1.3. Ruang Lingkup Geologi

Geologi adalah salah satu ilmu tertua dalam ilmu alam, dan ruang lingkungannya sangat luas, sehingga geologi adalah ilmu yang tidak dapat dipisahkan dari ilmu-ilmu yang berhubungan langsung dengan Bumi. Ruang lingkup penelitian geologi mencakup eksplorasi planet Bumi pada saat sekarang dengan tujuan merekonstruksi proses-proses geologi yang terjadi di masa lalu, serta menyusunnya dalam tahap-tahap waktu. Pendekatan ini memungkinkan kita untuk memahami sejarah Bumi secara lebih mendalam.

Dalam konteks pertanian, pengetahuan tentang batuan dan mineral menjadi dasar untuk memahami lebih lanjut tentang tanah dan proses pembentukannya. Berbagai bidang ilmu yang erat kaitannya dengan geologi dan termasuk dalam cakupan geologi, yaitu:

- 1) Mineralogi: Ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat dan komposisi mineral serta komponen-komponen dalam batuan.
- 2) Geokimia: Ilmu pengetahuan yang mengeksplorasi proses pembentukan dan perubahan Bumi melalui perspektif kimia.
- 3) Geofisika: Ilmu pengetahuan yang memeriksa pembentukan dan perubahan Bumi dari sudut pandang fisika, termasuk studi tentang gempa bumi dan medan magnetik Bumi.
- 4) Geomorfologi: Ilmu pengetahuan yang memfokuskan pada pemahaman tentang proses-proses dan bentuk permukaan Bumi, seperti pegunungan, lembah, dan sungai yang mencerminkan ketiga aspek utama (petrologi, petrografi dan struktur geologi).
- 5) Oseanografi: Ilmu pengetahuan yang mempelajari lingkungan kelautan dan samudra, termasuk geologi dasar laut dan perubahan iklim global.
- 6) Paleontologi: Ilmu pengetahuan yang menggali sejarah kehidupan di Bumi dengan mempelajari fosil-fosil hewan dan tumbuhan dari masa lalu.

- 7) Petrografi: Ilmu pengetahuan yang menganalisis pembentukan, komposisi, struktur, dan munculnya batuan dan mineral, termasuk sistem penamaan dan klasifikasi batuan. Stratigrafi juga mempelajari proses pengendapan dan urutan pengendapan dari suatu batuan sedimen.
- 8) Petrologi: Ilmu pengetahuan yang mempelajari susunan dan penyebaran batuan serta mencoba menggabungkan pengetahuan petrografi dengan data fisik-kimia untuk memahami proses pembentukan batuan. Ini mencakup komponen penyusun batuan (mineralogi), berbagai macam jenis batuan, dan asal-usulnya (petrogenesis).
- 9) Struktur geologi mempelajari proses deformasi setelah batuan terbentuk, termasuk lipatan, patahan, dan retakan.
- 10) Pedologi (Ilmu Tanah): Ilmu pengetahuan yang memfokuskan pada produk pelapukan dari kerak Bumi, pembentukan, susunan, dan distribusi tanah.

Semua bidang ilmu di atas saling terkait dan saling mendukung satu sama lain. Sebagai contoh, ilmu batuan (petrologi) memerlukan pemahaman mineralogi sebagai landasan, sementara pembentukan batuan erat kaitannya dengan proses tenaga endogen dan tenaga eksogen yang mempengaruhi batuan ketika mencapai permukaan Bumi.

Para ahli geologi memeriksa mineral dan batuan sebagai bukti utama dari berbagai proses geologi. Proses-proses geologi dan pembentukan mineral serta batuan menjadi fokus sentral dalam pemahaman geologi. Melalui analisis mineral atau batuan, ahli geologi dapat menghasilkan berbagai kesimpulan yang berkaitan dengan fenomena geologi.

Batas waktu suatu proses geologi tertulis dalam rekaman batuan atau mineral yang mengandung fosil tumbuhan dan binatang, yang sering disebut sebagai "fosil". Fosil dalam batuan menjadi petunjuk penting untuk merekonstruksi peristiwa-peristiwa yang terjadi selama pembentukan batuan. Dengan kata lain, batuan yang mengandung fosil dikenal

sebagai "fosil penunjuk". Fosil dapat membantu ahli geologi dalam menentukan usia batuan. Ilmu paleontologi mendetail menjelaskan tentang konsep fosil ini.

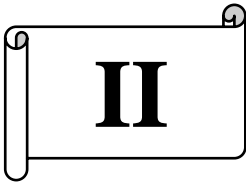
Pemahaman sejarah Bumi dari lapisan-lapisan batuan, dengan bantuan fosil dan karakteristik khususnya, merupakan subjek utama dalam bidang "stratigrafi". Stratigrafi mencakup studi lapisan-lapisan batuan dan cara penggambarannya. Proses geologi yang terjadi dalam kerak Bumi dan pada permukaan Bumi dijelaskan dalam ilmu geologi umum. Dengan mengamati proses-proses geologi yang berlangsung saat ini, serta bukti geomorfologi dan material yang terlibat di dalamnya, ahli geologi dapat menjelaskan peristiwa-peristiwa masa lalu. Pendekatan ini dikenal sebagai "aktualisme".

Pengetahuan tentang sedimentasi batuan, susunan kerak Bumi, dan peristiwa-peristiwa yang terjadi di dalamnya digabungkan dalam ilmu "tektonik". Tektonik berfokus pada susunan lapisan-lapisan dalam Bumi dan dilengkapi dengan studi geofisik yang menggunakan metode khusus seperti seismik dan gravimetri untuk menyelidiki susunan Bumi yang lebih dalam.

Dalam domain geologi, studi mengenai sebaran bentang lahan, karakteristik tanah, serta persebaran benua termasuk dalam kerangka kajian yang dikenal sebagai geologi regional. Di sisi lain, geologi terapan menekankan penekanan pada pemecahan permasalahan yang bersifat praktis dan mampu diselesaikan melalui metode observasi lapangan dengan tingkat signifikansi ekonomis yang diakui. Beberapa subdisiplin yang mengambil peran penting dalam ranah geologi terapan melibatkan:

- 1) Geologi Tambang, yang secara khusus berfokus pada identifikasi dan ekstraksi sumber daya mineral seperti bijih besi, tembaga, kobalt, mangan, timah hitam, timah, serta mineral-mineral yang berperan sebagai sumber daya energi, seperti batubara, minyak bumi, gas alam, dan uranium.

- 2) Hidrogeologi yang mengkaji dan menganalisis persediaan air dalam kerak bumi, termasuk aspek-aspek seperti akuifer dan mekanisme pergerakan air tanah.
- 3) Geologi Sipil, yang berusaha memahami karakteristik geologi untuk kepentingan perencanaan dan pembangunan infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan bangunan.
- 4) Geokimia yang menginvestigasi komposisi unsur dan mineral tertentu dalam batuan, kompleks batuan, dan tanah. Melalui pemahaman ini, proses-proses seperti pelarutan batuan dan penambahan material seperti Timbal (Pb), seng (Zn), dan lainnya dapat diuraikan dalam konteks pembangunan.
- 5) Ilmu Tanah atau Pedologi yang secara khusus mengkaji pelapukan batuan dan proses pembentukan tanah, dengan mempertimbangkan pengaruh faktor-faktor seperti iklim, organisme, topografi, waktu, dan komposisi bahan induk. Pengetahuan yang dihasilkan dalam ilmu tanah memiliki aplikasi luas dalam berbagai bidang seperti pertanian, kehutanan, perkebunan, peternakan, perikanan, rehabilitasi lahan, pengelolaan lingkungan, serta perencanaan penggunaan lahan.



TENAGA ENDOGEN DAN PEMBENTUKAN BUMI

Terdapat dua jenis tenaga geologi utama yang berperan signifikan dalam membentuk dan memengaruhi permukaan bumi: tenaga eksogen dan tenaga endogen, seperti yang diuraikan oleh Bemmelen pada tahun 1970. Tenaga eksogen adalah tenaga yang berperan dalam proses perubahan pada daerah permukaan bumi, sementara tenaga endogen adalah tenaga yang aktif di dalam bumi dan memengaruhi isi bumi. Ada beberapa konsep yang mendasari timbulnya panas dalam bumi yang menjadi sumber tenaga endogen:

- 1) Gradien Geotermal, Konsep ini menyatakan bahwa suhu di dalam bumi meningkat seiring dengan kedalaman yang semakin besar. Ketika melakukan pengeboran hingga mencapai kedalaman sekitar 40-80 km di bawah permukaan bumi, suhu dapat mencapai lebih dari 1.000 °C, mencapai suhu lava.
- 2) Zat Radioaktif, Beberapa unsur radioaktif, seperti uranium dan thorium, mengalami peluruhan radioaktif yang menghasilkan panas. Di beberapa lokasi di bumi terdapat konsentrasi yang tinggi dari unsur-unsur radioaktif ini. Selama jutaan tahun, akumulasi panas dari peluruhan radioaktif ini dapat mencairkan batuan. Daerah pusat yang sangat panas ini dikenal sebagai dapur magma atau waduk magma.

Pengaruh dari tenaga endogen ini sangat penting dalam pembentukan dan evolusi bumi serta seringkali membagi permukaan bumi menjadi berbagai fitur geologi. Ketika gunung berapi meletus misalnya, tenaga endogen dilepaskan dan mendorong material ke permukaan bumi.

Secara umum, tenaga endogen bertanggung jawab atas berbagai proses geologi termasuk konstruksi bumi, pergerakan lempeng tektonik, gempa bumi, aktivitas magmatik, pembentukan pegunungan (*orogenesis*), teori geotektonik, dan pembentukan patahan tektonik.

2.1. Konstruksi Bumi

Bumi, dengan radius sekitar 6.370 km, dapat dijelaskan sebagai suatu entitas berbentuk bulat yang terdiri dari tiga lapisan utama, yakni kerak bumi (*crust*), mantel bumi (*mantle*), dan inti bumi (*core*). Kerak bumi merupakan lapisan paling luar yang memiliki ketebalan berkisar antara 10-40 km. Lapisan ini terdiri dari bahan silikat yang memiliki densitas yang lebih rendah (*low-density silicates*). Secara umum, dalam ilmu geologi, kerak bumi dibedakan menjadi dua jenis utama:

- 1) Kerak Laut (*Oceanic*), Jenis kerak ini relatif muda, dengan usia berkisar 0-200 juta tahun. Ketebalannya tipis, hanya sekitar 5-15 km, dan biasanya terbentuk dari material vulkanik yang padat.
- 2) Kerak Benua (*Continental*), Kerak benua ini terdiri dari batuan yang lebih tua, dengan usia berkisar antara 200-3.500 juta tahun. Ketebalannya lebih besar, mencapai 20-50 km, dan memiliki densitas yang lebih rendah daripada kerak laut. Biasanya terbentuk dari batuan seperti granit dan batu pasir.

Mantel bumi adalah zona yang terletak di bawah kerak bumi dan membentang hingga kedalaman sekitar 2.900 km menuju batas luar inti bumi. Materi yang membentuk mantel adalah padat namun bersifat plastis dan mengandung kaya silikat besi magnesium. Inti bumi adalah lapisan terdalam yang membentang dari kedalaman sekitar 2.900-5.200 km. Inti ini terdiri dari materi cair, dengan komposisi utama adalah besi. Titik terdalam dari inti bumi ditemukan pada kedalaman sekitar 6.370 km.

2.2. Lempeng Tektonik (*Plate Tectonics*)

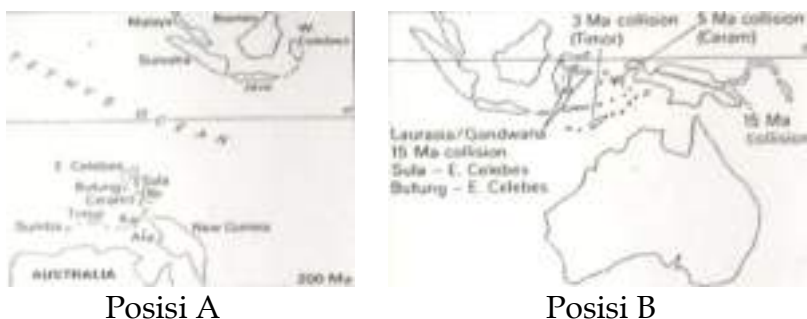
Tektonik, yang berasal dari bahasa Yunani "Tekton" yang berarti "pembentuk," adalah cabang ilmu geologi yang mempelajari pergerakan dan deformasi kerak bumi pada skala global. Lempeng tektonik merupakan subdisiplin khusus dalam bidang tektonik yang fokus pada pemahaman proses di mana kerak dan mantel bumi mengalami pergeseran lateral di atas inti bumi. Teori lempeng tektonik telah lahir dan dikembangkan dalam tiga dekade terakhir, menjadi suatu model dinamis yang menjelaskan berbagai fenomena geologi.

Dalam teori lempeng tektonik, ahli geologi menggambarkan kerak bumi sebagai struktur terdiri dari daratan dan lautan, yang tersusun dari sejumlah lempeng-lempeng yang berfungsi sebagai zona transisi antara lapisan mantel bumi yang lebih cair dan kerak bumi yang padat. Lempeng-lempeng tektonik ini mengapung dan bergerak di atas material yang lebih lemah di bawahnya yang bersifat cair. Pergerakan lempeng-lempeng ini menghasilkan berbagai zona lemah atau gangguan batas di antara mereka. Aktivitas di zona-zona ini dapat mengakibatkan terjadinya peristiwa seperti gempa bumi (ketika massa material turun atau jatuh), aktivitas gunung berapi (ketika massa material membentuk celah), serta pembentukan pegunungan (ketika massa material padat bertabrakan). Pada dasarnya, terdapat tiga jenis batas lempeng utama dalam konteks lempeng tektonik ini, yaitu:

- 1) Batas lempeng jenis Collisional terbentuk akibat interaksi antara dua lempeng tektonik yang bergerak berlawanan arah satu sama lain, dengan salah satu lempeng menekan yang lainnya. Pada umumnya, pada batas ini sering terbentuk suatu formasi geologis yang dikenal sebagai busur vulkanik, yang merupakan rangkaian gunung api aktif. Sebagai contoh, di wilayah Indonesia terdapat busur vulkanik yang membentang dari Sumatera Utara hingga Laut Banda. Peristiwa kolisi lempeng ini dapat digunakan untuk menjelaskan sejarah geologis, seperti pemisahan kepulauan Maluku dan Irian dari daratan Indonesia

sekitar 200 juta tahun yang lalu akibat penolakan antar-lempeng dalam Samudra Tethys. Proses ini memerlukan waktu sekitar 10 juta tahun untuk membentuk konfigurasi geologis saat ini (Gambar 2.1).

- 2) Batas lempeng Tensional terjadi ketika kerak bumi yang lebih tua, khususnya kerak bumi oceanik, mengalami sobekan atau perpanjangan. Akibatnya, material bawah permukaan bumi akan naik ke atas dan membentuk kerak bumi baru. Batas lempeng ini umumnya ditemukan di perairan dalam, seperti Laut Merah yang memisahkan wilayah Mesir dan Saudi Arabia.
- 3) Batas lempeng Transcurrent terjadi akibat pergerakan lateral dominan, yaitu pergeseran horizontal dari satu lempeng ke lempeng lainnya. Sebagai contoh, di wilayah Kalifornia Barat, terdapat patahan tektonik yang menciptakan pergerakan lateral yang signifikan.



Gambar 2.1. Posisi lempeng *Collision* (A: 200 juta tahun lampau, B: posisi 10 juta tahun lampau)

Posisi A menggambarkan kondisi geologis pada masa lalu di mana Indonesia terpisah dari benua Australia oleh Samudra Tethys. Pada saat itu, kepulauan Maluku dan Irian merupakan bagian dari benua Australia, dan Garis Ekuator berada di tengah Samudra Tethys.

Posisi B mencerminkan perkembangan geologis selama jutaan tahun yang melibatkan pergerakan lempeng *Collision*. Pada sekitar 15 juta tahun yang lalu, pulau Irian mulai bergabung dengan wilayah Indonesia akibat pergerakan

lempeng ini. Kemudian, sekitar 5 juta tahun yang lalu, kepulauan Maluku juga bergabung dengan Indonesia sebagai hasil dari pergerakan lempeng yang berlanjut. Selanjutnya, Nusa Tenggara, khususnya pulau Seram, bergabung dengan Indonesia sekitar 3 juta tahun yang lalu akibat pergerakan lempeng yang berkelanjutan.

Beberapa teori dalam lempeng tektonik mengindikasikan bahwa pergerakan kerak bumi terjadi dengan kecepatan yang relatif lambat, berkisar hingga 10 cm per tahun. Evidensi untuk teori ini ditemukan dalam pengamatan batuan di dasar laut serta pengukuran melalui satelit. Meskipun pergerakan lempeng ini mungkin terasa lambat dalam skala waktu manusia, dalam skala geologi, pergerakan tersebut dapat menghasilkan perubahan signifikan. Sebagai ilustrasi, jika kita mempertimbangkan pergerakan lempeng sekitar 1 cm per tahun, dalam 60 juta tahun, lempeng tersebut akan telah bergerak sejauh 600 km. Dengan demikian, dinamika pergerakan lempeng tektonik ini memainkan peran penting dalam pembentukan konfigurasi geologis dan dapat mempengaruhi peristiwa sejarah geologis, seperti gempa bumi.

Perubahan ini menciptakan konfigurasi geologis saat ini di mana Indonesia merupakan gugusan kepulauan yang terletak di antara dua lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Australia. Pergerakan lempeng tektonik adalah salah satu faktor utama yang membentuk sejarah geologis dan geografi wilayah Indonesia.

Indonesia adalah wilayah yang unik karena terletak di persimpangan tiga jenis lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Southeast Asia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Fenomena geologi ini dapat diidentifikasi melalui penampakan (Gambar 2.2 dan Gambar 2.3) berikut:

- 1) Rantai Gunung Api Aktif (Sunda-Banda Arc),: Rantai gunung api aktif ini membentang sepanjang sekitar 5.000 km, dimulai dari Provinsi Nangroe Aceh di sebelah barat Sumatera, melalui pegunungan Bukit Barisan, mencakup anak Krakatau, dan berlanjut ke pulau Jawa, Nusa

Tenggara, hingga melengkung ke arah laut Banda di wilayah Maluku. Fenomena ini mencerminkan batas pertemuan dan kolisi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia di wilayah ini. Proses subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia di sini menciptakan gunung-gunung api yang sering kali aktif dan potensi gempa bumi yang signifikan.

- 2) Zona Patahan Sorong (Sorong Fault Zone);: Zona patahan ini adalah suatu sistem patahan tektonik yang membentang dari barat ke timur, dimulai dari bagian utara Irian Jaya (sekarang Papua) dan berlanjut hingga ke timur Irian Jaya. Wilayah ini sering mengalami gempa bumi yang signifikan. Zona ini mencerminkan batas pergeseran lateral antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik. Patahan ini merupakan contoh lain dari interaksi lempeng tektonik yang menyebabkan seismisitas di Indonesia.

Kehadiran dua fenomena ini, yaitu rantai gunung api aktif dan zona patahan Sorong, mencerminkan lokasi batas utama antara ketiga lempeng tektonik utama di Indonesia. Interaksi di antara lempeng-lempeng ini menghasilkan sebaran gunung api aktif dan aktivitas seismik yang cukup tinggi di wilayah ini, menjadikan Indonesia salah satu wilayah yang rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi dan letusan gunung api. Pemahaman tentang dinamika lempeng tektonik ini sangat penting untuk mitigasi risiko bencana dan pengembangan ilmu geologi di Indonesia.

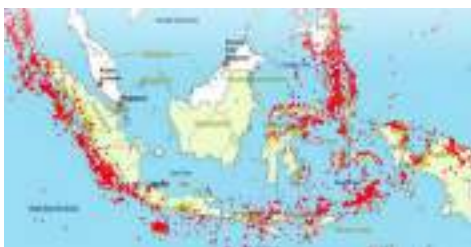
2.3. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan fenomena geologis yang disebabkan oleh pelepasan tiba-tiba energi yang tersimpan dalam kerak bumi. Gempa ini dapat menyebabkan perubahan bentuk permukaan bumi, baik dalam skala kecil hingga skala yang sangat besar, mulai dari beberapa sentimeter hingga ratusan kilometer. Fenomena gempa bumi ini cenderung terjadi sepanjang batas lempeng tektonik, dan jarang terjadi di tengah-

tengah lempeng. Konsentrasi gempa ini dapat diamati sepanjang batas pertemuan lempeng tektonik, seperti yang tergambar pada (Gambar 2.3).



Gambar 2.2. Sebaran gunung api



Gambar 2.3. Sebaran gempa bumi

Kekuatan gempa bumi diukur dengan menggunakan alat yang disebut seismometer, dan hasil pengukurannya dinyatakan dalam skala Richter. Skala ini memberikan gambaran tentang seberapa besar energi yang dilepaskan oleh gempa tersebut. Namun, perlu diingat bahwa gempa bumi tidak hanya terkait dengan magnitudo (kekuatan) tetapi juga kedalaman sumber gempa. Berdasarkan kedalaman sumber gempa, gempa bumi dapat dibagi menjadi tiga kategori utama: gempa dangkal (dengan kedalaman kurang dari 70 km), gempa menengah (dengan kedalaman sumber gempa hingga 300 km), dan gempa dalam (dengan kedalaman sumber gempa antara 300-700 km).

Indonesia adalah salah satu wilayah yang terletak di Jalur Api Pasifik, yang membuatnya menjadi salah satu daerah dengan sebaran gempa bumi yang cukup tinggi. Oleh karena itu, pemahaman tentang lokasi gempa bumi dan sebaran gunung api adalah sangat penting. Hal ini tidak hanya relevan bagi ahli geologi, tetapi juga berkaitan erat dengan berbagai bidang ilmu yang terkait dengan ilmu kebumihan, termasuk ilmu geofisika, mitigasi risiko bencana, ilmu lingkungan, rekayasa struktural, dan masih banyak lagi.

Pemahaman yang mendalam tentang sifat gempa bumi dan dinamika lempeng tektonik dapat membantu dalam upaya mitigasi risiko dan perencanaan infrastruktur yang tahan

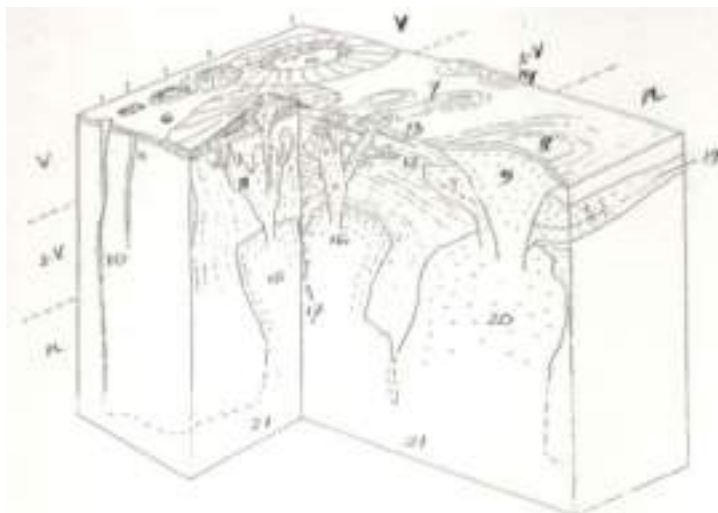
gempa. Oleh karena itu, kolaborasi lintas disiplin ilmu menjadi sangat penting dalam mengatasi dampak gempa bumi di wilayah-wilayah yang rentan terhadap bencana ini.

2.4. Magmatismus

Magmatisme (dari bahasa Yunani "magma," yang berarti adonan) adalah aktivitas yang terkait dengan pergerakan dan transformasi magma, yaitu bahan cair atau semi-cair yang terdiri dari silikat dan berada di dalam kerak bumi. Magma ini memiliki sifat-sifat yang khas, seperti bersifat amorf (tidak memiliki struktur kristal yang teratur) dan panas. Aktivitas magmatisme ini terjadi di dalam mantel bumi dan dapat berpengaruh besar terhadap pembentukan dan evolusi kerak bumi serta fitur-fitur permukaannya. Proses magmatisme dapat menghasilkan berbagai jenis gejala geologi, tergantung pada apakah magma mencapai permukaan bumi atau tidak:

- 1) Vulkanisme: Ketika magma mencapai permukaan bumi, aktivitas ini dikenal sebagai vulkanisme. Ini menghasilkan letusan gunung api, pelepasan gas, dan erupsi material vulkanik, seperti lava dan abu vulkanik. Vulkanisme dapat menciptakan gunung berapi dan membentuk ciri geologi seperti kubah lava, kaldera, dan konus vulkanik.
- 2) Subvulkanisme: Jika magma mencapai dekat permukaan bumi tetapi tidak mencapainya, fenomena ini disebut subvulkanisme. Hal ini dapat menghasilkan intrusi batuan, seperti batuan beku yang terbentuk di bawah permukaan, tanpa mencapai permukaan bumi. Subvulkanisme dapat menciptakan tubuh batuan beku yang disebut pluton.
- 3) Plutonisme: Plutonisme adalah proses di mana magma bergerak secara lambat dari dalam kerak bumi ke atas, namun tidak mencapai permukaan. Magma ini mendingin secara perlahan di dalam kerak bumi, membentuk formasi batuan beku, seperti granit dan diorit. Batuan plutonik ini umumnya terletak di bawah permukaan dan membentuk batuan intrusif.

Gambar 2.4 mengilustrasikan hubungan antara berbagai jenis magmatisme dan bagaimana mereka terkait dalam keruangan geologis. Magmatisme adalah salah satu proses fundamental dalam pembentukan dan evolusi kerak bumi, dan pemahaman tentang aktivitas ini penting dalam ilmu geologi untuk memahami geologi regional, sumber daya mineral, dan potensi bencana alam seperti erupsi gunung berapi dan gempa bumi.



- | | | | |
|------------------------|--|---|--|
| Vulkanismus
(V) | 1. Diaterma
2. Maar
3. <i>Ring wall</i> | 4. Gunung api abu
5. Kaldera
6. Kerucut basalt. | 7. Gunung api perisai
8. Gunung api strato
9. Inti gunung api strato
10. Gang |
| Subvulkanismus
(SV) | 11. Subvulkanit yang terjal dengan percabangan
12. Subvulkanit datar dengan percabangan
13. Gang-gang yang datar | 14. Lapisan-lapisan yang tergantung | |
| Plutonismus
(PL) | 15. Plutonit vertikal (diskordan ke batuan samping)
16. Plutonit antiklinal (konkordan ke batuan samping)
17. Batuan antara dua vulkanit
18. Plutonit corong
19. Plutonit sinklinal sampai horizontal
20. Plutonit piramida (<i>batholith</i>)
21. Zona dalam dari subplutonit | | |

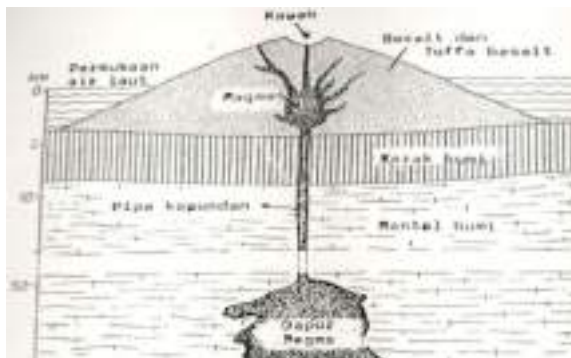
Gambar 2.4. Sistematik keruangan dari magmatismus

1) Vulkanismus

Vulkanismus adalah proses pembentukan batuan vulkanit. Terdapat dua hal penting dalam vulkanismus, yaitu kegiatan dan material vulkanismus.

a. Kegiatan vulkanismus

Proses vulkanisme yang paling signifikan adalah ketika magma cair dari dapur magma naik ke permukaan bumi. Fenomena ini dipicu oleh tekanan tinggi yang terjadi di dalam dapur magma, yang pada gilirannya melemahkan struktur lapisan batuan di atasnya hingga tidak mampu bertahan. Dalam situasi semacam ini, magma yang mengandung gas melewati lapisan batuan di atasnya, mengakibatkan terjadinya letusan gunung api atau erupsi. Untuk memberikan gambaran visual yang lebih jelas tentang proses vulkanisme ini, diagram vertikal gunung api yang menjelaskan berbagai tahap kegiatan vulkanisme dapat ditemukan pada (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Penampang tegak suatu gunung api (*shield volcanoes*)

b. Material vulkanismus

Kumpulan material lepas, pecahan batuan dan lava yang terlempar yang dihasilkan selama letusan gunung api dikenal sebagai piroklastik (*pyroclastics*). Piroklastik yang terlempar secara umum disebut tephra, sebuah kata yang berasal dari bahasa Yunani "*Tephra*," yang berarti abu.

Lava, di sisi lain, merupakan magma cair yang muncul ke permukaan bumi melalui celah-celah dalam kerak bumi, yang

sering disebut sebagai terusan kepundan, pipa sentral, atau diaterma. Lava dapat berbentuk panas atau dingin, dengan suhu lava panas berkisar antara 1.000-1.200 °C. Meskipun bagian luar lava dapat membeku dan membentuk kerak bumi, bagian dalamnya dapat tetap panas selama beberapa dekade. Sifat lava sangat dipengaruhi oleh temperaturnya dan kandungan SiO₂-nya. Lava yang lebih panas dan memiliki kandungan SiO₂ yang lebih rendah cenderung lebih encer dan mudah mengalir. Setelah mencapai permukaan bumi, lava dapat mendingin dan membentuk blok-blok lava, yang disebut sebagai blok lava.

Lava yang bersifat asam memiliki tingkat kandungan Si yang tinggi, membuatnya kental dan mengurangi jumlah gas yang terlarut. Oleh karena itu, lava asam cenderung sulit menyebar dan terkonsentrasi pada area terbatas. Sebaliknya, lava yang bersifat basa memiliki tingkat gas terlarut yang tinggi dan lebih encer, sehingga mampu menyebar hingga jarak yang jauh, bahkan hingga 50 km dari sumbernya. Beberapa contoh berbagai bentuk lava dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Lava bongkah terbentuk ketika lava mengalir dan kemudian dengan cepat membeku di atas permukaan bumi. Kerak yang membeku tersebut kemudian dapat dihancurkan oleh aliran lava yang masih bergerak di dalamnya, menciptakan potongan-potongan batuan yang disebut lava bongkah.
- 2) Lava tali terbentuk ketika lava yang kental telah berada dalam keadaan cair untuk waktu yang lama, dan permukaannya belum sempurna membeku. Lava ini kemudian mengalami pengkerutan akibat aliran lava yang masih aktif di bawahnya, menciptakan tekstur yang mirip dengan tali atau serat.
- 3) Lava bantal, atau pillow lava, terjadi ketika lava mengalir di atas permukaan laut. Karena interaksi dengan air laut yang lebih dingin, lava membeku dengan cepat di bagian luarnya, membentuk struktur bulat yang mirip dengan bantal.

Jika abu vulkanik telah mengeras selama ribuan tahun dan membentuk batuan, maka bahan tersebut disebut tuffa atau tuff. Tuffa yang bercampur dengan sedimen klastik disebut tuffit. Ini adalah batuan hasil dari pengendapan dan solidifikasi abu vulkanik yang dapat menjadi komponen penting dalam rekaman geologi dan peristiwa vulkanik masa lalu.

Gas yang dikeluarkan oleh gunung api memiliki komposisi yang sangat dipengaruhi oleh suhu. Komposisi gas tersebut sebagian besar terdiri dari Belerang Dioksida (SO_2), Hidrogen Klorida (HCl), Hidrogen Sulfida (H_2S), Karbon Dioksida (CO_2), dan uap air. Pada gunung api yang sudah tidak aktif lagi, masih terdapat aktivitas vulkanik seperti fumarol, sulfatur, dan sumber air panas. Fumarol, yang berasal dari bahasa Italia yang berarti "asap," adalah keluarnya uap air panas dari gunung api yang telah mati. Contoh fumarol di Indonesia dapat ditemukan di kawah Kamojang, yang memiliki tekanan gas rata-rata sekitar 2,5 atmosfer dan suhu mencapai $123\text{ }^\circ\text{C}$. Energi yang dihasilkan oleh fumarol ini setara dengan 900 kilowatt.

Sulfatur, yang juga berasal dari bahasa Italia, "*Solfatara*" yang berarti "liang belerang," adalah jenis fumarol yang mengandung gas H_2S . Sulfatur biasanya memiliki suhu rendah, sehingga belerang dapat keluar dan akhirnya menguap.

Berdasarkan ukurannya, bahan-bahan yang dikeluarkan oleh gunung api dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, yaitu: 1) Bom, jika bentuknya agak bulat seperti buah kedondong, 2) Lapili, yaitu lemparan berukuran sebesar buah kacang atau batu kerikil. 3) Pasir, 4) Debu, 5) Bahan-bahan yang membentuk kerucut. Semua bahan ini merupakan hasil dari aktivitas vulkanik yang beragam di dalam gunung api dan dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya.

Berdasarkan ukurannya, maka bahan-bahan yang dikeluarkan oleh gunung api dapat dikelompokkan menjadi: (1) bom (jika bentuknya agak bulat seperti buah kedondong),

(2) lapili, yaitu lemparan yang berbentuk sebesar buah kacang atau batu kerikil, (3) pasir, (4) debu, dan (5) bahan-bahan berbentuk kerucut.

2) Subvulkanismus

Subvulkanisme adalah fenomena geologi yang umumnya terjadi di bawah permukaan bumi, di mana magma tidak mencapai permukaan, tetapi malah menciptakan ruang di dalam batuan yang didorong oleh tekanan magma dari dalam. Proses ini menghasilkan berbagai struktur geologi yang menarik. Salah satu contoh subvulkanisme yang terkenal adalah pembentukan laccolith dan batuan gang, seperti batuan pegmatit. Kedua fenomena ini adalah contoh bagaimana aktivitas subvulkanik dapat menciptakan berbagai struktur dan jenis batuan yang berbeda di bawah permukaan bumi. Mereka juga merupakan sumber potensial bagi berbagai mineral dan bahan berharga, yang sering menjadi fokus penambangan dan eksplorasi geologi.

3) Plutonismus

Plutonisme adalah proses geologi yang menghasilkan pembentukan batuan plutonit dalam satuan kedalaman yang signifikan, biasanya beberapa kilometer di bawah permukaan bumi. Proses ini melibatkan pergerakan massa magma yang besar yang naik ke atas dan membentuk tubuh batuan yang besar yang dikenal sebagai batuan plutonit atau batuan beku dalam.

Karakteristik penting dari batuan plutonit adalah bahwa mereka terbentuk melalui pendinginan magma silikat yang terjadi dalam kedalaman yang cukup dalam. Proses pendinginan ini berlangsung sangat lambat, memungkinkan kristalisasi mineral dengan sempurna dan ukuran yang relatif besar. Salah satu jenis batuan plutonit yang paling terkenal adalah granit. Batuan granit memiliki komposisi yang beragam, sekitar 66% Feldspar (Orthoklas dan Plagioklas), 26% Kuarsa,

7% Biotit, dan 1% Muskovit, Apatit, Titanit, serta mineral-mineral lainnya.

Salah satu karakteristik yang membedakan batuan granit dari batuan vulkanit adalah tekstur permukaan batuan yang kasar. Permukaan yang kasar ini menyebabkan luas permukaan batuan granit menjadi besar, yang membuatnya lebih rentan terhadap proses pelapukan. Kondisi lingkungan yang paling mendukung untuk pembentukan batuan granit adalah saat terjadi aktivitas gunung api. Proses naiknya magma granit ke permukaan bumi melalui pergerakan yang lambat menghasilkan batuan granit yang besar dan memiliki struktur kasar seperti yang dikenal saat ini.

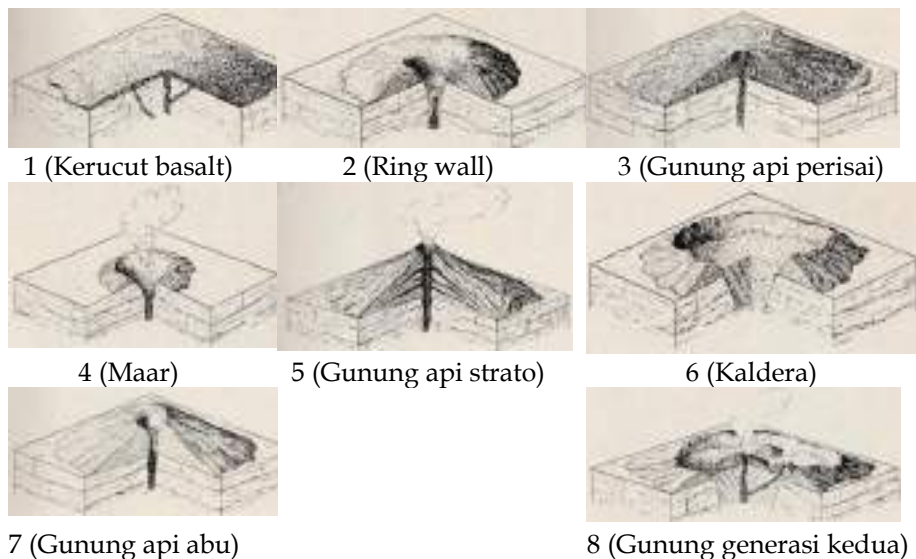
2.5. Orogenesis

Orogenesis adalah serangkaian proses geologis, termasuk proses plutonik (terkait dengan batuan beku), metamorfik (perubahan batuan karena tekanan dan panas), dan tektonik (gerakan kerak bumi) yang berperan penting dalam pembentukan pegunungan. Secara sederhana, gunung api terbentuk akibat akumulasi material hasil letusan vulkanik. Di Indonesia, terdapat sekitar 400 gunung api, dan sekitar 128 di antaranya masih aktif. Dari 128 gunung api aktif tersebut, sekitar 70 di antaranya telah meletus, sementara 58 lainnya masih aktif.

Bentuk gunung api sangat dipengaruhi oleh dua sifat utamanya, yaitu letusan vulkanik dan aliran lava. Berdasarkan karakteristik ini, gunung api dapat dibagi menjadi tujuh bentuk utama (Gambar 2.6), yaitu: (1) Kerucut Basalt, (2) Gunung Api Perisai (Doma Basalt), (3) Gunung Api Strato (Gunung Api Berlapis), Komposit, (4) Gunung Api Abu (Kerucut Cinder), (5) Maar, (6) Kaldera, (7) Gunung Api Generasi Kedua. Klasifikasi ini didasarkan pada dominasi jenis penumpukan material vulkanik yang terjadi selama sejarah gunung api tersebut, baik melalui letusan atau aliran lava. Sebagai hasilnya, bentuk gunung api dapat sangat bervariasi tergantung pada jenis kegiatan vulkanik yang mendominasi di masa lalu atau saat ini

1) Kerucut Basalt

Gunung api ini terbentuk melalui proses pembekuan lava basalt yang memiliki viskositas rendah dan biasanya memiliki ketinggian yang terbatas karena sifat cairan lava tersebut. Sumber lava ini berasal dari retakan panjang pada litosfer bumi. Serangkaian peristiwa aliran lava dapat berulang kali terjadi, yang pada akhirnya menghasilkan penumpukan lapisan lava yang signifikan. Sebagai contoh, pengendapan lapisan basalt dapat ditemukan pada gunung Rangitoto di Selandia Baru dan wilayah Deccan di India. Menariknya, kerucut gunung basalt ini memiliki ketinggian terbatas, biasanya berkisar antara 1.500-3.000 m, sementara luas wilayah pegunungan yang terbentuk sangat luas (mencapai 400.000-1.000.000 km²).



Gambar 2.6. Bentuk-bentuk gunung api

2) Gunung Api Perisai, Doma Basalt (*Shield Volcanoes*)

Pembentukan gunung api ini berawal dari aliran lava basalt yang dalam keadaan cair yang mengalir melalui sumbu pusat gunung dan menyebar ke semua arah. Hasilnya adalah pembentukan gunung dengan lereng yang cenderung landai, menyerupai perisai yang digunakan oleh prajurit Romawi.

Meskipun ketinggian gunung api ini dapat mencapai tinggi tertentu, ciri khasnya adalah dasar gunung yang luas, sehingga istilah "kerucut" tidak tepat untuk menggambarkannya. Aliran lava yang keluar dari tepi gunung melalui rekahan atau patahan (*fissure*) adalah karakteristik utama dari gunung api tipe doma basalt. Jenis gunung api ini sering ditemukan di daerah seperti Hawaii dan Islandia.

3) Gunung Api Strato, Gunung Api Berlapis, Komposit (*Strato Volcanoes*)

Gunung api yang digambarkan juga dikenal sebagai gunung api tipe strato atau stratovolcano yang memiliki bentuk kerucut. Letusan gunung api ini melibatkan pelepasan gas, abu, serta pecahan lava, serta berlangsung dalam urutan peristiwa aliran lava yang berurutan. Akibat dari peristiwa aliran lava berurutan ini, gunung api dengan bentuk kerucut terbentuk. Jenis gunung api ini tersebar di berbagai lokasi di seluruh dunia, dan aktivitasnya biasanya berlangsung dalam periode waktu yang panjang. Karakteristik stratigrafi kasar terlihat pada gunung api ini karena pembentukannya melibatkan perubahan antara aliran lava dan material piroklastik. Gunung api tipe strato ini memiliki kemiringan yang lebih curam dan biasanya terbentuk dengan lebih cepat. Struktur ini mengindikasikan adanya variasi antara letusan yang kuat dan yang lemah. Sekitar 99% gunung api di Indonesia termasuk dalam kategori gunung api tipe strato, termasuk juga gunung Fuji di Jepang (yang memiliki bentuk kerucut teratur) dan gunung Mayon di Filipina.

4) Gunung Api Abu, Kerucut Cinder (*Ash Volcanoes*)

Gunung api ini terbentuk melalui proses eksplosif yang melibatkan pelepasan material yang terdiri dari abu vulkanik secara signifikan, serta sebagian lahar (endapan aliran lumpur vulkanik), dan hancuran piroklastik yang terdiri dari abu, lapilli, dan material kasar lainnya. Pada jenis gunung api ini, kemunculan lava hampir tidak terjadi. Jika material yang

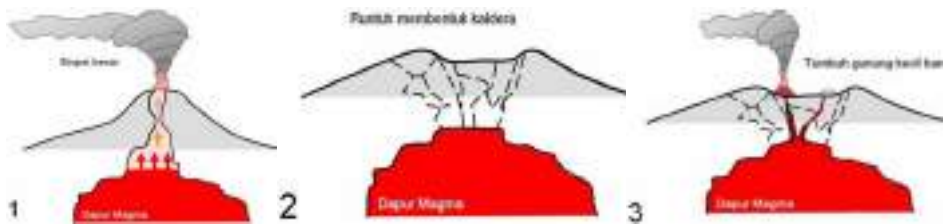
dikeluarkan oleh gunung api tersebar secara merata, maka gunung api dengan bentuk kerucut yang simetris akan terbentuk, seperti contohnya Gunung Fujiyama di Jepang. Namun, jika kawah gunung api ini memiliki diameter yang sangat besar, maka gunung api yang terbentuk akan memiliki ketinggian yang relatif rendah dan sering disebut sebagai "*ring wall*."

5) Maar (Gunung Api Embryo)

Maar adalah formasi geologis berupa corong peledak yang memiliki diameter yang sangat lebar, biasanya lebih dari 1.000 m. Terbentuk akibat letusan gunung api yang kuat, maar ditandai oleh pelepasan material tanah yang berbentuk bulat, dan akhirnya corong ini bisa terisi dengan air. Dalam letusan gunung api tipe maar, biasanya hanya terdapat sedikit abu atau bahkan tidak ada lava yang dikeluarkan. Formasi ini sering kali menghasilkan cekungan dangkal yang kemudian dapat menjadi danau atau rawa-rawa jika terisi air.

6) Kaldera (*Calderas*)

Kaldera merupakan suatu fitur geologi berbentuk kawah yang memiliki bentuk menyerupai kuali dengan dasar yang datar dan pinggiran yang curam. Terbentuk melalui letusan gunung api yang sangat besar atau letusan yang berlangsung dalam jangka waktu yang panjang dan berkelanjutan. Kaldera umumnya ditemukan pada gunung api yang sudah tua. Seiring dengan proses erosi dan penimbunan material tanah, dasar kaldera menjadi datar, padat, dan sering kali terisi oleh air hujan. Di Indonesia, kaldera seringkali memiliki dinding yang curam, dasar yang datar, dan diameter yang beberapa kali lebih besar daripada kawah gunung biasa. Proses pembentukan kaldera dapat diilustrasikan dengan baik dalam (Gambar 2.7). Contoh kaldera di Sumatera meliputi Danau Ranau, Danau Toba, dan sejumlah kaldera lainnya.



Keterangan:

1. Saat terjadi letusan gunung api, maka magma keluar dari dapur magma
2. Terjadi pengosongan magma di dalam dapur magma dan pipa kepundan
3. Terjadi penimbunan massa tanah pada dasar kaldera akibat erosi tanah

Gambar 2.7. Proses pembentukan kaldera

7) Gunung Api Generasi Kedua (*Second-Generation Volcanoes*)

Gunung api tipe ini terbentuk setelah mengalami letusan gunung api yang dahsyat, menghasilkan kaldera yang sangat besar dengan dinding yang curam dan dasar kawah yang datar. Meskipun gunung api ini telah meletus sebelumnya, mereka tetap aktif dan memiliki potensi untuk membentuk gunung api baru di dalam bekas kaldera tersebut. Gunung api yang baru tumbuh di dalam kaldera disebut sebagai gunung api generasi kedua atau gunung api sekunder. Sementara itu, gunung api utama yang mengalami pengikisan biasanya menjadi tidak aktif. Jenis gunung api generasi kedua ini cukup umum ditemui di Indonesia, seperti anak gunung Krakatau yang terletak di dalam kaldera Krakatau, serta gunung api Bromo dan Batok yang berada di tengah kaldera Tengger.

Kadang-kadang, terjadi fenomena di mana lava yang keluar dari kawah langsung membeku dan menutup lubang kepundan, yang dikenal sebagai sumbat lava (*lava plug*). Sumbat lava terbentuk ketika lava liat berbentuk cerobong asap mendesak naik ke permukaan bumi. Namun, karena tingkat elastisitasnya yang tinggi, lava tersebut tidak mengalir dan malah menutup lubang kepundan. Jika sumbat lava mencuat tinggi, mengeras, dan membentuk struktur berbentuk bulat, disebut sebagai jarum lava. Contoh fenomena sumbat lava dapat ditemukan pada gunung Galunggung dan gunung Merapi di Indonesia.

2.6. Teori Geotektonik

Teori geotektonik dalam melihat pengaruh tenaga endogen terhadap pembentukan bumi, antara lain teori pergeseran kontinental, teori kontraksi, teori ekspansi, teori *oscillation*, teori *undation* dan teori lempeng tektonik. Teori pergeseran kontinental mengalami penolakan terhadap validitasnya pada dasawarsa 1960-an. Penolakan ini muncul karena sejumlah peneliti melaporkan bahwa teori ini memiliki keterbatasan dalam menjelaskan peran tenaga endogen dalam proses pembentukan bumi. Teori kontraksi merupakan alternatif yang berakar pada gagasan bahwa pendinginan bumi mengakibatkan penyusutan pada kerak bumi. Penyusutan ini berdampak pada peningkatan tekanan yang signifikan di dalam kerak bumi. Ketika tekanan tersebut melewati batas elastisitas kerak bumi, maka proses patahan tektonik seperti flexur, sembul, dan terban dapat terjadi, yang pada gilirannya memungkinkan terbentuknya gunung-gunung. Selain itu, proses radioaktif juga berperan penting dalam menciptakan panas selama pembentukan gunung. Walaupun teori ini merangkum proses pengembangan dan penyusutan kerak bumi, hasil penelitian yang mendalam akhirnya juga memicu keraguan akan tingkat keabsahan teori ini.

Teori ekspansi didasarkan pemikiran bahwa pengembangan permukaan bumi diakibatkan oleh: (1) panas yang dihasilkan radioaktif dan stagnasi air, dan (2) penurunan konstanta gravitasi. Teori ini dapat diterima hanya saja terbatas untuk menjelaskan pembentukan bumi pada era Prekambrium saja.

Teori *oscillation* menjelaskan bahwa pergerakan bumi disebabkan oleh pergerakan massa magma di dalam mantel bumi. Akibat dari pergerakan massa magma ini, ruang yang besar dapat terbentuk di dalam mantel bumi, dan massa magma dapat diangkat ke permukaan, menghasilkan pembentukan pegunungan. Sementara itu, teori *undation* menjelaskan bahwa proses peleburan dan diferensiasi magma di dalam inti bumi akan menghasilkan magma granit yang

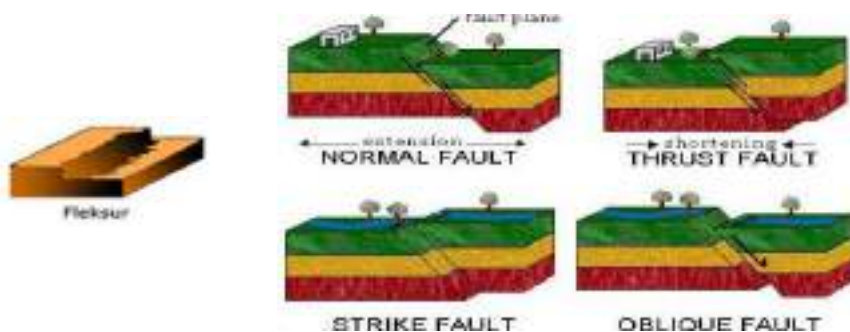
kemudian akan membentuk pembengkangan dan cekungan di permukaan bumi, yang pada akhirnya akan membentuk pegunungan. Namun, teori ini tidak sepopuler di kalangan ilmuwan dan kurang diterima dalam komunitas ilmiah. Teori lempeng tektonik merupakan teori yang sangat populer saat ini untuk menjelaskan bagaimana terjadinya pergerakan bumi. Penjelasan secara rinci tentang teori lempeng tektonik disajikan pada Bab 2.2.

2.7. Patahan Tektonik

Patahan tektonik terjadi sebagai akibat dari pengaruh tekanan, tarikan, dan geseran yang mempengaruhi lempengan atau batuan di kerak bumi. Kerak bumi umumnya tidak homogen, melainkan terdiri dari batuan-batuan dengan berbagai ukuran rongga. Tekanan, tarikan, dan geseran yang kuat dapat menyebabkan patahan dalam kerak bumi. Berikut adalah beberapa bentuk patahan tektonik yang umum terjadi:

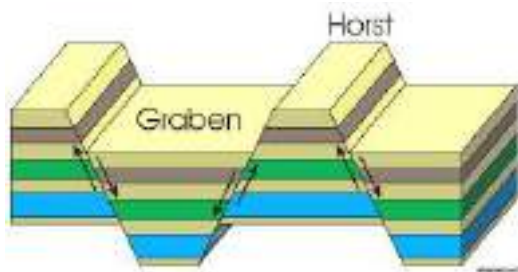
- 1) *Flexur*: merupakan pembengkakan atau lenturan dalam suatu gumpalan batuan atau sedimen tanpa terjadi patahan pada lapisan batuan tersebut. Ini menghasilkan suatu bentukan yang melengkung, tetapi tanpa terjadinya pemisahan lapisan batuan.
- 2) Sembul (*Horst*) adalah jalur batuan yang terletak lebih tinggi dibandingkan dengan dua bagian sekitarnya, dan masing-masing bagian batuan dipisahkan oleh bidang patahan yang mengangkat blok batuan tersebut. Ini menghasilkan suatu struktur geologi yang menonjol ke atas.
- 3) Terban (*Graben*), jalur batuan yang terletak lebih rendah dibandingkan dengan dua bagian sekitarnya, dan masing-masing bagian batuan dipisahkan oleh bidang patahan yang menyebabkan penurunan blok batuan. Ini menghasilkan suatu struktur geologi yang cekung atau cekungan.

Patahan tektonik adalah salah satu mekanisme penting dalam evolusi kerak bumi, yang dapat menghasilkan berbagai jenis fitur geologi seperti pegunungan, lembah, dan bahkan gempa bumi jika terjadi pergeseran tiba-tiba pada patahan tersebut.



1. Flexur

2. Peralihan Flexur ke Patahan



3. Terban (*Graben*)

4. Sembul (*Horst*)

Gambar 2.8. Bentuk patahan tektonik



TENAGA EKSOGEN & PELAPUKAN BUMI

Tenaga eksogen merupakan fenomena alam yang secara terus-menerus mengkatalisis perubahan pada kerak bumi melalui sejumlah mekanisme yang beragam. Di sisi lain, tenaga endogen berperan dalam pembentukan struktur kerak bumi menciptakan bentuk geologi yang berbeda. Kedua jenis tenaga ini, meskipun berbeda dalam tujuan dan lokasi kerjanya, saling berinteraksi dan memiliki peran penting dalam menggambarkan dinamika geologis bumi. Tenaga eksogen berfokus pada proses yang terjadi di permukaan bumi, sementara tenaga endogen berpusat di dalam mantel dan inti bumi.

Studi tentang pelapukan permukaan bumi, maka tenaga eksogen memainkan peran sentral dalam tiga proses geologis utama, yakni proses transportasi, sedimentasi, dan pelapukan. Proses transportasi melibatkan proses abrasi yang terjadi akibat tindakan gelombang laut, erosi yang dipicu oleh air, deflasi yang disebabkan oleh angin, dan longsor yang diakibatkan oleh gaya gravitasi. Proses sedimentasi, juga dikenal sebagai akumulasi atau pengendapan, merujuk pada proses penumpukan material di lokasi tertentu yang kondusif untuk pembentukan sedimen. Proses transportasi dan sedimentasi akan diperdalam dan dianalisis lebih lanjut dalam bab keempat ini, yang membahas aspek-aspek terkait batuan sedimen dalam konteks geologi permukaan bumi.

3.1. Beberapa Tenaga Eksogen

Tenaga eksogen yang terpenting dan berkaitan dengan pelapukan permukaan bumi adalah iklim, air mengalir, angin, ombak laut, es dan *glaciers*.

1) Iklim

Dibandingkan dengan iklim zaman sekarang, maka iklim zaman purba sangat dominan dalam mempengaruhi pembentukan permukaan bumi. Oleh karena itu dalam buku ini hanya akan dibicarakan iklim zaman purba saja. Penjelasan mengenai iklim pada zaman purba terbatas pada periode Kuartar (kurang dari 2 juta tahun yang lalu) karena periode ini memiliki dampak geologis yang sangat dominan pada pembentukan permukaan bumi. Selama periode ini, terjadi fluktuasi antara iklim dingin dan iklim panas yang sangat signifikan di seluruh dunia. Selama periode iklim dingin, permukaan air laut mengalami penurunan karena sebagian besar air laut menguap dari permukaan laut dan membeku di daerah dengan iklim sedang, sehingga tidak berkontribusi pada peningkatan permukaan laut. Pada saat iklim panas, terjadi pelelehan es terutama di daerah dengan iklim dingin, dan air yang meleleh mengalir menuju daerah dengan iklim tropis, seperti wilayah Asia. Akibat perubahan antara iklim dingin dan iklim panas yang berulang ini, terjadi fluktuasi dalam permukaan air laut, yang dampaknya masih dapat diamati hingga saat ini. Meskipun fluktuasi ini tidak sekuat yang terjadi selama periode Kuartar, dampaknya tetap signifikan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada masa lalu, terdapat perubahan signifikan dalam permukaan air laut, dengan tingkat tertinggi mencapai 3-6 m di atas level yang kita alami saat ini. Perubahan ini terjadi antara dua periode dingin yang terakhir. Selama periode Kuartar, pernah terjadi peningkatan permukaan laut setinggi 50 m, sedangkan permukaan laut mencapai tingkat terendahnya sekitar 180 m di bawah permukaan sekarang, terutama dalam konteks dasar wilayah Sunda. Selama periode tersebut, luas daratan juga diperkirakan tiga kali lebih besar daripada yang kita miliki saat ini. Saat ini, permukaan laut di kawasan Sunda mencapai ketinggian sekitar 40-200 m di atas permukaan dasar. Tabel 3.1 memberikan gambaran rinci tentang perubahan permukaan air laut di pantai timur Sumatera Selatan.

Adanya fluktuasi permukaan air laut di Selat Bangka dapat ditemukan melalui bukti morfologi dan geologi di sekitar daerah pantai serta dalam lingkungan laut. Di sepanjang pantai, fosil-fosil hewan laut telah ditemukan sebagai bukti yang menunjukkan perubahan sejarah air laut. Penelitian oleh Tjia (1971), yang dilakukan di pesisir pantai timur Sumatera, mengungkapkan adanya sistem drainase air laut serta pembentukan dataran yang luas dan lembah teras pada masa Pleistosen, yang mencapai usia 2-6 juta tahun yang lalu. Dataran ini dapat diidentifikasi sebagai dataran kontinental purba. Hasil perhitungan menyiratkan bahwa garis pantai pada masa tersebut berada pada ketinggian sekitar -2 m hingga -90 m dari kondisi saat ini.

Tabel 3.1. Dinamika muka air laut selama 6.000 tahun SM di pantai Timur Sumatera

Tahun (Sebelum Masehi, SM)	Tinggi muka air laut dibandingkan permukaan laut sekarang (m)
6.000	+ 4,00
5.000	+ 1,80
4.000	+ 3,00
3.000	+ 0,50
2.000	- 1,50
1.000	+ 0,20
Saat sekarang	+ 0,00

Sumber: Diolah dari Kraus (1992) dan Healy (1991).

Bukti lebih lanjut melalui struktur vertikal air laut, khususnya di bawah lapisan sedimen Holosen yang berusia sekitar 10.000 tahun SM, maka ditemukan bukti pergerakan delta sungai yang sesuai dengan sistem drainase zaman Pleistosen. Selain itu, ditemukan lapisan gambut dengan ketebalan sekitar 26,5 m pada permukaan sedimen yang berumur 10.000 tahun SM. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa zaman Holosen, yang merupakan periode kering terakhir, memiliki dampak signifikan pada pantai timur,

Sumatera, dan telah menyebabkan perubahan dalam lingkungan pesisir tersebut.

Selain itu, diadakan penelitian air laut pada 10.000 tahun SM yang diperoleh dengan metode C^{14} pada 33 sampel lapisan gambut yang berasal dari kedalaman laut (*submarine*) - 0,6 sampai - 67,3 m dan tanah daratan pada kedalaman + 0,6 m sampai + 5,9 m. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa lapisan tanah yang terbentuk sekitar 5.000-4.000 tahun SM dapat ditemukan pada kedalaman tanah berkisar antara +2,5 hingga +5,8 m di bawah permukaan saat ini. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa permukaan air laut pada periode antara 36.000 hingga 10.000 tahun SM berada pada kedalaman sekitar 40-60 m lebih dalam dibandingkan dengan kondisi saat ini. Selanjutnya, pada periode antara 8.000 hingga 4.000 tahun SM, terjadi kenaikan permukaan air laut dari 13 m menjadi sekitar +5 m di atas permukaan laut.

Iklim di seluruh dunia dapat secara umum dibagi menjadi beberapa zona iklim yang memiliki pola serupa di belahan bumi utara dan selatan. Zona-zona iklim tersebut mencakup: (1). Zona Iklim Tropis Panas dan Lembab, (2). Zona Iklim Arid (Gersang), (3). Zona Iklim Humid atau Iklim Sedang, dan (4). Zona Iklim Nival (Es). Faktor zona iklim memiliki pengaruh yang signifikan terhadap berbagai proses geologis, pelapukan, dan pembentukan tanah. Rincian pengaruh dari masing-masing zona iklim ini dapat diringkas dalam (Tabel 3.2).

a. Zona Iklim Tropis Panas dan Lembab

Ciri khas dari iklim tropis panas dan lembab adalah jumlah curah hujan yang melebihi evapotranspirasi potensial, mengakibatkan zona iklim ini memiliki kelebihan air hujan. Kelebihan air hujan ini dapat mengalir ke dalam tanah melalui infiltrasi atau mengalir di permukaan tanah sebagai aliran permukaan. Wilayah-wilayah dengan iklim tropis panas dan lembab umumnya terletak di sepanjang garis Ekuator di berbagai negara seperti Indonesia dan Brasil.

Tabel 3.2. Hubungan zona iklim dengan tingkat pelapukan

Zona Iklim	Tingkat Pelapukan
Tropis panas & lembab (Lokasi: Sepanjang garis Ekuator)	1) Hancuran batuan umumnya secara mekanis melalui air mengalir, terjadi pengikisan batuan, didominasi batuan pasir dan liat, erosi dan sedimen 2) Pelapukan fisik relatif minimal, sedangkan pelapukan kimia dan biologis sangat intensif 3) Genesis tanah didominasi oleh pencucian Si dan liat dan tanah berwarna merah
Arid (Lokasi: Padang pasir & Timur Tengah)	1) Mekanisme hancuran batuan umumnya melalui angin dan terjadi proses erosi oleh angin (<i>corrasion</i>) 2) Pelapukan batuan akibat perubahan temperatur sangat intensif dan terjadi akumulasi salinitas (<i>salzsprengung</i>) 3) Tanah yang terbentuk adalah padang pasir, tanah berbatu, tanah salin, <i>chile salpeter</i> , loss (tumpukan debu akibat tiupan angin) dan bukit debu
Humid (Lokasi: Eropa, Amerika & Australia)	1) Hancuran batuan umumnya secara mekanis melalui air mengalir, terjadi pengikisan batuan, didominasi oleh batuan pasir, erosi dan sedimen 2) Pelapukan fisik relatif minimal, sedangkan pelapukan kimia dan biologis sangat intensif 3) Genesis tanah didominasi oleh proses podsolisasi dan pencucian Al dan Fe
Nival (Lokasi: Kutub Utara & Selatan)	1) Hancuran batuan secara mekanis melalui es dan <i>glaciers</i> di daerah yang selalu bersalju 2) Pelapukan batuan terjadi di bawah kondisi titik beku, lokasinya diantara kepulauan es dan selalu permanen dengan salju dan es 3) Pembentukan tanah umumnya melalui proses aliran tanah (<i>solid fluction</i>), struktur tanah dibentuk melalui tiupan angin dan debu dan terjadi pembentukan loss

Iklim di zona ini ditandai oleh suhu yang tinggi sepanjang tahun, dengan suhu berkisar antara 30-33°C, dan tingkat kelembaban udara yang selalu melebihi 80%. Curah hujan

tahunan rata-rata melebihi 1.500 mm, bahkan di beberapa daerah seperti pegunungan Kamerun yang berhadapan dengan laut, curah hujan dapat mencapai 10.000 mm per tahun.

Kondisi panas dan kelembaban yang konsisten ini mendorong terjadinya pelapukan kimiawi yang intensif dan proses pencucian tanah. Pelapukan fisik cenderung lebih minim dalam kondisi ini. Akibatnya, hasil pelapukan batuan asalnya menjadi sangat jelas, dan bahan asal tanah umumnya tidak ditemukan pada kedalaman lebih dari 500 m. Salah satu ciri khas pembentukan tanah di daerah ini adalah intensitas tinggi dari proses erosi dan sedimentasi yang terjadi akibat aliran air yang melimpah.

b. Zona Arid

Ciri khas dari zona iklim Arid adalah jumlah curah hujan yang lebih rendah dibandingkan dengan jumlah evapotranspirasi potensial. Wilayah-wilayah dengan iklim ini terletak di sebelah utara dan selatan zona iklim savana, dan contohnya termasuk daerah Gurun Pasir. Di daerah ini, kelembaban udara rendah, yang berarti bahwa tingkat penguapan potensial sangat tinggi. Selain itu, perbedaan suhu harian yang ekstrem sangat menentukan tingkat pelapukan, karena suhu tinggi selama siang hari dan suhu rendah selama malam hari memainkan peran penting dalam proses pelapukan termal. Meskipun pelapukan kimiawi juga terjadi, tetapi cenderung lebih lemah dibandingkan dengan pelapukan fisik. Angin yang membawa debu dan pasir halus juga menjadi faktor penting dalam pembentukan tanah di daerah ini. Proses ini disebut "*deflasi*" dan menyebabkan terbentuknya tanah yang sering kali disebut sebagai "*loss*". Debu dan pasir yang terbawa oleh angin dapat mengendap dan membentuk lapisan tanah yang berbeda di daerah tersebut.

c. Zona Iklim Humid

Ciri khas dari iklim ini adalah bahwa jumlah curah hujan melebihi jumlah evapotranspirasi potensial. Temperatur udara tahunan rata-rata jarang melebihi 10°C, dan curah hujan tahunan berkisar antara 500-800 mm, meskipun dapat meningkat menjadi 2.000 mm per tahun dalam kondisi tertentu. Kelembaban udara biasanya berkisar antara 60-80%. Kelebihan curah hujan dibandingkan dengan potensi penguapan adalah aspek penting dari iklim ini, karena sebagian air dapat meresap ke dalam tanah, menciptakan kondisi yang cocok untuk pertumbuhan tanaman yang subur. Akibatnya, pembentukan biomassa tanaman dapat berlangsung secara signifikan.

Pelapukan kimiawi dan biologis mendominasi proses pelapukan di iklim ini, sementara pelapukan fisik cenderung lebih sedikit, meskipun pelapukan fisik yang disebabkan oleh aktivitas biologis, seperti aktivitas mikroba tanah dan pengaruh akar tumbuhan, memiliki peran penting. Pembentukan permukaan bumi dipengaruhi oleh aliran air yang mengalir, yang mengambil peran penting dalam mengubah bentuk dan karakteristik tanah dan lanskap di daerah ini.

d. Zona Iklim Nival

Zona ini terletak di wilayah Kutub Utara dan Kutub Selatan, serta di pegunungan tinggi yang ditutupi oleh salju. Contohnya, Pegunungan Jayawijaya di provinsi Papua. Sebagian besar curah hujan di zona ini jatuh dalam bentuk salju dan es. Di daerah yang selalu bersalju, salju cenderung membeku dan bertambah dalam jumlahnya, yang akhirnya membentuk gletser. Hanya pada musim panas, permukaan tanah dapat mencair, seperti yang terjadi di daerah tundra. Di zona ini, pertumbuhan dan perkembangan tanaman terbatas, dan hanya beberapa jenis tanaman, seperti lumut dan ganggang, yang dapat tumbuh dan berkembang. Curah hujan tahunan rata-rata sekitar 250 mm per tahun, seperti di Siberia Utara, meskipun di pegunungan yang tinggi, curah hujan dapat melebihi 2.000 mm per tahun.

Pelapukan yang umumnya terjadi di zona ini adalah pelapukan fisik, yang terutama disebabkan oleh pecahan es yang dapat menyebabkan batuan pecah. Iklim yang sangat dingin dan kondisi salju yang berkelanjutan adalah ciri utama dari zona iklim ini, yang mempengaruhi flora dan proses geologis di wilayah-wilayah tersebut.

2) Air Mengalir (Sungai)

Aktivitas aliran air memegang peranan yang sangat dominan dalam proses pelapukan permukaan bumi, di mana sungai menjadi komponen utama dari fenomena ini. Air dalam sungai yang besar memiliki asal-usulnya dari sungai-sungai yang lebih kecil, sementara sungai-sungai kecil tersebut menerima pasokan air dari anak-anak sungai yang bahkan lebih kecil. Anak-anak sungai ini, pada gilirannya, mendapatkan suplai air mereka dari dua sumber utama, yaitu glasier dan mata air. Mata air, secara spesifik, merupakan aliran air tanah yang mengalir ke permukaan. Oleh karena itu, sungai selalu bergantung pada sumber air yang berasal dari curahan atmosfer, khususnya dalam bentuk air hujan, untuk menjaga aliran airnya tetap berlangsung. Berbagai aktivitas dan karakter sungai yang penting untuk diketahui, antara lain: (1) kadar garam (zat atau garam-garam terlarut) dan kadar lanau (benda-benda padat yang mengapung), (2) transpor dan sedimentasi, dan (3) pembentukan meander.

a. Kadar Garam dan Kadar Lanau

Sebagian besar pasokan air bagi sungai berasal dari air tanah yang mengalir keluar sebagai mata air. Air tanah ini cenderung mengandung sejumlah garam dengan komposisi yang bervariasi, termasuk Kapur (CaCO_3), Halit (NaCl), garam sulfat, dan berbagai zat terlarut lainnya seperti asam kersik, asam humik, asam sulfurik, dan zat-zat organik. Perlu dicatat bahwa sungai yang terletak di hutan umumnya memiliki kadar garam yang lebih rendah daripada sungai yang melewati wilayah perkotaan atau pemukiman.

Bagian-bagian yang mengapung di sungai merupakan hasil dari pengikisan lereng lembah, erosi tepi sungai, dan proses pelarutan bahan padatan yang ada di alur sungai. Ini bukanlah material yang mengendap secara permanen, melainkan diangkut oleh arus sungai ke hilir. Kadar lanau (partikulat) dalam air sungai bervariasi sepanjang profil sungai, tetapi cenderung lebih banyak daripada bahan tersuspensi lainnya. Konsentrasi lanau ini berperan dalam menentukan warna air sungai, dan kualitas warna sungai dapat berubah sesuai dengan karakteristik daerah aliran sungai. Sebagai contoh, sungai Musi memiliki konsentrasi bahan terlarut yang melebihi 250 mg per liter, sehingga tergolong tinggi, yang menyebabkan sungainya cenderung selalu berwarna keruh.

b. Transpor dan Sedimentasi

Air sungai yang mengalir memiliki energi kinetik yang signifikan yang memungkinkannya untuk melakukan proses transportasi yang penting. Kemampuan transportasi ini sangat bergantung pada dua faktor utama, yaitu kecepatan aliran dan volume air. Di daerah beriklim tropis, komposisi material yang diangkut oleh sungai terdiri sebagian besar (80%) dari partikel berupa debu dan liat serta sekitar 20% merupakan pasir. Sebagian besar dari material yang diangkut oleh sungai ini akan mengalir menuju laut atau mengendap di dasar sungai. Sumber material yang diangkut meliputi bahan dari daratan sekitarnya dan juga dari erosi material di tepi sungai itu sendiri.

Selain itu, batu dan pasir yang terdapat di dasar sungai akan mengalami pergerakan yang disebabkan oleh arus sungai. Batuan-batuan ini memiliki bentuk asli yang tidak teratur dan sering kali bersegi. Seiring berjalannya waktu dan proses gesekan, batuan-batuan ini akan mengalami peluruhan menjadi bentuk yang lebih bulat atau datar seperti batu guling atau batu geser. Apabila kekerasan batuan ini rendah, maka batuan tersebut akan mengalami pelapukan dan pelarutan, akhirnya berubah menjadi pasir dan partikulat lainnya seperti lanau.

Pengangkutan batuan dalam sungai mengalami serangkaian perubahan, yang melibatkan proses menggeser dan menggulingkan. Akibatnya, terjadi penyortiran yang sangat baik terhadap batuan-batuan tersebut. Misalnya, batuan kuarsit akan mengalami transformasi menjadi batu geser yang memiliki bentuk elips dan datar. Proses perubahan ini memerlukan jarak tempuh sekitar 10-20 km untuk mencapai bentuk elips, dan bahkan 100-300 km untuk mencapai bentuk yang benar-benar bulat. Di sisi lain, batu pasir akan menjadi batu guling yang berbentuk bulat, dan seiring berjalannya waktu, batu ini akan mengalami pelapukan hingga menjadi pasir. Proses pembulatan batuan ini membutuhkan jarak tempuh sekitar 1-5 km, dan kadang-kadang lebih dari 50 km agar berubah menjadi benar-benar bulat atau berubah menjadi pasir.

Batu-batu guling yang menumpuk dalam alur sungai berkontribusi dalam pembentukan delta sungai. Delta tersebut dapat terbentuk sebagai delta pasir atau delta batu guling, tergantung pada kekuatan aliran sungai. Pada sungai dengan pola meander, delta sungai cenderung terletak di sepanjang tepi aliran sungai yang berkelok-kelok, sementara pada sungai dengan aliran yang lurus, delta sungai akan muncul secara bergantian di kedua sisi arus sungai. Delta ini selalu mengalami perpindahan dari sisi yang menghadap aliran sungai ke sisi yang berlawanan dengan arus sungai. Kecepatan aliran air sungai ditahan oleh tahanan gesekan, sehingga dapat dibedakan gesekan sebagai berikut:

- 1) Gesekan luar, yaitu gesekan terhadap tebing sungai, dasar sungai dan udara
- 2) Gesekan dalam, yaitu gesekan yang disebabkan oleh bagian-bagian air yang mengalir dengan kecepatan yang tidak sama. Garis arus sungai adalah garis khayal yang menghubungkan titik-titik yang mempunyai kecepatan terbesar.

Dalam konteks ini, garis arus mengacu pada garis yang membentang sepanjang profil sungai dan menghubungkan

titik-titik di mana kecepatan air mencapai tingkat tertinggi. Dalam alur sungai yang ideal, garis arus berada di tengah sungai dan sedikit di bawah permukaan, karena gesekan udara pada permukaan air dapat menghambat kecepatan air. Ketika titik-titik dengan kecepatan yang setara dihubungkan, maka akan menghasilkan sebuah "Diagram *Isotache*" yang menggambarkan pola kecepatan air di sepanjang sungai.

Selama periode banjir atau saat air sungai naik, garis arus ini menjadi area di mana peningkatan air yang signifikan terjadi, sehingga permukaan air sungai menjadi lebih tinggi atau cembung. Sebaliknya, ketika air sungai menurun atau turun, garis arus ini menjadi wilayah di mana pengurangan air yang paling mencolok terjadi, dan akibatnya, permukaan air sungai menjadi lebih rendah atau cekung. Berdasarkan sistematika gerak aliran sungai, maka dapat dibedakan tiga jenis gerak aliran, yaitu:

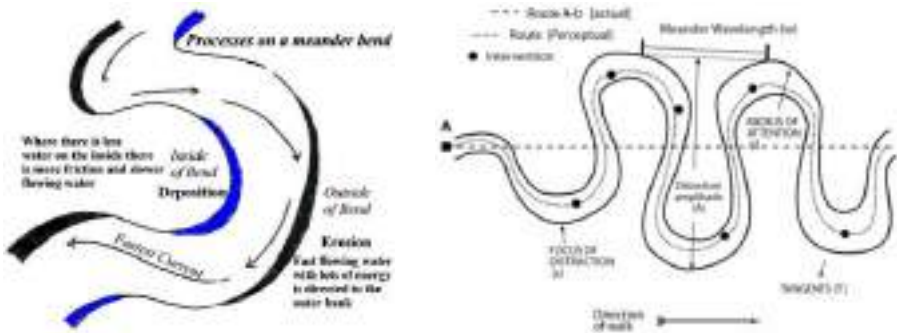
- 1) Gerak laminar meluncur, yaitu gerak bagian-bagian air yang mengalir dalam tempuhan yang sejajar. Gerak ini terdapat pada sungai yang mengalir lambat. Misalnya sungai Lempuing di OKI Sumatera Selatan
- 2) Gerak turbulensi, yaitu gerakan bagian-bagian air seakan-akan mengalir simpang siur tidak beraturan. Kebanyakan sungai-sungai menunjukkan gerak turbulensi karena air sungai mempunyai viskositas yang rendah
- 3) Gerak terjun, yaitu gerakan yang terjadi karena beda tinggi besar sekali. Gerak terjun ini terjadi pada air terjun, sehingga gerak turbulensi tidak berpengaruh lagi. Misalnya air terjun di Pagar Alam Lahat.

c. Pembentukan Meander

Secara ideal, garis arus, yang merupakan jalur dengan kecepatan air terbesar, akan berada pada posisi yang paling jauh dari kedua tepi sungai atau persis di tengah-tengah sungai jika sungai tersebut lurus dan bagian terdalamnya juga berada di tengah-tengah. Jika garis yang menghubungkan bagian terdalam dari sungai tidak berada persis di tengah, maka garis

arus akan terasa tertarik menjauh dari pusat sungai tersebut. Di lapangan, ternyata garis arus terdesak ke arah tepi sungai, hal ini disebabkan oleh: (1) adanya pergantian arah sungai, dan (2) gangguan dalam alur sungai, seperti pohon, dinding batu padas di tepi sungai dan hambatan fisik lainnya.

Pergeseran garis arus ini memiliki konsekuensi terhadap pergerakan air yang memiliki kecepatan tertinggi ke salah satu tepi sungai, terutama ketika air sedang naik. Dampaknya adalah pergeseran garis arus ke tepi sungai yang berlawanan, dan situasi ini kemudian terbatas dan dipengaruhi oleh aliran sungai yang biasa, yang dipengaruhi oleh kontur atau topografi sungai itu sendiri. Dengan demikian, erosi tepi sungai terjadi secara sistematis, dan sungai-sungai di dataran rendah mengembangkan kelokan-kelokan besar, sementara arah utama sungai tetap tidak berubah (Gambar 3.1). Kelokan-kelokan ini dikenal sebagai "meander" (berasal dari bahasa Yunani, yang bermakna hiasan ornamen meander).



Gambar 3.1. Proses pembentukan meander

Proses pembentukan meander merupakan fenomena yang umum terjadi pada setiap sungai di dataran rendah, dan setiap sungai memiliki kecenderungan untuk memperbesar meandernya. Perubahan posisi meander sungai ke arah hilir disebabkan oleh aliran sungai yang paling kuat bekerja pada bagian hilir dari kelokan meander tersebut. Oleh karena itu, aliran sungai yang paling kuat tidak selalu bergerak secara tegak lurus terhadap kelokan meander, yang mengakibatkan

terjadinya erosi yang signifikan pada tepi sungai sebelah luar kelokan meander. Sebaliknya, pada tepi sungai sebelah dalam kelokan meander, sedimen akan tertumpuk dan membentuk daerah yang disebut delta. Oleh karena itu, tepi sungai akan menunjukkan karakteristik yang sangat berbeda antara tepi sebelah dalam dan tepi sebelah luar meander sungai. Ketika tepi sungai memiliki kemiringan yang curam, maka tepi sungai akan cekung, sementara jika kemiringannya landai, maka tepi sungai akan cembung. Selain itu, delta biasanya terletak di bagian hilir dari sungai.

Sungai yang mengalami meandering akan terus mengalami perkembangan. Leher antara dua kelokan meander akan semakin menyempit dan akhirnya akan terjadi perobohan, yang mengakibatkan kelokan meander tersebut akan menjadi bagian yang terisolasi di dalam bentang lahan. Selanjutnya, meander baru akan terbentuk sebagai bagian dari proses ini. Memahami proses pembentukan meander ini memiliki pentingnya dalam analisis dinamika pembentukan bentang lahan sepanjang aliran sungai, serta dalam merencanakan potensi pengelolaannya.

3) Angin

Pengaruh angin terhadap lingkungan dapat dibagi menjadi tiga aspek utama, yaitu penghancuran batuan, transportasi bahan, dan sedimentasi material. Kekuatan angin yang berperan dalam proses ini sangat bergantung pada kecepatan dan durasi angin yang bertiup. Salah satu proses utama yang terkait dengan pengaruh angin adalah deflasi, yang menyebabkan terjadinya korasi. Korasi merupakan proses erosi yang dipicu oleh aksi angin dan biasanya terjadi di wilayah terbuka tanpa tutupan vegetasi, terutama ketika kecepatan angin mencapai tingkat yang signifikan. Tingkat korasi sangat tergantung pada ukuran partikel tanah yang diangkut oleh angin, dengan urutan kerentanan sebagai berikut: pasir kasar < pasir sedang < pasir halus dan debu > liat. Dalam konteks ini, fraksi tanah yang paling rentan

terhadap korasi adalah pasir halus dan debu (dengan diameter partikel antara 0,006-0,2 mm), sedangkan partikel dengan ukuran lebih dari 2 mm tidak dapat diangkut oleh angin. Tumpukan partikel pasir halus dan debu yang dihasilkan oleh aksi angin ini dapat membentuk endapan yang dikenal sebagai loss (*loess*). Komposisi umum dari endapan loss dapat ditemukan pada Tabel 3.3, yang merangkum karakteristik dari material yang terkumpul melalui proses ini.

Tabel 3.3. Komposisi umum loss

Ukuran Fraksi (mm)	Fraksi tanah	Kandungan (%)
< 0,002	Liat	16-36
0,002-0,006	Debu halus	25-30
0,006-0,02	Debu sedang	35-55
0,02-0,06	Debu kasar	50-65
0,06-0,2	Pasir halus	8-40
0,2-0,6	Pasir sedang	1-7
0,6-2	Pasir kasar	0,5-3
> 2	Batuan	--

Sumber: Mueckenhausen (1993).

Angin juga memainkan peran penting dalam transportasi abu vulkanik, seperti yang terjadi selama letusan Gunung Krakatau pada tahun 1883. Pada peristiwa tersebut, material vulkanik berupa bims berhasil diangkut oleh angin dan tersebar jauh ke atmosfer. Sebagai bukti konkret, batuan bims ini ditemukan menempel pada dinding jurang di Goettingen, Jerman. Analisis kimia yang dilakukan terhadap batuan bims yang ditemukan ini mengungkapkan bahwa komposisi kimianya identik dengan batuan bims yang dilepaskan selama letusan Gunung Krakatau.

Hal ini menunjukkan bahwa angin memiliki kemampuan yang signifikan dalam mengangkut dan mendistribusikan partikel-partikel vulkanik yang sangat ringan seperti bims ke jarak yang cukup jauh dari sumber letusan. Fenomena ini merupakan contoh nyata dari bagaimana pengaruh angin dapat

memiliki dampak besar pada transportasi dan penyebaran material vulkanik, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi lingkungan di lokasi yang jauh dari letusan itu sendiri. Sehubungan dengan uraian di atas, maka sebagai kesimpulan umum tentang pengaruh angin terhadap pembentukan permukaan bumi dan tanah adalah sebagai berikut:

- 1) Angin mampu mengasah permukaan batuan melalui tiupan angin yang membawa pasir dan debu
- 2) Dalam proses transportasi terjadi sortasi fraksi pasir dan debu sampai pada ukuran tertentu yang dapat dibawa oleh angin
- 3) Terjadi penyebaran bukit pasir yang kurang subur dalam berbagai macam bentuk khususnya di daerah gurun Sahara
- 4) Terjadi pembentukan sedimen loss yang subur dan sedimen mirip loss
- 5) Terjadi penyebaran debu berbagai bentuk, misalnya abu vulkanik.

4) Laut dan Ombak Laut

Laut dan samudra menutupi sekitar 71% dari seluruh permukaan Bumi, sementara daratan hanya mencakup sekitar 29% dari luas total. Fakta ini menunjukkan betapa pentingnya peran laut dan samudra dalam konteks kehidupan manusia dan ekosistem global. Untuk mendalaminya lebih lanjut dalam konteks pembentukan morfologi Bumi, perlu memahami beberapa konsep dasar, yaitu tanah marin, air laut, pasang surut, ombak laut, dan pantai.

a. Tanah Marin (*Marine Soils*)

Tanah marin adalah area di bawah permukaan laut yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses sedimentasi, di mana berbagai fraksi sedimen dari daratan mengalami erosi atau abrasi dan kemudian terendapkan. Biasanya, tanah marin terdiri dari tiga jenis utama sedimen, yaitu sedimen klastis (yang terdiri dari pecahan batuan seperti kerikil, pasir, dan liat

yang berasal dari daratan), sedimen biogenik dan kimiawi (termasuk batuan seperti kapur, dolomit, dan batuan silika), serta sedimen yang mengandung unsur Fe dan P.

Kelompok organisme kerang-kerangan, seperti kerang kapur dan rangka batuan silika, memiliki peran yang signifikan dalam membentuk komposisi sedimen laut. Di daerah tropis, terumbu karang, yang dikenal sebagai bunga karang, merupakan salah satu jenis kelompok organisme ini yang sangat penting, tidak hanya memberikan struktur fisik untuk ekosistem, tetapi juga berperan dalam proses pembentukan sedimen laut.

Demikianlah, tanah marin adalah zona di bawah permukaan laut yang menjadi tempat akumulasi berbagai jenis sedimen, di mana kelompok organisme seperti kerang-kerangan, termasuk terumbu karang, memiliki kontribusi penting dalam membentuk komposisi sedimen ini.

b. Air Laut

Kandungan air laut yang memberikan rasa asin yang umumnya dikenal disebabkan oleh adanya garam-garam terlarut, terutama Natrium Klorida (NaCl), yang memiliki proporsi sekitar 3,5% dalam komposisi air laut secara umum. Sebagian besar garam ini tetap relatif stabil dalam komposisi air laut. Namun, perubahan dalam kandungan garam air laut dapat dipengaruhi oleh faktor iklim tertentu. Sebagai contoh, dalam kondisi iklim yang kering seperti yang ditemukan di Laut Merah, kandungan garam dalam air laut dapat meningkat hingga mencapai sekitar 4%. Di sebaliknya, di wilayah dengan iklim yang lebih lembap dan cenderung bersalju, seperti yang terjadi di Laut Timur, kandungan garam dalam air laut lebih rendah, berkisar antara 1-1,5%.

Perbedaan iklim memainkan peran penting dalam mengatur variasi kandungan garam dalam air laut, yang pada gilirannya memengaruhi sifat air laut yang kita kenal sebagai "asin." Hal ini menggambarkan sejauh mana faktor lingkungan dapat memengaruhi komposisi kimia air laut. Disamping itu

laut juga mengandung gas O₂ dan CO₂. Secara terperinci susunan kimiawi air laut disajikan pada Tabel 3.4. Aliran-aliran di laut merupakan faktor pembentuk tanah marin dan pesisir, misalnya melalui proses sedimentasi, pelarutan dan pembentukan sedimen dengan *ripple*.

Tabel 3.4. Susunan kimiawi rata-rata air laut

Kation dan anion dominan	Kandungan (%)
Cl ⁻	1,93
Na ⁺	1,08
SO ₄ ²⁻	0,27
Mg ²⁺	0,13
K ⁺	0,04
Ca ²⁺	0,04
HCO ₃ ⁻	0,012
Br ⁻	0,009

c. Pasang Surut

Akibat dari interaksi gaya tarik gravitasi yang dihasilkan oleh Bulan dan pengaruh angin, terjadi fenomena ombak laut dan pasang surut. Interval waktu antara puncak pasang dan puncak surut memiliki periode sekitar 12 jam. Meskipun pasang surut di samudra lepas cenderung relatif kecil, dan seringkali menyertai ombak laut yang besar dengan kecepatan berkisar antara 10-300 m/detik. Proses pasang surut ini mencapai intensitas maksimum ketika ada hambatan fisik seperti pantai, tanjung, selat, atau area sempit lainnya. Sebagai contoh, di muara sungai Musi, kenaikan air pasang bisa mencapai lebih dari 2,5 m dari level air normalnya. Selama periode pasang surut ini, sejumlah besar batuan sedimen terangkut ke pantai dan terus bergerak mengikuti perubahan air laut yang naik dan turun.

d. Pantai (*coastal*)

Pantai atau pesisir dapat didefinisikan sebagai wilayah transisi antara laut dan daratan. Ke arah darat, wilayah pantai

mencakup daerah yang masih terpengaruh oleh interaksi air laut seperti percikan air laut dan pasang surut. Ke arah laut, wilayah pantai meliputi area yang merupakan bagian dari paparan benua atau *continental shelf*. Pengkajian wilayah pantai dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, namun, dari perspektif geologi, fokus utama adalah pada aspek morfologi pantai. Ini mencakup perbedaan antara pantai yang curam atau terjal dengan pantai yang datar.

Pantai yang curam memiliki energi ombak laut yang sangat besar saat mencapai zona brandung. Energi ombak ini mampu menggerakkan blok-blok batuan besar yang terletak di dinding pantai yang curam. Selain itu, air laut yang terperangkap di celah-celah antara blok-blok batuan tersebut dapat menciptakan tekanan terhadap batuan, yang pada gilirannya dapat menyebabkan pergeseran batuan akibat tekanan air. Akibat dari proses ini, pecahan-pecahan batuan tersebar di sepanjang pantai dan terbawa ombak laut dengan kecepatan yang relatif tinggi. Seiring berjalannya waktu, terjadi pengikisan dan pembulatan terhadap pecahan-pecahan batuan yang awalnya berbentuk bersegi-segi dan tidak teratur. Proses pembulatan ini menghasilkan batuan-batuan yang memiliki bentuk elips dan bulat yang sering disebut sebagai "batu guling." Dengan demikian, pantai yang curam memiliki karakteristik geologi yang unik, dengan proses alami seperti penggerakan batuan dan pengikisan yang membentuk lanskap pantai yang khas. Selanjutnya, batas dinding yang curam akan membentuk tebing yang terjal atau jurang (*cliff*). Akibat kerja ombak yang terus menerus, maka batas pantai semakin mengarah ke daratan, sedangkan pecahan batuan semakin tersebar di daerah dataran pantai.

Pekerjaan ombak laut yang menghantam blok batuan ini disebut proses abrasi (*abrasion*). Ketahanan blok batuan terhadap hempasan ombak laut sangat tergantung pada daya tahan blok batuan dan besarnya energi yang dilepas, misalnya blok batuan granit di pulau Bangka terkikis rata-rata 25 cm per tahun. Disamping itu, fauna dan flora laut seperti kerang dan

akar tumbuhan mampu mengebor batuan pantai yang mempermudah terjadinya pelapukan fisik batuan. Dengan semakin mundurnya tebing terjal ke arah daratan, maka wilayah abrasi akan semakin luas dan panjang. Jika wilayah abrasi semakin luas dan panjang, maka ombak laut kehilangan energi dan kemampuan untuk menghancurkan batuan pada tebing terjal. Akibat semakin berkurangnya energi ini, pada akhirnya pecahan-pecahan batuan akan berkumpul sepanjang sisi pantai serta tercapai suatu kondisi keseimbangan pantai.

Di daerah pantai yang landai, seringkali tidak terdapat batuan yang cukup tahan terhadap erosi oleh energi ombak laut. Sebagai gantinya, energi ombak ini akan mengikis dan merusak lapisan tanah pantai. Tanah pantai akan tererosi dan material yang tererosi tersebut kemudian akan terendapkan kembali di daerah pantai. Proses pengikisan dan sedimentasi ini terjadi secara bergantian sampai mencapai suatu keseimbangan. Keseimbangan ini ditandai oleh fakta bahwa fraksi material yang tererosi akan terus mengalami sedimentasi kembali. Karena proses ini berlangsung dalam kondisi keseimbangan, maka pada daerah seperti ini sering terbentuk "*ripple*" atau pola gelombang kecil pada permukaan tanah.

Ripple yang terbentuk dapat disebabkan oleh pengaruh ombak laut atau angin. Jika pola *ripple* yang terbentuk bersifat simetris dan menutupi area yang luas, maka hasilnya akan menjadi sedimen dengan pola yang dikenal sebagai "*oszillation ripple*". Pola ini menggambarkan bagaimana energi ombak atau angin berinteraksi dengan permukaan tanah pantai yang landai, menciptakan pola reguler yang terlihat seperti gelombang kecil pada permukaan. Dengan demikian, di daerah pantai landai, proses erosi dan sedimentasi berkontribusi pada pembentukan pola *ripple* yang dapat disebabkan oleh efek ombak laut atau angin, dan ini adalah contoh dari bagaimana dinamika lingkungan alam dapat membentuk berbagai fitur geologis di daerah pesisir.

e. Ombak Laut

Ombak laut timbul akibat interaksi antara energi angin yang bertiup dengan permukaan air laut, yang menghasilkan gesekan antara keduanya. Tinggi ombak ini bervariasi secara signifikan tergantung pada kekuatan angin yang mendorongnya. Di wilayah laut Utara, tinggi ombak dapat mencapai lebih dari 6 m, sementara di samudra lepas, ombak dapat mencapai ketinggian lebih dari 20 m. Di sebaliknya, di selat Bangka, tinggi ombak cenderung lebih rendah, berkisar lebih dari 1 m pada perairan yang dangkal, dengan kedalaman air kurang dari 0,5 m, sering terjadi interaksi yang lebih intens antara ombak laut dan dasar laut. Ini dapat menghasilkan fenomena yang dikenal sebagai "*brandung zone*." *Brandung* adalah proses pemecahan energi ombak atau penghempasan ombak yang terjadi ketika ombak mencapai pantai atau area dengan kedalaman air yang sangat dangkal. Proses ini sering memiliki dampak signifikan pada dinamika pesisir dan pembentukan fitur geologis di daerah tersebut.

5) Es dan Glaciers

Pengaruh es dan *gletser* memiliki peran yang sangat signifikan dalam pembentukan permukaan bumi, terutama selama periode zaman Kuartar dan Tersier. Kedua periode ini ditandai oleh fluktuasi suhu Bumi yang ekstrem, yang berkontribusi pada berbagai proses geologis dan geomorfologi penting yang memengaruhi perkembangan permukaan bumi.

Gletser merupakan akumulasi besar es yang terbentuk dari akumulasi dan kristalisasi ulang salju. Mereka bergerak secara perlahan-lahan ke bawah lereng karena tekanan yang besar yang dihasilkan oleh bobot mereka sendiri. Pergerakan *gletser* sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jumlah massa es, suhu lingkungan, dan luas wilayah yang ditutupi oleh *gletser* tersebut. Pergerakan *gletser* tidak merata, dengan kecepatan maksimum terjadi di bagian tengah *gletser* dan kemudian melambat saat mendekati tepinya. Kecepatan rata-rata pergerakan *gletser* berkisar antara 0,1-0,5 m/detik. Namun,

di daerah seperti pegunungan Himalaya di India, *gletser* dapat bergerak dengan kecepatan 2-3 m/detik, sementara ketebalannya bervariasi tergantung pada lingkungan tempat *gletser* tersebut terbentuk. Oleh karena itu, *gletser* adalah agen geomorfologi yang kuat yang dapat membentuk dan memengaruhi berbagai fitur permukaan bumi. Periode Kuartar dan Tersier, dengan fluktuasi suhu yang drastis, memainkan peran penting dalam dinamika pembentukan dan pergerakan *gletser* serta perubahan dalam lanskap bumi.

Dampak *glaciers* terhadap pembentukan permukaan bumi dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu (1) transpor dan sedimentasi batuan, (2) pengaruh *glaciers* terhadap permukaan tanah, dan (3) proses pelapukan permukaan bumi akibat *glaciers*.

a. Transpor dan Sedimentasi Batuan

Gletser yang sedang bergerak memiliki kapasitas untuk mengangkut berbagai jenis batuan atau material, mulai dari partikel-partikel debu hingga blok batuan berukuran besar, tanpa melakukan sortasi. Massa batuan yang terbawa oleh pergerakan *gletser* dikenal sebagai *moraine*. Ketika batuan berada di atas permukaan *gletser* selama pergerakan, batuan tersebut tetap mempertahankan bentuk bersegi-segi dan tidak beraturan karena tidak mengalami gesekan dan tidak tergeser.

Namun, saat batuan berada di dalam dan di bawah *gletser* yang terus bergerak, mereka akan terkena gesekan dengan permukaan bumi. Proses ini menyebabkan pembulatan pada batuan-batuan tersebut, yang akhirnya membentuk batuan dengan bentuk elips dan bulat yang dikenal sebagai "batu guling" atau "*geschiebe*".

Di Pulau Sumatera, berbagai jenis batuan guling ditemukan di sepanjang tepian sungai besar dan di lembah sungai, khususnya di daerah-daerah di mana terjadi pergerakan *gletser* dalam sejarah geologisnya. Batuan guling ini berasal dari berbagai jenis batuan, termasuk vulkanit, plutonit, dan metamorfit. Mereka adalah bukti sejarah geologi

yang penting yang mengungkapkan peranan penting gletser dalam membentuk lanskap dan geologi di wilayah tersebut.

b. Pengaruh *Glaciers* Terhadap Permukaan Tanah

Dampak geologis paling signifikan dari pergerakan gletser terhadap permukaan tanah adalah proses erosi yang dikenal sebagai eksarasi (*exaration*), yang berasal dari bahasa Latin "*exarare*" yang berarti perjalanan. Ketika *gletser* bergerak, eksarasi terjadi, di mana lapisan permukaan tanah yang terbawa oleh gletser dapat membentuk lembah atau ngarai jika lapisan tersebut cukup dalam. Proses eksarasi juga melibatkan pencampuran batuan dengan material lain yang terdapat dalam gletser. Hasil dari pencampuran ini adalah massa batuan yang sangat kompleks. Ini dapat diamati ketika kita mengidentifikasi berbagai jenis batuan yang ditemukan di lembah atau di tepi sungai, yang sebagian besar berasal dari pencampuran selama proses eksarasi.

Selain itu, tempat di mana eksarasi terjadi juga dapat diisi kembali oleh hasil campuran batuan yang terbawa oleh *gletser*. Hal ini menyebabkan bahan dasar tanah menjadi semakin kompleks dan beragam. Dengan demikian, eksarasi adalah proses geologis yang penting dalam membentuk dan mengubah lanskap permukaan bumi, serta dalam menciptakan keberagaman material geologis yang dapat ditemukan dalam berbagai lingkungan geologi seperti lembah, sungai, dan daerah pesisir.

c. Proses Pelapukan Permukaan Bumi Akibat *Glaciers*

Sifat anomali air mempengaruhi perilaku fisik air pada berbagai suhu, dan salah satu poin penting adalah bahwa air mencapai berat jenis tertinggi dan volume terkecilnya pada suhu 4°C. Ketika air mengalami pembekuan pada suhu di bawah 0°C, terjadi perubahan volume di mana volume air meningkat sekitar 9%. Dalam konteks pelapukan, es dapat berperan dalam merusak batuan dengan cara memasuki rekahan, jurang, dan ruang-ruang kapiler dalam batuan secara

paksa. Saat air yang telah masuk ke dalam rekahan atau ruang-ruang batuan membeku, terjadi pemuaian tanah dan menciptakan tekanan yang sangat besar pada batuan. Jika kekuatan ikatan batuan tidak cukup kuat untuk menahan tekanan ini, maka dapat terjadi pemecahan atau retakan pada batuan. Tekanan yang dihasilkan selama proses pembekuan bisa mencapai hingga 2.200 kg/cm^2 dan terjadi pada suhu es sekitar -22°C . Penting untuk dicatat bahwa pengaruh pemecahan batuan mencapai puncaknya ketika semua ruang dalam batuan terisi oleh air dan suhu air mencapai -22°C . Dalam konteks geologi, fenomena ini memainkan peran penting dalam proses pelapukan dan pembentukan retakan atau rekahan di dalam batuan.

3.2. Pelapukan Permukaan Bumi

Proses pelapukan diartikan sebagai proses penghancuran batuan di atas permukaan bumi. Proses pelapukan yang terpenting adalah pelapukan batuan dalam pembentukan tanah. Proses ini dapat dikategorikan dalam tiga kelompok, yaitu pelapukan fisik, kimia dan biologis.

1) Pelapukan Fisik

Pelapukan fisik adalah suatu proses alami di mana batuan mengalami pemecahan secara mekanis tanpa mengalami perubahan susunan kimia. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi iklim, aktivitas es dan salju, serta karakteristik geologi daerah tersebut. Faktor iklim, khususnya suhu, memiliki peran penting dalam mempengaruhi pelapukan fisik batuan.

Suhu merupakan faktor iklim yang paling signifikan dalam proses pelapukan fisik. Paparan sinar matahari menyebabkan pemanasan batuan, yang kemudian mengakibatkan pemuaian volume batuan. Sebaliknya, pendinginan batuan menyebabkan penyusutan volume. Sebagai contoh, dengan peningkatan suhu sekitar 50°C , batuan seperti granit dan batuan pasir dengan massa 1 m^3 dapat

mengalami perubahan panjang sekitar 0,25-0,6 mm. Penting untuk dicatat bahwa pemuaian mineral dalam batuan tergantung pada berbagai faktor, termasuk sistem kristal, suhu, warna, dan luas permukaan. Mineral yang memiliki susunan kristal yang kurang simetris cenderung mengalami pemuaian yang lebih tergantung pada permukaan kristalnya. Selain itu, kekasaran permukaan batuan juga dapat mempengaruhi laju pemanasan dan pendinginan, dengan permukaan yang lebih kasar mempercepat proses tersebut.

Dalam konteks ini, pelapukan fisik merupakan proses yang kompleks yang dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor iklim dan geologi. Proses ini berperan penting dalam membentuk bentuk permukaan bumi yang kita kenal saat ini, serta memengaruhi perkembangan dan evolusi landscape di berbagai daerah geografis.

Mineral gelap cenderung lebih cepat menyerap dan menghantarkan panas dibandingkan dengan mineral yang memiliki warna terang. Melalui proses pemanasan dan pendinginan yang berkelanjutan, berbagai tegangan dan tarikan dalam batuan dapat terjadi, yang akhirnya menyebabkan perengangan atau retakan dalam struktur batuan tersebut. Dalam konteks ini, proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi di permukaan batuan memiliki peran yang sangat penting.

Bagian luar batuan lebih responsif terhadap perubahan suhu karena rambatan panas dalam batuan umumnya berlangsung dengan sangat lambat, kira-kira sekitar 3 cm/jam. Akibatnya, perubahan temperatur eksternal pada permukaan batuan menjadi faktor utama dalam menghasilkan tegangan dan tarikan yang memicu proses pelapukan fisik.

Proses pemuaian batuan selama perubahan suhu menyebabkan terjadinya pembentukan retakan atau pecahan dalam batuan. Ini dapat mengakibatkan pembentukan bagian-bagian kecil atau lembaran-lembaran batuan yang terpisah satu sama lain. Selanjutnya, perubahan suhu yang tiba-tiba, seperti hujan yang mengenai batuan yang sudah panas, dapat

menyebabkan perpecahan batuan menjadi potongan yang lebih besar, membelahnya menjadi dua atau bahkan beberapa bagian terpisah.

Batuan membelah diri terutama di daerah permukaan yang bersentuhan antara mineral atau tempat belahan mineral, terutama pada mineral yang memiliki sifat belahan yang sangat baik, seperti feldspar, kalsit, dan muskovit. Selain itu, batuan dengan struktur yang lebih besar atau kurang homogen cenderung lebih mudah pecah dibandingkan dengan batuan yang memiliki struktur lebih halus atau homogen. Proses pelapukan fisik ini merupakan salah satu faktor penting dalam pembentukan dan evolusi permukaan bumi, yang terus berlangsung secara alami di seluruh dunia.

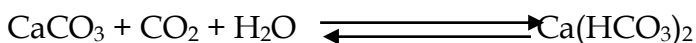
2) Pelapukan Kimia

Pelapukan kimia adalah proses penghancuran batuan melalui reaksi kimia atau perubahan komponen-komponen batuan menjadi zat-zat yang lebih halus. Proses ini dimulai dengan interaksi batuan dengan agen pelarut atau zat cair yang dapat menghancurkan komponen-komponen batuan. Agen pelarut yang paling efektif dalam pelapukan kimia adalah air, dan proses ini dapat dipercepat oleh adanya asam-asam organik.

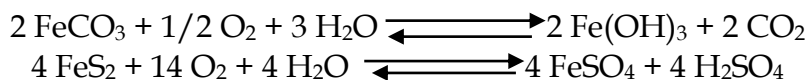
Proses kimia yang utama dalam pelapukan adalah oksidasi, hidrasi, dan hidrolisis. Oksidasi terjadi ketika komponen-komponen batuan bereaksi dengan oksigen, menghasilkan perubahan dalam komposisi kimia batuan. Hidrasi terjadi ketika molekul air mengikat dengan komponen-komponen batuan, sedangkan hidrolisis melibatkan reaksi antara mineral-mineral dalam batuan dengan air, yang menghasilkan pembentukan mineral baru atau zat-zat yang lebih larut.

Air hujan adalah agen pelarut kimia yang sangat penting dalam pelapukan kimia. Hal ini karena air hujan mengandung berbagai komponen terlarut, seperti CO₂ (Karbon Dioksida), SO₂ (Dioksida Belerang), NO₃ (Nitrat), dan NaCl (Natrium

Klorida), yang membuat kemampuannya dalam melarutkan zat-zat sangat tinggi. Selain itu, udara yang terlarut dalam air hujan memiliki komposisi yang dapat berbeda, dengan rata-rata sekitar 62% N, 30% O₂, dan 8% CO₂. Tingginya kadar CO₂ dalam udara dalam air hujan membuatnya sangat efektif dalam menguraikan dan melarutkan berbagai material di atas permukaan bumi. Rangkaian proses pelapukan kimia ini, batuan secara bertahap mengalami perubahan dan penghancuran, yang merupakan bagian integral dari pembentukan tanah dan perubahan landscape di permukaan bumi. Larutan CO₂ atau asam karbonat (CO₃) mampu melarutkan karbonat dan menghasilkan larutan kalsium bicarbonat yang merupakan pelarut aktif.



Oksigen dapat menyebabkan terjadinya oksidasi. Udara di dalam air hujan dengan kandungan oksigen sekitar 30 % akan menyebabkan reaksi oksidasi intensif terhadap komponen apa saja yang menyentuhnya di permukaan bumi. Misalnya Fe dapat bereaksi dengan O₂ membentuk FeO₂ atau membentuk pirit. Reaksi ini akan menyebabkan tanah menjadi sangat masam.



SO₂ adalah gas belerang dioksida yang berasal dari proses pembakaran material yang mengandung S. Oleh karena itu, konsentrasi SO₂ dalam udara cenderung lebih tinggi di daerah perkotaan dan industri yang seringkali menghasilkan emisi SO₂ yang signifikan. Sebagai contoh, ketika sekitar 1 kg batu bara dibakar, sekitar 24 gram SO₂ akan dilepaskan ke atmosfer. SO₂ ini dapat bereaksi dengan air hujan, membentuk senyawa H₂SO₃, dan jika terpapar O₂, akan berubah menjadi Asam Sulfat (H₂SO₄). Asam sulfat ini termasuk dalam kategori asam yang

sangat kuat dan mampu melarutkan berbagai substansi yang terpaparnya.

Gas amoniak (NH_3) terbentuk melalui proses perombakan bahan organik dalam kondisi tereduksi. Di daerah perkotaan dan industri yang padat penduduk, kandungan amoniak dalam udara cenderung lebih tinggi daripada di daerah yang kurang berpenghuni. Sebagai contoh, industri pupuk N memiliki kontribusi signifikan terhadap emisi amoniak. Diperkirakan bahwa curah hujan di sekitar daerah pabrik ini dapat membawa sekitar 1-10 kg/ha amoniak dalam satu tahun.

Halit (NaCl atau natrium klorida) dapat memasuki tanah melalui dua mekanisme utama. Pertama, melalui intrusi air laut, di mana air laut meresap ke dalam tanah daerah pantai. Kedua, melalui air hujan yang datang dari laut. Daerah pesisir dan pantai cenderung memiliki konsentrasi NaCl yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang jauh dari laut. Diperkirakan air hujan di dekat pantai mengandung sekitar 10-20 mg/liter NaCl , sementara di daerah yang jauh dari laut, kandungannya lebih rendah, kurang dari 2 mg/liter NaCl .

3) Pelapukan Biologi

Pelapukan biologi adalah proses pelapukan batuan yang disebabkan oleh interaksi antara komponen organisme dalam tanah, termasuk flora (tumbuhan) dan fauna (hewan). Pelapukan biologi dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu proses biologi fisikawi dan proses biologi kimiawi.

Proses biologi fisikawi adalah jenis pelapukan biologi yang umumnya dipicu oleh pertumbuhan dan perkembangan akar tumbuhan. Akar tumbuhan tingkat tinggi menggunakan rongga dalam batuan untuk mencari air dan unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan mereka. Akar tumbuhan ini menciptakan tekanan turgor sel sekitar 10 bar, yang penting untuk menjaga tegaknya tumbuhan. Untuk mengatasi tekanan ini, diperlukan tekanan sekitar 10-15 kg/cm² agar tumbuhan tetap tegak dan dapat bertahan. Akibat tekanan yang

dihasilkan oleh akar tumbuhan ini, batuan dapat mengalami retakan dan pecah secara langsung.

Contoh konkret dari proses biologi fisikawi ini dapat dilihat pada tumbuhan yang tumbuh di sekitar jalan, yang mampu merusak struktur jalan atau bahkan akar tumbuhan yang dapat merusak pagar. Hal ini terjadi karena akar tumbuhan menembus celah, rongga, atau lapisan batuan untuk mencari air dan unsur hara tanah. Tumbuhan yang sangat aktif dalam proses pelapukan biologi fisikawi ini adalah tumbuhan golongan dikotil yang memiliki akar tunggang yang mampu menembus lapisan tanah atau batuan yang lebih dalam. Proses biologi fisikawi merupakan salah satu mekanisme penting dalam pelapukan batuan yang melibatkan tumbuhan dalam proses pemecahan fisik batuan.

Anda benar, hewan umumnya memiliki peran yang lebih terbatas dalam proses pelapukan biologi fisikawi dibandingkan dengan tumbuhan. Namun, dalam konteks pelapukan biologi fisikawi, cacing tanah adalah salah satu organisme yang memegang peran kunci. Cacing tanah mampu melakukan pencampuran dan pembalikan massa tanah, baik yang bersifat organik maupun anorganik, secara mekanis. Ini mengakibatkan percepatan proses pelapukan karena peningkatan sirkulasi udara dalam tanah dan perbaikan aerasi batuan. Di daerah pantai, hewan pengebor batuan seperti cacing pengebor atau kerang-kerangan pengebor juga dapat langsung berkontribusi pada pelapukan biologi fisikawi dengan cara mengebor atau merusak batuan secara mekanis.

Sementara itu, dalam pelapukan biologi kimiawi, organisme seperti tumbuhan memiliki peran penting. Mereka mengeluarkan sekresi, termasuk asam-asam organik dan CO_2 , yang dapat membantu dalam pelapukan kimia batuan. Selain itu, hasil pernafasan organisme yang hidup di celah-celah batuan dapat menghasilkan CO_2 dan membentuk asam karbonat. Batuan dengan permukaan yang kasar dan berongga cenderung menjadi tempat tinggal bagi mikroorganisme lebih banyak daripada batuan yang padat. Pelepasan asam karbonat

dan asam-asam organik oleh tumbuhan akan meningkatkan konsentrasi ion H^+ di daerah perakaran, yang pada gilirannya mempengaruhi proses hidrolisis, yang menghasilkan perubahan batuan menjadi partikel-partikel kecil yang menyerupai tepung batuan.

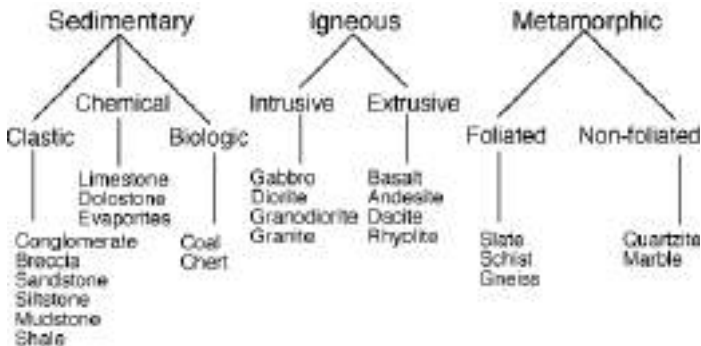
Selain itu, dalam pelapukan biologi kimiawi, proses humifikasi dari material organik menghasilkan humus, di mana bahan organik dirombak menjadi asam humin. Melalui interaksi dengan organisme lainnya, seperti mikroorganisme, terjadi proses mineralisasi, di mana bahan organik kompleks diubah menjadi mineral-mineral sederhana. Semua ini adalah bagian dari peran organisme dalam mengubah dan mempengaruhi komposisi kimia batuan melalui pelapukan biologi kimiawi.

IV

PEMBAGIAN BATUAN DAN GENESISNYA

Batuan adalah kumpulan mineral yang bergabung bersama dalam satu kesatuan. Pengertian batuan tidak terbatas pada bentuk padat, melainkan juga mencakup bahan seperti pasir, liat, dan lumpur karena batuan dapat terbentuk dari mineral-mineral tertentu, dan analisis ruang genesis mineral tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menggambarkan sifat-sifat batuan.

Jika kita mempertimbangkan volume kerak bumi, komposisi umum kerak bumi terdiri dari tiga jenis batuan utama: (1) Magmatit mencakup sekitar 95% (dengan pembagian antara batuan masam sebesar 75% dan batuan basis sebesar 25%), (2) Sedimen menyumbang sekitar 1% (terdiri dari batuan liat sekitar 0,8%, batuan pasir sekitar 0,12%, batuan Kapur 0,08%, dan batuan Dolomit sekitar 0,004%), dan (3) Metamorfik yang menyusun sekitar 4% dari kerak bumi. Penggolongan batuan berdasarkan asal-usul dan sejarah geologisnya dapat digambarkan secara diagramatik, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Klasifikasi batuan berdasarkan genesis dan geologis

Pembagian batuan dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, antara lain berdasarkan: (1) Sifat mekanik, termasuk dalam sifat ini antara lain struktur, tekstur, kekerasan mineral, pecahan, belahan, elastisitas dan warna; (2) Sifat optis, antara lain warna goresan, transparansi dan kilap; dan (3) Sifat habitus.

Pembagian batuan yang umum dilakukan dalam ilmu geologi adalah berdasarkan asalnya (genesis) dan karakteristik geologi dari kerak bumi. Secara umum, batuan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu batuan magmatik, batuan sedimen, dan batuan metamorfik. Klasifikasi ini penting karena setiap jenis batuan memiliki karakteristik yang unik yang mencerminkan proses pembentukannya dan lingkungan geologi di mana mereka terbentuk.

4.1. Batuan Magmatit

Batuan magmatit, dikenal juga sebagai batuan beku, batuan massa, atau batuan erupsi, merupakan produk dari kristalisasi magma silikat dan memiliki kandungan SiO_2 (asam silikat) yang berkisar antara 45-75%. Klasifikasi batuan ini dapat dilakukan dengan dua pendekatan utama, yaitu berdasarkan kandungan SiO_2 dan berdasarkan proses, lokasi, serta kecepatan pembekuan.

1) Kandungan SiO_2

Berdasarkan kandungan SiO_2 , maka batuan magmatit dapat dibagi menjadi empat kelompok, yaitu batuan masam, intermedier, basis dan ultrabasis (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Pembagian batuan atas dasar kandungan SiO_2 dan contoh batuan

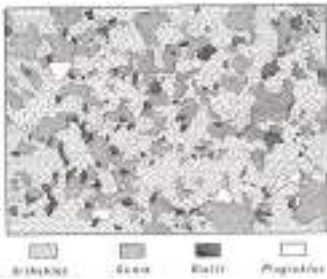
Jenis batuan	Contoh batuan	Kandungan SiO_2 (%)
Batuan masam	Riolit, Kuarsa Porfir Dan Granit	> 60
Batuan intermedier	Andesit Dan Diorit	50-60
Batuan basis	Basalt, Diabas Dan Gabro	sekitar 50
Batuan ultrabasis	Pegmatit, Dunit, Nephelin Basalt	< 45

2) Proses, Tempat dan Kecepatan Pembekuan

Berdasarkan konteks proses, lokasi, dan kecepatan pembekuan, batuan Magmatit dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama, yaitu batuan Plutonit, Batuan Gang, dan batuan Vulkanit.

a. Batuan Plutonit

Batuan ini sering disebut sebagai batuan beku dalam, batuan terobosan, atau batuan intrusi. Batuan ini terbentuk ketika magma, yang berada dalam kedalaman sekitar 1-10 km di bawah permukaan bumi, mengeras atau mengalami pengerasan sebagian, membentuk struktur batuan. Pembekuan magma dalam batuan ini terjadi dengan sangat lambat di dalam kerak bumi, memberikan kesempatan bagi mineral-mineral di dalamnya untuk tumbuh dan berkembang dengan sempurna, mencapai ukuran yang bervariasi mulai dari milimeter hingga sentimeter. Ciri khas batuan ini adalah kemampuan untuk mengidentifikasi mineral-mineralnya secara individual (Gambar 4.2). Salah satu contoh batuan Plutonit yang terkenal adalah Granit (Gambar 4.3).



Gambar 4.2. Struktur mineral batuan Plutonit



Gambar 4.3. Struktur pelapukan Granit di lapangan

Pengkristalan mineral-mineral dalam batuan ini terjadi secara individual karena perbedaan dalam titik beku antara masing-masing mineral. Pembentukan mineral dalam proses pembekuan magma mengikuti urutan yang ketat. Pertama-tama, logam seperti bijih besi terbentuk, contohnya adalah Titanit, Zirkon, dan mineral-mineral gelap lainnya seperti

Biotit, Augit, dan Hornblende. Selanjutnya, Feldspar terbentuk, dan yang terakhir adalah kuarsa. Proses ini menciptakan variasi mineral yang dapat diamati dalam batuan plutonit.

Mineral pertama yang membeku memiliki cukup ruang untuk tumbuh dan berkembang sesuai dengan struktur kristal yang diinginkan. Sebaliknya, mineral terakhir yang membeku, seperti kuarsa, berkembang hanya berdasarkan sisa ruang yang tersedia, sehingga kuarsa cenderung tidak memiliki bentuk kristal yang terdefinisi dengan baik dan sering memiliki struktur amorf. Perbedaan dalam titik lebur mineral-mineral ini menjadi faktor penentu, di mana kuarsa memiliki titik lebur yang paling tinggi dalam tabel sifat fisik mineral (Tabel 4.2).

Secara prinsip, batuan Plutonit selalu terbentuk di dalam kerak bumi yang tebal. Batuan-batuan ini kemudian dapat terungkap ke permukaan bumi karena berbagai proses seperti pelapukan batuan, tekanan yang mendorong batuan ke atas, dan erosi. Ada empat jenis batuan plutonit yang sangat penting dalam klasifikasi, yaitu Granit, Diorit, Gabro, dan Peridotit. Perbedaan antara keempat batuan tersebut didasarkan pada kandungan SiO₂, berat jenis, dan suhu lelehnya.

Tabel 4.2. Titik melebur mineral-mineral penyusun batuan

Nama mineral	Titik lebur (° C)
Magma	800-1.200
Na-feldspar	1.100
<i>Pyroxene</i> (Augit)	1.400
Ca-feldspar	1.600
Olivin	1.200-1.900
Kuarsa	1.700

Granit	Diorit	Gabro	Peridotit
←----- SiO ₂ (%) ----->			
masam	intermedier	basis	ultra basis
----->			
2,65	Berat jenis (g/cm ³)		3,3-4,1
----->			
680	Titik lebur (°C)		1.200

a. Granit

Granit termasuk dalam kategori batuan masam dan terdiri dari komponen utama berupa Feldspar (30-60%), Kuarsa (10-40%), serta mineral-mineral lain seperti Muskovit, Hornblende, dan Biotit (10-35%). Batuan ini memiliki berat jenis sekitar 2,65 g/cm³. Warna Granit sangat dipengaruhi oleh kandungan Feldspar; jika Feldspar dominan, granit akan memiliki kristal yang terlihat jelas. Kuarsa, sementara itu, mengisi ruang kosong yang tersisa setelah mineral-mineral lain mengkristal. Bentuk pelapukan yang umum terjadi pada granit di lapangan adalah berbentuk lembut, datar, dan bulat dengan struktur yang sangat padat (Gambar 4.2).

b. Diorit

Diorit adalah jenis batuan intermedier yang terdiri sekitar 50% mineral terang dan 50% mineral gelap. Batuan ini terdiri dari berbagai jenis mineral termasuk Feldspar, Hornblende, Augit, Biotit, dan Kuarsa. Diorit tidak mengandung mineral olivin dan memiliki berat jenis berkisar antara 2,7-3,0 g/cm³.

c. Gabro

Gabro termasuk dalam kategori batuan basis dan terdiri dari komponen mineral utama seperti Plagioklas (50%), Augit dan Hornblende (45%), serta Olivin dan biji besi (5%). Batuan ini memiliki berat jenis berkisar antara 2,9-3,0 g/cm³ dan memiliki warna yang lebih gelap dibandingkan diorit karena mengandung lebih banyak mineral gelap. Meskipun Diorit dan Gabro memiliki kemiripan, ada beberapa petunjuk yang dapat membantu membedakannya. Diorit tidak pernah mengandung olivin, memiliki sedikit Kuarsa, dan ukuran fraksi di dalamnya jarang melebihi 1 cm.

d. Peridotit

Peridotit adalah jenis batuan ultra basis yang terdiri sebagian besar dari Olivin (66%), Augit (31%), serta mengandung apatit dan Biji Besi (3%). Batuan ini memiliki

berat jenis berkisar antara 3,3 g/cm³, sering berwarna hijau gelap, dan memiliki bobot yang lebih berat karena kandungan yang signifikan dari mineral Olivin. Peridotit tidak mengandung mineral liat dan tidak memiliki mineral terang yang mencolok. Bentuk umumnya cenderung bulat karena mineral-mineral ini terbentuk dari fragmen yang dilemparkan ke udara selama letusan gunung berapi. Batuan ini banyak terdapat di mantel atas bumi, yang merupakan komponen penting dari kerak bumi yang lebih dalam. Biasanya, peridotit tidak mencapai permukaan bumi kecuali melalui letusan gunung berapi. Jika Peridotit mengandung lebih banyak augit daripada mineral lainnya, maka batuan tersebut disebut sebagai dunit.

e. Sianit (*Syenite*)

Sianit merupakan jenis batuan yang terdiri dari komponen utama seperti K-Feldspar (Orthoklas, 50%), Plagioklas 20%, Biotit, Augit, dan Hornblende 20%, Kuarsa sekitar 5%, serta Titanit dan biji besi sekitar 5%. Batuan ini memiliki berat jenis sekitar 2,80 g/cm³, mengandung sedikit kuarsa, dan memiliki kandungan K yang sangat tinggi karena sekitar 70% Feldsparnya adalah jenis K-feldspar. Untuk membedakan Sianit dari Granit, dapat merujuk pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Perbedaan Sianit dengan Granit

Komponen	Sianit	Granit
Berat jenis (g/cm ³)	2,80	2,65
Kandungan feldspar (%)	70	66
Mineral gelap	tinggi	rendah
Jenis mineral gelap	augit, hornblende & jarang biotit	biotit
Susunan mineral	dalam jaringan	individual

f. Batuan Gang

Batuan Gang adalah jenis batuan yang terbentuk di dalam celah-celah, rongga, dan rekahan yang biasanya hanya terdapat dalam kedalaman beberapa meter dari permukaan bumi.

Batuan ini mengeras dengan relatif cepat dan cenderung membentuk rongga atau struktur terbuka. Batuan gang memiliki ciri khas yang berada di antara batuan Plutonit dan batuan Vulkanit dalam hal proses pembentukannya. Beberapa contoh batuan Gang yang terkenal termasuk Pegmatit, Biji Besi, dan Diabas.

g. Batuan Vulkanit

Batuan vulkanit adalah jenis batuan yang juga dikenal dengan sebutan batuan beku luar, batuan ekstrusi, batuan leleran, batuan curah, atau batuan efusi. Batuan ini terbentuk ketika magma atau lava tumpah ke permukaan bumi. Proses pendinginan yang cepat selama pembentukan batuan Vulkanit menghasilkan kristal-kristal yang sangat kecil, atau bahkan batuan berstruktur amorf. Ciri khasnya adalah tekstur porfiri (*porphyry*), yang dapat berupa batuan dari ukuran kecil hingga kompleks, dan batuan ini dapat menutupi luas permukaan bumi yang besar. Salah satu contoh batuan vulkanit yang terkenal adalah Basalt.

Batuan vulkanit terbentuk ketika magma cair dan membara dari dalam bumi muncul ke permukaan dengan bantuan tenaga vulkanis. Susunan mineral dalam vulkanit serupa dengan batuan plutonit, perbedaannya terletak pada struktur batuan itu sendiri. Struktur vulkanit sangat halus, padat, dan memiliki butiran yang kecil sehingga sulit diamati dengan mata telanjang tanpa bantuan alat. Pada saat pendinginan magma terjadi dengan sangat cepat, mineral-mineral tidak memiliki cukup waktu untuk kristalisasi, sehingga batuan vulkanit dapat berbentuk amorf. Selama proses pendinginan ini, banyak udara yang terperangkap dalam batuan vulkanit dan membentuk rongga-rongga udara, yang membuat batuan ini bersifat poros. Jika rongga-rongga ini diisi oleh mineral lain, mineral-mineral pengisi ini disebut "*Einsprenglinge*," dan batuan tersebut disebut "batu mandel" (*melaphyr*). Sedangkan dalam batuan *rhombenporphyr*, proses pembentukannya berjalan terbalik, di mana mineral pengisi

terbentuk terlebih dahulu, kemudian diselimuti oleh massa batuan yang padat. Terdapat dua pembagian dalam Vulkanit berdasarkan usia pembentukannya (Tabel 4.4):

- 1) Vulkanit tua: dibentuk sebelum zaman tersier, sifat batuan mudah berubah, lebih kompak dan cenderung berwarna merah dan hijau
- 2) Vulkanit muda: dibentuk pada zaman tersier, sifat batuan poreus dan berwarna abu-abu.

Tabel 4.4. Pembagian batuan vulkanit berdasarkan umurnya

Kelompok	Berat jenis (g/cm ³)	Batuan muda	Batuan tua
Porfiri kuarsa	2,7	Liparit (riolit)	Porfiri kuarsa
<i>Trachyt</i>	2,7	<i>Trachyt</i>	<i>Orthoporphyr</i>
<i>Porphyrite</i>	2,7	Andesit	<i>Keratophyr</i> , <i>Porphyrite</i>
Basalt	2,8	Basalt	<i>Melaphyr</i> , Diabas
Pikrit	3,0	Pikrit	Paleopikrit

Beberapa contoh batuan vulkanit yang penting untuk diketahui dan banyak ditemukan di Indonesia, yaitu Tuffa Vulkanis, Batuan Glas, Porfiri Kuarsa, *Trachyt*, *Porphyrite*, Basalt dan Pikrit.

a. Tuffa Vulkanis

Penjelasan tentang Tuffa Vulkanis yang Anda berikan sesuai dengan karakteristiknya. Tuffa Vulkanis adalah jenis batuan vulkanik yang terbentuk dari endapan abu vulkanik yang terlempar ke udara terbuka selama letusan gunung berapi. Batuan ini memiliki beberapa ciri khas yang dapat diidentifikasi:

- 1) Amorf atau Tidak Memiliki Bentuk, Tuffa Vulkanis seringkali tidak memiliki bentuk yang jelas atau teratur. Ini disebabkan oleh proses pembentukannya yang melibatkan endapan abu vulkanik yang bersifat kasar dan tidak teratur.

- 2) Kristal Halus atau Porphyris, Tuffa Vulkanis dapat memiliki tekstur kristal yang halus atau *porphyris*. Kristal-kristal ini terbentuk ketika material vulkanik cair mengeras setelah terlempar ke udara dan mencampur dengan berbagai jenis batuan lainnya. Batuan ini dapat mengandung butiran-butiran kristal yang kasar di dalam matriks yang lebih halus.
- 3) Kaya akan Pori-Pori, Salah satu ciri yang mencolok dari tuffa vulkanis adalah kandungan pori-porinya yang tinggi. Pori-pori ini dapat terbentuk akibat peleburan atau pengecilan gas yang terperangkap dalam material vulkanik saat proses pendinginan.

Dengan karakteristik-karakteristik ini, tuffa vulkanis sering digunakan oleh ilmuwan dan geolog untuk memahami aktivitas vulkanik masa lalu dan juga sebagai petunjuk dalam mengevaluasi potensi bahaya vulkanik di suatu wilayah. Berdasarkan besarnya ukuran partikel, maka tuffa dikelompokkan menjadi:

- 1) Abu (*ash*), yaitu material magma halus yang dilepas ke udara
- 2) Tuffa debu merupakan abu yang berukuran sangat halus
- 3) Tuffa abu (*ash tuff*) adalah abu yang mengeras
- 4) Tuffa pasir adalah tuffa berukuran lebih tinggi seperti pasir
- 5) Lapilli adalah batu-batu kecil berukuran biji kacang
- 6) Bom (*bombs*) adalah batu-batu berukuran sampai sebesar kepala dengan diameter > 64 mm.

b. Batuan Glas

Batuan glas adalah batuan yang banyak mengandung Si dan bersifat seperti glas. Beberapa contoh batuan glas yang penting untuk diketahui adalah Bims, Obsidian dan *Pechstein*.

b.1. Batuan Bims (Batu Apung)

Bims, yang berasal dari bahasa Jerman "Bimsstein" yang berarti busa atau buih, adalah tipe batuan vulkanik yang

memiliki struktur mirip dengan busa atau buih. Batuan ini memiliki sifat amorf dan kaya akan pori-pori. Proses pembentukan bims terjadi saat lava yang mengandung banyak gas mendingin dengan cepat. Saat gas-gas tersebut keluar dari cairan lava selama pendinginan, mereka membentuk lubang-lubang atau gelembung pada batuan lava yang telah mengeras. Bentuk lubang-lubang atau gelembung ini cenderung tidak beraturan dan bims umumnya memiliki warna kelabu terang. Selain itu, Bims cenderung mengapung ketika ditempatkan dalam air karena batuan ini relatif ringan dan memiliki tingkat porositas yang tinggi.

b.2. Obsidian (Batu Kaca)

Obsidian, yang juga dikenal sebagai batuan glas, merupakan jenis batuan vulkanik yang terbentuk dari magma yang memiliki kandungan asam tinggi, terutama kaya akan Silikon Dioksida (SiO_2). Batuan ini memiliki berat jenis sekitar 2,5-2,6 g/cm^3 . Obsidian memiliki karakteristik yang kompak dan keras, dengan tingkat kekerasan mencapai 5-5,5 dalam skala Mohs. Warna obsidian cenderung gelap dan hitam, yang disebabkan oleh kandungan Fe di dalamnya.

Lembaran obsidian yang tipis memiliki warna yang lebih terang dan transparan. Pecahan obsidian cenderung berujung tajam dan berbentuk kerang. Batuan ini terbentuk karena magma mencapai permukaan bumi dan membeku dengan cepat. Akibat pendinginan yang cepat ini, obsidian tidak memiliki susunan kristal yang teratur dan bersifat amorf.

Secara geografis, obsidian sering ditemukan di sekitar gunung berapi, karena batuan ini berkaitan dengan aktivitas vulkanik. Batuan ini memiliki sifat fisik yang unik dan telah digunakan oleh manusia sejak zaman prasejarah untuk pembuatan alat-alat tajam, senjata, dan perhiasan karena kekerasannya yang tinggi dan kemampuannya untuk dipecahkan menjadi potongan-potongan yang tajam.

c. *Porfiri Kuarsa*

Batuan ini memiliki warna kemerah-merahan yang dominan, sangat jarang berwarna kelabu, dan memiliki tekstur porfiri. Komposisi mineralnya terdiri dari K-Feldspar 50%, Kuarsa 30%, Plagioklas 15%, Biotit, dan Biji Besi 5%. Susunan mineral dalam batuan ini serupa dengan susunan yang dapat ditemukan dalam granit. Secara umum, batuan ini memiliki struktur yang padat sehingga sulit dibedakan berdasarkan pengamatan visual saja.

Kuarsa yang terkandung dalam batuan ini memiliki warna gelap, yang disebabkan oleh karakteristik optiknya yang tidak tembus cahaya. Batuan ini memiliki kemiripan dengan granit dalam susunan mineralnya, tetapi perbedaan warna dan teksturnya yang khas membedakannya dari granit biasa.

d. *Trachyt*

Trachyt adalah jenis batuan yang ditandai oleh keberadaan mineral yang berkembang sempurna, terutama feldspar, yang memiliki ukuran yang cukup besar. Komposisi mineral dalam batuan ini umumnya terdiri dari K-Feldspar sekitar 75%, Plagioklas sekitar 10%, Augit 10%, dan biji besi sekitar 5%. Batuan Trachyt memiliki berat jenis berkisar sekitar 2,7 g/cm³ dan sering memiliki warna putih kekuningan.

Karakteristik yang paling mencolok dari Trachyt adalah kandungan K-Feldspar yang besar, dengan kristal yang dapat mencapai beberapa sentimeter panjangnya. Batuan ini juga dikenal memiliki banyak ruang rongga kecil yang sangat berlimpah, sehingga memiliki porositas yang tinggi. Akibatnya, saat diraba, batuan ini terasa kasar dan kasar karena keberadaan rongga-rongga ini.

e. *Porphyrite*

Batuan ini memiliki berat jenis berkisar sekitar 2,7 g/cm³ dan cenderung berwarna coklat kemerahan, jarang berwarna kelabu. Komposisi mineral dalam batuan ini terdiri sekitar 60% Plagioklas, 15% K-Feldspar, 20% Augit dan Biotit, dan sekitar

5% biji besi. Tidak ada kuarsa yang terkandung dalam batuan ini. Salah satu ciri khas dari batuan ini adalah keberadaan *Einsprenglinge*, yang merupakan inklusi-inklusi mineral seperti hornblende, augit, atau biotit yang terdapat di dalamnya. Batuan ini memiliki susunan mineral yang beragam dan memiliki warna merah-coklat yang mencolok serta biasanya tidak mengandung kuarsa.

f. Basalt

Basalt adalah salah satu jenis batuan basis yang sangat dikenal dalam kelompok batuan vulkanik, dan memiliki karakteristik yang khas berbentuk tiang atau pilar. Bentuk tiang ini bisa mencapai panjang beberapa meter dan lebar 20-25 m (Gambar 4.4). Pembentukan pilar-pilar ini terjadi akibat penyusutan volume batuan saat magma mendingin.

Komposisi mineral dalam Basalt umumnya terdiri dari 50% mineral terang dan 50% mineral gelap. Mineral-mineral tersebut mencakup Plagioklas 45%, Augit 50%, Olivin dan Biji Besi 5%, berat jenis Basalt sekitar 2,8 g/cm³. Struktur batuan ini halus dan banyak mengandung rongga udara. Warna basalt bervariasi dari kelabu gelap hingga hitam kelabu, bahkan biru gelap. Batuan ini memiliki bentuk padat dan sangat sulit untuk terbelah. Basalt tidak mengandung K-Feldspar dan tidak mengandung Kuarsa, tetapi sering mengandung mineral Olivin. Saat batuan berbentuk busa atau buih, mineral olivin membentuk kristal atau mineral kecil, sedangkan dalam batuan padat, Olivin akan membentuk mineral yang lebih besar.

g. Pikrit

Pikrit adalah jenis batuan ultrabasis yang memiliki warna sangat gelap dan rendah kandungan asam silikat. Komposisi mineral dalam pikrit mencakup Olivin, Berbagai macam Augit, Hornblende dan Biotit, sementara tidak mengandung mineral terang, seperti Feldspar. Berat jenis Pikrit sekitar 3,0 g/cm³ dan cenderung memiliki warna yang sangat gelap dan kurangnya mineral terang yang mencolok.



Gambar 4.4. Struktur berbentuk tiang pada batuan basalt

3. Kegunaan Batuan Magmatit

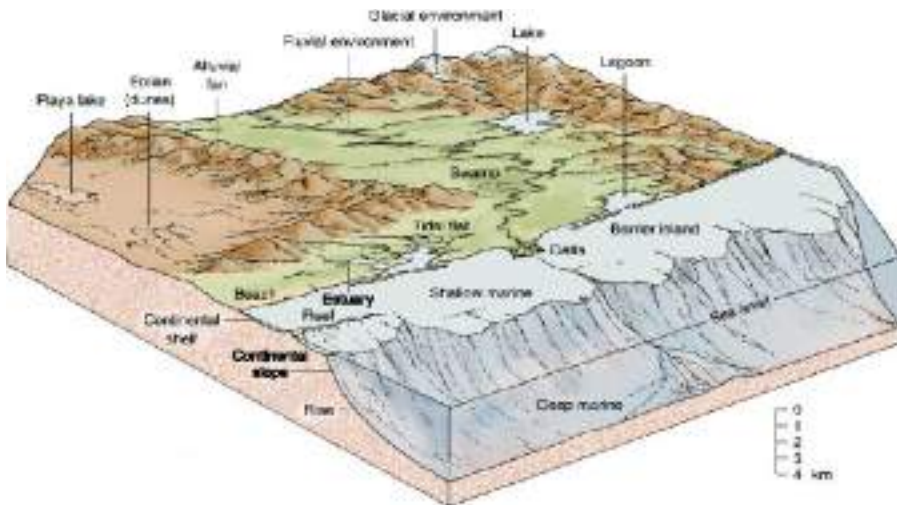
Pembahasan kegunaan batuan magmatit hanya untuk memberikan gambaran umum bahan galian tambang yang memiliki nilai ekonomis. Beberapa hal penting yang perlu diketahui bahwa:

- 1) Batuan yang berat jenisnya tinggi, padat, kompak dan keras serta daya tahannya tinggi dapat digunakan untuk pengeras jalan, fondasi bangunan dan bahan lantai, misalnya Gabro, Diabas, Andesit, Basalt, Granit dan lain-lain.
- 2) Batuan yang memiliki warna poles indah dan tidak poreous dapat digunakan untuk pelapis dinding, lantai dan dekorasi bangunan, misalnya Granit, Diorit, Gabro, Obsidian dan lain-lain.
- 3) Batuan yang memiliki berat jenis yang tinggi dan tidak poreous biasanya digunakan untuk pekerjaan di laut, misalnya batuan Barit
- 4) Batuan yang relatif lunak dan ringan dapat digunakan untuk membuat patung, misalnya Riolit.

4.2. Batuan Sedimen

Batuan sedimen merujuk kepada batuan yang terbentuk melalui proses sedimentasi. Sedimentasi adalah fenomena di mana material-material yang tertransportasi oleh berbagai agen seperti gravitasi, air, angin, es, atau gletser, mengendap dalam suatu cekungan tertentu dan mengalami pelapukan serta

pengendapan akibat tekanan (P) dan lama waktu (T) yang sesuai. Sebagian dari sedimen tersebut akan mengalir masuk ke dalam aliran sungai atau laut, sementara sebagian lainnya terdistribusi ke luar DAS (Daerah Aliran Sungai). Beberapa sedimen juga dapat mengendap di sepanjang jalur menuju aliran sungai. Penting untuk dicatat bahwa semua hasil pelapukan dan pengikisan batuan secara bertahap akan menjadi bagian dari kelompok batuan sedimen. Ilustrasi mengenai konsep sedimentasi dan batuan sedimen dapat ditemukan pada Gambar 4.5. Sedimentasi merupakan proses yang memiliki dampak kompleks, yang dapat bersifat positif maupun negatif bagi kehidupan manusia.



Gambar 4.5. Ilustrasi sedimentasi dan batuan sedimen

Batuan sedimen dikenal dengan beberapa istilah seperti sedimen, batuan endapan, batuan sekunder, dan batuan berlapis. Istilah sedimen digunakan karena batuan ini terbentuk melalui proses sedimentasi atau pengendapan material yang telah terdeposit, sementara istilah batuan sekunder merujuk pada asal-usul batuan ini yang selalu berasal dari batuan yang telah ada sebelumnya. Batuan berlapis adalah istilah yang digunakan karena pada umumnya batuan sedimen ini memiliki struktur berlapis-lapis. Meskipun hanya

menduduki sekitar 1% dari total volume kerak bumi, peran batuan sedimen sangat signifikan dalam kehidupan manusia. Hal ini disebabkan oleh penyebaran sedimen yang meluas di atas permukaan bumi, membentuk hamparan lahan yang memegang peranan penting dalam berbagai aspek kehidupan manusia.

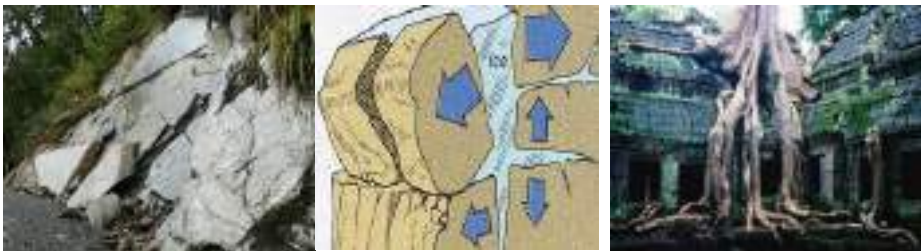
1) Pembentukan Sedimen

Proses pembentukan batuan sedimen melibatkan empat tahapan penting yang harus dijalani oleh setiap batuan sedimen, yakni proses pelapukan, transportasi, sedimentasi (endapan), dan pengerasan. Secara umum, pembentukan batuan sedimen dimulai dengan pelapukan batuan, baik melalui mekanisme pelapukan fisik, kimia, maupun biologis. Selanjutnya, bahan-bahan hasil pelapukan tersebut diangkut dan mengalami sedimentasi di dalam cekungan seperti sungai (fluvial) atau cekungan laut, di mana proses pengendapan berlangsung.

Dalam konteks transportasi melalui air, air hujan dapat memecahkan mineral yang tidak stabil dalam batuan. Fragmen hasil pelapukan ini akan tertransportasi dan membentuk bubur atau endapan liat, seperti perubahan mineral Feldspar menjadi mineral Kaolinit. Hasil akhir dari proses pelapukan ini akan mengendap di lokasi yang sesuai, membentuk sedimen dalam bentuk yang masih lembut. Ketika sedimen lain menumpuk di atasnya, tekanan dari lapisan sedimen yang ada di bawahnya akan meningkat, sambil bersamaan meningkatnya suhu dan ekstrusi air dan gas dari sedimen yang terendap. Akibatnya, sedimen lembut mengalami proses pemadatan (pengerasan) yang menyatukan partikel-partikelnya melalui pengisian rongga-rongga pori, membentuk suatu proses yang dikenal sebagai diagenesis. Hasil akhir dari proses ini adalah pembentukan batuan sedimen. Proses ini menghasilkan keragaman besar dalam jenis-jenis batuan sedimen yang ada di alam, dan merupakan tahap penting dalam siklus geologi bumi.

a. Proses Pelapukan

Proses pelapukan mencakup tiga mekanisme utama, yaitu pelapukan fisik, pelapukan kimia, dan pelapukan biologis. Pelapukan fisik terjadi karena berbagai faktor, termasuk perubahan suhu yang menyebabkan kontraksi dan ekspansi bahan batuan, pengaruh garam yang mengakibatkan pembengkakan dan penyusutan, hidrasi yang mempengaruhi volume batuan, perubahan volume akibat tumbuhnya akar tanaman, serta pengaruh mekanisme fisik lainnya. Sementara itu, pelapukan kimia melibatkan reaksi kimia yang mengakibatkan pelarutan mineral, seperti reaksi dengan asam klorida, asam humik, asam fulvik, dan reaksi kimia lainnya. Pelapukan biologis terjadi akibat aktivitas organisme hidup, seperti mikroorganisme atau akar tanaman yang merusak dan mengubah struktur batuan. Untuk gambaran visual mengenai proses pelapukan batuan, Anda dapat merujuk pada (Gambar 4.6).



A (Secara fisik)

B (Secara kimia)

C (Secara biologi)

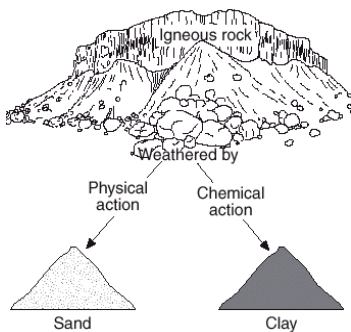
Gambar 4.6. Proses pelapukan fisik, kimia dan biologi

Perbedaan paling mencolok antara pelapukan fisik dan pelapukan kimia adalah jenis produk akhir yang dihasilkan oleh kedua proses tersebut. Pelapukan fisik lebih cenderung menghasilkan fraksi pasir dan butir tanah yang lebih besar, sementara pelapukan kimia cenderung menghasilkan fraksi liat yang lebih halus (Gambar 4.7). Selain itu, proses pelapukan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti curah hujan dan suhu. Semakin tinggi curah hujan dan suhu, semakin intensif proses pelapukan batuan. Ilustrasi hubungan antara jumlah

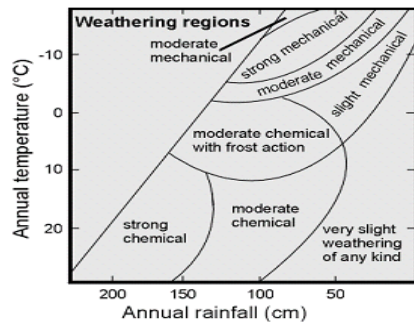
curah hujan dan suhu dengan tingkat pelapukan batuan dapat dilihat pada (Gambar 4.8).

b. Proses Transportasi

Media transportasi yang digunakan dalam proses pembentukan sedimen, antara lain gravitasi, air, angin, dan gletser (es). Tenaga gravitasi berperan penting dalam daerah miring, yang ditandai dengan kurangnya sortasi pada hasil endapan dan kemudahan dalam proses transportasi. Sementara itu, tenaga air memiliki kemampuan untuk menyortir material yang diendapkan, sehingga terdapat korelasi antara ukuran partikel dengan kecepatan aliran air. Proses ini berperan aktif dalam jarak yang lebih jauh, dan jika kecepatan aliran air mencapai sekitar 20 cm/detik, maka struktur seperti tulang dada dapat terbentuk pada daerah endapan. Struktur ini dikenal sebagai struktur bergoyang (*ripple marks*).



Gambar 4.7. Pelapukan fisik kimia



Gambar 4.8. Curah hujan, suhu dan pelapukan

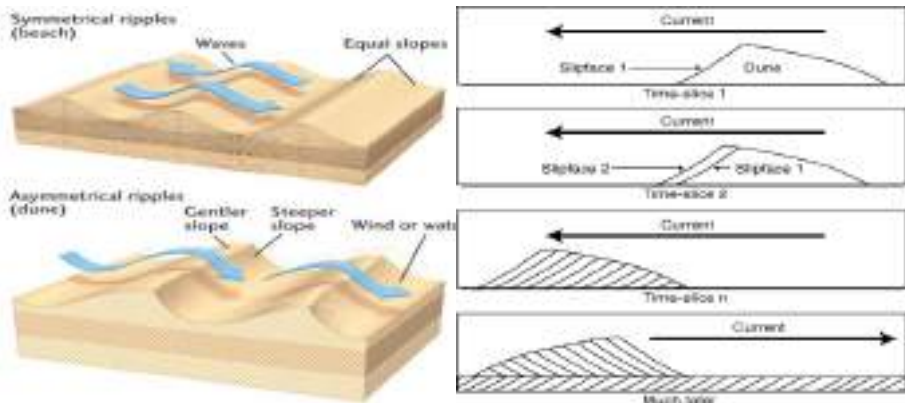
Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 menjelaskan mekanisme pembentukan struktur *ripple marks* pada batuan sedimen. Pembentukan *ripple mark* terjadi pada daerah dengan kemiringan yang rendah dan diikuti oleh penurunan kecepatan aliran air sungai atau ombak laut. Proses ini menciptakan pola struktural yang khas pada batuan sedimen.



A (Ombak laut) B (Sedimentasi) C (*Ripple mark*)

Gambar 4.9. Struktur *ripple marks* karena ombak laut

Pengaruh jarak tempuh air terhadap pembulatan batuan disajikan pada (Tabel 4.5), mengindikasikan bahwa batuan seperti gneis dan kuarsit yang memiliki tingkat kekerasan di atas 7 pada skala Mohs akan mengalami pembulatan setelah menempuh jarak sekitar 20 km. Sementara itu, batuan pasir dan kapur akan mengalami pembulatan pada jarak yang lebih pendek, yaitu sekitar 5 km. Tingkat sortasi dan pembulatan yang terjadi pada batuan akibat pengaruh media transportasi dapat dilihat dalam (Gambar 4.11). Tabel ini memberikan informasi penting mengenai bagaimana berbagai jenis batuan dapat mengalami perubahan struktural sebagai akibat dari proses transportasi oleh berbagai media.



Gambar 4.10. Mekanisme proses pembentukan struktur *ripple marks*

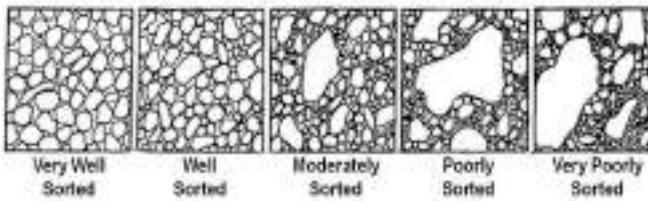
Tabel 4.5. Pengaruh jauhnya jarak terhadap pembulatan batuan

Jenis batuan	Jarak tempuh (km)	Bentuk akhir batuan
Pasir, Kapur	3-5	Bulat atau oval
Granit, Gneis dan Kuarsit	10-20	Bulat

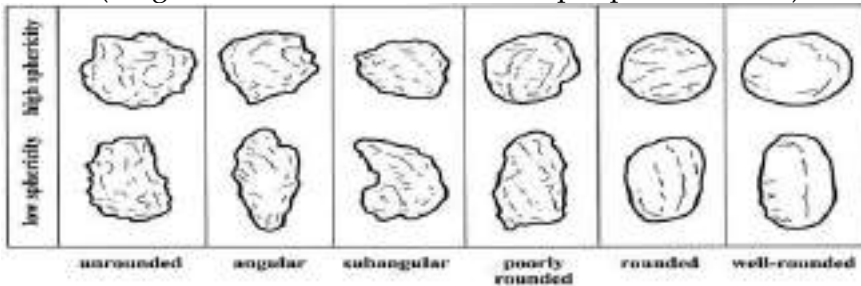
Terdapat hubungan yang kuat antara ukuran partikel dan kecepatan air dalam proses sedimentasi. Dalam kondisi ideal, di mana tidak ada gangguan pada sistem, berikut adalah rentang kecepatan air yang memengaruhi endapan partikel berdasarkan ukurannya:

- 1) Kecepatan air sekitar 400-700 cm/detik: Pada kecepatan ini, fraksi batu bongkah (*boulders*) memiliki peluang optimal untuk diendapkan.
- 2) Kecepatan air sekitar 200-300 cm/detik: Pada kecepatan ini, fraksi batu koral (*cobbles*) cenderung mengendap.
- 3) Kecepatan air sekitar 75-200 cm/detik: Pada kecepatan ini, batu kerikil kecil (*pebbles*) akan lebih mungkin terendapkan.
- 4) Kecepatan air sekitar 50-75 cm/detik: Pada kecepatan ini, pasir akan mengendap.
- 5) Kecepatan air sekitar 25-50 cm/detik: Pada rentang ini, partikel debu akan cenderung diendapkan.
- 6) Kecepatan air kurang dari 25 cm/detik (air tenang): Pada kecepatan air sangat rendah, endapan yang terbentuk cenderung berupa partikel liat.

Variasi dalam endapan partikel disebabkan oleh perbedaan dalam kerapatan partikel (*bulk density*) dan bentuk partikel, seperti yang dijelaskan dalam (Gambar 4.12 dan Gambar 4.13). Faktor-faktor ini memengaruhi bagaimana partikel-partikel tersebut merespons aliran air dan pada akhirnya mengendap pada kecepatan air yang sesuai dengan ukuran dan karakteristik partikel tersebut. Ini adalah prinsip dasar dalam pembentukan endapan sedimen yang beragam di berbagai lingkungan geologi dan hidrologi.



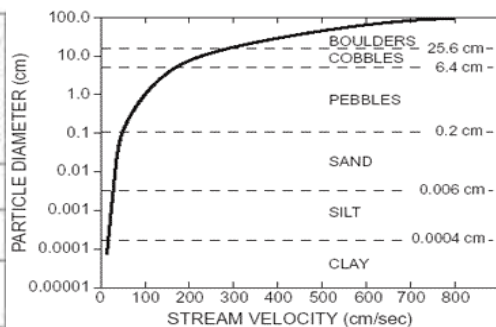
A (Tingkatan sortasi oleh media transport pada sedimen)



B (Tingkatan pembulatan oleh media transport terhadap batuan)
 Gambar 4.11. Sedimen klastis atas dasar tingkatan sortasi dan pembulatan

Angin umumnya merupakan agen transportasi yang mampu melakukan sortasi dengan baik dan berperan aktif dalam jarak yang jauh. Beberapa contoh sedimen yang ditransportasi oleh angin adalah tanah loss dan bukit pasir (*dune*), terutama di daerah gurun seperti Gurun Zahara.

256 mm and up	BOULDERS	GRAVEL
64-256 mm	COBBLES	
2-64 mm	PEBBLES	
0.0625-2 mm	SAND	
0.002-0.0625 mm	SILT	
0.002 mm and smaller	CLAY	



A (Ukuran fraksi material) B (Grafik ukuran fraksi dan aliran)
 Gambar 4.12. Ukuran partikel dengan kecepatan aliran



Gambar 4.13. Morfologi ukuran fraksi tanah



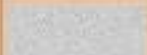

Di sisi lain, es atau gletser (*glaciers*) melakukan transportasi material tanpa adanya sortasi yang signifikan. Material yang diangkut dan ditumpuk oleh gletser disebut moraine. Material ini dapat berupa partikel yang bebas atau terikat oleh bahan perekat. Hubungan antara batuan tunggal dan batuan kelompok lainnya dalam konteks ini dapat dijelaskan melalui (Gambar 4.14) dan (Tabel 4.6). Pemahaman mengenai proses transportasi oleh es atau gletser serta pengaruhnya terhadap batuan adalah penting dalam memahami perkembangan geologi di daerah yang pernah terpengaruh oleh gletser.

Tabel 4.6. Hubungan antara batuan tunggal dan kelompok

Bentuk tunggal	Lepas	Terikat
Silikat	Pasir	Batuan pasir
<i>Scree</i> , batu guling (<i>geschiebe</i>)	<i>Gravel</i>	Konglomerat
Pecahan batu	Pecahan batu	Brekisia

c. Proses Pengendapan

Hasil pengendapan biasanya dapat dikenali melalui karakteristik pembentukan lapisan-lapisan akibat perbedaan dalam komposisi material yang diendapkan, pengaruh iklim, dan media transportasi yang terlibat. Secara umum, lapisan yang berada di bawah cenderung lebih tua dibandingkan dengan lapisan di atasnya, seperti yang sering terlihat dalam endapan di DAS. Namun, dalam beberapa kasus di lapangan, anomali geologi atau peristiwa tektonik dapat menyebabkan lapisan yang lebih tua berada di atas lapisan yang lebih muda.

Texture (grain size)		Sediment Name	Rock Name
Coarse (over 2 mm)		Gravel (rounded fragments)	Conglomerate
		Gravel (angular fragments)	Breccia
Medium (1/16 to 2 mm)		Sand	Sandstone
Fine (1/16 to 1/256 mm)		Silt	Siltstone
Very Fine (less than 1/256)		Clay (also known as Mud)	Shale (if stratified) Mudstone (if non-stratified)

Gambar 4.14. Hubungan antara sedimen klastis dan batuan sedimen

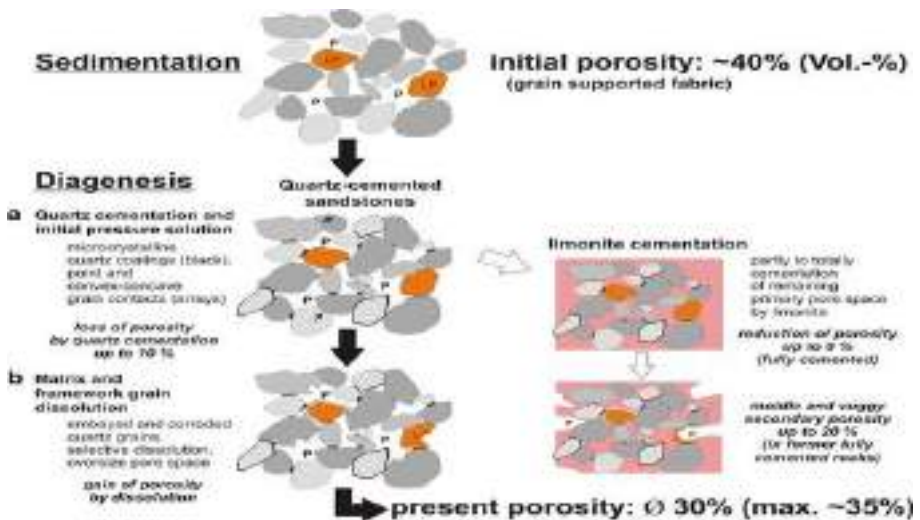
Proses pengendapan terjadi ketika proses pengangkutan material berhenti. Dalam konteks pengangkutan oleh air, pengendapan terjadi ketika kecepatan aliran air menurun hingga tidak mampu lagi menggerakkan fraksi-fraksi tanah. Oleh karena itu, fraksi-fraksi yang diendapkan dapat digunakan sebagai indikator untuk menganalisis proses pengangkutan dan kecepatan aliran air yang terlibat dalam pembentukan endapan tersebut. Endapan dengan fraksi kasar menunjukkan adanya kecepatan aliran yang tinggi, sementara endapan dengan fraksi halus mengindikasikan aliran air yang lambat. Ukuran fraksi-fraksi tersebut juga dapat memberikan petunjuk mengenai kondisi lingkungan saat endapan tersebut terbentuk. Sebagai contoh, keberadaan fosil dalam batuan adalah indikasi adanya endapan pada masa lampau, yang dapat memberikan wawasan mengenai sejarah lingkungan dan evolusi geologi di wilayah tersebut.

d. Proses Pengerasan (Diagenesis)

Diagenesis adalah proses perubahan atau transformasi bentuk material endapan menjadi batuan endapan. Proses ini umumnya terjadi tanpa peningkatan yang signifikan dalam suhu dan tekanan, seperti yang terjadi dalam pembentukan batuan metamorf. Salah satu contoh diagenesis adalah pembentukan batuan liat dari fraksi liat. Proses diagenesis disebabkan oleh dua faktor utama: keluarnya air dari sedimen

dan pengikatan material oleh bahan perekat seperti Kalsium Karbonat (CaCO_3), Silika (Si), Besi Oksida (FeO atau Hematit), dan liat.

Perubahan pertama dalam proses diagenesis adalah keluarnya air dari endapan akibat akumulasi bahan endapan secara bersama-sama. Hal ini menyebabkan penurunan cepat dalam volume ruang pori di dalam sedimen. Sementara itu, fraksi-fraksi yang tidak dapat larut dalam air selama pergerakan air akan mengikat bersama-sama (proses sementasi). Proses sementasi ini merupakan langkah penting dalam pembentukan batuan endapan, di mana partikel-partikel endapan yang awalnya terpisah menjadi padatan yang lebih padat. Ilustrasi dari proses diagenesis dapat dilihat dalam (Gambar 4.15). Proses ini merupakan tahap penting dalam perubahan sedimen menjadi batuan dan dapat menghasilkan berbagai jenis batuan endapan, tergantung pada kondisi lingkungan dan komposisi bahan endapan awalnya.



Gambar 4.15. Ilustrasi proses diagenesis pada batuan sedimen

2) Klasifikasi Sedimen

Klasifikasi sedimen dapat dikelompokkan atas dasar kepentingan dan tujuan pembagian sedimen tersebut. Akan tetapi secara umum, terdapat lima pendekatan dalam

klasifikasi sedimen, yaitu berdasarkan: (1) Jenis transpor dan lingkungan sedimen; (2) Bahan asal dan mekanisme; (3) Ukuran material yang diendapkan; (4) Bahan perekat sedimen; (5) Jenis mineral dan fraksi dominan; dan (6) Struktur batuan.

a. Jenis Transpor dan Lingkungan Sedimen

Berdasarkan tenaga alam yang mengangkutnya, maka batuan sedimen dapat dikategorikan dalam enam jenis sedimen, yaitu: Sedimen Aeolian; Sedimen Glacial; Sedimen Fluvio-glacial; Sedimen Fluvial; Sedimen Danau (*limnisch*); dan Sedimen Laut. Di Indonesia hampir semua jenis sedimen di atas ditemukan dan yang sangat sering ditemukan adalah sedimen fluvial, sedimen laut dan sedimen danau. Sedimen-sedimen lainnya juga ditemukan, tapi dalam jumlah sedikit.

a.1. Sedimen Aeolian

Sedimen aeolian adalah jenis sedimen yang diangkut dan dipengaruhi oleh angin. Proses sedimentasi ini sering menghasilkan pembentukan pola seperti *ripples* dan bukit pasir (*sand dunes*). Salah satu ciri khas dari sedimen ini adalah ukuran partikelnya, yang umumnya terdiri dari pasir halus dengan diameter kurang dari 1 mm. Sedimen aeolian juga memiliki sifat sortasi, di mana angin secara dominan mentranspor partikel-partikel pasir halus ini untuk jarak yang jauh. Sedimen aeolian umumnya dapat ditemukan di daerah-daerah seperti gurun atau pantai, seperti yang terlihat di Pantai Selatan Pulau Jawa.

Proses pembentukan sedimen *aeolian* dimulai dengan pasir halus atau debu yang diangkut oleh angin, kemudian diendapkan pada lokasi yang sesuai untuk terjadinya proses sedimentasi. Contoh-contoh dari sedimen *aeolian* termasuk tanah loss, bukit pasir (*sand dunes*), dan sedimen di pinggir pantai.

Bukit pasir (gumuk pasir atau gundukan pasir) adalah bentuk khas dari sedimen *aeolian*, terbentuk ketika pasir terbawa dan dideposisikan oleh angin. Bukit pasir biasanya

dapat ditemukan di daerah yang memiliki pasir sebagai material utama, memiliki kecepatan angin yang cukup tinggi untuk mengikis dan mengangkat butiran-butiran pasir, serta memiliki permukaan tanah yang cocok untuk tempat pengendapan pasir. Bukit pasir sering memiliki penampang yang tidak simetris dan cenderung bergeser ke arah angin berhembus, karena angin membawa butiran pasir dari depan ke belakang bukit pasir. Laju pergeseran bukit pasir ini umumnya tidak melebihi 30 m/tahun.

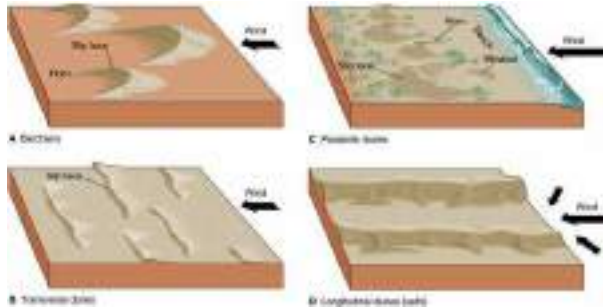
Angin yang mengangkat material-material lepas, saat kekuatannya mulai melemah, akan mengendapkan bahan-bahan tersebut. Material yang diendapkan dapat berupa pasir dan debu, yang kemudian membentuk bukit-bukit pasir. Bukit-bukit pasir ini seringkali terbentuk sebagai akibat dari proses sedimentasi oleh angin dan banyak ditemukan di daerah gurun pasir. Contoh pembentukan bukit-bukit pasir seperti ini dapat ditemukan di pantai Parangtritis (selatan Yogyakarta) dan pantai Lhoknga di Aceh.

Bentuk bukit pasir bermacam-macam tergantung pada faktor jumlah, ukuran butir pasir, kekuatan dan arah angin dan keadaan vegetasi. Bentuk umum bukit pasir yang perlu untuk diketahui adalah bentuk melintang (*transverse*), sabit (*barchan*), parabola (*parabolic*), dan memanjang (*longitudinal dune*). Proses bentukan bukit pasir ini dapat berkembang dengan baik apabila terpenuhi persyaratan sebagai berikut (Gambar 4.16):

- 1) Tersedia banyak material berukuran pasir halus hingga kasar.
- 2) Adanya periode kering yang panjang dan tegas.
- 3) Banyak angin yang mampu mengangkat dan mengendapkan bahan pasir.
- 4) Gerakan angin tidak banyak terhalang oleh vegetasi dan obyek lain.

Proses pembentukan bukit pasir dapat berkembang dengan baik jika memenuhi sejumlah persyaratan, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 4.16. Faktor-faktor seperti kekuatan dan arah angin, vegetasi, dan karakteristik butiran

pasir memainkan peran penting dalam membentuk bentuk akhir dari bukit pasir.



Gambar 4.16. Pembentukan dan tipe gunung pasir

a.2. Sedimen *Glacial*

Gletser, juga dikenal sebagai *glacier* atau *glesyer*, adalah massa besar es yang terbentuk di atas permukaan tanah melalui akumulasi endapan salju yang kemudian mengompak menjadi es selama periode waktu yang sangat lama. Proses terbentuknya gletser melibatkan proses sublimasi dan pembekuan salju. Salju yang awalnya dalam bentuk butiran akan mengalami kompresi hingga menjadi padat dan akhirnya membentuk struktur padatan yang lebih besar. Gletser terbentuk ketika jumlah salju yang turun lebih banyak mengalami pembekuan daripada mengalami pelarutan atau penguapan, sehingga lapisan es terakumulasi.

Saat ini, gletser meliputi sekitar 10% dari daratan di seluruh dunia. Gletser dapat ditemukan di daerah-daerah kutub, pegunungan tinggi di berbagai benua (kecuali Australia), dan bahkan di pegunungan tinggi di wilayah khatulistiwa, seperti Gunung Jayawijaya di Irian Jaya. Gletser bergerak sangat lambat, dengan kecepatan kurang dari 1 m per hari.

Sedimen yang dihasilkan melalui proses sedimentasi oleh gletser disebut sedimen glacial. Gletser memiliki kemampuan untuk mengikis dan mengangkut material dari lingkungan sekitarnya, yang kemudian akan mengendap saat gletser meleleh atau mengalami pengendapan es. Bentang alam yang

terbentuk akibat pengaruh gletser adalah lembah yang awalnya berbentuk V yang kemudian berubah menjadi berbentuk U. Saat musim semi tiba, gletser akan mengalami pengikisan ketika meluncur ke bawah lembah. Material yang diikis oleh gletser, baik itu batuan atau tanah, akan mengalir ke bawah lereng dan mengendap di dasar lembah, mengubah bentuk lembah tersebut dari V menjadi U.

Sedimen yang terbentuk melalui proses glacial, seperti es atau gletser, contohnya adalah moraine. Moraine ini dapat membentuk batuan sedimen seperti batuan breksi dan batuan konglomerat yang terendapkan dekat sumbernya, batuan pasir yang terendapkan lebih jauh dari batuan breksi dan konglomerat, serta lapisan liat yang terendapkan sangat jauh dari sumbernya. Karakteristik sedimen moraine ini seringkali bersifat heterogen, tidak selektif, tidak berlapis-lapis, terputus-putus, dan mengalami perubahan yang tajam baik secara vertikal maupun horizontal. Hal ini disebabkan oleh perubahan mendadak dalam topografi dan arah aliran yang terkait dengan aktivitas gletser.

Moraine adalah longgokan batu-batu kerikil, pasir dan sebagainya yang mengendap di ujung gletser yang bersifat tidak tersortasi. Bentuk-bentuk muka bumi dari sedimentasi gletser, antara lain:

- 1) Osar, yaitu endapan gletser berbentuk punggung yang sempit dan panjang
- 2) Kame, endapan gletser berbentuk seperti dataran tinggi
- 3) Drumlin, merupakan bukit-bukit kecil yang berbentuk bulat panjang, sebagian terbentuk oleh moraine dasar
- 4) Till plain, yaitu dataran yang terbentuk dan hasil sedimentasi gletser yang tidak tersortasi.

Gletser yang memiliki pengaruh dominan terhadap morfologi kawasan DAS seringkali menghasilkan sedimen glacial yang dikenal sebagai "till" atau "glacial till". Till adalah jenis sedimen glacial yang tidak mengalami proses sortasi, sehingga kandungan dan ukuran partikelnya sangat bervariasi. Sedimen glacial *till* ini merupakan bagian dari

endapan *glacial drift* dan cenderung memiliki karakteristik yang sangat kasar serta sangat heterogen dalam komposisi dan ukuran partikelnya. Kandungan sedimen dalam *glacial till* dapat beragam, mencakup campuran berbagai material seperti liat, debu, pasir, kerikil, dan batu-batu. Sebagian besar bahan ini berasal dari proses erosi subglacial yang terjadi ketika gletser bergerak, dan sedimen tersebut kemudian mengalami konsolidasi menjadi sedimen padat.



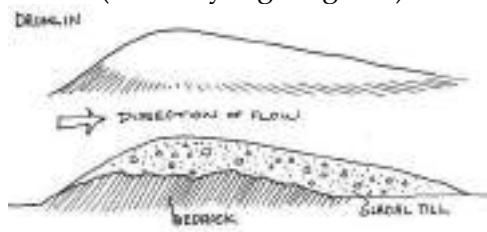
A (Gletser di Argentina)



B (Gletser yang bergerak)



C (Glacial tills)



D (Arah deposit glacial tills)

Gambar 4.17. Fenomena gletser dan *glacial tills*

Till memiliki nilai penting dalam penelitian geologi dan eksplorasi mineral. Beberapa jenis mineral berharga, seperti berlian, dapat terdapat dalam *till*. Para penambang sering menggunakan *till* sebagai petunjuk untuk melacak sumber gletser hulu yang dapat mengarahkan mereka untuk menemukan deposit berlian atau deposit bijih besi lainnya. *Till* dapat memiliki karakteristik yang sangat bervariasi, tergantung pada kondisi lingkungan di mana sedimen ini terbentuk. *Till* dapat diklasifikasikan, yaitu (Gambar 4.17):

- 1) Deposit primer adalah deposit yang ditetapkan langsung oleh aktivitas gletser

- 2) Deposit sekunder adalah deposit gletser yang telah mengalami pengerjaan ulang (misalnya fluvial transportasi, erosi dan lain-lain)
- 3) Lodgement tills adalah sedimen yang telah dideposit yang dilakukan oleh penutupan puing *glacial gletser*
- 4) Deformasi tills adalah endapan yang telah dipisahkan dan (biasanya) homogen dengan lapisan *sub glacial*.

a.3. Sedimen *Fluvioglacial*

Sedimen yang merupakan kelanjutan dari proses sedimentasi glacial, di mana sedimen glacial tersebut kemudian ditranspor kembali oleh air yang berasal dari pelelehan es, dapat menghasilkan pembentukan batuan yang dibulatkan. Salah satu contoh sedimen ini adalah "*scree*" atau batuan kecil lepas. Proses ini terjadi ketika es yang mencair membawa material glacial, termasuk batuan-batuan yang lebih kecil, dan mengendapkannya saat es mencair.

a.4. Sedimen *Fluviatil*

Sedimentasi oleh air sungai adalah fenomena umum yang sering terjadi di kawasan DAS. Proses ini menghasilkan endapan berupa pasir, lumpur, atau delta yang terdapat di muara-muara sungai. Secara geologis, batuan yang terbentuk akibat proses sedimentasi air ini disebut batuan sedimen akuatis.

Pada umumnya, fraksi pasir, batu kecil, atau kerikil (*gravel*) akan diangkut oleh aliran air sungai. Endapan yang dihasilkan sering disebut sebagai "*alluvium*" (endapan yang disebabkan oleh air tawar). Karakteristik alluvium dapat berbeda dari satu tempat ke tempat lain, tergantung pada berbagai faktor seperti tipe dan kecepatan aliran sungai, tingkat erosi, energi yang tersedia, dan sifat bahan sedimen. Sedimentasi ini dapat bersifat selektif dan berlapis-lapis, di mana endapan yang lebih kasar dan berat akan ditemukan lebih dekat dengan sumber aliran, sedangkan endapan yang lebih halus akan ditemukan semakin menjauh dari sungai.

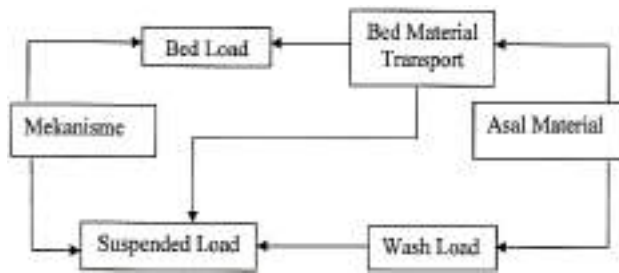
Contoh sedimen ini termasuk pasir atau batu kecil yang sering ditemukan di pinggir sungai, delta sungai, dan lingkungan akuatis lainnya.

b. Bahan Asal dan Mekanisme

Skema penggolongan sedimen yang berdasarkan asal bahan sedimen dan mekanisme pengangkutannya, dapat dijelaskan seperti yang terlihat pada (Gambar 4.18). Dalam skema ini, terdapat dua jenis material asal sedimen utama, yaitu:

- 1) Material Angkutan Dasar (*Bed Material Transport*), Ini merujuk pada material yang secara kontinu berada di dasar sungai dan dipindahkan atau diangkut oleh aliran sungai. Material ini cenderung lebih berat dan memiliki ukuran yang lebih besar. Contohnya termasuk pasir, kerikil, dan batuan-batuan kecil yang terdapat di dasar sungai. Material angkutan dasar ini memiliki peran penting dalam membentuk morfologi sungai, seperti pembentukan alur sungai dan pola aliran.
- 2) Muatan Kuras (*Wash Load*), Ini merujuk pada material yang dibawa oleh aliran sungai di atas permukaan sungai, biasanya dalam bentuk lumpur atau partikel-partikel yang lebih kecil. Muatan kuras dapat terdiri dari sedimen yang lebih halus, seperti tanah liat dan debu, serta bahan organik yang terlarut dalam air. Material ini cenderung lebih ringan dan dapat mengendap saat aliran sungai melambat atau saat air tenang. Muatan kuras memiliki peran dalam mempengaruhi kualitas air dan dapat membawa unsur hara serta polutan dalam ekosistem sungai.

Skema ini membantu dalam memahami sumber dan pergerakan sedimen di sungai serta dampaknya pada lingkungan sungai. Sedimen yang terbawa oleh sungai dapat memiliki pengaruh yang signifikan pada ekosistem sungai, kualitas air, dan morfologi sungai itu sendiri.



Gambar 4.18. Skema penggolongan sedimen (FAO, 1986)

Material angkutan dasar (*bed material transport*) merujuk pada semua bahan angkutan yang bersumber dari sungai itu sendiri. Secara kategoris, material angkutan dasar ini dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yakni muatan dasar (*bed load*) dan muatan melayang (*suspended load*). Muatan dasar adalah istilah yang merujuk pada pergerakan partikel-partikel di dalam aliran sungai yang berlangsung dengan metode menggelinding, meluncur, dan meloncat di atas permukaan dasar sungai. Di sisi lain, muatan melayang adalah kategori yang mencakup partikel-partikel yang senantiasa mengapung dalam aliran air sungai, tanpa bersentuhan langsung dengan permukaan dasar sungai. Kedua jenis muatan ini memiliki peran yang penting dalam proses transportasi sedimen di sungai dan mempengaruhi karakteristik morfologi sungai serta kualitas air secara keseluruhan.

Muatan kuras (*wash load*) adalah jenis bahan angkutan yang bersumber dari luar tubuh sungai, dan tidak memiliki hubungan langsung dengan kondisi lokal sungai tersebut. Sumber utama muatan kuras ini adalah hasil erosi yang terjadi di kawasan DAS hulu sungai. Bahan ini, yang merupakan hasil erosi DAS hulu, umumnya hanya dapat diangkut dalam bentuk muatan melayang dan cenderung terdiri dari partikel-partikel sangat halus dengan ukuran kurang dari 50 μm . Muatan kuras ini tidak terpengaruh oleh perubahan bentuk sungai secara langsung, namun memiliki dampak signifikan terhadap proses sedimentasi di muara sungai. Selain itu, muatan kuras juga

diperhitungkan dalam penentuan umur waduk, terutama dalam konteks sedimentasi waduk.

Kondisi alami dalam konteks anak-anak sungai memiliki peran yang signifikan dalam mempengaruhi kepekaan tanah terhadap erosi. Perbedaan dalam laju erosi yang timbul akibat variasi kondisi alamiah ini secara langsung berdampak pada sedimentasi yang berbeda di sungai-sungai yang terletak dalam sistem sungai Musi dan Banyuasin. Penting untuk dicatat bahwa perbedaan tersebut tidak hanya terlihat antara sungai-sungai yang berbeda, tetapi juga di dalam sungai yang sama.

Terdapat variasi laju sedimen yang signifikan pada anak-anak sungai di dalam wilayah DAS Musi, misalnya, sungai Komering dan sungai Ogan menunjukkan perbedaan dalam jenis komponen sedimen yang mendominasi di dalamnya. Sungai Ogan cenderung memiliki tingkat kandungan liat yang tinggi, sementara sungai Komering didominasi oleh sedimen berupa pasir. Perbedaan ini memiliki implikasi yang bervariasi, termasuk dampaknya terhadap kondisi persawahan di sekitar sungai. Di wilayah dekat sungai Komering, produksi pasir untuk keperluan konstruksi umumnya lebih melimpah.

Terdapat sejumlah faktor yang berkontribusi terhadap hasil sedimen di DAS Musi, termasuk jumlah dan intensitas curah hujan, formasi geologi, tipe tanah, tata guna lahan, topografi, erosi di DAS hulu, limpasan permukaan, karakteristik sedimen, dan karakteristik hidrolis sungai. Selain itu, hubungan antara kecepatan aliran, konsentrasi sedimen, dan debit sedimen dalam suatu aliran pada berbagai kedalaman sungai dijelaskan dengan prinsip bahwa semakin dalam dari permukaan sungai, kecepatan aliran akan semakin berkurang, dan kecepatan minimum biasanya terjadi pada dasar sungai.

b.1. Skematik Sedimentasi

Bahan-bahan sedimen yang diangkut oleh air sungai mengalami pengendapan di dasar sungai ketika arus air mulai melambat, dan sebagian besar dari sedimen yang lebih halus

akan mengendap di muara sungai. Proses sedimentasi yang berkelanjutan dan berlangsung selama bertahun-tahun menghasilkan pembentukan beberapa karakteristik lahan yang khas, termasuk delta, tanggul sungai, *meander*, *oxbow lake*, dataran banjir, dan kipas alluvial (Gambar 4.19).



Gambar 4.19. Gambaran umum system sungai

Delta

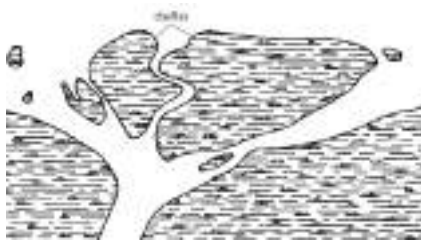
Delta terbentuk sebagai akibat dari penurunan kecepatan aliran air yang terjadi saat sungai mendekati muaranya, seperti muara laut, danau, atau laut. Penurunan kecepatan air ini memicu terjadinya proses sedimentasi sedimen. Sedimen berukuran kasar, seperti pasir dan batuan kecil, akan mengendap, sementara sedimen berukuran halus, seperti fraksi liat dan debu, akan terus terbawa oleh aliran air. Keberadaan fraksi liat ini merupakan penyebab utama warna air sungai yang cenderung selalu berwarna coklat.

Seiring berjalannya waktu, berdasarkan perbedaan berat dan diameter partikel, fraksi-fraksi ini akan mengendap dalam bentuk lapisan-lapisan sedimen. Lapisan-lapisan sedimen ini secara kolektif membentuk dataran yang luas di bagian sungai yang mendekati muaranya. Akumulasi sedimen ini akhirnya membentuk apa yang kita kenal sebagai delta (Gambar 4.20). Pembentukan delta mengikuti sejumlah syarat tertentu, termasuk:

- 1) Bahan Sedimen yang Melimpah: Sungai harus membawa sejumlah besar bahan sedimen ketika memasuki muara laut atau danau. Keberadaan sedimen yang cukup

melimpah memungkinkan terjadinya deposisi dan akumulasi sedimen yang mendukung pembentukan delta.

- 2) Laju Arus Sungai yang Lemah: Laju arus sungai sepanjang garis pantai harus lemah. Arus yang lambat memungkinkan partikel-partikel sedimen untuk mengendap dengan lebih efektif daripada dalam situasi dengan arus yang kuat.
- 3) Kawasan Pantai yang Dangkal: Kawasan pantai di dekat muara sungai harus memiliki kedalaman yang dangkal. Dangkalnya kedalaman ini memfasilitasi penumpukan sedimen yang banyak dan membentuk delta.



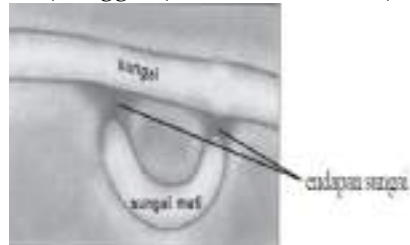
A (Skematik delta, Sandy, 1985)



B (Tanggul (www.e-dukasi.net)



C (Pembentukan meander)



D (Pembentukan oxbow lake)

Gambar 4.20. Sedimentasi oleh Air Sungai (Google, 2015)

Sebagai contoh, Provinsi Sumatera Selatan di Indonesia memiliki delta yang terkenal, seperti Delta Saleh dan Delta Telang, yang telah berhasil dimanfaatkan untuk pertanian tanaman pangan. Delta-delta ini memiliki beragam bentuk dan ukuran, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis batuan yang ada di sungai, kecepatan aliran sungai, dan kondisi musiman yang mempengaruhi pengendapan sedimen. Perbedaan dalam karakteristik geologi dan lingkungan ini

menyebabkan variasi dalam bentuk dan ukuran delta yang terbentuk.

Tanggul Sungai

Apabila terjadi hujan lebat, volume air meningkat secara cepat. Akibatnya terjadi banjir dan air meluap hingga ke tepi sungai. Pada saat air surut, bahan-bahan yang terbawa oleh air sungai akan terendapkan di tepi sungai. Akibatnya, terbentuk suatu dataran di tepi sungai. Timbulnya material yang tidak halus (kasar) terdapat pada tepi sungai. Akibatnya tepi sungai lebih tinggi dibandingkan dataran banjir yang terbentuk. Bentang alam yang terbentuk itu disebut tanggul sungai. Selain itu, juga terdapat tanggul pantai sebagai hasil dari proses sedimentasi oleh laut. Kedua tanggul tersebut merupakan tanggul alam, karena proses terbentuknya berlangsung alami hasil pengerjaan alam.

Meander

Meander, merupakan sungai yang berkelok-kelok yang terbentuk karena adanya sedimentasi. Proses berkelok-keloknya sungai dimulai dari sungai bagian hulu. Pada bagian hulu, volume airnya kecil dan tenaga yang terbentuk juga kecil. Akibatnya sungai mulai menghindari penghalang dan mencari jalan yang paling mudah dilewati. Sementara, pada bagian hulu belum terjadi sedimentasi. Pada bagian tengah, yang wilayahnya datar maka aliran airnya lambat, sehingga membentuk meander. Proses meander terjadi pada tepi sungai, baik bagian dalam maupun tepi luar. Di bagian sungai yang alirannya cepat, akan terjadi pengikisan, sedangkan bagian tepi sungai yang lamban alirannya, akan terjadi sedimentasi. Apabila hal itu berlangsung secara terus-menerus akan membentuk meander.

Meander adalah aliran sungai yang berkelok-kelok, dan sering ditemukan pada daerah hilir sebuah sungai, yaitu pada hilir DAS yang terletak pada dataran rendah. Terbentuknya *meander* adalah karena adanya reaksi dari aliran sungai

terhadap batu batuan yang relatif homogen dan kurang tahan terhadap erosi.

Lengkungan *meander* terdiri dari dua bagian yaitu sisi luar dan sisi dalam. Aliran air atau arus sungai lebih deras pada sisi luar daripada sisi dalam lengkungan meander, sehingga sisi luar lengkungan tererosi dan hasil erosi tersebut diendapkan pada sisi dalam lengkungan meander tersebut. Akibat proses tersebut, akhirnya meander tersebut dapat membentuk setengah lingkaran atau bahkan hampir melingkar penuh. Tahap perkembangan meander selanjutnya ialah batas daratan yang sempit yang memisahkan tikungan yang satu dengan tikungan lainnya akhirnya terpotong oleh aliran baru dan terbentuklah danau tapal kuda (*oxbow lake*).

Oxbow lake

Meander biasanya terbentuk pada sungai bagian hilir, sebab pengikisan dan sedimentasi terjadi secara terus-menerus. Proses sedimentasi yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan kelokan sungai terpotong dan terpisah dari aliran sungai, sehingga terbentuk *oxbow lake*, atau disebut juga sungai mati.

Dataran banjir

Proses terbentuknya meander dan pemindahan lembah sungai adalah hasil sedimentasi pada bekas aliran yang ditinggalkan dan membentuk tumpukan lumpur yang sangat luas. Dataran banjir merupakan daerah yang sering tergenang air pada waktu hujan yang mengakibatkan air sungai meluap.

Kipas alluvial

Kipas aluvial (*alluvial fan*) terbentuk akibat perubahan dalam karakteristik aliran sungai dan topografi di suatu wilayah. Kipas aluvial ini muncul ketika sungai yang berasal dari pegunungan mengalami perubahan signifikan dalam kecepatan dan kekuatannya, yang sering disebabkan oleh perubahan kemiringan topografi. Perubahan ini terjadi ketika

sungai tiba-tiba mencapai dataran rendah yang memiliki perbedaan ketinggian yang sangat mencolok dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Kipas aluvial ini sering ditemukan di sekitar mulut jeram sungai atau di lembah yang terletak di antara pegunungan dan dataran rendah. Fenomena ini merupakan hasil dari interaksi kompleks antara proses geomorfologis, hidrologis, dan geologi di suatu wilayah, dan memegang peran penting dalam pemahaman evolusi lahan dan geologi regional.

Sedimen Danau (*Limnisch*)

Endapan di danau dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu endapan tepi danau dan endapan dasar danau. Endapan tepi danau sering kali memiliki karakteristik seperti pasir dan kerikil, mirip dengan endapan yang terbentuk di wilayah pantai. Sifat endapan ini dipengaruhi oleh proses sedimentasi yang terjadi di sekitar tepian danau. Partikel pasir dan kerikil yang ada di endapan tepi danau umumnya merupakan hasil transportasi oleh air, angin, atau aktivitas geologis lainnya.

Sementara itu, endapan di dasar danau terbentuk ketika terjadi aliran masuk ke dalam danau, seperti aliran sungai atau sungai kecil. Ketika aliran ini memasuki danau, sedimen fluviatil yang dibawanya akan mengendap di dasar danau. Proses ini sering menghasilkan pembentukan delta, yang merupakan suatu bentuk endapan khas yang terbentuk di daerah pertemuan sungai dengan danau atau laut. Endapan delta umumnya terdiri dari lapisan-lapisan sedimen yang berbeda, yang mungkin mengandung fosil-fosil. fosil dalam endapan danau dapat menjadi alat yang sangat berguna dalam studi sedimentologi dan paleontologi, membantu ilmuwan untuk memahami sejarah geologis dan biologis suatu daerah.

Sedimen Laut

Sedimen laut, juga dikenal sebagai sedimen kimiawi, merupakan materi yang mengendap di lingkungan laut dan

terdiri dari berbagai komponen. Ini termasuk garam-garam laut yang mengendap di pesisir, sisa-sisa organisme laut yang mati seperti radiolaria, diatome, foraminifera, dan karang laut. Proses pasang surut air laut juga memainkan peran penting dalam memindahkan material dari daratan ke laut dan sebaliknya, akhirnya menghasilkan sedimentasi di daerah alut.

Proses sedimentasi oleh air laut disebut sedimentasi laut, dan ini disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk gelombang laut dan ombak. Hasil dari sedimentasi ini adalah batuan yang dikenal sebagai sedimen laut. Bentang alam yang dihasilkan oleh sedimentasi laut meliputi:

- 1) Pesisir, Daerah di mana daratan bertemu dengan laut. Pesisir mencakup bagian daratan yang bisa terendam oleh air laut, terutama selama pasang surut, serta bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses laut dan pantai seperti sedimentasi dan aliran air tawar. Komposisi material di pantai dapat bervariasi tergantung pada faktor cuaca, arah angin, dan arus laut.
- 2) Beting atau Gosong, Ini adalah endapan pasir atau lumpur yang terletak di perairan dangkal yang agak jauh dari pantai atau muara sungai. Beting yang berbentuk runcing sering disebut sebagai beting berkunjur.
- 3) Spit, Menyerupai beting, tetapi salah satu ujungnya terhubung ke daratan. Spit dapat tumbuh lebih panjang jika aliran pantai berlanjut.
- 4) Tombolo, Ini adalah bentuk deposisi di mana suatu pulau terhubung ke daratan oleh jalur tanah sempit, seperti spit atau bar. Ketika terhubung, pulau ini disebut pulau terikat, dan beberapa pulau yang terhubung bersama-sama oleh spit atau bar di atas permukaan air dikenal sebagai klaster tombolo. Jika dua atau lebih tombolo terhubung satu sama lain, ini disebut lagoon.
- 5) Penghalang Pantai, Pantai panjang dan sempit yang terbentang sejajar dengan pantai dan tidak terendam oleh pasang surut air laut.

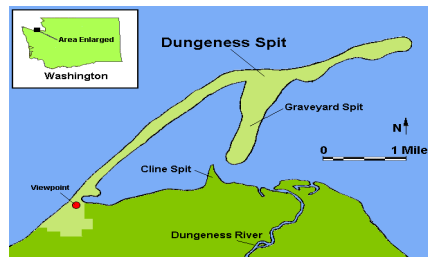
- 6) Teluk, Wilayah perairan laut yang menjorok ke daratan dan dibatasi oleh daratan di tiga sisinya.
- 7) Tanjung, Daratan yang menjorok ke laut atau daratan yang dikelilingi oleh laut di tiga sisinya. Tanjung yang luas disebut semenanjung (Gambar 4.21).

Semua bentang alam ini adalah hasil dari interaksi yang kompleks antara proses geologi, hidrologi, dan oseanografi di wilayah pesisir dan laut, dan memiliki nilai ekologis dan geologis dalam ilmu bumi dan lingkungan.

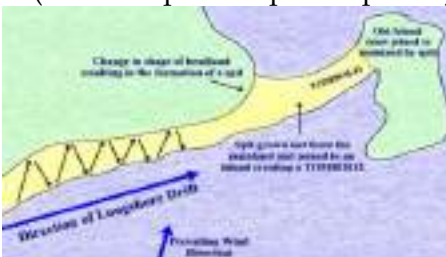
Ketujuh konfigurasi geomorfologi pesisir yang timbul dari proses sedimentasi laut kerap teramati di daerah tropis, terutama karena tingkat dinamika laut yang tinggi di wilayah ini. Contohnya, pantai pasir yang mendominasi pesisir di sekitar pantai Barat Sumatera dan pantai Selatan Jawa. Kendati begitu, sebaiknya dicatat bahwa berbagai faktor menyumbang pada kecenderungan ini, termasuk iklim tropis yang panas dan lembap serta intensitas sinar matahari yang tinggi.



A (Sedimen pasir di pesisir pantai)



B (*Spit* di Washington, USA)



C (Pembentukan *Tombolo*)



D (Penghalang pantai)

Gambar 4.21. Bentang alam hasil sedimentasi oleh air laut (Google, 2015)

Pembentukan tersebut merupakan hasil dari interaksi yang rumit antara berbagai faktor seperti proses geologis, oseanografi, dan iklim di wilayah tropis. Selain itu, perubahan iklim global dan aktivitas manusia juga dapat berdampak signifikan terhadap ekosistem pesisir di daerah tropis ini. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang proses-proses ini sangat penting dalam upaya melindungi, merawat, dan mengelola pesisir tropis dengan berkelanjutan.

b.2. Sumber Sedimen Laut

Sedimen laut adalah hasil dari proses sedimentasi yang terjadi dalam lingkungan laut. Sedimen yang ditemukan di dasar laut berasal dari berbagai sumber dan dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori utama:

- 1) *Lithogenous Sedimen*, Jenis sedimen ini berasal dari erosi pantai dan material yang terbawa oleh aliran sungai dari daerah hulu DAS. Material ini dapat mencapai dasar laut melalui proses mekanik, seperti angkutan oleh arus sungai atau arus laut, dan akan mengendap saat energi transportasinya berkurang.
- 2) *Biogeneous Sedimen*, Sedimen ini berasal dari sisa-sisa organisme laut yang mati, seperti cangkang dan kerangka biota laut, serta material organik yang mengalami dekomposisi.
- 3) *Hydrogenous Sedimen*, Jenis sedimen ini terbentuk akibat reaksi kimia yang terjadi di dalam air laut, yang menghasilkan partikel yang tidak larut dalam air laut. Contoh sedimen jenis ini termasuk magnetit, fosforit, dan glaukonit.
- 4) *Cosmogenous Sedimen*, Sedimen ini berasal dari berbagai sumber dan masuk ke laut melalui perantara udara dan angin. Sumber-sumber sedimen ini termasuk material dari luar angkasa, aktivitas gunung berapi, atau partikel darat yang diangkut oleh angin. Material dari luar angkasa adalah hasil sisa-sisa meteor yang meledak di atmosfer dan jatuh ke laut. Sedimen yang berasal dari letusan

gunung berapi dapat berukuran halus seperti debu vulkanik atau berupa fragmen aglomerat. Sedimen dari partikel darat yang terbawa oleh angin sering terjadi di daerah kering di mana proses eolian mendominasi, tetapi juga dapat terjadi di daerah subtropis selama musim kering dan angin kencang. Namun, jumlah sedimen ini cenderung kurang dominan dibandingkan dengan sumber-sumber lainnya.

Selama proses sedimentasi, bahan-bahan yang masuk ke laut akan berubah menjadi sedimen. Proses ini melibatkan interaksi biologis dan kimia yang berlangsung sepanjang kedalaman laut. Sebelum mencapai dasar laut, bahan-bahan tersebut akan terapung di dalam laut. Bahkan setelah mencapai dasar laut, sedimen tidak tetap diam, karena sering kali terganggu oleh aktivitas hewan laut yang mencari makanan. Beberapa sedimen dapat mengalami erosi dan kemudian disuspensi kembali oleh arus bawah sebelum akhirnya jatuh kembali dan terendap. Selama perjalanan ke dasar laut, terjadi reaksi kimia antara mineral-mineral yang ada dan air laut. Proses ini terus berlangsung selama penimbunan, ketika air laut terperangkap di antara butiran mineral.

b.3. Jenis Sedimen Laut

Sedimen laut dalam dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu Sedimen Terigen Pelagis dan Sedimen Biogenik Pelagis.

- 1) Sedimen Biogenik Pelagis. Sedimen biogenik ini terdiri atas berbagai struktur halus dan kompleks. Kebanyakan sedimen itu berupa sisa-sisa fitoplankton dan zooplankton laut. Karena umur organisme plankton hanya satu atau dua minggu, maka terjadi suatu bentuk 'hujan' sisa-sisa organisme plankton yang perlahan, tetapi kontinue di dalam air laut untuk membentuk lapisan sedimen tersendiri. Pembentukan sedimen ini tergantung pada beberapa faktor lokal, seperti kimia air, kedalaman dan

jumlah produksi primer di permukaan air laut. Jadi, keberadaan mikrofil dalam sedimen laut dapat digunakan untuk menentukan kedalaman air dan produktivitas permukaan laut pada zaman dulu.

- 2) Sedimen Terigen Pelagis. Hampir semua sedimen terigen ditemukan di lingkungan pelagis, yaitu terdiri atas materi-materi yang berukuran sangat kecil. Ada dua cara materi tersebut sampai ke lingkungan pelagis. Pertama dengan bantuan arus turbiditas dan aliran gravitasi. Kedua melalui gerakan es, yaitu materi glacial yang dibawa oleh bongkahan es ke laut lepas dan mencair. Bongkahan es besar yang mengapung, bongkahan es kecil dan pasir dapat ditemukan pada sedimen pelagis yang berjarak beberapa ratus km dari daerah gletser atau tempat asalnya.

b.4. Struktur Sedimen Laut

Struktur merupakan suatu kenampakan yang diakibatkan oleh proses pengendapan dan keadaan energi pembentuknya. Pembentukannya dapat pada waktu atau sesaat setelah pengendapan. Struktur berhubungan dengan kenampakan batuan yang lebih besar, paling bagus diamati di lapangan misal pada lapisan batuan. Struktur sedimen dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu:

- 1) Struktur anorganik terutama pelapisan, contoh: *graded beds, cross beds, mudcraks.*
- 2) Struktur biogenik terdiri dari struktur jejak dan boring
- 3) Struktur deformasi terdiri dari *convolute bedding, ball and pillow dan diapiric.*

Berbagai sifat fisik sedimen ditelaah sesuai dengan tujuan dan kegunaannya. Diantaranya adalah tekstur sedimen yang meliputi ukuran butir (*grain size*), bentuk butir (*particle shape*), dan hubungan antar butir (*fabrik*), struktur sedimen, komposisi mineral, serta kandungan biota. Dari berbagai sifat fisik tersebut ukuran butir menjadi sangat penting karena

umumnya menjadi dasar dalam penamaan sedimen yang bersangkutan serta membantu analisa proses pengendapan karena ukuran butir berhubungan erat dengan dinamika transportasi dan deposisi. Berkaitan dengan sedimentasi mekanik ukuran butir akan mencerminkan resistensi butiran sedimen terhadap proses pelapukan erosi/abrasi serta mencerminkan kemampuan dalam menentukan transportasi dan deposisi.

b.5. Transpor Sedimen

Dengan melihat cara transpor sedimen, maka sedimen dapat dilihat melalui:

- 1) Transportasi Sedimen di Pantai, terdapat tiga jenis transportasi sedimen dalam aliran air. Pertama adalah sedimen merayap (*bed load*), di mana material diangkut dengan cara digeser atau digelindingkan di dasar aliran. Kedua, terdapat sedimen loncat (*saltation load*), di mana material meloncat-loncat dan bertumpu pada dasar aliran. Ketiga adalah sedimen layang (*suspended load*), di mana material diangkut oleh arus dengan cara melayang-layang dalam air.
- 2) Transportasi Sedimen Sepanjang Pantai, Transportasi sedimen sepanjang pantai adalah pergerakan sedimen di wilayah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dihasilkannya. Fenomena ini terjadi di antara zona gelombang pecah dan garis pantai, dipengaruhi oleh sedimen yang dibawa oleh gelombang tersebut. Transportasi sedimen pantai terdiri dari dua komponen utama, yaitu transportasi sedimen dalam bentuk mata gergaji di garis pantai.

Transportasi sedimen di pantai seringkali mengakibatkan perubahan dalam topografi dasar perairan, seperti pendangkalan muara sungai, erosi pantai, dan perubahan posisi garis pantai. Fenomena ini menjadi perhatian khusus, terutama di daerah pelabuhan, sehingga penting untuk melakukan prediksi yang akurat terkait perubahan ini dalam

rangka perencanaan dan penentuan strategi penanggulangan yang tepat. Transpor sedimen di perairan umumnya terdiri dari tiga mekanisme, yaitu *suspended load*, *bed load* dan *dissolved load*.

- 1) *Suspended Load*: Ini adalah mekanisme transportasi di mana partikel-partikel disusupi oleh air secara keseluruhan. Ukuran partikel ini bervariasi tergantung pada densitasnya dan kecepatan aliran air. Aliran air yang lebih cepat mampu mengangkut partikel yang lebih besar dan padat.
- 2) *Bed Load*: merupakan mekanisme transportasi di mana partikel-partikel yang lebih kasar dan padat bergerak sepanjang dasar perairan. Mereka dapat bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat karena adanya tumbukan antara partikel-partikel itu sendiri dan karena pengaruh turbulensi, tetapi selalu kembali ke dasar. Mekanisme transportasi dapat berubah dari *suspended load* menjadi *bed load* dan sebaliknya karena perubahan kecepatan aliran.
- 3) *Dissolve Load*: adalah mekanisme transportasi di mana berbagai ion memasuki perairan melalui proses pelapukan (*weathering*). Mekanisme ini tidak terlihat secara fisik karena ion-ion ini larut dalam air. *Dissolve Load* terutama terdiri dari ion-ion seperti HCO_3^- (ion bikarbonat), Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , dan K^+ . Ion-ion ini akhirnya dibawa ke lautan dan pada akhirnya berkontribusi pada kandungan garam di lautan.

c. Ukuran Material yang Diendapkan

Berdasarkan ukuran material yang diendapkan, maka sedimen dapat dikelompokkan menjadi: sedimen klastis, sedimen kimiawi dan sedimen organis.

c.1. Sedimen Klastis (*Clastic*)

Kata "*klastis*" berasal dari bahasa Yunani, di mana "*klastos*" mengandung makna pecahan. Sedimen klastis terbentuk

sebagai akibat dari proses pelapukan mekanis, baik berupa pecahan batuan atau sisa-sisa dari pelapukan kimiawi yang telah mengalami perubahan yang signifikan sehingga sulit untuk dikembalikan ke bentuk asalnya. Golongan sedimen ini mencakup berbagai jenis, seperti konglomerat, breksia, batuan pasir, arkosa, dan batuan lempung. Dengan mempertimbangkan ukuran fraksi atau butiran, sedimen klastis ini dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok utama, yaitu psephite, psammite, dan pelite. Informasi terkait tekstur, ukuran, komposisi, serta nama-nama fraksi dan jenis batuan tersebut dapat ditemukan secara rinci dalam (Tabel 4.7) dan (Gambar 4.22).

Psephite

Psephite adalah jenis batuan sedimen yang memiliki ukuran fraksi yang lebih besar dari 2 mm, yang termasuk dalam kelompok batuan sampai kerikil. Dalam hal bentuk pembulatan batuan, terdapat dua contoh batuan yang signifikan, yaitu konglomerat dan breksia. Hubungan antara derajat pembulatan sedimen dan jenis sedimen yang mungkin terbentuk diuraikan secara rinci dalam (Tabel 4.8), yang memberikan informasi yang berharga tentang bagaimana derajat pembulatan dapat memengaruhi sifat dan karakteristik batuan sedimen yang terbentuk.

Tabel 4.7. Ukuran fraksi berdasarkan DIN 4022 (mm)

Klasifikasi	Nama fraksi	Ukuran diameter (mm)
<i>Psephite</i>	Batu (<i>gravel</i>)	> 63
	Kerikil besar	20 - 63
	Kerikil sedang	6,3 - 20
	Kerikil halus	2 - 6,3
<i>Psammite</i>	Pasir kasar	0,63 - 2
	Pasir sedang	0,2 - 0,63
	Pasir halus	0,063 - 0,2
<i>Pelite</i>	Debu	0,002 - 0,063
	Liat	< 0,002

TEXTURE	GRAIN SIZE	COMPOSITION	COMMENTS	ROCK NAME	MAP SYMBOL
Clastic (fragmental)	Pebbles, cobbles, and/or boulders embedded in sand, silt, and/or clay	Mostly quartz, feldspar, and clay minerals; may contain fragments of other rocks and minerals	Rounded fragments	Conglomerate	
			Angular fragments	Breccia	
	Sand (0.2 to 0.006 cm)		Fine to coarse	Sandstone	
	Silt (0.006 to 0.0004 cm)		Very fine grain	Siltstone	
	Clay (less than 0.0004 cm)		Compact; may split easily	Shale	

Gambar 4.22. Hubungan tekstur, ukuran, mineral dan nama batuan

Konglomerat adalah jenis batuan sedimen yang umumnya terbentuk melalui proses pengikisan pantai atau tebing sungai. Biasanya, konglomerat terdiri dari material seragam yang telah mengalami proses transportasi yang panjang. Batuan ini sering ditemukan di daerah dengan iklim tropis dan iklim sedang (*humid temperate*). Konglomerat dicirikan oleh butiran yang besar dan padat yang mengisi matriksnya.

Tabel 4.8. Hubungan derajat pembulatan dan jenis batuan yang dibentuk

Derajat pembulatan	Sedimen lepas	Jenis sedimen
Dibulatkan dengan baik di daerah muara sungai	Kerikil, <i>Scree</i>	Konglomerat Fanglomerat
Tidak dibulatkan di daerah kurang curah hujan	Pecahan batu	Breksia

Fanglomerat, merupakan batuan sedimen yang berada di antara konglomerat dan breksia dalam hal karakteristik butiran dan proses pembentukannya. Fanglomerat cenderung ditemukan di daerah dengan iklim arid dan terbentuk dari berbagai macam material yang bersifat heterogen. Batuan ini berasal dari pecahan batuan dan seringkali tidak memiliki lapisan yang terdefinisi dengan baik. Fanglomerat mengandung banyak material kasar dan memiliki sedikit material halus dalam komposisinya.

Dengan demikian, perbedaan dalam iklim, sumber material, dan karakteristik butiran antara konglomerat dan

fanglomerat mencerminkan perbedaan dalam lingkungan pembentukan keduanya.

Psammite

Psammite Psammite adalah jenis batuan sedimen yang memiliki ukuran fraksi antara 0,063-2 mm, sehingga termasuk dalam kategori pasir. Contoh batuan sedimen yang termasuk dalam golongan ini meliputi Arkose dan batuan pasir.

Arkose umumnya ditemukan di daerah dengan iklim arid atau gurun. Hal ini disebabkan karena di daerah ini, pelapukan kimia terjadi dalam skala yang lebih terbatas, sehingga Feldspar dalam batuan hanya mengalami pelapukan fisik saja, tanpa mengalami pelapukan kimia yang intensif. Hasilnya adalah terbentuknya arkose yang mengandung sejumlah besar butiran pasir dan butiran kasar lainnya.

Daerah dengan iklim tropis dan iklim sedang, terdapat kondisi di mana evapotranspirasi potensial (kehilangan air melalui penguapan dan transpirasi tumbuhan) lebih kecil daripada curah hujan yang tinggi. Hal ini mengakibatkan surplus air yang memungkinkan pelapukan kimia berjalan secara intensif. Akibatnya, terbentuklah batuan pasir yang memiliki butiran lebih halus dibandingkan dengan arkose. Lingkungan dan kondisi geografis memainkan peran penting dalam pembentukan dan karakteristik batuan sedimen seperti arkose dan batuan pasir.

Pelite

Pelite berukuran $< 0,063$ mm (liat dan debu). Contoh yang paling umum adalah batuan liat dengan ciri khas tersusun dari SiO_2 (50-60 %), Al_2O_3 (18-20 %), dan FeO (10 %). Berwarna hitam karena batuan ini mampu menyerap C organik, FeS dan bitumen. Jika warnanya merah disebabkan oleh warna Hematit, jika hijau disebabkan oleh mineral Klorit atau Glaukonit. Batuan liat mampu banyak menyerap air, porositas tinggi dan permeabilitas rendah. Kemampuan beberapa liat menyerap air disajikan pada Tabel 4.9. Apabila liat bercampur dengan pasir

dan debu, maka akan terbentuk lempung (*loam*), dan apabila liat tercampur kapur dan pasir, maka terbentuk mergel (*marl*).

Tabel 4.9. Kemampuan beberapa liat menyerap air

Nama mineral liat	Kemampuan menyerap air (%)
Kaolinit	90
Montmorillonit	300-700

c.2. Sedimen Kimiawi

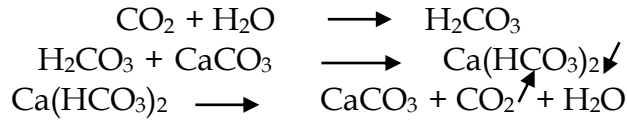
Sedimen kimiawi terbentuk melalui proses pengendapan material-material yang awalnya terlarut dalam larutan. Material-material terlarut ini dapat bertahan dalam larutan sampai larutan tersebut mencapai kejenuhan, yang pada akhirnya akan menyebabkan material-material tersebut mengendap dalam bentuk kristal atau gel. Proses ini kemudian berlanjut dengan pengerasan material tersebut sehingga membentuk sedimen kimiawi.

Berikut adalah urutan dari material-material yang sangat mudah mengendap sampai yang lebih sulit dalam proses pengendapan kimiawi: CaCO_3 (Karbonat), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (Dolomit), CaSO_4 (Anhidrit), $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Gips), NaCl (Garam Dapur), dan KCl .

Banyak endapan kimiawi hanya mengandung satu jenis mineral penting, sehingga mineral tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk mengelompokkan batuan kimiawi. Contohnya adalah batuan Kapur, Batu Tetes, Dolomit, Evaporit, Hematit, Bauxit, Gipsit, dan lain sebagainya. Hubungan antara tekstur, ukuran, komposisi kimia mineral, dan nama batuan yang terbentuk dari proses pengendapan kimiawi ini dapat ditemukan dalam (Gambar 4.23).

Batuan Tetes (stalagtit dan stalagmit) banyak dijumpai di dalam gua-gua bawah tanah di daerah kapur. Proses pembentukan batuan tetes adalah sebagai berikut: Air hujan yang mengandung CO_2 akan melarutkan CaCO_3 dan membentuk $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan akan menguap sebagai CO_2 . Air

yang mengandung $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ akan mengendapkan CaCO_3 sebagai endapan stalagtit (atas) dan stalagmit (bawah).



TEXTURE	GRAIN SIZE	COMPOSITION	COMMENTS	ROCK NAME	MAP SYMBOL
Crystalline	Varied	Hillite	Crystals from chemical precipitates and evaporites	Rock Salt	
	Varied	Gypsum		Rock Gypsum	
	Varied	Dolomite		Dolomite	
Bedded	Microscopic to coarse	Calcite	Cemented shell fragments or precipitates of biologic origin	Limstons	
	Varied	Carbon	Free grain remains	Coal	

Gambar 4.23. Hubungan tekstur, ukuran, komposisi kimia dan batuan

Batuan evaporit adalah jenis batuan yang terbentuk akibat penguapan air laut secara intensif. Proses ini terjadi jika air laut intensif menguap, dan meninggalkan substansi-substansi yang terkandung dalam air laut yang sulit larut. Proses pengendapan pada batuan evaporit biasanya berlangsung dalam urutan tertentu sesuai dengan tingkat kelarutan substansi-substansi tersebut., misalnya *Anhydrit* dan *Gips*, kemudian garam NaCl dan akhirnya garam KCl yang sangat mudah larut.

Sedimen Organik (*Biogen* atau *Organogen*)

Sedimen organik adalah jenis sedimen yang terbentuk atau diendapkan oleh aktivitas organisme. Proses pembentukan sedimen ini dimulai dengan flora dan fauna yang menyerap material terlarut dari dalam air, material terlarut ini sebagai bagian pelindung tubuh makhluk hidup, seperti kulit keras atau cangkang.

Sedimen organik juga dapat terbentuk melalui penimbunan bahan organik secara langsung, tanpa melalui organisme. Contohnya adalah pembentukan gambut, batubara, dan fosil. Gambut terbentuk melalui akumulasi material tumbuhan yang terurai secara parsial di lingkungan yang kaya

akan air. Batubara adalah contoh lain dari sedimen organik yang terbentuk melalui pengendapan dan pemadatan tumbuhan yang telah mati selama jutaan tahun. Fosil, adalah sisa-sisa organisme yang telah mengalami mineralisasi dan terkubur dalam sedimen.

Sedimen organik mencerminkan berbagai aspek ekologi dan sejarah geologi, dan sering menjadi sumber informasi penting dalam pemahaman tentang perkembangan dan perubahan lingkungan serta evolusi organisme selama waktu geologis yang panjang.

- 1) Batubara terbentuk dari timbunan sisa-sisa tumbuhan di dasar cekungan, berubah jadi gambut, selanjutnya jadi batubara muda dan tua.
- 2) Batuan kapur dibentuk oleh makhluk hidup penghasil kapur, yaitu rumah foraminifera, *nummulithen*, kerang-kerangan, moluska, koral, brasiopoda dan *bryozoen* serta echinodermata
- 3) Sedimen *diatomeae* terdapat di dasar laut yang merupakan tumpukan kerangka mati tumbuhan satu sel (*diatomeae*) yang hidup di laut.

d. Bahan Perekat Sedimen

Berdasarkan jenis perekat yang digunakan dalam mengikat batuan, terdapat empat jenis utama:

- 1) Perekat Kapur: Perekat kapur digunakan untuk mengikat batuan dan seringkali memberikan reaksi ketika diuji dengan asam HCl 10%, menghasilkan busa. Batuan yang terikat dengan perekat kapur sering ditemukan di daerah dengan iklim arid. Contoh batuan yang diikat oleh perekat kapur adalah batuan Mergel (*marl*).
- 2) Perekat Liat: Perekat liat memiliki sifat ikatan yang tidak begitu kuat, tetapi sangat efektif dalam mengikat batuan, terutama pada area yang luas dan mudah tertransportasi. Batuan yang diikat dengan perekat liat cenderung mengembang ketika terkena air dan memiliki warna hitam karena menyerap banyak bahan organik.

- 3) Perekat Silikat: Perekat silikat memiliki ikatan yang kuat dan kaku, ditemukan di daerah dengan iklim sedang dan tropis. Perekat silikat umumnya mengalami reaksi dengan mineral K-feldspar yang intensif dan sering ditemukan dalam batuan seperti konglomerat, batuan pasir, dan lainnya.
- 4) Kongkresi (Rust, FeO): Perekat jenis kongkresi memiliki sifat ikatan yang berwarna merah, coklat tua, atau kehitam-hitaman, ditemukan di daerah dengan iklim arid, contoh batuan Magnetit.

Pengetahuan tentang jenis perekat yang digunakan dalam pembentukan batuan memberikan wawasan tentang lingkungan geologis di mana batuan tersebut terbentuk, seperti kondisi iklim dan komposisi material dominan di wilayah tersebut.

e. Jenis Mineral dan Fraksi Dominan

Sedimen mempunyai sifat-sifat khas berdasarkan jenis mineral dan fraksi dominan penyusun sedimen yang disimpulkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Susunan dan sifat mineral dominan dalam sedimen

Mineral dominan	Sedimen yang terbentuk dan sifatnya
Kuarsa	Batuan Pasir, sangat keras, terbentuk di daerah iklim sedang dan tropika dan curah hujan tinggi
Kuarsa + feldspar	Batuan Arkosa, dibentuk di daerah iklim arid dan curah hujan rendah
Kuarsa + kaolin	Batuan Kaolin, terbentuk di daerah iklim setengah padang pasir dan sedikit ditranspor oleh air
Kuarsa + glaukonit	Batuan Glaukonit, berwarna hijau, terdapat di laut dan mengandung banyak Fe^{2+} & Fe^{3+}
Kuarsa + logam berat, Au, granat dll	Magnetit, Seife, umumnya dibentuk di daerah muara sungai
Kuarsa + pecahan batuan	<i>Dirty Sandstone</i> , Turbidit, dibentuk di laut dengan bantuan gerakan air laut

f. Struktur Batuan Sedimen

Struktur sedimen adalah karakteristik unik yang dapat digunakan untuk melacak proses pembentukan sedimen tersebut. Dua kategori utama struktur sedimen, yaitu indikasi jejak kehidupan (biogenik) dan tanda fisik (abiogenik).

Struktur Biogen

Struktur biogenik mencerminkan jejak kehidupan organisme yang pernah menetap di dalam sedimen dan dapat berupa fosil. Contohnya, kita dapat merujuk pada fosil cacing *Scholitus* yang ditemukan dalam batuan pasir berumur sekitar 600 juta tahun yang berasal dari wilayah Skandinavia, termasuk Denmark, Finlandia, dan Swedia. Batuan ini pada awalnya menjadi lingkungan bagi kehidupan cacing *Scholitus*. Namun, seiring berjalannya waktu dan proses geologis, lingkungan tersebut berubah menjadi batuan pasir yang disebut batuan pasir *Scholitus*, yang mencatat jejak fosil organisme tersebut.

Struktur Abiogen

Struktur abiogenik dicirikan oleh bukti pembentukan yang tidak melibatkan organisme hidup. Contoh dari struktur ini termasuk pembentukan jejak gelombang oleh ombak laut, sungai, atau angin di daerah pantai yang datar dengan kecepatan aliran air kurang dari 20 cm/detik (Gambar 4.24). Berbagai contoh batuan abiogenik meliputi tanda gelombang osilasi, jejak gelombang kecil (*ripple marks*), jejak gelombang simetris, jejak gelombang berbentuk lidah, pola jaringan, serta bentuk-bentuk lainnya. Contoh lain dari batuan abiogenik adalah batuan pasir harimau (*tiger sandstone*) yang ditandai oleh adanya konkresi magnesium atau karbonat yang berwarna coklat.



Ripple marks by wind

Ripple marks by sea

Ripple marks by river

Gambar 4.24. Macam-macam *ripple marks*

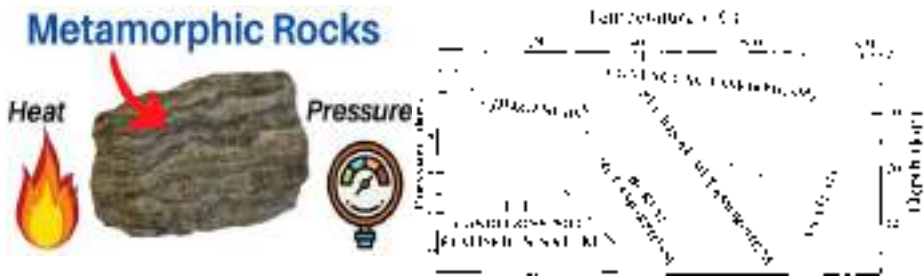
4.3. Batuan Metamorfik

Batuan transformasi disebut juga metamorfik atau batuan metamorfik. Perbedaan mendasar antara batuan sedimen dan batuan metamorfik terletak pada asal-usulnya. Batuan sedimen berasal dari batuan primer, seperti batuan beku (magmatik), dan mengandung semua komponen yang terakumulasi dari lingkungan di sekitarnya. Batuan metamorfik berasal dari berbagai jenis batuan, termasuk batuan beku intrusi (plutonik) dan batuan beku ekstrusi (vulkanik), serta batuan metamorfik lainnya. Proses metamorfosis batuan metamorfik melibatkan penghilangan komponen yang lembut dan cair dari batuan asalnya.

Transformasi ini melibatkan perubahan baik dalam hal fisik maupun kimia, menghasilkan batuan yang secara signifikan berbeda dari batuan asalnya. Mineral-mineral umum yang menyusun batuan metamorfik sering mengandung unsur-unsur seperti Fe, Mg, Na, Al, dan Ca yang ditampilkan pada Tabel 4.11. Syarat terbentuknya batuan metamorfik adalah adanya tekanan tinggi (P) dan temperatur tinggi (T). Uraian bagaimana pengaruh tekanan dan temperatur ini diberikan pada penjelasan berikut ini (Gambar 4.25):

1) Tekanan (P)

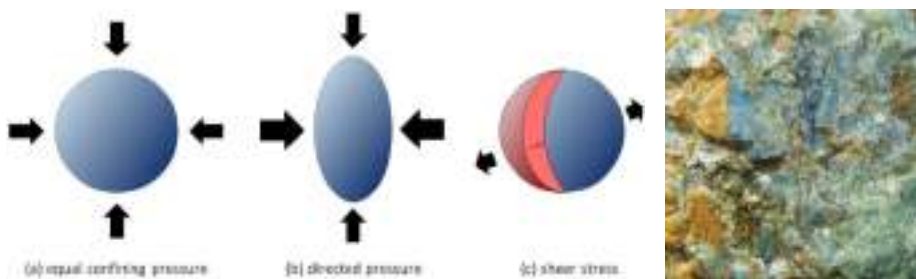
Ketika batuan mengalami tekanan tinggi, maka berbagai reaksi dapat terjadi sebagai respons terhadap tekanan tersebut, yaitu: Tekanan dari semua arah (Tekanan Lithostatik); dan Tekanan dari satu arah (Tekanan Stres).



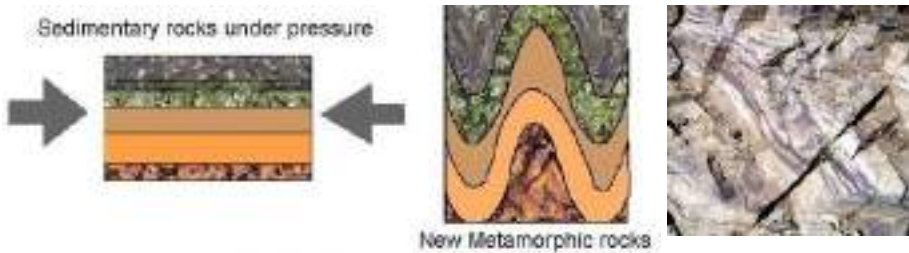
Gambar 4.25. Hubungan temperature dan tekanan pada metamorfite

Tekanan Dari Semua Arah (Tekanan Lithostatik) merupakan tekanan yang diberikan pada batuan dari segala arah. Tekanan ini cenderung menyebabkan pepadatan batuan tersebut. Biasanya, tekanan ini muncul akibat penimbunan sedimen secara terus-menerus di suatu lokasi, menyebabkan pepadatan batuan. Semakin banyak sedimen yang menimbun, semakin tinggi pula tingkat tekanan lithostatik yang terjadi.

Tekanan Dari Satu Arah (Tekanan Stres) terjadi ketika batuan mengalami tekanan dari arah horizontal yang satu. Tekanan ini dapat menyebabkan stres pada batuan tersebut (Gambar 4.26). Tekanan stres ini umumnya muncul akibat aktivitas geologis seperti tektonik lempeng atau deformasi batuan.



Gambar 4.26. Tekanan dari semua arah (tekanan lithostatik)



Gambar 4.27. Tekanan dari satu arah (tekanan stres)

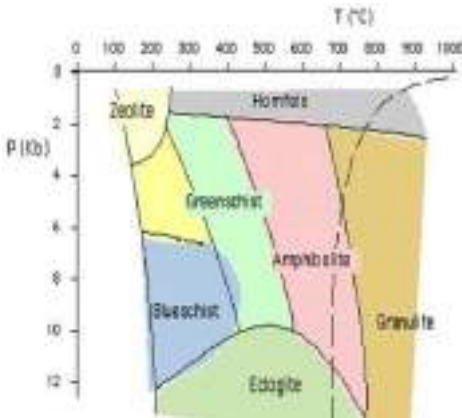
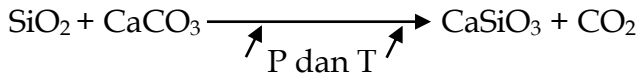
2) Temperatur (T)

Peningkatan temperatur terkait dengan perubahan ketinggian dalam litosfer dapat dijelaskan dengan hukum geotermal. Hukum geotermal menyatakan bahwa temperatur akan naik sekitar 25-30 °C per km penurunan kedalaman di dalam litosfer. Jadi, jika sedimen turun 1 km, temperatur akan meningkat sekitar 25-30 °C dari temperatur awalnya, bukan hanya 3 °C. Ini berarti bahwa perubahan temperatur tidak linear terhadap perubahan ketinggian, tetapi lebih terkait dengan hukum geotermal yang mencerminkan perubahan suhu yang lebih besar dengan penurunan kedalaman yang signifikan.

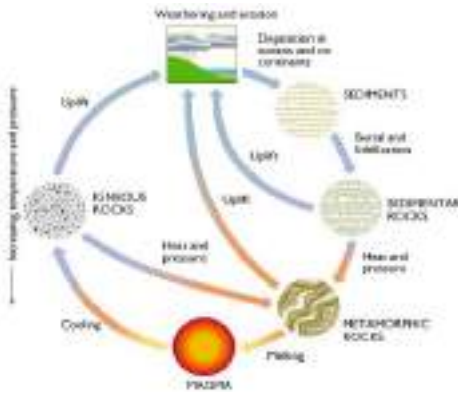
Realitas alam, peningkatan tekanan dan temperatur selalu berhubungan erat satu sama lain. Oleh karena itu, uraian berikut ini akan menjelaskan reaksi yang dapat terjadi pada batuan atau mineral ketika terjadi peningkatan tekanan dan temperatur secara bersama-sama. Berikut adalah kemungkinan yang timbul akibat peningkatan tekanan dan temperatur:

a. Perubahan mineral

Ketika terjadi kondisi pada sistem tertutup dengan suhu (T) di atas 500°C dan tekanan (P) antara 15-30 kilobar (KBar), maka reaksi antara asam silikat dan kapur dapat menghasilkan mineral wollastonit (CaSiO_3). Wollastonit adalah silikat kalsium yang memiliki rumus kimia CaSiO_3 . Mineral ini memiliki tingkat kekerasan sekitar 4,5-5 dalam skala Mohs (Gambar 4.28).



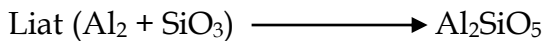
Gambar 4.28. Mineral-mineral umum penyusun batuan metamorfik



Gambar 4.29. Tekanan dan temperatur dari segala arah

b. Pembentukan Mineral Baru

Proses perubahan bentuk mineral liat menjadi andalusit, disthen, dan sillimanit pada tekanan dan temperatur yang berbeda merupakan fenomena yang menarik dalam geologi metamorfik. Ketiga mineral ini memiliki rumus kimia yang sama, namun terbentuk pada kondisi geologis yang berbeda, seperti yang dijelaskan dalam (Gambar 4.29).



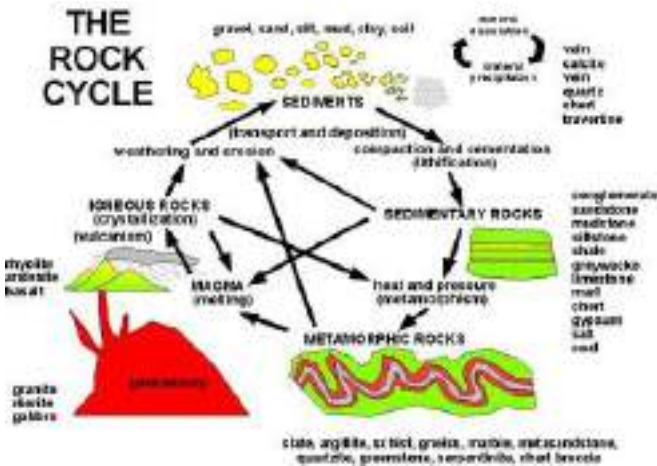
c. Perubahan Struktur Karena Metamorfik

Perubahan ini dapat dibagi menjadi perubahan ukuran partikel dan perubahan struktur partikel.

c.1. Perubahan ukuran partikel

Perubahan ini dapat berupa pembesaran ukuran partikel atau pembentukan tunas mineral. Pembesaran ukuran partikel (kristalisasi mengumpul) dapat diilustrasikan pada proses pembentukan batuan marmor dari batuan kapur. Batuan

marmor ini berbeda dengan kapur, karena marmor tidak bereaksi dengan larutan HCl 10 %, sedangkan kapur bereaksi dengan HCl 10 %. Pembentukan tunas mineral artinya salah satu mineral berkembang baik dan nyata terlihat dengan mata biasa dalam suatu massa batuan. Misalnya pada proses pembentukan mineral hornblende dan gneis mata.



Gambar 4.30. Pembentukan mineral baru

c.2. Perubahan struktur

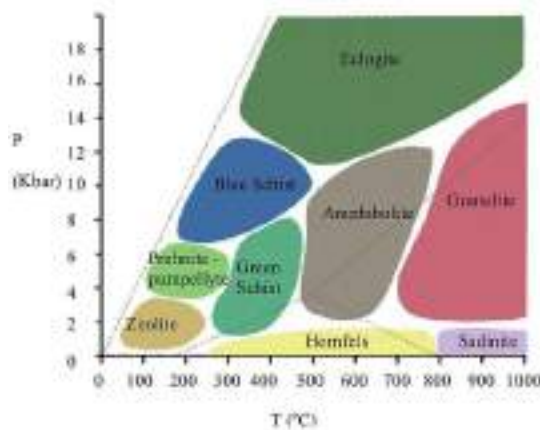
Ketika suhu meningkat, struktur batuan biasanya tidak mengalami perubahan yang signifikan. Namun, ketika tekanan meningkat, itu dapat mengakibatkan penghancuran struktur batuan dan pembentukan batuan breksia tektonis. Dalam kondisi ini, struktur yang remuk pada batuan dapat membentuk sudut-sudut yang berkorespondensi satu sama lain, seperti yang diilustrasikan pada (Gambar 4.30).

Jika tekanan dan temperatur meningkat bersama-sama, maka akan terjadi perubahan total pada batuan. Dalam ilmu geologi, seringkali ada kebingungan antara proses diagenesis yang terjadi pada sedimen dan proses metamorfisme yang terjadi pada batuan metamorfik. Perbedaan utama antara keduanya adalah tingkat tekanan dan temperatur yang terlibat.

Diagenesis biasanya terjadi pada temperatur sekitar 200-300°C, di mana sedimen mengalami kompaksi dan

pembentukan batuan sedimen. Di sisi lain, metamorfisme terjadi pada temperatur di atas 300°C, di mana batuan mengalami perubahan struktural dan mineralogis yang signifikan akibat tekanan dan temperatur yang tinggi (Gambar 4.31).

Namun, dalam kenyataan di alam, tidak selalu ada batas yang jelas antara diagenesis dan metamorfisme, karena tingkat diagenesis dapat meningkat seiring dengan peningkatan tekanan sedimen dan usia batuan tersebut. Oleh karena itu, batasan umum diberikan sebagai temperatur 200-300°C untuk diagenesis dan temperatur di atas 300°C untuk metamorfisme.. Secara garis besar metamorfik dibagi dalam dua jenis, yaitu: (1) kontak metamorfik: Pemanasan batuan di dalam daerah kontak dengan intrusi magma. Metamorfik ini disebabkan oleh tekanan magma, semakin dekat magma, maka perubahan batuan akan semakin intensif, dan (2) regional metamorfik: Perubahan daerah kerak yang melebar dalam ruang waktu yang lama.

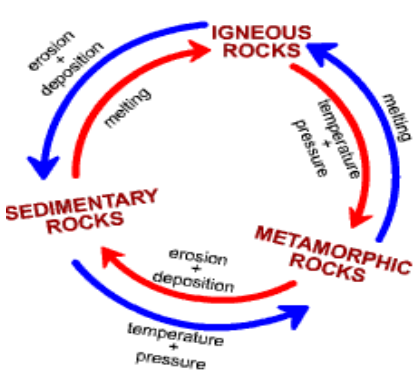
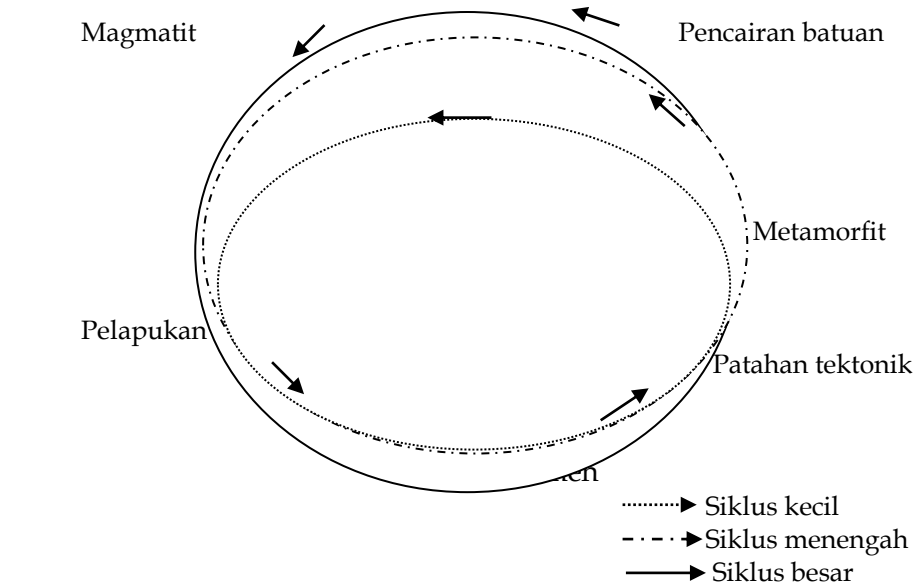


Gambar 4.31. Perubahan struktur metamorfik karena tekanan tinggi

4.4. Siklus Batuan

Siklus batuan adalah konsep yang menggambarkan perputaran batuan yang terjadi di dalam kerak bumi. Konsep ini penting dalam pemahaman tentang bagaimana batuan

berubah bentuk dan komposisinya seiring waktu. Terdapat tiga jenis siklus batuan utama yang mencakup skala berbeda: siklus kecil, siklus menengah, dan siklus besar, seperti yang diilustrasikan dalam (Gambar 4.32).



Gambar 4.32. Siklus batuan di alam

1) Siklus Kecil

Penjelasan mengenai siklus kecil batuan sangat bagus dan menyeluruh. Ini menggambarkan tahap-tahap utama dari siklus ini dengan baik. Siklus kecil batuan dimulai dengan

pembentukan magma dari batuan primer (magmatit), yang kemudian mengalami proses diferensiasi mineral karena perbedaan titik lebur mineral Si. Hasilnya adalah batuan magmatit dengan berbagai susunan mineral, seperti yang mengandung kandungan Si yang beragam. Proses ini terjadi jauh di bawah permukaan kerak bumi.

Ketika magma mencapai permukaan bumi melalui letusan gunung berapi, pendinginan mendadak dan pengerasan menghasilkan batuan vulkanit. Sebaliknya, batuan magmatit yang mengeras di dalam kerak bumi disebut batuan plutonit dan bisa mencapai permukaan melalui proses tektonik, pengangkatan, atau saat pembentukan gunung. Di permukaan bumi, batuan magmatit terkena pelapukan fisik dan kimia. Proses pelapukan ini melibatkan pecahan batuan dengan berbagai ukuran, pelapukan kimiawi dengan mineral yang larut dalam larutan, dan pelapukan biologis yang melibatkan organisme. Logam alkali tanah seperti kalsium, kalium, magnesium, dan natrium adalah yang pertama kali terlarut dalam pelapukan kimia. Material hasil pelapukan kemudian ditranspor oleh tenaga eksogen seperti air, angin, dan es, tergantung pada ukuran dan berat jenis butiran. Air melakukan sortasi tergantung pada ukuran dan berat jenis, angin mentranspor pasir halus dan debu, sedangkan es tidak melakukan sortasi. Material yang tidak dapat lagi ditranspor oleh tenaga eksogen akan diendapkan, membentuk sedimen. Lautan adalah salah satu wilayah cekungan utama dimana sedimentasi terjadi.

Sedimen yang semula lunak dan lepas akan mengeras dan menjadi padat melalui proses diagenesis, membentuk batuan sedimen. Akibat pengangkatan dan pergerakan kerak bumi, sebagian kecil batuan sedimen dapat terkena pelapukan lagi saat terpapar ke atmosfer. Dengan demikian, siklus kecil batuan mencakup tahap-tahap dari pembentukan magma hingga pengendapan sedimen dan pembentukan batuan sedimen kembali. Penjelasan ini sangat membantu dalam memahami proses geologi yang terjadi di kerak bumi.

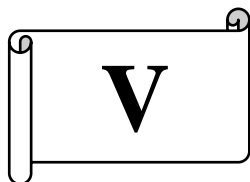
2) Siklus Menengah

Penjelasan tentang bagaimana batuan sedimen mengalami proses metamorfisme dan menghasilkan batuan metamorfik sangat baik. Sebagian besar tumpukan batuan sedimen yang mendapatkan tekanan dan temperatur tinggi akibat beratnya sendiri mengalami proses metamorfik. Dalam proses ini, kristal dalam batuan mengalami perubahan yang signifikan. Hasil dari proses metamorfisme ini adalah pembentukan batuan metamorfik. Batuan metamorfik memiliki karakteristik yang berbeda dari batuan asalnya, termasuk susunan mineral yang baru dan struktur yang berubah. Proses metamorfik seringkali terkait dengan peningkatan tekanan dan temperatur yang berlangsung dalam kerak bumi.

Sebagian batuan metamorfik bisa muncul ke permukaan bumi akibat erosi dan pelapukan batuan yang ada di atasnya. Ketika batuan metamorfik mencapai permukaan, mereka menjadi rentan terhadap pelapukan yang disebabkan oleh tenaga eksogen seperti air, angin, dan proses biologis. Ketika material batuan metamorfik terlapuk, mereka dapat berkontribusi pada pembentukan sedimen baru atau tercampur dengan sedimen yang ada. Dengan demikian, siklus menengah batuan menggambarkan tahap di mana batuan sedimen mengalami metamorfisme dan berubah menjadi batuan metamorfik, yang kemudian dapat terpapar ke permukaan dan mengalami pelapukan kembali. Ini adalah siklus geologis yang kompleks dan penting dalam pemahaman evolusi kerak bumi. Penjelasan ini sangat informatif.

3) Siklus Besar

Melalui proses patahan tektonik, batuan metamorf dapat menembus lapisan bumi yang lebih dalam dan mengalami tekanan serta suhu yang ekstrem. Dampak dari kondisi ini adalah perubahan batuan tersebut menjadi magma, yang kemudian kembali ke bentuk asalnya. Seiringnya waktu, siklus lengkap pembentukan batuan berlangsung.



MINERAL-MINERAL PENYUSUN BATUAN

Mineral primer adalah jenis mineral yang terbentuk melalui proses kristalisasi ketika magma membeku. Mineral sekunder adalah mineral yang terbentuk melalui proses pelapukan mineral primer dengan menggantikan komponen mineral primer atau melalui penggabungan hasil pelapukan mineral primer.

Mineral terbentuk secara alami melalui proses anorganik, memiliki komposisi kimia yang khas, dan menunjukkan susunan ion yang teratur. Dengan kata lain, mineral dapat didefinisikan sebagai materi padat atau senyawa padat yang tercipta secara alami melalui proses anorganik, memiliki komposisi atau kisaran komposisi yang khas, dan struktur kristal yang diatur dengan aturan ion yang teratur.

Ada lebih dari 200 jenis mineral yang telah diidentifikasi, namun yang paling penting adalah sejumlah mineral utama yang merupakan komponen utama dalam pembentukan batuan. Dalam konteks batuan magmatik, terdapat dua kategori mineral utama, yaitu mineral terang dan mineral gelap. Mineral terang adalah mineral yang memiliki kandungan Fe yang rendah atau tidak memiliki kandungan Fe sama sekali, dengan berat jenis kurang dari $2,8 \text{ g/cm}^3$. Contoh mineral terang mencakup Kuarsa, Opal, Feldspar (Orthoklas, Plagioklas), Nephelin dan Muskovit. Di sisi lain, mineral gelap adalah mineral yang memiliki kandungan Fe yang tinggi dan berat jenis melebihi $2,8 \text{ g/cm}^3$. Contoh mineral gelap mencakup Magnetit, Pirit, Olivin, Piroksen, Amfibol dan Biotit.

Pembagian yang lebih rinci antara mineral terang dan mineral gelap dapat ditemukan dalam Tabel 5.1. Selain itu, mineral-mineral yang sering ditemukan dalam batuan sedimen

dapat ditemukan dalam Tabel 5.2, sementara mineral-mineral karakteristik batuan metamorf dapat ditemukan dalam Tabel 5.3. Penentuan nama suatu batuan dimulai dengan identifikasi mineral-mineral yang terdapat dalam batuan tersebut. Agar dapat mengenali mineral secara makroskopis, diperlukan pemahaman sifat-sifat mekanik, optik, dan habitus mineral tersebut.

Tabel 5.1. Mineral-mineral penting penyusun batuan magmatit

Nama mineral	Susunan kimia	Keras (Mohs)	Pecahan/belahan	Berat (g/cm ³)	Sifat lainnya
A. Mineral Terang, bebas Fe & berat jenis 2,8 g/cm ³ atau lebih kecil					
Kuarsa	SiO ₂	7	Seperti kerang	2,65	Kilap lemak, gelas, banyak warna, kaku & keras
Opal	SiO ₂ + aqua	5,5-6,5	Seperti kerang	± 2	Amorf
K-feldspar (Orthoklas)	K(AlSi ₃ O ₈)	6	(# < = 90 °)	2,6	Merah, tanpa warna, kelabu, hijau & kembar
Plagioklas					
(Na-feldspar, Ca-feldspar)	Na(AlSi ₃ O ₈) Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	6 6	(# < = 87°)	2,6 2,7	Tidak pernah merah, kembar 4 & kembar 2
Nephelin	Na(AlSiO ₇)	5,5-6	# m	2,6	Tanpa warna, kelabu, kemerahan, prisma 6 sisi
Muskovit (Glimmer terang)	KAl ₂ (OH) ₂ / AlSi ₃ O ₁₀	2-2,5	# v v	2,8	Tanpa warna, kilap mutiara, sutera, lempeng 6 sisi
B. Mineral Gelap, mengandung Fe & berat jenis melebihi 2,8 g/cm ³					
Magnetit (biji Fe)	Fe ₃ O ₄	5,5		5,2	Hitam, bersifat magnet & goresan hitam
Pirit	FeS ₂	6-6,5		5,1	Kilap logam kekuningan & goresan hitam
Olivin	(Mg, Fe) ₂ (SiO ₄)	6,5-7		± 3,3	Hijau kekuningan & hijau botol bir
Pyroxene (Augit)	(Ca, Mg, Fe) ₂ (Na, Al, Fe ³⁺ , Ti) (Si,	5,5-6,5	# g (# = 90 °)	3,2-3,7	Hijau sampai hitam, goresan tanpa warna & seperti tiang

	$(Al)_2O_6$				
<i>Amphibole</i> (Hornblende)	Seperti <i>Pyroxene</i> + H_2O	5-6	# v (# = 60 °)	2,9-3,5	Hijau kecoklatan sampai hitam, goresan tanpa warna, seperti tiang sampai bertangkai
Glimmer gelap (Biotit)	$K(Mg, Fe)_3$ $(OH)_2/$ $AlSi_3O_{10}$	2,5-3	# v v	2,8-3,2	Hitam sampai coklat & lempeng 6 sisi

Keterangan: # : Pecahan/belahan mineral

v v: Sangat sempurna v: Sempurna g: Baik m: Terasa
s: Jelek

Tabel 5.2. Mineral-mineral yang sering ditemukan dalam batuan sedimen

Nama mineral	Susunan kimia	Keras (Mohs)	Pecahan/belahan	Berat (g/cm^3)	Sifat lainnya
Mineral liat (<i>Illite</i>)	$(K, H_2O)(Mg, Mn, Fe^{3+}, Al) (OH, H_2O)_2/ AlSi_3O_{10}$	± 2	# v	2,3-2,5	Massa padat & banyak warna
Glaukonit	$(K, Ca, Na) (Fe, Mg, Al)_2 (OH)_2/ AlSi_3O_{10}$	± 2	# v	$\pm 2,7$	Berbiji hijau & sering berbentuk agregat bulat
Kaolinit	$Al_4(OH)_8/ Si_4O_{10}$	± 2	# v	$\pm 2,6$	Kebanyakan massa padat & warna putih
Montmorillont	$Na(H_2O)_4 (Al, Mg)_2/ (OH)_2 / Si_4O_{10}$	1-2	# v	2-2,3	Massa padat & banyak warna
Khlorit	$Mg(OH)_6Mg_3 (OH)_2/ Si_4O_{10}$	1-4	# v - # v v	2,6-3,2	Padat, bentuk tafel, hijau, hijau kuning, hijau hitam
Hematit	Fe_2O_3	5-6		5,3	Merah darah, hitam metal, goresan merah & bau tanah
Goethit	$FeOOH$	5-5,5		4,3	Merah coklat, goresan coklat terang, bau tanah
Kalsit	$CaCO_3$	3	# v v	2,7	Tanpa warna, berbusa dengan HCl

					encer & banyak bentuk
Dolomit	Ca, Mg (CO ₃) ₂	3,5-4	# v	± 2,9	Tanpa warna, tidak berbusa dengan HCl encer & seperti tepung
Siderit	FeCO ₃	4-4,5	# v	3,9	Tanpa warna, coklat kemerahan & larut dalam HCl encer
Gips	CaSO ₄ . 2H ₂ O	2	# v v	2,3	Tanpa warna, kecoklatan & padat
Anhydrit	CaSO ₄	3-4	# v v	2,95	Tanpa warna, kelabu terang & padat berbiji
Barit	BaSO ₄	3	# g	4,4	Tanpa warna & hidrotermal
Halit (garam)	NaCl	2,5	# v v	2,2	Tanpa warna & berbiji

Keterangan: # : Pecahan/belahan mineral

v v: Sangat sempurna v: Sempurna g: Baik m: Terasa

s: Jelek

Tabel 5.3. Mineral-mineral khas batuan metamorfik

Nama mineral	Susunan kimia	Keras (Mohs)	Pecahan/belahan	Berat (g/cm ³)	Sifat lainnya
Wolastonit	CaSiO ₃	4,5-5	# d - # v	2,9	Tanpa warna, berserabut atau bertangkai
Disthen (Sianit)	Al ₂ SiO ₅	4-6	# v - # v v	3,6	Biru pucat & bertangkai
Sillimanit	Al ₂ SiO ₅	6-7	# v	3,25	Tanpa warna, berserabut & berjarum
Andalusit	Al ₂ SiO ₅	7,5	# g	3,1	Tanpa warna, tiang & bertangkai
Serpentin	Mg ₆ (OH) ₈ / Si ₄ O ₁₀	3-4	# s	2,5-2,6	Hijau gelap, padat & berserabut (asbes)
Talk	Mg ₃ (OH) ₂ / Si ₄ O ₁₀	1	# w	2,8	Tanpa warna, padat, lembaran, terasa

					berlemak
Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe}_{3+})_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$	6,5	# d - # v	3,2-3,5	Hijau kekuningan, padat, berserabut & bertangkai
Granat	Logam alkali $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	6,5-7,5	# s	3,4-4,3	Merah coklat - terang, merah hitam, merah biru & biji isomorfis

Keterangan: # : Pecahan/belahan mineral
 v v: Sangat sempurna v: Sempurna g: Baik m: Terasa
 s: Jelek

5.1. Sifat Mekanik

Yang termasuk dalam sifat mekanik adalah sifat mineral yang mencakup sifat kekerasan mineral, pecahan, belahan, elastisitas dan warna mineral.

1) Kekerasan Mineral

Kekerasan mineral adalah kemampuan mineral untuk menahan goresan oleh benda tajam atau material dengan tepi yang runcing. Friedrich Mohs (1773-1839), seorang ahli mineral asal Austria, membuat skala kekerasan mineral pada rentang 1-10 dan disebut sebagai Skala Mohs. Mineral dengan skala kekerasan 1 adalah yang paling lunak, sementara skala 10 adalah yang paling keras. Mineral dengan nilai kekerasan antara 1-2 dikategorikan sebagai mineral lunak, sementara yang memiliki nilai antara 3-6 dikategorikan sebagai mineral pertengahan, dan mineral dengan nilai lebih dari 6 dianggap mineral keras.

Untuk menguji kekerasan mineral, digunakan peralatan sederhana yang dijelaskan dalam (Tabel 5.4). Skala kekerasan mineral ini memberikan panduan yang bermanfaat dalam mengidentifikasi mineral berdasarkan ketahanannya terhadap goresan. Tabel 5.5 menyajikan uraian lebih lanjut tentang skala kekerasan mineral dan mineral-mineral yang sesuai dengan nilai-nilai pada Skala Mohs. Skala kekerasan ini adalah alat

penting dalam ilmu geologi dan mineralogi untuk mengidentifikasi mineral dan memahami sifat-sifat fisiknya.

Tabel 5.4. Alat bantu sederhana untuk menguji kekerasan mineral

Nama material/alat	Skala kekerasan Mohs
Kuku jari	2,5
Uang logam tembaga	3,5
Pisau lipat	5,5
Kaca	7,0

Tabel 5.5. Uraian skala kekerasan mineral

Skala	Contoh mineral	Pengenalan mineral secara makroskopis
1.	Talk (Mg-Silikat)	Tergores dengan kuku jari
2.	Gips (CaSO ₄)	Tergores dengan kuku jari dan menggores talk
3.	Kalsit (CaCO ₃)	Tergores dengan uang logam tembaga
4.	Fluorit (CaF ₂)	Tergores dengan pisau lipat
5.	Apatit (Ca-posfat)	Tergores dengan pisau lipat, menggores fluorit
6.	Feldspar	Tergores dengan kaca
7.	Kuarsa (SiO ₂)	Menggores glas
8.	Topaz	Berbunyi nyaring bila dipukul dengan martil baja dan menggores kaca
9.	Korund	Berbunyi nyaring bila dipukul dengan martil baja, menggores kaca dan topaz
10.	Intan	Keluar kembang api bila dipukul dgn martil baja

Keterangan: Skala kekerasan 8 - 10 dikategorikan sebagai logam mulia.

2) Sifat Pecahan dan Belahan

Kedua sifat ini merujuk pada karakteristik mekanis mineral yang muncul ketika mineral mengalami tegangan melebihi batas elastisitas atau plastisitasnya. Belahan mineral adalah merupakan respons mineral terhadap tegangan yang melebihi batas elastisitasnya dengan membelah secara teratur

mengikuti arah kristalnya. Fenomena ini terjadi karena adanya gaya kohesi yang tinggi antara atom atau unsur dalam mineral tersebut, yang melebihi gaya tarik antara lapisan mineral tersebut (gaya kohesi > adhesi). Sifat lainnya yang sering terlihat adalah sifat patah mineral, yang muncul ketika mineral dipukul atau ditarik melebihi batas elastisitas atau plastisitasnya. Lima jenis tipe belahan disajikan pada Tabel 5.6. Pecahan akan bereaksi membelah secara tidak teratur, arah kristalnya tidak berfungsi (gaya adhesi > kohesi), antara lain berurat, tidak rata, licin, berserabut dan bertangkai.

Tabel 5.6. Beberapa jenis belahan mineral dan contohnya

Jenis belahan	Kode	Contoh mineral
Sangat sempurna	(v v)	<i>gips</i> , talk, graphit, muskovit
Sempurna	(v)	kalsit, halit, hornblende
Baik	(g)	augit
Terasa	(m)	nephelin, olivin
Jelek	(s)	kuarsa

3) Elastisitas

Elastisitas adalah sifat atau reaksi mineral apabila diberi tekanan terhadap mineral tersebut. Contoh elastisitas mineral dicantumkan pada (Tabel 5.7).

Tabel 5.7. Beberapa jenis elastisitas mineral

Jenis elastisitas	Sifat elastisitas dan contohnya
Rapuh	Keras dan kukuh, tetapi saat dipukul menjadi hancur, contohnya: kuarsa
Lembut	Dapat dibelah dengan pisau, misalnya talk
Dapat dibengkokkan	Daya lenturnya tinggi, misalnya emas
Elastis	Sangat elastis, misalnya muskovit Tidak elastis, misalnya asbes, <i>gips</i> dan lain-lain

4) Warna Mineral

Warna mineral adalah hasil dari penyerapan panjang gelombang cahaya tertentu oleh mineral tersebut, yang

menciptakan kesan visual warna pada mata manusia. Warna mineral dapat memberikan petunjuk penting tentang komposisi kimia mineral, contoh, warna hitam menunjukkan bahwa mineral tersebut menyerap seluruh panjang gelombang cahaya yang jatuh padanya. Ada juga kasus di mana warna mineral merupakan cerminan dari unsur atau ion tertentu yang terkandung dalam mineral tersebut, contoh unsur Cu sering kali memberikan warna khas biru atau hijau pada mineral. Ini disebabkan oleh efek penyerapan panjang gelombang tertentu oleh ion Cu dalam struktur kristal mineral. Mineral warna khusus yang dapat diidentifikasi dengan mudah berdasarkan warnanya (Tabel 5.8).

5.2. Sifat Optis

Sifat optis yang paling penting mencakup, antara lain: warna goresan mineral, transparansi dan kilap.

Tabel 5.8. Beberapa warna khas mineral dan contohnya

Nama mineral	Warna khas
Pirit, markasit (FeS_2)	Bermacam-macam atau kuning emas
Magnetit (Fe_3O_4)	Coklat hitam
Hematit (Fe_2O_3)	Coklat kehitaman atau kelabu kemerahan
Goethit (FeOOH)	Hitam coklat kekuningan (hitam kelabu kekuningan)
Siderit (FeCO_3)	Coklat kuning

1) Warna Goresan (*Streak*)

Warna goresan adalah sifat tambahan yang berguna dalam mengidentifikasi mineral. Ini mengacu pada warna serbuk mineral yang dihasilkan saat mineral digosokkan pada permukaan kasar, seperti lempeng porselin atau sekering listrik. Warna goresan sering kali berbeda dari warna luar mineral. Warna goresan berguna dalam lapangan geologi dan ilmu bumi karena dapat membantu geologis dan peneliti dalam mengidentifikasi mineral, terutama ketika warna luar mineral bisa bervariasi atau tidak selalu mencerminkan komposisi kimia mineral tersebut. Dengan mempertimbangkan warna

goresan bersama dengan warna luar dan sifat fisik lainnya, seseorang dapat memperoleh gambaran yang lebih akurat tentang jenis mineral yang sedang dihadapi. Warna goresan beberapa mineral khusus disajikan pada (Tabel 5.9).

Tabel 5.9. Warna goresan beberapa mineral khusus

Nama Mineral	Warna Goresan
Pirit, markasit	Coklat atau hitam
Magnetit	Hitam
Hematit	Merah atau coklat kemerahan
Goethit	Kuning
Siderit	Putih
Ilmonit	Hitam
Limonit	Coklat kekuningan

2) **Transparansi**

Transparansi adalah kemampuan mineral untuk meneruskan cahaya. Pengujian sifat transparansi, yaitu dengan cara meletakkan material di bawah mineral dan diamati dari atas mineral. Beberapa mineral yang mempunyai transparansi cahaya yang khas dicantumkan pada (Tabel 5.10).

Tabel 5.10. Sifat transparansi beberapa mineral

Jenis transparansi	Sifat transparansi dan contoh mineral
Transparan	Cahaya diteruskan, misalnya kuarsa & kalsit
Kabur (semi transparan)	Bila 50 % cahaya diteruskan, misalnya kuarsa
Tidak transparan	Cahaya diabsorpsi (semua biji Fe dan batu bara)

3) **Kilap**

Kilap mineral adalah karakteristik optik yang menggambarkan kemampuan mineral untuk memantulkan dan membiaskan cahaya. Identifikasi kilap mineral dilakukan dengan cara menggoyangkan mineral di depan sumber cahaya. Kilap ini merupakan aspek yang sangat berbeda dengan sifat-sifat seperti warna dan transparansi. Warna mineral mengacu pada kemampuan mineral untuk memantulkan warna cahaya tertentu, sedangkan transparansi mengacu pada kemampuan

mineral untuk meneruskan cahaya melalui dirinya (absorpsi). Kilap mineral dapat dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu:

- 1) Kilap logam (*mettalic*) dicerminkan oleh absorpsi cahaya dan tidak transparan. Contoh kilap logam adalah mineral logam, sulfida dan pirit
- 2) Kilap bukan logam (*non mettalic*) yang terbagi dalam kilap kaca, adamantin, lemak, lilin, sutera, intan dan mutiara
- 3) Kilap logam dan bukan logam (sublogam atau *submettalic*).

Lebih lanjut kilap bukan logam dapat dijelaskan secara lebih terperinci sebagai berikut:

- 1) Kilap Kaca (Gelas), memiliki index bias (n): 1,3-1,9 dan sekitar 70 % mineral di alam berkilap kaca, misalnya silikat, karbonat, fosfat, sulfat, halida, oksida, hidroksida Al dan Mg serta mineral kuarsa dan halit.
- 2) Kilap Adamantin, mempunyai index bias (n): 1,9-2,6 dan bersifat tipe intan dengan nilai ekonomis tinggi. Contoh beberapa index bias: zirkon (n : 1,92-1,96), kasiterit (n : 1,92-2,09), sulfur (n : 2,4), sphalorit (n : 2,4), intan (n : 2,45) dan rutil (n : 2,60).
- 3) Kilap Lemak adalah kilap yang menyerupai kilap lemak hewan yang telah dimasak dan dalam keadaan dingin. Contohnya nephelin dan sphalerit.
- 4) Kilap Lilin adalah jenis kilap mineral yang menyerupai kilap lilin, seringkali sulit dibedakan dari kilap lemak. Ini adalah tantangan yang khas ketika berurusan dengan mineral opak. Oleh karena itu, penting untuk mengenali ciri-ciri khas yang terkait dengan kilap lilin pada mineral opak agar dapat membedakannya dan penting untuk memeriksa kilap bersama dengan karakteristik mineral lainnya, seperti warna, kekerasan, dan kerapatan, untuk melakukan identifikasi yang lebih akurat.
- 5) Kilap Sutera adalah jenis kilap mineral yang mirip dengan tekstur halus serat benang yang dihasilkan oleh ulat sutera atau mirip dengan serat benang yang dihasilkan oleh ulat sutera, contoh asbes dikenal karena memiliki

serat-serat yang panjang dan halus, mirip dengan serat sutera. Gips juga dapat menunjukkan kilap sutera dengan serat-serat yang terlihat menyerupai benang sutera, terutama ketika terdapat kristalisasi dalam bentuk serat-serat.

- 6) Kilap Mutiara adalah jenis kilap mineral yang menyerupai kilap yang terlihat pada kulit bagian dalam kerang mutiara. Kilap ini biasanya ditemukan pada mineral-mineral yang memiliki tingkat transparansi dari transparan (v) hingga sangat sempurna (vv) dalam hal pembelahan (cleavage). Beberapa contoh mineral yang menunjukkan kilap mutiara ini antara lain gips, talk, dan muskovit.

5.3. Sifat Habitus

Habitus adalah istilah dalam mineralogi yang mengacu pada bentuk kristal secara keseluruhan, termasuk berbagai karakteristik seperti ukuran, bentuk, sudut antara bidang kristal, dan karakteristik fisik lainnya. Habitus memberikan gambaran umum tentang bagaimana sebuah kristal mineral terbentuk dan berkembang.

Berat jenis mineral adalah perbandingan antara berat mineral tersebut dengan berat air sebanyak volume mineral tersebut. Sebagai contoh, jika berat jenis mineral korund adalah 4 g/cm^3 , ini berarti bahwa berat mineral tersebut adalah empat kali berat air dengan volume yang sama dari mineral tersebut. Patokan yang digunakan dalam pengukuran berat jenis adalah berat air pada suhu 4°C , karena pada suhu tersebut air memiliki densitas tertinggi.

Pengukuran berat jenis mineral adalah salah satu metode yang digunakan dalam identifikasi mineral dan membantu dalam memahami karakteristik fisik mineral tersebut. Dengan memeriksa habitus dan berat jenis, mineralog dapat menggambarkan dan mengklasifikasikan mineral dengan lebih akurat.

5.4. Struktur dan Tekstur Batuan

Struktur mengacu pada karakteristik bentuk dan dimensi mineral yang membentuk komponen dalam sebuah batuan, termasuk apakah mineral tersebut terisolasi secara individual atau terhubung dengan mineral lain dalam batuan tersebut. Mineral dapat memiliki struktur kristalin yang teratur, atau berada dalam bentuk amorf seperti Glas, dan kepadatan berbeda, seperti padat, dan porfir.

Di sisi lain, tekstur menggambarkan tampilan keseluruhan batuan sebagai hasil dari susunan, ukuran, bentuk, dan mineral yang membentuknya, serta bagaimana mereka saling berinteraksi dalam ruang. Contoh dari aspek tekstur adalah apakah batuan tersebut memiliki susunan yang acak (tanpa arah) atau menunjukkan arah tertentu dalam susunan mineralnya (mengalir). Selain itu, tekstur juga dapat mencakup bagaimana ruang di dalam batuan tersebut diisi, apakah dalam bentuk padat yang kompak, atau mungkin berpori (poreous), atau bahkan memiliki gelembung udara yang terjebak di dalamnya (berbuih). Secara garis besar struktur dan tekstur batuan magmatit disimpulkan pada (Tabel 5.11).

Tabel 5.11. Struktur dan tekstur batuan magmatit

Magmatit	Struktur	Tekstur
Plutonit (Gabro, Diorit, Granit & Sianit)	Berbentuk kristal penuh ukuran sedang - besar (mm - cm), sering juga seperti porfiri	Kebanyakan tanpa arah atau sedikit mengalir
Batuan Gang (Diabas, Pegmatit)	Selalu berbentuk kristal penuh ukuran halus - sedang (1/10 - 1 mm), sering porfiri	Tekstur jelas mengalir teratur, <i>poreous</i> , bergelembung atau lempengan tiang
Vulkanit (Batuan Basalt, Andesit, Riolit, & <i>Trachyt</i>)	Massa batuan berbentuk glas atau seperti glas (kaca), kristal padat (1/1000 - 1/10 mmi), porfiri atau ada <i>Einsprenglinge</i>	Nyata mengalir, sering kompak, <i>poreous</i> , bergelembung, lempengan tiang atau mengandung gas

Semua sifat mekanik, optis, habitus, struktur dan tekstur batuan sangat membantu dalam kita melakukan identifikasi jenis batuan karena semua sifat ini akan memberikan berbagai informasi mengenai batuan itu sendiri.



VI

ANALISIS UMUR GEOLOGI

Geologi adalah cabang ilmu alam yang berkaitan dengan sejarah pembentukan bumi. Oleh karena itu, analisis umur geologi memiliki peran yang sangat penting dalam memahami perkembangan bumi, perubahan lingkungan, evolusi makhluk hidup, serta memungkinkan kita untuk melakukan prediksi terkait masa depan bumi. Dalam dunia geologi, sering muncul pertanyaan kompleks seputar apakah yang lebih utama: mempertimbangkan dimensi ruang atau dimensi waktu. Hal ini sering kali sulit dijawab, mirip dengan pertanyaan klasik tentang mana yang lebih dahulu, telur atau ayam.

Dalam konteks geologi, penentuan kapan waktu dimulai hanya dapat dijawab melalui temuan bukti-bukti batuan yang mendukung eksistensi suatu zaman geologis tertentu. Pendekatan-pendekatan seperti paleontologi, stratigrafi, dan geofisika digunakan untuk mencari jawaban terhadap persoalan waktu ini. Pengetahuan mengenai waktu ini sangat penting karena memungkinkan kita untuk merekonstruksi kapan suatu bahan tambang terbentuk, menentukan usia bentang lahan, dan mengukur umur bahan induk tanah. Dalam dunia geologi, para ahli sepakat bahwa penelitian dan analisis umur geologis dapat dilakukan melalui kombinasi beberapa pendekatan, yaitu:

- 1) Penentuan Umur Relatif, Menentukan urutan peristiwa geologis tanpa menentukan usia pasti, berdasarkan prinsip-prinsip seperti hukum superposisi.
- 2) Penentuan Umur Absolut, Mengukur usia pasti batuan atau benda geologis dengan menggunakan metode radiometrik seperti C^{14} atau Uranium-Timah.

- 3) Pembagian Kehidupan Era Geologi, Membagi sejarah bumi ke dalam berbagai era geologis yang berdasarkan karakteristik geologis dan fosil yang dominan pada masa itu.
- 4) Penyelidikan Jangka Waktu Peristiwa Geologi, Mengkaji lamanya dan dampak dari peristiwa geologi tertentu, seperti letusan gunung berapi atau perubahan iklim.

Dengan menggabungkan pendekatan-pendekatan ini, geologi dapat memberikan wawasan mendalam tentang sejarah dan evolusi bumi serta fenomena geologi yang mempengaruhi kehidupan di planet ini.

6.1. Penentuan Umur Relatif

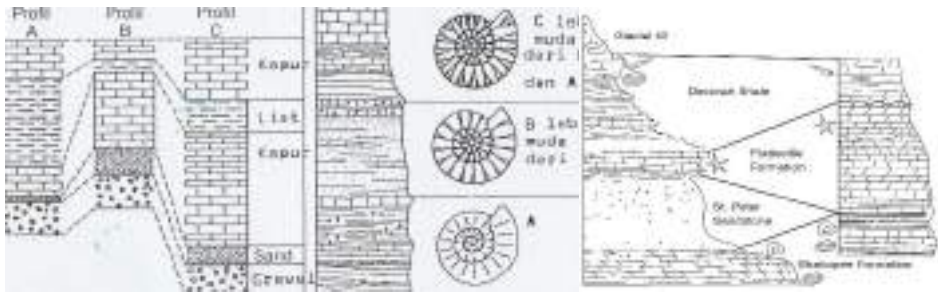
Umur relatif merujuk pada metode pengukuran waktu yang didasarkan pada perbandingan urutan peristiwa geologis. Dalam konteks penentuan umur lapisan atau batuan, informasi tentang skala waktu yang tepat belum dapat dihasilkan. Sebaliknya, fokus utamanya adalah untuk membandingkan urutan kejadian geologis dan menentukan urutan relatif mana yang lebih tua dan mana yang lebih muda. Hasil dari penentuan umur relatif adalah konklusi bahwa batuan A lebih tua dari batuan B, atau sebaliknya, atau keduanya terbentuk secara bersamaan.

Penentuan umur relatif dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu lithostratigrafi dan biostratigrafi. Dalam lithostratigrafi, prinsip umum yang berlaku adalah bahwa dalam suatu lapisan batuan yang tidak mengalami gangguan, lapisan yang lebih muda terletak di atas lapisan yang lebih tua. Proses penentuan lithostratigrafi melibatkan pengumpulan sekelompok lapisan batuan yang memiliki karakteristik kimia dan petrologi yang serupa, walaupun dapat berasal dari berbagai lokasi yang berbeda. Lapisan-lapisan batuan ini kemudian disusun secara paralel dan dibandingkan untuk menentukan urutan relatifnya.

Sementara itu, biostratigrafi adalah pendekatan lain dalam menentukan umur relatif yang menggunakan fosil-fosil

sebagai petunjuk. Fosil-fosil ini memiliki karakteristik tertentu dan muncul dalam urutan yang dapat diidentifikasi dalam catatan geologis. Dengan membandingkan fosil-fosil yang ditemukan dalam berbagai lapisan batuan, geolog dapat menentukan urutan relatif lapisan-lapisan tersebut dan mengidentifikasi peristiwa geologis yang terjadi pada waktu tertentu.

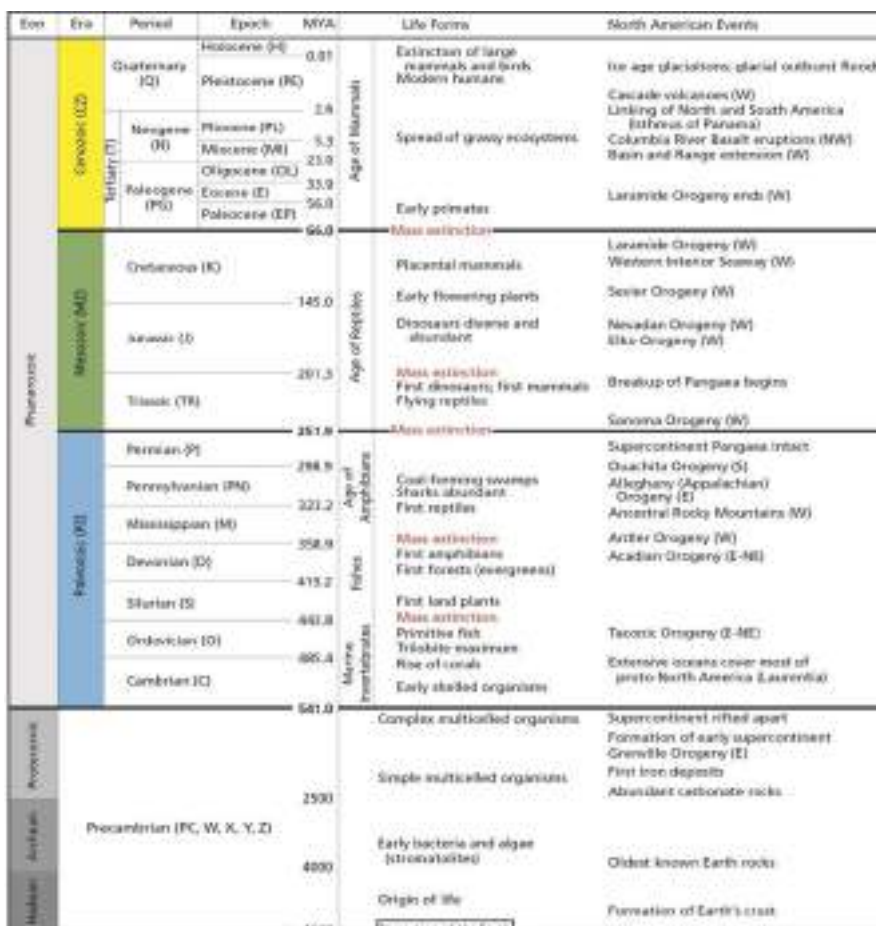
Kombinasi kedua pendekatan ini, lithostratigrafi dan biostratigrafi, membantu para geolog dalam memahami sejarah geologis dan urutan peristiwa di Bumi. Ini adalah alat penting dalam menjelajahi lapisan-lapisan batuan dan memahami bagaimana batuan-batuan ini terbentuk dan berinteraksi sepanjang waktu geologis. Cara sederhana lithostratigrafi dan biostratigrafi ini dijelaskan pada (Gambar 6.1).



Gambar 6.1. Penentuan umur relatif dengan membandingkan jenis batuan dan fosil

Penentuan biostratigrafi adalah metode yang mirip dengan lithostratigrafi, tetapi yang menjadi fokus perbandingannya adalah fosil-fosil yang terdapat dalam lapisan batuan. Pendekatan ini sangat efektif dalam analisis sedimen laut yang mengendap di daratan karena sedimen tersebut seringkali mengandung banyak fosil. Biostratigrafi memungkinkan para ilmuwan untuk melakukan perbandingan jarak jauh dan membuat cetakan fosil dari berbagai jenis batuan. Cetakan fosil ini menjadi kunci penting dalam penentuan sejarah geologi.

Proses penentuan biostratigrafi juga dapat dibantu dengan menggunakan jam geologi (Gambar 6.2). Jam geologi ini menggambarkan kelompok tumbuhan dan hewan pertama yang muncul di permukaan bumi, diikuti oleh era-era geologi yang berbeda. Dengan menggunakan jam geologi ini, jika suatu lapisan batuan mengandung fosil yang sesuai dengan jam geologi tertentu, maka umur batuan tersebut dapat ditentukan secara relatif.



Gambar 6.2. Kelompok tumbuhan dan hewan pertama muncul di bumi

Selain digunakan untuk penentuan umur relatif lapisan batuan, fosil juga berperan penting dalam bidang biologi. Fosil-fosil ini membantu mengungkap sejarah perkembangan dan asal-usul kehidupan, memberikan wawasan tentang paleogeografi dan paleoekologi, sehingga para ilmuwan dapat merekonstruksi penyebaran dan hubungan kekerabatan antara hewan dan tumbuhan pada masa lampau. Hasilnya, mereka dapat menyimpulkan informasi tentang sifat-sifat iklim pada masa tersebut. Dengan demikian, penentuan biostratigrafi bukan hanya bermanfaat dalam geologi untuk menentukan urutan relatif batuan, tetapi juga memiliki implikasi penting dalam memahami sejarah kehidupan di Bumi, termasuk perubahan iklim dan lingkungan selama jutaan tahun yang lalu.

1) Pengawetan Fosil Penunjuk

Fosil dapat didefinisikan sebagai sisa-sisa organisme hewan dan tumbuhan dari masa purba yang telah mengalami proses mineralisasi atau pengawetan. Sistem nomenklatur fosil mengikuti prinsip-prinsip yang mirip dengan sistem biologi, mencakup kategori spesies, genus, famili, kelas, ordo, dan divisi.

Syarat-syarat utama untuk pembentukan fosil adalah bahwa sisa-sisa organisme tersebut harus terperangkap atau tertimbun dalam lapisan sedimen. Proses pembentukan fosil melibatkan proses diagenesis. Beberapa hal penting yang perlu dipahami terkait dengan pembentukan fosil adalah:

- 1) Pengawetan Substansi Asli, proses ini melibatkan pengawetan substansi organisme asli, yang mungkin mengalami perubahan kimia tertentu secara selektif, contohnya kulit kerang, kapur, tulang-belulang (kerangka), gigi, tanduk, spora, dan pembungkus tepung sari.
- 2) Pengawetan sebagai Inti Batu, fosil terbentuk ketika sedimen mengisi atau menggantikan bagian organisme, misalnya rumah kerang (siput) dapat menjadi inti batu

ketika sedimen mengisi rongga dalam rumah kerang. Bentuk luar kerang ini kemudian digunakan sebagai cetakan dalam sedimen setelah rumah kerang mengalami pelapukan.

- 3) Pengawetan sebagai Cetakan, fosil juga dapat terbentuk sebagai cetakan dalam sedimen halus. Dalam situasi ini, sisa-sisa organisme seperti daun, cacing, ranting, pohon-pohonan, dan lain-lain hampir tidak dapat bertahan. Ini juga termasuk cetakan fosil jejak kehidupan, seperti jejak rumah, jejak kaki, jejak rayapan, jejak injakan, dan jejak kuburan, yang dapat memberikan petunjuk tentang aktivitas organisme dalam sejarah geologis.

Pemahaman tentang berbagai cara pembentukan fosil sangat penting dalam bidang paleontologi karena fosil-fosil ini memberikan wawasan tentang kehidupan masa lalu dan para ilmuwan untuk dapat merekonstruksi sejarah evolusi dan lingkungan Bumi selama berjuta-juta tahun yang lalu.

2) Kriteria Fosil Penunjuk

Interpretasi fosil berbeda-beda, maka hanya jenis-jenis fosil tertentu yang dapat digunakan sebagai fosil penunjuk untuk zaman geologi tertentu. Fosil-fosil penunjuk ideal adalah fosil yang menunjukkan kriteria sebagai berikut:

- 1) Muncul secara tiba-tiba, singkat dan akhirnya mati, sehingga fosil ditemukan dalam jangkauan vertikal pendek di dalam profil.
- 2) Tersebar secara meluas dan mampu diawetkan dengan baik.
- 3) Dapat ditentukan secara jelas.
- 4) Tidak peka terhadap perubahan lingkungan (pembentukan lapisan, pantai, *glaciers* atau dinamika laut).

Fosil dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu fosil makro dan fosil mikro. Perbedaan utama antara keduanya adalah bahwa fosil makro dapat dilihat langsung dengan mata manusia biasa, sedangkan fosil mikro hanya dapat dikenali dengan bantuan mikroskop. Umumnya, sedimen yang tidak

mengandung fosil makro masih dapat mengandung fosil mikro, yang sering digunakan sebagai petunjuk terhadap jenis batuan yang terkandung di dalamnya.

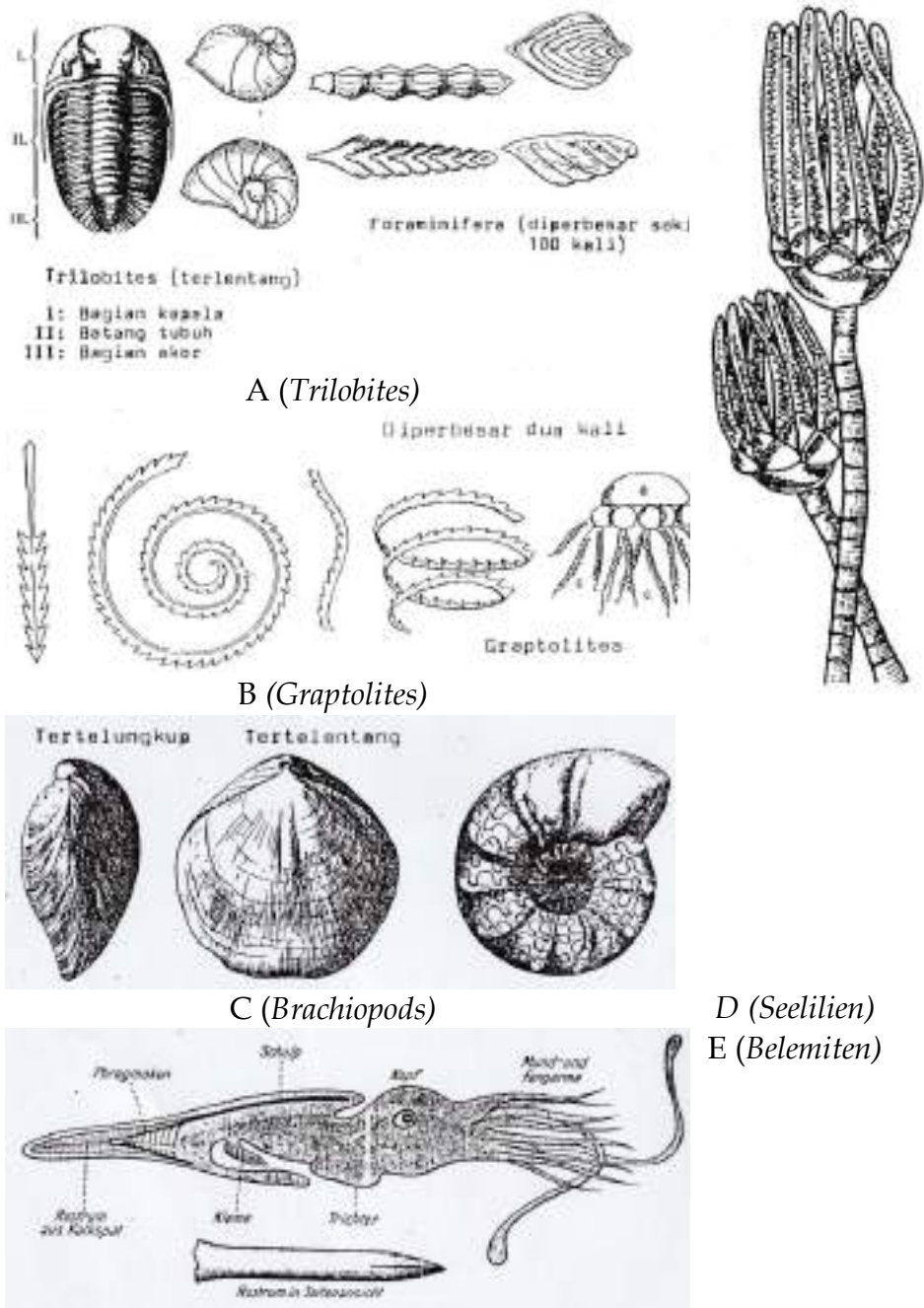
3) Interpretasi Fosil Penunjuk dan Umur Geologi

Penggunaan fosil mikro dalam penelitian seringkali melibatkan sampel kecil, seperti sampel pengeboran. Contoh penelitian yang menggunakan fosil mikro ini termasuk dalam upaya mencari sumber-sumber lapisan minyak bumi. Beberapa jenis fosil mikro yang penting dalam penelitian geologi meliputi (Gambar 6.3):

- 1) Foraminifera, mikroorganisme bersel tunggal yang memiliki cangkang kalsium atau silika. Mereka sering digunakan sebagai penunjuk lingkungan laut dalam dan digunakan dalam penelitian geologi sedimen.
- 2) Radiolaria, mikroorganisme bersel tunggal yang memiliki kerang silika yang indah dan rumit. Radiolaria juga sering digunakan sebagai penunjuk dalam analisis sedimen laut dalam.
- 3) Conodonts, fosil mikro yang terdiri dari gigi atau elemen gigi yang digunakan sebagai penunjuk dalam analisis stratigrafi dan penelitian pada batuan sedimen.
- 4) Coccolithophores (*Coccolithen*), mikroorganisme fotosintetik bersel tunggal yang memiliki cangkang kapur. Coccolithophores sering digunakan sebagai indikator lingkungan laut dan iklim masa lalu.
- 5) Ostracoda (Ostrakoden), Organisme mikroskopis yang memiliki cangkang keras. Fosil Ostracoda sering digunakan dalam penelitian biostratigrafi dan analisis lingkungan.

Penggunaan fosil mikro dalam penelitian geologi, termasuk dalam pencarian lapisan minyak bumi, memberikan informasi yang berharga tentang sejarah lingkungan, iklim, dan perkembangan geologis suatu wilayah. Analisis fosil mikro membantu geolog untuk memahami perubahan-perubahan di

Bumi selama berjuta-juta tahun yang lalu dan memiliki aplikasi yang penting dalam berbagai aspek ilmu geologi.



A (Trilobites)

B (Graptolites)

C (Brachiopods)

D (Seelilien)
 E (Belemiten)

Gambar 6.3. Fossil-fossil penting dalam batuan sedimen

a. *Trilobites*

Fosil Trilobita memiliki peran penting sebagai penunjuk kelas Arthropoda yang hidup sebelum era Kambrium (Precambrian) dan mencakup beragam jenis. Kelompok hewan ini punah pada zaman Silurian. Oleh karena itu, Trilobita menjadi fosil perwakilan yang signifikan untuk menghubungkan dua periode geologis yang berbeda, yaitu periode Precambrian dan Silurian.

Fosil Trilobita mengungkapkan informasi berharga tentang evolusi dan adaptasi Arthropoda pada masa lampau. Sebagai fosil penunjuk, mereka membantu ilmuwan dalam memahami perkembangan dan perubahan dalam kelas Arthropoda sepanjang waktu geologis. Selain itu, mereka memberikan wawasan tentang kondisi lingkungan dan ekosistem yang ada selama periode tersebut.

b. *Graptolites*

Fosil perwakilan dari divisi Hemichordata adalah hewan yang memiliki peran signifikan dalam rekam jejak fosil. Mereka muncul pertama kali pada zaman Kambrium dan mengalami tingkat kelimpahan yang tinggi pada zaman Ordovician dan Silurian, sebelum akhirnya mengalami kepunahan pada zaman Karbon.

Fosil-fosil Hemichordata ini memberikan wawasan penting tentang perkembangan dan adaptasi hewan ini selama rentang waktu yang panjang dalam sejarah geologis. Mereka juga menjadi indikator yang berguna dalam penelitian paleontologi, membantu kita memahami bagaimana evolusi dan ekologi Hemichordata berkembang seiring perubahan lingkungan selama periode tersebut.

c. *Brachiopoda*

Terdapat 280 fosil dari kelas Brachiopoda yang ada di laut, yang berfungsi sebagai penunjuk untuk divisinya yang dikenal sebagai Tentaculata. Kelas ini telah ada sejak zaman Kambrium dan masih dapat ditemukan hingga saat ini. Tingkat

penyebaran dan distribusi yang paling tinggi dari jenis-jenis Brachiopoda terjadi pada periode zaman Silurian, Devonian, dan Karbon. Oleh karena itu, fosil-fosil Brachiopoda ini digunakan sebagai petunjuk fosil yang sangat penting untuk mengidentifikasi dan memahami ketiga periode tersebut dalam sejarah geologi.

d. *Foraminifera*

Foraminifera merupakan representasi fosil yang tergolong dalam divisi Rhizopoda. Fosil-fosil ini telah ada sejak zaman Kambrium dan masih dapat ditemukan hingga saat ini. Karenanya, Foraminifera merupakan sumber informasi penting dalam studi sejarah bumi, yang mencakup periode sejak zaman Kambrium hingga saat ini. Namun, keberadaan Foraminifera menjadi sangat krusial sebagai fosil penunjuk khususnya pada zaman Karbon dan Permian. Pada periode ini, terjadi kemunculan pertama kali Foraminifera berukuran besar, yang termasuk dalam genus Fusulinen. Selain itu, pada zaman Karbon dan Tersier, munculnya genus-genus penting lainnya seperti Nummuliten, Textularien, dan Globigerinnen juga memiliki peran signifikan dalam catatan fosil, yang membantu kita memahami evolusi dan perkembangan geologi pada periode-periode tersebut.

e. *Seelilien*

Seelilien merupakan fosil yang mewakili divisi *Echinodermata*, kelompok hewan ini telah muncul sejak zaman *Ordovician* hingga saat ini. Saat ini, kita telah mengidentifikasi sekitar 620 jenis *Seelilien* yang masih ada. Tingkat penyebaran dan distribusi puncak dari berbagai jenis *Seelilien* ditemukan pada zaman Permian, namun kemudian mereka mengalami kepunahan pada periode Paleozoikum akhir dan selama zaman Mesozoikum. Hal ini menunjukkan perubahan signifikan dalam sejarah keberadaan *Seelilien* dalam catatan fosil dan menggambarkan bagaimana evolusi dan peristiwa kepunahan

telah memengaruhi kelompok ini selama periode geologi yang berbeda.

f. *Ammoniten*

Ammoniten merupakan fosil dari cabang kelas *Cephalopoden* dari divisi moluska (*molluscs*). Hewan ini muncul pertama kali pada awal zaman Devonian dan musnah pada zaman Karbon. Puncak penyebaran tertinggi ditemukan pada periode Devonian (*Ammoniten tua*), Triassic (*Ammoniten pertengahan*), Jurassic dan Karbon (*Ammoniten muda*). Fosil penunjuk juga disebabkan karena perbedaan yang jelas dari jenis-jenis *Ammoniten*.

g. *Belemiten*

Belemiten merupakan fosil yang termasuk dalam cabang kelas *Cephalopoden* dari divisi *Moluska*. Keberadaan hewan ini pertama kali tercatat pada zaman *Jurassic* dan mereka mengalami kepunahan pada zaman Karbon. *Belemiten* memiliki nilai penting dalam catatan fosil karena mereka memberikan informasi berharga tentang sejarah geologis dan evolusi organisme laut selama periode tersebut.

6.2. Penentuan Umur Absolut

Umur absolut dalam konteks geologi dinyatakan dalam skala waktu mutlak, yang memungkinkan kita untuk mengukur usia batuan dan benda-benda geologis secara akurat. Namun, penting untuk diingat bahwa metode ini juga memiliki keterbatasan. Penentuan umur absolut melalui metoda radiometris, yang berdasarkan pada perubahan isotop, memberikan tingkat keakuratan yang tinggi, namun tetap disertai dengan standar kesalahan yang dapat mencapai lebih dari 100 juta tahun. Keterbatasan ini timbul karena tidak mungkin untuk menentukan umur batuan dengan presisi yang sama seperti mengukur usia manusia yang tercatat dalam tahun.

Namun, perlu dicatat bahwa mengingat usia bumi yang mencapai milyaran tahun, tingkat kesalahan dalam skala ratusan juta tahun masih dianggap dapat ditolerir. Penentuan umur absolut dalam geologi didasarkan pada prinsip isotop, di mana unsur-unsur dengan jumlah neutron yang berbeda-beda (isotop) akan mengalami peluruhan radioaktif menuju kestabilan dengan memancarkan sinar alpha, beta, dan gamma dari 327 isotop yang ada di alam, sekitar 55 di antaranya dianggap tidak stabil dan mengalami peluruhan radioaktif.

Metode radiometris ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk menentukan umur batuan dan benda-benda geologis dengan tingkat ketepatan yang relatif tinggi, meskipun dengan batasan kesalahan tertentu. Hal ini sangat penting dalam pemahaman kita tentang sejarah geologi dan evolusi bumi.

Isotop mengalami perubahan menjadi isotop yang bersifat stabil dan tidak radioaktif dalam rentang waktu tertentu, tanpa terpengaruh oleh faktor lingkungan seperti suhu dan tekanan. Setelah melewati sejumlah waktu tertentu, sekitar setengah dari jumlah awal unsur radioaktif tersebut akan berubah menjadi isotop lainnya. Ukuran waktu ini, yang memiliki karakteristik fisik yang khas, dikenal sebagai "waktu paruh" (*half-life*). Dengan kata lain, waktu paruh adalah durasi yang diperlukan untuk mengurai setengah dari jumlah awal isotop. Konsep waktu paruh ini memegang peranan penting dalam penentuan usia batuan. Dengan mengukur perbandingan antara material yang terurai dan yang tidak terurai dalam batuan, kita dapat mengestimasi waktu terbentuknya batuan tersebut. (Tabel 6.1) menggambarkan beberapa nilai waktu paruh untuk isotop alami yang berbeda.

Tabel 6.1. Waktu paruh dari beberapa isotop

Isotop alam radioaktif	Pecahan ke produk akhir/stabil	Waktu paruh (tahun)	Manfaat untuk mengukur	Batuan yang mengandung radioaktif
C ¹⁴	N ¹⁴	5.700	Holosen, Pleistosen	Gambut, kayu
Pa ²³¹	Ac ²²⁷	32.000	Holosen, Pleistosen	--
Th ²³⁰	Ra ²²⁶	75.000	Holosen, Pleistosen	--
U ²³⁵	Pb ²⁰⁷ , He ⁴	710.000	Semua sejarah bumi	Zirkon, uranit
K ⁴⁰	Ca ⁴⁰ , Ar ⁴⁰	1.300.000	Semua sejarah bumi	Muskovit
U ²³⁸	Pb ²⁰⁶ , He ⁴	4.100.000	Semua sejarah bumi	Biotit, volkan
Th ²³²	Pb ²⁰⁸ , He ⁴	13.900.000	Semua sejarah bumi	--
Rb ⁸⁷	Sr ⁸⁷	50.000.000	Semua sejarah bumi	Muskovit, biotit, feldspar

6.3. Pembagian Kehidupan Era Geologi

Era geologi dapat dikelompokkan menjadi beberapa periode, yaitu *Cenozoikum*, *Mesozoikum*, *Palaeozoikum*, dan *Kriптоzoikum*. Rincian pembagian era geologi ini dapat ditemukan dalam (Tabel 6.2). Era geologi, atau sering disebut sebagai sejarah geologi, memiliki peran penting dalam penentuan usia bahan induk tanah atau batuan. Di daerah tropis, umumnya bahan induk tanah yang semakin tua menghasilkan tanah yang juga semakin tua, mencerminkan bahwa tanah telah mengalami proses pelapukan yang sangat intensif. Akibatnya, tanah semacam ini cenderung memiliki kandungan hara yang rendah. Era geologi dinyatakan dalam beberapa tingkatan skala, yaitu:

- 1) Era (Masa), didasarkan pada perkembangan kehidupan di dunia dan kegiatan pembentukan pegunungan secara menyeluruh
- 2) Periode (Zaman), didasarkan pada kegiatan pembentukan pegunungan secara regional (lokal)

- 3) Epoch (Kala), didasarkan pada kandungan fosil pada batuan
- 4) Umur (Waktu), didasarkan pada flora dan fauna di zaman es.

Tabel 6.2. Pembagian era geologi (tarikh geologi batuan)

Era	Periode	Epoch	Umur (juta thn)
<i>Cenozoikum</i> (<i>Neozoikum</i>) (<i>Cenos</i> = baru <i>Zoe</i> = hidup)	Kuarter	Holosen (lengkap)	< 2
		Pleistosen/Glasial (kebanyakan)	2 - 6
	Tersier	Pliosen (lebih)	6 - 11
		Miosen (kurang)	11 - 25
		Oligosen (sedikit)	25- 40
		Eosen (kabut)	40- 60
		Paleosen (purba)	60 - 70
<i>Mesozoikum</i> (<i>Mesos</i> = tengah, sekunder)	Cretaceous	Creta (kapur)	70-135
	Jurassic	Gunung Jura	135-180
	Triassic	Patahan	180-225
<i>Palaeozoikum</i> (<i>Palaios</i> = purba, tua)	Atas		
	1. Permian	Perm	225-270
	2. Karbon	Karbon	270-350
	3. Devonian	Sedimen laut	350-400
	Bawah		
	1. Silurian	Silur	400-440
	2. Ordovician	Atas dan bawah	440-500
3. Kambrium	Atas, tengah, bawah	500-600	
<i>Kriptozoikum</i> Prekambrium	Proterozoikum	Proteros = pemula, saksi, bukti	600-2500
	Archaeozoikum	Archaeos = kuno, purba	2500-4500
	Azoikum	A = tidak, Zoo = hewan/hidup	--

Atas dasar batuan yang terbentuk pada era geologi, maka skala batuan dapat disusun sesuai dengan klasifikasi yang mencakup empat tingkatan, yaitu:

- 1) Grup, Formasi batuan yang terbentuk selama rentang waktu pada suatu era geologi tertentu.

- 2) Sistem, Formasi batuan yang terbentuk selama periode geologi yang lebih luas.
- 3) Seri, Formasi batuan yang terbentuk selama periode waktu yang lebih spesifik, yaitu pada tingkat epoch geologi.
- 4) Stage, Formasi batuan yang terbentuk selama periode waktu atau umur tertentu, memberikan tingkat paling terperinci dalam skala ini.

Tabel 6.3 memberikan pandangan mendalam tentang hubungan antara kehidupan dan era geologi. Tabel ini merinci bagaimana kondisi kehidupan awal terkait dengan berbagai zaman geologi yang berbeda.

Tabel 6.3. Hubungan kehidupan dengan zaman geologi

Periode	Epoch	Kondisi kehidupan
Kuarter	Holosen	Manusia modern berkembang
	Pleistosen	Manusia pertama muncul (Nabi Adam AS)
Tersier	Pliosen	Biodiversitas mamalia & gajah menyebar
	Miosen	Tumbuhan berbunga lengkap, anjing & beruang
	Oligosen	Muncul nenek moyang babi & burung
	Eosen	Belum ditemukan bukti yang spesifik jelas
	Paleosen	Ditemukan nenek moyang kuda, sapi & gajah
Cretaceous		Dinosaurus punah, tumbuhan berbunga & mamalia
Jurassic		Ditemukan dinosaurus, burung & mamalia
Triassic		Muncul reptil terbang, dinosaurus & koral pertama
Atas		
1. Permian	Perm	Reptil & amphibi meningkat, muncul pinus & lebah
2. Karbon	Karbon	Hutan pakis (batubara), serangga & reptil pertama
3. Devonian	Sedimen laut	Hewan amphibi, pohon pertama, laba-laba & ikan
Bawah		

1. Silurian	Silur	Tumbuhan darat berspora & bunga karang pertama
2. Ordovician		Vertebrata seperti ikan (<i>Trilobites</i> & <i>Graptolites</i>)
3. Kambrium		Fosil pertama ditemukan (<i>Trilobites</i> , <i>Graptolites</i> , <i>Brachiopoda</i> , <i>Foraminifera</i> & <i>Ammoniten</i>)
Proterozoikum		Invertebrata primitif (karang, cacing, alga & bakteri)
Archaezoikum		Ada alga & bakteri (mahluk bersel tunggal)
Azoikum		Belum ada kehidupan & umur geologi belum terekam

Terdapat berbagai hal penting yang berkaitan dengan sumberdaya alam yang perlu diketahui, yaitu pada zaman Karbon (era *Palaeozoikum*) banyak ditemukan hutan pakis yang merupakan bahan dasar pembentukan batubara. Pembentukan batubara di Tanjung Enim Sumatera Selatan diperkirakan dibentuk pada era ini. Pada zaman Devonian ditemukan batuan pasir merah tua (*old red sandstone*) yang sangat penting sebagai bukti untuk zaman itu.

Pada era Mesozoikum, dikenal sebagai zaman reptil, terdapat banyak fosil reptil berukuran besar, yang dikenal sebagai fosil Dinosaurus. Era ini secara signifikan mencakup zaman Kapur, yang ditandai oleh adanya banyak fosil Foraminifera yang ditemukan dalam batuan kapur.

Era Cenozoikum, yang merupakan era kehidupan baru, mencakup Zaman Kuartar dan Tersier. Pada Zaman Tersier, terjadi serangkaian proses pembentukan pegunungan dan aktivitas vulkanik, seperti pembentukan Bukit Barisan di pulau Sumatera. Analisis mengenai bentang lahan di Sumatera sangat berkaitan dengan proses pembentukan Bukit Barisan. Salah satu hasil penting dari zaman Tersier adalah pembentukan lapisan geologi Palembang bawah. Selain itu, batubara yang terbentuk pada Zaman Tersier disebut sebagai batubara muda dan memiliki kandungan gas yang tinggi, sehingga kualitasnya

cenderung kurang baik, seperti yang terlihat pada batubara di Kabupaten MUBA.

Zaman Kuartar ditandai oleh fluktuasi suhu global yang signifikan, dengan variasi kurang dari 2 °C, serta periode zaman es yang berlangsung. Selama periode ini, permukaan air laut turun hingga mencapai 70 m, dan perubahan ini terjadi secara berulang-ulang. Hal ini menjadi karakteristik utama dalam pembentukan bentang lahan yang sangat heterogen di Sumatera. Penjelasan lebih rinci tentang perubahan permukaan laut dan pembentukan bentang lahan di Sumatera dapat ditemukan dalam Bab II.

6.4. Penyelidikan Jangka Waktu Peristiwa Geologi

Penyelidikan ini dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan lainnya sebagai berikut ini:

- 1) Perbandingan ketebalan sedimen dengan kecepatan guncangan pada periode sekarang
- 2) Perkiraan kedalaman pelapukan, khususnya sedimentasi *glaciers* dari ekuivalen waktu ke penyelidikan daur dari waktu *Interglaciers*
- 3) Perkiraan kebutuhan waktu untuk penomena dari transpor batuan
- 4) Sedimentasi lapisan liat dalam daerah lidah *glaciers*, pelapisan tahunan. Perubahan dari musim semi dan panas sampai gugur
- 5) Perhitungan tinggi dan kembali dari laju subduksi dan laju melebar (*spreading*).

Pada akhirnya dari hasil berbagai sampel batuan yang diperoleh dari seluruh bumi, maka para ahli mengambil suatu kesimpulan umum bahwa:

- 1) Bumi sudah mulai terbentuk sekitar 4,5 milyar tahun yang silam
- 2) Massa batuan di seluruh permukaan bumi telah terbentuk 3,5 milyar tahun dan fosil sudah terbentuk sekitar 3,3 milyar tahun yang lalu.



PETA GEOLOGI DAN MANFAATNYA

Dua aspek penting yang harus diperhatikan untuk kajian peta agrogeologi dan bahan induk tanah, yaitu: informasi yang dapat diekstraksi dari peta tersebut dan manfaat informasi tersebut bagi ahli ilmu tanah.

7.1. Informasi Peta Agrogeologi dan Bahan Induk

Hasil penelitian dalam bidang agrogeologi dan bahan induk tanah sering kali disajikan dalam bentuk laporan penelitian, peta atau sketsa. Peta agrogeologi adalah salah satu bentuk representasi yang penting dalam menunjukkan tingkat heterogenitas batuan di suatu daerah, yang kemudian dibagi menjadi beberapa unit pemetaan yang berbeda. Daerah dengan karakteristik batuan yang serupa dikelompokkan dalam satu unit pemetaan, dan informasi rinci tentang unit-unit tersebut biasanya tersedia dalam legenda peta.

Pembuatan peta agrogeologi dapat melibatkan survei lapangan dan interpretasi foto udara. Selama survei lapangan, satuan peta agrogeologi dibuat dan diidentifikasi berdasarkan pengamatan visual di lapangan serta interpretasi dari foto udara. Sebagai hasilnya, peta agrogeologi menjadi sumber informasi utama untuk mengidentifikasi jenis batuan dan bahan induk tanah di suatu wilayah, serta peristiwa geologis penting lainnya, seperti patahan tektonik dan proses geologi eksternal lainnya. Informasi yang tercantum pada peta agrogeologi mencakup elemen-elemen sebagai berikut:

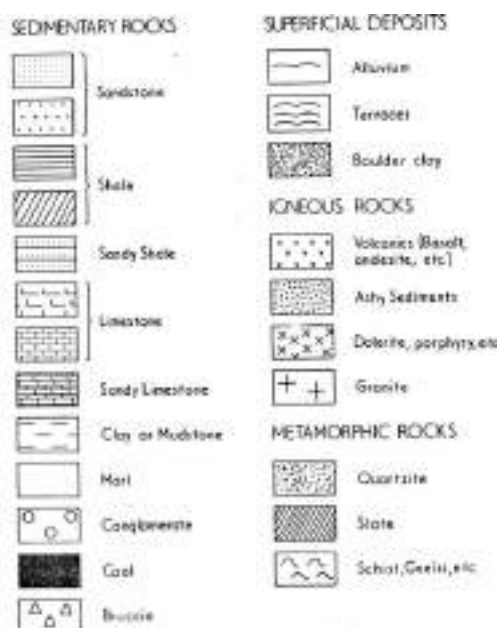
- 1) Judul, Judul peta memberikan informasi tentang jenis data atau informasi yang tercakup dalam peta, seperti Peta Agrogeologi.

- 2) Indeks, Ini bisa berupa nomor atau kode unik yang mengidentifikasi peta secara unik.
- 3) Sumber atau Pembuat, Menyebutkan sumber data atau individu/institusi yang bertanggung jawab atas pembuatan peta.
- 4) Indeks Administratif, Informasi administratif seperti nomor peta, tanggal pembuatan, dan lainnya.
- 5) Orientasi, Menunjukkan arah utara pada peta.
- 6) Skala, Skala peta menggambarkan perbandingan antara ukuran pada peta dengan ukuran sebenarnya di lapangan.
- 7) Proyeksi, Proyeksi mengilustrasikan cara peta tersebut merepresentasikan permukaan bumi yang melengkung ke dalam bentuk datar.
- 8) Legenda Peta, Legenda peta berisi keterangan mengenai simbol-simbol yang digunakan pada peta untuk menggambarkan berbagai jenis batuan, tanah, atau informasi geologis lainnya.

Peta agrogeologi, dengan notasi geologi khususnya, menjadi alat penting dalam memahami karakteristik tanah dan lingkungan geologis di suatu wilayah. Peta ini membantu para peneliti, petani, dan ahli ilmu tanah untuk mengambil keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan tanah, pertanian, serta perlindungan dan pengelolaan sumber daya alam.

Informasi yang diperoleh dari peta agrogeologi mencakup penyebaran, jenis, dan umur batuan di suatu daerah tertentu. Umur dan jenis batuan dapat ditemukan dalam legenda dan keterangan yang terdapat pada peta tersebut, sementara penyebaran batuan dapat diamati melalui representasi spasialnya pada peta. Selain itu, peta agrogeologi juga memberikan informasi tentang keberadaan batuan terobosan, patahan, lipatan, dan elemen penting lainnya, yang digambarkan dengan simbol-simbol khusus dan diberi keterangan lengkap dalam legenda. Sebagai contoh, beberapa simbol agrogeologi dapat ditemukan pada (Gambar 7.1).

Perbedaan yang sering muncul adalah jenis batuan yang tercatat dalam peta agrogeologi berbeda dengan peta geologi. Hal ini disebabkan oleh fokus peta agrogeologi yang terbatas pada lapisan atas tanah (0-20 m), sedangkan peta geologi menyelidiki batuan pada kedalaman yang lebih besar sesuai dengan kebutuhan penelitian geologi. Untuk mengatasi perbedaan tersebut, identifikasi langsung di lapangan diperlukan. Jika penentuan jenis batuan menjadi sulit, sampel dapat diambil untuk diidentifikasi di laboratorium. Khususnya dalam kasus sampel fosil, posisi fosil dalam konteks lapangan menjadi sangat penting dan perbandingan dengan fosil lain yang ditemukan di lokasi yang sama adalah kunci untuk menentukan umur fosil tersebut (yang berkaitan dengan umur batuan atau sedimen). Lokasi presisi fosil di lapangan harus dapat dipetakan dengan akurat dalam peta geologi.



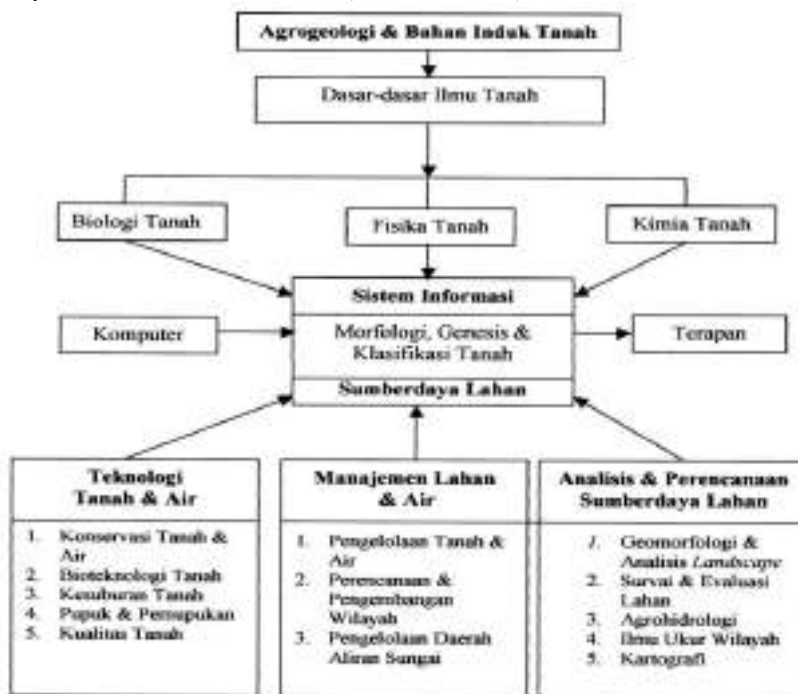
Gambar 7.1. Bentuk arsiran batuan pada peta agrogeologi

7.2. Manfaat Pengetahuan Agrogeologi Bagi Ahli Tanah

Pandangan dari para ahli ilmu tanah menegaskan bahwa ilmu tanah adalah bagian integral dari geologi terapan. Untuk

menekankan relevansinya dalam konteks pertanian, disarankan untuk memberikan judul kajian tersebut sebagai Agrogeologi dan Bahan Induk Tanah: Pendekatan Geologi dalam Kegiatan Pertanian. Sebelum memulai pembelajaran mengenai prinsip-prinsip dasar ilmu tanah, pemahaman mendalam mengenai agrogeologi dan bahan induk tanah menjadi landasan yang sangat penting.

Studi ilmu tanah diteruskan dengan penyelidikan dalam berbagai aspek fundamental, termasuk biologi, fisika, dan kimia tanah. Morfologi, genesis, dan klasifikasi tanah menjadi fondasi yang esensial untuk mengintegrasikan berbagai bidang kajian ilmu tanah sebelum penerapannya dalam praktek. Ruang lingkup dari studi ilmu tanah mencakup tiga bidang utama, yaitu Bidang Analisis Teknologi Tanah dan Air, Bidang Analisis dan Perencanaan Sumberdaya Lahan, serta Bidang Manajemen Lahan dan Air (Gambar 7.2).



Gambar 7.2. Hubungan agrogeologi dan bahan induk tanah dengan cabang ilmu tanah lainnya

Agar ilmu tanah dapat memberikan dukungan yang kuat bagi penelitian dan pengembangan berbagai komponen pengetahuan yang telah disebutkan di atas, sangat penting bagi dasar-dasar ilmu tanah untuk berakar pada pemahaman yang mendalam mengenai agrogeologi dan bahan induk tanah. Memahami ilmu tanah tanpa memahami kedua konsep tersebut akan menghasilkan pemahaman yang kurang lengkap dan dangkal, mengingat bahwa tanah pada dasarnya terbentuk dari berbagai jenis batuan, baik yang bersifat masif maupun yang bersifat lepas. Sifat-sifat dasar batuan akan memberikan kontribusi signifikan terhadap karakteristik dan sifat-sifat tanah melalui proses pedogenesis dan geomorfologi.

Karena hubungan yang erat ini, studi ilmu tanah tidak boleh dipisahkan dari konteks agrogeologi dan bahan induk tanah, melainkan harus dipandang sebagai satu kesatuan yang utuh. Hal ini penting agar penelitian dan pemahaman mengenai tanah dapat dilakukan dengan cermat dan tepat. Oleh karena itu, bagi mahasiswa dalam berbagai bidang seperti pertanian, kehutanan, perikanan, peternakan, perkebunan, pengembangan wilayah, dan ilmu lingkungan, penting untuk memasukkan agrogeologi dan bahan induk tanah ke dalam kurikulum pembelajaran mereka. Hal ini akan memberikan landasan yang kokoh untuk pemahaman yang mendalam mengenai sumber daya tanah dan bagaimana memanfaatkannya secara berkelanjutan dalam berbagai konteks pertanian dan pengembangan wilayah.

1) Teknologi Tanah dan Air (*Soil and Water Technology*)

Bidang ini, yang dikenal sebagai edapodologi, memeriksa tanah sebagai medium pertumbuhan tanaman, dengan penekanan khusus pada teknologi penyiapan tanah yang sesuai dengan jenis tanaman tertentu dan pengurangan input yang diperlukan sebanyak mungkin. Dengan pemahaman yang mendalam dalam kajian ini, tujuan utamanya adalah mengembangkan dan menerapkan teknologi tanah yang dapat meningkatkan produktivitas lahan pertanian sambil

mengurangi penggunaan input yang berlebihan. Beberapa mata kuliah penting yang perlu dipelajari dalam bidang ini mencakup konservasi tanah dan air, bioteknologi tanah, kesuburan tanah, pemupukan dan pemupukan, serta pemahaman tentang kualitas tanah.

Di Indonesia, bidang kajian ini telah mengalami perkembangan yang signifikan, dan penelitiannya tidak hanya dilakukan oleh ahli tanah tetapi juga oleh para ahli agronomi dan ilmu pertanian lainnya. Hal ini mencerminkan pentingnya pendekatan holistik terhadap tanah sebagai salah satu elemen kunci dalam pertanian. Dengan memadukan ilmu dan teknologi dalam bidang ini, diharapkan produktivitas pertanian di Indonesia dapat terus meningkat sambil meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

2) Analisis dan Perencanaan Sumberdaya Lahan (*Land Resource Analyses and Planning*)

Bidang ini secara khusus memfokuskan studi terhadap tanah sebagai tubuh alam (*natural body*) yang kompleks. Fokus utama dalam penelitian ini adalah pengembangan kemampuan ahli tanah dalam melakukan analisis dan perencanaan pengelolaan sumberdaya lahan. Kajian ini mencakup aspek-aspek seperti dinamika, proses, asal-usul (*genesis*), morfologi, klasifikasi, dan pengaturan spasial. Harapannya, hasil penelitian dalam bidang ini akan menghasilkan individu yang memiliki keterampilan sebagai perencana dan analis sumberdaya lahan yang kompeten. Beberapa mata kuliah kunci yang mendukung pengembangan bidang ini mencakup geomorfologi dan analisis lanskap, survei dan evaluasi lahan, agrohidrologi, ilmu pengukuran wilayah, dan kartografi.

3) Manajemen Lahan & Air (*Land and Water Management*)

Bidang ini merupakan integrasi dari dua disiplin sebelumnya, yaitu kemampuan ahli tanah dalam mengelola sumberdaya lahan dan air dengan memanfaatkan teknologi yang telah dikaji guna meningkatkan produktivitas lahan.

Teknologi yang diterapkan dalam konteks ini harus sesuai dengan kebutuhan sumberdaya lahan, dengan fokus pada penggunaan input yang efisien. Mata kuliah yang berperan penting dalam mendukung perkembangan bidang ini melibatkan pengelolaan tanah dan air, perencanaan serta pembangunan wilayah, dan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS).



VIII

HUBUNGAN GEOLOGI DAN PERTANIAN

Hubungan antara geologi dan pertanian merupakan aspek penting dalam pemahaman dan pengembangan sektor pertanian. Geologi memainkan peran kunci dalam memahami kondisi fisik dan kimia tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan produktivitas pertanian. Salah satu konsep dasar dalam hubungan ini adalah bahwa sifat geologi suatu daerah, seperti jenis batuan dan struktur geologi, dapat mempengaruhi komposisi mineral tanah, tekstur tanah, dan tingkat drainase. Geologi juga berpengaruh pada ketersediaan sumberdaya air tanah yang penting untuk irigasi pertanian.

Selain dampak fisik, geologi juga dapat mempengaruhi kualitas tanah dan air yang digunakan dalam pertanian. Pencemaran tanah dan air oleh logam berat atau bahan kimia beracun dapat berasal dari geologi regional atau lokal. Oleh karena itu, pemahaman geologi daerah tertentu sangat penting dalam mengelola risiko pencemaran lingkungan dalam pertanian. Dalam konteks pertanian berkelanjutan, pengetahuan geologi dapat digunakan untuk merencanakan praktik pertanian yang berkelanjutan. Misalnya, pemahaman geologi dapat membantu dalam pemilihan varietas tanaman yang sesuai untuk tanah tertentu, pengelolaan erosi tanah, serta pengembangan sistem irigasi yang efisien. Secara keseluruhan, hubungan antara geologi dan pertanian merupakan hal yang kompleks dan penting untuk pertumbuhan dan keberlanjutan sektor pertanian. Keterlibatan ilmu geologi dalam pemahaman dan pengelolaan sumberdaya alam berkaitan dengan pertanian adalah kunci untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi dampak lingkungan.

8.1. Geologi dan Manajemen Pertanian

Geologi dan manajemen pertanian adalah dua bidang ilmiah yang berhubungan erat dalam konteks pertanian berkelanjutan. Berikut adalah penjelasan ilmiah tentang kaitan antara geologi dan manajemen pertanian:

- 1) Geologi, adalah ilmu yang mempelajari Bumi, termasuk komposisi, struktur, proses, dan sejarahnya. Dalam konteks pertanian, geologi memainkan peran penting karena berbagai aspek geologi dapat mempengaruhi produktivitas dan keberlanjutan pertanian.
- 2) Manajemen Pertanian, adalah disiplin ilmiah dan praktik yang berkaitan dengan pengelolaan sumberdaya pertanian dengan tujuan meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan pertanian.

Geologi dan manajemen pertanian saling terkait karena pengetahuan geologi membantu petani dalam mengambil keputusan yang lebih baik dalam manajemen sumberdaya pertanian, yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian. Keseluruhan, integrasi geologi dalam manajemen pertanian dapat meningkatkan efisiensi sumberdaya, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian. Hal ini memungkinkan petani untuk merespons perubahan lingkungan dan iklim dengan lebih baik sambil menjaga lingkungan alam sekitar. Oleh karena itu, kolaborasi antara ilmuwan geologi dan praktisi pertanian sangat penting untuk menghadapi tantangan pertanian masa depan.

1) Pemilihan Lokasi Pertanian

Dalam pemilihan lokasi pertanian, pengetahuan tentang geologi memegang peran penting dalam manajemen pertanian yang efektif. Geologi daerah tertentu dapat memberikan informasi vital tentang sifat-sifat tanah, topografi, dan ketersediaan sumberdaya air yang sangat berpengaruh pada keberhasilan pertanian. Misalnya, pemahaman tentang jenis-jenis batuan yang mendominasi wilayah tersebut dapat

mengungkapkan potensi tanah yang cocok untuk pertanian tertentu. Sifat-sifat tanah seperti tekstur, struktur, dan kandungan mineral dapat dianalisis dengan lebih baik melalui pengetahuan geologi.

Selain itu, topografi yang dipengaruhi oleh geologi dapat mempengaruhi drainase, pembentukan lereng, dan potensi erosi tanah. Pengelolaan pertanian yang baik memerlukan pemahaman tentang bagaimana geologi mempengaruhi aspek-aspek ini. Selain itu, sumberdaya air tanah yang tersedia untuk irigasi juga sangat dipengaruhi oleh geologi. Penilaian sumberdaya air tanah dapat membantu petani dalam merencanakan pemakaian air yang efisien dalam pertanian mereka.

Dengan demikian, integrasi pengetahuan geologi dalam pemilihan lokasi pertanian memungkinkan para petani untuk membuat keputusan yang lebih baik dalam manajemen pertanian mereka, meningkatkan produktivitas, dan secara keseluruhan, mencapai keberlanjutan dalam sektor pertanian.

2) Pemilihan Lokasi yang Tepat

Pemilihan lokasi yang tepat dalam geologi dan manajemen pertanian merupakan tahap awal yang krusial dalam perencanaan pertanian yang sukses. Proses ini melibatkan penilaian berbagai aspek yang memiliki dampak signifikan terhadap produktivitas pertanian dan keberlanjutan lingkungan. Beberapa aspek penting yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pertanian mencakup iklim, jenis tanah, topografi, aksesibilitas, ketersediaan air, pasar, dan risiko lingkungan.

Aspek pertama yang perlu diperhatikan adalah iklim. Iklim yang mencakup suhu, curah hujan, dan pola cuaca akan mempengaruhi jenis tanaman yang dapat tumbuh dan musim tanam yang optimal. Jenis tanah juga merupakan faktor kunci dalam pemilihan lokasi. Sifat-sifat tanah seperti tekstur, struktur, dan komposisi mineral mempengaruhi kemampuan tanah untuk menahan air dan unsur hara.

Topografi adalah aspek lain yang memiliki dampak penting. Lahan berlereng mungkin memerlukan tindakan pencegahan erosi yang cermat, sementara lahan datar mungkin lebih cocok untuk sistem irigasi. Aksesibilitas ke lokasi pertanian juga memainkan peran penting dalam distribusi hasil pertanian dan akses terhadap pasar.

Ketersediaan air adalah faktor utama dalam pemilihan lokasi. Petani harus memastikan ada pasokan air yang memadai untuk irigasi atau konsumsi tanaman. Selain itu, ketersediaan pasar dan akses ke konsumen juga harus dipertimbangkan. Jarak ke pasar dapat mempengaruhi biaya pengiriman dan keuntungan ekonomi dari pertanian.

Terakhir, risiko lingkungan adalah faktor yang tak boleh diabaikan. Petani perlu mempertimbangkan dampak lingkungan yang mungkin timbul dari praktik pertanian mereka, seperti pencemaran air, kerusakan ekosistem, dan perubahan iklim yang mungkin terkait dengan aktivitas pertanian.

Dalam mempertimbangkan semua aspek ini, petani harus mengadopsi pendekatan yang berbasis ilmiah dan komprehensif dalam pemilihan lokasi pertanian yang optimal. Pemahaman yang baik tentang geologi, iklim, tanah, dan lingkungan lokal adalah dasar yang diperlukan untuk membuat keputusan yang tepat. Dengan demikian, pemilihan lokasi yang tepat akan mendukung pertanian yang produktif, berkelanjutan, dan berdaya saing.

3) Geologi Situs

Geologi situs adalah komponen penting dalam pemahaman yang mendalam tentang aspek geologi yang berdampak pada manajemen pertanian. Dalam konteks ini, geologi situs merujuk pada analisis dan pemahaman karakteristik geologi suatu wilayah untuk kegiatan pertanian. Peran Geologi Situs dalam Geologi dan Manajemen Pertanian sebagai berikut:

- 1) Pemahaman tentang Tanah, Geologi situs memberikan pengetahuan mendalam tentang jenis tanah, struktur tanah, tekstur tanah, dan komposisi mineral. Informasi ini krusial dalam pemilihan tanaman yang sesuai dan perencanaan pemupukan yang tepat.
- 2) Kontrol Drainase, Topografi dan jenis tanah yang dipengaruhi oleh geologi situs dapat mempengaruhi pola drainase tanah. Ini memiliki implikasi langsung pada manajemen irigasi dan pemilihan lokasi yang cocok untuk pertanian.
- 3) Ketersediaan Air Tanah, Geologi situs mempengaruhi ketersediaan air tanah. Pemahaman yang mendalam tentang sumberdaya air tanah menjadi penting dalam perencanaan irigasi yang efisien dan berkelanjutan.
- 4) Pencegahan Erosi, Sifat geologi situs, seperti kemiringan lereng dan jenis tanah, mempengaruhi potensi erosi tanah. Oleh karena itu, perlunya praktik konservasi tanah dan tindakan pencegahan erosi menjadi penting dalam manajemen pertanian.

Dalam kaitannya Aspek Penting dalam Geologi Situs dibagi menjadi empat komponen, yaitu sebagai berikut:

- 1) Jenis Batuan, Identifikasi jenis batuan yang dominan dalam wilayah tersebut merupakan langkah awal dalam geologi situs. Batuan ini merupakan sumber tanah utama di daerah tersebut.
- 2) Sifat Tanah, Analisis sifat fisik dan kimia tanah, seperti pH, kandungan bahan organik, tekstur, dan kapasitas tukar kation, sangat penting dalam pemahaman geologi situs.
- 3) Topografi, Pemahaman tentang topografi dan pola aliran air permukaan sangat membantu dalam perencanaan irigasi, pengendalian erosi, dan pemilihan lokasi yang cocok untuk berbagai jenis tanaman.
- 4) Kualitas Air Tanah, Geologi situs juga mempengaruhi kualitas air tanah yang digunakan untuk irigasi. Analisis

air tanah diperlukan untuk memastikan air yang digunakan sesuai untuk pertanian.

Geologi situs juga perlu memperhatikan peta topografi, peta jenis tanah, peta geologi regional, dan profil geologi situs yang merupakan alat penting dalam mendukung pemahaman geologi situs. Peta ini memvisualisasikan pola aliran air, jenis tanah, dan karakteristik geologi situs. Selain itu, gambar foto udara dan foto satelit juga dapat memberikan wawasan visual yang berharga tentang topografi dan penggunaan lahan di wilayah tersebut.

Geologi situs adalah aspek kunci dalam geologi dan manajemen pertanian. Dengan pemahaman yang mendalam tentang karakteristik geologi suatu wilayah, petani dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam pemilihan lokasi pertanian, perencanaan irigasi yang efisien, manajemen tanah yang optimal, dan pemilihan jenis tanaman yang sesuai. Penggunaan peta dan gambar geologi situs merupakan alat penting dalam mengumpulkan data dan analisis yang mendukung keberhasilan pertanian sesuai dengan standar penulisan ilmiah yang ketat.

8.2. Manajemen Tanah

Manajemen tanah adalah unsur kunci dalam konteks geologi dan manajemen pertanian yang mengacu pada pengelolaan optimal tanah sebagai sumberdaya pertanian. Dalam kaitannya dengan geologi, pemahaman mendalam tentang sifat-sifat geologi suatu wilayah sangat penting untuk mengelola tanah dengan efisien. Sifat geologi, seperti jenis batuan yang membentuk tanah, mempengaruhi tekstur, struktur, dan komposisi mineral tanah. Hal ini memiliki implikasi langsung pada pemilihan jenis tanaman yang cocok dan perencanaan pemupukan yang tepat.

Manajemen tanah juga mencakup praktik-praktik konservasi untuk mencegah erosi tanah yang dapat disebabkan oleh faktor geologi seperti kemiringan lereng. Dalam pertanian berkelanjutan, praktik-praktik ini sangat penting untuk

meminimalkan kerusakan lingkungan dan menjaga produktivitas lahan. Selain itu, manajemen tanah juga termasuk pemantauan kualitas tanah, pengendalian hama dan penyakit tanaman, serta perencanaan rotasi tanaman yang sesuai dengan karakteristik geologi suatu daerah.

Pemahaman tentang geologi situs dalam manajemen tanah memberikan dasar yang kokoh untuk pemilihan lokasi pertanian yang cerdas dan perencanaan yang berkelanjutan. Ini menciptakan kondisi yang mendukung pertanian yang produktif, mengurangi risiko lingkungan, dan menjaga kualitas tanah dalam jangka panjang. Dengan demikian, manajemen tanah dalam geologi dan manajemen pertanian adalah elemen kunci dalam mencapai pertanian yang berkelanjutan dan efisien sesuai dengan prinsip-prinsip ilmiah.

1) Konservasi Tanah

Kajian konservasi tanah sangat perlu dilakukan disebabkan oleh fakta bahwa dampak degradasi tanah seringkali tidak terlihat secara langsung di lapangan, dan tidak selalu mengakibatkan penurunan hasil panen. Misalnya, dampak erosi, pemupukan dan pemberian pestisida tidak selalu bisa dideteksi dengan segera, berbeda dengan dampak tanah longsor atau banjir yang terlihat secara jelas. Tanpa usaha konservasi tanah yang efektif, maka keberlanjutan pertanian sulit terlaksana.

Ruanglingkup konservasi tanah mencakup pengalokasian pemanfaatan serta penempatan tanah sesuai dengan karakteristik tanah tersebut, serta perlakuan yang mematuhi persyaratan yang diperlukan untuk mencegah degradasi tanah. Pengertian konservasi tanah dalam arti sempit adalah mengacu pada berbagai tindakan atau usaha untuk mencegah degradasi tanah dan mengembalikan produktivitas tanah sebelum terdegradasi. Tujuan dari upaya konservasi tanah adalah sebagai berikut:

- 1) Mencegah degradasi tanah baik diakibatkan oleh erosi atau agrokimia

- 2) Memulihkan tanah yang terdegradasi
- 3) Menentukan kelas kemampuan tanah dan segala upaya yang diperlukan agar tanah dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan tanpa batas waktu.
- 4) Pemanfaatan air hujan yang jatuh ke tanah dengan efisien serta pengaturan aliran air untuk mencegah banjir merusak dan menjaga pasokan air yang memadai selama musim kemarau.

Preservasi, proteksi, atau konservasi merujuk pada serangkaian tindakan yang bertujuan untuk mencegah, mengendalikan, memulihkan, atau menyelamatkan sumberdaya alam dengan prinsip utama kelestarian. Konsep ini menggambarkan konservasi tanah sebagai strategi untuk mengatur penggunaan lahan dengan mempertimbangkan kemampuan dan karakteristik tanah, serta menjalankan langkah-langkah yang diperlukan untuk mencegah kerusakan cepat pada tanah tersebut. Secara simpel, konservasi tanah adalah usaha untuk memelihara dan menjaga tanah (lahan) dengan prinsip penyesuaian pemanfaatan lahan sesuai dengan potensi dan kapasitasnya.

Selain itu, konservasi air merupakan rangkaian tindakan yang bertujuan untuk melestarikan sumberdaya air (tata air) dengan fokus pada pencapaian keseimbangan dalam pengaturan penggunaan dan pemanfaatan air. Dengan demikian, konservasi tanah dan air menjadi elemen penting dalam pelestarian lingkungan dan sumberdaya alam yang harus diterapkan secara bijaksana untuk menjaga kelestarian ekosistem dan memenuhi kebutuhan generasi mendatang.

Pendekatan penting untuk konservasi tanah, yaitu: (1) Meningkatkan dan memelihara kondisi tanah agar lebih tahan terhadap erosi dan pergerakan tanah serta memiliki kemampuan penyerapan air yang lebih baik; (2) Melindungi tanah dengan *cover crops* atau sisa-sisa panen, sehingga dampak langsung air hujan dapat diminimalkan; dan (3) Mengelola *runoff* agar tidak merusak tanah.

Penting untuk diingat bahwa setiap tindakan yang diambil pada suatu lahan akan mempengaruhi tata air di lokasi tersebut serta di daerah hilirnya. Dalam konteks pertanian, tanggung jawab sektor ini, mencakup: (1) Memelihara jumlah, waktu aliran, dan kualitas air sebaik mungkin melalui praktik pengelolaan dan penggunaan lahan yang baik, dan (2) Maksimalkan manfaat air dengan menerapkan praktik-praktik yang efisien dalam penggunaan air.

Pemahaman yang mendalam tentang konservasi tanah dan air serta implementasi tindakan yang tepat adalah kunci untuk menjaga kelestarian lingkungan dan sumberdaya alam yang sangat penting bagi keberlanjutan pertanian dan kehidupan manusia.

Konservasi tanah dan air merupakan konsep yang memiliki beberapa definisi yang relevan, yang mencakup berbagai aspek praktis dan ilmiah. Konservasi tanah dan air juga dapat dianggap sebagai ilmu terapan yang menggabungkan berbagai pengetahuan ilmiah untuk mengembangkan teknologi yang dapat memelihara sumberdaya alam, terutama hutan, tanah, dan air. Pendekatan dasar dalam konservasi tanah dan air:

- 1) Penutupan Tanah dengan Tanaman atau Mulsa, Upaya untuk melindungi tanah dari dampak langsung air hujan dengan menutupinya dengan tanaman atau mulsa.
- 2) Perbaikan dan Pemeliharaan Kondisi Tanah, Meningkatkan daya tahan tanah terhadap erosi dan pergerakan tanah, serta meningkatkan kemampuan penyerapan air.
- 3) Pengaturan *Run off*, Mengatur *run off* agar mengalir dengan kekuatan yang tidak merusak, misalnya dengan cara mengurangi *run off*, menahan *run off*, dan mengelola *run off*.
- 4) Penggunaan Air Secara Efisien, Meningkatkan efisiensi dalam penggunaan air pertanian.
- 5) Pemeliharaan Kualitas Air, Memastikan kualitas air tetap terjaga dan memungkinkan dilakukan daur ulang air.

Berikut disampaikan peranan penting dari tindakan konservasi tanah dan air, yaitu mencakup hal-hal berikut ini:

- 1) Penyelamatan Lahan Kritis, Mencegah kerusakan lanjutan pada lahan yang sudah dalam kondisi kritis.
- 2) Menjaga Kesuburan Tanah, Memastikan kesuburan tanah terjaga untuk mendukung pertanian berkelanjutan.
- 3) Pengendalian Erosi dan Sedimentasi, Mengurangi erosi tanah dan sedimentasi di perairan.
- 4) Pengendalian Banjir, Menjaga keseimbangan tata air dan mengurangi risiko banjir.
- 5) Pengendalian Pencemaran Air, Memastikan air sesuai dengan standar mutu lingkungan.

Konservasi tanah dan air adalah aspek penting dalam memelihara ekosistem, mendukung pertanian berkelanjutan, dan melindungi kualitas lingkungan hidup.

2) Perbaikan Struktur Tanah

Ruang lingkup perbaikan struktur tanah, yaitu perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dan perbaikan tanah dengan metode fisik.

a. Perbaikan Tanah dengan Metode Kimiawi

Jenis perbaikan ini melibatkan penggunaan bahan kimia untuk meningkatkan sifat-sifat tanah. Klasifikasi ini dapat dibedakan berdasarkan beberapa sudut pandang, yaitu: berdasarkan bahan pencampur; berdasarkan jenis bahan bubuk yang digunakan, dan berdasarkan cara pencampuran.

Berdasarkan bahan pencampur (*additive*), terbagi menjadi dua jenis, yaitu: perbaikan tanah dengan bubuk (*powder stabilization*); dan perbaikan tanah dengan larutan (*solvent stabilization*). Berdasarkan jenis bahan bubuk yang digunakan, antara lain perbaikan tanah dengan: semen (*soil cement*); kapur (*soil lime*); dan abu (*soil ash*). Berdasarkan cara pencampurannya, yaitu perbaikan tanah dengan metoda pengadukan (*mixed methods*); dan metode penyuntikan (*grouting methods*).

b. Perbaikan Tanah dengan Metode Fisik

Jenis perbaikan ini melibatkan manipulasi fisik tanah untuk meningkatkan kualitasnya. Perbaikan tanah dengan metode fisik dapat dibagi menjadi: pemadatan tanah (*soil compaction*); pengeringan tanah (*dewatering*); konsolidasi tanah (*soil consolidation or preloading*); perekatan partikel tanah (*soil permeation resin*); dan penggantian tanah (*soil replacement*).

8.3. Penggunaan Pupuk

Penggunaan pupuk dalam konteks geologi dan manajemen pertanian memiliki dampak signifikan pada produktivitas lahan pertanian. Pupuk adalah sumber nutrisi esensial seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) yang mendukung pertumbuhan tanaman. Pengetahuan tentang geologi lokal sangat penting dalam pemilihan jenis pupuk yang tepat karena sifat-sifat mineral tanah dan teksturnya dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Oleh karena itu, analisis geologi tanah dan pemahaman tentang geokimia dapat membantu petani dalam mengidentifikasi defisiensi nutrisi dan memilih pupuk yang sesuai.

Dalam manajemen pertanian, penggunaan pupuk yang bijaksana menjadi kunci untuk memaksimalkan hasil panen. Strategi pemupukan yang tepat dapat mengatasi defisiensi nutrisi, yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Namun, penting untuk mengikuti pedoman penggunaan pupuk yang direkomendasikan agar tidak terjadi overdosis yang berpotensi merusak lingkungan. Dampak lingkungan dari penggunaan pupuk termasuk pencemaran air dan tanah serta potensi eutrofikasi harus diperhitungkan dalam manajemen pertanian yang berkelanjutan.

Dalam keseluruhan, penggunaan pupuk dalam geologi dan manajemen pertanian adalah aspek penting dalam menjaga produktivitas lahan pertanian sambil meminimalkan dampak lingkungan negatif. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang geologi lokal, pemilihan jenis pupuk yang

tepat, dan manajemen yang bijaksana merupakan komponen kunci dalam menjaga keberlanjutan pertanian.

1) Pemahaman Pupuk Berdasarkan Bahan Mineral Tanah

Pemahaman tentang pupuk berdasarkan kandungan mineral tanah memiliki implikasi yang signifikan dalam disiplin ilmu geologi dan manajemen pertanian. Pupuk adalah sumber utama unsur hara yang esensial bagi pertumbuhan tanaman, seperti N, P, dan K. Pengetahuan mendalam tentang komposisi mineral tanah adalah kunci untuk pemilihan jenis pupuk yang tepat. Sifat-sifat mineral tanah, termasuk pH, tekstur, dan kemampuan retensi unsur hara, mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Oleh karena itu, pemahaman geologi lokal dan analisis komposisi mineral tanah sangat penting dalam menentukan jenis pupuk yang diperlukan.

Dalam manajemen pertanian, penekankan bahwa pemahaman ini membantu petani dalam mengatasi defisiensi nutrisi tanaman secara efisien. Strategi pemupukan yang tepat, berdasarkan pemahaman kandungan mineral tanah, dapat meningkatkan hasil panen dengan mengoptimalkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Namun, penggunaan pupuk harus dikelola dengan hati-hati untuk menghindari overdosis yang dapat merusak lingkungan. Pemantauan dan pengukuran terus-menerus terhadap kandungan mineral tanah menjadi penting dalam manajemen pertanian yang berkelanjutan.

Dalam keseluruhan, pemahaman pupuk berdasarkan kandungan mineral tanah dalam geologi dan manajemen pertanian adalah landasan penting dalam menjaga produktivitas lahan pertanian dan meminimalkan dampak lingkungan negatif. Pupuk dapat diklasifikasikan berdasarkan bahan mineral tanah yang mereka sediakan sebagai berikut:

- 1) Pupuk Anorganik, Pupuk anorganik dibuat dengan menggunakan bahan mineral non-organik sebagai sumber unsur hara. Jenis pupuk anorganik yang paling umum

adalah pupuk NPK, yang mengandung N, P dan K dalam bentuk anorganik. Pupuk ini juga dapat mengandung unsur hara lainnya seperti Mg, S, dan mikronutrien dalam bentuk anorganik.

- 2) Pupuk Organik, Pupuk organik dibuat dari bahan-bahan alami seperti kompos, pupuk kandang, limbah tumbuhan, atau bahan-bahan organik lainnya. Unsur hara dalam pupuk organik dilepaskan secara perlahan melalui proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah. Meskipun pupuk organik tidak mengandung unsur hara anorganik yang tinggi, mereka memiliki manfaat lain seperti meningkatkan struktur tanah dan retensi air.
- 3) Pupuk Mineral, Pupuk mineral mengandung unsur hara dalam bentuk anorganik, dan sumber utamanya adalah mineral non-organik. Pupuk mineral ini seringkali digunakan dalam pertanian konvensional untuk memberikan nutrisi tanaman secara instan. Contoh pupuk mineral meliputi urea (sumber nitrogen), superfosfat (sumber fosfor), dan kalium klorida (sumber kalium).
- 4) Pupuk Fosfat Alami, Pupuk ini diperoleh dari deposit alam fosfat yang mengandung fosfor dalam bentuk mineral, seperti batu fosfat. Pupuk fosfat alami adalah salah satu sumber utama fosfor dalam pertanian, dan penggunaannya membantu meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah.
- 5) Pupuk Sulfat, Pupuk ini mengandung unsur hara seperti S dalam bentuk sulfat. Pupuk sulfat dapat digunakan untuk menyediakan belerang dan unsur hara lainnya untuk tanaman.
- 6) Pupuk Kalsium, Pupuk ini mengandung unsur Ca dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Pupuk kalsium digunakan untuk memperbaiki keseimbangan kalsium dalam tanah.
- 7) Pupuk Kieserite, Pupuk ini mengandung Mg dalam bentuk Kieserite. Penggunaannya membantu dalam

memberikan magnesium untuk tanaman dan memperbaiki keseimbangan unsur hara dalam tanah.

- 8) Pupuk Silvinit, Pupuk ini mengandung K dalam bentuk sulfat kalium (K_2SO_4). Pupuk Silvinit adalah sumber K yang penting untuk tanaman.

2) Dampak Pupuk Terhadap Lingkungan

Penggunaan pupuk memiliki dampak positif dan negatif yang signifikan dalam konteks pertanian modern. Dampak positifnya terlihat dalam peningkatan produktivitas lahan pertanian dan hasil panen yang lebih besar. Pupuk memberikan tanaman nutrisi esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal, yang pada gilirannya mendukung pemenuhan kebutuhan pangan yang terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dunia. Pupuk juga dapat memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan efisiensi penggunaan lahan pertanian.

Namun, penggunaan pupuk juga memiliki dampak negatif yang patut diperhatikan. Salah satu dampak utamanya adalah pencemaran lingkungan. Ketika pupuk tidak sepenuhnya diserap oleh tanaman, unsur hara berlebih dapat mencuci ke dalam perairan permukaan dan air tanah. Ini dapat menyebabkan eutrofikasi, di mana pertumbuhan alga yang berlebihan dalam air dapat merusak ekosistem air tawar, seperti sungai, danau, dan pantai. Pencemaran air oleh pupuk juga dapat mengganggu kualitas air minum dan menyebabkan masalah kesehatan manusia.

Selain itu, penggunaan pupuk yang berlebihan atau tidak tepat dapat menyebabkan keracunan tanah dan mengganggu keseimbangan unsur hara dalam tanah. Hal ini dapat mengurangi produktivitas lahan dan mengakibatkan penurunan kualitas tanah. Biaya yang terkait dengan pembelian pupuk juga dapat menjadi beban finansial bagi petani, terutama di daerah yang bergantung pada pertanian skala kecil. Overdosis pupuk juga dapat menyebabkan pemborosan sumberdaya dan meningkatkan biaya produksi.

Dalam konteks ini, manajemen yang bijaksana dalam penggunaan pupuk, termasuk pemantauan ketat dosis dan pemilihan jenis pupuk yang sesuai, menjadi sangat penting. Dengan pendekatan yang tepat, petani dapat memanfaatkan manfaat positif dari pupuk sambil meminimalkan dampak negatifnya pada lingkungan dan ekonomi pertanian.

Dalam keseluruhan, pemahaman pupuk berdasarkan kandungan mineral tanah dalam geologi dan manajemen pertanian adalah landasan penting dalam menjaga produktivitas lahan pertanian dan meminimalkan dampak lingkungan negatif.

8.4. Manajemen Air

Tiga pokok bahasan yang akan didiskusikan dalam manajemen air, yaitu: Irigasi pertanian, tujuan irigasi pertanian, dan jaringan irigasi utama dalam pertanian.

1) Irigasi Pertanian

Irigasi adalah seluruh rangkaian kegiatan yang terkait dengan upaya memperoleh pasokan air untuk keperluan pertanian. Kegiatan ini mencakup perencanaan, konstruksi, pengelolaan, dan pemeliharaan infrastruktur yang digunakan untuk mengambil air dari sumbernya serta mendistribusikannya secara teratur. Selain itu, jika terjadi kelebihan air, air tersebut dapat dibuang melalui saluran drainasi. Secara umum, terdapat dua kategori tujuan irigasi:

- 1) Secara Langsung, Irigasi dimaksudkan untuk mengairi tanah dengan memperhatikan kapasitas kadar air dan udara tanah, guna menyelaraskan kondisi sehingga cocok untuk pertumbuhan tanaman.
- 2) Secara Tidak Langsung, Irigasi dimaksudkan untuk mengendalikan suhu tanah, membersihkan tanah dari zat beracun, mentransportasi pupuk, meningkatkan muka air tanah, menyelaraskan topografi wilayah dan sedimentasi lumpur, serta tujuan lainnya.

Ketika pemakaian air irigasi melibatkan teknik rekayasa dalam skala besar, hal ini disebut sebagai irigasi buatan. Irigasi buatan dapat dibagi menjadi dua jenis utama:

- 1) Irigasi Pompa, Jenis irigasi ini melibatkan pengangkatan air dari sumber air yang lebih rendah ke daerah yang lebih tinggi, baik secara mekanis maupun manual.
- 2) Irigasi Aliran, Irigasi aliran melibatkan pengaliran air ke lahan pertanian secara gravitasi dari sumber air.

Semua jenis irigasi memiliki peran penting dalam menjaga ketersediaan air yang cukup untuk pertanian, yang pada gilirannya mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan lingkungan.

2) Tujuan Irigasi Pertanian

Dalam konteks definisi irigasi, tujuan utamanya adalah mengembangkan upaya rekayasa teknis untuk menyediakan dan mengatur pasokan air guna mendukung produksi pertanian di suatu wilayah, mulai dari sumber air hingga pengiriman air secara sistematis dan terencana. Manfaat dari sistem irigasi adalah sebagai berikut:

- 1) Pembasahan Tanah, Irigasi digunakan untuk mengairi tanah di daerah yang memiliki curah hujan yang tidak menentu atau kurang mencukupi.
- 2) Pengaturan Pembasahan Tanah, Irigasi memungkinkan pengaturan pembasahan tanah, sehingga area pertanian dapat diirigasi sepanjang waktu.
- 3) Menyuburkan Tanah, Irigasi menyediakan air yang mengandung lumpur dan zat-zat hara yang berguna bagi tanaman di lahan pertanian, sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah.
- 4) Kolmatase, Irigasi digunakan untuk mengangkat elevasi tanah yang rendah atau rawa dengan cara mengendapkan lumpur yang terbawa oleh air irigasi.

3) Jaringan Irigasi Utama dalam Pertanian

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 20 tahun 2006. Saluran irigasi terdiri dari tiga jenis utama:

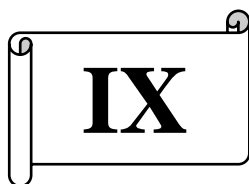
- 1) Saluran primer, bertugas mengalirkan air dari jaringan utama ke saluran sekunder dan selanjutnya ke petak-petak tersier yang memerlukan pengairan. Petak tersier ini terdiri dari sekelompok petak-petak kuarter, dengan setiap petak kuarter memiliki luas sekitar 8-15 ha. Di samping itu, petak tersier bisa mencakup lahan dengan luas 50-150 ha.
- 2) Saluran Sekunder berfungsi menyalurkan air dari saluran primer ke saluran tersier. Saluran sekunder ini memiliki peran penting dalam mendistribusikan air secara efisien ke lahan-lahan yang memerlukan pengairan.
- 3) Saluran Tersier berperan menyalurkan air dari bangunan sadap tersier dalam jaringan utama ke saluran kuarter.
- 4) Saluran Kuarter digunakan untuk mengalirkan air dari boks bagi kuarter melalui bangunan sadap tersier atau parit sawah menuju petak-petak sawah.

Pemanfaatan air dalam konteks irigasi melibatkan berbagai aspek-aspek penting sebagai berikut:

- 1) Penyediaan Air untuk Tanaman, Irigasi bertujuan untuk menyediakan air tambahan ke dalam tanah agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik.
- 2) Jaminan Panen, Irigasi memberikan jaminan terhadap keberhasilan panen dengan mengurangi risiko kekeringan dan pembekuan tanah yang dapat merusak tanaman.
- 3) Pengurangan Kadar Garam, Irigasi dapat digunakan untuk pencucian atau minimalisasi kandungan garam yang berlebih, sehingga tanah tetap subur.
- 4) Pencegahan Erosi Tanah, Praktik irigasi dapat membantu dalam mencegah erosi tanah dengan menjaga kelembaban tanah dan meminimalkan run off yang merusak.
- 5) Melunakkan Tanah, Irigasi juga dapat digunakan untuk melunakkan tanah, membuatnya lebih mudah untuk

proses pembajakan dan tanah menjadi lebih bersahabat bagi pertumbuhan tanaman.

Dengan demikian, irigasi merupakan aspek penting dalam pertanian untuk memastikan pasokan air yang cukup dan tepat waktu bagi tanaman, yang pada gilirannya mendukung produksi pertanian yang berkelanjutan.



APLIKASI GEOLOGI DALAM PERTANIAN

9.1. Hubungan antara Mineral, Batuan, Tanah dan Pertanian

Pengetahuan geologi menjadi dasar untuk memahami proses-proses yang terjadi pada batuan. Lapisan tanah terbentuk melalui pelapukan batuan, baik melalui pelapukan fisik, kimia, dan biologis. Ini berarti geologi memberikan wawasan tentang bagaimana tanah terbentuk dan dapat mempengaruhi pertanian. Pemahaman tentang mineral dalam batuan dapat membantu untuk memilih tanaman yang sesuai dengan komposisi tanah, dan pengetahuan tentang sedimentasi membantu dalam manajemen tanah dan air.

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat bergantung pada komposisi mineral dan unsur hara dalam tanah. Kondisi tanah yang baik, dengan kandungan mineral dan unsur hara yang mencukupi, akan mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan produktif. Jadi, kecepatan pertumbuhan tanaman sangat tergantung pada jenis batuan induk yang menjadi bahan induk tanah tersebut.

9.2. Agromineral

Agromineral merujuk pada mineral-mineral yang memainkan peran penting dalam perkembangan tanaman. Terdapat enam belas unsur kimia yang telah diidentifikasi sebagai unsur esensial untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup tanaman. Keenam belas unsur ini dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori utama, yaitu unsur hara non-mineral dan unsur mineral.

Hara non-mineral mencakup H, O, dan C, yang dapat ditemukan di dalam atmosfer dan air. Selama proses fotosintesis, tanaman menggunakan energi matahari untuk

mengubah CO₂ dan air menjadi senyawa gula, selain itu berfungsi sebagai sumber makanan bagi tanaman. Ketersediaan hara di dalam tanah tidak selalu lengkap, dan dapat dilengkapi dengan pemupukan. Berdasarkan tingkat kebutuhan tanaman, hara tanah dapat dibagi menjadi dua kategori, antara lain hara makro (makronutrien) dan hara mikro (mikronutrien).

1) Hara Makro

Hara makro dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu hara makro primer dan hara makro sekunder. Hara makro primer melibatkan unsur-unsur, seperti N, P, dan K, yang sering kali tercuci dengan cepat dalam tanah karena tanaman memerlukan jumlah yang banyak dari hara ini untuk pertumbuhannya. Hara makro sekunder mencakup Ca, Mg, dan S. Hara ini lebih tersedia dalam tanah, meskipun ada kasus-kasus di mana tambahan Ca dan Mg diperlukan, terutama pada tanah asam. Ca dan Mg juga berperan dalam mengatur tingkat kemasaman tanah.

a. Nitrogen (N)

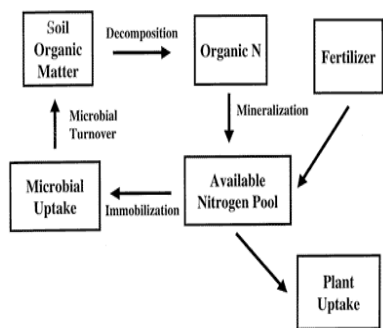
N adalah satu dari 13 unsur esensial, yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. N berperan sebagai komponen struktur pembentukan DNA, enzim, dan protein. Beberapa fungsi penting N dalam tanaman meliputi:

- 1) N merupakan komponen integral dari sel hidup, dan proses metabolik yang terlibat dalam sintesis dan energi.
- 2) N adalah komponen klorofil, pigmen hijau dalam tanaman yang bertanggung jawab atas proses fotosintesis.
- 3) N berperan dalam merangsang pertumbuhan tanaman, meningkatkan produksi biji dan buah, serta meningkatkan kualitas daun dan akar.

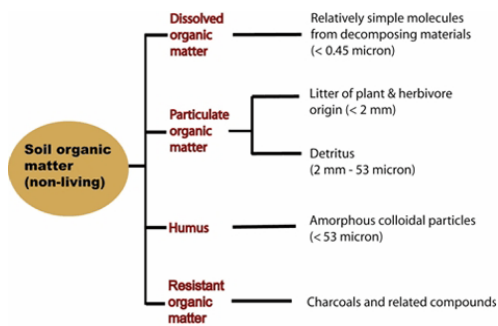
Dengan demikian, N adalah salah satu hara esensial yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. N dapat diperoleh dari berbagai sumber (udara dan pupuk). Pupuk buatan mengandung beragam sumber N, termasuk Urea

($\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$), Amonium Nitrat (NH_4NO_3), Ca Nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), Diamonium Fosfat ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), Amonia (NH_3), Amonium Sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), Ca Cyanamida (CaCN_2), dan Natrium Nitrat (NaNO_3).

Gambar 9.1 menunjukkan siklus N yang terjadi di permukaan bumi dan Gambar 9.2 menunjukkan sumber N berasal dari bukan kehidupan (*non-living*). Siklus N merupakan proses yang cukup kompleks. Sekitar 79% dari komposisi atmosfer adalah N bebas, dan jumlah N yang terikat pada litosfer setidaknya sebanding dengannya. Namun, reservoir N yang banyak ini, tidak dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Dalam konteks ini, mikroorganisme memainkan peran penting. Tanaman sebagian besar menggunakan N dalam bentuk ion amonium dan nitrat. Dalam materi organik, N biasanya digunakan untuk membentuk gugus amino yang kemudian terdapat dalam protein atau asam nukleat. Bakteri nitrat dan nitrit memiliki kemampuan untuk mengubah gugus amino ini kembali menjadi nitrat atau nitrit, dan bakteri ini hidup di dalam tanah.



Gambar 9.1 Siklus nitrogen



Gambar 9.2. N berasal dari *non-living*

Sementara itu, hara makro sekunder mencakup Ca, Mg, dan S, cenderung lebih tersedia dalam tanah, meskipun ada kasus-kasus di mana tambahan Ca dan Mg diperlukan, terutama pada tanah yang bersifat asam. Ca dan Mg juga berperan dalam mengatur tingkat kemasaman tanah.

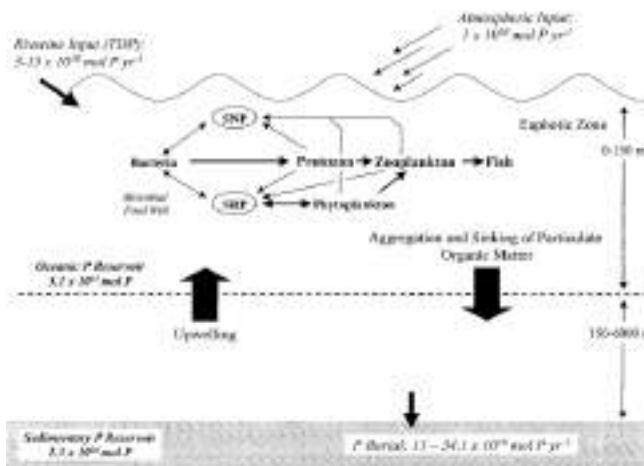
b. Posfor (P)

P merupakan hara utama yang dimanfaatkan oleh semua organisme, untuk memperoleh energi serta mendukung kehidupan. Dalam konteks geologi, unsur P adalah salah satu dari 11 unsur yang banyak ditemukan di kerak bumi. P adalah juga unsur utama dalam proses fotosintesis. Sumber utama P untuk tanaman berasal dari pupuk buatan, yang kadarnya diukur dalam rasio N-P-K. Sebagai contoh, jika suatu pupuk memiliki label 15-30-15, artinya pupuk tersebut mengandung 30% P oksida (P_2O_5) berdasarkan beratnya.

Mineral fosfat adalah jenis batuan yang mengandung P dengan tingkat ekonomis yang besar, biasanya diukur dengan menggunakan istilah BPL (*bone phosphate of lime*) atau TPL (*triphosphate of lime*) berdasarkan kandungan P_2O_5 . Gambar 9.3 mengilustrasikan apatit yang berbentuk hexagonal dan siklus P yang terjadi pada bumi dapat dilihat pada Gambar 9.4.



Gambar 9.3. Apatit dengan sistem kristal heksagonal



Gambar 9.4. Siklus fosfor marin

Sumberdaya geologi P terdiri dari lapisan batuan dan endapan P anorganik dan organik. P memiliki kelarutan yang rendah atau tidak larut dalam air, sehingga tidak dapat digunakan langsung oleh tanaman. Adanya mikroorganisme akan mempercepat degradasi fosfat. Sumber P organik dapat ditemukan dalam bentuk guano di daerah pegunungan.

Secara global, cadangan Fosfat diperkirakan mencapai 12 miliar ton dengan cadangan dasar sekitar 34 miliar ton. Di Indonesia, cadangan fosfat mencapai sekitar 2,5 juta ton dalam bentuk endapan guano (dengan kandungan P berkisar antara 0,17-43% P_2O_5) dan sekitar 9,6 juta ton fosfat marin dengan kandungan 20-40% P_2O_5 .

c. Kalium (K)

K merupakan salah satu dari tiga unsur esensial dalam pupuk buatan, yang juga meliputi P dan N. Unsur ini termasuk dalam kategori 16 unsur kimia yang menjadi kebutuhan utama dalam proses tumbuh dan produksi tanaman. Selain itu, K disebut juga sebagai regulator pertumbuhan karena berinteraksi dengan lebih dari 60 sistem enzim yang berperan dalam fungsi-fungsi kunci pada tanaman.

Semua jenis tanaman memerlukan K, terutama tanaman yang kaya akan karbohidrat, seperti kentang. Asupan K yang tepat dapat menghasilkan berbagai manfaat bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Di antaranya adalah kemampuan K untuk meningkatkan panjang dan kekuatan serat, meningkatkan ketahanan kulit buah, pertumbuhan batang dan bunga, memperjelas warna hijau daun dan meningkatkan semua parameter produksi.

K memiliki peran krusial dalam mengoptimalkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Oleh karena itu, pengelolaan dan pemupukan yang tepat dengan K menjadi faktor penting dalam mendukung pertanian yang berkelanjutan dan efisien.

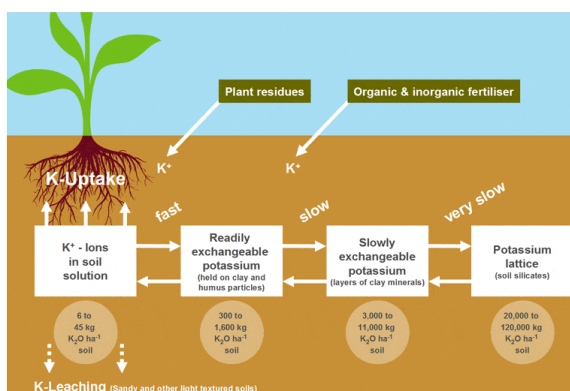
K merupakan unsur yang melimpah dalam komposisi tanah berkisar 0,5-4,0%. Namun, hanya sebagian kecil dari jumlah ini yang tersedia dalam larutan tanah dan dapat digunakan oleh tanaman biasanya < 1% dari total kandungan K didalam tanah. Jenis tanah seperti pasir memiliki konsentrasi K yang paling rendah, sedangkan tanah lempung dan tanah aluvial cenderung memiliki kandungan K yang lebih tinggi. Salah satu karakteristik K dalam tanah adalah kemampuannya

yang tinggi untuk mengalami pelepasan (*leaching*). Gambar 9.5 menampilkan contoh sumber K yang berasal dari batuan beku



Gambar 9.5. Sumber kalium berdasarkan batuan beku

K merupakan salah satu unsur yang sangat dibutuhkan oleh tanaman, bersama dengan N. Bahkan, dalam beberapa jenis tanaman, kebutuhan K dapat melebihi keperluan N, misalnya pada Pisang dan Kapas. K tidak menjadi bagian dari ikatan organik dalam tanaman, tetapi berperan penting dalam proses fisiologis, termasuk dalam fotosintesis, transportasi gula, penggunaan air efisien, metabolisme karbonat dan protein, pengaktifan enzim, serta menjaga kualitas produksi. Kadar optimal K dalam tanaman 1,45-4,50% K pada berat kering. Ilustrasi proses dan dinamika terhadap K yang terdapat di permukaan bumi (Gambar 9.6).



Gambar 9.6. Proses dari dinamika K pada tanah dan tanaman

K adalah salah satu dari tujuh unsur yang paling umum ditemukan dalam kerak bumi, tetapi hanya sekitar 1-2% dari

totalnya yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Sisa K terserap oleh mineral yang tidak bisa digunakan oleh tanaman. Jadi, pupuk buatan yang mengandung K digunakan untuk tumbuh kembang tanaman.

K terkandung dalam mineral-mineral berikut ini, Pertama, kelompok silikat yang mencakup Biotit ($K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), Muskovit ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), dan Ortoklas ($KAlSi_3O_8$). Kedua, kelompok garam yang termasuk Glaserit ($3K_2SO_4 \cdot N_2SO_4$), Kainit ($4KCl \cdot 4MgSO_4 \cdot 11H_2O$), Arkanit (K_2SO_4), Langbeinit ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), Leonit ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4 \cdot 4H_2O$), Karnalit ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), Niter (KNO_3), Polihalit ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$), dan Silvit (KCl). Dari semua mineral ini, Silvit (KCl) adalah yang paling umum dijumpai.

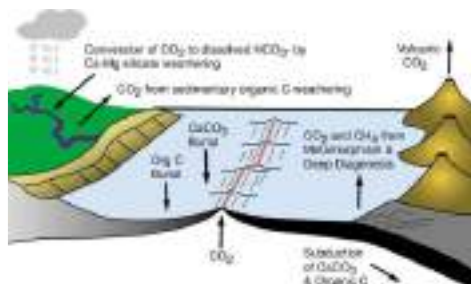
Meskipun K melimpah dalam kerak bumi dengan kadar sekitar 1,9% K_2O pada kerak benua, sebagian besar K terikat pada mineral-mineral silikat yang tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Oleh karena itu, meskipun sumberdaya K melimpah di kerak benua, tidak semua sumber ini dapat dimanfaatkan untuk pertanian.

d. Karbon (C)

C telah menjadi fokus perhatian yang besar terutama dalam konteks mengikat C. Dalam praktiknya, kita memiliki kemampuan untuk mengatur pertumbuhan tanaman dengan tujuan meningkatkan kapasitasnya dalam menangkap C dioksida dari udara. Dengan mengatur pertumbuhan tanaman dengan cerdas, maka simpanan C dalam jangka waktu yang panjang dapat dipertahankan dalam tanah.

Istilah siklus C memiliki berbagai makna yang berbeda bagi berbagai individu. Bagi mereka yang memantau perubahan konsentrasi CO_2 di atmosfer, siklus C terkait dengan aktivitas manusia seperti pembakaran hutan, deforestasi, dan penggunaan fosil sebagai bahan bakar. Dalam konteks ini, siklus C mencakup sumber dan masukan yang menghasilkan pelepasan C ke atmosfer selama periode sejarah manusia, dan

lingkupnya biosfer, laut, dan tanah. Aspek permukaan siklus C jangka panjang dapat dilihat pada (Gambar 9.7).



Gambar 9.7. Aspek permukaan siklus C jangka panjang

e. Kalsium (Ca)

Tanaman memerlukan Ca sebagai komponen penting dalam pembentukan protein, Ca berperan sebagai elemen esensial yang terlibat dalam struktur dinding sel, memberi dukungan dalam proses transportasi dan penahanan unsur-unsur lain di dalam tanaman. Selain itu, sifat Ca yang dapat mengatasi efek garam alkali dan asam organik dalam tanaman menjadikannya unsur yang sangat penting dalam menjaga kesehatan dan perkembangan tanaman secara optimal.

Konsentrasi Ca yang dapat diekstraksi dari tanah bervariasi sekitar 200 ppm (pada tanah berjenis pasir) hingga mencapai 1,6% (pada kotoran atau bahan organik). Kemampuan tanah untuk melakukan pertukaran Ca dipengaruhi oleh kandungan lempung dalam tanah. Semakin tinggi KTK tanah, semakin tinggi juga kadar lempung dalam tanah, dan semakin tinggi kandungan Ca. Konsentrasi Ca dalam larutan tanah berkisar 30-300 ppm. Keseimbangan Ca dalam tanah pasir dapat menjadi kritis terutama jika terjadi penggunaan K yang tinggi.

Jika perlu mengatur reaksi tanah, maka pemanfaatan batu gamping dapat digunakan untuk mengatur pH dan kandungan Ca dalam tanah. Sebaliknya, jika pengaturan pH tanah tidak diperlukan dan hanya perlu mengatur kandungan Ca, maka Gypsum dapat digunakan.

Ca hadir dalam sitoplasma tanaman pada tingkat sekitar 0,1 μM , menunjukkan bahwa Ca merupakan unsur mikro yang diperlukan oleh tanaman. Penggunaan Ca oleh tanaman dikendalikan oleh sifat-sifat genetik. Bahkan fluktuasi kecil dalam konsentrasi Ca dalam sitoplasma berperan sebagai mekanisme penanda terhadap stres lingkungan. Fungsi Ca dalam tanaman meliputi pengaturan osmosis dan perkuatan dinding sel. Ca membantu memperkokoh dinding sel untuk meminimalkan risiko serangan penyakit.

Ca bisa diperoleh dari pupuk buatan dan mineral Ca. Beberapa jenis Ca yang berasal dari pupuk buatan meliputi:

- 1) CaCO_3 atau Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) berasal dari batu gamping. Kedua jenis ini umumnya digunakan untuk menetralkan kemasaman tanah.
- 2) Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- 3) Ca nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) yang mengandung 19% Ca.
- 4) Superfosfat tunggal (18-21% Ca) dan Superfosfat Triple (12-14% Ca).

Secara geologis, Ca ditemukan dalam berbagai jenis mineral, seperti Ca-Feldspar, Kalsit/Aragonit (CaCO_3), Dolomit, Gypsum, dan Anhidrit (CaSO_4). Mineral-mineral karbonat ini dapat ditemukan dalam batuan yang terdiri dari mineral-mineral tersebut, seperti Batu gamping, Chalk, Batudolomit, dan Batunapal.

Batu gamping merupakan batuan sedimen, mengandung > 50% mineral Kalsit dan Dolomit. *Chalk* merupakan jenis batuan karbonat yang berwarna putih dan memiliki ukuran butiran halus (97,5-98,5% Ca karbonat). Batudolomit disebut juga Dolostone adalah batuan karbonat yang terutama terdiri dari Dolomit.

Gypsum adalah mineral sulfat yang umum ditemukan di alam, mengandung 27% air, sementara Anhidrit adalah bentuk Gypsum tanpa air. Kedua mineral ini dapat ditemukan dalam bentuk massa kristal granular, padat, atau berserat dalam

lapisan batuan sedimen. Batuan yang sering dikaitkan dengan Gypsum dan Anhidrit adalah Dolomit dan Serpih.

f. Magnesium (Mg)

Mg dianggap sebagai unsur hara sekunder, perannya tetap sangat penting dalam perkembangan tanaman. Kehadiran Mg menjadi elemen esensial dalam pertumbuhan tanaman karena tanpa Mg, tanaman tidak dapat memanfaatkan cahaya matahari untuk melakukan fotosintesis dan menghasilkan makanan. Selain itu, Mg juga diperlukan oleh tanaman untuk mengatur penggunaan hara lainnya dan untuk pembentukan tunas. Berdasarkan penjelasan di atas mineral Mg dapat dilihat pada (Gambar 9.8).



Gambar 9.9. Mineral Mg

Kebanyakan Mg tidak dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Sekitar 5% total kandungan Mg dalam tanah berada dalam bentuk yang dapat bertukar, terutama terdapat dalam partikel lempung dan bahan organik tanah, dan Mg larut dalam air. Jika tanah yang memiliki kadar Ca dan Mg yang rendah cenderung bersifat asam dengan pH rendah. Kandungan Mg berpengaruh terhadap tekstur tanah lempung. Ketika kandungan Mg dapat bertukar melebihi 20%, tanah akan menjadi sulit untuk dikelola karena Mg dapat menyebabkan partikel lempung saling berpisah. Konsentrasi Mg cenderung meningkat dengan kedalaman tanah. Tanaman membutuhkan Mg dalam bentuk ion Mg yang berfungsi dalam proses fotosintesis. Ion ini juga merupakan komponen penting dalam molekul klorofil, pigmen hijau yang memberikan warna

pada daun dan batang tanaman. Pupuk buatan yang mengandung Mg mencakup:

- 1) Dolomit (terdiri dari 20,8% Ca dan 12,5% Mg), tetapi Dolomit di pasaran mengandung 8-12,5% Mg. Dolomit dan produk terkait digunakan untuk memberikan suplai Ca dan Mg serta meningkatkan pH tanah.
- 2) Mg oksida (Granomag AL₇) merupakan pupuk buatan mengandung 54% Mg. Dolomit dan Magnesit, Mg Oksida bereaksi lambat dalam tanah.
- 3) K Mg sulfat mengandung 18% K, 22% S, dan 10,5% Mg, Pupuk ini diperuntukkan untuk tanah memerlukan tambahan Mg dan dimanfaatkan dalam kondisi kering.
- 4) Mg sulfat (*Liquifert Mag*) atau Garam Epsom, mengandung 9,6% Mg dan 13% S. Pupuk ini digunakan ketika Mg perlu diberikan dalam bentuk larutan.

Berbagai jenis mineral yang mengandung Mg, seperti Bisofit ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Brusit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), Dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), epsomit ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), magnesit (MgCO_3), huntit ($\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{CO}_3)_4$), Hidro-Magnesit ($\text{Mg}_4(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), dan Periklas (MgO). Dari semua jenis mineral ini, dolomit dan Magnesit adalah yang paling umum dijumpai.

g. Belerang (S)

Belerang merupakan bahan galian non-logam, memiliki aplikasi yang banyak dalam industri (unsur atau senyawa). Sekitar 50% dari produksi S dunia berupa S murni, dan sisanya diperoleh melalui pemisahan S dari bijih sulfida. S sering digunakan sebagai bahan mentah tambahan, misalnya:

- 1) Pabrik gula pasir
- 2) Industri asam sulfat (H_2SO_4), H_2S , insektisida.
- 3) Industri pupuk anorganik (sekitar 40% produksi S secara global digunakan dalam produksi pupuk P).
- 4) Industri ban dan vulkanisir ban, korek api.

Tanaman menggunakan S untuk menghasilkan pigmen klorofil, yang mendukung fotosintesis, dan untuk

pembentukan protein esensial. Secara singkat, peran S dalam tanaman meliputi:

- 1) Menjadi bahan dasar untuk produksi protein.
- 2) Pembentukan vitamin dan enzim.
- 3) Proses pembuatan klorofil.
- 4) Merangsang perkembangan akar dan produksi bibit.
- 5) Mendukung pertumbuhan tanaman yang cepat dan ketahanan terhadap suhu rendah

S diserap oleh tanaman dari air hujan dan ditambahkan melalui pupuk buatan, terutama pada pupuk dengan kandungan S rendah. Pemanfaatan Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bisa menstimulasi kadar S. Gambar 9.9 merupakan Magnesit berstruktur trigonal. Gambar 9.10 contoh S murni dalam bentuk kristak ortorombik. Gambar 9.11 memperlihatkan tentang kristal Gypsum dengan struktur kristal monoklin.



Gambar 9.9: Magnesit berstruktur trigonal



Gambar 9.10: S murni dalam bentuk kristal ortorombik



Gambar 9.11: Kristal Gypsum dengan struktur monoklin

S dapat ditemukan dalam bentuk S murni atau terikat dalam senyawa sulfat (seperti Gypsum, Anhidrit, dan Barit) dan sulfida (seperti Pirit, Pirotit, dan Kalkopirit). S murni memiliki sistem kristal ortorombik dan biasanya ditemukan dalam bentuk massa yang tidak beraturan dan kristal yang tidak sempurna. Secara fisik, S murni memiliki berat jenis antara 2,05-2,09 gr/cm^3 dan kekerasan antara 1,5-2,5 dalam skala Mohs. S jenis ini memiliki konduktivitas panas yang buruk. S murni banyak ditemukan di sekitar gunung berapi dan sering kali terbentuk melalui aktivitas solfatara yang

melewati retakan atau patahan geologi dan juga melalui proses bioreduksi ion sulfat dalam air permukaan.

1. Hara Mikro

Hara mikro merupakan unsur-unsur yang esensial dalam pertumbuhan tanaman, diperlukan dalam jumlah relatif kecil, sehingga sering dikatakan unsur-unsur minor (*trace elements*). Meskipun demikian, istilah hara mikro lebih dianjurkan oleh ASA (*American Society of Agronomy*) dan SSSA (*Soil Science Society of America*), dan mencakup Boron (B), Cu, Fe, Cl, Mn, Mo, dan Zn. Upaya daur ulang material organik (rumput dan daun-daunan) adalah metode yang sangat efektif untuk menjaga hara ini cukup dalam mendukung pertumbuhan tanaman.

a. Boron (B)

Tanaman membutuhkan B dalam jumlah relatif kecil, namun peranannya sangat penting dalam mengatur penyerapan hara dan mendukung pembentukan jaringan baru. B telah diakui sebagai hara mikro yang esensial bagi tanaman tingkat tinggi sejak tahun 1923, dan memiliki peran utama, antara lain: (1) Mengatur penggunaan hara dan regulasi hara lainnya dalam tanaman; (2) Membantu dalam memproduksi gula dan pati (karbohidrat), (3) Penting untuk pertumbuhan buah dan tunas, dan (4) berperan dalam mengatur metabolisme karbohidrat dalam tanaman. Serupa dengan Ca, B tidak dapat bergerak di dalam tanaman, sehingga pemberian secara berkelanjutan penting selama fase pertumbuhan tanaman. Tanaman menyerap B dalam bentuk anion borat dan berkontribusi pada pengendalian pertumbuhan jaringan batang tertentu yang dikenal sebagai meristem.

B tersebar secara alami, dengan konsentrasi 0,1 ppm di air permukaan, 3 ppm dalam kerak bumi, dan 4,6 ppm dalam air laut. B diambil oleh tanaman dari sumberdaya organik dan borak. Borak adalah salah satu komponen dalam kelompok mineral borat. Sekitar 100 jenis mineral borat telah dikenal,

tetapi yang umum ditemukan adalah: Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$); Borak ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$); Uleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); dan Kolemanit ($\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Kernit ditemukan di Kern County, California, tidak berwarna, transparan hingga putih, kilap kaca sampai mutiara, struktur kristal monoklin, kekerasan $2\frac{1}{2}$ - 3, dan berat jenis sekitar 1,9. Karakteristik khas mineral ini meliputi fragmen yang panjang, belahan yang menyerupai serpihan, berat jenis rendah, dan kelarutan yang lambat dalam air dingin. Kernit sering ditemukan bersama dengan borak, uleksit, dan kolemanit pada lapisan lempung Tersier.

Istilah Borak berasal dari kata "burah" (Persia) dan Buraq (Arab). Borak memiliki struktur kristal monoklin dan biasanya berbentuk prisma. Mineral ini biasanya tidak berwarna atau berwarna putih, memiliki kilap kaca, kekerasan antara 2 - $2\frac{1}{2}$, dan berat jenis sekitar 1,7.

Kolemanit diperkenalkan pertama kali oleh William Tell Coleman (1824-1893), seorang pengembang Borak di San Francisco, memiliki struktur kristal monoklin dan biasanya berbentuk prisma pendek, berwarna putih hingga tidak berwarna, memiliki kilap kaca, kekerasan antara 4 - $4\frac{1}{2}$, dan berat jenis sekitar 2,42.

b. Tembaga (Cu)

Manfaat Cu untuk tanaman adalah sebagai berikut: (1) Memainkan peran penting sebagai hara yang mendukung pertumbuhan reproduktif tanaman; (2) Membantu dalam memodulasi metabolisme akar tanaman; dan (3) Berkontribusi pada pemanfaatan protein dalam tanaman.

Suplementasi Cu jarang diperlukan karena pasokan Cu dalam tanah secara alamiah sudah mencukupi. Namun, ada kasus di mana jenis tanah mengalami kekurangan Cu, seperti tanah yang memiliki tingkat organikitas yang tinggi atau tanah pasir. Dalam situasi seperti ini, penambahan Cu sulfat perlu diwaspadai karena senyawa Cu (walaupun dalam dosis rendah) bersifat toksik. Jenis mineral yang mengandung Cu

sulfat dan Cu oksida yang dikenal, di antaranya: Antlerit ($\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$), Brokantit ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$), dan Kalcantit ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) adalah mineral yang mengandung Cu sulfat (SO_4) yang sering ditemukan sebagai mineral hasil oksidasi dari mineral Cu primer.

Antlerit ($\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$), Struktur Kristal, Antlerit memiliki struktur kristal monoklin. Mineral ini biasanya berwarna hijau tua hingga kehitaman, kilap dapat bervariasi dari logam hingga mutiara. Kekerasan antara 3-4, dan berat jenis sekitar 3,9. Sifat Tambahan, Antlerit biasanya ditemukan dalam lingkungan yang mengandung Cu dan ini adalah hasil oksidasi dari mineral Cu primer.

Brokantit ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$), Struktur Kristal, Brokantit memiliki struktur kristal yang kompleks. Mineral ini bisa memiliki berbagai warna, termasuk hijau, biru, atau ungu. Kilapnya bervariasi dari kaca hingga mutiara. Kekerasan berkisar antara 2-3, dan berat jenis sekitar 3,6. Brokantit adalah salah satu mineral sulfat Cu yang sering dijumpai sebagai hasil oksidasi mineral Cu primer. Warna beragamnya membuatnya menjadi salah satu mineral yang menarik bagi kolektor.

Kalcantit ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Struktur Kristal, Kalcantit memiliki struktur kristal yang sederhana, berwarna biru cerah hingga biru tua. Kilapnya vitreous (seperti kaca). Kekerasannya sekitar 2-2,5, dan berat jenis sekitar 2,3. Kalcantit adalah mineral Cu yang mengandung air, dan sering membentuk deposit di lingkungan yang mengandung Cu. Warna biru yang cerah menjadikannya menarik bagi penggemar mineral.

c. Besi (Fe)

Besi memiliki peran penting dalam menyehatkan tanaman dan mendukung pertumbuhan daun hijau dan subur. Sebagaimana halnya dengan Mg, Fe adalah mineral utama yang diperlukan dalam proses fotosintesis. Tanaman memerlukan Fe untuk mensintesis klorofil, komponen penting dalam proses fotosintesis. Fe tersedia dalam jumlah yang melimpah, sehingga penambahan Fe jarang dilakukan.

Fe disuplai oleh berbagai jenis mineral, antara lain Goethit (α -FeOOH), Limonit (FeOOH n H₂O), Hematit (α -Fe₂O₃), Magnetit (FeO Fe₂O₃), dan Siderit (FeCO₃). Goethit memiliki struktur kristal ortorombik dan sering berbentuk prismatic panjang. Secara fisik, mineral ini dapat memiliki warna coklat tua hingga coklat kuningan atau merah, dengan kilap logam, tingkat kekerasan antara 5-5½, dan berat jenis sekitar 3,3-4,3. Hidrolisis Goethit dapat memproduksi mineral Limonit, yang sering menjadi komponen lapisan tanah merah.

Informasi ini menunjukkan betapa pentingnya Fe dalam hara tanaman dan ketersediaan mineral-mineral yang mengandung Fe dalam lingkungan alam. Sebagai hasilnya, tanaman biasanya dapat memanfaatkan Fe yang ada dalam tanah untuk pertumbuhan dan perkembangannya.

d. Klor (Cl)

Klor memiliki peran penting dalam mendukung metabolisme tanaman. Klor umumnya tersedia dalam jumlah melimpah dalam tanah, sehingga penambahan hara Cl jarang dibutuhkan. Klor sangat vital bagi tanaman karena diperlukan dalam proses fotosintesis. Hara ini diambil dalam bentuk anion Cl dan ditemukan dalam jumlah yang banyak dalam air, dan air laut. Sumber Cl berasal dari berbagai mineral garam, termasuk Halit (NaCl) dan Silvit (KCl). Mineral Halit memiliki struktur kristal kubik. Mineral Cl tidak berwarna, warna putih, kilap yang bervariasi dari kaca hingga transparan, tingkat kekerasan antara 2½-3, dan berat jenis sekitar 2,16. Mineral Cl terbentuk melalui proses evaporasi larutan garam dan sering ditemukan bersama mineral Gypsum, Silvit, Anhidrit, dan Kalsit.

e. Mangan (Mn)

Mn memiliki peran dalam pengatur enzim tanaman, pemecahan karbohidrat, metabolisme N, dan pembuatan klorofil. Mn dimanfaatkan dalam bentuk kation Mn, Konsentrasi Mn yang tinggi bisa menghambat penyerapan Fe

oleh tanaman. Mn biasanya dimanfaatkan bersamaan dengan Zn, diberikan dalam larutan encer. Beberapa tanaman buah, seperti jeruk, boleh diberi tambahan Mn.

Sumber Mn dalam tanah dapat berasal dari berbagai jenis mineral dan batuan. Mn adalah salah satu dari dua belas unsur yang melimpah di kerak bumi. Batuan beku, misalnya, mengandung sekitar 0,124% Mn, dan lebih dari 300 jenis mineral yang mengandung Mn telah diidentifikasi. Mineral yang paling umum dijumpai mengandung Mn, yaitu: Kriptomelan ($\text{KMn}_8\text{O}_{16}$), Braunit ($2\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$), Hausmanit ($\text{MnO} \cdot \text{Mn}_2\text{O}_3$), Manganit ($\text{MnO}(\text{OH})$), Pirolusit ($\beta\text{-MnO}_2$), Psilomelan ($\text{BaMn}_2 + \text{Mn}_3 + \text{O}_{16}(\text{OH})_4$), Jakobsit ($\text{MnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), Rodokrosit (MnCO_3), Rodonit (MnSiO_3), dan Todorokit ($(\text{Mn}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{Mn}_3\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

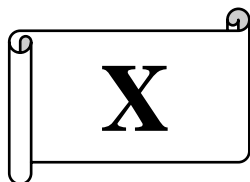
f. Molibdenum (Mo)

Molibdenum adalah hara yang sangat diperlukan oleh tanaman untuk memproduksi protein esensial dan mendukung penggunaan N. Tanaman mengambil Mo berbentuk anion negatif molibdat. Tanaman tidak dapat mengubah N menjadi asam amino, tanpa adanya Mo, misalnya tanaman *legumes* memerlukan N tidak mampu mengekstraksi N udara jika tidak ada Mo. Defisiensi Mo dalam tanah jarang terjadi, dan jika penambahan diperlukan, maka dosisnya 0,11 gram Mo/m². Mo di alam berasal dari mineral Molibdenit (MoS_2) dan Wulfenit (PbMoO_4).

g. Seng (Zn)

Seng adalah elemen penting untuk pengangkutan pati dan pengaturan penggunaan gula dalam tanaman. Manfaat Zn berkaitan dengan hara lain untuk mengatur pembentukan klorofil. Sumber alamiah Zn berasal dari mineral Smithsonit (ZnCO_3), Zincit (ZnO), dan Wilemit (Zn_2SiO_4). Zincit adalah mineral oksida yang mempunyai struktur heksagonal, berwarna merah atau oranye-kuning, kilap sub adamantin, kekerasan 4, dan berat jenis 5,68.

Smithsonit termasuk mineral karbonat, mempunyai struktur heksagonal, berwarna coklat tua, tidak berwarna, putih, hijau, biru, atau merah muda, kekerasan antara 4-4½, dan berat jenis berkisar 4,3-4,45. Mineral ini sering ditemukan bersama dengan endapan Zn dalam batu gamping.



MINERAL-MINERAL PEMBENAH TANAH

Karakter tanah tropis adalah cenderung asam, retensi air rendah, dan miskin unsur hara, sehingga penambahan mineral harus disesuaikan dengan karakteristik ini. Kesuburan tanah tropis sangat penting untuk mendukung pertanian dan produksi pangan yang berkelanjutan, akan tetapi erosi, degradasi tanah, dan hilangnya hara tanah dapat mengancam kesuburan ini.

Tanah tropis menampilkan defisiensi hara (P, K, Ca, Mg, S dan hara mikro), yang membatasi pertumbuhan tanaman dan mengurangi hasil pertanian. Mineral Zeolit, Gypsum, dan kapur pertanian dapat membantu meningkatkan ketersediaan hara, mengurangi keasaman tanah, dan memperbaiki sifat fisik tanah. Jenis tanah yang mengalami defisiensi hara ini, antara lain:

- 1) *Oxisols*, ordo tanah ini tersebar luas di Papua, Sulawesi, dan Kalimantan, sangat tua, rendah unsur hara, dan cenderung asam.
- 2) *Ultisols*, ordo tanah ini terdapat di daerah-daerah dengan curah hujan tinggi (Sumatera, Kalimantan, dan Papua), memiliki pH rendah, kurang subur, dan dapat menjadi produktif jika dikelola dengan baik.
- 3) *Andisols*, ordo tanah ini terdapat di daerah pegunungan vulkanik (Jawa, Bali, dan Sumatera Barat), tergolong tanah sangat subur karena memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan mineral vulkanik.
- 4) *Spodosols*, ordo tanah ini ditemukan di pegunungan tinggi Papua, memiliki akumulasi bahan organik di permukaan tanah dan seringkali bersifat asam.

- 5) *Inceptisols* adalah jenis tanah yang ditemukan di dataran rendah, sepanjang sungai-sungai besar, subur karena mengandung sedimen dari erosi sungai.
- 6) *Entisols*, ordo tanah ini ditemukan di daerah berlereng (gunung), tepi sungai, daerah pasir pantai, kurang subur dan memerlukan pemupukan.
- 7) *Histosols* adalah ordo tanah gambut, ditemukan di pulau Sumatera dan Kalimantan, memiliki kandungan bahan organik tinggi dan asam serta memerlukan pengelolaan khusus untuk pembangunan pertanian.

Teknologi tepat guna dalam pemanfaatan mineral tanah dapat membantu dalam mencapai pertanian berkelanjutan yang mencakup upaya untuk meminimalkan penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dan memaksimalkan efisiensi hara. Penggunaan mineral tanah yang tepat dapat berkontribusi pada konservasi sumberdaya lahan, sehingga degradasi lahan akibat erosi, perubahan iklim, dan dampak negatif lainnya pada lingkungan, dapat diminimalkan. Mineral umum yang dapat digunakan sebagai bahan pembenah tanah:

- 1) Zeolit adalah mineral alam yang memiliki kapasitas tinggi untuk menahan air, ketersediaan hara bagi tanaman serta memperbaiki sifat fisik tanah.
- 2) Gypsum (Ca Sulfat) digunakan untuk mengurangi keasaman tanah dan memecah gumpalan tanah pada tanah berlempung, meningkatkan sirkulasi air dan udara dalam tanah.
- 3) CaCO_3 (Kapur Pertanian) untuk menaikkan pH tanah, membantu tanaman menyerap hara dengan lebih baik dan meningkatkan kesuburan tanah.
- 4) Bentonit adalah mineral lempung yang memiliki kemampuan menahan air yang tinggi, digunakan untuk meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan air dan memperbaiki struktur tanah.

- 5) Batu Kapur digunakan untuk mengubah pH tanah yang terlalu asam menjadi netral, dan meningkatkan ketersediaan Ca dalam tanah.
- 6) Vermikulit dan Perlite adalah mineral yang digunakan sebagai agen pengembangan tanah, meningkatkan porositas dan drainase tanah.
- 7) P Alami (batuan P) digunakan untuk menyediakan P tambahan bagi tanaman dalam tanah yang miskin P.

Teknologi pembenah tanah dapat mendukung pengembangan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi tanah tropis, seperti tanaman yang memiliki akar yang lebih efisien dalam menyerap hara. Pemilihan bahan pembenah tanah harus didasarkan pada analisis tanah yang cermat dan kebutuhan spesifik tanaman yang akan ditanam. Kombinasi mineral dan bahan organik seringkali digunakan untuk mencapai hasil yang optimal dalam meningkatkan kesuburan dan struktur tanah.

Mineral adalah komponen esensial dalam proses pembenahan tanah yang signifikan dalam memengaruhi kesuburan serta kualitas tanah. Artikel ini mengulas secara komprehensif sifat mineral yang berperan sebagai agen pembenah tanah, peran sentral mereka dalam perbaikan kondisi tanah, serta aplikasi dan manfaatnya dalam konteks pertanian. Pemahaman mendalam terhadap sifat mineral ini dan mekanisme interaksinya dengan tanah adalah aspek kunci untuk mengoptimalkan produktivitas pertanian dan menjaga kelangsungan lingkungan.

Mineral menjadi unsur alamiah yang memiliki kapabilitas signifikan sebagai agen pembenah tanah dalam upaya memperbaiki karakteristik fisik dan kimia tanah. Pembenahan tanah sendiri merupakan praktik umum di sektor pertanian yang bertujuan untuk merestrukturisasi susunan tanah, meningkatkan kapasitas retensi air, dan melibatkan ketersediaan hara yang lebih baik bagi tanaman. Artikel ini akan merinci sifat-sifat mineral yang memainkan peran kunci

sebagai agen pembenah tanah, mencermati dampak positif mereka terhadap sifat-sifat tanah, serta menyoroti penerapan praktis mereka dalam dunia pertanian. Mineral sebagai agen pembenah tanah memiliki karakter-karakter istimewa yang menjadikan sangat berharga dalam pembenahan tanah:

- 1) Kapasitas Penahanan Air, Mineral seperti Zeolit dan Vermiculite memiliki porositas yang tinggi dan mampu menahan air dengan baik. Ini membantu meningkatkan retensi air tanah.
- 2) Kemampuan Penyimpanan Hara, mineral Bentonit dan Montmorillonite memiliki kemampuan untuk menahan dan melepaskan hara dalam bentuk ion-ion, meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.
- 3) Pengendalian Kelebihan Air, mineral Gypsum dan Kapur Pertanian digunakan untuk mengendalikan kelebihan keasaman dalam tanah dan mengurangi risiko genangan air.
- 4) Pembentukan Agregat Tanah, mineral-mineral tertentu dapat membantu dalam pembentukan agregat tanah yang stabil, yang meningkatkan struktur tanah dan memungkinkan sirkulasi air dan udara yang lebih baik.

Mineral-mineral bahan pembenah tanah memiliki beberapa fungsi penting dalam pertanian:

- 1) Meningkatkan Kualitas Tanah, Pembenahan tanah membantu meningkatkan struktur, tekstur, dan kesuburan tanah, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas tanaman.
- 2) Mengurangi Kehilangan Hara, Mineral yang menahan dan melepaskan hara membantu mengurangi kehilangan hara ke lingkungan dan meningkatkan efisiensi penyerapan hara oleh tanaman.
- 3) Pengendalian pH Tanah, Mineral seperti kapur pertanian digunakan untuk mengatasi kelebihan keasaman atau kebasahan dalam tanah, menciptakan kondisi tanah yang lebih sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

Mineral sebagai bahan pembenah tanah digunakan dalam berbagai aplikasi pertanian:

- 1) Pembenah Tanah, Mineral digunakan langsung sebagai pembenah tanah untuk meningkatkan sifat-sifat tanah yang diinginkan.
- 2) Pupuk Tambahan, Beberapa mineral juga digunakan sebagai sumber hara tambahan untuk tanaman, seperti P alam.
- 3) Pengendalian Kelebihan Air, Mineral digunakan untuk mengatasi masalah genangan air di tanah pertanian.
- 4) Meningkatkan Drainase, Mineral digunakan untuk meningkatkan drainase di tanah yang mudah tergenang air.

Mineral yang berperan sebagai bahan pembenah tanah memiliki peran sentral dalam memperbaiki struktur dan kesuburan tanah pertanian. Memiliki pemahaman yang mendalam tentang sifat-sifat mineral ini dan interaksinya dengan tanah merupakan hal yang krusial bagi petani dan praktisi pertanian. Hal ini memungkinkan untuk mengoptimalkan pemanfaatan mineral guna meningkatkan produktivitas pertanian dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Manajemen mineral sebagai bahan pembenah tanah menjadi komponen esensial dalam praktik pertanian modern. Pemanfaatan mineral pembenah tanah dengan cerdas dan efektif berpotensi besar untuk meningkatkan produktivitas pertanian, mereduksi dampak negatif terhadap lingkungan, dan memastikan berkelanjutan pertanian lebih baik.

10.1. Mineral Zeolit

Zeolit adalah aluminosilikat kristal yang memiliki pori mikro terhidrasi dengan ukuran pori berkisar antara 3-10 Ångström. Strukturnya terdiri dari kerangka tiga dimensi yang mengandung silikon, oksigen, dan aluminium, di mana pori-pori tersebut saling berhubungan. Zeolit juga mempunyai molekul H₂O yang mampu menyerap kation guna melakukan

pertukaran ion. Rumus empiris Zeolit adalah M^+ , $M_2+Al_2O_3$ gSi.

Keberadaan pori-pori mikroskopis dalam Zeolit memungkinkannya untuk menyerap dan melepaskan berbagai jenis ion dan molekul. Penting untuk dicatat bahwa Zeolit sendiri bukan sumber hara mikro untuk tanaman. Namun, Zeolit dapat berperan dalam manajemen hara mikro di dalam tanah. Penggunaan Zeolit dalam pertanian dapat bervariasi tergantung pada jenis tanaman, jenis tanah, dan kondisi pertanian yang spesifik. Sebelum mengaplikasikan Zeolit atau produk yang mengandung Zeolit dalam konteks pertanian, sangat bijak untuk berkonsultasi dengan ahli pertanian karena ahli pertanian dapat memberikan panduan yang tepat mengenai apakah dan bagaimana penggunaan Zeolit dapat memberikan manfaat dalam situasi pertanian tertentu.

Zeolit merupakan mineral aluminosilikat yang memiliki struktur berpori yang unik dan memiliki beragam aplikasi dalam berbagai sektor, termasuk pertanian. Zeolit memiliki kemampuan untuk meningkatkan retensi air, mengurangi kehilangan hara, serta memperbaiki struktur tanah, sehingga menjadikannya bahan pembenah tanah yang menarik dan berpotensi dalam meningkatkan produktivitas lahan (Gambar 10.1).

Zeolit memiliki sejumlah sifat penting yang mendukung pemanfaatannya dalam pertanian:

- 1) Struktur Poros, Struktur Zeolit memiliki pori-pori mikroskopis yang mampu menahan air dan ion-ion hara, sehingga Zeolit sangat efisien dalam meningkatkan kapasitas air tanah.
- 2) Kekerasan, Zeolit memiliki tingkat kekerasan yang cukup tinggi, sehingga tahan terhadap pelapukan dan dekomposisi.
- 3) Kapasitas Pertukaran Ion, Struktur Zeolit mengandung kation (Na, K, dan Ca) yang dapat bertukar dengan ion-ion lain dalam larutan, termasuk ion-ion hara seperti Ammonium dan Ca.

- 4) Stabilitas Kimia, Zeolit relatif stabil secara kimia, sehingga tidak mengalami degradasi oleh lingkungan tanah.



Gambar 10.1. Mineral Zeolit

1) Struktur dan pemanfaatan dalam pertanian

Zeolit terdiri dari rangkaian atom oksigen dan silikon yang membentuk kerangka kristal berpori dengan kanal-kanal yang teratur. Kanal-kanal ini membentuk jaringan tiga dimensi yang mampu menahan molekul air, ion-ion hara, dan senyawa organik kecil. Ini menjadikan Zeolit sebagai agen adsorpsi yang sangat efisien dan memiliki beragam manfaat dalam bidang pertanian:

- 1) **Pembenah Tanah**, Zeolit digunakan sebagai bahan pembenah tanah untuk meningkatkan struktur tanah, mengurangi tingkat keasaman, dan meningkatkan kapasitas retensi air. Hal ini berkontribusi positif terhadap peningkatan kualitas dan kesuburan tanah.
- 2) **Pengendalian Kelebihan Air**, Zeolit dapat digunakan untuk mengendalikan kelebihan air dalam tanah, terutama saat musim hujan berlebihan. Hal ini membantu mencegah genangan air yang dapat merusak sistem akar tanaman.
- 3) **Peningkatan Ketersediaan Hara**, Zeolit dapat meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman dengan menahan dan melepaskan ion-ion hara secara bertahap. Hal ini mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih optimal.
- 4) **Pengurangan Penggunaan Pupuk Kimia**, Dengan meningkatkan efisiensi penyerapan hara, Zeolit dapat

membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, yang bermanfaat bagi lingkungan dan juga mengurangi biaya pertanian.

Manfaat Zeolit dalam pertanian dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan menjaga keberlanjutan lingkungan, sehingga perlu diteliti untuk mengidentifikasi aplikasi yang paling efektif dan praktik penggunaan yang tepat.

2) Pembentukan Zeolit

Zeolit adalah mineral aluminosilikat yang terbentuk melalui proses geologis yang kompleks dan memerlukan kondisi tertentu. Proses pembentukan Zeolit terjadi dalam skala waktu geologis yang sangat panjang dan melibatkan sejumlah tahap. Berikut adalah rangkuman dari proses pembentukan Zeolit:

- 1) **Deposisi Bahan Awal**, Proses pembentukan Zeolit dimulai dengan adanya endapan bahan awal yang mengandung silika (SiO_2), aluminium (Al), dan berbagai elemen lainnya, seperti Na, K, Ca, dan Mg. Endapan berasal dari proses sedimentasi di danau, danau garam, lautan, atau aktivitas vulkanik.
- 2) **Diagenesis**, Setelah bahan awal terendapkan, dan mengalami proses diagenesis. Ini adalah proses dimana endapan tersebut mengalami perubahan fisik dan kimia akibat tekanan dan suhu tinggi yang terjadi dalam kerak bumi. Proses diagenesis ini merupakan langkah awal dalam mengubah bahan awal menjadi Zeolit.
- 3) **Reaksi Hidrotermal**, Proses paling khas dalam pembentukan Zeolit adalah reaksi hidrotermal. Ini terjadi ketika air panas yang mengandung larutan mineral meresap melalui batuan dan endapan yang mengandung bahan awal tadi. Air panas ini bisa berasal dari aktivitas vulkanik atau proses geotermal dalam kerak bumi. Selama kontak dengan air panas ini, bahan awal mengalami

reaksi kimia yang kompleks yang melibatkan perubahan struktur molekuler dan pertukaran ion.

- 4) Pembentukan Struktur Berpori, Selama proses hidrotermal, struktur kristal Zeolit mulai terbentuk. Struktur berpori Zeolit terdiri dari saluran-saluran dan rongga-rongga mikroskopis yang membentuk jaringan tiga dimensi yang teratur, kation seperti Na dan K dapat masuk ke dalam saluran ini dan bertukar dengan ion-ion lain dalam larutan.
- 5) Periode Pendinginan dan Presipitasi, Setelah proses hidrotermal, air panas tersebut mendingin. Selama pendinginan ini, ion-ion yang ada dalam larutan larut dalam struktur Zeolit dan membentuk kristal Zeolit yang stabil. Ini adalah tahap akhir dalam pembentukan Zeolit.

Penting untuk dicatat bahwa pembentukan Zeolit adalah proses alami yang memerlukan waktu yang sangat lama (jutaan tahun). Hasilnya adalah mineral yang memiliki struktur berpori yang unik dan sifat-sifat yang sangat berguna, seperti kemampuan untuk menahan air dan hara, sehingga sangat bermanfaat dalam berbagai aplikasi, termasuk pertanian dan industri.

3) Sebaran Zeolit di Indonesia

Sebaran Zeolit ditemukan di seluruh kepulauan Indonesia. Berikut adalah beberapa daerah di Indonesia yang dikenal memiliki cadangan Zeolit:

- 1) Pulau Jawa, di daerah-daerah yang memiliki aktivitas vulkanik tinggi (Jawa Barat dan Jawa Timur), daerah yang terkenal dengan penambangan Zeolit adalah Mojokerto, Garut, dan Tasikmalaya.
- 2) Pulau Sumatera (Sumatera Selatan dan Sumatera Barat), seperti Kabupaten Ogan Komering Ilir, dikenal memiliki cadangan Zeolit yang cukup besar.
- 3) Pulau Kalimantan (Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur), seperti Kabupaten Kapuas dan Katingan memiliki cadangan Zeolit besar.

- 4) Pulau Sulawesi (Sulawesi Utara), Daerah Minahasa Utara dikenal memiliki cadangan Zeolit yang cukup besar.
- 5) Pulau Papua (Papua Barat) memiliki cadangan Zeolit yang besar.

Pengembangan potensi Zeolit menjadi fokus bagi industri pertambangan dan pertanian. Selain digunakan sebagai pembenah tanah dan bahan adsorpsi juga berbagai aplikasi industri, termasuk pengolahan air limbah. Penelitian terus dilakukan untuk memahami potensi Zeolit dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan mengatasi masalah lingkungan, seperti pengolahan air limbah.

10.2. Mineral Gypsum

Gypsum adalah mineral Ca Sulfat yang digunakan sebagai bahan pembenah tanah pertanian karena memiliki kemampuan untuk mengendalikan keasaman tanah, meningkatkan struktur tanah, dan mengurangi kerusakan akibat garam tanah, menjadikannya bahan yang penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian (Gambar 10.2).



Gypsum dalam batuan



Mineral Gypsum

Gambar 10.2. Mineral Gypsum

Gypsum memiliki sejumlah sifat penting yang menjadikannya efektif sebagai bahan pembenah tanah:

- 1) Mengandung Ca dan Sulfat, Gypsum mengandung Ca dan sulfat (SO_4), yang merupakan hara esensial bagi tanaman. Penggunaan Gypsum dapat meningkatkan ketersediaan Ca dan sulfat bagi tanaman.

- 2) Meningkatkan pH, Gypsum berfungsi sebagai pengendali kelebihan keasaman tanah dengan meningkatkan pH tanah.
- 3) Memperbaiki Struktur Tanah, Gypsum membantu membentuk agregat tanah yang stabil, sehingga meningkatkan struktur tanah dan memungkinkan sirkulasi air dan udara yang lebih baik.
- 4) Pengendalian Kerusakan Akibat Garam, Gypsum dapat membantu mengurangi kerusakan akibat garam tanah dengan menggantikan Na di dalam tanah dengan Ca, yang lebih baik bagi tanaman.

1) Struktur dan Pemanfaatan Mineral Gypsum untuk Pertanian

Mineral Gypsum atau Ca sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), memiliki struktur kristal yang unik. Struktur ini terdiri dari atom-atom Ca, S, O, H yang tersusun dalam suatu jaringan kristal yang teratur. Berikut adalah penjelasan mengenai struktur mineral Gypsum:

- 1) Kation Ca (Ca^{2+}) ini berperan sebagai kation utama yang terikat dalam jaringan kristal. Ion Ca ini dikelilingi oleh ion-ion S, O, dan H.
- 2) Anion Sulfat (SO_4^{2-}) terdiri dari satu atom S yang terikat secara kovalen dengan empat atom oksigen. Anion sulfat ini juga merupakan komponen utama dalam struktur gypsum dan berperan dalam pembentukan ikatan kimia dengan ion Ca.
- 3) Air Terikat (H_2O), Struktur Gypsum mengandung molekul air (H_2O) yang terikat secara kuat dalam jaringan kristal. Setiap molekul gypsum memiliki dua molekul air yang terikat padanya. Kehadiran air dalam struktur ini menjadikan gypsum sebagai mineral hidrat.
- 4) Kisi Kristal Berpori, Struktur Gypsum membentuk kisi kristal yang berpori dengan saluran-saluran yang teratur. Saluran-saluran ini dapat menahan molekul-molekul air

dan senyawa-senyawa kecil, menjadikan gypsum sebagai agen adsorpsi yang kuat.

- 5) Jaringan Tiga Dimensi. Struktur Gypsum membentuk jaringan tiga dimensi yang teratur. Jaringan ini menghasilkan kristal-kristal yang berbentuk prisma dan memiliki sudut-sudut yang khas.
- 6) Kekerasan dan Kelenturan, Gypsum memiliki kekerasan yang cukup rendah sehingga dapat dengan mudah diaduk atau dihancurkan. Ini memungkinkan penggunaan gypsum sebagai bahan pembenah tanah yang mudah diterapkan dalam pertanian.

Struktur kristal yang unik ini memberikan Gypsum kemampuan untuk melarutkan dalam air dengan relatif cepat, yang memungkinkan perannya dalam mengendalikan kelebihan keasaman tanah dan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman. Selain itu, struktur Gypsum yang berpori juga membuatnya efektif dalam menahan dan melepaskan air serta senyawa-senyawa hara ke dalam tanah, yang bermanfaat dalam pertanian. Mekanisme kerja Gypsum dalam tanah melibatkan beberapa proses:

- 1) Reaksi dengan Asam Karbonat, Ketika Gypsum diterapkan pada tanah yang asam, dan bereaksi dengan asam karbonat dalam tanah dan membentuk CaCO_3 . Reaksi ini menghasilkan peningkatan pH tanah.
- 2) Meningkatkan Ketersediaan Hara, Gypsum membantu melarutkan hara yang terikat dalam tanah seperti P, sehingga tersedia bagi tanaman.
- 3) Penggantian Na, Gypsum menggantikan Na dalam tanah dengan Ca, yang lebih baik bagi tanaman. Ini membantu mengurangi tingkat salinitas tanah.

Gypsum atau Ca sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) adalah mineral yang penting dan bermanfaat dalam berbagai aplikasi industri, termasuk konstruksi, pertanian, dan industri kimia. Penggunaan Gypsum dalam pertanian bertujuan untuk

memperbaiki kondisi tanah dan meningkatkan produktivitas pertanian. Berikut adalah beberapa manfaat dan peran mineral gypsum dalam pertanian:

- 1) Mengendalikan Kelebihan Keasaman Tanah, Salah satu manfaat utama gypsum adalah kemampuannya untuk mengendalikan kelebihan keasaman tanah. Gypsum bekerja dengan meningkatkan pH tanah, yang membantu mengubah tanah yang terlalu asam (pH rendah) menjadi lebih netral atau bahkan sedikit alkalis (pH tinggi). Tanah yang terlalu asam dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan mengurangi ketersediaan hara. Dengan meningkatkan pH tanah, Gypsum menciptakan lingkungan yang lebih sesuai untuk pertumbuhan tanaman.
- 2) Pemulihan Struktur Tanah, Gypsum membantu memperbaiki struktur tanah dengan merangsang pembentukan agregat tanah yang stabil. Ini meningkatkan porositas tanah, sirkulasi air dan udara yang lebih baik, dan mengurangi risiko erosi tanah. Tanah dengan struktur yang baik memfasilitasi penetrasi akar tanaman dan pertumbuhan yang lebih sehat.
- 3) Pengendalian Kerusakan Akibat Garam, Gypsum juga digunakan untuk mengurangi kerusakan akibat garam tanah. Di daerah-daerah dengan tingkat salinitas yang tinggi atau di mana tanah terpapar Na berlebihan, Gypsum dapat menggantikan Na dalam tanah dengan Ca, yang lebih ramah terhadap tanaman. Hal ini membantu mengurangi tingkat salinitas tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman.
- 4) Peningkatan Ketersediaan Hara, Gypsum dapat meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman dengan melarutkan hara yang terikat dalam tanah. Ini dapat membantu tanaman mengakses hara penting, seperti P yang mungkin terikat kuat dalam tanah yang terlalu asam.

- 5) Peningkatan Produktivitas Pertanian, Dengan mengatasi masalah kelebihan keasaman, merangsang pertumbuhan akar tanaman, dan meningkatkan ketersediaan hara, penggunaan gypsum secara efektif dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Hasil yang lebih baik dan pertumbuhan tanaman yang lebih sehat dapat diperoleh melalui penggunaan Gypsum sebagai pembenah tanah.
- 6) Pertanian Berkelanjutan, Penggunaan gypsum juga berkontribusi pada pertanian berkelanjutan. Dengan meningkatkan kualitas tanah dan mengurangi kerusakan akibat garam serta penggunaan pupuk kimia yang berlebihan, pertanian menjadi lebih ramah lingkungan.

Penting untuk dicatat bahwa penggunaan Gypsum harus disesuaikan dengan kondisi tanah dan kebutuhan tanaman tertentu. Konsultasi dengan ahli pertanian atau agronom adalah langkah yang baik untuk memastikan bahwa penggunaan gypsum dilakukan secara tepat guna sesuai dengan kondisi tanah dan jenis tanaman yang ditanam. Penggunaan Gypsum dapat menjadi investasi berharga dalam meningkatkan produktivitas pertanian. Gypsum digunakan dalam pertanian dalam beberapa aplikasi:

- 1) Pembenah Tanah, Gypsum digunakan sebagai pembenah tanah untuk mengatasi masalah tanah yang terlalu asam atau salinitas yang tinggi.
- 2) Pengendalian Kerusakan Akibat Garam, Gypsum digunakan untuk mengurangi kerusakan karena garam tanah akibat irigasi berlebihan.
- 3) Peningkatan Ketersediaan Hara, Penggunaan Gypsum dapat meningkatkan ketersediaan hara tanah dengan melarutkan hara yang terikat dalam tanah.

2) Pembentukan Mineral Gypsum

Mineral Gypsum atau Ca sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) terbentuk melalui proses geologis yang melibatkan perubahan

kimia dan fisika dalam kondisi lingkungan tertentu dan penjelasan rinci proses pembentukan mineral Gypsum:

- 1) Endapan Awal, Proses pembentukan Gypsum dimulai dengan endapan awal yang mengandung Ca, S, O, dan H. Endapan ini bisa terbentuk di berbagai lingkungan geologis, seperti danau garam, rawa-rawa, atau gua-gua yang memiliki air dengan kandungan S.
- 2) Akumulasi Bahan, Bahan-bahan ini mengendap dalam kondisi tertentu. Ca dapat berasal dari pelapukan batuan Ca atau air tanah yang mengandung Ca, S berasal dari proses oksidasi S dalam lingkungan tertentu.
- 3) Lingkungan Reduksi, Proses pembentukan Gypsum memerlukan kondisi lingkungan bersifat reduktif, yaitu lingkungan di mana O terbatas. Ini bisa terjadi dalam lingkungan dengan sedimen berlimbah tinggi, misalnya di rawa-rawa atau danau-danau yang tidak terlalu teroksidasi.
- 4) Reaksi Kimia, Dalam lingkungan ini, S dapat mengalami reaksi dengan Ca yang ada dalam larutan. Reaksi kimia ini menghasilkan pembentukan kristal-kristal Gypsum: $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Ini adalah reaksi yang menghasilkan Gypsum dengan air sebagai strukturnya.
- 5) Pemanasan dan Penguapan, Setelah kristal Gypsum terbentuk, lingkungan berubah menjadi lebih panas (mengalami penguapan air), dan terjadi dalam skala waktu geologis. Pemanasan atau penguapan menyebabkan air dalam kristal Gypsum menguap, dan mineral tersebut menjadi padat.
- 6) Akumulasi dan Pembentukan Endapan, Kristal Gypsum terakumulasi dalam endapan yang semakin mengeras seiring waktu. Ini bisa terjadi dalam lingkungan seperti gua-gua kapur, danau garam, atau area rawa yang mengalami perubahan kondisi lingkungan.
- 7) Transformasi Lebih Lanjut, Gypsum dapat mengalami transformasi lebih lanjut menjadi mineral lain, seperti

Anhidrit (Ca Sulfat Anhidrat) jika terpapar panas dan tekanan yang tinggi dalam proses diagenesis. Proses-proses ini menciptakan deposit Gypsum di seluruh dunia.

3) Sebaran Mineral Gypsum

Mineral Gypsum cukup melimpah dan dapat ditemukan di wilayah seluruh kepulauan Indonesia, yaitu:

- 1) Pulau Jawa, terutama di daerah-daerah yang memiliki aktivitas geologis yang relevan, misalnya Mojokerto, Purwakarta, dan Bantul.
- 2) Pulau Sumatera, ditemukan di Sumatera Barat dan Sumatera Selatan, misalnya Kabupaten Agam.
- 3) Pulau Kalimantan, terutama di Kalimantan Timur dan Kalimantan Tengah, seperti Kabupaten Barito Utara (memiliki deposit gypsum besar).
- 4) Pulau Sulawesi, Gypsum dapat ditemukan di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara.
- 5) Pulau Papua, jumlahnya tidak sebanyak di pulau-pulau lain, misalnya di Papua Barat.

Penggunaan Gypsum terkait dengan industri sebagai bahan pengisi dan pembuat papan Gypsum, bidang pertanian, Gypsum sebagai pembenah tanah untuk mengatasi keasaman tanah dan meningkatkan struktur tanah.

10.3. Mineral CaCO_3

CaCO_3 merupakan mineral yang terdiri dari Ca, C, dan O, digunakan sebagai bahan pembenah tanah selama berabad-abad, dan ditemukan di seluruh dunia (Gambar 10.3). CaCO_3 memiliki beberapa sifat penting yang membuatnya menjadi bahan pembenah tanah yang efektif:

- 1) Kandungan Ca merupakan hara esensial bagi tanaman. Ca diperlukan untuk pertumbuhan sel, pembentukan dinding sel, dan aktivitas enzimatik.
- 2) Meningkatkan pH, CaCO_3 adalah zat netral, dan ketika diaplikasikan ke tanah asam (pH rendah), maka pH tanah dapat dinaikkan mendekati netral.

- 3) Stabil dalam Tanah, CaCO_3 cenderung tetap stabil dalam tanah, sehingga tidak mengalami dekomposisi atau perubahan kimia yang signifikan.



Gambar 10.3. Mineral CaCO_3

1) Struktur dan Penggunaan CaCO_3 dalam Pertanian

Struktur CaCO_3 memiliki struktur kristal yang unik, dan terdapat tiga bentuk kristal utama, yaitu Kalsit, Aragonit, dan Vaterit (masing-masing memiliki struktur kristal berbeda), yaitu:

- 1) Kalsit (*Calcite*) adalah bentuk yang paling umum dari CaCO_3 dan memiliki struktur kristal trigonal, yaitu terdiri dari ion-ion Ca yang dikelilingi oleh ion-ion karbonat (CO_3^{2-}). Ion Ca terletak di tengah-tengah lapisan ion-ion karbonat yang berbentuk segitiga. Struktur ini membentuk lapisan berlapis-lapis yang teratur dan rapi. Kalsit memiliki kelarutan yang lebih rendah dalam air dibandingkan dengan Aragonit.
- 2) Aragonit (*Aragonite*) memiliki struktur kristal ortorombik, terdiri dari ion-ion Ca yang dikelilingi oleh ion-ion karbonat (CO_3^{2-}), mirip dengan struktur Kalsit. Namun, dalam Aragonit, susunan ion-ion karbonatnya berbeda, menciptakan bentuk kristal yang berbeda. Aragonit memiliki kelarutan yang lebih tinggi dalam air daripada kalsit.
- 3) Vaterit (*Vaterite*) memiliki struktur kristal hexagonal, berbeda dari Kalsit dan Aragonit dalam hal tata letak ion-ion Ca dan karbonat. Struktur Vaterit cenderung kurang stabil daripada kedua bentuk kristal lainnya dan lebih mudah berubah menjadi Kalsit atau Aragonit. Vaterit

memiliki kelarutan yang lebih tinggi dalam air daripada Kalsit.

Pemahaman struktur kristal CaCO_3 adalah penting dalam berbagai aplikasinya, termasuk dalam industri, ilmu bumi, dan pertanian. Struktur ini mempengaruhi sifat-sifat fisik mineral tersebut, seperti kelarutan dalam air, kekerasan, dan pola perpecahan kristal. Kalsit sebagai bentuk yang paling stabil dan umum, sering digunakan sebagai referensi dalam studi kristalografi mineral dan penelitian ilmiah terkait. Tujuan CaCO_3 dalam pembenahan tanah, yaitu:

- 1) CaCO_3 efektif dalam mengontrol keasaman tanah. Peningkatan pH tanah akan menciptakan kondisi kondusif untuk pertumbuhan tanaman.
- 2) Penggunaan CaCO_3 meningkatkan ketersediaan Ca bagi tanaman dan Ca merupakan hara penting bagi tanaman.
- 3) CaCO_3 membantu pembentukan agregat tanah yang stabil, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan porositas, dan aerasi tanah.
- 4) CaCO_3 dapat digunakan untuk mengendalikan kerusakan tanah akibat salinitas yang tinggi, CaCO_3 menggantikan ion Na dengan Ca dalam tanah.
- 5) Peningkatan Produktivitas melalui pengendalian keasaman, meningkatkan ketersediaan Ca, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan produktivitas tanaman, sehingga produksi menjadi lebih baik.
- 6) Penggunaan CaCO_3 berkontribusi pada pertanian berkelanjutan. Ini membantu mengurangi pemakaian pupuk kimia dan meningkatkan kualitas tanah, pada gilirannya mengurangi dampak lingkungan pertanian.
- 7) Penggunaan CaCO_3 dapat mengurangi biaya penggunaan pupuk kimia dan upaya pembenahan tanah yang lebih intensif.

2) Pembentukan Mineral CaCO_3

Proses terbentuknya CaCO_3 melibatkan interaksi kompleks antara ion-ion Ca dan ion-ion karbonat dalam

berbagai kondisi lingkungan geologi dan kimia. Terdapat lima mekanisme utama pembentukan CaCO_3 , yaitu:

- 1) Presipitasi Kimia adalah mekanisme inti dalam pembentukan CaCO_3 . Ini terjadi ketika larutan yang mengandung ion Ca dan ion karbonat menjadi jenuh dengan CaCO_3 . Kejenuhan larutan tergantung pada faktor suhu, tekanan, dan pH. Jika kondisi fisik atau kimia berubah (peningkatan pH atau penurunan tekanan), maka CaCO_3 mengendap dalam bentuk padatan. Proses ini melibatkan pertumbuhan kristal CaCO_3 saat ion-ion Ca dan karbonat bergabung membentuk molekul-molekul CaCO_3 yang lebih besar.
- 2) Batu kapur adalah hasil deposit besar CaCO_3 yang terbentuk di lingkungan akuatik (seperti danau, sungai, dan laut). Proses ini bisa melibatkan berbagai sumber CaCO_3 , termasuk presipitasi langsung dari air, kerangka organisme laut yang terbuat dari CaCO_3 (seperti karang), atau akresi dari kotoran burung laut (guano) yang mengandung CaCO_3 .
- 3) Metamorfisme Karbonat, pada kondisi suhu dan tekanan yang tinggi di dalam lapisan bumi, CaCO_3 mengalami metamorfisme dan berubah menjadi batu kapur metamorfik yang dikenal sebagai marmor. Proses ini melibatkan perubahan struktur kristal CaCO_3 menjadi bentuk kristal padat, seperti Aragonit atau Kalsit.
- 4) Pengendapan dalam Air Laut, air laut mengandung ion Ca dan karbonat. Ketika kondisi di laut mengalami perubahan (misalnya peningkatan suhu atau penurunan tekanan), maka CaCO_3 dapat mengendap sebagai Ooze CaCO_3 di dasar laut dan menjadi bagian dari pembentukan sedimen laut.
- 5) Akresi dalam Guano (Guano), Guano adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada kotoran burung laut yang mengandung CaCO_3 . Proses ini terjadi ketika burung laut mengkonsumsi organisme laut bercangkang

yang mengandung CaCO_3 . Kotoran burung laut ini mengendap dan dapat membentuk lapisan batu kapur.

Proses-proses ini berlangsung dalam skala waktu geologi sangat lama dan menghasilkan deposit CaCO_3 yang besar. CaCO_3 memainkan peran penting dalam membentuk berbagai formasi geologi, seperti Gua, Formasi Karst, dan Batu Kapur. Pemahaman mendalam tentang pembentukan CaCO_3 memiliki relevansi yang kuat dalam studi geologi, lingkungan, dan pengelolaan lahan.

10.4. Mineral Bentonit

Bentonit adalah mineral lempung alam yang telah meraih pengakuan luas dalam dunia pertanian dan industri pembenah tanah. Mineral ini terkenal atas kemampuannya untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, sehingga menjadi fokus penelitian yang menarik dalam bidang pengelolaan lahan.

1) Karakteristik Kimia Bentonit

Bentonit adalah jenis lempung montmorillonit yang terdiri dari lapisan-lapisan tipis silika dan alumina yang dipisahkan oleh ion-ion Na, Ca, atau Mg. Karakteristik kimia paling khas dari Bentonit adalah kemampuannya untuk menyerap air dan ion-ion positif, seperti Ca, Mg, dan K. Fenomena ini disebabkan oleh proses pertukaran ion, dimana ion-ion yang terdapat dalam lapisan montmorillonit dapat digantikan oleh ion-ion tersebut dalam larutan tanah. Kemampuan ini berdampak kuat pada pH tanah, Kapasitas Tukar Kation (KTK), dan kapasitas retensi air (Gambar 10.4).



Gambar 10.4. Mineral Bentonit

2) Sifat Fisik Bentonit

Karakteristik fisik yang paling menonjol dari Bentonit adalah kapasitasnya untuk membentuk struktur dan agregat tanah stabil. Jika Bentonit dicampurkan dengan tanah, maka Bentonit meningkatkan daya ikat partikel-partikel tanah dan meningkatkan porositas tanah, sehingga memudahkan penyerapan dan penyimpanan air. Ini berdampak positif dalam konteks pertanian yang sering kali dihadapkan pada tantangan defisit air. Selain itu, penggunaan Bentonit dapat mengurangi erosi tanah dengan membentuk lapis pelindung di muka tanah.

3) Manfaat Bentonit Sebagai Agen Pembena Tanah

Bentonit adalah sejenis mineral lempung berbentuk tanah liat. Adapun manfaat Bentonit sebagai bahan pembena tanah sebagai berikut:

- 1) Peningkatan KTK tanah, sehingga tanah dapat menyimpan lebih banyak hara tanaman (Ca, Mg, dan K).
- 2) Penyesuaian pH, Bentonit dapat mengubah pH tanah asam menjadi lebih netral, meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.
- 3) Peningkatan Retensi Air, kemampuan Bentonit menahan air mengurangi risiko kekeringan dan mengurangi kebutuhan irigasi dalam pertanian.
- 4) Pembentukan Struktur Tanah, Bentonit membantu dalam pembentukan agregat tanah yang kuat, meningkatkan drainase dan aerasi tanah.
- 5) Pencegahan Erosi, jika digunakan sebagai lapisan permukaan, Bentonit dapat mengurangi erosi tanah yang disebabkan oleh hujan dan angin.

10.5. Mineral Batu Kapur

Batu kapur (dikenal sebagai CaCO_3) adalah batuan sedimen yang terbentuk melalui pengendapan sisa-sisa organisme laut, terutama kerangka dan cangkang mikroorganisme, dalam lingkungan air laut yang jenuh dengan CaCO_3 . Dalam domain ilmiah, batu kapur dikenali sebagai

salah satu bentuk batuan sedimen klasik yang memperlihatkan karakteristik kimia dan mineralogis yang menonjol.

1) Ciri-ciri Kimia Batu Kapur

Batu kapur dominan mengandung CaCO_3 , meskipun adanya sedikit mineral lain, seperti Mg Karbonat (MgCO_3), atau inklusi bahan-bahan asing. Batu kapur menunjukkan sifat reaktif terhadap asam, yang dapat menghasilkan reaksi kimia dengan asam sulfat (H_2SO_4) atau asam karbonat (H_2CO_3), berpotensi mengubah komposisi batu kapur seiring berjalannya waktu. Batu kapur memiliki pH tinggi karena CaCO_3 bersifat sebagai basa lemah.

2) Karakteristik Mineralogis Batu Kapur

Batu kapur mengandung kristal montmorillonit, yang merupakan komponen utama batu kapur. Kristal montmorillonit memiliki lapisan silika dan alumina yang diikat oleh ion-ion Ca, Mg, atau Na, menciptakan struktur mineral yang khas (Gambar 10.5).



Batu kapur



Berbagai warna batu kapur

Gambar 10.5. Mineral batu kapur

3) Struktur Mineral Batu Kapur:

Struktur mineral batu kapur dapat menunjukkan variasi yang signifikan, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor geologis dan lingkungan dimana batu kapur terbentuk. Karakteristik batu kapur dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Komposisi Matriks Utama, Batu kapur terutama terdiri dari mineral CaCO_3 dan biasanya hadir dalam bentuk butiran padat yang saling berikatan.

- 2) Polimorfisme Mineral CaCO_3 , Batu kapur mengandung berbagai mineral CaCO_3 (Kalsit, Aragonit, dan Vaterit) dan tergantung pada fisikokimia selama pengendapan, menghasilkan struktur kristal yang berbeda-beda.
- 3) Terbentuk Struktur Berlapis Secara Gradual dan Mencolok dengan lapisan-lapisan yang terbentuk melalui pengendapan bertahap sisa-sisa organisme laut (seperti kerangka Karang, Cangkang Moluska, dan Foraminifera yang mengandung CaCO_3) selama jutaan tahun. Proses pengendapan berulang ini membentuk lapisan yang terlihat dengan jelas dalam batu kapur.
- 4) Kehadiran Fosil dan Fragmen Organisme, Batu kapur sering mengandung fosil dan fragmen organisme laut yang tertanam dalam matriks CaCO_3 . Ini mencakup fosil-fosil seperti Karang, Ammonit, dan berbagai jenis organisme laut lainnya. Prasasti fosil ini berfungsi sebagai catatan berharga tentang sejarah kehidupan laut di masa lalu.
- 5) Retakan dan Formasi Lubang Karst, Batu kapur sering memiliki jaringan retakan dan formasi lubang yang terbentuk melalui proses pelapukan dan erosi. Lubang-lubang ini sering menyediakan habitat bagi berbagai bentuk kehidupan dan menjadi ciri khas dalam bentang lahan Karst. Dalam kondisi tertentu, mereka juga dapat menghasilkan struktur seperti Stalaktit dan Stalagmit di dalam gua-gua batu kapur.
- 6) Variabilitas Kekerasan, Kekerasan batu kapur bervariasi bergantung pada derajat kristalisasi mineral bentang lahan CaCO_3 . Batu kapur yang mengalami kristalisasi lebih lanjut biasanya memiliki kekerasan yang lebih tinggi, sedangkan batu kapur yang memiliki matriks CaCO_3 yang lebih padat cenderung lebih lunak dan mudah hancur.

4) Pembentukan Mineral Batu Kapur

Mineral batu kapur terbentuk melalui serangkaian proses geologis kompleks yang melibatkan interaksi antara organisme laut, reaksi kimia, dan perubahan fisik. Berikut adalah langkah-langkah utama dalam pembentukan mineral batu kapur:

- 1) Pengendapan Sisa-sisa Organisme Laut, proses dimulai dengan pengendapan sisa-sisa organisme laut yang mengandung CaCO_3 (seperti Karang, Foraminifera, Moluska, dan Alga CaCO_3) menghasilkan kerangka atau cangkang yang mengandung CaCO_3 . Ketika organisme ini mati, kerangka atau cangkang mereka jatuh ke dasar laut atau perairan dangkal.
- 2) Akumulasi dan Pengendapan, Sisa-sisa organisme laut ini terakumulasi di dasar laut atau perairan dangkal dalam jumlah besar. Lapisan-lapisan material ini terus bertambah tebal seiring waktu karena organisme laut terus hidup, mati, dan mengendap.
- 3) Pemadatan dan Penguatan, Di bawah tekanan dari lapisan di atasnya, material organisme laut yang mengandung CaCO_3 mengalami pemadatan dan menjadi lebih padat. Proses ini mengurangi ruang di antara partikel-partikel material dan menghilangkan sebagian besar air dari lapisan itu.
- 4) Reaksi Kimia dan Kristalisasi, Di dalam lapisan yang mengandung sisa-sisa organisme ini, reaksi kimia antara CaCO_3 , air, dan ion-ion dalam larutan bawah tanah terjadi. Reaksi ini dapat menghasilkan pertukaran ion yang mengarah pada pembentukan mineral CaCO_3 padat. Kristalisasi mineral ini mengisi ruang antara partikel-partikel organisme laut yang terpadatkan.
- 5) Pergeseran Lapisan. Selama jutaan tahun, lapisan-lapisan batu kapur yang terbentuk dapat mengalami pergeseran vertikal karena proses tektonik seperti perlipatan dan patahan. Ini dapat mengangkat batu kapur ke permukaan atau menguburkannya lebih dalam di bawah permukaan.

- 6) Erosi dan Pembentukan Batu Kapur Baru, Beberapa lokasi batu kapur yang telah terbentuk dapat terpapar oleh erosi atau aktivitas manusia. Proses erosi ini dapat mengungkapkan lapisan batu kapur yang lebih dalam dan membentuk formasi geologis menarik seperti Gua dan Karst.

Pembentukan batu kapur berlangsung selama jutaan tahun dan melibatkan interaksi yang rumit antara organisme laut, faktor fisik, dan reaksi kimia. Hasilnya adalah batu kapur yang memiliki struktur berlapis dengan kandungan mineral CaCO_3 yang tinggi. Batu kapur ini memiliki beragam kegunaan dalam industri dan juga berperan penting dalam ilmu geologi untuk memahami sejarah lingkungan dan iklim bumi di masa lalu. Di industri, CaCO_3 diekstrak dari batu kapur digunakan dalam produksi semen, pupuk, material bangunan, bahan kimia, dan berbagai aplikasi lainnya. Batu kapur digunakan untuk mengatur pH tanah dan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.

10.6. Mineral Vermikulit

Vermikulit adalah mineral alami yang tergolong dalam keluarga mineral lempung dengan rumus kimia $(\text{Mg,Fe})_3[(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Mineral ini dikenal dengan karakteristiknya yang berbentuk lapisan dan memiliki kemampuan untuk mengembang ketika dipanaskan, sehingga digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan pertanian.

1) Struktur Mikroskopis

Vermikulit memiliki struktur lapisan yang terdiri dari lapisan Silika dan Alumina yang dipisahkan oleh ion-ion hidroksil dan air. Struktur lapisan ini memungkinkan Vermiculit untuk menyerap dan melepaskan air dengan baik, sehingga digunakan dalam media pertumbuhan tanaman dan sebagai bahan isolasi panas (Gambar 10.6).



Batuan Vermikulit



Vermikulit

Gambar 10.6. Mineral Vermikulit

2) Sifat Fisik dan Kimia Mineral Vermikulit

Sifat fisik dan kimia Vermikulit menjadikannya bahan yang berharga dalam pertanian, konstruksi, dan isolasi termal. Kemampuannya untuk mengembang ketika dipanaskan dan kapasitas tukar kation yang baik adalah dua sifat utama yang membuatnya sangat berguna dalam meningkatkan kualitas tanah dan media pertumbuhan tanaman. Sifat fisik pada mineral Vermikulit:

- 1) Mengembang Ketika Dipanaskan, Sifat fisik paling khas Vermikulit adalah kemampuannya untuk mengembang ketika dipanaskan dikarenakan air yang terperangkap di dalam lapisan-lapisan Vermikulit menguap, dan partikel-partikel tersebut mengembang, menyebabkan peningkatan volume. Kemampuan ini membuat Vermikulit digunakan dalam isolasi termal dan media pertumbuhan tanaman.
- 2) Warna Beragam, Vermikulit dapat memiliki berbagai warna, termasuk kuning, coklat, perak, atau hijau, tergantung pada sumbernya. Warna ini tidak memengaruhi sifat-sifat kimia utama Vermikulit.
- 3) Tekstur dan Ukuran Partikel, Vermikulit memiliki tekstur yang seringkali mengingatkan pada *flakes* atau lembaran tipis. Ukuran partikelnya bervariasi, mulai dari mikron hingga beberapa milimeter, tergantung pada sumber dan pengolahan.
- 4) Porositas, Vermikulit memiliki porositas yang tinggi, dan memungkinkan untuk menahan air dan hara tanaman

dalam media pertumbuhan. Ini membuatnya sangat berguna dalam pertanian dan hortikultura.

Paling tidak ada empat sifat kimia mineral Vermikulit yang menonjol, sebagai berikut:

- 1) Vermikulit memiliki KTK tinggi dan berarti permukaan Vermikulit memiliki kemampuan untuk menahan dan melepaskan ion-ion positif seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^{+} . KTK tinggi ini sesuai untuk mempertahankan hara tanah dalam media pertumbuhan.
- 2) Vermikulit biasanya stabil, dan tidak mengalami perubahan kimia dalam kebanyakan lingkungan. Ini membuatnya cocok untuk penggunaan jangka panjang dalam aplikasi pertanian.
- 3) Vermikulit adalah mineral yang ringan dengan kepadatan yang rendah, yang membuatnya menjadi bahan yang ringan dan mudah diolah dalam berbagai aplikasi.
- 4) Vermikulit bersifat netral atau sedikit basa, yang dapat mempengaruhi pH media pertumbuhan tanaman ketika digunakan dan dapat membantu menyesuaikan pH tanah yang asam.

3) Pemanfaatan Mineral Vermikulit

Vermikulit adalah mineral yang sering dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah dalam konteks pertanian dan hortikultura berkat karakteristik fisik dan kimianya yang khusus. Berikut ini adalah beberapa aplikasi vermikulit sebagai bahan pembenah tanah:

- 1) Meningkatkan Kapasitas Penyimpanan Air, Vermikulit memiliki daya kemampuan untuk menyerap dan menyimpan air dalam pori-porinya. Ketika dicampurkan dengan tanah, Vermikulit membantu menjaga kelembaban tanah secara konsisten, memungkinkan tanaman mengakses air dengan lebih baik. Ini terutama bermanfaat dalam lingkungan kering atau untuk tanaman yang membutuhkan tingkat kelembaban yang stabil.

- 2) Meningkatkan Drainase, Vermikulit memiliki daya kemampuan untuk meningkatkan drainase tanah. Dengan menambahkan lapisan Vermikulit dalam campuran tanah, air berlebih dapat disalurkan dengan lebih efisien, mengurangi risiko genangan air yang dapat merusak akar tanaman.
- 3) Meningkatkan KTK, Vermikulit memiliki KTK tinggi, berarti Vermikulit mampu menyimpan ion-ion Ca, Mg, K, dan ammonium, dan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman. Meningkatnya KTK tanah menjadi lebih subur karena hara lebih mudah diambil oleh akar tanaman.
- 4) Menyesuaikan pH Tanah, Vermikulit cenderung memiliki sifat pH netral hingga sedikit basa. Ketika digunakan dalam campuran tanah, Vermikulit membantu menyesuaikan pH tanah, menjadikannya lebih netral atau sedikit basa, dan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman tertentu.
- 5) Meningkatkan Struktur Tanah, Vermikulit membantu membentuk agregat tanah yang kuat, yang meningkatkan sirkulasi udara dan perkembangan akar tanaman. Struktur tanah yang baik memfasilitasi penetrasi akar, pertukaran gas, dan pertumbuhan akar yang lebih baik.
- 6) Media Pertumbuhan Tanaman, Vermikulit digunakan sebagai komponen dalam media pertumbuhan tanaman dalam pot. Ini menciptakan kondisi yang optimal untuk pertumbuhan tanaman dalam konteks pertanian dan hortikultura, dengan kombinasi yang baik antara retensi air dan drainase.

Penggunaan Vermikulit sebagai bahan pembenah tanah meningkatkan produktivitas pertanian dan pertumbuhan tanaman, terutama di lingkungan dengan kondisi tanah yang tidak ideal. Namun, perlu diperhatikan dosis yang tepat, penggunaan yang bijak agar tidak mengganggu kesuburan tanah alami.

4) Pembentukan Mineral Vermikulit

Proses pembentukan mineral vermikulit terjadi dalam kondisi geologis tertentu yang melibatkan pelapukan batuan induk yang mengandung mineral Mika (misalnya, Biotit atau Muskovit). Berikut adalah tahapan utama dalam pembentukan mineral Vermikulit, yaitu:

- 1) Pelapukan Batuan Induk, Proses pembentukan Vermikulit dimulai dengan pelapukan batuan yang mengandung mineral Mika, seperti batuan Granit atau batuan metamorfik. Proses pelapukan ini dapat disebabkan oleh cuaca, air, dan aktivitas mikroorganisme dalam jangka waktu yang panjang.
- 2) Penguraian Mineral Mika, Mineral Mika dalam batuan tersebut mengalami penguraian kimia dan fisik selama pelapukan. Proses ini dapat mencakup hidrasi mineral Mika, di mana air masuk ke dalam struktur kristal Mika.
- 3) Penggantian Kation, Selama pelapukan, kation seperti K, Mg, dan Ca dapat masuk ke dalam lapisan mineral Mika yang terurai, menggantikan ion-ion lain seperti Na dalam struktur kristal. Hal ini mengubah sifat mineral Mika dan memicu pembentukan Vermikulit.
- 4) Pembentukan Lapisan Hidroksil dan Interlaminar Water, Ion hidroksil (OH⁻) juga dapat masuk ke dalam lapisan mineral Mika yang terurai. Ini menghasilkan pembentukan lapisan hidroksil antara lapisan mineral Mika, yang dapat menahan air. Interlaminar water (air yang terperangkap antara lapisan) juga hadir dan memberikan kemampuan menggelembung pada Vermikulit.
- 5) Kristalisasi dan Pembentukan Struktur Vermikulit, Akibat reaksi kimia yang terjadi selama pelapukan, mineral Mika yang terurai berubah menjadi struktur lapisan baru yang dikenal sebagai mineral Vermikulit. Struktur ini memiliki lapisan silika-alumina yang dipisahkan oleh lapisan hidroksil dan interlaminar water.

- 6) Penempatan dalam Lapisan Geologis, Mineral Vermikulit yang terbentuk selama pelapukan kemudian dapat ditemukan dalam lapisan geologis tertentu, seperti lapisan tanah liat atau endapan sedimen. Vermikulit ini dapat diekstraksi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi.

Penting untuk dicatat bahwa pembentukan mineral Vermikulit adalah proses yang berlangsung dalam skala waktu geologis yang sangat panjang. Mineral ini ditemukan di berbagai lokasi di seluruh dunia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pertanian, konstruksi, dan industri. Kemampuannya untuk mengembang ketika dipanaskan dan kemampuan tukar kation yang baik membuatnya sangat berharga dalam berbagai aplikasi teknis.

10.7. Mineral Perlite

Perlite adalah batuan vulkanik berwarna abu-abu cerah, berkilap kaca atau mutiara, dan mempunyai ciri khas retakan konsentris. Perbedaan utama antara Perlite dan Gelas alam adalah komposisinya yang silisik (riolitik) dan mengandung air kimia dalam struktur gelasannya. Komposisi kimia Perlite meliputi 70-75% SiO_2 , 12-18% Al_2O_3 , 4-6% K_2O , dan 2-5% air.

Perlite memiliki sifat fisik yang memungkinkannya untuk mengembang dengan mudah. Dengan dipanaskan 850-1000 °C, maka Perlite menjadi lemah dan berkembang menjadi 10-20 kali lipat volume aslinya. Perlite yang awalnya mempunyai berat jenis 1,159 g/cm^3 menurun dan menjadi sangat ringan (berat jenis berkisar 0,07-0,17 g/cm^3), dan pH berkisar 6,5-8,0, sehingga Perlite menyerap pestisida, pupuk dan bahan agrokimia yang berlebihan di dalam tanah. Perlite adalah bahan berpori yang diperoleh dari pengolahan batuan vulkanik yang dipanaskan hingga suhu tinggi. Perlite memiliki struktur berpori dengan banyak rongga mikroskopis yang berisi udara. Perlite memiliki rumus kimia yang mirip dengan batu lunak, yaitu $(\text{SiO}_2)_n \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Gambar 10.7).



Batuan Perlite



Perlite

Gambar 10.7. Mineral Perlite

1) **Struktur Mikroskopis dan sifat fisik Perlite**

Struktur mikroskopis dan sifat fisik Perlite menciptakan peluang yang luas untuk penggunaan dalam berbagai aplikasi teknis dan industri, termasuk isolasi termal, media pertumbuhan tanaman, pengisi dalam campuran beton, dan penyaring air. Keberagaman penggunaan Perlite mencerminkan sifatnya yang multifungsi dan kemampuannya untuk memenuhi berbagai kebutuhan dalam berbagai bidang. Struktur mikroskopis dan sifat fisik Perlite adalah sebagai berikut:

- 1) Perlite memiliki struktur berpori yang disebabkan oleh perluasan partikel-partikel vulkanik ketika dipanaskan secara ekstrem. Struktur ini memberikan perlite tekstur yang ringan dan pori-pori yang memungkinkan untuk menyimpan air dan udara.
- 2) Porositas Tinggi, Salah satu ciri paling menonjol dari mineral perlite adalah porositas yang luar biasa tinggi. Struktur berpori ini terbentuk melalui proses ekspansi yang terjadi selama perlakuan panas ekstrem pada batuan vulkanik, yang menghasilkan banyak rongga atau pori-pori mikroskopis dalam struktur mineral ini.
- 3) Ringan, Perlite merupakan mineral yang sangat ringan dengan densitas yang rendah. Hal ini membuatnya menjadi bahan yang sangat ringan dan mudah untuk diproses dalam berbagai aplikasi.
- 4) Warna yang Khas, Perlite biasanya memiliki warna putih atau abu-abu terang, meskipun warnanya dapat sedikit

bervariasi tergantung pada sumbernya. Warna yang cerah ini menjadikannya cocok digunakan dalam aplikasi isolasi.

- 5) Tekstur Serbuk Kasar, Perlite biasanya berbentuk butiran atau serbuk dengan ukuran partikel yang bervariasi. Tekstur yang ringan dan berpori ini membuatnya menjadi bahan yang berguna dalam campuran material konstruksi.

2) Sifat Kimia Mineral Perlite

Beberapa sifat kimia penting mineral Perlite dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Stabilitas Kimia yang Tinggi, Perlite umumnya menunjukkan stabilitas kimia yang tinggi dan tahan terhadap perubahan kimia yang signifikan. Karakteristik ini membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan isolasi di berbagai lingkungan.
- 2) pH Netral hingga Sedikit Basa, Perlite cenderung bersifat netral hingga sedikit basa, meskipun nilai pH yang tepat dapat bervariasi tergantung pada asal dan proses pengolahan. Hal ini menjadikannya memiliki dampak yang minimal terhadap pH tanah ketika digunakan sebagai bahan pembenah tanah.
- 3) Toleransi terhadap Suhu Tinggi, Perlite memiliki daya tahan yang baik terhadap suhu tinggi, sehingga sering digunakan sebagai bahan isolasi termal dalam berbagai aplikasi.
- 4) Non-Toksik, Perlite adalah bahan yang tidak beracun dan tidak berbahaya bagi manusia maupun lingkungan, menjadikannya pilihan yang aman untuk berbagai penggunaan.

3) Pemanfaatan Mineral Perlite

Mineral Perlite sangat berguna dalam pertanian dan hortikultura karena memiliki sifat-sifat yang unik. Berikut adalah beberapa cara pemanfaatan mineral Perlite sebagai bahan pembenah tanah:

- 1) Meningkatkan Drainase Tanah, Perlite memiliki porositas yang tinggi, memungkinkan air untuk dengan mudah mengalir melalui tanah. Ini membantu menghindari genangan air dan mengurangi risiko pembusukan akar tanaman akibat kelebihan air.
- 2) Meningkatkan Aerasi Tanah, Struktur berpori Perlite memungkinkan udara untuk meresap ke dalam tanah dengan lebih baik. Ini penting untuk pertukaran oksigen dan karbon dioksida di akar tanaman.
- 3) Mengurangi Kepadatan Tanah, Perlite, sebagai bahan yang ringan, dapat digunakan untuk mengurangi kepadatan tanah yang padat. Ini membantu akar tanaman menembus tanah dengan lebih mudah dan mempromosikan pertumbuhan akar yang sehat.
- 4) Meningkatkan Retensi Air, Perlite terkenal karena kemampuannya untuk mengalirkan air dengan baik, ia juga dapat menahan sejumlah kecil air di dalam pori-porinya. Ini berarti Perlite dapat membantu menjaga kelembaban tanah dan mencegah tanah menjadi terlalu kering, terutama dalam kondisi cuaca panas.
- 5) Pengendalian pH tanah, Perlite biasanya bersifat netral hingga sedikit basa. Ketika digunakan sebagai bahan pembenah tanah dalam tanah yang bersifat asam, Perlite dapat membantu menyesuaikan pH tanah menjadi lebih netral atau sedikit basa, meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.
- 6) Mengurangi Berat Pot dan Kontainer, Perlite digunakan dalam campuran media pertumbuhan tanaman dalam pot atau kontainer. Ini membantu dalam drainase dan aerasi akar tanaman, serta mengurangi berat keseluruhan pot atau kontainer, membuatnya lebih mudah untuk dipindahkan.
- 7) Meningkatkan KTK, Perlite mungkin tidak memiliki KTK yang tinggi, tetapi dapat membantu dalam menahan dan melepaskan beberapa hara. Ini adalah keuntungan

tambahan dalam meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.

Pemanfaatan Perlite sebagai bahan pembenah tanah membantu meningkatkan struktur dan tekstur tanah, mengurangi risiko penyakit tanaman, dan meningkatkan produktivitas pertanian dan pertumbuhan tanaman. Ini terutama penting dalam pot dan wadah, serta dalam proyek pertanian hidroponik dimana kondisi tanah sangat terkendali. Perlite telah menjadi komponen penting dalam banyak campuran media pertumbuhan tanaman yang digunakan di seluruh dunia.

4) Pembentukan Mineral Perlite

Mineral Perlite adalah batuan yang terbentuk melalui proses geologis yang unik yang dikenal sebagai perlakuan panas. Berikut adalah langkah-langkah dalam pembentukan mineral Perlite, yaitu:

- 1) Batuan Vulkanik Asal, Perlite berasal dari batuan vulkanik awal yang memiliki tingkat kandungan silika (SiO_2) yang tinggi, seperti Obsidian atau Riolit. Batuan vulkanik ini memiliki komposisi kimia dan mineralogis yang mendukung proses pembentukan Perlite.
- 2) Pelapukan Alamiah, Batuan vulkanik ini mengalami proses pelapukan alami yang disebabkan oleh cuaca, air, dan tekanan alam. Proses pelapukan ini dapat berlangsung selama ribuan tahun.
- 3) Paparan Panas dan Tekanan Alam, Langkah kunci dalam pembentukan perlite adalah ketika batuan vulkanik yang terlapuk ini terkena panas dan tekanan alam yang sangat tinggi. Proses ini biasanya terjadi ketika batuan vulkanik terkubur dalam kerak bumi.
- 4) Ekspansi Perlite, Saat batuan vulkanik terpapar panas ekstrem, air yang terperangkap dalam batuan mulai menguap dengan cepat. Tekanan yang dihasilkan oleh uap air yang terbentuk selama penguapan ini menyebabkan batuan vulkanik mengalami perpecahan

dan ekspansi. Partikel mineral dalam batuan terpisah dengan baik, membentuk struktur berpori yang khas perlite.

- 5) Pembentukan Porositas dan Pori Mikroskopis, Proses ekspansi menghasilkan banyak pori-pori mikroskopis di dalam Perlite. Pori-pori ini adalah rongga-rongga yang terbentuk oleh gelembung-gelembung gas dan uap air yang dilepaskan selama penguapan.
- 6) Pembentukan Struktur Perlite, Perlite yang terbentuk memiliki struktur berpori dengan banyak rongga mikroskopis yang berisi udara. Struktur ini memberikan Perlite sifat fisik yang unik, termasuk ringan dan berpori.
- 7) Penambangan Perlite, Perlite yang terbentuk terdapat dalam lapisan batuan vulkanik yang lebih besar. Untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, perlite diekstraksi melalui proses penambangan dan kemudian diolah menjadi berbagai bentuk, seperti bubuk, butiran, atau potongan, sebelum dijual dan digunakan dalam berbagai aplikasi.

Penting untuk dicatat bahwa Perlite adalah contoh mineraloid, bukan mineral yang memiliki komposisi kimia dan struktur kristal yang tetap. Ini karena pembentukannya tidak melibatkan proses kristalisasi kimia yang biasanya terkait dengan pembentukan mineral mineral. Perlite merupakan bahan yang sangat bermanfaat dalam berbagai aplikasi, seperti isolasi termal, media pertumbuhan tanaman, pengisi dalam campuran beton, dan banyak lagi, berkat struktur berpori yang unik yang dimilikinya.

Vermikulit dan perlite adalah dua bahan yang umumnya digunakan dalam pertanian dan industri konstruksi. Vermikulit memiliki struktur lapisan dengan kemampuan penyerapan air dan tukar kation yang baik, sementara perlite adalah bahan berpori yang ringan dengan tekstur berpori. Keduanya memiliki peran yang penting dalam meningkatkan sifat fisik tanah dan media pertumbuhan tanaman serta digunakan dalam berbagai aplikasi industri yang berbeda.

10.8. Mineral P Alam

Cadangan alami P mengkontribusikan sekitar 80-90% dari total produksi P global. P alam ini terbentuk pada berbagai periode geologi yang menghasilkan beragam sifat fisik, kimia, dan mineralogi. Sebaran deposit P alam tersebar di seluruh dunia sesuai dengan karakteristik geografis dan geologi setiap wilayah. Diperkirakan terdapat sekitar 200-300 miliar ton cadangan P alam yang beragam kualitasnya tersebar di seluruh dunia.

Cadangan terbesar P alam dapat ditemukan di Maroko, USA, dan Cina. Deposito P ini umumnya mengandung mineral Karbonat-Fluorapatit yang lebih dikenal dengan nama Francolit. Keberadaan tingkat karbonat yang tinggi dalam Francolit memungkinkan penggantian dengan senyawa P, sehingga Francolit tersebut sangat cocok digunakan langsung sebagai pupuk P atau amandemen tanah.

Meskipun potensi cadangan P alam di Indonesia cukup besar, penggunaannya masih terbatas. Hal ini disebabkan oleh variasi kadar P yang signifikan dalam P alam yang ditemukan di Indonesia dan juga kurangnya sosialisasi mengenai hasil penelitian mengenai P alam kepada para petani. Cadangan P alam di Indonesia cenderung terbatas dan kurang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan P dalam tanah-tanah yang bersifat mineral masam. Distribusi dari cadangan P alam di Indonesia dapat diidentifikasi melalui peta yang disajikan dalam (Gambar 10.8) dan ilustrasi mineral P alam dapat dilihat pada (Gambar 10.9).



Gambar 10.8 Sebaran P alam



Gambar 10.9. P alam

P alam, sebagai salah satu jenis pembenah tanah, memegang peran yang signifikan dalam upaya meningkatkan kesuburan tanah. Pembenah tanah merujuk pada zat tambahan yang digunakan untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah dalam konteks pertanian. P alam, yang mengandung unsur P, menjadi salah satu pembenah tanah yang paling umum digunakan karena P merupakan unsur esensial bagi pertumbuhan tanaman. Tulisan ini akan mengulas secara mendalam peran dan manfaat P alam sebagai pembenah tanah dalam pertanian.

- 1) Sifat Kimia P Alam. P alam umumnya terdiri dari P Ca (apatit), P aluminium, atau P besi. P Ca adalah bentuk yang paling umum dan memiliki peranan penting dalam pembenahan tanah. P dalam P alam hadir dalam bentuk P anorganik, yang merupakan bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Ketika P alam diterapkan pada tanah, P dalam bentuk ini larut dalam air tanah dan menjadi tersedia bagi tanaman.
- 2) Struktur Mineral P Alam. P alam merupakan senyawa mineral yang terdiri dari berbagai bentuk P yang mengandung unsur P. Struktur mineral P alam dapat bervariasi tergantung pada jenis P yang ada. Dalam konteks pertanian dan pembenah tanah, P alam yang paling umum digunakan adalah P Ca, yang lebih dikenal sebagai apatit. Berikut adalah penjelasan tentang struktur mineral P Ca (apatit):
- 3) Komposisi Kimia, P Ca memiliki komposisi kimia utama yang terdiri dari unsur-unsur utama, yaitu P (P), Ca (Ca), dan oksigen (O). Formula kimianya adalah $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F},\text{Cl})$, di mana unsur P (P) terikat dengan unsur oksigen (O) dan Ca (Ca). Variasi komposisi ini tergantung pada jenis apatit dan kandungan unsur lain seperti fluorin (F) atau klorin (Cl).
- 4) Struktur Kristal, P Ca memiliki struktur kristal yang kompleks. Secara umum, struktur kristalnya bersifat heksagonal, di mana atom-atom penyusunnya

membentuk susunan heksagonal yang teratur. Struktur ini menciptakan lapisan-lapisan dalam senyawa yang mengandung ion-ion Ca, P, dan oksigen.

- 5) Susunan Molekul, Susunan molekul dalam P Ca terdiri dari ion-ion P yang berikatan dengan ion-ion Ca. Terdapat juga ion hidroksil (OH) atau ion fluorin (F-) yang dapat menggantikan ion hidroksil dalam struktur apatit, tergantung pada variasi mineralnya. Struktur ini membentuk ikatan kimia yang kuat antara P dan Ca dalam senyawa ini.
- 6) Variasi Mineral, Selain P Ca, terdapat beberapa variasi apatit yang dapat ditemukan dalam P alam, seperti hidroksilapatit (apatit yang mengandung ion hidroksil), fluorapatit (apatit yang mengandung ion fluorin), dan klorapatit (apatit yang mengandung ion klorin). Variasi ini menciptakan P alam dengan karakteristik fisik dan kimia yang berbeda.

Bentuk Fisik, Secara fisik, P Ca dalam P alam dapat berbentuk butiran, kristal, atau batuan. P alam sering ditemukan dalam bentuk mineral padat yang dapat dipecah menjadi butiran atau bubuk untuk aplikasi sebagai pupuk P.

Struktur mineral P alam ini memiliki relevansi yang signifikan karena menentukan ketersediaan P bagi tanaman dalam tanah. Proses pelarutan dan ketersediaan P dalam tanah sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia P alam. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang struktur mineral P alam merupakan hal penting dalam praktik pertanian dan pengelolaan sumberdaya alam.

1) Peran P Alam dalam Pembenahan Tanah

P alam memiliki peran yang sangat penting sebagai pembenah tanah dalam pertanian. Berikut adalah penjelasan mengenai peran P alam dalam pembenahan tanah:

- 1) Peningkatan Ketersediaan P, Salah satu peran utama P alam adalah menyediakan P, yang merupakan unsur esensial bagi pertumbuhan tanaman. P dalam bentuk P

alam dapat larut dalam tanah dan menjadi sumber P yang tersedia bagi tanaman. Tanaman memerlukan P untuk proses-proses penting seperti fotosintesis, metabolisme energi, dan pembentukan DNA.

- 2) Pengembalian Keseimbangan Hara, Tanah yang telah digunakan untuk budidaya tanaman dalam jangka waktu yang lama cenderung mengalami penurunan kandungan P. P alam membantu mengembalikan keseimbangan hara dalam tanah, menghindari kekurangan P yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman.
- 3) Perbaikan Sifat Kimia Tanah, P alam dapat mengubah sifat kimia tanah, terutama pada tanah yang bersifat asam. P alam bertindak sebagai agen penyeimbang pH tanah, membantu menaikkan pH pada tanah yang terlalu asam. Tanah dengan pH yang lebih netral atau sedikit alkali cenderung mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik.
- 4) Perbaikan Sifat Fisik Tanah, P alam juga dapat mempengaruhi sifat fisik tanah. Ini dapat membantu meningkatkan tekstur tanah, meningkatkan daya tahan tanah terhadap erosi, dan memperbaiki kapasitas tanah dalam menahan air. Tanah yang lebih baik secara fisik dapat mendukung akar tanaman untuk lebih baik menyerap air dan hara.
- 5) Peningkatan Produktivitas Tanaman, Dengan meningkatkan ketersediaan P dan meningkatkan kondisi tanah secara keseluruhan, P alam berkontribusi pada peningkatan produktivitas tanaman. Tanaman yang mendapatkan pasokan P yang cukup dapat menghasilkan hasil yang lebih tinggi dan berkualitas.
- 6) Dosis dan Manajemen yang Tepat, Penting untuk menerapkan dosis P alam yang tepat sesuai dengan analisis tanah dan jenis tanaman yang ditanam. Manajemen yang tepat akan memastikan bahwa P digunakan secara efisien dan tidak berlebihan, menghindari polusi lingkungan.

Secara keseluruhan, peran P alam sebagai pembenah tanah sangat penting dalam menciptakan kondisi tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan produktif. Penerapan pembenah tanah ini merupakan bagian integral dari praktik pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk meningkatkan hasil panen dan menjaga kualitas tanah dalam jangka panjang.

2) Pembentukan Mineral P

Proses pembentukan mineral P alam adalah serangkaian peristiwa geologis yang memakan waktu jutaan tahun. Tahapan-tahapan dalam pembentukan mineral P alam dapat diuraikan sebagai berikut:

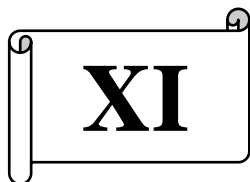
- 1) Pembentukan Sumber P, Proses ini dimulai dengan adanya sumber P, yang bisa berupa endapan organik atau batuan P. Endapan organik terbentuk melalui akumulasi sisa-sisa organisme laut, seperti cangkang mikroorganisme dan tulang ikan, yang mengandung P. Batuan P, di sisi lain, terbentuk melalui mineralisasi P dalam batuan sedimen.
- 2) Pelarutan P, P yang terkandung dalam endapan organik atau batuan P mengalami pelarutan karena interaksi dengan air hujan atau air tanah yang mengandung asam karbonat. Air ini meresap ke dalam lapisan P dan mulai melarutkan senyawa P dari endapan.
- 3) Transportasi, Ion P yang terlarut dalam air akan diangkut oleh aliran air menuju daerah yang lebih rendah. Selama perjalanan ini, ion P dapat berinteraksi dengan mineral-mineral lain yang ditemui dalam tanah atau batuan di sepanjang jalurnya.
- 4) Pengendapan, Ketika ion P mencapai daerah di mana kondisi fisikokimia berubah, seperti peningkatan pH, penurunan suhu, atau peningkatan tekanan, mereka mengendap dan membentuk kristal P. Proses pengendapan ini biasanya terjadi di dasar danau, laut, atau rawa, di mana P mengendap sebagai endapan P alam.

- 5) Transformasi Mineral, Seiring berjalannya waktu, endapan P alam dapat mengalami transformasi mineralogis tambahan. Mineral P awal, seperti apatit, dapat mengalami perubahan mineral menjadi varietas P yang berbeda dalam respons terhadap perubahan lingkungan dan komposisi kimia.
- 6) Akumulasi Lebih Lanjut, Endapan P alam dapat terus mengalami akumulasi seiring waktu, baik melalui deposit alamiah yang berkelanjutan maupun melalui pengendapan P baru yang terjadi akibat proses geologis yang berlanjut.

Pemahaman yang mendalam tentang proses ini sangat penting karena P alam merupakan sumberdaya yang krusial untuk berbagai keperluan, termasuk pertanian dan industri pupuk. Pengelolaan yang berkelanjutan dari sumberdaya P alam menjadi semakin penting mengingat peningkatan permintaan global. Studi ilmiah yang berkelanjutan dalam menggali lebih dalam pengetahuan tentang pembentukan P alam akan membantu dalam upaya pengelolaan dan konservasi yang lebih efisien.

5) Aplikasi P Alam dalam Pertanian

P alam digunakan dalam bentuk pupuk P alam yang tersedia dalam bentuk butiran atau serbuk. Pupuk ini diterapkan secara merata di lahan pertanian, dengan dosis aplikasi yang disesuaikan dengan jenis tanaman yang ditanam serta analisis tanah yang ada. P alam memainkan peran kunci dalam pembenahan tanah dalam konteks pertanian. Dengan meningkatkan ketersediaan P, memperbaiki sifat fisik tanah, dan mengatur pH, P alam membantu menciptakan kondisi yang lebih optimal bagi pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang penggunaan dan manfaat P alam sebagai pembenah tanah sangat penting untuk mendukung pertanian berkelanjutan dan peningkatan produktivitas pertanian.



XI

PRODUKTIVITAS DAN KESUBURAN TANAH

Tanah dapat dianggap sebagai penyedia makanan bagi tumbuhan. Kesuburan tanah merupakan aspek penting dalam kaitannya dengan hubungan antara tanah dan tanaman, terutama dalam konteks pertumbuhan tanaman yang bergantung pada ketersediaan hara dalam tanah. Hara ini menjadi kunci bagi tanaman untuk menjalani berbagai proses metabolik tanaman.

Kesuburan tanah adalah kemampuan suatu tanah untuk mensuplai hara yang diperlukan oleh tanaman agar tanaman dapat tumbuh dan berproduksi. Kandungan hara tanah dipengaruhi oleh jenis batuan induk dan mineral-mineral tanah. Penting untuk diingat bahwa kandungan mineral dalam tanah dapat bervariasi antara wilayah-wilayah berbeda, yang dipengaruhi oleh komposisi bahan induk pembentuk tanah dan proses kimia serta biokimia yang terjadi dalam tanah.

Keseimbangan hara penting ditekankan karena dominasi satu jenis hara dalam tanah dapat mengganggu ketersediaan hara lainnya. Perlu dicatat bahwa kesuburan tanah bersifat spesifik (*site specific and crop specific*), berarti tanah yang cocok untuk suatu tanaman belum tentu cocok atau subur untuk tanaman lainnya.

Produktivitas tanah memiliki kesamaan dengan kesuburan tanah, tetapi perbedaannya mencakup aspek ekonomi yang dominan dalam hal kemampuan berproduksi. Produktivitas tanah berarti kemampuan tanah untuk berproduksi optimal dengan pengelolaan yang optimal. Dalam konteks ini, tanah produktif akan memberikan keuntungan ekonomi bagi pemilik atau pengelola lahan. Produktivitas tanah secara esensial mengukur produktivitas ekonomi tanah

dan mengidentifikasi potensi hasil yang dapat diperoleh dengan praktik pertanian yang optimal.

11.1. Produktivitas Tanah

Tingkat produktivitas tanah dapat ditingkatkan melalui pengelolaan lahan yang bijak. Upaya perbaikan kesuburan tanah melibatkan sejumlah tindakan, termasuk aplikasi pupuk yang tepat untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Ini adalah langkah-langkah yang diperlukan dalam upaya meningkatkan produktivitas tanah.

Perlu dicatat bahwa, meskipun produktivitas tanah dan kesuburan tanah memiliki keterkaitan erat, keduanya memiliki perbedaan konseptual yang penting. Produktivitas tanah lebih fokus pada aspek ekonomi, yaitu kemampuan tanah untuk menghasilkan hasil pertanian yang menguntungkan secara finansial. Sementara itu, kesuburan tanah lebih bersifat biologis dan kimia, menunjukkan kemampuan tanah untuk mensuplai hara agar tanaman dapat tumbuh optimal. Terdapat hubungan kompleks antara kesuburan dan produktivitas tanah, di mana tanah yang subur mampu menghasilkan tanaman yang produktif, tetapi produktivitas tanah juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti manajemen lahan, iklim, dan faktor lingkungan lainnya. Untuk memperjelas perbedaan antara kesuburan tanah dan produktivitas tanah, informasi lebih lanjut dapat ditemukan dalam (Tabel 11.1).

Dalam rangka meningkatkan produktivitas tanah, penting untuk memahami perbedaan dan hubungan antara kesuburan dan produktivitas tanah serta mengambil langkah-langkah yang tepat dalam manajemen lahan pertanian. Tanah tropis memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan tanah di daerah lain karena tanah tropis cenderung asam, retensi air rendah, dan miskin hara. Oleh karena itu, penggunaan mineral harus disesuaikan dengan karakteristik ini. Kesuburan tanah sangat penting untuk mendukung pertanian dan produksi pangan yang berkelanjutan.

Tabel 11.1. Perbedaan antara produktivitas dan kesuburan tanah

Variabel	Kesuburan Tanah	Produktivitas Tanah
Definisi	Kemampuan tanah untuk suplai hara seimbang dan optimal untuk pertumbuhan tanaman	Kemampuan tanah untuk berproduksi secara optimal
Ruang lingkup	Bagian dari produktivitas tanah.	Mencakup kondisi tanah, nilai pasar, ekonomi, <i>supply and demand</i>
Unit	Produksi tanaman (kg/ha)	Nilai produksi (Rp/ha)
Harga pasar	Tidak terkait dengan fluktuasi harga pasar, ditingkatkan via pengelolaan tanah dan air optimal, pemupukan, dll	Jika harga pasar meningkat, maka produktivitas meningkat walaupun kesuburan tanah rendah
Pengaruh faktor	Dipengaruhi oleh kimia, fisik dan biologi tanah dan keseimbangan hara tanah	Dipengaruhi oleh kesuburan tanah, biaya produksi, dan permintaan produk substitusi

11.2. Kesuburan Tanah

Penerapan teknologi dalam pengelolaan kesuburan tanah bergantung pada beberapa faktor kunci, seperti:

- 1) Imbalan tambahan antara hasil panen atau nilai tambah komoditas yang diharapkan dengan biaya produksi yang harus dikeluarkan untuk.
- 2) Kemampuan finansial masyarakat untuk mendukung intervensi teknologi.
- 3) Ketrampilan teknis petani dalam menerapkan teknologi tersebut secara berkelanjutan.

Tindakan evaluasi kesuburan tanah dapat dilaksanakan dengan metode berikut ini:

- 1) Observasi Tanda Defisiensi Hara pada Tanaman, Pengamatan visual terhadap tanaman dapat memberikan petunjuk awal tentang potensi defisiensi hara tanah. Warna daun yang tidak normal, pertumbuhan yang terhambat, atau gejala lainnya dapat mengindikasikan masalah kesuburan tanah.

- 2) Analisis Tanaman, Analisis komposisi tanaman, terutama serapan hara N, P, dan K. Dengan membandingkan hasil analisis ini dengan standar yang telah ditetapkan, maka dapat menilai apakah tanaman mengalami defisiensi hara atau tidak.
- 3) Analisis Tanah, Analisis ketersediaan hara makro primer (N, P, dan K) ini mampu memberikan informasi tentang tingkat ketersediaan hara tanah yang dapat digunakan oleh tanaman. Hasil analisis tanah ini digunakan untuk menentukan dosis pemupukan.

1) Faktor Faktor Kesuburan Tanah

Variabilitas kesuburan tanah dipengaruhi oleh faktor dan proses pembentuk tanah utama, yaitu bahan induk, iklim, relief, organisme, dan lamanya waktu yang diperlukan untuk pembentukan tanah.

a. Faktor Alam

Berikut adalah beberapa faktor alam yang secara signifikan mempengaruhi kesuburan tanah:

- 1) Bahan Induk Tanah merupakan hasil pelapukan batuan asal, memiliki pengaruh penting pada kandungan kimia tanah. Proses pelapukan ini melibatkan reaksi biogeofisik tanah, yang menghasilkan berbagai jenis kesuburan tanah. Komposisi kimia mineral-mineral bahan induk sangat mempengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman.
- 2) Topografi atau Relief berdampak signifikan terhadap kesuburan tanah. Faktor ini mempengaruhi drainase, erosi tanah, *runoff*, dan iklim mikro di suatu wilayah. Tanah berlereng tererosi lebih intensif dan kesuburan tanah rendah, proses pencucian tergantung pada topografi.
- 3) Umur Tanah, Tanah yang sangat tua kurang subur karena penyerapan berkelanjutan dari hara oleh tanaman. Sebaliknya, tanah yang muda mungkin juga kurang subur karena masih dalam proses pembentukan.

- 4) Hujan, suhu, angin, kelembaban, dan angin mempengaruhi kesuburan tanah. Daerah dengan curah hujan tinggi cenderung mengalami pencucian hara ke lapisan *subsoils* menyebabkan kesuburan rendah. Selain itu, iklim tropis dan sub-tropis dapat mempercepat dekomposisi bahan organik, yang dapat mempengaruhi kesuburan tanah.
- 5) Profil Tanah dalam lebih subur dibandingkan dengan profil tanah dangkal karena kedalaman profil tanah mempengaruhi KTK untuk menahan air, dan kemampuan sistem akar untuk menyerap air dan hara yang diperlukan untuk pertumbuhan.
- 6) Kondisi Fisik Tanah, Tekstur dan struktur memainkan peran penting dalam kesuburan tanah, tanah bertekstur liat atau debu memiliki kapasitas yang lebih baik untuk menahan air dan hara dibandingkan dengan tanah pasir.
- 7) Erosi Tanah, Erosi tanah mengikis lapisan tanah paling subur, hara yang hilang melalui erosi dapat melebihi jumlah yang digunakan untuk tanaman, mengakibatkan penumpukan garam, perubahan pH tanah yang ekstrem, dan masalah lainnya yang merugikan kesuburan tanah.

Pemahaman tentang faktor-faktor ini penting dalam mengelola kesuburan tanah, terutama dalam konteks pertanian dan konservasi sumberdaya lahan.

b. Faktor Buatan

Faktor-faktor ini sangat penting dianalisis dalam upaya mempertahankan dan meningkatkan kesuburan tanah untuk mendukung pertanian berkelanjutan.

- 1) Genangan Air dan Aerasi Tanah, Kualitas aerasi tanah yang baik dicirikan oleh pergerakan udara yang lancar dari dalam dan keluar tanah. Aerasi tanah yang buruk dapat menghambat pergerakan udara dalam tanah, menghambat respirasi dan pertumbuhan akar, penyerapan air dan hara, serta menurunkan pH tanah.

- 2) Sistem atau Pola Tanam, Monokultur terus-menerus menyebabkan terjadi akumulasi zat beracun dari akar tanaman yang sama, dan defisiensi hara karena penyerapan yang berulang dengan jenis yang sama. Rotasi tanaman dapat mendukung kesuburan tanah dengan mengurangi energi hujan pada tanah melalui intersepsi air hujan.
- 3) Aplikasi Pestisida, Untuk jangka panjang, aplikasi pestisida dapat mengurangi kesuburan tanah, merusak pertumbuhan tanaman dan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme tanah, dan menghambat proses dekomposisi.
- 4) Kemasaman Tanah, pH tanah mempengaruhi keseimbangan hara tanah. Jika pH tanah netral dapat meningkatkan ketersediaan hara, pH asam atau basa dapat menurunkan ketersediaan hara.
- 5) Status Bahan Organik Tanah, Bahan organik adalah sumber utama hara tanah, meningkatkan kesuburan fisik-kimia dan biologi tanah, infiltrasi air, penahanan air, aerasi, penetrasi akar tanaman, aktivitas mikroba dalam proses dekomposisi, yang merupakan komponen penting dari kesuburan tanah. Tanah yang kaya akan bahan organik cenderung lebih subur.

2) Indikator Kesuburan Tanah

Beberapa indikator yang digunakan untuk mengukur kesuburan tanah, yaitu mencakup parameter-parameter berikut ini:

- 1) Kejenuhan Basa (KB), KB mengacu pada akumulasi kation basa dalam tanah dan diukur dalam persentase. Peningkatan nilai persentase KB berarti peningkatan basa-basa tanah pada pH tertentu yang mendukung kesuburan kimiawi yang optimal secara keseluruhan.
- 2) Kapasitas Absorpsi, Kapasitas absorpsi adalah kemampuan tanah untuk mengikat kation dan anion (misalnya koloid bahan organik dan liat). Kapasitas

absorpsi mencerminkan kemampuan tanah untuk melakukan pertukaran hara, semakin tinggi kapasitas serapan, maka kesuburan tanah semakin meningkat.

- 3) Bahan organik memiliki peran multifungsi dalam tanah, termasuk perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, serta menyediakan hara dan mengaktifkan proses dalam tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman.
- 4) Struktur tanah yang baik dan agregat tanah stabil. Struktur tanah yang baik dapat meningkatkan penahanan dan mobilisasi air, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik.
- 5) Organisme Tanah (mikroorganisme, jamur benang, dan fauna tanah) berperan untuk meningkatkan kesuburan tanah dengan menghasilkan hasil sampingan yang menguntungkan, seperti pelarut P, penambat N, dan perbaikan struktur tanah melalui pembentukan agregat tanah.
- 6) Pertumbuhan Tanaman di Lapangan, tanaman yang tumbuh optimal menunjukkan kesuburan tanah yang baik secara keseluruhan.

11.3. Pentingnya Kajian Geologi, Tanah, dan Tanaman

Hubungan antara geologi, tanah, dan tanaman sangat erat dan kompleks, Geologi mempengaruhi pembentukan dan sifat tanah, dan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Batuan beku, seperti granit, cenderung menghasilkan tanah berpasir, sementara batuan sedimen, seperti lempung, dapat menghasilkan tanah liat. Proses geologis seperti pelapukan kimia dan fisik, erosi, dan sedimentasi juga mempengaruhi pembentukan tanah.

Sifat biogeofisik tanah sangat dipengaruhi oleh geologi. Misalnya, tanah yang terbentuk dari batuan kapur memiliki pH yang lebih tinggi dan kandungan Ca yang lebih tinggi, sementara tanah yang terbentuk dari batuan Basalt mungkin lebih kaya Mg dan K. Topografi dan struktur geologi suatu daerah mempengaruhi pola drainase tanah. Tanah yang

memiliki drainase yang baik akan mencegah genangan air berlebihan yang dapat merusak akar tanaman. Selain itu, struktur geologi juga mempengaruhi aerasi tanah, yang penting bagi pernapasan akar tanaman. Kondisi geologis dan sifat tanah akan mempengaruhi jenis tanaman yang dapat tumbuh dengan baik di suatu wilayah. Tanaman tertentu mungkin lebih cocok untuk tanah dengan tekstur atau pH tertentu. Pemahaman tentang sifat-sifat tanah yang dipengaruhi oleh geologi dapat membantu petani dan tukang kebun dalam pemilihan tanaman yang tepat.

11.4. Studi Kasus dan Contoh Praktik Terbaik

Beberapa contoh kasus berikut ini menjelaskan bagaimana geologi dan tanah mempengaruhi pertanian di berbagai wilayah, yaitu:

- 1) Wilayah Kering Afrika. Wilayah Sahel di Afrika Utara didominasi oleh tanah gurun dan semi-gurun dengan ketersediaan air yang sangat terbatas. Geologi dan sifat tanah yang kurang subur menghambat pertanian. Petani di wilayah ini sering menghadapi tantangan dalam mendapatkan air untuk irigasi dan pertanian berkelanjutan. Praktik-praktik konservasi tanah dan air sangat penting di sini.
- 2) Pertanian di Delta Sungai Nil, Mesir, Delta Sungai Nil adalah wilayah yang sangat subur karena sedimentasi berlimpah dari Sungai Nil. Geologi Delta Nil ini memberikan tanah yang sangat subur dan cocok untuk pertanian.
- 3) Pertanian di Midwest US (*Corn Belt*), Tanah-tanah di Midwest US adalah hasil dari proses deposisi oleh angin (*Loess soils*) selama ribuan tahun yang kaya mineral dan merupakan wilayah pertanian utama di dunia. Tanah subur ini menjadi landasan bagi pertanian intensif, seperti tanaman Jagung, Gandum, dan Kedelai.
- 4) Pertanian di India Selatan (Tamil Nadu), Tamil Nadu memiliki beragam jenis tanah. Jenis tanah yang berbeda

mempengaruhi jenis tanaman yang dapat ditanam, misalnya, tanah liat berlempung cocok untuk padi.

- 5) Pertanian di Cina Utara (Lembah Huang-Huai-Hai), Lembah Huang-Huai-Hai memiliki tanah-tanah yang bergantung pada air irigasi dari sungai-sungai besar dan cocok untuk padi. Tanah-tanah ini sangat bergantung pada sistem irigasi yang memasok air selama musim kemarau.
- 6) Pertanian Organik di Prancis (Provence), Di Provence, tanah-tanah terdiri dari batuan kapur dan batu gamping, yang menciptakan tanah cocok untuk pertanian organik, misalnya pertanian anggur organik yang terkenal.

Contoh-contoh ini menunjukkan bagaimana kondisi geologi dan sifat tanah yang berbeda di berbagai wilayah dunia dapat mempengaruhi jenis pertanian yang mungkin dilakukan dan strategi yang harus digunakan untuk mencapai pertanian yang berkelanjutan.

Pertanian yang sukses sering kali didasarkan pada pemanfaatan faktor geologi dan sifat tanah dengan optimal. Keberhasilan praktik pertanian ini sangat bergantung pada pemahaman yang mendalam tentang geologi regional dan karakteristik tanah di suatu wilayah. Pendekatan ini memungkinkan petani untuk mengidentifikasi jenis tanaman yang paling sesuai dengan tanah yang ada, memaksimalkan hasil panen, dan menjaga keseimbangan lingkungan.



DAFTAR PUSTAKA

- Andongma W.T., Gajere J.N., Amuda A.K., Edmond R.R.D., Faisal M., Yusuf Y.D. 2021. Mapping of hydrothermal alterations related to gold mineralization within parts of the Malumfashi schist belt, North-Western Nigeria, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 24(3):401-417.
- Armanto, M. E. and Wildayana, E. 2023. Predictive Mapping for Soil pH and Phosphate based on Kriging Interpolation. International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT), Advances in Biological Sciences Research 26, pp. 254-262.
- Armanto, M.E. 2019a. Comparison of Chemical Properties of Peats under Different Land Uses in South Sumatra, Indonesia. Journal of Ecological Engineering, Vol 20(5); 184-192, May 2019 (SCOPUS Q3). IF: 0.22.
- Armanto, M.E. 2019b. Improving Rice Yield and Income of Farmers by Managing the Soil Organic Carbon in South Sumatra Landscape, Indonesia. Iraqi Journal of Agricultural Sciences Vol 50(2): 653-661 (SCOPUS Q3). IF: 0.19.
- Armanto, M.E. 2019c. Soil Variability and Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Biomass along Ultisol Toposequences. Journal of Ecological Engineering, Vol 20(7); 196-204, July 2019 (SCOPUS Q3). IF: 0.22.
- Armanto, M.E. 2020d. Sistem Informasi Sumberdaya Lahan. Penerbit dan Percetakan Unsri. ISBN 978-979-587-822-3. 272 pages.

- Armanto, M.E. and E. Wildayana. 2023a. Predictive Mapping for Soil pH and Phosphate based on Kriging Interpolation. ICOSEAT 2022, ABSR 26, pp. 254–262.
- Armanto, M.E. dan E. Wildayana. 2023b. Keunikan dan Kemampuan Lahan Gambut. Penerbit dan Percetakan Unsri. ISBN 978-623-399-120-9. 310 pages.
- Armanto, M.E., E. Wildayana, and B. Syakina. 2023. Deciphering the anthropogenic challenges of peat swamp forest degradation to improve awareness and emphasis on restoration in South Sumatra. *Forestry Ideas*, Vol. 29(2); 207–215. SCOPUS Q4, IF 0.17.
- Armanto, M.E., M.A. Adzemi, E. Wildayana and M.S. Imanudin. 2013. Land Evaluation for Paddy Cultivation in the Reclaimed Tidal Lowland in Delta Saleh, South Sumatra, Indonesia. *Journal of Sustainability Science and Management*. Vol 8(1): 32-42. June 2013. (SCOPUS Q3) IF: 0.32.
- Armanto, M.E., Mohd Zuhdi, D. Setiabudidaya, Ngudiantoro, E. Wildayana, A. Hermawan, and M.S. Imanudin. 2022. Deciphering Spatial Variability and Kriging Mapping for Soil pH and Groundwater Levels. *JLSO Journal*, Vol 11(2); 187-196. Oct 2022.
- Bennison G.M. 1990. *An Introduction to Geological Structures and Maps*. Fifth Edition. Edward Arnold, A Division of Hodder and Stoughton, London.
- Cadigan, J.A., N.H. Jafari, C.L. Stagg, C. Laurenzano, B.D. Harris, A.E. Meselhe, J. Dugas, B. Couvillion, 2022. Characterization of vegetated and ponded wetlands with implications towards coastal wetland marsh collapse, *CATENA*, Vol 218, 106547.
- Chang C., Lin F., Zhou X., Zhao G. 2020. Hyperspectral response and estimation model of soil degradation Inkenli County, the Yellow River delta. *PLoS One* 15(1):e0227594.
- Delač, D., I. Kisić, Ž. Zgorelec, A. Perčin, P. Pereira, 2022. Slash-pile burning impacts on the quality of runoff waters in a

- Mediterranean environment (Croatia), CATENA, Vol 218, 106559.
- El-desoky H.M., Tende A.W., Abdel-Rahman A.M., Ene A., Awad H.A., Fahmy W., El-Awny H., Zakaly H.M.H. 2022. Hydrothermal alteration mapping using landsat8 and ASTeR data and geochemical characteristics of Precambrian rocks in the Egyptian shield: A case Study from Abu Ghalaga, Southeastern desert, Egypt. *Remote Sensing* 14(14): 3456.
- Heincke B., Jackisch R., Saartenoja A., Salmirinne H., Rapp S., Zimmermann R., Pirttijärvi M., Vest Sörensen., Gloaguen R., Ek L., Bergström J., Karenin A., Salehi S., Middleton M. 2019. Developing multi-sensor drones for geollogical mapping and mineral exploration: Setup and first results from the MULSedRO project. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin* 43: e20194303302.
- Holidi, M.E. Armanto, N. Damiri and D.D.A. Putranto. 2019. Characteristics of Selected Peatland Uses and Soil Moistures based on TVDI. *Journal of Ecological Engineering*, Vol 20(4); 194-200, April 2019 (SCOPUS Q3). IF: 0.22.
- Kheirfam, H. 2022. Spatial prioritization of wind-erosion-prone areas in the dried-up beds of Lake Urmia; using field sampling and in-vitro measurement, CATENA, Vol 217, 106507.
- Khokhlova, O.S., A.O. Makeev, A.V. Engovatova, T.N. Myakshina, 2022. Cultural layers and a paleosol of a Late Medieval settlement as proxies of environmental change and anthropogenic influence - A case study of Tula Kremlin, Russia, CATENA, Vol 218, 106544.
- Klautau de Araújo, T.L., Sousa, P., de Miranda Azeiteiro, U.M., and da Maia Soares, A.M.V. 2021. Brazilian Amazonia, deforestation and environmental degradation: Analyzing the process using game, deterrence and rational choice theories. *Environmental Science and Policy*, 117, 46–51.

- Kumar C., Chatterjee S., Oommen T., Guha A. 2020. Automated lithological mapping by integrating spectral enhancement techniques and machine learning algorithms using AVIRIS-NG hyperspectral data in gold-bearing granite-greenstone rocks in Hutti, India. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 86:102006.
- Luom, T.T., Phong, N.T., Smithers, S., and Van Tai, T. 2021. Protected mangrove forests and aquaculture development for livelihoods. *Ocean and Coastal Management*, 205, Article 105553.
- Lupinacci, C.M., F.T. da Conceição, L.G. Paschoal, 2022. Geomorphic responses due to the second-largest global producer of ceramic tiles in the State of São Paulo, Brazil, *CATENA*, Vol 218, 106550.
- Ma, S., H.Y. Wang, L.J. Wang, J. Jiang, J.W. Gong, S. Wu, G.Y. Luo, 2022. Evaluation and simulation of landscape evolution and its ecological effects under vegetation restoration in the northern sand prevention belt, China, *CATENA*, Vol 218, 106555.
- Martelet G., Gloaguen e., Døssing A., Silva E.L.S.d., Linde J., Rasmussen T.M., 2021. Airborne/UAV multisensor surveys enhance the geological mapping and 3D model of a pseudo skarn deposit in Ploumanac'h, French Brittany. *Minerals* 11: 1259.
- Meteorology, Climatology and Geophysics Agency of West Kalimantan Province. 2021. Total Rainfall and Number of Rainy Days at the BMKG Observation Station, 2000-2020. In. *Climate*. Pontianak. Cited 28 February 2022.
- Mierczyk M., Zagajewski B., Jarocińska A., Knapik R. 2016. Assessment of imaging spectroscopy for rock identification in the karkonosze Mountains, Poland. *Miscellanea Geographica* 20(1): 34-40.
- Migoń, P., F. Duszyński, 2022. Landscapes and landforms in coarse clastic sedimentary tablelands - Is there a unifying theme?, *CATENA*, Vol 218, 106545..

- Mohanty B., Gupta A., Das B.S. 2016. Estimation of weathering indices using spectral reflectance over visible to midinfrared region. *Geoderma* 266: 111-119.
- Mulder V.L., Plötze M., De Bruin S., Schaepman M.E., Mavrisc., Kokaly R.F., Egli M. 2013. Quantifying mineral abundances of complex mixtures by coupling spectral deconvolution of SWIR spectra (2.1-2.4 μm) and regression tree analysis. *Geoderma* 207: 279-290.
- Pal M., Rasmussen T., Porwal A. 2020. Optimized lithological mapping from multispectral and hyperspectral remote sensing images using fused multi-classifiers. *Re-mote Sensing* 12(1): 177.
- Park J., Kim K. 2019. Quantification of rock mass weathering using spectral imaging. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 119(12): 1039-1046.
- Peyghambari S., Zhang Y. 2021. Hyperspectral remote sensing in lithological mapping, mineral exploration, and environmental geology: An updated review. *Journal of Applied Remote Sensing* 15(3): 031501.
- Salehi S. 2018. Hyperspectral analysis of lithologies in the Arctic in areas with abundant lichen cover. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin* 41: 51-55.
- Saputra, S.C., M.E. Armanto, and M.S. Imanudin. 2020. The Impact of Combine Harvester Machine Usage on Soil Compaction and Some Soil Physical Properties in Mulya Sari Village, Tanjung Lago, Banyuasin. *Biovalentia Journal* Vol 6(1); 42-47, May 2020
- Schaefer L.N., Kereszturi G., Villeneuve M., Kennedy B. 2021. Determining physical and mechanical volcanic rock properties via reflectance spectroscopy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 420: 107393.
- Traore M., Wambo J.D.T., Ndepete C.P., Tekin S., Pour A.B., Muslim A.M. 2020. Lithological and alteration mineral mapping for alluvial gold exploration in the south east of Birao area, central African Republic using Landsat-8

- operational land imager (OLI) data. *Journal of African Earth Sciences* 170: 103933.
- Valjavec, M.B., A. Čarni, D. Žlindra, M. Zorn, A. Marinšek, 2022. Soil organic carbon stock capacity in karst dolines under different land uses, *CATENA*, Vol 218, 106548.
- Van der Meer F., kopačková V., koucká L., van der Werff H.M., Van Ruitenbeek F.j., Bakker W.H. 2018. Wave-length feature mapping as a proxy to mineral chemistry for investigating geologic systems: An example from the Rodalquilar epithermal system. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 64: 237–248.
- Wang, H., Cheng, P., Liang, P., Liu, K., and Nie, X. 2020. Invisible windfalls and wipeouts: What is the impact of spatial regulation on the welfare of land-lost farmers? *Habitat International*, 99(100), Article 102159.
- Ward, E.J. 2022. Wetlands under global change. In *Encyclopedia of Inland waters* (2nd ed., Vol. 1980). Elsevier Inc.
- Xie B.S., Zhou S.Y., Wu L.X. 2020. An integrated mineral spectral library using shared data for hyperspectral remote sensing and geological mapping. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 43: 69–75.
- Zheng G., Ryu D., Jiao C., Xie X., Cui X., Shang G. 2019. Visible and near-infrared reflectance spectroscopy analysis of a coastal soil Chronosequence Guanghui. *Remote Sensing* 11: 2336.
- Zhou K.F., Wang S.S. 2017. Spectral properties of weathered and fresh rock surfaces in the Xiemisitai metallogenic belt, NW Xinjiang, china. *Open Geosciences* 9: 322–339.
- Zuhdi, Mohd., M.E. Armanto, D. Setiabudidaya, Ngudiantoro, and Sungkono. 2019. Exploring Peat Thickness Variability Using VLF Method. *Journal of Ecological Engineering*, Vol 20(5); 142-148, May 2019 (SCOPUS Q3). IF: 0.22.

XIII

PENULIS



M. Edi Armanto, Prof. Dr.Sc.Agr. Ir.

Staf pengajar tetap pada Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya (Unsri) sejak tahun 1986, lahir di Palembang pada tanggal 02 September 1959. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Pertanian pada Fakultas Pertanian Unsri tahun 1985, memperoleh Dipl. Ing. Agr. (tahun 1989) dan Dr. Sc.Agr. di *Kiel University, Germany* (tahun 1992). Sejak 2004 sampai sekarang dipercaya sebagai *Full Professor* di Unsri(Gol IV/e) *Post-Doctorate Program in Kiel University Germany* tahun 1998 & tahun 2005 in *Freiburg University, Germany*. Tahun 1992-2006, aktif sebagai staf peneliti PPLH Unsri, 1996-1998 sebagai Kepala Bidang Penyajian Data dan Informasi Lingkungan BAPEDAL Jakarta dan 1999-2000 dipercaya sebagai *Management Training Specialist* di Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian, Jakarta. Sejak 2001 sampai sekarang mengajar di Program Pascasarjana Unsri. 2009-2015 sebagai *University Professor* di UMT Malaysia. 2017-2019 sebagai Kaprodi Program Doktor Ilmu-Ilmu Pertanian Unsri. Bidang kajian Ilmu Tanah yang diminati adalah *Soil Variability Analyses* dan tanah sebagai *Natural Body* dikaitkan dengan produktivitas lahan. Pada saat ini mengajar mata kuliah pada Strata I (Geologi, Analisis Bentang Lahan, Pemetaan, Morfologi dan Klasifikasi Tanah, *Landuse Planning* serta Perencanaan dan Pengembangan Wilayah), pada Strata II dan Strata III (Pengelolaan Lahan dan Ruang, Perencanaan dan Pengembangan Wilayah, Survai dan Evaluasi Lahan, Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, GIS dan Perwilayahan

Komoditas, Konservasi Sumberdaya Lahan serta Pengelolaan *Wetlands* dan Gambut). Penulis telah membimbing mahasiswa sebanyak 130 orang Sarjana Strata I, 38 orang Magister Strata II (Master), dan 20 orang Doktor Strata III (Doktor). Aktif melakukan penelitian dengan tema: *Soil Variability Analyses* dan *Soil Productivity*. Penulis aktif melakukan publikasi sebanyak 215 paper di jurnal internasional dan internasional bereputasi dan melakukan seminar (sebagai *keynote, invited speaker and participants*). Sebagian besar publikasi bertemakan: *Soil Variability Analyses, Soil Productivity and Sustainable Development Planning*. Penulis aktif menulis berbagai buku ajar, buku referensi dan praktikum yang merupakan buku pegangan mahasiswa Strata I, Strata II dan Strata III, antara lain:

- 1) Armanto, M.E. dan E. Wildayana. 2023. Keunikan dan Kemampuan Lahan Gambut. Penerbit dan Percetakan Unsri. ISBN 978-623-399-120-9. 310 pages.
- 2) Armanto, M.E., D. Fardiaz, Z. Idrus, S.A. Umar dan E. Wildayana. 2022. Pendekatan Pengembangan Wilayah dengan SWOT dan Kerangka Kerja Logis. Unsri Press. ISBN 978-979-587-987-9. 274 pages.
- 3) Armanto, M.E., Z. Idrus, S.A. Umar dan E. Wildayana. 2021. Perencanaan dan Pengembangan Wilayah. Unsri Press. ISBN 978-979-587-933-6. 266 pages.
- 4) Armanto, M.E. 2020. Sistem Informasi Sumberdaya Lahan. Unsri Press, Palembang. ISBN 978-979-587-822-3. 272 pages.
- 5) Armanto, M.E. 2013. Pemetaan Tematik Sumberdaya Lahan. Unsri Press, Palembang. ISBN 979-587-468-3. 180 pages.
- 6) Armanto, M.E. 2005. Kompetisi, Konflik, Strategi dan Paket Perencanaan Penggunaan Sumberdaya Lahan. Pidato Pengukuhan sebagai Guru Besar dalam Bidang Ilmu Tanah

- pada FP Unsri. Unsri Press. 03 Maret 2005. ISBN 979-587-263-X. 57 pages.
- 7) Armanto, M.E. 2003. *Agrogeology and Soil Parent Materials*. Unsri Press, Palembang. ISBN 979-587-000-0. 136 pages.
 - 8) Armanto, M.E. 1992. *Soil Variability as an Indicator of Soil Erosion in Sloping Landscapes - Comparative Investigations in Eastern Holstein and South Sumatra*. Institute for Plant Nutrition and Soil Science, Kiel University, Germany. ISSN 0933-680X. 202 pages.
 - 9) Armanto, M.E. 1989. *Effects of Soil Erosion - an Experimental Study at a Catena of the Research Farmland Hohenschulen near Kiel, Germany*. Institute for Plant Nutrition and Soil Science, Kiel University, Germany. 150 pages.
 - 10) Adriani, D., I. Zahri, E. Wildayana, M.E. Armanto dan M. Yazid. 2019. *Ekonomi Rumah Tangga Petani Padi Lahan Pasang Surut (Keragaan Ekonomi Usaha, Alokasi Waktu, Pengangguran, Inovasi Teknologi dan Diversifikasi)*. Unsri Press. ISBN 978-979-587-805-6. 198 pages.
 - 11) Wildayana, E., M.E. Armanto, I. Zahri, A. Mulyana, L. Husin dan D. Adriani. 2019. *Kelembagaan KUD PIR Kelapa Sawit*. Unsri Press. ISBN 978-979-587-777-6. 226 pages.
 - 12) Wildayana, E., M.E. Armanto, I. Zahri, A. Mulyana, L. Husin dan D. Adriani. 2018. *Perilaku Rumah Tangga Petani Plasma Kelapa Sawit*. Unsri Press. ISBN 978-979-587-765-3. 235 pages.
 - 13) Adzemi, M.A., M.E. Armanto and E. Wildayana. 2017. *BRIS Soil Improvement for Sustainable Crop Production*. LAP

LAMBERT Academic Publishing. 76 pages. ISBN-13: 978-620-2-01853-1 ISBN-10: 6202018534 EAN: 9786202018531.

- 14) Sjarkowi, F., A. Arbain, M.E. Armanto, U. Santoso, J. Arjuna, Rifardi, A. Setiawan, J. Syahrul, Khairijon dan Azizah. 2007. Kualitas Lingkungan Hidup Sumatera 2007. PPLH Regional Sumatera, Kementerian Lingkungan Hidup RI, Pekanbaru, Riau. ISBN 978-602-8107-00-6. 393 pages.
- 15) Susanto, R.H., I. Zahri, M.E. Armanto, C. Nancy, C. Anwar, A. Mulyana, N. Abuchatam, U. Harun, Bakri, Hasbi, Thomas, A. Supriono, K. Yuliati and M. Solichin. 2005. Blue Print of South Sumatra Estate Industry 2020. Estate Agency of South Sumatra Province Government, Palembang. 300 pages.
- 16) Susanto, R.H., C. Nancy, C. Anwar, A. Mulyana, M.E. Armanto, I. Zahri, M. Solichin and A. Supriono. 2004. Long Term Direction and Policy of Estate Development in South Sumatra Province 2020. Estate Agency of South Sumatra Province Government, Palembang. 278 pages.



Elisa Wildayana, Prof. Dr. Ir. M.Si.

Staf Pengajar Tetap Jurusan Sosial Ekonomi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya (Unsri) Palembang, Indonesia sejak Maret 1987, lahir di Manggar Belitung tanggal 26 April 1961. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Pertanian (Ir.) pada Fakultas Pertanian Unsri (1985), memperoleh Magister Sains (M.Si.) dari IPB Bogor (1999) dengan Beasiswa SEAMEO-SEARCA dan Doktor Pertanian (Dr.) dari Unsri (2013) dengan Beasiswa BPPS Dikti. Sejak 2022 sampai sekarang dipercaya sebagai *Full Professor* di Unsri (Gol IV/c). Tahun 1987-1992 aktif mengikuti berbagai jenis *courses* bersamaan dengan menemani suami sekolah di Kiel University Germany. Tahun 2004-2010 aktif sebagai Peneliti Sosial Ekonomi di berbagai Perusahaan Swasta. Tahun 2009-2015 aktif menulis dan mengikuti berbagai jenis *courses* sekaligus menemani suami sebagai University Professor di UMT Malaysia. Penulis telah membimbing mahasiswa sebanyak 130 orang Sarjana Strata I, 20 orang Magister Strata II (Master), dan 10 orang Doktor Strata III (Doktor). Aktif melakukan penelitian Sosial Ekonomi Pertanian dengan tema: Ekonomi Rumah Tangga Petani. Penulis aktif melakukan publikasi sebanyak 120 paper di jurnal international dan internasional bereputasi dan melakukan seminar (sebagai *keynote, invited speaker and participants*). Sebagian besar publikasi bertemakan: Ekonomi Rumah Tangga Petani dan *Sustainable Development Planning*. Penulis aktif menulis berbagai buku ajar, buku referensi dan praktikum yang merupakan buku pegangan mahasiswa Strata I, Strata II dan Strata III, antara lain:

- 1) Armanto, M.E. dan E. Wildayana. 2023. Keunikan dan Kemampuan Lahan Gambut. Penerbit dan Percetakan Unsri. ISBN 978-623-399-120-9. 310 pages.

- 2) Wildayana, E. 2022. Keberlanjutan Plasma Kelapa Sawit berdasarkan Efisiensi Produksi. Pidato Pengukuhan sebagai Guru Besar dalam Bidang Sosek Pertanian. Unsri Press. 26 Oktober 2022. 60 pages.
- 3) Armanto, M.E., D. Fardiaz, Z. Idrus, S.A. Umar dan E. Wildayana. 2022. Pendekatan Pengembangan Wilayah dengan SWOT dan Kerangka Kerja Logis. Unsri Press. ISBN 978-979-587-987-9. 274 pages.
- 4) Armanto, M.E., Z. Idrus, S.A. Umar dan E. Wildayana. 2021. Perencanaan dan Pengembangan Wilayah. Unsri Press, Palembang. ISBN 978-979-587-933-6. 266 pages.
- 5) Wildayana, E., M.E. Armanto, I. Zahri, A. Mulyana, L. Husin dan D. Adriani. 2019. Kelembagaan KUD PIR Kelapa Sawit. Unsri Press. ISBN 978-979-587-777-6. 226 pages.
- 6) Wildayana, E., M.E. Armanto, I. Zahri, A. Mulyana, L. Husin dan D. Adriani. 2018. Perilaku Rumah Tangga Petani Plasma Kelapa Sawit. Unsri Press. ISBN 978-979-587-765-3. 235 pages.
- 7) Adriani, D., I. Zahri, E. Wildayana, M.E. Armanto dan M. Yazid. 2019. Ekonomi Rumah Tangga Petani Padi Lahan Pasang Surut (Keragaan Ekonomi Usaha, Alokasi Waktu, Pengangguran, Inovasi Teknologi dan Diversifikasi). Unsri Press. ISBN 978-979-587-805-6. 198 pages.
- 8) Adzemi, M.A., M.E. Armanto and E. Wildayana. 2017. BRIS Soil Improvement for Sustainable Crop Production. LAP LAMBERT Academic Publishing. 76 pages. ISBN-13: 978-620-2-01853-1 ISBN-10: 6202018534 EAN: 9786202018531.
- 9) Wildayana, E. 2014. Hutan Konversi untuk Perkebunan Kelapa Sawit. Jurusan Sosek, FP Unsri, Indralaya.



As'ad Syazili, S.P., M.Sc. Staf Pengajar Tetap Jurusan Tanah Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya (Unsri) Palembang, Indonesia sejak Agustus 2023, lahir di Talang Padang tanggal 24 Februari 1996 Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Pertanian (S.P.) pada Fakultas Pertanian Unsri Tahun 2019, memperoleh Magister Sains (M.Sc.) dari Universitas Gadjah Mada pada Tahun 2021. Sejak 2023 telah aktif sebagai staf pengajar Unsri (Gol XI) pada fokus bidang yang ditekuni yaitu hidrologi. Pada tahun 2015-2023, ketertarikan dalam bidang keilmuan semakin besar dan mencoba beberapa pemodelan menggunakan aplikasi, serta aktif dalam penulisan keilmiah.

- 1) Syazili, A. Kurniawan, A. Widada, J. Setyawan, G. Tirza, P.S.S. 2021. Efficiency of Smart Sluice Gate in Agricultural Water Distribution on Paddy (*Oryza sativa L.*). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 832. doi:10.1088/1755-1315/832/1/012064
- 2) Syazili, A. Kurniawan. A, Widada, J. Tirza, P.S.S. 2021. Techno-economic Analysis in the Development of Smart Sluice Gate Systems. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 662. doi:10.1088/1755-1315/662/1/012005