



Penulis merupakan alumnus Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang lulus tahun 1985. Menyelesaikan pendidikan Magister di Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung pada tahun 1992 dengan tesis mengenai Proses Liquifaksi Batu bara.

Penulis menyelesaikan program Doktor dengan disertasi mengenai Membran dan Desalinasi di Curtin University of Technology, Australia pada tahun 2007. Pernah menjabat sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan saat ini penulis adalah Guru Besar di bidang Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Aktif mengikuti berbagai kegiatan ilmiah dalam dan luar negeri sebagai presenter maupun peserta serta menghasilkan karya ilmiah dalam jurnal nasional maupun internasional dan aktif dalam berbagai organisasi profesi.

ISBN : 979-587-649-X



TEORI DAN TEKNOLOGI PEMANFAATAN BATU BARA

Edisi ke-2

Prof. Ir. SUBRIYER NASIR, M.S., Ph.D.

# Pemanfaatan BATU BARA

Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D.





# **TEORI DAN TEKNOLOGI PEMANFAATAN BATUBARA**

**Edisi Kedua**

**Sanksi pelanggaran Pasal 72  
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002  
Tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 12 Tahun 1997  
Pasal 44 Tentang Hak Cipta**

---

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

# **TEORI DAN TEKNOLOGI PEMANFAATAN BATUBARA**

**Edisi Kedua**

Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, PhD



**TEORI DAN TEKNOLOGI  
PEMANFAATAN BATUBARA  
Edisi Kedua**

Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, PhD

UPT. Penerbit dan Percetakan

Universitas Sriwijaya 2022

Kampus Unsri Palembang

Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139

Telp. 0711-360969

email : unsri.press@yahoo.com, penerbitunsri@gmail.com

website : www.unsri.unsripress.ac.id

Anggota APPTI No. 005.140.1.6.2021

Anggota IKAPI No. 001/SMS/96

Setting & Lay Out Isi : Maryati

Edisi Pertama Cetakan Pertama, Januari 2017

Edisi Kedua, Juli 2022

172 halaman : 16x24 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Hak Terbit Pada Unsri Press

**ISBN : 978-587-649-X**

# PRAKATA

Batu bara merupakan salah satu komoditas ekspor yang cukup penting saat ini. Sebagai salah satu sumber energi fosil yang tak terbarukan maka batu bara harus dieksplorasi dan dieksploitasi secara bijak terutama terkait dengan aspek lingkungannya. Pemberian bekal mengenai perbatubaraan khususnya yang terkait dengan proses-proses pemanfaatannya akan sangat membantu alumni atau siapapun yang berminat terjun ke industri batu bara.

Buku ini memberikan dasar-dasar pengetahuan yang berkaitan dengan sains (coal science) yang membahas pengertian, klasifikasi, analisis dan pengujian, dan sifat fisik batu bara. Pada aspek teknologi (coal technology) membahas berbagai macam proses pemanfaatan batu bara serta aspek lingkungannya. Pada edisi kedua ini materi diperluas dengan bab mengenai air asam tambang yang sangat penting dan terkait dengan aspek eksplorasi dan eksploitasi tambang batu bara.

Mudah-mudahan buku ini dapat bermanfaat tidak saja bagi mahasiswa tetapi untuk praktisi yang menggeluti dunia perbatubaraan.

Palembang, Juli 2022

Penyusun,

# DAFTAR ISI

BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Definisi dan Struktur Batu bara	1
1.2. Coalifikasi	4
1.2.1 Autochthonous theory (Teori In-situ)	4
1.2.2. Allochthonous theory (Teori Drift)	5
1.3. Potensi Batu bara Indonesia	7
BAB 2	9
KLASIFIKASI BATU BARA	9
2.1. Klasifikasi Batu bara	9
2.1.1. Klasifikasi Batu bara ASTM	9
2.1.3. Klasifikasi Batu bara Internasional	10
2.1.4. Klasifikasi Batu bara National Coal Board	12
2.1.5. Klasifikasi Batu bara Australia	12
2.1.6. Klasifikasi Batu bara Jerman (DIN)	14
2.1.7. Klasifikasi Batu bara Rusia	14
2.1.8. Klasifikasi Batu bara China	17
2.1.9. Klasifikasi Batu bara Jepang	20
BAB 3	22
ANALISIS DAN PENGUJIAN BATU BARA	22
3.1. Basis Analisis dan Pelaporan Contoh Batu bara	22
3.2. Analisis Proksimat	23
3.2.1. Kadar Air (Moisture Content)	24
3.2.2. Kadar Karbon tetap (Fixed Carbon)	25
3.2.3. Kadar Abu (Ash)	25
3.2.3. Kadar zat terbang (Volatile Matter)	32
3.3. Analisis Ultimat	32
3.3.1. Karbon dan Hidrogen	32
3.3.2. Nitrogen	33
3.3.3. Sulfur	33
3.3.4. Oksigen	35
3.4. Nilai Kalor (Calorific value)	36
3.4. Sifat Caking dan Coking Batu bara	37
3.4.1. Sifat Coking	37
3.4.2. Sifat Caking	39

3.5. Sifat Fisis Batu bara	42
3.5.1. Densitas dan Spesifik Gravity	42
3.5.2. Ukuran dan bentuk partikel	43
3.5.3. Porositas dan Luas Permukaan	44
3.5.4. Angle of Repose	45
3.5.5. Grindabilitas dan Friabilitas	46
3.5.6. Indeks Debu (Dustiness Index)	46
<b>BAB 4</b>	<b>47</b>
<b>PROSES PEMBAKARAN BATU BARA</b>	<b>47</b>
4.1. Reaksi-reaksi Pembakaran Batu bara	48
4.2. Metode Pembakaran Batu bara	48
4.3. Faktor yang mempengaruhi Proses Pembakaran Batubara	49
4.3.1. Karakteristik Abu dan Sifat Fusi Abu	49
4.3.2. Kadar Sulfur	49
4.3.4. Kandungan zat terbang	50
4.3.5. Kadar Air	50
4.3.6. Sifat Coking	50
4.4. Batu bara untuk Pembangkit Listrik	51
4.5. Proses Pembakaran Batu bara Konvensional	52
<b>BAB 5</b>	<b>56</b>
<b>PROSES KARBONISASI/PIROLISIS BATU BARA</b>	<b>56</b>
5.1. Definisi Karbonisasi/Pirolisis	56
5.2. Komponen volatil	57
5.3. Jenis-Jenis Proses Karbonisasi	59
5.3.1. Karbonisasi pada temperatur rendah	59
5.3.2. Karbonisasi pada suhu tinggi	60
5.4. Sifat-sifat Pirolisis Batu bara	61
5.5. Briket batu bara	63
5.5.1. Jenis Briket Batu bara	64
5.5.2. Bentuk dan Ukuran Briket Batu bara	65
5.5.3. Kompor/Tungku Briket Batu bara	65
5.6. Proses-proses Karbonisasi Komersial	66
5.6.1. Macam-macam Proses Pirolisis Generasi Kedua	68
<b>BAB 6</b>	<b>78</b>
<b>GASIFIKASI BATU BARA</b>	<b>78</b>
6.1. Pengertian Gasifikasi	78
6.2. Reaksi-reaksi Gasifikasi	79
6.3. Mekanisme Transport pada Gasifikasi	79



6.4. Klasifikasi Proses Gasifikasi Batu bara	80
6.4. Gasifier skala Komersial	83
6.4.1. Gasifier Lurgi	83
6.4.2. Gasifier Wellman-Galusha	85
6.4.3. Gasifier Kopper-Totzek	86
6.4.4. Gasifier Winkler	87
6.4.5. Gasifier Molten-Iron Bath	88
6.4.6. Proses Gasifikasi Shell	89
<b>BAB 7</b>	<b>90</b>
<b>PROSES PENCAIRAN BATU BARA</b>	<b>90</b>
7.1. Definisi Pencairan (Likuifaksi)	90
7.2. Faktor yang mempengaruhi Proses Pencairan batu bara	90
7.3. Jenis-jenis Proses Pencairan Batu bara	91
7.3.1. Proses Pencairan tidak langsung	91
7.3.2. Proses pencairan secara langsung	95
7.4. Faktor- faktor yang mempengaruhi Proses Pencairan batu bara	97
7.4.1. Pengaruh variabel operasi	97
7.4.1.1. Pengaruh temperatur terhadap proses likuifaksi	99
7.4.1.2. Pengaruh waktu terhadap proses likuifaksi batu bara	99
7.5. Mekanisme Pencairan batubara	100
7.6. Pencairan Batu bara pada kondisi Superkritik Pelarut	104
7.7. Katalis Pencairan Batu bara	106
7.8. Proses-proses Pencairan Batubara terkini	106
<b>BAB 8</b>	<b>113</b>
<b>PEMANFAATAN BATU BARA DAN ASPEK LINGKUNGAN</b>	<b>113</b>
8.1. Polutan dari Pengolahan Batu bara	113
8.1.1. Dampak Penambangan Batu bara	113
8.1.2. Limbah Padat	116
8.1.3. Limbah Cair	116
8.1.4. Emisi Gas	117
8.1.4.1. Gas Sulfur Dioksida	117
8.1.4.2. Gas NO <sub>x</sub>	118
8.1.4.3. Gas CO	119
8.2. Pengolahan Limbah/Polutan hasil konversi Batu bara	121
8.2.1. Siklon	123
8.2.2. Fabric Filter	124
8.2.3. Electric Precipitator	125

8.2.4. Wet Scrubber	126
8.3. Pembakaran spontan batu bara (Spontaneous coal combustion)	127
BAB 9	130
AIR ASAM TAMBANG	130
9.1. Definisi Air Asam Tambang	130
9.2. Dampak Air Asam Tambang terhadap Lingkungan	134
9.3. Pengelolaan Air Asam Tambang	135
9.4. Proses terbentuknya air asam tambang	135
9.5. Jenis-jenis Air Asam Tambang	136
9.6. Proses-proses Pengolahan Air Asam Tambang	137
9.7. Perbandingan Berbagai Proses Pengolahan Air Asam Tambang	139
9.8. Studi Mengenai Pengolahan Air Asam Tambang	140

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Model Struktur Batu bara Wisser	3
Gambar 2. Standar Gray King Assay	38
Gambar 3. Kurva Dilatasi	39
Gambar 4. Standar Free Swelling Index	40
Gambar 5. Mekanisme reaksi Pembakaran	51
Gambar 6. Sistem PLTU menggunakan Batu bara	51
Gambar 7. Skema Plant karbonisasi terintegrasi	58
Gambar 8. Process COED	71
Gambar 9. Process Occidental	72
Gambar 10. Proses Lurgi-Ruhrigas	74
Gambar 11. Proses Toscoal	75
Gambar 12. Proses Coalcon	76
Gambar 13. Mekanisme Transport pada Gasifikasi Batu bara	80
Gambar 14. Gasifier Lurgi-Dry ash	84
Gambar 15. Gasifier BCL	85
Gambar 16. Gasifier Wellman-Galusha	85
Gambar 17. Gasifier Kopper-Totzek	86
Gambar 18. Skema Gasifier Winkler	87
Gambar 19. Gasifier Winkler Suhu Tinggi	87
Gambar 20. Gasifier Molten Iron Bath	88
Gambar 21. Proses Gasifikasi Batu bara Shell	89
Gambar 22. Skema Proses Pencairan Batu bara	94
Gambar 23. Distilasi Minyak Batu bara	95
Gambar 24. Mekanisme reaksi pelepasan hidrogen dari tetralin	100
Gambar 25. Proses SRC II	108
Gambar 26. Proses H-Coal	108
Gambar 27. Proses EDS	109
Gambar 28. Proses Brown Coal Liquefaction	110
Gambar 29. Proses NEDOL	111
Gambar 30. Proses SASOLHFT	111
Gambar 31. Proses HTI	112



Gambar 32. Siklon	123
Gambar 33. Susunan Fabric Filter	124
Gambar 34. Sistem Ventury Scrubber	127
Gambar 35. Kapur penetralisir Air Asam Tambang di KPL Udongan PTBA	141
Gambar 36. Pengaliran Air Asam Tambang yang telah dinetralisir	142
Gambar 37. Penambahan Kapur pada Air Asam Tambang KPL Udongan	143
Gambar 38. Pengaliran Air Asam Tambang yang telah dinetralisir	143

# DAFTAR TABEL

Tabel 1. Maseral pada brown coal dan hard coal	2
Tabel 2. Komposisi maseral dan persentase kadar zat volatil	3
Tabel 3. Pembentukan jenis-jenis batu bara menurut peringkatnya	6
Tabel 4. Sumber dan cadangan batu bara Indonesia	7
Tabel 5. Sumber dan cadangan Batu bara Indonesia menurut kalori	8
Tabel 6. Klasifikasi ASTM	10
Tabel 7. Klasifikasi Batu bara Internasional	11
Tabel 8. Klasifikasi Batu bara menurut NCB	12
Tabel 9. Hubungan sifat caking dengan peringkat batu bara	12
Tabel 10. Klasifikasi Batu bara Jerman (DIN)	14
Tabel 11. Hubungan Klasifikasi Batu bara Rusia dengan ASTM	17
Tabel 12. Klasifikasi Batubara China	19
Tabel 13. Klasifikasi Batu bara Jepang (JIS)	20
Tabel 14. Konversi Pelaporan Hasil Analisis Batu bara	23
Tabel 15. Peringkat batu bara dan Analisis Proksimat	23
Tabel 16. Sifat Pemanasan Senyawa Organik dan Akibatnya pada Analisis	26
Tabel 17. Komponen Abu Batu bara	28
Tabel 18. Mineral batubara	30
Tabel 19. Komposisi kimia mineral dalam batu bara	31
Tabel 20. Hubungan Crucible Swelling Index dan Gray King Assay	
Tabel 21. Indeks Roga dan sifat caking	42
Tabel 22. Ukuran mesh standar US dan Tyler	44
Tabel 23. Hubungan angle of repose dan ukuran batu bara	45
Tabel 24. Klasifikasi Retort Karbonisasi	68
Tabel 25. Karakteristik berbagai-bagai Proses Gasifikasi	82
Tabel 26. Komposisi senyawa penyusun cairan batu bara	97
Tabel 27. Senyawa-senyawa dalam limbah cair hasil konversi batu bara	116
Tabel 28. Angka kematian akibat gas SO <sub>2</sub>	118
Tabel 29. Pencemaran batu bara terhadap manusia dan lingkungan	119
Tabel 30. Baku Mutu Limbah Cair Industri Batubara	131
Tabel 31. Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang	139

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Definisi dan Struktur Batu bara

Batu bara adalah material yang secara fisik bersifat heterogen dan secara kimia merupakan padatan kompleks yang terbentuk dari tumbuhan yang tertimbun dalam suasana basa selama bertahun-tahun. Batu bara juga merupakan batuan sedimen organik yang mengandung berbagai variasi dari karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sulfur dan juga sejumlah unsur runutan (trace element) dan senyawa mineral. Selain itu batu bara juga merupakan padatan berwarna coklat sampai hitam yang bersifat brittle, dapat terbakar, batuan carbonaceous yang terbentuk dengan cara dekomposisi dan alterasi tumbuh-tumbuhan dengan cara kompaksi, kenaikan suhu dan tekanan.

Bagian utama dari batu bara adalah bahan organik yang disebut *maseral* dan bagian lain berupa mineral, air serta gas yang terperangkap dalam pori-pori batu bara. Unsur anorganik penyusun batu bara adalah kandungan mineral yang berasal dari tumbuhan asal dan sedimen organik selama proses coalifikasi.

Batu bara diklasifikasikan atas peringkat dan komposisi petrografisnya. Peringkat batu bara berdasarkan atas derajat koalifikasinya yaitu suatu proses evolusi dan degradasi tumbuh-tumbuhan secara kontinyu sehingga membentuk batu bara yang bersifat heterogen. Berdasarkan peringkatnya, batu bara dapat dibedakan atas lignit, subbituminus, bituminus dan antrasit yang berbeda kandungan karbon dan nilai kalornya. Jenis batu bara yang ada di satu daerah akan berbeda dengan batu bara yang ada di daerah lainnya. Kebanyakan batu bara yang ada di Indonesia merupakan batu bara muda yaitu jenis lignit, subbituminus dan bituminus. Secara petrografik, batu bara dapat diklasifikasikan berdasarkan susunan maseralnya yaitu exinite, vitrinite, micrinite dan fusinite.



Maseral adalah struktural konstituen terkecil dari batu bara yang dapat dilihat dengan mikroskop optik. Maseral dapat dibedakan satu sama lain dari reflektansinya. Vitrinite merupakan konstituen batu bara yang berasal dari kayu sedangkan exinite berasal dari digested sludge (lumpur) dan inertinite yang berasal tumbuhan selain kayu.

Batu bara umumnya terdiri dari 65-75% atom C jenis aromatik, 15-25% atom C jenis hidroaromatik, dan 5-10% atom C jenis alifatik. Nisbah atom hidrogen dan karbon dalam batu bara jenis bituminus adalah antara 0,8-0,9. Semakin meningkat peringkat batu bara, kandungan karbonnya akan meningkat pula, sedangkan kandungan oksigen, nisbah H/C, fraksi volatil, serta sifat aromatiknnya akan berkurang. Tabel 1 berikut memperlihatkan komponen maseral dari batu bara jenis brown coal dan hard coal.

**Tabel 1. Maseral pada brown coal dan hard coal**

Brown coal		Hard coal	
Grup maseral	Maseral	Grup maseral	Maseral
Huminite	Textinite, ulminite, attrinite, densitinite, gelinite, corpohuminite	Vitrinite	Telinite, collinite, vitrodetrinite
Liptinite	Sporinite, cutinite, fresinite, suberinite, alginate, iptodetrinite, chlorophyllinite	Exinite	Sporinite, cutinite, fresinite, suberinite, alginate, liptodetrinite
Inertinite	Fusinite, semifusinite, macrinite, selerotinite, inertodetrinite	Inertinite	Micrinite, macrinite, semifusinite, fusinite, inertodetrinite

*Sumber : Spliethoff, H (2010)*

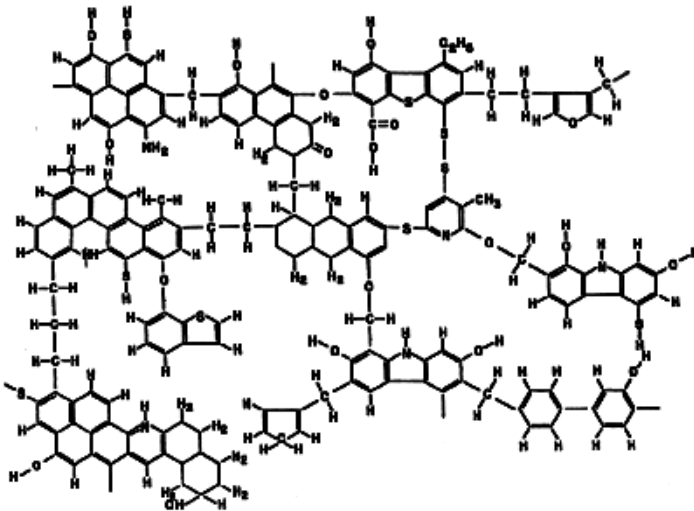
Komposisi kimia maseral batu bara tergantung pada persentase karbon dan rasio H/C dari batu bara. Dari tabel terlihat bahwa exinite merupakan bagian maseral batu bara yang sangat volatil dengan rasio H/C tertinggi, inertinite merupakan bagian maseral batu bara yang kurang volatil dengan rasio H/C yang rendah sedangkan vitrinite merupakan bagian maseral dengan kadar zat volatil dan rasio H/C sedang.

**Tabel 2. Komposisi maseral dan persentase kadar zat volatil**

Grup maseral	Kandungan atom C	Rasio H/C	Kadar volatile
Exinite	43 sampai 62 %	1,18 -0,59	79-18%
Vitrinite	51 sampai 62%	0,80-0,60	40-18%
Inertinite	59 sampai 67%	0.64-0,47	31-11%

*Sumber : Tsai (1982)*

Berbagai model yang memperlihatkan struktur molekul batu bara telah diajukan. Salah satunya adalah struktur molekul batu bara jenis bituminus seperti ditampilkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Model Struktur Batu bara Wisser**

*Sumber Berkowitz (1982)*

Batu bara merupakan polimer berwujud padat dan kompleks dengan tidak adanya pengulangan struktur monomernya. Batu bara kebanyakan tidak larut dalam pelarut organik biasa. Senyawa yang terkandung dalam batu bara terdiri dari jenis aromatik, dan hidroaromatik. Tingkat kematangan batu bara atau dikenal dengan rank (peringkat) batu bara sangat tergantung pada kandungan senyawa aromatik. Perbandingan relatif unsur penyusun batu bara bervariasi dengan jenis batu bara. Struktur kimia batu bara sangat dipengaruhi oleh parameter strukturnya seperti berat molekul, aromatisitas karbon, struktur aromatik dan alifatik serta gugus fungsional yang terkandung dalam struktur batu bara.

## **1.2. Coalifikasi**

Coalifikasi adalah proses pembentukan batu bara dari tumbuhan menjadi peat yang karena pengaruh tekanan dan temperatur yang tinggi dalam perut bumi berubah menjadi batu bara. Urutan pembentukan batu bara adalah dimulai dari peat, lignit, subbituminus dan antrasit. Ada dua teori yang menyangkut transformasi peat (gambut) menjadi batu bara yaitu :

1. Autochthonous theory (Teori In-situ)
2. Allochthonous theory (Teori Drift)

### **1.2.1 Autochthonous theory (Teori In-situ)**

Teori ini beranggapan bahwa batu bara yang terbentuk dari transformasi peat terjadi karena pohon-pohon yang tumbang karena berbagai faktor. Proses perbatuan terjadi di tempat (in-situ) dimana pohon-pohon tumbang. Teori ini didukung oleh berbagai hal seperti kadar mineral yang terkandung dalam batu bara cukup rendah, susunan serta kondisi tumbuhan dan tanah. Batu bara yang terbentuk biasanya memiliki kualitas yang cukup baik, namun seringkali dijumpai pada kedalaman tertentu. Dalam dunia industri pertambangan batu bara dikenal dengan istilah tambang bawah tanah (underground mining).



### **1.2.2. Allochthonous theory (Teori Drift)**

Teori ini beranggapan bahwa batu bara yang terbentuk dari transformasi peat terjadi karena pohon-pohon yang tumbang karena berbagai faktor. Proses perbatubaraan terjadi di tempat lain yang kadang-kadang jauh dari tempat dimana lokasi pohon tersebut tumbang. Proses perbatubaraan terjadi selama pohon tumbang tersebut mengikuti aliran sungai sampai menuju ke delta. Menurut teori ini batu bara yang terbentuk biasanya memiliki peringkat rendah (kebanyakan dari jenis lignit). Batu bara yang terbentuk biasanya pada permukaan dalam lapisan yang tidak begitu dalam. Teori ini didukung oleh berbagai kenyataan seperti adanya fosil ikan dalam lapisan batu bara, adanya lapisan peat dan lignit di delta yang baru terbentuk dan dijumpainya fosil pepohonan dalam keadaan terbalik (*inverted position*).

Proses pembentukan batu bara (*coalifikasi*) dipengaruhi oleh tekanan, panas dan waktu. Berdasarkan hal ini maka batu bara umumnya dikelompokkan menjadi peat (*gambut*), lignit, sub-bituminus, bituminus, dan antrasit. Ada dua tahapan yang terjadi pada proses *coalifikasi* yakni:

1. Tahap Biokimia (*diagenetik*) yang dimulai pada saat tumbuhan terdeposisi hingga terbentuknya lignit. Faktor utama yang berperan dalam proses perubahan ini adalah kadar air, tingkat oksidasi, dan keberadaan mikroorganisme yang dapat menyebabkan proses pembusukan (*dekomposisi*) dan kompaksi material organik yang akan membentuk gambut.
2. Tahap Dinamokimia (*geokimia*) yaitu proses perubahan dari lignit menjadi bituminus dan akhirnya antrasit. Tahapan ini dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur dalam bumi.

Proses perbatubaraan memerlukan waktu yang sangat panjang. Sebagai contoh lignit memerlukan waktu pembentukan antara 20 sampai 40 juta tahun. Tabel 3 berikut menampilkan waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan batu bara.

**Tabel 3. Pembentukan jenis-jenis batu bara menurut peringkatnya**

<b>No</b>	<b>Jenis Peringkat Batu bara</b>	<b>Waktu (juta tahun)</b>
1	Bituminus, antrasit	250
2	Bituminus	180
3	Bituminus	150
4	Subbituminus	100
5	Lignit dan subbituminus	60
6	Lignit	40
7	Lignit	20
8	Peat	1

Batu bara merupakan senyawa hidrokarbon padat yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan memiliki komposisi yang cukup kompleks. Pada dasarnya terdapat dua jenis material yang membentuk batu bara yaitu :

1. Combustible material yaitu bahan atau material yang dapat dibakar/dioksidasi oleh oksigen. Material tersebut umumnya terdiri dari karbon padat (fixed carbon), senyawa hidrokarbon, senyawa sulfur dan senyawa lain dalam jumlah kecil.
2. Non combustible material yaitu material yang tidak dapat dibakar/dioksidasi oleh oksigen. Zat-zat yang merupakan non combustible material antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), senyawa besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), titanium oksida, mangan, kalsium, magnesium, natrium, kalium dan senyawa logam lainnya dalam jumlah yang kecil. Bila dibakar senyawa senyawa ini akan menjadi abu (ash). Kandungan non combustible material dalam batu bara tidak diinginkan karena akan mengurangi nilai kalor batu bara.

Dikenal bermacam-macam cara mengklasifikasikan batu bara diantaranya klasifikasi International Economic Commission for Europe, klasifikasi ASTM, National Coal Board, Klasifikasi Australia, Rusia, dan China dan lain - lain.

### 1.3. Potensi Batu bara Indonesia

Sampai tahun 2010, Indonesia mempunyai sumber batu bara sekitar 105 milyar ton dengan cadangan sekitar 21 milyar ton. Data terakhir sampai tahun 2022 cadangan batu bara Indonesia adalah sebesar 31,7 milyar ton. Sebagian besar cadangan batu bara Indonesia terdapat di Sumatera Selatan. Batu bara Indonesia diekspor ke China, India, Jepang dan Taiwan, dan sebagian lagi dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik atau untuk kebutuhan dalam negeri.

**Tabel 4. Sumber dan cadangan batu bara Indonesia**

Provinsi	Sumber (miliar ton)	Cadangan (miliar ton)
Banten	13,31	0,00
Jawa Barat	0,00	0,00
Jawa Tengah	0,82	0,00
Jawa Timur	0,08	0,00
Nangroe Aceh Darussalam	450,15	0,00
Sumatera Utara	26,97	0,00
Riau	1767,54	1940,37
Sumatera Barat	732,16	36,75
Bengkulu	198,65	21,12
Jambi	2115,70	9,00
Sumatera Selatan	47085, 08	9542,01
Lampung	106,95	0,00
Kalimantan Barat	517,04	0,00
Kalimantan Tengah	1638,66	74,28
Kalimantan Selatan	12265,56	3604,36
Kalimantan Timur	37904,97	5903,83
Sulawesi Selatan	231,12	0,12
Sulawesi Tengah	1,98	0,00
Maluku Utara	2,13	0,00
Irian Jaya Barat	126,41	0,00
Papua	2,16	0,00
Total	105187,44	21134,84

*Sumber : Handbook of Energy&Economic Statitics of Indonesia (2011)*

Menurut peringkatnya, sumber batu bara Indonesia dapat dikelompokkan menjadi batubara dengan nilai kalor rendah (<5100 kal/g), sedang (5100-6100 kal/g) dan tinggi (6100-7100 kal/g) dan sangat tinggi (>7100 kal) seperti tertera pada Tabel 5.

**Tabel 5. Sumber dan cadangan Batu bara Indonesia menurut kalori**

No.	Pulau	Kualitas		Sumberdaya (Juta Ton)					Cadangan (Juta Ton)
		Kelas	Kriteria (Kal/gr, adb)	Hipotetik	Tereka	Tertunjuk	Terukur	Jumlah	
1	Jawa	Kalori Rendah	<5100	0.00	0.30	0.00	0.00	<b>0.30</b>	<b>0.00</b>
		Kalori Sedang	5100 - 6100	5.47	4.87	0.00	0.00	<b>10.34</b>	<b>0.00</b>
		Kalori Tinggi	6100 - 7100	0.00	2.37	0.00	0.00	<b>2.37</b>	<b>0.00</b>
		<b>Jumlah Sumberdaya Batubara Jawa</b>			<b>5.47</b>	<b>8.74</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>14.21</b>
2	Sumatera	Kalori Rendah	<5100	326.55	8,829.35	2,306.77	1,720.75	<b>13,183.42</b>	<b>2,426.00</b>
		Kalori Sedang	5100 - 6100	408.96	3,491.59	3,225.61	962.91	<b>13,689.08</b>	<b>210.62</b>
		Kalori Tinggi	6100 - 7100	33.70	959.56	442.00	303.71	<b>1,738.97</b>	<b>120.11</b>
		Kalori Sangat Tinggi	> 7100	0.00	27.32	0.00	14.37	<b>41.69</b>	<b>14.00</b>
		<b>Jumlah Sumberdaya Batubara Sumatera</b>			<b>769.21</b>	<b>13,307.82</b>	<b>11,974.38</b>	<b>2,691.74</b>	<b>28,653.16</b>
3	Kalimantan	Kalori Rendah	<5100	0.00	1,056.72	13.76	690.82	<b>1,761.30</b>	<b>536.33</b>
		Kalori Sedang	5100 - 6100	2,285.84	15,720.23	428.05	5,380.29	<b>23,614.39</b>	<b>2,232.68</b>
		Kalori Tinggi	6100 - 7100	859.19	3,588.58	224.89	1,740.90	<b>6,213.56</b>	<b>1,109.18</b>
		Kalori Sangat Tinggi	> 7100	90.11	430.08	5.80	104.90	<b>630.88</b>	<b>109.92</b>
		<b>Jumlah Sumberdaya Batubara Kalimantan</b>			<b>3,035.13</b>	<b>20,795.60</b>	<b>672.50</b>	<b>7,716.90</b>	<b>32,220.14</b>
4	Sulawesi	Kalori Rendah	<5100	0.00	1.98	0.00	0.00	<b>1.98</b>	<b>0.00</b>
		Kalori Sedang	5100 - 6100	0.00	131.03	32.31	53.10	<b>216.44</b>	<b>0.06</b>
		Kalori Tinggi	6100 - 7100	0.00	13.90	0.78	0.00	<b>14.68</b>	<b>0.00</b>
		<b>Jumlah Sumberdaya Batubara Sulawesi</b>			<b>0.00</b>	<b>146.91</b>	<b>33.89</b>	<b>53.10</b>	<b>233.10</b>
5	Maluku	Kalori Rendah	<5100	0.00	2.13	0.00	0.00	<b>2.13</b>	<b>0.00</b>
		<b>Jumlah Sumberdaya Batubara Maluku</b>			<b>0.00</b>	<b>2.13</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2.13</b>
6	Papua	Kalori Sedang	5100 - 6100	89.40	30.95	0.00	0.00	<b>120.35</b>	<b>0.00</b>
		Kalori Tinggi	6100 - 7100	0.00	5.38	0.00	0.00	<b>5.38</b>	<b>0.00</b>
		Kalori Sangat Tinggi	> 7100	0.00	25.53	0.00	0.00	<b>25.53</b>	<b>0.00</b>
		<b>Jumlah Sumberdaya Batubara Papua</b>			<b>89.40</b>	<b>61.86</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>151.26</b>
<b>JUMLAH SUMBERDAYA INDONESIA, 2005</b>				<b>3,899.22</b>	<b>34,323.06</b>	<b>12,679.98</b>	<b>10,371.74</b>	<b>61,273.99</b>	<b>6,758.90</b>

Catatan :

PLC

# **BAB 2**

## **KLASIFIKASI BATU BARA**

### **2.1. Klasifikasi Batu bara**

Klasifikasi batu bara diperlukan bila batu bara ingin diperdagangkan atau dimanfaatkan dalam industri. Ada berbagai macam cara klasifikasi batu bara yang dikenal yaitu diantaranya Klasifikasi ASTM, ISO, NCB, Internasional, Australia, Rusia, Jepang dll. Secara umum, berdasarkan asal dan rank batubara dibedakan atas kandungan karbon nya yaitu peat (52-60%), lignit (58-77%), bituminous (76-93%) dan antrasit (91-93%). Peringkat batu bara yang sering digunakan adalah mulai dari lignit, sub-bituminus, bituminus dan antrasit.

#### **2.1.1. Klasifikasi Batu bara ASTM**

Dasar klasifikasi batu bara menurut metode ASTM adalah peringkat batu bara selama proses coalifikasi. Analisis batu bara didasarkan pada Fixed Carbon (dmmf), Volatile Matter (dmmf), dan Heating Value (mmmf). Bila batu bara memiliki kandungan Volatile Matter <31% maka klasifikasi dilakukan dengan memperhatikan kadar fixed carbon (FC) batu bara. Bila batu bara memiliki kadar VM>31% maka klasifikasi dilakukan berdasarkan nilai kalor (heating value) batu bara.

Menurut klasifikasi ASTM, batu bara dibedakan atas empat kelas yaitu antrasit, bituminus, subbituminus, dan lignit. Masing-masing kelas dibedakan menjadi grup. Untuk antrasit terdapat dibagi menjadi 3 grup, bituminus 5 grup, subbituminus 5 grup dan lignit dikelompokkan menjadi 2 grup.

**Tabel 6. Klasifikasi ASTM**

Kelas	Grup	Batasan FC atau Btu (mmf)	Syarat sifat fisik
I. Antrasit	1. Meta-antrasit	Dry FC > 98%, Dry VM <sub>1</sub> < 2%.	
	2. Antrasit	92% ≤ Dry FC ≤ 98%, 2% ≤ Dry VM ≤ 8%	
	3. Semiantrasit	86% ≤ Dry FC ≤ 92% 8% ≤ Dry VM ≤ 14%	Non-agglomerasi
II. Bituminus	1. Low volatile bituminous coal	78% ≤ Dry FC ≤ 86% 14% ≤ Dry VM ≤ 22%	
	2. Medium volatile bituminous coal	69% ≤ Dry FC ≤ 78% 22% ≤ Dry VM ≤ 31%	
	3. High volatile A bituminous coal	Dry FC, 69% Dry VM ≤ 1%, moist Btu ≥ 14000	
	4. High volatile B bituminous coal	13,000 ≤ Moist Btu < 14,000	
	5. High volatile C bituminous coal	11,000 ≤ Moist Btu < 13,000	Non-agglomerasi
III. Subbituminus	1. Subbituminous A Coal	11,000 ≤ Moist Btu < 13,000	
	2. Subbituminous B Coal	9,500 ≤ Moist Btu < 11,000	
	3. Subbituminous C Coal	8,300 ≤ Moist Btu, < 9,500	
IV. Lignit	1. Lignit	Moist Btu < 8,300	Terkonsolidasi
	2. Brown Coal	Moist Btu < 8,200	Terkonsolidasi

### 2.1.3. Klasifikasi Batu bara Internasional

Secara garis besar klasifikasi batu bara Internasional membagi batu bara menjadi hard coal dan brown coal/lignite.

**Hard Coals** yaitu batu bara dengan gross calorific value besar dari 10.260 Btu/Lb atau 5,700 kcal/kg (maf)

**Brown Coal dan Lignit** yaitu batu bara dengan nilai kalor kecil dari 10.260 Btu/lb atau 5,700 kcal/kg

Klasifikasi sistem Internasional untuk hard coal terdiri dari 10 kelas berdasarkan kandungan volatile matter nya. Bila kandungan volatile matter lebih kecil dari 33%, maka batu bara digolongkan atas kelas 0 sampai 5 dan bila kandungan Volatile Matter lebih besar dari 33% digolongkan menjadi kelas 6–9.

Dalam penulisan kode batu bara digunakan 3 angka, dimana angka pertama menunjukkan *kelas* angka kedua menyatakan *group* dan angka ketiga menyatakan *sub-group* batu bara. Klasifikasi Internasional juga menentukan sifat-sifat caking batu bara yaitu



berdasarkan Free Swelling Index (Nilai Muai Bebas), Roga Index, Dilatometer dan Gray King Assay.

**Tabel 7. Klasifikasi Batu bara Internasional**

Nomor Grup	Parameter Grup alternatif		Nomor Batu bara										Sub grup	Parameter Sub grup Alternatif			
	Indeks Muai Bebas	Indeks Roga											Nomor Sub grup	Dilato- meter	Gray King		
3	> 4	> 4.5					435	535	635					5	>140	>G8	
					334	434	534	634					4	>50 - 140	G5-G8		
					333	433	533	633	733					3	0-50		
					322												
					a	b	432	532	632	732	832			2	≤0	E-G	
2	2½-4	>20-45			323	423	523	623	723	823			3	>0-50	G1-G4		
					322	422	522	622	722	822			2	≤0	E-G		
					321	421	521	621	721	821			1	Hanya kontraksi	B-D		
1	1-2	>5-20			212	312	412	512	612	712	812			2	≤0	E-G	
					211	311	411	511	611	711	811			1	Hanya kontraksi	B-D	
0	0-½	0-5	100														
			a	b	200	300	400	500	600	700	800	900	0	Tidak melunak	A		
Nomor Kelas																	
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
	Volatile matter (d.a.f)	0-3	>3-10	>10-14	>14-20	>20-28	>28-33	>33	>33	>33	>33						
		>3-6,5	>6,5-10														
Parameter Kelas	Nilai Kalor	-	-	-	-	-	-	>13950	>12960-13950	>10980-12960	>10260-12960						

**Klasifikasi batu bara Internasional menurut Nilai Kalor**

Nomor Grup	Parameter Grup Yield tar, (d.a.f)	Parameter kelas : total moisture, Ash –Free (%)					
		Kelas 10 0-20%	Kelas 11 20-30%	Kelas 12 30-40%	Kelas 13 40-50%	Kelas 14 50-60%	Kelas 15 60-70%
40	>25	1040	1140	1240	1340	1440	1540
30	20-25	1030	1130	1230	1330	1430	1530
20	25-20	1020	1120	1220	1320	1420	1520
10	10-15	1010	1110	1210	1310	1410	1510
00	10 dan kurang	1000	1100	1200	1300	1400	1500

Sumber : Speigth, J (2005)

#### 2.1.4. Klasifikasi Batu bara National Coal Board

Klasifikasi batu bara menurut National Coal Board (NCB) didasarkan pada kandungan volatile matter batu bara. Batu bara diberi code dengan angka mulai 100 sampai 900. Penamaan batu bara dimulai dari antrasit, low volatile steam coal, medium volatile coal dan high volatile coal.

**Tabel 8. Klasifikasi Batu bara menurut NCB**

Kadar Zat terbang (VM) (%, dmmf)	Kode Peringkat Batu bara	Nama Batu bara
<9,1	100	Antrasit
9,1 - 19,5	200	Low volatile steam coal
19,5 – 32	300	Medium volatile coal
> 32	400 – 900	High Volatile Coal

Peringkat batu bara berkaitan erat dengan sifat caking yang dimiliki. Batu bara dengan kode 900 merupakan batu bara non caking dan kode 400 menunjukkan bahwa batu bara memiliki sifat caking yang sangat kuat.

**Tabel 9. Hubungan sifat caking dengan peringkat batu bara**

Sifat Caking	Peringkat batu bara
Very Strongly caking	400
Strongly Caking	500
Medium Caking	600
Weakly Caking	700
Very Weakly Caking	800
Non Caking	900

#### 2.1.5. Klasifikasi Batu bara Australia

Klasifikasi batu bara Australia(AS 2096-1987) adalah dengan membedakan antara batu bara peringkat rendah (low rank coal) dan peringkat tinggi (high rank coal). Untuk batu bara peringkat tinggi dikenal dengan kode **REVCAS** dan untuk peringkat rendah disebut

dengan kode **REVMAS**. R adalah singkatan dari rata-rata maksimum *Reflectance* dari vitrinite, E adalah singkatan spesifik *Energi* (d.a.f), V adalah singkatan dari *Volatile matter* (d.a.f), C singkatan dari *Crucible Swelling Number*, M singkatan dari bed *Moisture*, A singkatan dari *Ash* (abu) dan S singkatan dari *Sulfur*.

Contoh :

Untuk batu bara peringkat tinggi dengan kode :

06 34 38 5 08 06

**R E V C A S**

R= 06 artinya batu bara memiliki Reflectance berada antara 0,6 – 0,69%

E= 34 artinya batu bara mempunyai Gross Specific Energy antara 34 – 34,98 MJ/kg

V = 38 artinya batu bara mempunyai Volatile Matter antara 38 -38,9% (d.a.f)

C = 5 artinya batu bara mempunyai Crucible Swelling Index 5- 5½

A = 08 artinya batu bara mempunyai kadar abu 8 -8,9% (db)

S = 06 artinya batu bara memiliki kadar sulfur antara 0,6-0,69% (db)

Untuk batu bara peringkat rendah

2 24 49 59 03 03

**R E V M A S**

R= 2 artinya batu bara memiliki Reflectance antara 0,2 – 0,29%

E= 24 artinya batu bara mempunyai Gross Specific Energy antara 24 – 24,9 MJ/kg

V = 49 artinya batu bara mempunyai Volatile Matter antara 49 -49,9%

M = 59 artinya batu bara mempunyai Bed Moisture 59- 59,9%

A = 03 artinya batu bara mempunyai kadar abu 3 -3,9% (db)

S = 03 artinya batu bara memiliki kadar sulfur antara 0,3-0,39% (db)

### 2.1.6. Klasifikasi Batu bara Jerman (DIN)

Klasifikasi batu bara Jerman yang dikenal dengan DIN (Deutsches Institut für Normung) mengelompokkan batu bara berdasarkan kandungan zat volatil dan nilai kalor batu bara.

**Tabel 10. Klasifikasi Batu bara Jerman (DIN)**

<b>Peringkat Batu bara</b>	<b>VM (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>H (%)</b>	<b>O (%)</b>	<b>S (%)</b>	<b>Nilai Kalor</b>
Braunkohle	45-65	60-75	6,0-5,8	34-17	0,5-3	<28470
Flammkohle	40-45	75-82	6,0-5,8	>9,8	~1	<32870
Gasflammkohle	35-40	82-85	5,8-5,6	9,8-7,3	~1	<33910
Gaskohle	28-35	85-87,5	5,6-5,0	7,3-4,5	~1	<34960
Fettkohle	19-28	87,5-89,5	5,0-4,5	4,5-3,2	~1	<35380
Esskohle	14-19	89,5-90,5	4,5-4,0	3,2-2,8	~1	<35380
Magerkohle	10-14	90,5-91,5	4,0-3,75	2,8-3,5	~1	35380
Anthrazit	7-12	>91,5	<3,75	<2,5	~1	<35300

Catatan : % berat

### 2.1.7. Klasifikasi Batu bara Rusia

Klasifikasi batu bara cara Rusia dapat dikelompokkan menjadi :

#### 1. Untuk batu bara jenis bituminus dan antrasit

Batu bara jenis bituminus dan antrasit dinyatakan dengan huruf. Satu atau dua huruf pertama menunjukkan 10 tingkatan batu bara berdasarkan kadar volatile matternya yaitu:

1. D =(Dlinnoplamenny) yaitu batu bara dengan nyala panjang ketika dibakar (long flame coal)
2. G = Gazovy yaitu batu bara dengan gas coal
3. GZh = Gazovy Zhirny yaitu gas fat coal
4. Zh = Zhirny fat coal
5. KZh – Koksovy Zhirny coking fat coal
6. K = Koksovy coking coal
7. K2 = coking second coal
8. SS = Slabo spekayuschiysya (CC) = weakly caking coal
9. OS = Otschenny Spekayuschiysya lean caking coal

10. T = Toschy meager coal
11. PA = Polu- antratsit semi-anthracite coal
12. A = antrasit

Pemakaian untuk batu bara jenis bituminus dan antrasit:

1. Untuk derajat batu bara coking grade G, Zh, K, OS; kadang kadang D dan T.
2. Untuk batu bara yang digunakan pada boiler – grade yang biasa digunakan adalah D, G, A dan PA;
3. Untuk pembakaran batu bara dalam pembangkit listrik – grade yang digunakan adalah SS, OS dan T.

Sering juga digunakan beberapa huruf setelah grade setelah nama batu bara. Sebagai contoh DOM atau K9. Huruf menyatakan kelas batu bara (berdasarkan fraksi ukuran) dan angka menyatakan ketebalan minimum dari lapisan plastis untuk beberapa grade.

### **Kelas batu bara berdasarkan ukuran fraksi:**

Batu bara berdasarkan ukuran fraksi dapat dibedakan menjadi:

1. P yaitu singkatan dari **platebila** ukuran fraksi batu bara > 100 mm.
2. K yaitu singkatan dari **Krupny**, untuk batu bara dengan ukuran fraksi antara 50- 100 mm.
3. O yaitu singkatan dari **Orekh** (nut) untuk batu bara dengan ukuran fraksi antara 25- 50 mm.
4. M yaitu **Melky** (little), untuk batu bara dengan ukuran fraksi antara 13- 25 mm.
5. S yaitu **Semechka** (kernel) dengan ukuran fraksi antara 6- 13 mm
  - a. Sh = "burgy" (from Russian "**Shty**") 0- 6 mm
  - b. R yaitu **Ryadovoy** (ordinary) untuk batu bara dari tambang bawah tanah dengan ukuran fraksi 0- 200 mm, dan tambang terbuka yaitu dengan ukuran fraksi 0- 300 mm.

Kelas batu bara ditandai dengan satu atau beberapa huruf. Huruf yang menyatakan kelas diletakan sebelah kanan dari huruf yang

menyatakan grade (peringkat). Fraksi spesifik peringkat batu bara ditandai dengan kelas namanya yang sama dengan nilai terakhir.

Contoh :

**ASh** yaitu batu bara jenis antrasit (A) dengan kelas burgy (Sh).

**GR** yaitu batu bara jenis gas coal (G) dengan kelas ordinary (R).

**DOM** yaitu batu bara jenis long-flame coal (D) dengan kelas 13- 50 mm (O = 25- 50 mm , M = 13- 25 mm).

**SSSSh** yaitu batu bara dengan sifat caking lemah (SS) dengan kelas 0- 13 mm (S = 6- 13 mm , Sh = 0- 6 mm )

**TOMSSh** yaitu batu bara meager (T) dengan kelas 0- 50 mm (O = 25- 50 mm , M = 13- 25 mm , S = 6- 13 mm , Sh = 0-6mm)

Peringkat batu bara G, GZh, Zh, KZh, Kdan OS dapat diklasifikasikan dengan sifat cakingnya. Sifat caking ditunjukkan dengan cara menyatakan ketebalan plastic layer (dalam mm).

Sebagai contoh;

K9 = batu bara coking dengan ketebalan plastic layer 9 mm

KZh12 = batu bara coking fat dengan ketebalan plastic layer 12 mm

### **Karakteristik dasar peringkat batu bara**

Peringkat D sampai A menunjukkan rendahnya humiditas, kandungan oksigen dan hidrogen:

- Humiditas rendah dari 14% untuk peringkat D sampai 4,5-5% untuk peringkat T dan A.
- Kandungan oksigen rendah mulai dari 15% untuk peringkat D sampai 1,5% untuk T dan A.
- Kandungan hidrogen rendah mulai 5,7% untuk peringkat D sampai 1,5% untuk T dan A.

Kandungan sulfur, nitrogen dan abu tidak tergantung pada peringkat batu bara. Panas pembakaran meningkat dari 32,4 MJ/kg (7750 kcal/kg) untuk peringkat D ke 36,2-36,6 MJ/kg (8650-8750 kcal/kg) untuk peringkat K dan menjadi rendah sampai 35,4-33,5 MJ/kg (8450-8000 kcal/kg) untuk peringkat PA dan A.



## Hubungan antara klasifikasi Rusia dengan klasifikasi ASTM

**Tabel 11. Hubungan Klasifikasi Batu bara Rusia dengan ASTM**

Klasifikasi Rusia	Klasifikasi ASTM (USA)
D, G	High volatile sub-bituminous coal
KZh, K	Medium volatile bituminous coal
OS, T	Low-volatile bituminous coal
PA; T, A (partially)	Semi-anthracite
A	Anthracite
A	Subgraphite

### 2. Untuk Batu bara jenis Lignit dan sub-bituminus

Batu bara jenis lignit dan sub-bituminus coal dinamai dengan huruf B diikuti dengan nomor 1 sampai 3 yang menunjukkan grup batu bara dengan kadar humiditinya.

B1: untuk batu bara dengan kelembaban  $>40\%$

B2: untuk batu bara dengan kelembaban 30-40%

B3: untuk batu bara dengan kelembaban  $< 30\%$

#### 2.1.8. Klasifikasi Batu bara China

Klasifikasi batu bara China didasarkan atas volatile matternya yang dibagi menjadi brown coal, bituminus, dan antrasit. Selanjutnya atas derajat coalifikasi dan keperluan industri, brown coal dan antrasit berturut-turut dibagi atas dua dan tiga sub kelas.

Untuk bituminus dibagi atas empat kadar volatile matter yaitu

- Untuk volatile matter  $> 10\%$  sampai  $20\%$  disebut low volatile bituminous coal
- Untuk volatile matter  $> 20\%$  sampai  $28\%$  disebut medium volatile bituminous coal
- Untuk volatile matter  $>28\%$  sampai  $37\%$  disebut medium-high volatile bituminous coal
- Untuk volatile matter  $> 37\%$  disebut high-volatile matter bituminous coal.

Berdasarkan sifat caking (G) maka batu bara dengan :

- a) G bernilai 0~5 adalah noncaking coal dan micro-caking coal,
- b)  $G > 5 \sim 20$  adalah weakly caking coal,
- c)  $G > 20 \sim 50$  medium sampai weakly caking coal,
- d)  $G > 50 \sim 65$  medium to strongly caking coal,
- e)  $G > 65$  strongly caking coal.

Pada nomenklatur kelas batu bara dengan mempertimbangkan kontinuitas ada 8 spesies batu bara yaitu gas coal, fat coal, coking coal, lean coal, meagre coal, non-caking coal dan longflame coal.

Pada batu bara bituminus dengan  $G > 85$ , ketebalan maksimum lapisan gelatin Y atau Arnu-Audibert's dilatometer b harus dinyatakan sebagai fat coal, gas coal dan spesies bituminus lainnya.

- a. Jika harga Y lebih besar dari 25mm, dan  $V_{daf} > 37\%$ , dogp;pmgkan ke gas-fat coal.
- b. Jika  $V_{daf} < 37\%$ , maka batu bara digolongkan sebagai fat coal.
- c. Jika  $Y < 25\text{mm}$  maka batu bara dibedakan atas nilai  $V_{daf}$  nya yaitu jika  $V_{daf} > 37\%$  maka digolongkan sebagai gas coal.
- d. Jika  $V_{daf} > 28\% \sim 37\%$  maka batu bara digolongkan sebagai 1/3 coking coal.
- e. Jika  $V_{daf}$  lebih kecil dari 28%, maka batu bara digolongkan sebagai coking coal.
- f. Jika nilai G besar dari 100 maka batu bara digolongkan fat coal atau gas-fat coal tanpa perlu memperhatikan nilai Y.

**Tabel 12. Klasifikasi Batubara China**

Kategori	Simbol	Vdaf%	GRL	Ymm	b%	PM%	Qgrmaf
Anthracite	WY	10					
Meagre Coal	PM	>10.0-20.0	<5				
Lean-meagre Coal	PS	>10.0-20.0	5-20				
Lean Coal	SM	>10.0-20.0	>20-65				
Coking Coal	JM	>20.0-28.0 >10.0-20.0	>50-65 >65①	<25.0	(<150)		
Fat Coal	FM	>10.0-37.0	(>85)①	>25	①		
1/3Coking Coal	1/3JM	>28.0-37.0	>65①	<25.0	(<220)		
Gas & Fat Coal	QF	>37.0	(>85)①	>25.0	) 220		
Gas Coal	QM	>28.0-37.0 >37.0	>50-65 >35-65	<25.0	(<220)		
1/2Middle Sticky Coal	1/2ZN	>20.0-37.0	>30-50				
Weak-Sticky Coal	RN	>20.0-37.0	>5-30				
Un-Sticky Coal	BN	>20.0-37.0	<5				
Long Flame Coal	CY	>37.0	<5-35			) 50	
Brown Coal	HM	>37.0 >37.0				<30 >30-50	<24

**Consolidated Table of Coal Classification**

Kategori	Simbol	Vdaf%	P <sub>M</sub> %
Anthracite	WY	<10.0	
Bitumite	YM	>10.0	-
Brown coal	HM	>37.0	<50

**Klasifikasi Antrasit**

Category	symbol	Vdaf%	H*%
Anthracite 1#	WY1	0-3.5	0-2.0
Anthracite 2#	WY2	>3.5-6.5	>2.0-3.0
Anthracite 3#	WY3	>6.5-10.0	>3.0

## Klasifikasi Batu bara Bituminous

Kategori	Simbol	Vdaf%	GRL	Y,mm	b%
Meager coal	PM	>10.0-20.0	<5		
Lean-meagre Coal	PS	>10.0-20.0	5-20		
Lean Coal	SM	>10.0-20.0	>20-50		
		>10.0-20.0	>50-65		
Coking Coal	JM	>10.0-20.0	>65	<25.0	(<150)
		>20.0-28.0	>50-65		
		>20.0-28.0	>65	<25.0	(<150)
Fat Coal	FM	>10.0-20.0	(>85)	>25	(>150)
		>20.0-28.0	(>85)	>25	(>150)
		>28.0-37.0	(>85)	>25	(>220)
1/3Coking Coal	1/3JM	>28.0-37.0	>65	<25.0	(<220)
Gas & Fat Coal	QF	>37.0	(>85)	>25.0	> 220
Gas Coal	QM	>28.0-37.0	>50-65		(<220)
		>37.0	>35-50		
		>37.0	>50-65		
		>37.0	>65	<25.0	
1/2Middle Sticky coal	1/2ZN	>20.0-28.0	>30-50		
		>28.0-37.0	>30-50		
Weak Sticky Coal	RN	>20.0-28.0	>5-30		
		>28.0-37.0	>5-30		
Un-sticky Coal	BN	>20.0-28.0	<5		
		>28.0-37.0	<5		
Long Flame Coal	CY	>37.0	<5		
		>37.0	>5-35		

### Klasifikasi Batu bara coklat

Kategori	Simbol	P <sub>M</sub> %	Q <sub>gr,maf</sub> (1)(MJ/kg)
Brown Coal1#	HM1	>0-30	-
Brown Coal2#	HM2	>30-50	<24

### 2.1.9. Klasifikasi Batu bara Jepang

Klasifikasi batu bara Jepang didasarkan pada Japan Industrial Standard (JIS) yaitu JIS M 1002 tahun 1978 seperti terlihat pada Tabel 13 berikut.

**Tabel 13. Klasifikasi Batu bara Jepang (JIS)**

Klasifikasi		Nilai Kalor		Fuel	Sifat Caking
Kualitas Batu bara	Kategori	(kJ/kg atau kcal/kg) (d.a.f)		Ratio	
Antrasit (A)	A1	-		$\geq 4,0$	Non caking
	A2				
Bituminus (B,C)	B1	$\geq 35.160$		$\geq 1.5$	Strong caking
	B2	$(\geq 8400)$		$< 1,5$	
	C	33,910 - 35,160	(8,100 - 8,400)	-	Caking
Subbituminus (D,E)	D	32,650 - 33,910	(7,800 - 8,100)	-	Weak-caking
	E	30,560 - 32,650	(7,300 - 7,800)	-	Non-caking
Brown coal (F)	F1	29,470 - 30,560	(6,800 - 7,300)	-	Non -caking
	F2	24,280 - 29,470	(5,800 - 6,800)	-	

*Sumber : [www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e483/e483019.pdf](http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e483/e483019.pdf)*

# **BAB 3**

## **ANALISIS DAN PENGUJIAN BATU BARA**

### **3.1. Basis Analisis dan Pelaporan Contoh Batu bara**

Dalam pemanfaatan batu bara perlu dinyatakan basis analisis dan pelaporan mengenai bagaimana cara batu bara tersebut dianalisis. Analisis dan pelaporan batu bara dapat dinyatakan dengan cara :

1. As received (a.r) yaitu batu bara dianalisis dan dilaporkan termasuk kandungan air total sebagaimana keadaan di lapangan.
2. Air dry basis (a.d.b) yaitu batu bara dianalisis dan dilaporkan tidak termasuk kandungan kadar air permukaannya.
3. Dry ash free (d.a.f) yaitu batu bara dianalisis dan dilaporkan tidak termasuk kandungan air total dan kandungan abunya.
4. Dry basis (d/b) yaitu batu bara dianalisis dan dilaporkan tidak termasuk kandungan air total maupun inherent moisture-nya.
5. Moist mineral matter free (m.m.m.f) yaitu bila batu bara dianalisis dan dilaporkan tanpa mengikutkan mineral matter tapi masih mengandung moisture.
6. Moisture ash free (m.a.f) yaitu bila batu bara dianalisis dan dilaporkan tanpa mengikutkan kadar abu tetapi masih mengandung air.
7. Mineral matter free (m.m.f) yaitu bila batu bara dianalisis dan dilaporkan tanpa mengikutkan kadar mineral matter.

Tabel 14 berikut memperlihatkan hubungan konversi berdasarkan metode pelaporan batu bara berdasarkan ASTM-D-3180.



**Tabel 14. Konversi Pelaporan Hasil Analisis Batu bara**

	a.d	a.r	d	d.a.f
a.d	-	$\frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - M_{ad} - A_{ad}}$
a.r	$\frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ar}}$	-	$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - M_{ar} - A_{ar}}$
d	$\frac{100 - M_{ad}}{100}$	$\frac{100 - M_{ar}}{100}$	-	$\frac{100}{100 - A_d}$
d.a.f	$\frac{100 - M_{ad} - A_{ad}}{100}$	$\frac{100 - M_{ar} - A_{ar}}{100}$	$\frac{100 - A_d}{100}$	-

Catatan : M adalah persen berat moisture, A persen berat abu

Sumber : Speight (2005)

### 3.2. Analisis Proksimat

Analisis proksimat batu bara adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan kadar moisture (uap air), ash content (kadar abu), volatile matter (zat terbang) dan karbon tetap (fixed carbon) melalui serangkaian metoda standar. Hasil analisis proksimat terhadap batu bara memisahkan produk menjadi empat kelompok yaitu :(1) moisture; (2) volatile matter yang terdiri dari gas-gas dan uap selama proses pirolisis (3) fixed carbon yaitu fraksi nonvolatile batu bara; dan (4) ash yaitu residu anorganik setelah proses pembakaran. Kadangkadang analisis proksimat dapat mencakup juga temperatur lebur abu (*ash fusion temperature*) dan indeks muai bebas batu bara (*free-swelling index*). Contoh hasil analisis proksimat suatu batu bara dapat dilihat pada Tabel 15.

**Tabel 15. Peringkat batu bara dan Analisis Proksimat**

Parameter	Antrasit	Bituminus	Sub-bituminus	Lignit
Kadar Air (%)	3-6	2-15	10-25	25-45
Zat terbang (%)	2-12	15-45	28-45	24-32
Karbon tetap (%)	75-85	50-70	30-57	25-30

Abu (%)	4-15	4-15	3-10	3-15
Sulfur (%)	0,5-2,5	0,5-6	0,3-1,5	0,3-1,5
H (%)	1,5 -3,5	4,5 -6	5,5-6,5	6-7,5
C (%)	75-85	65-80	55-70	35-45
N (%)	0,5-1	0,5- 2,5	0,8-1,5	0,6-1,0
O (%)	5,5-9	4,5-10	15-30	38-48
Nilai kalor (btu/lb)	12,000- 13,500	12,000- 14,500	7,500– 10,000	6,000 -7,500
Densitas (g/mL)	1,35- 1,70	1,28-1,35	1,35-1,40	1,40-1,45

### 3.2.1. Kadar Air (Moisture Content)

Air yang terkandung dalam batu bara berasal dari berbagai sumber. Tumbuh-tumbuhan yang membentuk batu bara dapat mengandung kadar air dalam jumlah yang tinggi yang terikat secara fisis dan kimia. Air yang terikat ini dapat hadir pada berbagai tahapan coalifikasi, tetapi secara keseluruhan hasil proses coalifikasi akan mengeliminasi sejumlah besar air dalam batu bara khususnya pada tahap akhir coalifikasi. Akibatnya kadar air dapat bervariasi sesuai dengan perbedaan peringkat batu bara dari lignit sampai antrasit. Air dalam kebanyakan tambang akan bersirkulasi melalui cebakan batu bara. Setelah penambangan, batu bara dicuci dengan air sebagai persiapan untuk dipasarkan. Batu bara dapat terkena air hujan selama penyimpanan. Semua ini merupakan sumber kadar air dalam batu bara.

Total moisture dalam batu bara adalah determinasi kadar air (dalam segala bentuk kecuali air yang berasal dari kristalisasi mineral matter yang dapat tertinggal dalam matriks batu bara. Kadar air dalam batu bara dapat bervariasi dari 2 sampai 15% berat untuk jenis bituminus dan hampir 45% berat untuk jenis lignit. Total moisture dapat dibedakan menjadi *free moisture* (air bebas) yaitu air yang terdapat pada permukaan partikel batu bara dan dapat dihilangkan dengan pemanasan pada suhu 105 °C dan *inherent moisture* yaitu air yang terdapat dalam matriks pori batu bara yang sukar dihilangkan dengan pemanasan biasa tapi dapat dikurangi dengan cara kimia.

### 3.2.2. Kadar Karbon tetap (Fixed Carbon)

Karbon tetap (fixed carbon) adalah bahan yang tersisa setelah penentuan kadar air, volatil matter, dan kadar abu. Nilai fixed-karbon adalah salah satu dari nilai-nilai yang digunakan dalam menentukan efisiensi peralatan pembakaran batu bara. Nilai Karbon tetap adalah ukuran dari bahan padat yang mudah terbakar. Karbon tetap dan abu pada dasarnya merupakan hasil dari coke. Kadar karbon tetap dapat dihitung dengan rumus :

$$FC = 100 - VM - Ash$$

dengan FC adalah kadar karbon tetap, VM adalah volatile matter, dan Ash adalah kadar abu.

### 3.2.3. Kadar Abu (Ash)

Abu (ash) adalah residu yang tersisa setelah pembakaran batu bara pada kondisi tertentu dan terutama terdiri dari oksida dan sulfat yang terbentuk sebagai hasil dari perubahan kimia yang terjadi dalam mineral. Perubahan yang terjadi meliputi (1) hilangnya air dari mineral silikat, (2) hilangnya karbon dioksida dari mineral karbonat, (3) oksidasi pirit besi menjadi besi oksida, dan (4) fiksasi oksida belerang dengan basa seperti kalsium dan magnesium. Material yang terdapat dalam abu terdiri dari 1) mineral yang terdiri dari kalsium, magnesium, besi karbonat; pirit, marcasite; tanah liat; serpih; pasir, dan gipsum. 2) Bahan mineral bawaan yang merupakan unsur anorganik yang dikombinasikan dengan komponen organik batu bara yang berasal dari tanaman-material dari mana batu bara terbentuk.

Penggunaan batu bara dengan kadar abu berasal dari alkali oksida sering mengakibatkan terjadinya masalah slagging dan fouling. Sebagai oksida, sebagian elemen abu memiliki titik leleh tinggi, yang cenderung membentuk senyawa kompleks (sering disebut campuran eutektik) dengan elemen yang memiliki titik leleh yang relatif rendah. Disisi lain kadar abu dengan kandungan kalsium tinggi dan kadar besi yang rendah cenderung membentuk lelehan terak terutama jika kandungan natrium dari terak lebih dari 4% berat.

**Tabel 16. Sifat Pemanasan Senyawa Organik dan Akibatnya pada Analisis**

<b>Spesies organik</b>	<b>Sifat pada pemanasan</b>	<b>Akibat pada analisis</b>
Clay	Kehilangan struktur grup OH dengan penyusunan kembali struktur dan menghasilkan H <sub>2</sub> O.	Berat Abu lebih rendah dari material matter. Kadar air meningkatkan H, O dan Volatile matter
Karbonat	Terdekomposisi dengan kehilangan CO <sub>2</sub> . Sisa-sisa oksida membuat senyawa organik dan Sulfur dalam bentuk pirit menjadi sulfat	Kadar abu menjadi lebih rendah dari kadar material matter, tetapi efek ini dapat difiksasi belerang sebagai sulfat. CO <sub>2</sub> dari karbonat meningkatkan Volatile matter, C organik, dan O organik.
Quartz	Mungkin bereaksi dengan oksida besi dari pirit	Tidak ada pengaruh.
Pirit	Di udara terbakar menjadi FeO <sub>2</sub> dan SO <sub>2</sub> . Pada penentuan VM terdekomposisi menjadi FeS	Meningkatkan pembakaran. panas
Oksida logam, karboksilat-logam (hanya untuk lignit dan subbituminus)		

Dalam metode pengujian kadar abu dengan ASTM D-3682 dan ASTM D-4326), contoh batu bara sebanyak 3 sampai 5 gram ditimbang dan dipanaskan secara bertahap pada suhu 500 °C dalam 1 jam dan suhu 750 °C selama 2 jam. Analisis abu batu bara melibatkan kombinasi metode untuk menentukan jumlah silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), titanium oksida (TiO<sub>2</sub>), posfor

pentoksida (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), natrium oksida (Na<sub>2</sub>O), dan kalium oksida (K<sub>2</sub>O).

Berbagai metode telah direkomendasikan untuk analisis abu batu bara termasuk: (1) AAS (ASTM D-3682; ASTM D-3683; ASTM D-4606, ASTM D-6414), (2) induktif plasma-atom emisi spectroscopy (ASTM D-6349; ASTM D-6357), dan (3) x-ray fluorescence (ASTM D-4326). Slagging, fouling, dan clinkering berkorelasi tidak hanya dengan komposisi abu batu bara tetapi juga dengan fusibility dari abu batu bara (ASTM D-1857, ISO 540).

### **Kandungan Mineral**

Mineral matter (kadar mineral) dalam batu bara biasanya dibedakan atas 1) inherent mineral matter dan 2) adventitious mineral matter. Inherent mineral matter merupakan material anorganik yang dapat dipisahkan dengan metode yang ada. Adventitious mineral matter adalah material anorganik yang tidak begitu terkait dengan batu bara. Mineral dapat ditransportasi dan didepositkan dalam peat oleh angin atau air yang dikenal dengan *allogenic* atau *detrital* dan mineral yang tertinggal dan terbentuk di tempat (*authigenic*) yang dapat dibagi menjadi yang terbentuk karena pembentukan batu bara (*syngenetic*) dan yang terbentuk karena tahap awal pada koalifikasi (*epigenetic*).

Kandungan mineral dari batu bara terdiri dari *extraneous mineral/ash*, zat organik ikutan selama koalifikasi dalam bentuk clay, pyrites, calcites, Ca dan Mg carbonate, dan *Inherent mineral/ash* yaitu zat anorganik yang ada dalam batu bara yang berasal dari tumbuhan dan lumpur. Beberapa formula diajukan untuk menentukan kadar mineral matter. Formula yang dapat digunakan adalah Parr formula dan King–Mavies–Crossley formula. Formula Parr dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{Mineral matter (\% w/w)} = 1.08A + 0.55S$$

dengan : A adalah persentase kadar abu dan S merupakan kadar sulfur total.

King–Mavies–Crossley formula merupakan rumus yang sedikit kompleks karena berusaha melibatkan kemungkinan reaksi kimia karena keberadaan mineral matter.

$$\text{Mineral matter (\% w/w)} = 1.09A + 0.5S_{\text{pyr}} + 0.8\text{CO}_2 - 1.1\text{SO}_3(\text{ash}) + \text{SO}_3(\text{coal}) + 0.5\text{Cl}$$

dengan:  $S_{\text{pyr}}$  adalah persentase sulfur dalam bentuk pirit,  $\text{CO}_2$  adalah persentase  $\text{CO}_2$  dalam mineral matter,  $\text{SO}_3$  (ash) merupakan persentase  $\text{SO}_3$  dalam abu dan  $\text{SO}_3$  (coal) adalah  $\text{SO}_3$  dalam batu bara dan Cl adalah persentase chlorin dalam batu bara.

Kadar mineral/abu dalam batu bara mempunyai pengaruh yaitu menambah energi pada proses penghalusan/penggilingan, dapat menyebabkan korosi pada pipa boiler, penyumbatan/fouling yang akan menghalangi aliran panas, kesukaran dalam ruang bakar dan dapat merusak klinker pada pabrik semen. Dalam prakteknya, ada dua jenis abu batu bara yaitu *Fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu terak).

**Tabel 17. Komponen Abu Batu bara**

Mineral utama	Silikat	Mineral clay	Kaolinite Illite Mixed layer Chlorite Quartz	$\text{Al}_2\text{O}_3$     $\text{SiO}_2$
Mineral dalam jumlah sedikit		Karbonat	Calsite Dolomite Ankerite Siderite	$\text{CaCO}_3$ $\text{Ca.Mg}(\text{CO})_3$ $\text{Ca}(\text{FeMg})\text{CO}_3$ $\text{FeCO}_3$
		Disulfida	Pyrite Marcasite	$\text{FeS}_2$ (cubic) $\text{FeS}_2$ (ortorhombik)
		Sulfat	Coquimbite Szmolnokites Gypsum Bassanite Anhydrite Jarosite	

	Feldspars	Plagioclase Orthoclase	
	Sulfida	Sphalerite Galena Pyrrhotite	ZnS PbS FeS
Mineral runutan		Mineral runutan	

*Sumber : diadaptasi dari Meyer, RA (1982)*

### **Aluminiumsilikat (mineral clay)**

Clay merupakan mineral yang umum dijumpai dalam batu bara dan lapisan batu bara dalam cebakan. Clay dijumpai dalam bentuk kaolinite dan campuran lapisan illite-montmorillonite.

### **Mineral Sulfida**

Sulfida dalam batu bara terdiri dari pyrite dan marcasite. Pyrite mempunyai bentuk kristal dan marcasite mempunyai bentuk kristal ortorombik. Kedua mineral ini relatif mudah dihilangkan dari kandungan batu bara.

### **Mineral Sulfat**

Besi disulfida teroksidasi secara cepat setelah batu bara ditambang. Sulfat dalam bentuk gipsum ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan barite ( $\text{BaSO}_4$ ) juga dijumpai dalam batu bara.

### **Mineral Silikat**

Mineral silikat dijumpai dalam bentuk kuarsa. Kuarsa juga merupakan komponen dalam clay yang ada pada batu bara.

### **Mineral Karbonat**

Mineral Karbonat merupakan persenyawaan kalsium, magnesium dan besi yang terdapat dalam batu bara. Kalsium karbonat (kalsit) dan besi karbonat (siderite), ankerite (persenyawaan karbonat, magnesium dan besi) sangat sering dijumpai dalam batu bara.

Menurut International Journal of Coal Geology, mineral yang ada dalam batu bara dapat dikelompokkan seperti pada Tabel 18.

**Tabel 18. Mineral batubara**

Kelompok Mineral	Nama	Rumus Kimia
Silikat	Quartz	SiO <sub>2</sub>
	Chalcedony	SiO <sub>2</sub>
	Mineral clay:	
	Kaolinite	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [OH] <sub>4</sub>
	Illite	K <sub>1.5</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>6.5</sub> Al <sub>1.5</sub> O <sub>20</sub> [OH] <sub>4</sub>
	Smectite	Na <sub>0,33</sub> Al <sub>1,67</sub> Mg <sub>0,33</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> [OH] <sub>2</sub>
	Chlorite	[MgFeAl] <sub>6</sub> AlSi <sub>4</sub> O <sub>10</sub> [OH] <sub>8</sub>
	Interstratified clay:	
	Feldspar	
		KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
		NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
		CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
	Tourmaline	Na[FeMgMn] <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub> [OH] <sub>4</sub>
Analcime	NaAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> H <sub>2</sub> O	
Clinoptilolite	[NaK] <sub>6</sub> [SiAl] <sub>36</sub> O <sub>72</sub> 20H <sub>2</sub> O	
Heulandite	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>7</sub> O <sub>18</sub> 6 H <sub>2</sub> O	
Karbonat	Calcite	CaCO <sub>3</sub>
	Aragonite	CaCO <sub>3</sub>
	Dolomite	CaMg[CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub>
	Ankerite	[Fe, Ca, Mg]CO <sub>3</sub>
	Siderite	FeCO <sub>3</sub>
	Dawsonite	NaAlCO <sub>3</sub> [OH] <sub>2</sub>
	Strontianite	SrCO <sub>3</sub>
	Witherite	BaCO <sub>3</sub>
	Alstonite	BaCa[CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub>
	Sulfida	Pyrite
Marcasite		FeS <sub>2</sub>
Phyrhotite		Fe <sub>[1-x]</sub> S
Sphalerite		ZnS
Galena		PbS
Stibnite		SbS
Milerite		NiS
Sulfat	Gypsum	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O
	Bassanite	CaSO <sub>4</sub> .1/2 H <sub>2</sub> O
	Anhydrite	CaSO <sub>4</sub>
	Barite	BaSO <sub>4</sub>
	Coquimbite	Fe <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> 9H <sub>2</sub> O
	Rozenite	FeSO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O
	Szomolnokite	FeSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O
	Natrojarosite	NaFe <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> [OH] <sub>6</sub>
	Thenardite	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Glauberite	Na <sub>2</sub> Ca[SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub>



	Hexahydrate Tscherigimite	MgSO <sub>4</sub> 6H <sub>2</sub> O NH <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> 12 H <sub>2</sub> O
Fospat	Apatite Crandalite Gorceixite Goyazite Monazite Xenotime	Ca <sub>5</sub> F[PO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> CaAl <sub>3</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> OH <sub>5</sub> H <sub>2</sub> O BaAl <sub>3</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> OH <sub>5</sub> H <sub>2</sub> O SrAl <sub>3</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> OH <sub>5</sub> H <sub>2</sub> O [Ce,La,Th, Nd]PO <sub>4</sub> [Y,Er]PO <sub>4</sub>
Lain-lain	Anatase Rutile Boehmite Goethite Crocoite Chromite Clausthalite Zircon	TiO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub> Al.O.OH Fe[OH] <sub>3</sub> PbCrO <sub>4</sub> [Fe,Mg]Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> PbSe ZrSiO <sub>4</sub>

Sedangkan unsur-unsur runutan (trace element dalam mineral batu bara) yang jumlahnya sangat sedikit dan terdiri dari berbagai bagai elemen ditunjukkan pada Tabel 19.

**Tabel 19. Komposisi kimia mineral dalam batu bara**

Nama Unsur	Kadar (ppmv)	Nama Unsur	Kadar (ppmv)
Arsen (As)	2,1	Lanthanum (La)	17
Boron (B)	35	Mangan (Mn)	84
Barium (Ba)	130	Molybdate (Mo)	1,6
Beryllium (Be)	1,2	Nickel (Ni)	10
Brom (Br)	1,5	Plumbum (Pb)	14
Cadmium (Cd)	0,07	Rubidium (Rb)	2,1
Cerium (Ce)	24	Stibidium (Sb)	0,57
Cobalt (Co)	3,5	Scandinaviu (Sc)	2,9
Chrom (Cr)	7,0	Selenium (Se)	3,1
Cesium (Cs)	0,30	Samarium (Sm)	1,4
Cuprum (Cu)	9,2	Stronsium (Sr)	316
Europium (Eu)	0,32	Thorium (Th)	8,4
Fluor (F)	277	Titanium	0,43
Germanium (Ge)	0,50	Uranium (U)	2,1
Hafnium (Hf)	1,8	Vanadium	17
Hidrargyrum (Hg)	0,13	Wolfram (W)	0,73

Sumber : Chrisman (2003)

### **3.2.3. Kadar zat terbang (Volatile Matter)**

Volatile matter atau zat terbang dapat ditentukan dengan menggunakan standar ASTM D-3175; atau ISO 562 yang merupakan persentase produk volatil di luar uap air yang dibebaskan saat batu bara dipanaskan pada kondisi yang dikontrol dengan ketat. Pengukuran berat sampel yang hilang karena penghilangan uap air. Jenis peralatan pemanas dan ukuran serta bentuk wadah sampel (krusibel platinum) mempunyai pengaruh pada pemanasan sampel dan rentang suhu yang digunakan. Krus yang digunakan biasanya mempunyai kapasitas 10 sampai 20 mL.

### **3.3. Analisis Ultimat**

Analisis ultimat batu bara meliputi determinasi persen berat karbon, sulfur, nitrogen dan oksigen.

#### **3.3.1. Karbon dan Hidrogen**

Karbon dan hidrogen dalam batu bara mempunyai kadar masing-masing berkisar antara 70 sampai 95% dan 2 sampai 6% (d.a.f). Hampir semua karbon dan hidrogen dalam batu bara terdapat dalam bentuk senyawa organik kompleks. Karbon juga terdapat dalam bentuk mineral karbonat dengan kalsit sebagai komponen utama, sedangkan hidrogen dijumpai dalam berbagai bentuk kelembaban.

Semua metode penentuan karbon dan hidrogen dari batu bara adalah sangat mirip karena penentuan elemen karbon dan hidrogen dilakukan dengan pembakaran batu bara secara tertutup dimana produk hasil pembakaran diserap. Persentase berat karbon dan hidrogen dalam batu bara termasuk karbon dalam bentuk senyawa karbonat dan hidrogen yang ada dalam bentuk air bebas, dan air dalam bentuk silika hidrat.

Pelaporan kandungan hidrogen dan oksigen dalam air bebas terkait dengan contoh dapat termasuk atau dikecualikan dari hidrogen dan oksigen. Hidrogen dalam bentuk air dari silika hidrat umumnya diabaikan. Namun demikian hal ini dapat menyebabkan kesalahan bila

batu bara mengandung kadar mineral matter yang tinggi. Beberapa sistem analisis elemen yang cocok dengan analisis batu bara dapat digunakan untuk penentuan karbon, hidrogen, dan nitrogen secara simultan. Oksigen dapat ditentukan melalui pembakaran secara terpisah dimana batu bara dikonversi menjadi nitrogen, karbon dioksida dan air secara katalitik yang kemudian dipisahkan menggunakan gas chromatography (GC).

### **3.3.2. Nitrogen**

Nitrogen sering terdapat dalam bentuk senyawa organik batu bara. Sumber nitrogen dalam batu bara dapat berasal dari tumbuhan dan hewan. Protein, alkaloid, chlorophyll, dan porphyrins mengandung nitrogen dalam bentuk siklik yang cukup stabil selama proses coalifikasi sehingga berkontribusi terhadap kandungan nitrogen dalam batu bara.

Prosedur penentuan nitrogen biasanya dilakukan dengan metode Kjeldahl (ASTM D-3179; ISO 333), atau cara Dumas (DIN 51722), dan prosedur gasifikasi (DIN 15722). Pada metoda Kjeldahl batu bara pulverized dipanaskan dengan campuran asam silfat dan kalsium sulfat dan katalis seperti garam mercury, selenium atau senyawa selenium atau campurannya.

Metode Kjeldahl–Gunning merupakan cara yang banyak digunakan untuk penentuan nitrogen (ASTM D-3179). Metode ini senyawa nitrogen dikonversi menjadi garam ammonium dengan cara destruktif digestion menggunakan asam sulfat dan kalsium sulfat panas. Setelah digesi campuran dibuat dalam suasana alkali dengan penambahan NaOH atau KOH, didistilasi lalu dikondensasi dan diabsorb menggunakan asam sulfat. Sisa asam dititrasi dengan larutan NaOH.

### **3.3.3. Sulfur**

Sulfur total dalam batu bara dapat ditentukan dengan metode ASTM D-3177 dan ASTM D-4239. Kandungan sulfur dalam batu

bara berkaitan dengan emisi oksida bila batu bara digunakan sebagai bahan bakar. Emisi oksida sulfur dapat bersifat korosif terhadap peralatan, slagging pada boiler, polusi dan kerusakan lingkungan.

Sulfur terdapat pada batu bara dalam tiga bentuk yaitu (1) sulfur yang terikat secara organik, (2) sulfur anorganik (pyrite atau marcasite ( $\text{FeS}_2$ ), dan (3) sulfat anorganik. Jumlah sulfur organik dalam batu bara biasanya <3%, walaupun ada juga yang mencapai 11%). Sulfur anorganik dapat dibedakan atas lima jenis berdasarkan gugus fungsionalnya yaitu merkaptan atau thiol ( $\text{R-S-H}$ ), sulfida atau thio-ester ( $\text{RSR}'$ ), disulfida ( $\text{RSSR}'$ ), aromatik dalam bentuk yang mengandung cincin thiofen dan dalam bentuk  $\gamma$ -thiopyrone.

Kadar sulfat, terutama kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) dan besi sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ) yang biasanya terdapat dalam batu bara jarang melebihi 0,1% kecuali bila sampel batu bara berada pada cuaca dengan suhu tinggi atau dalam keadaan teroksidasi. Pyrite dan marcasite (dua bentuk umum kristal  $\text{FeS}_2$ ) yang sulit untuk dibedakan dari satu dengan lainnya sehingga sering dinyatakan dengan pyrite saja. Sulfur bebas tidak dijumpai dalam batu bara.

Jumlah sulfur dalam batu bara bervariasi khususnya pada batu bara yang berasal dari cekungan yang berbeda. Pyrite tidak terdistribusi secara uniform dalam batu bara dan dapat dijumpai sebagai lapisan atau slab. Kandungan sulfat biasanya dijumpai dalam bentuk gipsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) dan ferro sulfat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) yang jumlahnya sangat kecil.

Ada tiga macam cara penentuan sulfur yang dikenal yaitu (1) metoda Eschka, (2) metoda kalorimeter bom, dan (3) metoda pembakaran pada suhu tinggi.

Semua metode penentuan sulfur didasarkan pada pembakaran material yang mengandung sulfur sehingga menghasilkan sulfat yang dapat diukur secara gravimetri atau volumetri. Metoda Eschka memberikan keuntungan karena peralatan yang dipakai cukup sederhana dan mudah digunakan. Namun demikian metode pembakaran material organik lebih menguntungkan karena sulfur tidak hilang selama pembakaran. Metode dekomposisi mencakup

prosedur Parr fusion yang menggunakan natrium peroksida dan oksigen pada tekanan tinggi (300 - 450 psi atau 2.1 sampai 3.1 MPa).

Pada metoda Eschka (ASTM D-3177; ISO 334; ISO 351), 1 gram sampel batu bara dicampur dengan 3 gram campuran Eschka yang merupakan kombinasi dari dua bagian light calcined magnesium oxide dan satu bagian  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  anhidrous. Campuran batu bara ditempatkan dalam krus porselin (volume 30 ml) dan ditutupi dengan campuran Eschka dan krus dipanaskan dalam muffle furnace pada suhu  $800 \pm 25^\circ\text{C}$  sampai sampel teroksidasi sempurna. Senyawa sulfur pada saat pembakaran akan bereaksi dengan  $\text{MgO}$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  membentuk  $\text{MgSO}_4$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Berbeda dengan pyrite dan sulfur organik, sulfat sulfur merupakan senyawa yang larut dalam  $\text{HCl}$ . Karena itu sulfat sulfur dapat ditentukan dengan mengekstraksi partikel batu bara (ukuran -60 mesh) menggunakan  $\text{HCl}$ . Ekstrak diendapkan dengan larutan  $\text{BaCl}_2$  dan endapan ditimbang sebagai  $\text{BaSO}_4$ .

Sulfur dalam bentuk pyrite dapat ditentukan dengan metode ASTM D2492 yaitu dengan mengekstrak batu bara menggunakan  $\text{HNO}_3$ . Kadar sulfur dalam pyrite ditentukan dengan titrasi atau serapan atom dari besi di dalam ekstrak.

Sulfur organik dapat ditentukan dengan mengurangkan sulfur total dengan sulfur sulfat dan sulfur pyrite.

Sulfur organik = Sulfur total- (sulfur sulfat + sulfur pyrite).

### **3.3.4. Oksigen**

Oksigen dijumpai baik sebagai senyawa organik dan anorganik. Dalam bentuk organik oksigen terdapat pada gugus hydroxyl ( $-\text{OH}$ ) biasanya dalam bentuk grup fenol, karboksil ( $\text{CO}_2\text{H}$ ), metoksil ( $-\text{OCH}_3$ ), dan karbonyl ( $=\text{C}=\text{O}$ ). Pada batu bara peringkat rendah hydroxyl oxygen rata-rata 6 to 9%, sedangkan untuk batu bara peringkat tinggi kurang dari 1%.

Persentase oksigen dalam gugus karbonil, metoksil, dan karboksil rata beberapa persen pada batu bara peringkat rendah dan hampir tidak ada pada batu bara peringkat tinggi. Batu bara

mengandung oksigen dalam berbagai bentuk moisture, silikat, karbonat, oksida, dan sulfat. Silikat biasanya terdapat dalam bentuk aluminium silikat. Kebanyakan karbonat terdapat dalam bentuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), sedang oksida terutama dalam bentuk besi oksida ( $\text{FeO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sulfat dalam kalsium dan besi ( $\text{CaSO}_4$  dan  $\text{FeSO}_4$ ). Tidak ada metode pengukuran oksigen secara langsung yang tersedia sampai saat ini. Namun pendekatan secara empiris dapat dilakukan dengan menggunakan hubungan sebagai berikut :

$$\text{Persentase Oksigen} = 100 - (\%C + \%H + \%N + \%S_{\text{organic}})$$

### 3.3.5. Nilai Kalor (Calorific value)

Nilai kalor adalah penjumlahan panas pembakaran dari unsur yang dapat terbakar dalam batu bara (C, H dan S) dikurangi panas peruraian zat carbonaceous dan ditambah atau dikurangi dengan reaksi eksotermis dan endotermis dari pembakaran zat pengotor dalam batu bara. Metode yang digunakan untuk menentukan gross calorific value batu bara adalah menggunakan kalorimeter adiabatik (ASTM D-2015) yang digantikan dengan isothermal bomb calorimeter (ASTM D-3286).

Nilai kalor batu bara dapat dihitung secara empiris menggunakan persamaan Dulong (1973) sebagai berikut:

$$HHV \left( \frac{MJ}{kg} \right) = 33,86 * C + 144,4 * \left( H - \frac{O}{8} \right) + 9428 * S$$

Channiwala & Parikh (2002) mengusulkan formula untuk menghitung nilai kalor sebagai berikut:

$$HHV \left( \frac{MJ}{kg} \right) = 34,91 * C + 117,83 * H - 10,34 O - 1,51N + 10,05 * S - 2,11 * Ash$$

## **3.4. Sifat Caking dan Coking Batu bara**

### **3.4.1.Sifat Coking**

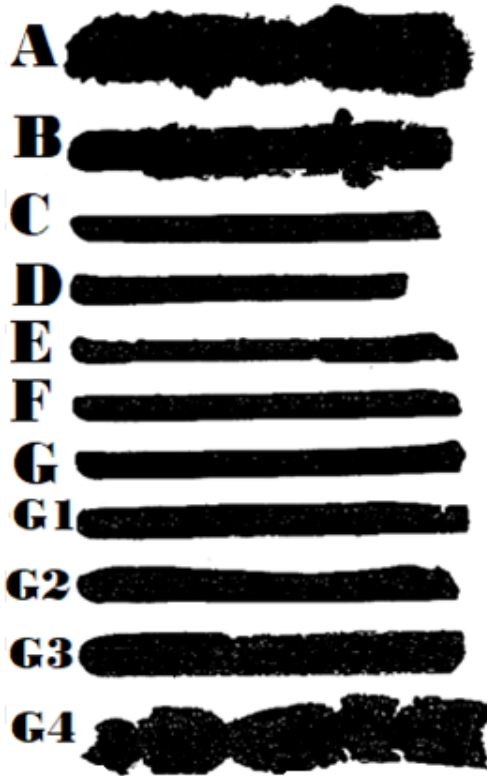
Sifat coking batu bara adalah suatu keadaan dimana bila batu bara dipanaskan pada suhu tertentu tidak menunjukkan gejala swelling. Sifat coking dapat ditentukan dengan melakukan tes Gray King Assay dan Dilatasi.

#### **Gray King Assay**

Gray King Assay adalah suatu metode untuk menentukan sifat coking batu bara yaitu dengan memanaskan 20 gram batubara dalam tabung silika sampai sampai suhu 600 °C. Sisa produk pemanasan dibandingkan dengan suatu standar mulai dari noncoking (type A) sampai sangat coking (G).

Dalam metode ini batu bara dipanaskan dalam suatu retort silika dengan menggunakan furnace listrik yang disusun dan dapat didorong keluar dari retort setelah dipanaskan pada temperatur yang diperlukan. Produk volatil melewati retort menuju kondenser untuk didinginkan. Jika diperlukan dapat dimasukkan ke dalam vessel yang mengandung media pendingin untuk mengumpulkan tar dan liquor. Gas-gas yang tersisa dibebaskan dari ammonia melalui scrubber gelas yang mengandung glass bead yang dibasahi dengan asam sulfat dan dilalukan ke penampung gas.

Hasil pemeriksaan dinyatakan dengan seri standard yaitu: A, B, C, D, E, F, G, G1, G2, G3, dan Gx seperti tertera pada Gambar 2.



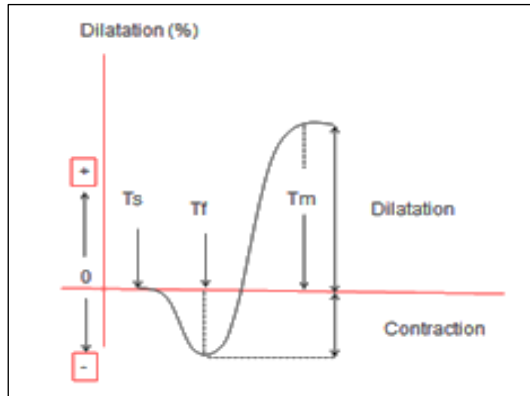
**Gambar 2. Standar Gray King Assay**

### **Dilatasi**

Dilakukan untuk menentukan sifat coking dari batu bara dengan menggunakan alat Dilatometer.

Prinsipnya coke coal akan melunak dan berkurang volumenya (konstraksi) akibat pemanasan. Bila suhu pemanasan ditingkatkan coke coal akan menjadi plastis dan volumenya membesar. Ada dua jenis pengukuran yang dapat digunakan yaitu Giseler plastometer dan Audibert-Amu dilatometer. Giseler plastometer mengevaluasi sifat-sifat batu bara dengan mengukur fluiditas dari bubuk batu bara ketika dipanaskan. Audibert-Amu mengukur kontraksi dan ekspansi dari sampel bubuk batu bara yang dipress dalam sebuah silinder.





**Gambar 3. Kurva Dilatasi**

### 3.4.2. Sifat Caking

Sifat caking adalah suatu sifat dimana batu bara cenderung melunak dan swelling ketika dipanaskan. Penentuan sifat caking dapat dilakukan dengan dua cara yaitu Free swelling Index dan Roga index.

#### Free Swelling Index (FSI)

Free Swelling Index dapat ditentukan dengan metode ASTM D-720. Pada metode ini, 1 gram sampel batu bara ditempatkan dalam krus silika yang tembus cahaya dengan ukuran dan bentuk yang ditetapkan. Sampel diratakan dalam krus dengan menekannya secara ringan pada permukaan yang keras. Krus dingin kemudian diletakkan dalam furnace khusus dan dipanaskan sampai suhu  $800 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$  selama satu menit dan suhu  $820 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  selama satu menit yang dapat dilakukan dengan pemanasan menggunakan gas atau listrik.

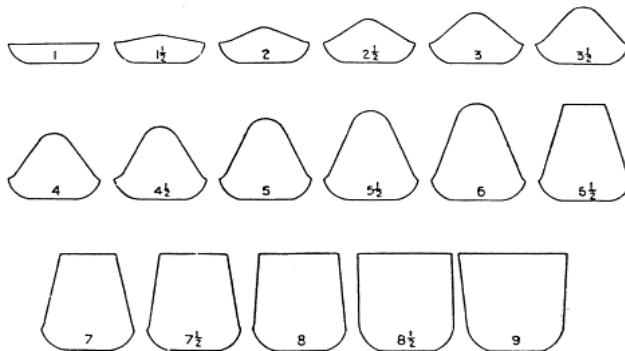
Bentuk atau profil cetakan yang terjadi dalam krus dibandingkan dengan serial standar yang menunjukkan swelling index batu bara tersebut. Untuk akurasi hasil pengujian maka jumlah sampel yang dibuat sebanyak tiga sampai lima kali dan dirata-ratakan.

Bentuk atau profil dari cetakan menunjukkan free swelling index batu bara. Antrasit tidak menunjukkan free-swelling index, sedangkan bituminus menunjukkan kenaikan free-swelling index dengan peningkatan peringkatnya dari high-volatile C bituminous coal

ke low-volatile bituminous coal. Beberapa masalah yang harus diperhatikan dalam penentuan free swelling index adalah laju pemanasan yang tepat terhadap sampel dan kemungkinan terjadinya oksidasi atau pengaruh cuaca terhadap sampel, serta jumlah partikel halus yang berlebihan dalam sampel.

Kegagalan mencapai suhu furnace atau laju pemanasan yang tepat dari sampel dalam krus akan mengakibatkan hasil yang tidak akurat. Seringkali distribusi panas yang tidak sempurna sepanjang dinding krus juga menyebabkan hasil yang keliru. Batu bara yang teroksidasi atau terkena pengaruh cuaca dapat menyebabkan nilai free swelling index menjadi rendah. Untuk meminimalkan oksidasi dan pengaruhnya pada free-swelling index maka sampel harus segera diuji. Jika diduga telah terjadi oksidasi terhadap batu bara maka harus dilakukan uji ulang dari sampel baru yang sejenis.

Ukuran sampel yang dianalisis dapat mempengaruhi nilai free-swelling index (FSI) untuk beberapa jenis batu bara. Pada banyak jenis batu bara dengan ukuran partikel yang sangat halus (100 sampai 200 mesh) dapat meningkatkan nilai FSI dua tingkat lebih tinggi karena itu jumlah partikel batu bara halus dalam sampel harus seminimal mungkin.



**Gambar 4. Standar Free Swelling Index**

Standard residu dinyatakan dengan angka sebagai berikut :

1, 1½, 2 ½, 3, 3 ½, 4, 4½, 5, 5½, 6, 6½, 7, 7½, 8

**Tabel 20. Hubungan Crucible Swelling Index dan Gray King Assay**

Crucible Swelling Index	Gray King Assay
0- ½	A-B
1-4	C-G <sub>2</sub>
4½ -6	F-G <sub>4</sub>
6½-8	G <sub>3</sub> -G <sub>9</sub>
8½- 9	G <sub>7</sub> ke atas

### Roga Index

Roga index adalah salah satu pengujian untuk menentukan sifat caking batu bara. Prinsip kerja penentuan Index Roga adalah sebagai berikut :

1 gram batu bara dicampur dengan 5 gram antrasit dan ditekan selama 30 detik menggunakan beban seberat 6 kg. Setelah itu dilakukan karbonisasi pada suhu 850 °C selama 15 menit. Coke yang dihasilkan diayak dengan ayakan 1 mm, residu yang tinggal pada ayakan ditimbang dan dimasukkan dalam drum sebanyak 3 kali masing masing selama 5 menit. Setelah itu diayak dengan ayakan 1 mm dan residu yang diperoleh ditimbang.

Index Caking Roga dapat ditentukan dengan rumus :

$$C_R = \left( \frac{a + d}{2} + b + c \right) \frac{100}{3 \cdot Q}$$

Dengan :

Q= berat coke hasil karbonisasi

a = berat coke yang tinggal pada sieve sebelum drumming pertama

b =berat coke setelah drumming pertama

c =berat coke setelah drumming kedua

d =berat coke setelah drumming ketiga

**Tabel 21. Indeks Roga dan sifat caking**

Roga Test	Sifat Caking
0 – 5	0 = non caking
5 – 20	1= weakly caking
20 – 45	2=moderately caking
45	3= strongly caking

### 3.5. Sifat Fisis Batu bara

Beberapa sifat fisis batu bara yang perlu diketahui adalah densitas dan spesifik gravity, ukuran dan bentuk partikel, porositas dan luas permukaan, reflektansi, indeks refraktif, konduktivitas, konstanta dielektrik, kekuatan dielektrik, resistivity,

#### 3.5.1. Densitas dan Spesifik Gravity

Material padat seperti batu bara mempunyai lima jenis densitas yaitu *true density*, *apparent density*, *particle density*, *bulk density*, dan *in-place density*. *true density* batu bara adalah massa dibagi volume yang ditempati oleh padatan bebas pori dalam batu bara. Densitas batu bara bervariasi dan tergantung pada jenis batu bara. Densitas antrasit sekitar 1,55 ; bituminus 1,35 dan lignit sekitar 1,25. Densitas batu bara dapat diukur menggunakan piknometer

Pengukuran true density biasanya menggunakan gas Helium sehingga true density juga dikenal sebagai *helium density*. Densitas yang diukur dengan helium mempunyai korelasi dengan kandungan H, O, N dan S dalam batu bara sebagai berikut:

$$D_{He} = 1.534 - 0.05196 H + 0.007375 O - 0.02472 N + 0.003853 S$$

dengan  $D_{He}$  adalah (densitas helium dalam  $g/cm^3$ ) dan H, O, N, dan S berturut-turut merupakan persen berat (dalam basis dmmf).

Apparent density batu bara dapat diketahui dengan mencelupkan sejumlah sampel batu bara dalam cairan dan diikuti dengan pengukuran cairan yang ditempati oleh batu bara (metode piknometer). Cairan yang digunakan harus dapat membasahi permukaan batu bara, tidak teradsorpsi secara kuat oleh partikel, tidak

menyebabkan swelling dan dapat melakukan penetrasi ke dalam partikel batu bara.

Particle density adalah berat per unit volume dari padatan termasuk pori dan retakan yang ada dalam batu bara. Particle density dapat diukur dengan 1) mercury displacement (2) gas flow dan (3) silanization.

Bulk density adalah massa partikel batu bara dalam sebuah container dibagi volume container tersebut. Bulk density tergantung pada true density,

Ukuran dan distribusi partikel, bentuk partikel, air permukaan, dan derajat kompaksi. Parameter ini diperlukan untuk disain pengangkutan dan transportasi batu bara. *In-place density (bank density)* batu bara adalah jumlah (ton) batu bara yang jenuh dengan air per ft ketebalan cebakan batu bara

Spesifik gravity adalah densitas relatif suatu material bila dibandingkan dengan air pada suhu 4°C. Apparent specific gravity yaitu spesifik gravity batu bara yang juga mencakup inherent moisture, mineral matter dan udara dalam ruang pori tanpa memperhitungkan air bebas (surface/free moisture). True specific gravity adalah spesifik gravity batu bara yang hanya memperhitungkan mineral matter dan mengabaikan udara atau air yang ada dalam partikel batu bara.

### **3.5.2. Ukuran dan bentuk partikel**

Partikel batu bara mempunyai ukuran tertentu yang dapat dibedakan menjadi:

- Batu bara kasar dengan ukuran partikel besar dari 25 mm (1 inch)
- Batu bara ukuran kecil 3 – 25 mm
- Batu bara halus dengan ukuran partikel lebih kecil dari 3 mm (0,12 inch)
- Batu bara sangat halus dengan ukuran partikel lebih kecil dari 0,15 mm (0,006 inch).

Ukuran partikel batu bara dapat dinyatakan dalam mesh seperti tertera pada tabel berikut ini.

**Tabel 22. Ukuran mesh standar US dan Tyler**

Ukuran Screen standar					
Standar sieve (saringan) US			Sieve (saringan) W.S Tyler		
Mesh	Inch	mm	Mesh	Inch	Mm
20	0,033	0,84	20	0,033	0,83
30	0,023	0,59	30	0,023	0,59
40	0,0165	0,42	40	0,016	0,42
50	0,0117	0,30	50	0,0116	0,30
60	0,0098	0,25	60	0,0097	0,25
100	0,0058	0,149	100	0,0058	0,15
140	0,0041	0,105	140	0,0041	0,10
200	0,0029	0,074	200	0,0029	0,074
325	0,0017	0,044	325	0,0017	0,043

Sumber : [www.barringerl.com/dec00prb.htm](http://www.barringerl.com/dec00prb.htm)

### 3.5.3. Porositas dan Luas Permukaan

Struktur internal pori batu bara sangat kompleks dan mempunyai karakteristik mirip dengan molecular sieves. Batu bara merupakan material yang porous. Porositas sangat berpengaruh pada sifat batu bara selama penambangan, preparasi dan pemanfaatannya. Pori batu bara umumnya dikarakterisasi dengan luas permukaan internal (internal surface area) dan ukuran pori (pore size). Luas permukaan internal dan aksesnya terhadap reaktan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap laju reaksi misalnya pada proses gasifikasi, pembakaran dan pencairan batu bara.

Pengukuran luas permukaan dan distribusi ukuran pori dapat dilakukan dengan metode BET (Brunauer, Emmet, Teller) yaitu dengan cara melakukan adsorpsi gas. Pada metode ini dilakukan determinasi terhadap jumlah molekul gas yang menutupi permukaan padatan (monolayer). Pada metode BET gas umumnya diadsorb pada suhu yang mendekati titik didih sehingga gas dapat menutupi permukaan padatan. Pengukuran porositas dapat dilakukan menggunakan mercury porosimeter.

Pengukuran luas permukaan internal batu bara dapat dilakukan dengan menggunakan gas CO<sub>2</sub> pada suhu -78 °C bila batu bara mempunyai pori-pori mikro dengan diameter rata-rata kurang dari 5<sup>0</sup>A. Gas CO<sub>2</sub> pada suhu tersebut mempunyai difusivity yang lebih besar dari gas Nitrogen pada suhu -195 °C. Gas N<sub>2</sub> digunakan sebagai adsorbat bila diameter pori rata-rata lebih besar dari 5<sup>0</sup>A.

Berdasarkan ukuran porinya batu bara dapat dibedakan menjadi a) macropores (pori besar) dengan diameter rata-rata antara 300–29,600 A<sup>0</sup>, b) transitional pores (pori transisi) dengan diameter pori rata-rata antara 12–300 A<sup>0</sup> dan c) micropores (pori mikro) yaitu antara 4 - 20 A<sup>0</sup>. Batu bara peringkat rendah dengan kandungan karbon kurang dari 75% mempunyai struktur pori makropori. Bila kandungan karbon antara 76–84%, maka hampir 80% batubara mempunyai pori mikro dan transisi.

Cara lain untuk menentukan luas permukaan internal dari pori batu bara adalah dengan adsorpsi menggunakan larutan metanol. Panas pembasahan (heat of wetting) akibat metanol dapat bersifat eksotermis atau endotermis.

### 3.5.4. Angle of Repose

Angle of repose adalah sudut terbesar dari tumpukan partikel zat padat dimana belum terjadi pergeseran atau keruntuhan. Hal ini penting untuk penyimpanan batu bara (coal storage) dan pengaliran batu bara menggunakan belt conveyor dan hopper. Umumnya angle of repose suatu material granular lebih kecil dari 90<sup>0</sup> dan tergantung pada bentuk dan ukuran zat padat, densitas, luas permukaan dan koefisien friksi.

**Tabel 23. Hubungan angle of repose dan ukuran batu bara**

Ukuran Batu bara (in)	Angle of Repose (der.)
1.5 – 0.75	41
0.75 – 0.50	40
0.50 -0.25	38
0.25 – 0	32

### 3.5.5. Grindabilitas dan Friabilitas

Grindability adalah sifat mudah atau tidaknya batu bara digiling untuk digunakan sebagai serbuk (pulverized). Sedangkan friability adalah ukuran ketahanan batu bara terhadap pengecilan ukuran selama proses handling.

Grindabilitas dapat diukur dengan test Hargrove (Hardgrove Grindability Index) dan tes ball-mill. Test hardgrove dilakukan berdasarkan ASTM D409-71, sedangkan tes ball-mill dilakukan dengan menggiling sebanyak 500 gram batubara dalam ball-mill yang terbuat dari baja dengan diameter 8 inch.

Friabilitas batu bara dapat ditentukan dengan Tumbler test dan Shatter test. Kedua metoda ini didasarkan atas persentase reduksi berat rata-rata ukuran partikel batu bara. Sebagai contoh jika berat rata-rata ukuran partikel dengan tumble test adalah 75% dari sampel awal maka friabilitas batubara adalah 25%. Secara umum grindabilitas batu bara akan meningkat dengan friabilitasnya.

### 3.5.6. Indeks Debu (Dustiness Index)

Penghilangan debu dari coal preparation plant dan tambang batu bara adalah aspek penting menyangkut kesehatan dan keselamatan. *Dustiness index* batu bara adalah cara untuk menentukan kadar relatif dari debu yang dihasilkan bila batu bara dihandle dengan cara standar. Indeks debu ditentukan dengan cara meletakkan 50-lb sampel batu bara pada pelat logam pada lemari besi yang telah ditentukan ukurannya. Ketika pelat ditarik, sampel jatuh ke laci dan setelah 5 detik, dua lembar pelat logam dimasukkan ke dalam kotak. Lembaran pelat logam menampung partikel debu selama 2 menit atau selama 10 menit. Indeks debu dinyatakan sebagai 40 kali berat debu yang mengendap setelah 2 atau 8 menit.



## **BAB 4**

# **PROSES PEMBAKARAN BATU BARA**

Pembakaran batu bara merupakan proses pemanfaatan batu bara secara langsung. Pada proses pembakaran akan dihasilkan panas dan daya (power). Proses pembakaran batu bara mencakup tiga tahapan yaitu devolatilisasi, oksidasi fasa uap dari volatile matter dan dihasilkan residu (sisa) padatan.

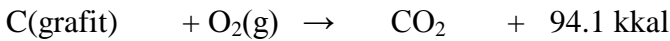
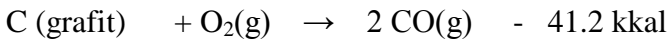
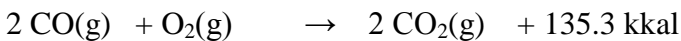
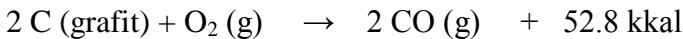
Ada tiga jenis desain sistem pembakaran batu bara dengan udara yaitu pembakaran unggun tetap (fixed bed), unggun bergerak (entrained bed) dan unggun terfluidisasi (fluidized bed). Pada pembakaran jenis unggun tetap, udara dialirkan pada kecepatan rendah dan bertemu dengan serbuk batu bara yang ditahan pada sebuah grate. Unggun batu bara mempunyai ketebalan beberapa inch. Partikel batu bara tertahan pada unggun tetap jika kecepatan udara tidak cukup untuk mengangkat partikel. Abu hasil pembakaran dapat dibuang secara kontinyu atau semi kontinyu secara mekanis. Tipe combustor unggun tetap tidak dapat membuat kontak padatan dan gas secara efisien, laju pembakaran yang tinggi tidak dapat dicapai pada sistem ini. Pembakaran tipe entrained memerlukan penghalusan batu bara menjadi partikel kecil dengan ukuran sekitar 200 mesh yang dibawa oleh gas ke furnace pada keadaan tersuspensi menuju zona pembakaran. Konsentrasi partikel dalam aliran gas relatif rendah. Setelah pembakaran 20% abu akan jatuh ke bagian dasar furnace. Gas-gas hasil pembakaran yang mengandung 80% abu keluar dari furnace dan diolah untuk dihilangkan partikulat yang tersisa menggunakan electric presipitator dan sulfur menggunakan stack gas scrubber.

Pada pembakaran jenis fluidisasi kecepatan gas yang mengoksidasi partikel cukup tinggi untuk membuat partikel batu bara dalam keadaan “float” sehingga tidak jatuh ke unggun. Batu bara dengan kandungan abu yang tinggi mudah dibakar dengan metode ini. Perpindahan massa dan panas terjadi secara cepat dan tumbukan partikel membuat perpindahan panas ke tube boiler lebih efektif.

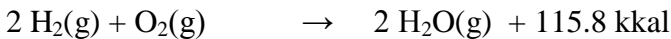
## 4.1. Reaksi-reaksi Pembakaran Batu bara

Proses pembakaran batu bara pada hakikatnya adalah reaksi antara komponen penyusun batu bara terutama atom karbon dengan oksigen. Ada tiga jenis reaksi yang terjadi yaitu reaksi utama, reaksi tambahan, dan reaksi pergeseran antara karbon dan air (water-shift reaction). Reaksi dapat berupa reaksi eksotermis (mengeluarkan panas) dan endotermis (membutuhkan panas).

Reaksi utama



Reaksi tambahan:



Reaksi Karbon-Air (Water- shift reaction)



## 4.2. Metode Pembakaran Batu bara

Ada dua macam metode pembakaran batu bara yaitu *fuel-bed combustion* dan *suspension firing*. Pada metode *fuel-bed combustion*, ukuran batu bara yang digunakan relatif besar yaitu sekitar 6 inci, sedangkan pada metode *suspension firing* digunakan batu bara dengan ukuran 200 mesh.

### **4.3. Faktor yang mempengaruhi Proses Pembakaran Batubara**

Ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam pembakaran batu bara yaitu nilai kalor, kadar abu dan sifat fusi abu, kadar sulfur, kandungan zat terbang, kadar air dan sifat coking.

#### **4.3.1. Karakteristik Abu dan Sifat Fusi Abu**

Penghilangan abu merupakan suatu hal yang sangat penting dalam operasi sebuah furnace (dapur pembakaran). Abu hasil pembakaran batu bara dapat berupa dry ash atau slag. Pada metode pembakaran fuel bed combustion kebanyakan abu diambil dengan cara mengguncang *grate* secara berkala atau dengan pergerakan lambat dari residu material menuju tempat pembuangan. Peristiwa *clinkering* dapat terjadi karena adanya sifat fusi abu batu bara. Pada metode pembakaran suspension firing, abu batu bara dapat dikeluarkan dari furnace dengan cara mengalirkan gas. Sisa abu yang tertahan atau mengendap dibersihkan dengan secara berkala.

Komposisi kimia abu berpengaruh terhadap temperatur pelunakan batu bara (softening temperature). Temperatur pelunakan batu bara sering digunakan sebagai indeks fusi abu. Temperatur lebur abu memberikan indikasi terhadap sifat-sifat abu dan dipengaruhi oleh kandungan besi yang ada di dalam abu.

#### **4.3.2. Kadar Sulfur**

Kadar Sulfur mempunyai efek yang signifikan dalam pembakaran batu bara karena terkait dengan isu lingkungan. Selama proses pembakaran sebagian besar sulfur teroksidasi menjadi gas  $\text{SO}_2$  dan sebagian kecil gas  $\text{SO}_3$ . Gas  $\text{SO}_3$  dapat beraksi dengan uap air menjadi asam sulfat yang bersifat korosif terhadap logam. Asam sulfat juga dapat bereaksi dengan fly ash (abu terbang) sehingga menghasilkan senyawa higroskopis seperti feri sulfat, aluminium sulfat, natrium dan kalsium sulfat. Ada tiga mekanisme pembentukan gas  $\text{SO}_3$  hasil pembakaran batu bara yaitu 1) dekomposisi senyawa sulfat seperti  $\text{CaSO}_4$  dalam batu bara, 2) Oksidasi gas  $\text{SO}_2$  oleh atom

oksigen selama proses pembakaran dan 3) oksidasi heterogen gas  $\text{SO}_2$  yang dikatalisis oleh scale  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada permukaan superheater bersuhu tinggi.

#### **4.3.4. Kandungan zat terbang**

Zat terbang merupakan persenyawaan penting yang bersifat mengontrol asap dan penyalaaan. Batu bara dengan kandungan zat terbang yang rendah akan terbakar secara lambat dan menghasilkan nyala api yang pendek. Untuk keperluan kiln dibutuhkan nyala api yang panjang sehingga batu bara yang digunakan harus mempunyai kandungan zat terbang (volatile matter) medium sampai tinggi walaupun demikian batu bara dengan kandungan zat terbang yang tinggi akan menghasilkan asap yang banyak.

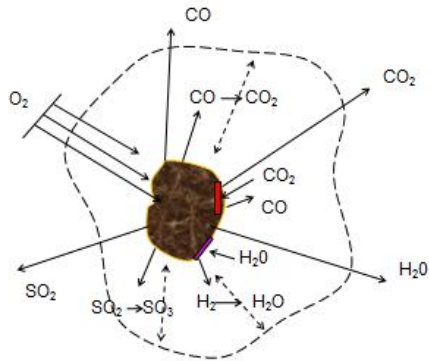
#### **4.3.5. Kadar Air**

Kadar air memegang peranan penting bila ukuran partikel batu bara yang akan dibakar bila ukuran partikel batu bara kecil dari 0,5 mm. Kandungan air yang tinggi menyebabkan biaya transportasi meningkat. Kandungan air juga menyebabkan nyala api pembakaran yang rendah, mempengaruhi grindabilitas, menyebabkan clogging pada pembakaran serbuk batu bara.

#### **4.3.6. Sifat Coking**

Sifat coking batu bara tidak mempunyai peran signifikan pada kebanyakan boiler firing.

Mekanisme reaksi oksidasi pada pembakaran batu bara menurut Berkowitz dapat dilihat pada Gambar 5 berikut. Pada mekanisme ini partikel batu bara diasumsi mempunyai gugus aktif (active-site) dimana oksigen dari luar akan bereaksi dengan karbon membentuk karbondioksida dan karbon monoksida. Gas  $\text{SO}_2$  dan air juga akan terbentuk karena reaksi sulfur dan hidrogen dengan oksigen.

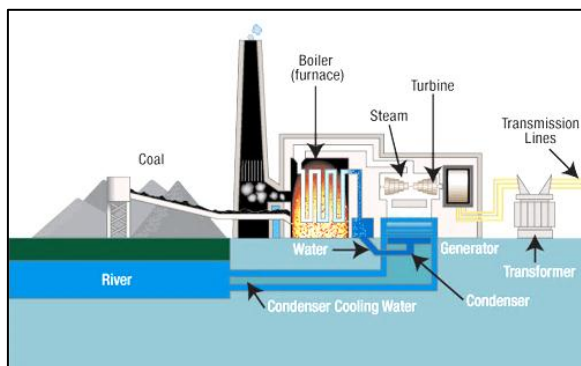


Gambar 5. Mekanisme reaksi Pembakaran

#### 4.4. Batu bara untuk Pembangkit Listrik

Pembakaran batu bara untuk menghasilkan energi (kalor). Biasanya dalam suatu power plant. Prinsip pembakaran batu bara dalam sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah :

- Mengubah energi kimia menjadi energi panas.
- Memindahkan panas dari gas panas hasil pembakaran batu bara dengan udara dalam dapur.
- Ekspansi fluida kerja ke dalam turbin uap untuk menghasilkan tenaga mekanis.
- Mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik.



Gambar 6. Sistem PLTU menggunakan Batu bara

Sumber : [www.tva.com](http://www.tva.com)

Salah satu pembangkit listrik tenaga batu bara yang ada di Indonesia adalah PLTU Suralaya yang mempunyai kapasitas 3400 MW. Batu bara yang digunakan sebagai bahan bakar utama Pembangkit Suralaya berasal dari tambang batubara Bukit Asam Sumatera Selatan. PLTU Suralaya mempunyai 7 unit yang masing-masing dilengkapi dengan boiler yang berkapasitas 1,500 ton air. Steam yang dihasilkan oleh boiler mempunyai tekanan  $174 \text{ kg/cm}^2$  dan suhu  $540 \text{ }^\circ\text{C}$ . Steam atau uap dialirkan ke turbin dengan kapasitas 400 MW untuk unit 1 sampai 4 dan 600 MW untuk unit 5, 6 & 7. Masing-masing turbin dihubungkan langsung dengan generator. Tegangan yang dihasilkan dinaikkan dari 23,000 volt menjadi 500,000 volt dengan menggunakan trafo sebelum disalurkan ke sistem jaringan. Uap yang melewati turbin didinginkan dan dikondensasikan menjadi air di dalam kondensor dengan pendingin air laut sebelum dikembalikan ke boiler.

Untuk menghilangkan abu dan debu, batubara yang terbakar dan jatuh ke bagian bawah boiler di mana nantinya dikumpulkan dan dijual untuk pembuatan bahan bangunan. Untuk menghilangkan debu digunakan electrostatic precipitators (ESP). Abu batubara memiliki beberapa macam kegunaan mulai dari proyek pembuatan jalan sampai dengan bahan semen untuk pembuatan beton. PLTU Suralaya umumnya menghasilkan emisi gas ( $\text{SO}_x$  dan  $\text{NO}_x$ ), Fly ash, limbah cair dan limbah padat yang masih dibawah ambang batas.

#### **4.5. Proses Pembakaran Batu bara Konvensional**

Proses pembakaran batu bara secara konvensional dapat dibedakan atas :

1. Fixed bed firing (pembakaran unggun tetap)
2. Fluidised (entrained) bed (pembakaran unggun bergerak)
3. Fluidized bed combustion

#### **Pembakaran Unggun Tetap**

Sejak abad ke 19, hampir semua metode pembakaran bahan padat dilakukan di atas *grate*. Disain proses pembakaran berkembang

dari proses pembakaran tumpukan batu bara dengan penambahan fuel dan sistem untuk membuang abu hasil pembakaran. Untuk itu pengembangan teknologi lebih mengarah ke cara untuk mengontrol jumlah udara yang disuplai ke unggun pembakaran dan perancangan peralatan mekanis untuk memindahkan batu bara ke zona pembakaran dan membuang abu yang terbentuk agar tidak membuat clogging pada dapur pembakaran. Dapur pembakar batu bara awalnya berupa spreader stoker.

Pada metode ini sebuah shovel mekanis ditempatkan antara fuel hopper dan grate. Shovel berfungsi menyebarkan batu bara ke zona pembakaran. Keuntungan sistem stoker ini adalah batu bara tidak harus dibuat serbuk (pulverisasi), emisi partikulat relatif rendah, dapat dioperasikan dan dikontrol secara manual dengan mudah dan dapat dibuat dalam skala kecil. Kerugiannya adalah perawatan stoker sulit karena adanya peralatan yang bergerak, kontak gas-padat yang kurang efisien dan memerlukan volume dapur yang cukup besar untuk produksi steam.

Tidak semua stoker dapat digunakan untuk pembakaran batu bara karena sifat caking batu bara dan dapat terbentuknya clinker dari abu hasil pembakaran yang tergantung pada temperatur lebur abu.

Pada sebuah stoker modern, lebih dari 90% bahan yang dapat terbakar dalam batu bara dapat dibakar dengan excess air sekitar 40% sehingga efisiensi pembakaran relatif rendah. Metode stoker lain yang dikenal adalah underfeed stoker yaitu stoker yang tidak membutuhkan grate. Sebuah screw digunakan untuk mendorong batu bara ke zona pembakaran. Sistem ini juga tidak begitu efisien karena sebagian batu bara tidak terbakar dan screw dapat terkikis kalau batu bara bersifat abrasif, namun biaya instalasi dan maintenance cukup murah. Selain itu jika batu bara bersifat plastis maka di zona pembakaran dapat terbentuk coke yang dapat menyumbat zona pembakaran.

### **Pembakaran Unggun Bergerak**

Pertumbuhan industri kelistrikan di awal abad 19 membutuhkan steam dalam jumlah besar dari sebuah plant. Karena itu

pembakaran batu bara tidak dapat mengandalkan sistem unggun tetap saja. Sistem pembakaran batu bara unggun bergerak membuat laju perpindahan panas yang cepat dan proses pembakaran yang sempurna serta emisi asap yang kecil. Akan tetapi sistem ini dapat menimbulkan fly ash yang berbahaya karena ukuran partikelnya yang halus. Untuk mengatasi debu akibat proses pembakaran batu bara ini maka dikembangkanlah Electric Precipitator.

### **Pembakaran jenis Unggun terfluidakan**

Pembakaran jenis unggun terfluidakan (Fluid bed combustion) merupakan teknologi pembakaran batu bara secara langsung yang relatif baru. Pembakaran jenis ini mempunyai berbagai keuntungan seperti :

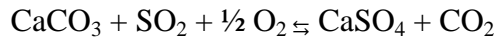
1. Koefisien perpindahan panas yang tinggi sehingga dapat mereduksi luas area untuk permukaan perpindahan panas.
2. Biaya preparasi batu bara cukup murah
3. Kemampuannya untuk menggunakan batu bara dengan kandungan abu yang tinggi dan bervariasi sehingga memberikan efisiensi tinggi dalam penambangan batu bara
4. Tingginya laju pembangkitan panas yang dihasilkan dalam boiler dengan ukuran kecil untuk panas yang dihasilkan
5. Dapat menurunkan fouling, korosi dan erosi karena suhu yang rendah
6. Emisi nitrogen yang rendah karena rendahnya temperatur operasi.
7. Kemungkinan melewati gas bersih dari fluid bed bertekanan menuju turbin gas akan meningkatkan efisiensi.

Fluid bed combustor beroperasi pada suhu yang relatif rendah yaitu antara 1400 – 1700 oF. Pembakaran tipe ini ini didesain untuk pembakaran batu bara peringkat rendah, limbah pengolahan batu bara, gas kilang, potongan kayu, ban bekas, biomassa dan lain-lain. Keuntungan pengoperasian combustor pada suhu rendah adalah menjamin bahwa abu tidak akan melebur dan dapat dengan mudah



dikeluarkan dan dibuang dalam bentuk padatan. Selain itu juga fouling dan korosi pada boiler dapat diminimalkan.

Pembakaran pada suhu rendah juga memacu reaksi antara sulfur trioksida dengan oksida logam dan karbonat dalam abu terutama garam kalsium dan magnesium. Jika limestone, terutama kalsium karbonat ditambahkan pada bed batu bara yang terbakar maka reaksi di bawah ini dapat terjadi



Produksi  $\text{CaSO}_4$  sangat dipengaruhi oleh suhu sehingga bila suhu mencapai 1800 sampai 2000 °F secara termodinamika kimia akan didominasi reaksi bolak balik yang akan meninggalkan  $\text{SO}_2$  yang tidak beraksi. Pada suhu lebih rendah dari 1400 °F beberapa kesulitan yang timbul seperti batu bara tidak dapat terbakar dengan cepat, retensi  $\text{SO}_2$  tidak dapat berlangsung secara cepat dan perpindahan panas pada tube boiler menjadi kecil. Karena itu suhu operasi pada boiler fluidized bed harus diatur secara cermat dan sangat bervariasi sesuai dengan spesifikasi batu bara yang digunakan.

# BAB 5

## PROSES KARBONISASI/PIROLISIS BATU BARA

### 5.1. Definisi Karbonisasi/Pirolisis

Karbonisasi adalah proses pemanasan jenis batu bara tertentu diatas temperatur dekomposisinya yang akan menghasilkan coke atau char. Sedangkan pirolisis biasanya difokuskan pada cairan dan gas produk yang terbentuk selama dekomposisi termal. Karbonisasi dapat digunakan untuk memproduksi tar dan hidrokarbon cair lain yang dapat digunakan untuk menghasilkan zat kimia lain. Juga dihasilkan residu berupa padatan yang dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler. Produk volatil yang diperoleh dari proses ini dapat berupa gas amoniak, tar dan minyak ringan. Hasil yang diperoleh dari proses karbonisasi batu bara bervariasi terhadap rank (tingkatan) batu bara dan kondisi operasi seperti temperatur, laju pemanasan, waktu tinggal dan adanya hidrogen nascent.

Kandungan zat volatil terbentuk karena pemanasan yang cepat dan terdispersinya sample secara baik dan karena proses quench dari produk. Karbonisasi batu bara dapat di klasifikasikan menjadi :

1. Karbonisasi pada temperatur rendah
2. Karbonisasi pada temperatur tinggi

Proses karbonisasi pada temperatur rendah dilakukan pada suhu yang melebihi 700 °C dan pada temperatur tinggi terjadi pada temperatur 900 °C. Proses karbonisasi pada temperatur rendah digunakan untuk menghasilkan bahan bakar padat yang tidak berasap yang digunakan untuk kepentingan domestik dan boiler pada industri. Sebaliknya karbonisasi pada temperatur tinggi digunakan untuk menghasilkan coke untuk proses metalurgi dan juga untuk menghasilkan gas pada tungku pembakaran (oven gas). Coke digunakan juga pada pabrik Calcium Carbide dan sebagai elektroda karbon.

## 5.2. Komponen volatil

Zat volatil yang dihasilkan pada proses pirolisis batu bara mengandung :

1. Gas yang mudah terbakar (combustible gas) seperti  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  dan hidrokarbon suku tinggi.
2. Gas-gas yang tidak terbakar seperti  $CO_2$  dan  $H_2O$ .
3. Uap tar.

Proses pembentukan zat-zat volatil adalah sebagai berikut :

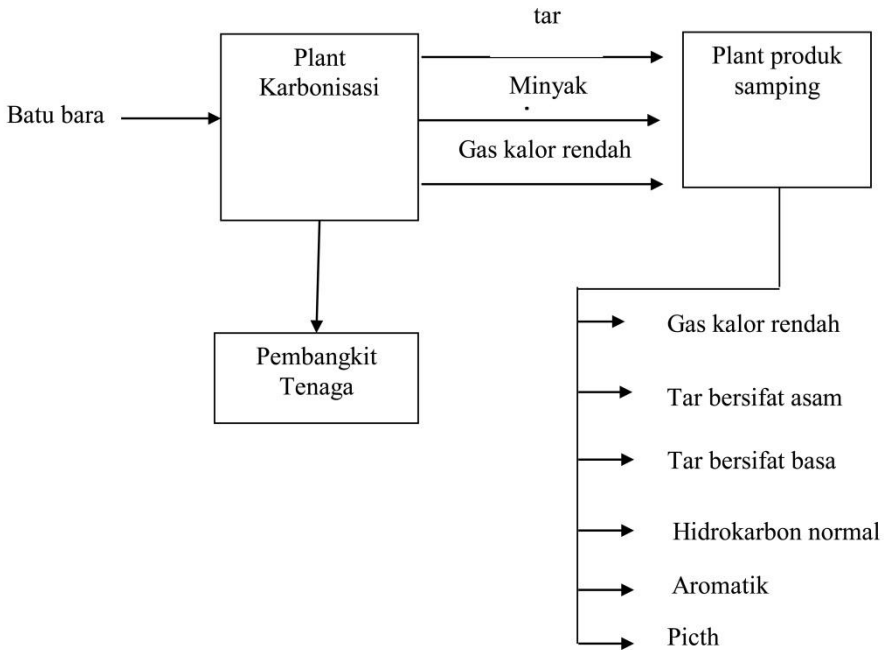
1. Hidrokarbon  
Setiap molekul hidrokarbon terdiri dari dua ikatan yang akan pecah menjadi ikatan C-C dan C-H yang diikuti dengan pembentukan molekul hidrokarbon. Gas-gas hidrokarbon seperti gas metana dapat terbentuk karena autohidrogenasi.
2. Hidrogen  
Setiap molekul  $H_2$  terdiri dari dua pasangan ikatan yang akan pecah oleh ikatan C-H diikuti oleh pembentukan molekul hidrogen. Pembentukan molekul hidrogen tersebut akan lebih cepat dari proses pemutusan ikatan.
3. Karbonmonoksida  
Gas karbonmonoksida dapat terjadi pada temperatur di bawah  $500\text{ }^\circ\text{C}$  dari gugus karbonil dalam batubara.
4. Karbondioksida  
Gas Karbondioksida dijumpai pada gugus karboksil dalam ikatan batu bara.
5. Air  
Molekul air dalam bentuk uap dapat terbentuk dari gugus hidroksil dan hidrogen.

Van Krevelen mengemukakan hubungan antara beberapa jenis fraksi volatil terhadap komponen perifer yang dinamakan gugus fungsional alifatik dan interstitial yang tidak terikat atau terikat dengan ikatan molekuler yang lemah terhadap tar. Orning dan Greifer membuat hubungan antara struktur berbagai jenis komponen tar terhadap struktur lamella dari batu bara.

Pirolisis batu bara meliputi dekomposisi termal yang kompleks dari struktur batu bara, transport dari zat-zat volatil yang terjadi dan reaksi – reaksi sekunder.

Laju pirolisis ialah total resistensi terhadap dekomposisi panas dan perpindahan panas/massa. Untuk partikel yang baik (ukuran 75 $\mu$ m) resistensi terhadap transport dapat diabaikan, reaksi merupakan reaksi kinetik yang terkendali. Sebaliknya jika perpindahan panas atau massa mendekati total resistensi maka reaksi adalah perpindahan panas/massa atau difusi yang terkendali.

Skema berikut menunjukkan produk yang dihasilkan setelah proses karbonisasi yang dintegrasikan dengan sebuah power plant.



**Gambar 7. Skema Plant karbonisasi terintegrasi**

Sumber : Edgar, TF (1983)

## **5.3. Jenis-Jenis Proses Karbonisasi**

### **5.3.1. Karbonisasi pada temperatur rendah**

Produksi cairan batu bara pada temperatur rendah dari lignit telah dimulai di Jerman pada tahun 1846 dan telah bersifat komersial pada tahun 1855. Cairan batu bara yang diperoleh dari karbonisasi dapat diproses kembali untuk menghasilkan bahan bakar, pelumas dan lilin. Akhir abad ke 19 proses karbonisasi dioperasikan pada temperatur rendah untuk menghasilkan bahan bakar yang tidak berasap.

Di Inggris beberapa plant berdiri selama tahun 1920 dan 1930an menghasilkan char, yang terus beroperasi sampai akhir tahun 1960an. Dibangunnya Parker Retort dekat Barnsby dan Bolsover, proses Rexco dibangun oleh National Carbonising Co Ltd. serta proses Rockdale oleh British North Western Gas Board.

Jerman pertama kali menggunakan tar hasil dari hidrogenasi untuk memproduksi bahan bakar sintetis. The Brensstoff Technik dan Krupp Lurgi proses yang dibangun di Jerman pada tahun 1930an dan beroperasi dengan kapasitas beberapa ratus ton perhari memproduksi char dan tar pada temperatur rendah. Selama perang dunia ke-II tar ini diproses menjadi bahan bakar yang digunakan oleh tentara Jerman.

Mulai tahun 1920an diinginkan meningkatkan produksi secara besar dengan membangun proses retort kontinu. Pada sistim ini batu bara dibawa masuk ke retort sambil dipanaskan dengan aliran dan gas panas secara countercurrent. Salah satu dari sistim retort kontinu dikembangkan oleh Lurgi-Spulgas sebelum perang dunia ke II untuk memproduksi tar dari batu bara coklat dan lignit yang dapat digunakan untuk memproduksi bahan bakar kendaraan bermotor.

Kebanyakan proses karbonisasi merupakan pengembangan dan modifikasi dari proses-proses yang telah ada dan dikembangkan oleh negara-negara seperti Jepang, Perancis, Kanada dan Norwegia. Karena kemampuan ekonomi serta kecanggihan teknologi maka proses-proses komersial kebanyakan ditemukan pertamakali oleh peneliti bangsa Inggris dan Jerman selama tahun 1930-1940. Lebih dari 100

patent mengenai proses karbonisasi pada temperatur rendah yang diajukan pada tahun 1950, hanya dua proses yang merupakan proses komersial yaitu Proses Consol's Disco dan Proses Parry.

Proses Disco dikembangkan oleh Consolidation Coal Co yang merupakan satu-satunya proses karbonisasi pada temperatur rendah yang secara komersial dan sukses di AS. Proses ini dioperasikan di Pittsburgh antara awal tahun 1930 sampai tahun 1950. Menggunakan lima macam ukuran batu bara sebagai umpan yang dikeringkan dan dikarbonisasi secara kontinu pada retort horizontal untuk menghasilkan char yang digunakan pada kepentingan domestik. Gas hasil karbonisasi didinginkan untuk diambil tarinya dan di daurulang untuk panas proses. Akibat kurang menguntungkan maka proses Disco ditinggalkan sejak tahun 1950.

Proses Pary dikembangkan oleh pekerja pekerja pada USBM (Unites States Bureau of Mines) yang menggunakan entrained bed reactor untuk mengkarbonisasi batu bara peringkat rendah. Proses ini mempunyai kemampuan yang lebih tinggi tapi produknya lebih berbentuk granular. Kerjasama antara USBM, The Texas Power and Light Co dan Aluminium Company of America (ALCOA) menggunakan proses Pary pada pabrik Aluminium dekat Rockdale Texas. Boiler berkekuatan 240 MW digunakan untuk membakar lignit kering atau char hasil karbonisasi. Char dihasilkan dalam bed carbonizer menggunakan gas panas pembakaran sebagai media perpindahan. Gas dari karbonizer digunakan untuk memisahkan tar dan minyak dikembalikan ke carbonizer untuk panas proses.

Beberapa proses karbonisasi pada suhu rendah dikembangkan dan dicoba dalam skala pilot di USA tapi tidak ada yang komersial. Hal ini disebabkan karena harga minyak dan gas bumi yang lebih murah dibandingkan batu bara. Karbonisasi pada suhu rendah lebih sukses di Eropa dimana bahan bakar padat khususnya digunakan untuk keperluan domestik.

### **5.3.2. Karbonisasi pada suhu tinggi**

Karbonisasi pada suhu tinggi digunakan untuk menghasilkan char dan paling banyak dipakai sebagai proses yang dominan karena ;

1. Bahan bakar padat dari karbonisasi suhu tinggi mempunyai porositas yang rendah dan dan kurang reaktif, mempunyai nilai besar sebagai coke metalurgy (tungku). Selama pabrik besi dan baja menguntungkan maka proses karbonisasi pada suhu tinggi juga akan menguntungkan.
2. Karbonisasi pada suhu tinggi tidak tergantung pada hasil cairan seperti pada karbonisasi suhu rendah. Sepanjang sejarah produk dari karbonisasi suhu rendah mempunyai nilai jual yang rendah sehingga tidak ekonomis.

#### **5.4. Sifat-sifat Pirolisis Batu bara**

Ada empat produk yang dihasilkan pada karbonisasi suhu rendah yaitu char (semicoke), tar yang mengandung sebagian besar cairan yang kompleks, gas dan aqueous liquor. Pada laju pemanasan yang cepat dan produk dilindungi dari dekomposisi maka antara 62 s.d 87% dari nilai kalor batu bara akan terbawa oleh char dan 10 sd 23% terbawa oleh tar dan kira kira 7% yang dibawa oleh gas.

Produk padat dari karbonisasi pada suhu rendah biasanya lebih lunak, hitam dan lebih porous serta masih mengandung zat zat volatil. Ketika batu bara dipanaskan berbagai sifat fisis dan kimianya dapat berubah. Perubahan akhir tergantung dari jenis batu bara. Untuk batu bara yang berasal dari sebelah barat Amerika yang banyak mengandung air, sifat fisis berubah terhadap air dibawah suhu 210°F. Untuk batu bara yang berasal dari bagian timur Amerika perubahan sifat kimia berlangsung lambat kira kira pada suhu 570 °F dan mengalami depolimerisasi alami. Pada rentang suhu ini sejumlah zat volatil terjebak dalam matriks batu bara. Akibatnya material bituminus vitrinite cenderung menjadi lunak dan menjadi bersifat seperti plastik. Sifat lunak ini dikenal di pasaran dengan batu bara yang mempunyai 88% sampai 90% mineral bebas karbon.

Menurut Howard reaksi dekomposisi yang timbul selama proses pirolisis pada temperatur rendah (750°F) terdiri dari beberapa jenis reaksi dekomposisi. Sebagai contoh ialah hilangnya gugus hidroksil (penghasil hidrogen) dan pemutusan jembatan metilen.

Pirolisis umumnya memerlukan pengosongan matrik batu bara dari hidrogenasi. Semakin meningkatnya temperatur memberikan pemutusan ikatan dengan energi yang tinggi kemudian terjadi penyusunan struktur kembali.

Dryden menunjukkan bahwa hilangnya berat selama prioda pemanasan yang lama untuk sejumlah contoh batu bara yang diberikan serta karakteristik dari temperatur maksimum yang dicapai.

Yield cairan dan gas hasil pirolisis diukur dengan salah satu metode pemeriksaan:

1. Fischer atau Fischer-Schroder
2. Gray-King

Kedua test tersebut dilakukan pada temperatur 500-600 °C tanpa adanya udara. Metode Gray-King juga dapat dipakai pada temperatur rendah. Volume gas cenderung menjadi dibawah perkiraan tetapi tar dan minyak ringan biasanya maksimum. Kandungan zat volatile dalam batu bara juga mempengaruhi hilangnya berat selama proses pirolisis.

Dryden menurunkan kolerasi untuk analisa proximate kandungan zat volatile (volatile matter) sebagai berikut:

$$VM (\% \text{massa}) = 97.3H/C - 40.4$$

Probstein dan Hicks menurunkan korelasi untuk tar dan minyak ringan (tar and light oil) dalam massa sebagai berikut:

$$TLO = 29.1H/C - 12.1$$

Hal yang sama untuk uap air yang dihasilkan selama pirolisis dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_2O (\% \text{massa}) = 19.7H/C + 1.64$$

Faktor-faktor yang berpengaruh pada dekomposisi produk ialah temperatur pirolisis, laju pemanasan, diameter partikel dan temperatur ambient. Kecenderungan umum yang diamati dari variabel-variabel tersebut mengikuti :



1. Meningkatnya temperatur akhir dari proses meningkat pula yield dari zat yang volatil, dengan hasil sejumlah besar hidrogen dan relatif kecil CO dan metana yang dihasilkan.
2. Meningkatnya laju pemanasan meningkat pula yield dari zat volatile, bila reaksi sekunder dari produk volatile didalam matrik batu bara minimum.
3. Laju pemanasan yang lambat maka yield akan mengandung sedikit tar.
4. Meningkatnya waktu tinggal untuk pirolisis akan meminimumkan yield zat volatil.
5. Temperatur di atas 1100 °F dapat menghilangkan uap tar sehingga akan mengurangi yield.
6. Tekanan tinggi mereduksi yield zat volatil dan meningkatkan ratio gas-cairan dalam produk.

### **Flash Pyrolysis**

Laju pemanasan yang lambat cenderung meningkatkan yield dari zat yang volatile dari batu bara. Batu bara dapat di “flash pyrolysis” dengan pemanasan di atas temperatur 850 °F. Partikel batu bara yang akan digunakan dalam proses ini harus dihaluskan terlebih dahulu sehingga berukuran lebih kecil. Variasi lain dari Flash pyrolysis adalah hydrolypyrolysis yang biasanya dilakukan dengan menggunakan hidrogen. Dari hidrogenasi komponen hidrokarbon dengan berat molekul besar akan menghasilkan hidrokarbon lain dengan berat molekul yang lebih rendah.

## **5.5. Briket batu bara**

Kenaikan harga minyak dunia yang meningkat pesat berdampak pada meningkatnya harga jual bahan bakar minyak termasuk minyak tanah di Indonesia. Minyak tanah di Indonesia yang selama ini di subsidi menjadi beban yang sangat berat bagi pemerintah Indonesia. Untuk itu penggunaan minyak tanah sebagai bahan bakar di rumah tangga secara bertahap mulai dikurangi melalui program konversi minyak tanah ke gas. Sebelum digalakkannya pemakaian gas untuk bahan bakar di rumah tangga, pemerintah telah memasyarakatkan penggunaan briket batu bara.

Briket batu bara adalah bahan bakar padat yang terbuat dari batu bara dengan sedikit campuran seperti tanah liat dan tapioka. Briket batu bara dapat digunakan untuk kebutuhan seperti pengolahan makanan, pengeringan, pembakaran dan pemanasan. Teknologi pembuatan briket tidaklah terlalu rumit dan dapat dikembangkan oleh masyarakat maupun pihak swasta dalam waktu singkat. Indonesia telah memebangun industri briket batu bara sejak tahun 1994 namun tidak dapat berkembang dengan baik mengingat minyak tanah masih disubsidi sehingga harganya masih sangat murah, sehingga masyarakat lebih memilih minyak tanah untuk bahan bakar sehari-hari. Namun dengan semakin berkurangnya penggunaan minyak tanah karena diganti dengan gas, penggunaan briket batu bara di rumah tangga semakin berkurang dan terbatas pada usaha kecil dan menengah, rumah makan dan industri peternakan,

### **5.5.1. Jenis Briket Batu bara**

Terdapat dua jenis briketbatu bara menurut proses pembuatannya yaitu :

1. Briket Berkarbonisasi (super), jenis ini mengalami terlebih dahulu proses dikarbonisasi sebelum menjadi Briket. Dengan proses karbonisasi zat-zat terbang yang terkandung dalam briketbatu bara tersebut diturunkan serendah mungkin sehingga produk akhirnya tidak berbau dan berasap. Briket ini cocok untuk digunakan untuk keperluan rumah tangga serta lebih aman dalam penggunaannya.
2. Jenis Non Karbonisasi (biasa) jenis yang ini tidak mengalami proses karbonisasi sebelum diproses menjadi briket dan harganya pun lebih murah. Karena zat terbangnya masih terkandung dalam briket batu bara maka pada penggunaannya lebih baik menggunakan tungku (bukan kompor) sehingga akan menghasilkan pembakaran yang sempurna dimana seluruh zat terbang yang muncul dari Briket akan habis terbakar oleh lidah api dipermukaan tungku. Briket ini umumnya digunakan untuk industri kecil.

Produsen terbesar Briket Batu bara di Indonesia saat ini adalah PT. Tambang Batu bara Bukit Asam (Persero), atau PT. BA yang mempunyai 3 pabrik yaitu di Tanjung Enim Sumatera Selatan, Bandar Lampung dan Gresik Jawa Timur dengan kapasitas terpasang 115.000 ton per tahun. Disamping PT. BA terdapat beberapa perusahaan swasta lain yang memproduksi briketbatu bara namun jumlahnya jauh lebih kecil dibanding PT. BA dan belum memproduksi secara kontinyu.

Dengan adanya kenaikan BBM khususnya minyak tanah dan solar, tentunya penggunaan briket batu bara oleh kalangan rumah tangga maupun industri kecil/menengah akan lebih ekonomis dan menguntungkan, namun demikian kemampuan produksi dari PT. BA. masih sangat kecil, untuk mengatasi kekurangan tersebut diharapkan partisipasi serta keikutsertaan pihak swasta untuk memproduksi dan mensosialisasikan penggunaan briket batu bara di setiap daerah.

Briket batu bara mempunyai keunggulan seperti lebih murah, Panas yang tinggi dan kontinyu sehingga sangat baik untuk pembakaran yang lama, Tidak beresiko meledak/terbakar, Tidak mengeluarkan suara bising serta tidak berjelaga serta sumber batu barasebagai bahan baku briket cukup berlimpah. Namun demikian briket memiliki keterbatasan yaitu waktu penyalaan awal memakan waktu 5–10 menit dan diperlukan sedikit penyiraman minyak tanah sebagai penyalaan awal, briket batu bara hanya efisien jika digunakan untuk jangka waktu diatas 2 jam. Briket batu bara juga sulit dipadamkan ketika telah menyala.

### **5.5.2. Bentuk dan Ukuran Briket Batu bara**

Ada tiga jenis bentuk dan ukuran briket yang tersedia di pasar yaitu bentuk telur cocok untuk keperluan rumah tangga atau rumah makan, sedangkan bentuk kubus (ukuran 12,5 x 12,5 cm) dan silinder (tinggi 7 cm dan diameter 12 cm) digunakan untuk kalangan industri kecil/menengah.

### **5.5.3. Kompor/Tungku Briket Batu bara**

Penggunaan Briket Batu bara harus dibarengi serta disiapkan Kompor atau Tungku, jenis dan ukuran Kompor harus disesuaikan

dengan kebutuhan. Pada prinsipnya Kompor/Tungku terdiri atas 2 jenis :

1. Tungku/Kompor portabel, jenis ini pada umumnya memuat briket antara 1 s/d 8 kg serta dapat dipindah-pindahkan. Jenis ini digunakan untuk keperluan rumah tangga atau rumah makan.
2. Tungku/Kompor Permanen, memuat lebih dari 8 kg briket dibuat secara permanen. Jenis ini dipergunakan untuk industri kecil/menengah.

Persyaratan kompor/tungku untuk briket batu bara harus memiliki :

- ruang bakar untuk briket
- aliran udara (oksigen) dari lubang bawah menuju lubang atas dengan melewati ruang bakar briket yang terdiri dari aliran udara primer dan sekunder
- ruang untuk menampung abu briket yang terletak di bawah ruang bakar briket

## **5.6. Proses-proses Karbonisasi Komersial**

Proses karbonisasi pada temperatur rendah dengan retort (tabung) dikembangkan sejak abad ke 19 dan dapat digolongkan sebagai batch (fixed bed) atau continous vertical retort, batch (fixed bed) horizontal retort, fluidized/entrained retort, conveyor retort dan tray retort. Jenis horizontal atau vertical retort dapat dipanaskan dengan berbagai cara seperti secara langsung atau gabungan kedua cara tersebut.

Retort berbentuk slinder dengan pemanasan secara langsung atau tidak langsung menggunakan zat pembakar, kadang-kadang dalam berbagai kasus digunakan pemanasan awal berupa padatan (char, pasir atau bola-bola besi ) yang ditambahkan pada retort.

Retort dapat berputar atau tetap dengan alat untuk pemindahan batu bara dan char. Retort fixed bed horizontal kurang begitu dikenal.

Sistim bed bergerak tidak pernah dikembangkan kecuali dalam skala pilot plant.

Proses Disco merupakan proses yang mengoperasikan retort horizontal secara sukses yang memproduksi char berbentuk spherical sebanyak 800 ton per hari. Pada proses ini pemasakan batu bara mendapatkan pemanasan awal dengan oksidasi oleh udara. Pengolahan batu bara dilakukan dalam silinder baja (panjang 125 ft dan diameter 9 ft) yang berputar dibagian dalam silinder yang tetap dibagian luar serta dipasang baffles diantaranya. Batu bara cenderung akan berbentuk bola kecil, sedang char yang terbentuk pada temperatur rendah akan mengandung 15-17% zat volatile.

Proses karbonisasi dalam fluidized dan entrained bed menunjukkan karakteristik perpindahan panas yang besar diatas retort fixed bed. Hasil pirolisis yang diperoleh lebih rendah dibandingkan dengan proses retort fixed bed. Unit yang terbesar yang beroperasi pada jenis entrained adalah proses Parry yang dibangun dekat Rockdale Texas dengan kapasitas sebesar 31 ton perhari. Proses-proses lain dalam jenis ini hanya dibuat dalam skala pilot plant.

Jenis retort yang lain ialah conveyor retort dimana batu bara yang dikarbonisasi terletak pada bagian tipis yang melalui reaktor horizontal. Tray retort yaitu batu bara diletakan dalam tray yang horizontal dalam shell yang vertikal.

**Tabel 24. Klasifikasi Retort Karbonisasi**

Fixed bed Vertical		Continous Horizontal	
Pemanasan Tidak Langsung	Pemanasan Langsung	Pemanasan Tidak Langsung	Pemanasan Langsung
Proses Krupp Lurgi	Proses Rexco	Proses Parry	Proses Univ of Kenctucky
Brennstoff Technik	Proses Records"Coalene"	Retort Hayes	Humboldt Sand Carbonizer
Cellan Jones Ovens		Mimura Carnonizer Wanishi	Lurgi-Rhurgas
Proses Carmaux		Proses Lesher	
Otto retort			
Proses Weber			
Proses Phurnacite			
Parker Retort			
Pemanasan Tidak Langsung		Pemanasan Langsung Continous Vertical	Langsung dan tidak langsung
Petit Retort		Lurgi-Spulgaz Retort	Koppers Continous Vertical oven
PDP retort		Proses National Fuels	
Stansfield retort		Proses Pintsch-Weber	Proses Didier-Werke
Arctal"Pipestem" Retort		Electrically Heated Retort	Proses Rochdale
Geissen retort			
Borsig-Geissen retort			
Proses Heliopore			
Tray		Fixed bed Horizontal	Conveyor
Proses Baumco		Shimomura retort	Coking stoker
Buttner retort		Cotarco Retort	Proses CW&F
			Flat bed retort
			Storss retort
Fluidzied/entrained			
Proses Parry		Proses Welinsky	
Proses United Engineer & Constructor		Proses Petavy & Foch	
Proses Singh		Proses Nathan	
Southern Research		Proses Nelson	
Proses Institute		Proses Pevere	
Pittsburg Consolidation		Proses Perry-McGee	
Proses Coal Co		Proses CSIRO	

### 5.6.1. Macam-macam Proses Pirolisis Generasi Kedua

#### Proses FMC-COED

Proses COED adalah salah satu proses pirolisis secara langsung. Proses ini dikembangkan oleh FMC Corp sejak tahun 1962.

Dari tahun 1970 sampai tahun 1975 penelitian dan pengujian dilakukan dengan enam jenis batu bara yang berbeda dengan kapasitas 36 ton perhari. Alasan pengembangan proses ini secara besar-besaran ialah karena proses ini dianggap sangat layak dan diklaim dapat dikembangkan dalam skala besar. Efisiensi panas secara over-all pada proses ini ialah sekitar 90% dengan kandungan (yield) produk cairan 20%, 17% gas dan 50-60% char. Tergantung pada ukuran batu bara yield berkisar antara 0,4 sampai 1,5 barrel per ton. Gas yang keluar tergolong medium btu gas dengan nilai kalor sekitar 600 btu/scf. Crude sintesis yang dihasilkan mempunyai kualitas tinggi dengan kadar sulfur yang rendah dan residu berupa aromatik dan naphthen. Dari sejumlah berat batu bara sebagai umpan kira-kira 60% akan tertinggal sebagai char.

Char mempunyai nilai kalor, berat sulfur dan kandungan volatile yang sama dengan batu bara asli. Uji pembakaran terhadap char membuktikan bahwa char ini dapat digunakan untuk pemanas boiler, walaupun untuk pembakaran awal diperlukan penambahan berupa bahan bakar volatile dan pemanasan awal dengan udara. Dari kenyataan bahwa kandungan sulfur dalam char yang sama seperti batu bara umpan maka proses COED ini lebih menguntungkan kalau ditinjau dari pertimbangan lingkungan.

### **Retort Temperatur tinggi**

Retort untuk karbonisasi pada temperatur tinggi dirancang berdasarkan penyusunan type fixed bed. Chamber dari oven mempunyai panjang 50 ft dan tingginya 20 ft. Lebaranya tergantung pada ukuran batu bara yang akan diproses (antara 12 sampai dengan 22 inch). Gambaran umum dari retort sistem ini (terdiri dari 20 buah retort). Yang digunakan dengan saluran pemanas terbuat dari silika yang tahan terhadap temperatur sampai 2400 °F. Oven ini terus beroperasi sampai umur 25 tahun. Batu bara dimasukkan dalam masing-masing oven melalui puncak dan pengangkut batu bara akan bergerak menuju chamber dan memasukannya melalui masing-masing chamber.

Pada saat batu bara dimasukan, diukur tinggi (level) nya dengan sebuah batang yang dimasukan kedalam oven. Setelah pemanasan antara 10 sampai 20 jam pintu-pintu pada sisi oven dibuka dan mesin penekan akan mendorong blok-blok coke keluar untuk didinginkan secara cepat. Gas yang diproduksi dari oven selama proses pemasakan harus didinginkan dengan cara penyemprotan menggunakan air untuk memisahkan tar dan minyaknya. Amoniak juga dapat dipisahkan dari air dan dikonversikan menjadi amoniak anhidrous atau ammonium sulfat. Minyak ringan yang meninggalkan oven dapat dibakar untuk saluran pemanas atau di ekstraksi untuk menghasilkan produk sampingan. Ada beberapa jenis pirolisis yang dipelajari sejak tahun 1970. Pirolisis secara cepat menghasilkan lebih banyak cairan tetapi lebih sedikit gas.

Pada proses ini batu bara yang telah dikeringkan diumpankan kedalam empat buah fluidized bed yang bekerja pada tekanan rendah dan tersusun secara seri. Proses pirolisis terjadi pada temperatur 600 °F, 850 °F, 1000 °F dan 1600°F. Oksigen dan steam yang masuk ke stage terakhir menghasilkan aliran gas panas yang kaya dengan gas hidrogen. Stage pertama merupakan pretreater dimana batu bara dipanaskan oleh char dan fluidizing gas pada temperatur 320 °C. Panas disuplai oleh char panas dan flue gas panas. Dua stage berikutnya khususnya stage yang kedua merupakan stage tempat terjadinya proses pirolisis yang sebenarnya. Pada stage ini batu bara dipanaskan pada temperatur 450 °C dan pada stage yang ketiga dengan temperatur 450 °C. Panas untuk masing-masing stage ini diperoleh dari stage keempat yaitu tempat terjadinya pembakaran parsial char dengan oksigen.

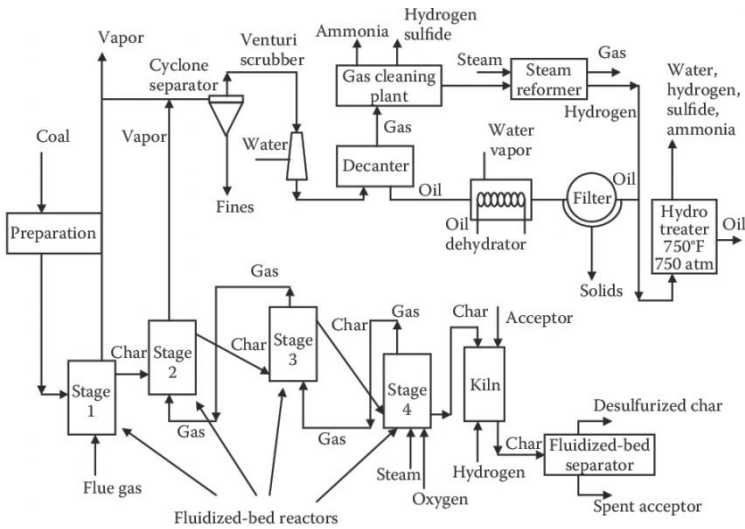
Steam dan oksigen bereaksi dengan char menghasilkan low btu gas pada temperatur mendekati 870 °C. Char dan gas panas didaur ulang kembali melalui stage ketiga menuju stage kedua. Biasanya diperlukan waktu sekitar 45 menit batu bara melalui keempat stage ini. Hasil berupa cairan dari batu bara akan didapati pada setiap stage. Minyak yang dikeluarkan dari stage pertama dan gas yang keluar dari stage ini diserap oleh campuran liquor yang didaur ulang. Campuran minyak dan air yang terkondensasi dikirim ke gravity



decanter untuk memisahkan fasanya. Gas yang terpisah dari air dimurnikan untuk dihilangkan amoniak, karbondioksida, dan hidrogen sulfidanya. Minyak yang dihasilkan disaring, dan char yang masih baik dipindahkan.

**PROSES COED**

Keuntungan dan kerugian proses ini adalah kemampuannya untuk memproses secara kontinu batu bara aglomerat tanpa oksidasi. Proses ini tidak menggunakan katalis atau reaktan kimia. Proses ini dapat juga memisahkan zat volatile dari fixed carbon dan abu tanpa merusak karakteristik kimia dari fraksi minyak. Proses COED juga menguntungkan karena bekerja pada tekanan rendah dan waktu reaksi yang singkat. Dibandingkan dengan proses lain, proses ini secara umum lebih sederhana dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, efisien karena banyak menggunakan energi yang berasal dari batu bara itu sendiri.



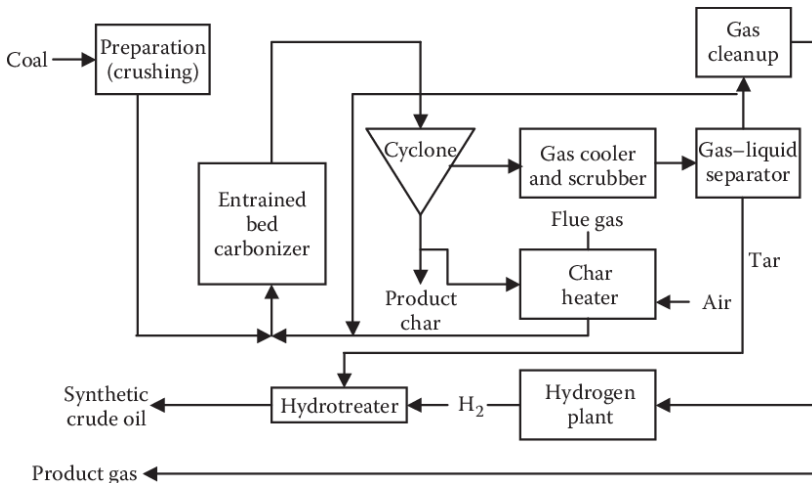
**Gambar 8. Process COED**

**Proses Occidental (Garret)**

Proses Occidental Flash Pyrolysis dikembangkan oleh The Occidental Research Co sejak tahun 1964. Proses ini didasarkan atas

pemanasan yang cepat dan devolatilisasi dari partikel batubara tanpa adanya udara. Proses ini menghasilkan yield cairan yang tinggi dan waktu tinggal yang singkat.

Seperti proses COED, proses ini berlangsung pada tekanan rendah (59 psi). Batu bara digiling menjadi partikel yang berukuran kecil dan hanya menggunakan satu reaktor pirolisis. Batu bara dipanaskan secara cepat dalam entrained bed dan dilengkapi dengan penambahan panas dari char kereaktor sehingga laju perpindahan panasnya tinggi. Pemanasan yang cepat akan menghasilkan cairan yang sedikit lebih banyak dari gas. Pada proses ini batu bara yang telah dihancurkan di crusher dimasukkan ke vessel pirolisis dalam aliran gas recycle dimana pirolisis dilakukan pada temperatur 1100 °F melalui kontak dengan char panas dari vessel pemanas char. Buangan dari reaktor pirolisis dikirim ke serangkaian cyclone untuk dipisahkan gas dan charnya. Sebagian dari char didinginkan sebagai char produk. Char tinggal dikirim ke pemanas char yang sebagian dibakar dengan udara untuk menghasilkan panas sampai temperatur 1400 °F . Sebagian lagi didaur ulang ke reaktor pirolisis. Gas hasil (700 btu/scf) dapat diubah menjadi gas metan atau hidrogen.



**Gambar 9. Process Occidental**

*Sumber : Lee et.al. (2007)*

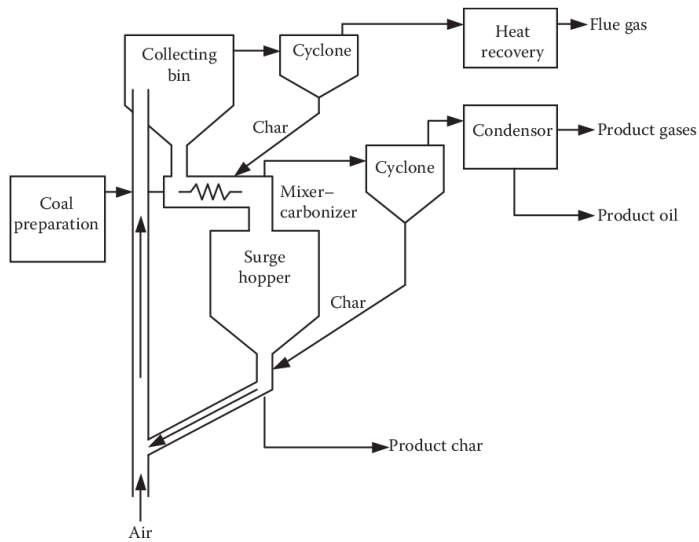
Char yang dihasilkan mempunyai porositas yang tinggi dan lebih reaktif. Kandungan hasil adalah 30% gas, 15% cairan dan 55% char. Yield dapat lebih tinggi dibandingkan dengan proses COED. Operasi secara pilot plant oleh Occidental Petroleum mencapai 350 lb/jam dan kecepatan daur ulang sebesar 2500 lb/jam.

### **Proses Lurgi-Rhurgas**

Proses ini dalam banyak hal hampir sama dengan proses Occidental. Merupakan plant yang komersial dalam skala besar di Eropa tetapi tidak menguntungkan di Amerika utara. Hal ini disebabkan karena hasil utama yaitu semicoke atau char tidak dapat dibakar dalam fasilitas pembakaran batu bara tanpa adanya bahan bakar lain. Proses ini juga menghasilkan char yang tidak dapat diolah dan dipasarkan akibatnya tidak menguntungkan secara ekonomi. Selain itu efisiensi terhadap panas relatif lebih rendah, walaupun dilaporkan bahwa proses ini mempunyai efisiensi panas sebesar 94% tidak termasuk bahan bakar dan daya (tenaga) yang digunakan.

Pada tahun 1963, di Yugoslavia dibangun retort dengan proses Lurgi dengan kapasitas sebesar 1600 ton perhari. Di Jerman, proses ini menggunakan batu bara dari jenis bituminus dengan kapasitas sebesar 350 ton per hari serta skala komersial dengan kapasitas sebesar 700 ton juga dibangun di Inggris. Pada tahun 1982 Getty oil di AS mulai menghasilkan hidrokarbon dari tanah diatomeus dengan menggunakan retort Lurgi.

Batu bara yang telah dihancurkan di crusher diumpankan secara kontinyu ke sebuah mixer dengan suhu karbonisasi antara 425 sampai 600 °C pada tekanan atmosfer dan waktu tinggal beberapa detik.



**Gambar 10. Proses Lurgi-Ruhrgas**

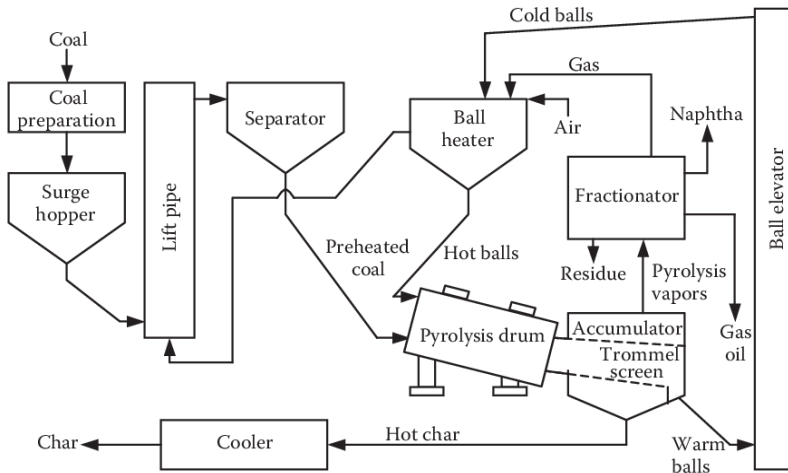
*Sumber : Lee et.al. (2007)*

Uap dan gas dikeluarkan dari Mixer dan dikirim ke sistem pendingin. Char panas dipisahkan dari gas pembakar untuk pemanasan kembali. Char panas dipisahkan dari gas dikumpulkan dalam bin pengumpul (collection bin). Produksi char yang kontinu ini menghasilkan char yang berlebih dan kelebihan ini ditampung.

### **Proses Toscoal**

Proses ini dikembangkan oleh the Oil Shale Corporation, yang merupakan proses pirolisis batu bara pada temperatur rendah. Dengan menggunakan jenis batu bara yang berbeda-beda proses ini telah dicoba pada skala pilot plant dengan kapasitas sebesar 25 ton perhari. Proses ini mempunyai efisiensi sebesar 90 %. Proses Toscoal menghasilkan char, pyrolisis oil dan high btu gas masing-masing sebesar 76%, 18%, dan 7 % dari nilai panas batu bara. Dengan kandungan nilai panas sebesar 76% char yang terbentuk hanya 50% dari berat batu bara yang diumpankan. Proses ini juga menghasilkan sulfur dengan konsentrasi yang rendah dibandingkan dengan batu bara tua dan menggunakan bahan bakar yang hemat untuk fasilitas

pembakaran atau thermal power plantnya. Minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis dapat dijual sebagai bahan bakar dan gas dapat dipasarkan sebagai Synthetic Natural Gas.



**Gambar 11. Proses Toscoal**

*Sumber : Lee et.al. (2007)*

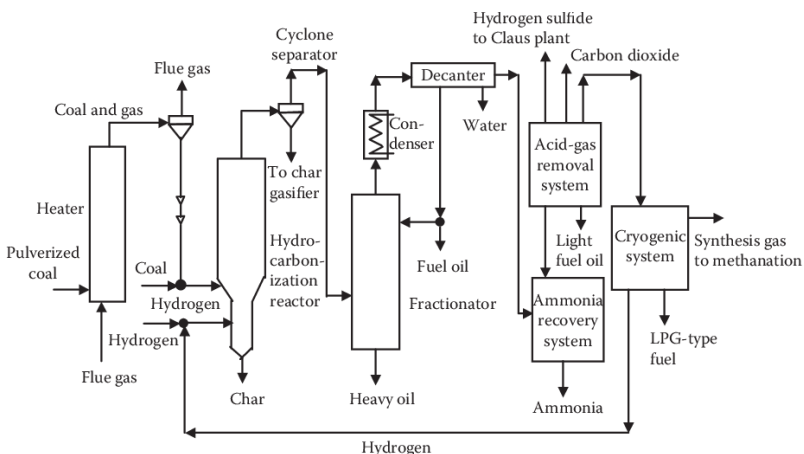
Batu bara umpan dicrusher lalu dikeringkan dan dipanaskan dengan flue gas panas sebelum ditransfer ke drum pirolisis yang berputar. Selanjutnya batu bara dipirolisis dengan kontak langsung dengan bola-bola keramik panas pada temperatur 430 sampai 530 °C pada tekanan rendah yaitu dari 0 sampai 5 psig dengan waktu tinggal sekitar 5 sampai 10 menit. Char hasil dikeluarkan melalui trommel screen dan bola keramik yang telah dingin dikembalikan ke pemanas dengan menggunakan elevator. Uap hasil pirolisis dapat dikondensasikan dan di fraksionasi lebih lanjut untuk menghasilkan bahan bakar. Gas yang tidak terkondensasi digunakan sebagai bahan bakar untuk pemanas bola keramik. Keunikan dari proses ini ialah digunakannya bola keramik untuk mentransfer panas pirolisis serta dapat menghaluskan batu bara sebaik dan seefektif penggunaan reaktor pirolisis yang berputar (rotated pyrolysis reaktor). Keuntungan lainnya ialah kehilangan berat char dari batu bara tidak diikuti oleh kehilangan nilai kalor yang terlampau besar. Kerugiannya ialah

penggunaan bola keramik dapat mengakibatkan turunnya efisiensi karena rendahnya tekanan juga bila batu bara yang digunakan terlalu banyak mengandung sulfur.

## Proses Coalcon

Proses Coalcon adalah proses yang dikembangkan oleh Union Carbide. Selama lebih dari 30 tahun proses ini dioperasikan dengan kapasitas 300 ton perhari dan pada skala pilot plant sebesar 20 ton perhari. Proses Coalcon adalah proses yang dioperasikan pada temperatur tinggi dan tekanan sedang untuk mengkarbonisasi batu bara dengan kandungan sulfur yang tinggi dalam fluidized bed. Produknya berupa bahan bakar, gas dan char yang bersih. Efisiensi panasnya mencapai 62%.

Batu bara dipanaskan dengan flue gas panas dan dipisahkan dari gas dengan menggunakan siklon. Batu bara yang telah dipisahkan memasuki untuk dipanaskan sampai temperatur 325 °C dan tekanan sebesar 330 psi. Batu bara kemudian difluidisasi oleh gas yang membawa hidrogen untuk kemudian masuk ke hydrocarbonizer. Pada reaktor ini slury tercampur dengan char panas yang berasal dari resirkulasi, hidrogen panas dan gas injeksi.



**Gambar 12. Proses Coalcon**

*Sumber : Lee et.al. (2007)*

Pirolisis terjadi pada temperatur 560 °C dengan waktu tinggal selama 25 menit. Gas dari reaktor dibersihkan di cyclone dan dikirim ke downstream dari kolom fraksionasi untuk pendingin dan pemisah. Minyak berat dari bagian bottom fraksionator didinginkan, dibersihkan serta difraksionasi dan siap untuk dipasarkan. Char yang tertinggal dikeluarkan dari bottom melalui sistem agglomerasi. Pada kenyataannya proses ini merupakan gabungan dari proses pirolisis dan hidrogenasi. Keunikannya ialah adanya tingkatan sulfur yang dihasilkan oleh aliran cairan dan keluarnya char dalam sirkulasi di hydrocarbonizier dengan perbandingan 10 bagian char dan 1 bagian batu bara. Cairan hidrokarbon berat yang tak diinginkan dapat didaur ulang serta kadar sulfur dari bahan bakar yang rendah.

### **Proses CS/R**

Proses flash hydropyrolysis dikembangkan oleh Cities Service dan Rocketdyne div. Of Rockwell International di California. Pilot plant beroperasi dengan kapasitas 24 ton perhari. Pada proses ini dihasilkan cairan yang lebih banyak, yield dinyatakan sebagai batu bara bebas abu dan moisture (moisture and ash free coal) dengan komposisi: 42% char, 46 % cairan dan 13 % gas. Juga dihasilkan 12 sampai 15 persen benzen.

Reaksi yang cepat antara batu bara dan gas hidrogen didalam reaktor terjadi pada temperatur 1800 °C dan tekanan 1000 psi. Waktu tinggal untuk proses pencampuran ini ialah 10 sampai 100 milidetik dalam reaktor. Setelah itu campuran didinginkan secara cepat dengan air dalam vessel pemisah. Batu bara yang tidak bereaksi, char dan tar hasil dipindahkan ke vessel ketiga dimana fasa uap dipisahkan pada temperatur 500 °F dan tekanan 1000 psi dan dikirim ke kondensor.

# BAB 6

## GASIFIKASI BATU BARA

### 6.1. Pengertian Gasifikasi

Proses gasifikasi adalah proses mengubah wujud batu bara dari padatan menjadi gas sintesa yaitu Karbonmonoksida dan hidrogen dalam suatu peralatan yang disebut Gasifier. Reaksi batu bara dapat dilakukan dengan udara, oksigen, steam, CO<sub>2</sub> atau campuran gas-gas tsb. Bila gasifikasi dilakukan pada lingkungan gas hidrogen maka gasifikasi disebut *hydrogasification*. Proses pemanfaatan batu bara melalui metoda gasifikasi telah berkembang sejak Perang Dunia ke II.

Gasifikasi batu bara dapat menghasilkan tiga jenis produk yaitu gas dengan nilai kalor rendah, sedang dan tinggi. Gas dengan nilai kalor rendah dapat dihasilkan dari gasifikasi batu bara dengan udara dan steam dengan nilai kalor gas yang dihasilkan antara 90 sampai 180 BTU/scf. Gas dengan nilai kalor sedang diperoleh dari gasifikasi batu bara menggunakan oksigen dan steam yang pada umumnya menghasilkan gas karbonmonoksida dan hidrogen dengan nilai kalor antara 250 sampai 400 BTU/Scf. Gas dengan nilai kalor tinggi atau synthetic natural gas (SNG) dihasilkan dari gas dengan nilai kalor sedang dan mempunyai nilai kalor antara 900 sampai 1000 BTU/scf yang setara dengan gas metana.

Batu bara merupakan senyawa aromatik dan hydroaromatik yang membentuk blok secara *cross linking* (ikatan silang) dengan gugus-gugus fungsional terletak pada sisi-sisi blok tsb. Pada tahap awal proses gasifikasi batubara akan mengalami pengeringan yaitu hilangnya air yang ada pada permukaan batubara. Tahap kedua akan terjadi devolatilisasi dimana gugus-gugus fungsional batu bara yang terikat dengan ikatan silang kan terputus; senyawa-senyawa hydroaromatik akan tercraking. Tahap selanjutnya akan terjadi peristiwa gasifikasi dimana senyawa-senyawa karbon akan beraksi dengan media gasifikasi menghasilkan gas CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Sebagai



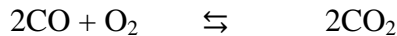
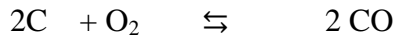
hasil akhir pembakaran akan terbentuk gas dan sisa pembakaran berupa abu.

Untuk kepentingan perancangan gasifier diperlukan data-data kinetika dan karakteristik batu bara yang akan digunakan. Selama proses gasifikasi padatan dalam bentuk batu bara, coke atau char pada prinsipnya merupakan reaksi kimia yang melibatkan karbon, karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen, air (atau steam), dan metana.

## 6.2. Reaksi-reaksi Gasifikasi

Reaksi kimia yang terjadi selama proses gasifikasi adalah:

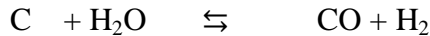
1. Reaksi sekuensial karbon menjadi gas Karbonmonoksida dan Karbondioksida.



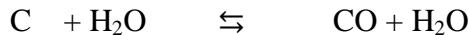
2. Oksidasi Hidrogen



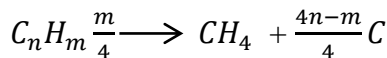
3. Reaksi Karbon dengan steam dan karbondioksida



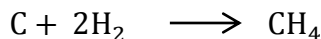
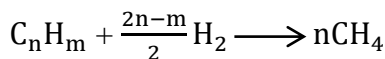
4. Reaksi water gas shift



5. Reaksi dekomposisi volatile matter dalam batu bara membentuk gas metana



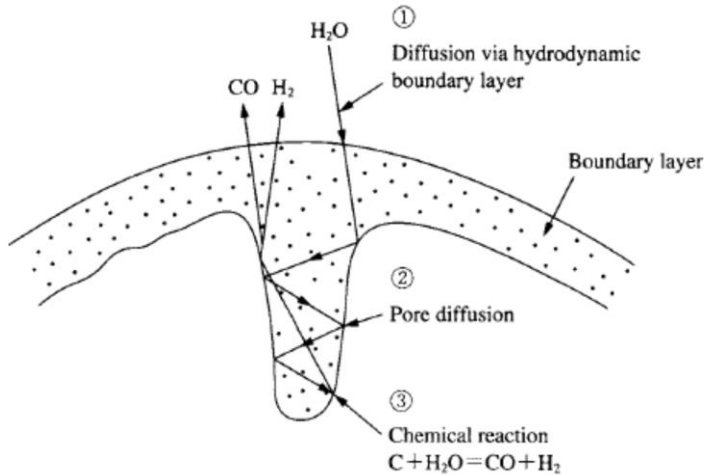
6. Hidrogenasi volatile matter dan carbon menjadi gas metana



## 6.3. Mekanisme Transport pada Gasifikasi

Menurut Cornelis (1987) mekanisme transportasi media gasifikasi pada partikel batu bara meliputi tiga tahapan yaitu 1) Difusi steam melalui boundary layer hidrodinamika 2) Difusi media

gasifikasi ke dalam pori batu bara dan 3) Reaksi kimia antara atom C dan steam ( $H_2O$ ) membentuk gas karbonmonoksida dan hidrogen.



**Gambar 13. Mekanisme Transport pada Gasifikasi Batu bara**

*(Sumber : Ishihara et-al 2004)*

## 6.4. Klasifikasi Proses Gasifikasi Batu bara

Gasifikasi batu bara dapat diklasifikasikan dalam berbagai cara. Berdasarkan kontak reaksi batu bara dengan media gasifikasinya dapat dibedakan menjadi Gasifikasi unggun tetap (Fixed bed gasification), Gasifikasi unggun terfluidisasi (Fluidized bed gasification), Gasifikasi unggun bergerak (entrained bed gasification) dan Gasifikasi lelehan garam/logam (Molten salt/metal bath gasification). Berdasarkan kondisi residu yang dibuang dapat dibedakan menjadi non slagging operation dan Slagging operation. Sedangkan berdasarkan sistem pemanasan gasifikasi dapat dibedakan menjadi Autothermal dan Allothermal.

### Gasifikasi Unggun Tetap (Fixed-bed gasification)

Gasifikasi unggun tetap mempunyai keunggulan diantaranya aliran bahan bakar dan abu terjadi secara counter current terhadap media gasifikasi dan produk gas sehingga penggunaan panas lebih

ekonomis. Waktu tinggal yang relatif panjang didalam gasifier akan menghasilkan konversi karbon yang tinggi. Gas hasil juga bebas dari padatan dan sistem plug flow dari padatan akan meminimalisir kehilangan bahan bakar.

Beberapa faktor penting yang harus diperhatikan dalam operasi gasifier unggul tetap adalah ukuran dan distribusi partikel batu bara, kecenderungan partikel teraglomerasi, reaktifitas batu bara, dan temperatur lebur abu. Ukuran batubara yang cocok adalah dari ½ sampai 2 inch dan harus terdistribusi secara uniform. Batu bara jenis coking tidak dapat digunakan pada gasifier jenis ini sebelum ditreatmen agar menjadi non aglomerating. Reaktifitas batu bara umpan diperlukan untuk menentukan suhu minimum pada zona gasifikasi. Temperatur lebur abu diperlukan untuk menentukan apakah gasifier beroperasi secara slagging atau non slagging.

Pada gasifier yang beroperasi dengan cara non slagging, temperatur lebur abu lebih besar dari 1150 °C lebih disukai. Temperatur maksimum pada zona reaksi pada operasi slagging yaitu antara 1500 – 1800 °C lebih besar dari operasi non slagging yaitu antara 1200 -1300 °C.

### **Gasifikasi Unggun Terfluidakan**

Gasifikasi ungun terfluidakan pertamakali digunakan secara komersial adalah gasifier Winkler pada tahun 1920 an. Gasifier jenis ini mempunyai keunggulan yaitu perpindahan panas internal sangat cepat terjadi dalam bed serta distribusi temperatur yang seragam di dalam bed. Keunggulan lainnya adalah dapat beroperasi pada rentang output yang luas tanpa kehilangan efisiensi yang signifikan, sistem penyimpanan fuel dalam reaktor dapat menghindari masuknya oksigen bila terjadi kehabisan suplai bahan bakar. Sistem ini juga mempunyai laju spesifik gasifikasi yang tinggi dan mampu handle semua jenis partikel batu bara yang halus.

Kelemahannya adalah batu bara yang tidak tergasifikasi hilang dalam bentuk debu. Slagging dan chaneling dapat terjadi karena rasio antara panjang dan diameter bed batu bara yang tinggi. Distribusi

ukuran partikel yang sempit dan kecenderungan terjadinya aglomerasi dari batu bara umpan. Bed mengandung partikel batu bara yang kasar akan menyebabkan slagging.

### Gasifikasi Unggun bergerak (entrained bed)

Keunggulan sistem ini adalah dapat memanfaatkan segala jenis batu bara. Sifat coking dan swelling batu bara tidak berpengaruh pada operasi gasifier. Yang perlu diperhatikan adalah temperatur lebur abu jika operasi gasifier dilakukan secara slagging atau non slagging. Sistem entrained memproduksi gas dan tidak menghasilkan tar dan sedikit gas metana karena semua volatil matter teroksidasi secara sempurna pada tahap awal gasifikasi. Kelemahan sistem ini adalah rendahnya persediaan fuel pada zona reaksi. Karena menurunnya konsentrasi reaktan dan temperatur dari inlet (masukan) ke outlet (keluaran) maka laju gasifikasi akan rendah pada outlet sehingga tidak ekonomis untuk melakukan gasifikasi lebih dari 85 sampai 95% karbon untuk single pass.

Perbedaan karakteristik gasifikasi ditampilkan pada Tabel 25.

**Tabel 25. Karakteristik berbagai-bagai Proses Gasifikasi**

Jenis	Unggun tetap		Unggun terfluida		Unggun bergerak
	Kondisi Abu	Abu kering di bottom	Slagging	Abu kering	Agglomera ting
Jenis Proses	Lurgi	BCL	Winkler, HTW,KBR , CFB,HRL	KRW, U-Gas	KT, Shell, GEE,E-Gas, Siemens, MHI, PWR
Karakteristik umpan					
Ukuran	6-50 mm	6-50 mm	6-10 mm	6-10 mm	100 µm
Butiran halus	terbatas	Lebih baik dari abu kering	Injeksi melalui tuyers	mungkin	Ya
Batu bara	Ya, dengan	Ya,	Ya	Ya	Ya

caking	stirrer	dengan stirrer			
Peringkat batu bara	semua	tinggi	rendah	semua	Semua
Karakteristik operasi					
Suhu gas keluar	Rendah (425-460 °C)	Rendah (425-460 °C)	Sedang (900-1050 °C)	Sedang (900-1050 °C)	Tinggi (1250-1600 °C)
Kebutuhan oksidant	rendah	Rendah	Sedang	Sedang	Tinggi
Kebutuhan steam	tinggi	Rendah	Sedang	sedang	Tinggi
Karakteristik lainnya	Hidrokarbon dalam gas	Hidrokarbon dalam gas	Konversi karbon rendah	Konversi karbon rendah	Gas murni, konversi karbon tinggi

## 6.5. Gasifier skala Komersial

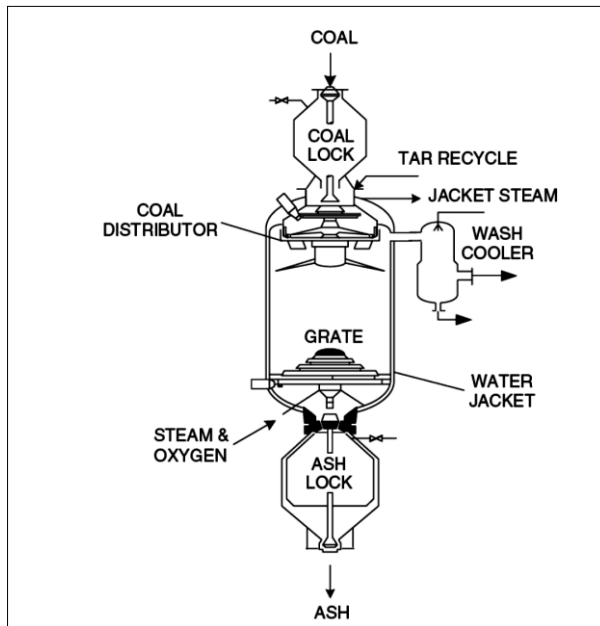
Sejak diperkenalkannya generator gas pada awal tahun 1860 maka ada empat gasifier kecil yang komersial yaitu 1) Gasifier Lurgi 2) Gasifier Wellman-Galusha 3) Gasifier Koppers-Totzek dan 4) Gasifier Winkler. Perkembangan terakhir juga dikenal Gasifier Molten bath.

Gasifier Lurgi dan Wellman-Galusha merupakan gasifier unggul tetap yang beroperasi pada tekanan 34 atm. Gasifier Koppers-Totzek merupakan gasifier entrained dan Gasifier Winkler merupakan gasifier fluidized bed yang beroperasi pada tekanan atmosfer.

### 6.5.1. Gasifier Lurgi

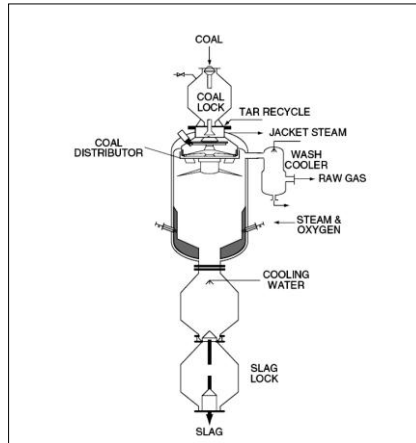
Gasifier Lurgi pertamakali diperkenalkan pada tahun 1936. Gasifier ini mempunyai diameter 12 ft dan dapat memroses 600 ton batu bara per hari. Gasifier Lurgi mempunyai vertical water cooled pressure shell. Batu bara berukuran 1/8 inch diumpankan ke lock-hopper dibagian atas. Steam dan oksigen (atau udara) diinjeksikan melalui rotary bottom grate. Gasifikasi biasanya efektif pada tekanan

3.5 MPa dan temperatur 925-1035 °C. Sebagai produk gasifikasi akan diperoleh 50% hidrogen, 35% karbonmonoksida dan 15% gas metana.



**Gambar 14. Gasifier Lurgi-Dry ash**

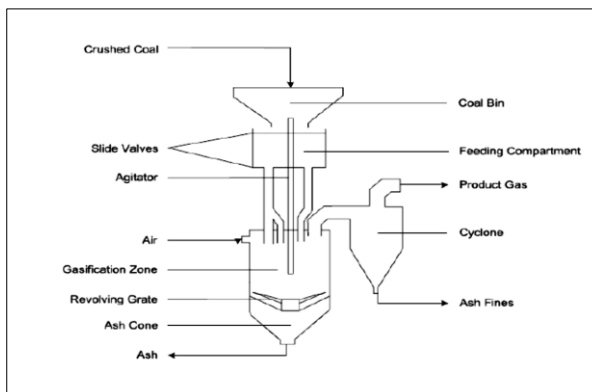
Perkembangan selanjutnya gasifier Lurgi dimodifikasi menjadi BGL (British Gas/Lurgi) yang merupakan gasifier type slagging. Gasifier tipe ini bertujuan untuk meningkatkan yield CO dan H<sub>2</sub>, dapat memroses batu bara dengan temperatur lebur abu yang rendah, dapat mengolah partikel batu bara dengan ukuran yang halus dan menurunkan konsumsi steam. Perkembangan lain dari gasifier Lurgi adalah Gasifier Rhur 100 yang beroperasi pada tekanan 100 atm.



**Gambar 15. Gasifier BCL**

### 6.5.2. Gasifier Wellman-Galusha

Gasifier Wellman-Galusha merupakan gasifier unggun tetap yang beroperasi pada tekanan atmosfer. Gasifier ini mempunyai diameter 12 ft, double walled-water cooled steel vessel. Batu bara dengan ukuran ¼ inch diumpungkan secara kontinyu ke vessel dari lock hopper melalui rotary drum feeder. Gasifier jenis ini tidak dapat memroses batu bara dengan ukuran halus yang dapat menyebabkan chaneling sehingga yield produk akan turun. Batu bara yang diproses juga harus mempunyai temperatur lebur abu di atas 1200 °C. Waktu tinggal batu bara dalam gasifier adalah 4 jam dengan suhu operasi 1315 °C.

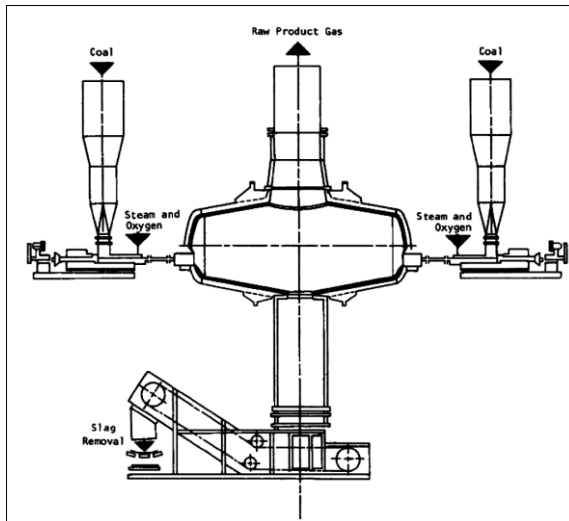


**Gambar 16. Gasifier Wellman-Galusha**  
(Sumber: IGCC State-of-the-art report Norway 2010)

### 6.4.3. Gasifier Kopper-Totzek

Gasifier Kopper-Totzek merupakan sebuah refraktori yang dilengkapi dengan water jacket dimana pada gasifier ini digunakan batu bara dalam bentuk serbuk dengan ukuran partikel kira-kira 74 mikrometer (<200 mesh). Batubara umpan dibawa dengan sebuah screw dari hopper menuju gasifier yang dilengkapi dengan sepasang burner setelah dikeringkan terlebih dahulu sampai mengandung 1% air. Tekanan operasi gasifier di bawah atmosferik dan temperatur antara 1600 sampai 1900 °C.

Debu batu bara dapat mempersingkat waktu kontak dalam gasifier sehingga hanya sekitar satu detik. Suhu yang tinggi dan ukuran partikel batubara yang kecil mengakibatkan laju reaksi meningkat dan hampir semua karbon terkonversi. Gasifier jenis ini mempunyai efisiensi panas antara 75-80% dan mempunyai keuntungan al. Tidak menghasilkan produk samping seperti tar, minyak atau amonia dan tidak menghasilkan kondensat yang terkontaminasi dalam jumlah besar. Kelemahan gasifier jenis ini adalah konsumsi oksigen cukup tinggi, gas yang diproduksi pada tekanan atmosferik memerlukan sistem pemipaan dan alat penukar panas konversi yang tinggi akan tercapai bila digunakan batu bara dengan reaktivitas tinggi, fouling karena fly ash dapat terjadi pada waste heat boiler.



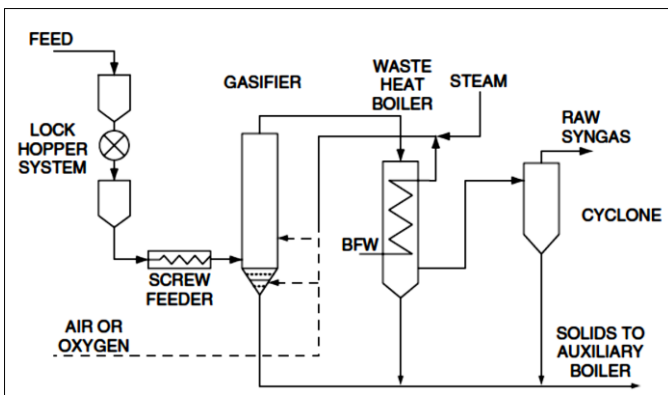
**Gambar 17. Gasifier Kopper-Totzek**

*(Sumber Berkowitz, 1997)*



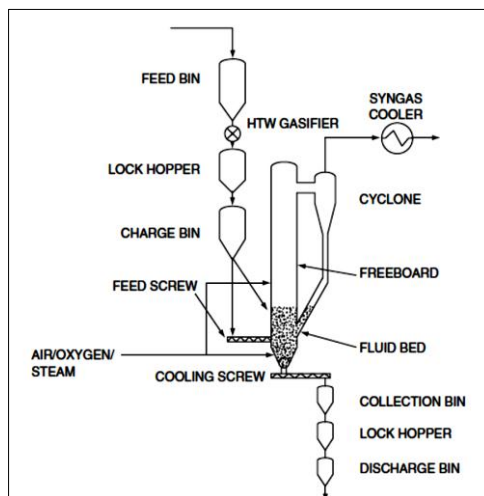
### 6.4.4. Gasifier Winkler

Gasifier Winkler adalah gasifier unggun terfluidisasi yang beroperasi pada tekanan atmosferik dan tekanan tinggi. Gasifier Winkler dapat menggunakan batubara coklat, subbituminus dan bituminus yang partikelnya dihaluskan di bawah 10 mm. Tidak memerlukan pengeringan jika kadar air batu bara di bawah 10%. Gasifier jenis ini mempunyai diameter 13 sampai 15 ft dan tinggi 65 ft. Umpan dibawa menuju gasifier menggunakan screw conveyor. Gasifier beroperasi pada suhu antara 950 dan 1050°C.



**Gambar 18. Skema Gasifier Winkler**

*(Sumber: Higman 2003)*

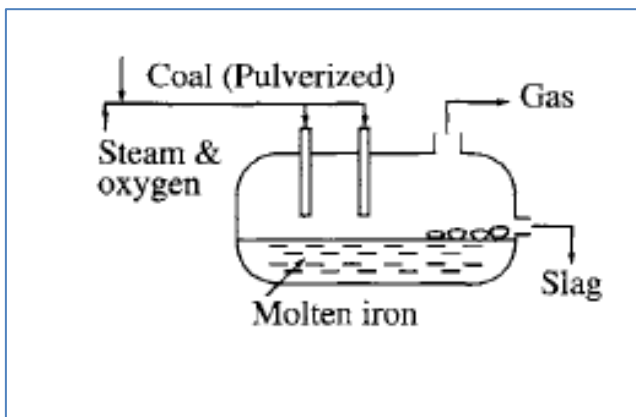


**Gambar 19. Gasifier Winkler Suhu Tinggi**

### 6.4.5. Gasifier Molten-Iron Bath

Pada gasifier jenis ini batu bara diumpukan dengan steam atau oksigen ke dalam suatu bath yang berisi garam atau logam yang sedang melebur pada suhu 1000 -1400 °C. Sebagai slag hasil dari proses gasifikasi berupa abu dan sulfur. Contoh gasifier jenis ini adalah Molten Iron Bath, Kellog dan ATGAS.

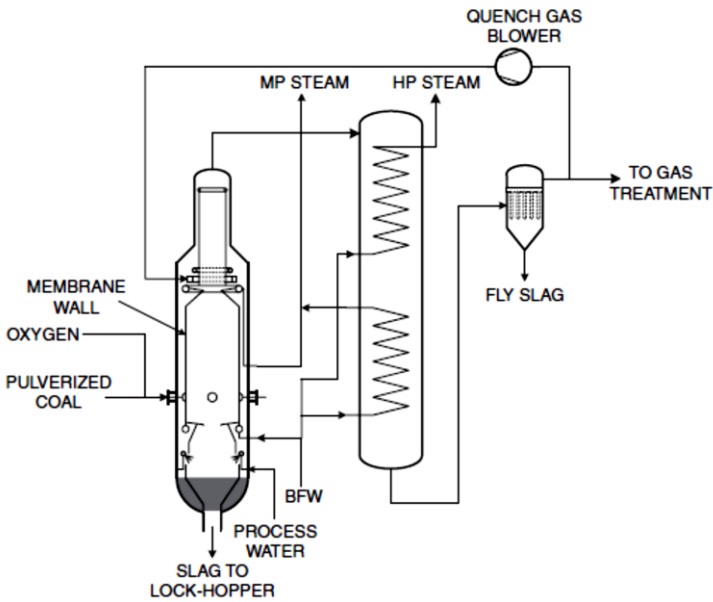
Molten Iron Bath merupakan jenis gasifikasi yang relatif baru yang dilhami oleh furnace oksigen yang biasa digunakan pada pabrik baja. Gasifikasi molten bath mempunyai beberapa keunggulan yaitu dapat melakukan cracking partikel batu bara dalam waktu yang singkat, tidak hanya menghasilkan hidrogen tetapi juga melarutkan dan mengabsorbs karbon yang dihasilkan dengan cara cracking. Besi yang melebur beraksi dengan oksigen dan karbon dioksida dan menghasilkan FeO yang segera tereduksi oleh karbon yang terkandung dalam besi dan kembali membentuk Fe dan gas CO. Walaupun jumlah umpan batu bara berlebihan, besi yang melebur akan melarutkan dan mengabsorb karbon yang berlebih menghindari terjadinya karbon yang tidak teroksidasi keluar dari gasifier. Walaupun jumlah oksigen yang disuplai berlebih, karbon yang ada dalam leburan besi akan bereaksi dengan oksigen berlebih tersebut sehingga menghindari terbentuknya CO<sub>2</sub>. Leburan besi juga melarutkan dan mengabsorbsi belerang yang terkandung dalam batu bara dan mengubahnya menjadi molten slag.



**Gambar 20. Gasifier Molten Iron Bath**

### 6.4.6. Proses Gasifikasi Shell

Proses Gasifikasi Shell merupakan proses gasifikasi yang dilakukan menggunakan gasifier vertikal. Batu bara yang telah dihaluskan (90% mempunyai ukuran partikel di bawah 90  $\mu\text{m}$ ) ditekan dalam lock hopper dan dialirkan dalam fasa kompak menggunakan nitrogen atau  $\text{CO}_2$  dan dicampurkan dekat nozzle keluaran dari burner dengan oksigen dan steam. Reaksi berlangsung sangat cepat dan setelah waktu tinggal 0,5 sampai 4 detik produk gas meninggalkan reaktor dan slag melalui bukaan bagian bawah reaktor dan didinginkan dalam sebuah waterbath. Suhu gasifier adalah 1500  $^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 30-40 bar. Penurunan suhu secara mendadak ketika memasuki water bath menjadikan slag berwujud padatan dan terpecah menjadi partikel halus, inert dan glassy dan dapat digunakan menggantikan pasir dan agregat dalam beton.



**Gambar 21. Proses Gasifikasi Batu bara Shell**

# **BAB 7**

## **PROSES PENCAIRAN BATU BARA**

### **7.1. Definisi Pencairan (Likuifaksi)**

Likuifaksi merupakan proses mengubah wujud batu bara dari padatan menjadi cairan sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar cair. Cairan hasil proses liquefaksi dapat ditingkatkan kualitasnya (up-grading) yang bertujuan :

1. Meningkatkan ratio hidrogen/karbon (H/C)
2. Mereduksi/menghilangkan kandungan S, N, O, trace element dan abu
3. Menurunkan viskositas dan titik didih cairan
4. Memperbaiki stabilitas dalam penyimpanan
5. Menghilangkan sifat toksisitas dan karsinogenik cairan

### **7.2. Faktor yang mempengaruhi Proses Pencairan batu bara**

Ada beberapa hal yang sangat mempengaruhi kuantitas dan kualitas proses pencairan batubara diantaranya adalah :

1. Reaktifitas Batu bara  
Setiap jenis batu bara mempunyai reaktifitas yang berbeda-beda tergantung pada peringkat batu bara tersebut. Batu bara jenis antrasit sukar untuk dicairkan. Batu barajenis bituminus kualitas tinggi memerlukan kondisi operasi tertentu dibandingkan dengan batu bara kualitas rendah. High volatile bituminous coal memberikan hasil cairan yang banyak. Batu bara peringkat rendah (Low rank coal) seperti lignit mencair lebih cepat tetapi hasil (cairan) sedikit.
2. Laju pemanasan

Laju pemanasan dalam reaktor diusahakan secepat mungkin untuk menghindari repolimerisasi dari radikal bebas yang terbentuk dari pemecahan ikatan kimia dari batu bara. Suhu optimal yang diperlukan untuk mencairkan batu bara adalah antara 400 – 550 oC.

### 3. Katalis

Kebanyakan logam (metal) dapat digunakan sebagai katalis. Abu batu bara juga dapat bertindak sebagai katalis dalam proses hidrogenasi batu bara.

### 4. Tekanan

Untuk mencairkan batu bara diperlukan tekanan operasi yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 500-4000 psi (34-270 atm). Namun demikian batu bara juga dapat mencair pada tekanan operasi yang relatif rendah pada kondisi super kritik pelarut donor hidrogen yang digunakan.

### 5. Waktu kontak

Waktu kontak adalah waktu yang dibutuhkan untuk proses pencairan batu bara di dalam reaktor yang berkisar antara 20 menit sampai 2 jam. Batu bara juga dapat dicairkan pada waktu kontak yang lebih rendah sekitar 10 menit. Proses ini disebut Short contact time liquefaction.

## **7.3. Jenis-jenis Proses Pencairan Batu bara**

Berbagai proses pencairan batu bara yang dikenal untuk menghasilkan bahan bakar cair dari batubara yaitu proses pencairan tidak langsung dan proses pencairan langsung yang masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian tersendiri.

### **7.3.1. Proses Pencairan tidak langsung**

Proses pencairan tidak langsung yaitu melalui tahap gasifikasi batu bara sehingga menghasilkan gas sintesa yaitu campuran karbonmonoksida dan hidrogen yang dalam tahap selanjutnya diubah menjadi bahan bakar cair dengan bantuan katalis tertentu. Keuntungan dari proses ini adalah setiap jenis batu bara dapat dikonversikan menjadi produk cair, komposisi produk dapat dikontrol dengan baik, produk akhir yang bebas dari sulfur. Teknologi proses ini sudah lebih maju daripada proses likuifaksi langsung. Kerugiannya adalah batu

bara harus melalui tahapan gasifikasi terlebih dahulu dimana gas harus mempunyai kemurnian yang tinggi untuk dijadikan produk cair, peralatan yang diperlukan lebih kompleks, sehingga memerlukan modal yang tinggi, serta efisiensi panasnya lebih rendah dibandingkan dengan proses hidrogenasi batu bara. Proses Fischer-Tropsch merupakan contoh proses likuifaksi tak langsung dimana gas sintesis yaitu hidrogen dan karbon monoksida, dengan bantuan katalis misalnya nikel molibdat diubah menjadi hidrokarbon cair. Produk yang dihasilkan pada proses ini tergantung pada kondisi proses dan jenis katalis yang digunakan.

Proses pencairan secara langsung dapat dilakukan melalui pirolisis, ekstraksi pelarut dan hidrogenasi katalitik. Pada pencairan secara langsung batu bara diubah menjadi cairan dengan mereaksikannya dengan gas hidrogen pada tekanan dan temperatur tinggi atau dengan melakukan pirolisis batu bara yang akan menghasilkan produk cairan, gas dan padatan.

Proses pirolisis merupakan proses yang paling tua dan sederhana yang menghasilkan cairan dan gas serta residu berupa arang dan abu. Jumlah produk yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis batu bara yang digunakan. Batu bara jenis high volatile memberikan cairan dan gas lebih banyak bila dibandingkan dengan batu bara jenis antrasit. Komposisi produk pada proses pirolisis tergantung pada metode kontak batu bara, serta jenis reaktor yang digunakan.

Metoda pirolisis yang relatif baru adalah flash hydrolysis yaitu proses pirolisis secara cepat dengan media gas hidrogen pada tekanan tertentu. Untuk menghasilkan cairan yang sebanyak mungkin biasanya digunakan partikel batu bara dengan ukuran kira-kira 25  $\mu\text{m}$ , yang dipanaskan secara cepat dan dengan waktu tinggal yang singkat sehingga kemungkinan terjadinya aglomerasi dengan produk akhir berupa 35% berat cairan, 7% berat gas dan 58% berat char. Keuntungan proses pirolisis adalah tekanan operasi dapat rendah atau tekanan atmosfer, tidak adanya penambahan reaktan kimia, waktu reaksi yang singkat, peralatan yang digunakan relatif sederhana dengan modal yang rendah.

Kesulitan proses ekstraksi pelarut, batu bara dilarutkan dalam pelarut hidrogen donor yang dapat memindahkan atom hidrogen kedalam batu bara. Kontak batu bara dengan gas hidrogen pada suhu dan tekanan tinggi akan menghasilkan gas, cairan dan padatan berupa

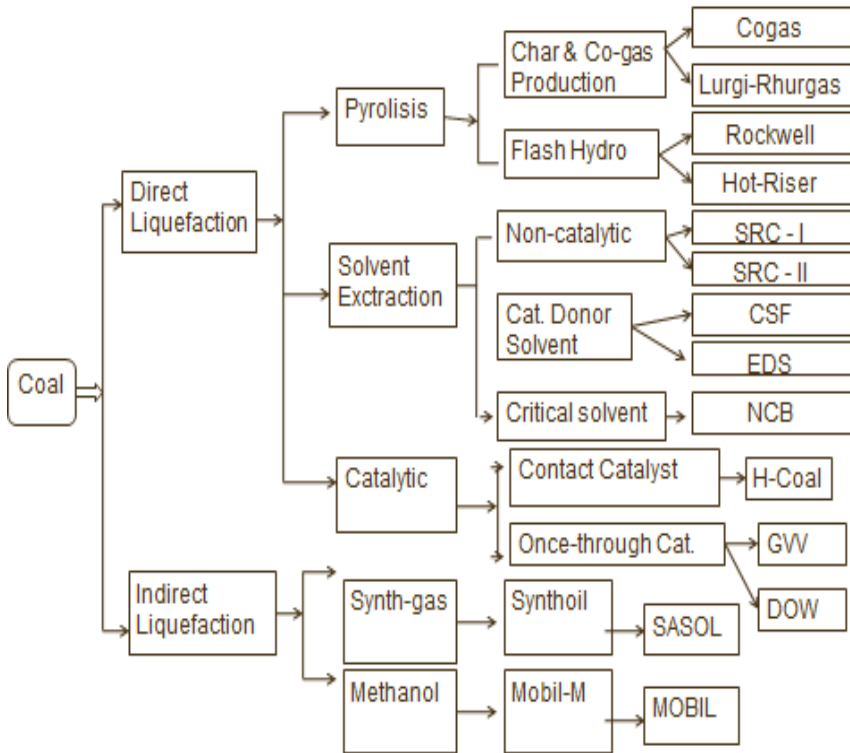
batu bara tak terkonversi serta abu.Keuntungan proses ekstraksi pelarut adalah temperatur operasinya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan proses pirolisis, konfigurasi proses dapat dirancang sesuai dengan kualitas batu bara umpan dan kualitas produk yang diinginkan. Kerugian proses ini adalah kesulitan pemisahan batu bara yang tak terkonversi dan abu yang terbentuk.

Proses likuifaksi katalitik yaitu likuifaksi batu bara dengan mencampurkan katalis tertentu, batu bara dan pelarut donor hidrogen. Pemisahan padatan dari cairan dapat dilakukan dengan filtrasi atau penguapan sekejap. Pelarut yang digunakan berfungsi sebagai donor hidrogen, pembentuk lumpur batu bara, dan melindungi partikel batu bara terhadap aglomerasi. Keuntungan proses ini adalah tekanan operasi yang rendah, waktu tinggal yang singkat, serta kualitas produk dapat dikontrol. Kerugiannya adalah adanya kesulitan pemisahan batu bara yang tak bereaksi dan abu dari minyak berat dan menurunnya aktifitas katalis setelah waktu tertentu dan diperlukannya regenerasi katalis.

Cairan batu bara yang dihasilkan pada proses pencairan batu bara dapat ditingkatkan kualitasnya dengan pengolahan lebih lanjut yang bertujuan :

1. Meningkatkan nisbah hidrogen-karbon dari minyak yang dihasilkan.
2. Mereduksi atau menghilangkan kandungan belerang, nitrogen, oksigen, logam runutan, dan abu yang terkandung.
3. Menurunkan viskositas dan titik didih cairan.
4. Memperbaiki stabilitas dalam penyimpanan.
5. Menghilangkan sifat toksitas dan karsinogenik cairan yang dihasilkan.

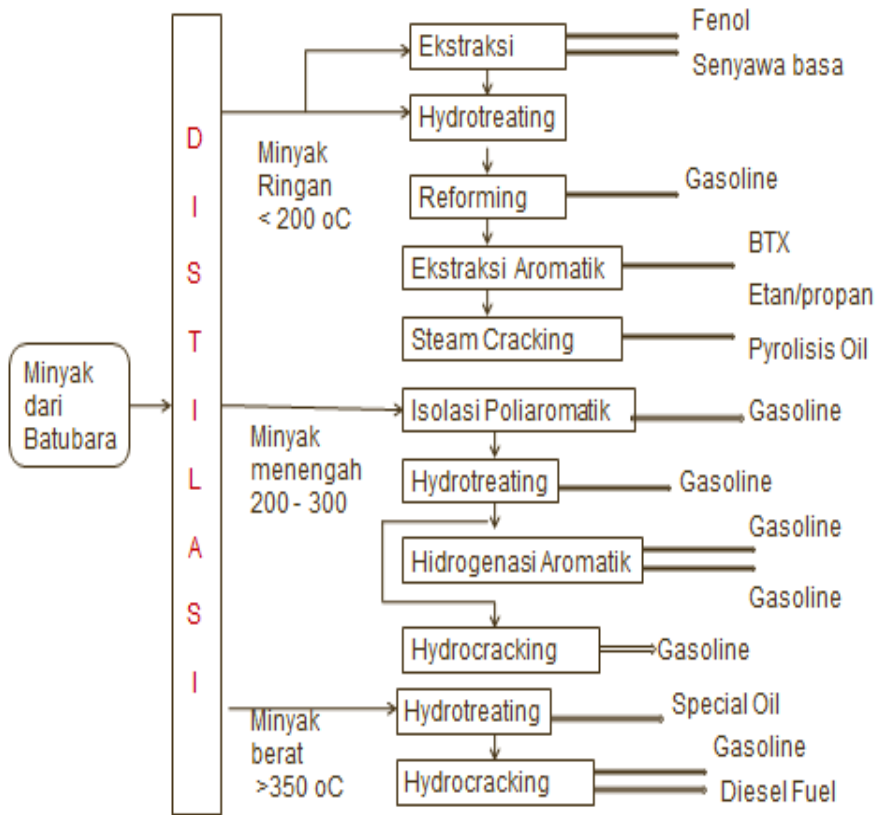
Gambar 17 memperlihatkan proses-proses pencairan batu bara yang telah berkembang secara komersial, sedangkan Gambar 18 memperlihatkan proses-proses lanjutan untuk mengolah produk cair hasil likuifaksi batu bara guna mendapat produk-produk komersilnya.



**Gambar 22. Skema Proses Pencairan Batu bara**

Distilat umumnya dibagi atas tiga komponen berdasarkan perbedaan titik didihnya. Fraksi minyak ringan ( light oil ) yaitu semua komponen dengan titik didih lebih rendah dari 200 °C, fraksi menengah yaitu komponen dengan titik didih antara 200 sampai 325 °C serta fraksi minyak berat dengan titik didih di atas 325 °C. Pengolahan lanjutan terhadap fraksi-fraksi tersebut akan menghasilkan bahan bakar seperti gasolin, diesel oil, serta produk-produk lainnya.





**Gambar 23. Distilasi Minyak Batu bara**

### 7.3.2. Proses pencairan secara langsung

Tehnik mengubah batu bara menjadi cairan hidrokarbon dengan proses liqufaksi pertamakali dikemukakan oleh Bergius pada tahun 1913. Bergius melakukan hidrogenasi batu bara pada tekanan 200-680 atm dan temperatur 480 °C dengan menggunakan katalis oksida besi. Produk utama yang dihasilkan berupa fuel gas dan minyak, yang diolah kembali menjadi diesel oil dan gasolin. Pada perkembangan berikutnya ditemukan proses Pott-Broche (1993) yaitu proses pencairan batu bara yang merupakan awal dari teknologi SRC (Solvent- Refind Coal ).

National Coal Board (Inggris) pada pertengahan tahun 1970-an mengembangkan suatu proses pencairan generasi ketiga (Third

Generation Liquefaction Processes) yaitu dengan melakukan ekstraksi batu bara menggunakan pelarut donor hidrogen dalam fasa gas bertekanan tinggi (Supercritical Gas Extraction). Pada proses ini, sebagai pelarut donor hidrogen digunakan toluena pada temperatur reaksi 350 °C . Komposisi produk hasil ekstraksi super kritik adalah 21% ekstrak, 67% char, dan 6% gas.

Pada proses pirolisis batu bara dipanaskan sampai temperatur di atas 400 °C untuk mengubah batu bara menjadi char. Komposisi produk hasil proses pirolisis adalah 35 % cairan, 7% gas dan 58% char. Konversi maksimum menjadi cairan adalah antara 40 sampai 45%. Cairan yang diperoleh memerlukan perlakuan lebih lanjut seperti dengan cara filtrasi atau distilasi untuk membuatnya menjadi bebas abu.

Pada proses ekstraksi pelarut, batu bara dilarutkan dalam pelarut donor hidrogen yang dapat memindahkan atom H kedalam batu bara. Kontak batu bara dengan gas hidrogen pada temperatur dan tekanan tinggi akan menghasilkan gas, cairan dan padatan berupa batu bara yang tak terkonversi serta abu.

### **7.3.3. Karakterisasi produk cair hasil likuifaksibatu bara**

Produk pencairan batu bara secara umum dibedakan atas tiga fraksi yaitu cairan (termasuk air), gas dan padatan. Fraksi padat yang larut dalam pentana atau heksana dinamakan minyak (oil), fraksi kedua yaitu fraksi yang larut dalam benzena tetapi tidak larut dalam pentana yang disebut asfalten serta fraksi yang ketiga yaitu fraksi yang tidak larut dalam benzena tetapi larut dalam larutan piridin yang disebut preasfalten.

Curran, dkk dan Steinberg menamakan fraksi yang larut dalam kresol tetapi tidak larut dalam benzena sebagai asfalten. Mohan & Silla menamakan fraksi yang tidak larut dalam benzena tapi larut dalam tetrahydrofuran adalah preasfalten. Abichandani dan Giralt mendefinisikan asfalten sebagai fraksi yang tidak larut dalam toulena, presfalten sebagai fraksi yang larut dalam piridin tetapi tidak larut dalam toulena dan minyak sebagai fraksi yang larut dalam pentana.

Menurut Edgart, umumnya produk cair hasil likuifaksi batu bara terdiri dari senyawa-senyawa hidrokarbon alifatik dan aromatik, oksigen, belerang dan senyawa nitrogen.

**Tabel 26. Komposisi senyawa penyusun cairan batu bara**

Senyawa Hidrokarbon	Senyawa Oksigen	Senyawa Belerang	Senyawa Nitrogen
n-parafin	Fenol	Tiofen	Indole
i-parafin	Indanol	Benzotiofen	Kinolin
s-parafin	Dibenzofuran	Dibenzotiofen	Karbazol
Benzena	Benzonaftofuran		Akridin
Naphtalen			Benzakridin
Tetralin			Dibenzokridin
Antrasen			
Fenantren			
Asenaftilen			
Piren			
Khrisen			
Fluoren			

*Sumber : Edgar (1983)*

## **7.4. Faktor - faktor yang mempengaruhi Proses Pencairan batu bara**

Berbagai faktor yang mempengaruhi proses pencairan batu bara diantaranya adalah jenis dan struktur/komposisi kimia dari batu bara, kondisi operasi serta kandungan mineral didalam abu. Jenis dan struktur/komposisi kimia batu bara sangat berlainan tergantung pada rank dan daerah batu bara tersebut ditemukan.

### **7.4.1. Pengaruh variabel operasi**

Proses pencairan batu bara merupakan proses yang kompleks dan dipengaruhi oleh banyak hal diantaranya temperatur dan tekanan operasi. Jenis batu bara, struktur kimia dan fisika yang berbeda mengakibatkan komposisi dan distribusi produk hasil proses likuifaksi akan berbeda. Kadar sulfur yang terkandung dalam batu bara asal juga mempengaruhi konsumsi hidrogen pada proses likuifaksi.

Temperatur operasi pada proses pencairan batu bara berkisar antara 350-500 °C. Beberapa penelitian membuktikan bahwa pada temperatur diatas 500 °C, partikel batu bara cenderung membentuk coke dan menyebabkan aglomerasi partikel batu bara, meningkatkan konsumsi hidrogen, serta meningkatkan gas hasil. Temperatur dibawah 350 °C mengakibatkan proses pelarutan partikel batu bara yang belum sempurna.

Waktu yang dibutuhkan untuk proses pencairan batu bara adalah berkisar antara 20 menit sampai 2 jam. Proses pencairan dengan waktu kurang dari 10 menit dikenal dengan proses Likuifaksi waktu kontak singkat ( Short Contact Time Liquefaction).

Neavel menyatakan bahwa konversi batu bara menjadi produk cair, gas dan padatan akan maksimal setelah waktu operasi satu jam, setelah waktu tersebut tidak terjadi penambahan konversi yang berarti. Kenaikan tekanan total tidak mempunyai pengaruh yang berarti untuk proses liquefraksi waktu kontak singkat. Komposisi gas hasil tidak tergantung pada tekanan hidrogen yang digunakan, namun tekanan dan temperatur yang tinggi mengakibatkan perengkahan dan terhidrogenasinya gas yang mempunyai berat molekul rendah.

Perbandingan pelarut/batu bara berpengaruh terhadap kandungan minyak yang dihasilkan. Meningkatkan nisbah pelarut dan batu bara yang digunakan akan meningkatkan konversi total. Pelarut yang digunakan pada proses pencairan batu bara merupakan pelarut murni atau campuran dua macam pelarut yang berbeda. Contoh pelarut donor hidrogen yang digunakan adalah tetrahidronaftalen (tetralin), dihidroantrasen, dihidrofenantren atau alkohol sekunder seperti sikloheksanol dan iso propanol atau tetrahidrokuinolin. Penggunaan pelarut donor campuran misalnya indene-dekalin dan indene-tetralin terbukti juga dapat meningkatkan konversi total hasil likuifaksi.

Laju hidrogenasi/likuifaksibatu bara meningkat dengan menurunnya ukuran partikel batu bara yang digunakan. Semakin kecil ukuran partikel semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan konversi maksimum. Kesulitan teknis yang dihadapi untuk memperoleh partikel dengan ukuran yang sangat kecil (2,3 sampai 10 µm) adalah dibutuhkan energi yang cukup besar. Sebagai perbandingan untuk memperoleh partikel dengan ukuran 19,11,7,4 dan 3 µm diperlukan energi berturut turut 13, 80, 199, 402 dan 842 kWh per ton batu bara.

#### **7.4.1.1. Pengaruh temperatur terhadap proses likuifaksi**

Curran, dkk menyatakan bahwa konvensi batu bara jenis bituminus Ireland mine dengan pelarut donor tetralin dan nisbah pelarut /batu bara 4:1, akan meningkat dengan kenaikan temperatur. Dari tiga variasi temperatur yaitu 324, 354, dan 388 °C, diperoleh hasil bahwa konversi total tertinggi (lebih kurang 90%) didapat pada temperatur 388 °C. Konversi juga bervariasi jika digunakan campuran tetralin dan xilenol.

Leonard dan Silla menggunakan batu bara Kentucky No.6 jenis bituminus juga mendapatkan konversi sekitar 60% pada rentang temperatur 392-440 °C yang tercapai setelah waktu 5 menit dan konversi total 30% pada rentang temperatur 330 sampai 390 °C setelah waktu 10 menit. Konversi batu bara jenis lignit dengan dua macam pelarut yaitu tetralin dan antrasen juga meningkat dengan kenaikan temperatur operasi seperti yang dinyatakan oleh Giralt. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konversi maksimal relatif lebih singkat bila digunakan pelarut tetralin dibandingkan antrasen. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan tetralin sebagai pelarut donor lebih baik dari antrasen.

#### **7.4.1.2. Pengaruh waktu terhadap proses likuifaksi batu bara**

Waktu yang dibutuhkan untuk mengkonversikan batu bara menjadi produk cair, gas dan padatan biasanya adalah satu jam, namun ada peneliti yang menyatakan bahwa terjadi peningkatan konversi batu bara menjadi produk asfalten dengan kenaikan waktu operasi sampai 200 menit.

Menurut Neavel, partikel batu bara akan mulai terkonversi menjadi produk cair, gas dan padatan setelah waktu 5 menit. Banyaknya hidrogen yang ditransfer akan meningkat dengan kenaikan waktu reaksi. Persen hidrogen yang dipindahkan mencapai 2,7%. Umumnya batu bara jenis lignit dan subbituminus mencapai konversi lebih tinggi bila dibandingkan jenis bituminus. Konversi batu bara menjadi produk larut dalam benzen (asfalten) dan larut dalam piridin (preasfalten) akan meningkat secara eksponensial dan konstan setelah

waktu operasi 30 menit. Penambahan waktu reaksi selanjutnya tidak akan meningkatkan konversi yang berarti.

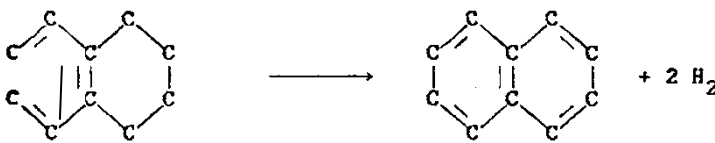
### 7.5. Mekanisme Pencairan batubara

Berbagai-bagai mekanisme proses liquefaksi batubara untuk menjelaskan peristiwa dekomposisi batubara dalam pelarut donor telah banyak disampaikan orang. Proses pencairan batubara dengan menggunakan pelarut tetralin dapat dinyatakan dengan reaksi sebagai berikut:



Konsumsi hidrogen pada fasa cair oleh batubara sangat dipengaruhi oleh kelarutan hidrogen dari fasa gas dalam pelarut donornya. Keberadaan hidrogen dari fasa gas dibutuhkan untuk mencegah pembentukan naftalen.

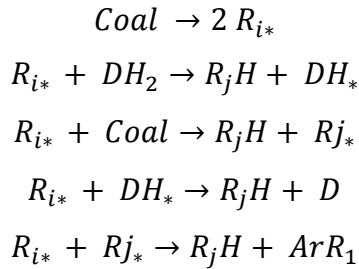
Penurunan konversi batubara menjadi produk cair terjadi karena adanya produk larut yang tidak stabil yang akan berubah dengan cepat menjadi produk yang tak larut diantaranya adalah naftalen. Mekanisme reaksi pelepasan hidrogen dari tetralin adalah sebagai berikut:



**Gambar 24. Mekanisme reaksi pelepasan hidrogen dari tetralin**

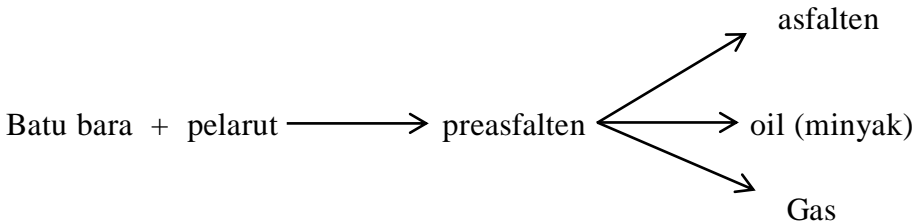
Curran beranggapan batubara mula-mula akan mengalami disosiasi termal akibat pemanasan membentuk radikal bebas. Cairan batubara terbentuk akibat reaksi antara batubara yang terdisosiasi dengan pelarut donornya dan hasil reaksi antartetralin yang terdekomposisi dengan radikal bebas yang terbentuk. Batubara terdisosiasi

menjadi radikal bebas pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$ , sedangkan tetralin akan terdekomposisi pada temperatur  $427^{\circ}\text{C}$ .



Pada dasarnya reaksi hidrogenasi-liquefaksi batubara meliputi dua tahap yaitu pelarutan partikel batubara dalam pelarut donor dan reaksi yang lambat dari partikel batubara yang terlarut yang akan menghasilkan cairan dan gas hidrokarbon.

Langkah proses liquefaksi menurut Neavel terdiri atas konversi senyawa organik yang ada dalam batubara menjadi produk yang larut dalam piridin yang disebut preasfalten dan konversi preasfalten menjadi gas, minyak dan cairan yang larut dalam benzen yang disebut asfalten.

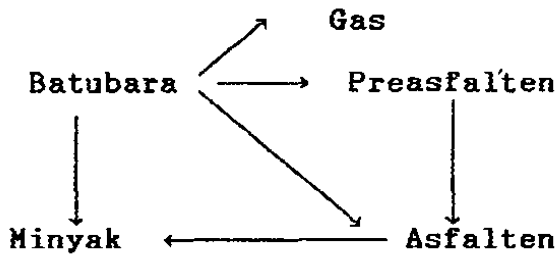


Konversi senyawa organik dalam batu bara menjadi preasfalten merupakan kombinasi dari proses dispersi partikel batu bara dalam larutan donor dan pemutusan ikatan kimia yang sangat lemah dalam batu bara. Hal ini ditandai dengan rendahnya energi aktivasi yaitu  $7 \text{ kcal/ mol}$ , sedikitnya konsumsi hidrogen dan reaksi yang berlangsung dengan cepat. Konversi preasfalten menjadi asfalten, minyak dan gas berlangsung lambat serta memerlukan hidrogen yang lebih banyak.

Curran, dkk menyatakan bahwa batubara jenis bituminus dengan pelarut tetralin memerlukan 2,2-2,6% H dari batu bara umpan. Konsumsi hidrogen yang tinggi menunjukkan terjadinya peristiwa hidrogenasi dan perengkahan batubara oleh pelarut yang digunakan. Jadi proses liquefaksi batubara mencakup reaksi depolimerisasi, hidrogenasi dan perengkahan (hydrocracking). Mekanisme yang diajukan merupakan perbaikan mekanisme yang dikemukakan oleh Weller yang beranggapan bahwa proses pencairan batubara adalah :

Batubara → Asfalten → Minyak

Ishi dan Yoshida beranggapan bahwa batubara akan terurai menjadi dua macam produk yaitu asfalten dan minyak yang selanjutnya asfalten juga akan terkonversi menjadi minyak. Selanjutnya Cronauer dkk mengajukan mekanisme liquefaksi yang lebih kompleks sebagai berikut :



Skema reaksi di atas dibuat dengan asumsi bahwa batubara pada awalnya mengalami desintegrasi dan menghasilkan secara serempak preasfalten, asfalten, dan minyak dengan titik didih yang berbeda serta gas (C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>, uap air, NH<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>S).

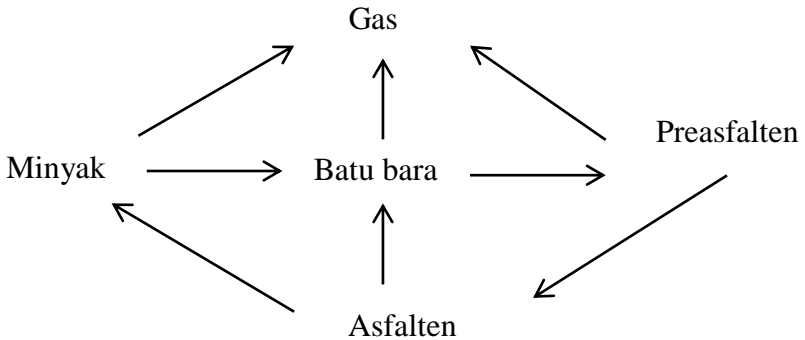
Preasfalten mengalami rangkaian reaksi konsekutif berikut:

preasfalten → asfalten → minyak

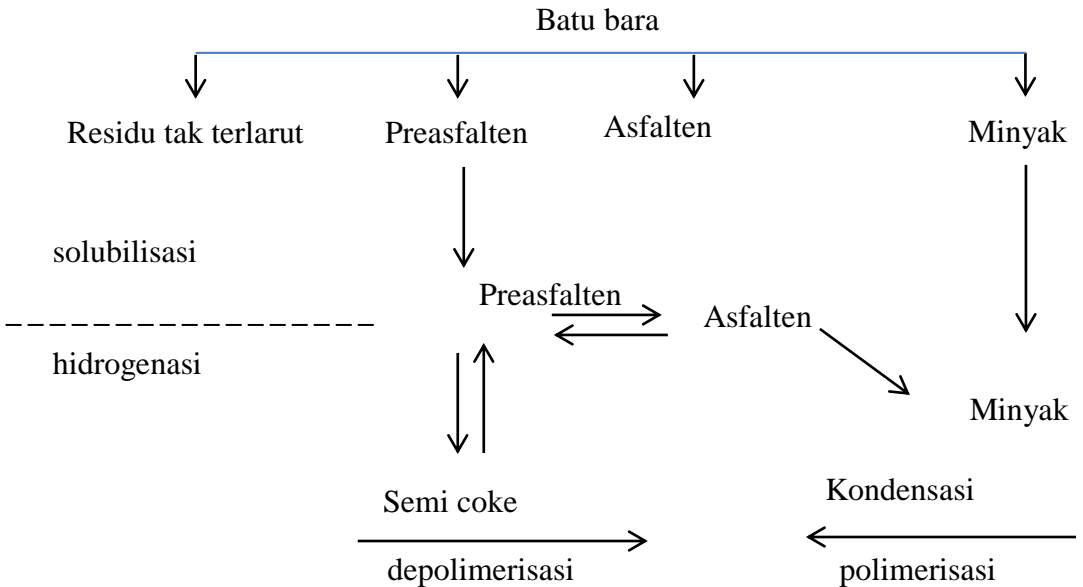
Pengembangan model ini kemudian dilakukan oleh Abichandani dkk yang beranggapan bahwa batubara dalam umpan bereaksi dengan minyak (pelarut) yang memberikan batubara dengan sifat yang reaktif. Preasfalten dan asfalten akan



terkonversi menjadi minyak, gas akan terbentuk dari mss produk dan zat antara. Abichandani selanjutnya menyatakan bahwa perolehan minyak yang dihasilkan akan bertambah jika digunakan pelarut dengan kemampuan memindahkan hidrogen tinggi seperti tetralin.

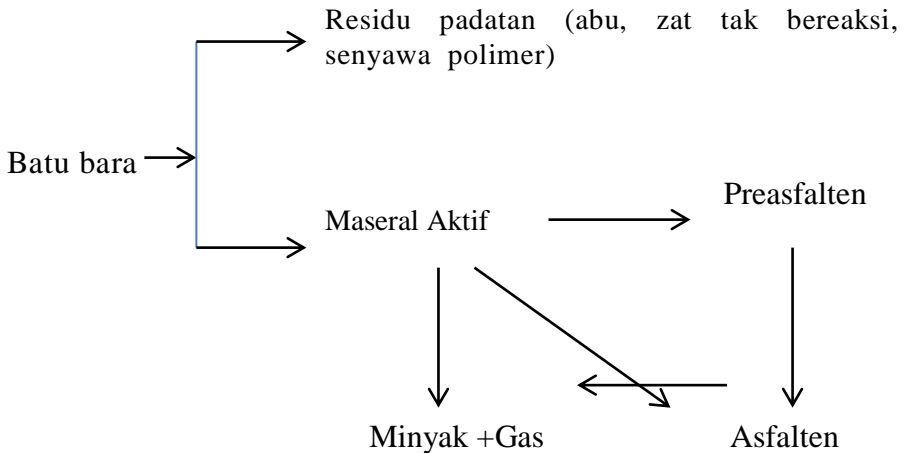


Mekanisme yang agak berbeda dikemukakan oleh Berkowitz, dkk yang mengusulkan skema reaksi berikut:



Mekanisme yang agak berbeda diajukan oleh Giralt, dkk yang beranggapan bahwa selama proses solvolisis batubara

pertama kali mengalami proses depolimerisasi membentuk zat-zat yang aktif dan radikal bebas serta zat-zat sisa berupa abu, material yang tak bereaksi, dan senyawa polimer lainnya. Sifat-sifat zat-zat aktif yang terbentuk tergantung pada jenis pelarut yang digunakan.



Dari berbagai mekanisme reaksi proses likuifaksi batu bara yang diajukan ternyata reaksi antara batu bara dengan pelarut donor hidrogen sangat kompleks di mana setiap mekanisme akan memberikan persamaan kinetika yang berbeda-beda.

## 7.6. Pencairan Batu bara pada kondisi Superkritik Pelarut

National Coal Board (Inggris) pada pertengahan tahun 1970-an mengembangkan suatu proses baru yang dikenal sebagai proses pencairan generasi ketiga (Third Generation Liquefaction Processes) yaitu dengan melakukan ekstraksi batubara menggunakan pelarut donor hidrogen dalam fasa gas bertekanan tinggi (Supercritical Gas Extraction). Pada proses ini, sebagai pelarut donor hidrogen digunakan toluen dengan temperatur reaksi 350°C. Komposisi produk hasil ekstraksi superkritik adalah 21% ekstrak, 67% char dan 6% gas.

Keuntungan dari proses ekstraksi gas superkritik adalah kemampuan gas pada superkritik untuk melakukan penetrasi ke dalam pori batubara, sehingga konversi batubara menjadi cairan akan naik tanpa degradasi termal. Temperatur ekstraksi dapat dipilih untuk mengontrol perengkahan batubara menjadi cairan yang diinginkan. Konsep dasar ekstraksi gas superkritik ini adalah kemampuan gas bertekanan tinggi dalam melarutkan senyawa-senyawa berat yang memiliki daya penguapan (volality) rendah. Pelarut yang dipilih biasanya mempunyai temperatur kritis lebih tinggi dari temperatur pirolisis batubara sehingga proses ekstraksi ini dapat dianggap gabungan proses pirolisis dengan proses ekstraksi pelarut. Untuk pelarut tetralin didapatkan temperatur dan tekanan kritis berturut-turut sebesar 446 °C dan 35,5 atm.

Menurut Gangoli dan Thodos proses ekstraksi superkritik melalui tahap-tahap sebagai berikut:

1. Penetrasi gas pelarut ke dalam struktur mikropori batubara.
2. Depolimerisasi agregat molekul besar dan pelarutan produk hasil dalam gas pelarut.
3. Pemecahan ikatan molekuler antara spesies molekul yang diekstraksi dalam struktur batubara.
4. Difusi ekstrak batubara dan gas pelarut dari struktur mikropori batubara.
5. Pengambilan (recovery) ekstrak dari gas pelarut sebagai endapan (presipitat) atau kondensat dengan penurunan tekanan.

Ada dua kemungkinan mekanisme yang terjadi pada ekstraksi superkritik yaitu :

1. Pada kondisi superkritik produk pirolisis yang terdapat dalam struktur molekul batubara keluar terlebih dahulu sebelum mengalami hidrogenasi dari pelarut.
2. Hidrogenasi dengan pelarut berlangsung dalam mikropori padatan batubara sebelum terjadi repolimerisasi radikal, setelah itu baru terjadi

ekstraksi superkritik dari produk yang telah terhidrogenasi.

### **7.7. Katalis Pencairan Batu bara**

Berbagai proses pencairan batu bara seperti SRC, SRC II dan Exxon Donor Solvent tidak menggunakan katalis dalam prosesnya. Hal ini keberadaan spesies besi dalam batu bara dan penggunaan solven donor dapat meningkatkan konversi pencairan batu bara. Material katalis yang dapat digunakan dalam pencairan batu bara adalah besi sulfida ( $\text{FeS}_2$ ). Dalam keadaan aktif besi sulfida diketahui berbentuk senyawa pyrrhotite. Sebagai prekursor digunakan red mud yaitu residu pada pengolahan bauksit setelah pemisahan alumina, atau bijih besi, pyrite alam atau sintetik, partikel besi halus, besi sulfat dll. Katalis lain yang banyak digunakan adalah Co-Mo dan Ni-Mo sulfida yang disupport oleh alumina. Tipe katalis lain misal senyawa-senyawa chloride transisi seperti  $\text{ZnCl}_2$  dan  $\text{SnCl}_4$ . Akhir-akhir ini carbon black juga digunakan sebagai katalis.

### **7.8. Proses-proses Pencairan Batubara terkini**

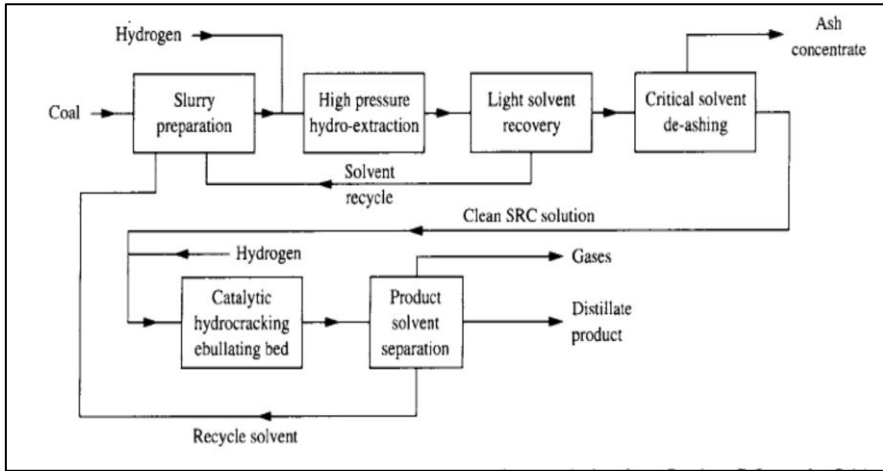
Proses pencairan batu bara langsung dapat menghasilkan cairan lebih dari 70% berat kering batubara dengan efisiensi termal sekitar 60-70%. Cairan yang dihasilkan dari pencairan langsung mempunyai kualitas tinggi dibandingkan dengan pirolisis dan dapat digunakan tanpa diblending terlebih dahulu. Namun demikian untuk digunakan sebagai bahan bakar transportasi masih diperlukan upgrading lebih lanjut. Ada dua kelompok proses pencairan langsung yaitu single-stage process yang menghasilkan distilat melalui satu reaktor utama atau rangkaian reaktor. Kebanyakan proses ini ditingkatkan menjadi dua tahap (two-stage) untuk meningkatkan produksi minyak ringan. Reaksi tahap pertama melarutkan batu bara baik dengan atau tanpa katalis. Sejumlah proses satu tahap yang telah dikembangkan seperti Kohleoel, NEDOL, H-Coal, Exxon Donor Solvent, SRC, Imhausen dan Conoc tetapi tidak semuanya bisa terealisasi secara komersial.

Proses Kohleoel dan NEDOL merupakan proses yang lebih berkembang. Batu bara dan senyawa katalis sintesis berbasis besi dihaluskan dan digabungkan dengan solvent recycle untuk membentuk slurry batu bara yang kemudian dicampurkan dengan hidrogen dan dipanaskan sebelum masuk ke reaktor pertama yang beroperasi pada suhu 450 °C dan tekanan 170 bar. Produk didinginkan, diturunkan tekanannya, dan didistilasi untuk menghasilkan produk ringan. Distilat medium dan heavy yang diproduksi melalui distilasi vakum sebagian digunakan sebagai solven pada tahap slurry awal.

Proses pencairan katalitik dua tahap dikembangkan dari proses H-Coal satu tahap. Pada proses ini, serbuk batu bara dijadikan slurry dalam pelarut proses recycle dan dipanaskan awal, dicampur dengan hidrogen dan diumpankan ke reaktor pertama yang beroperasi pada suhu 435-460°C dan tekanan 170 bar. Reaktor kedua yang beroperasi pada suhu tinggi akan menyempurnakan proses pencairan batu bara. Katalis yang digunakan pada dua tahap tersebut berbasis besi nano yang didispersikan dalam slurry.

### **Proses SRC-II**

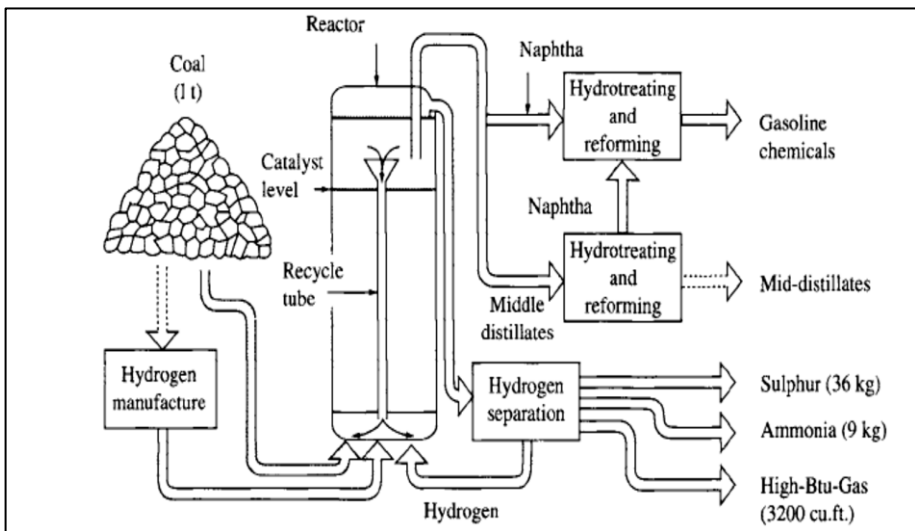
Proses ini awalnya dikembangkan oleh Pittsburg and Midway Coal. Co untuk menghasilkan karbon murni dari batu bara. Serbuk batu bara dicampurkan dengan recycle oil dan melalui hidrogen bertekanan tinggi menuju digester dimana semua batu bara dilarutkan. Setelah pemisahan gas untuk direcycle, digester dibersihkan dengan critical solvent deashing yang berfungsi untuk penghilangan abu. Produk kemudian dihydrocracking dalam sebuah ebullating bed catalyst. Pada proses ini abu yang mengandung pirit sebagai katalis direcycle bersama minyak.



**Gambar 25. Proses SRC II**

**Proses H-Coal**

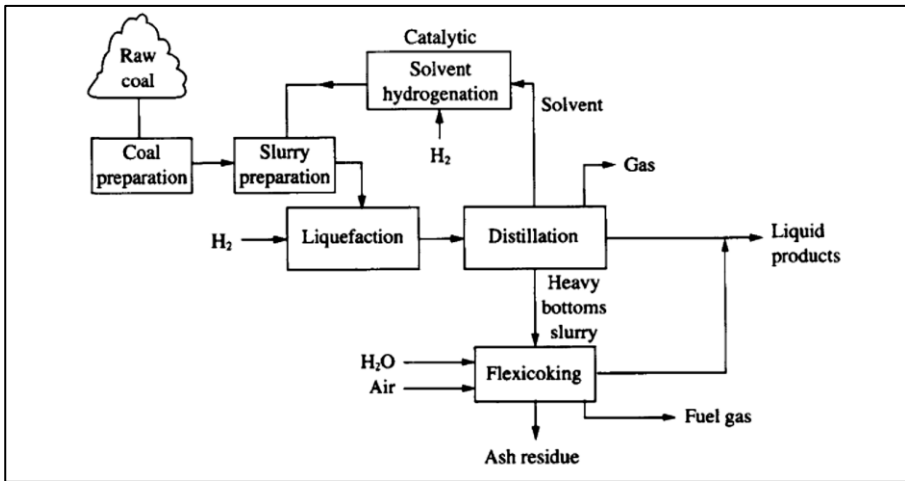
Proses ini dikembangkan oleh Hydrocarbon Research Inc. dari teknologi H-Oil yang telah komersial dalam pengolahan residu minyak berat. Slurry batu bara dalam recycle oil direaksikan secara katalitik dengan hidrogen bertekanan tinggi. Sebagai katalis digunakan Co-Mo.



**Gambar 26. Proses H-Coal**

### Proses Exxon Donor Solvent (EDS)

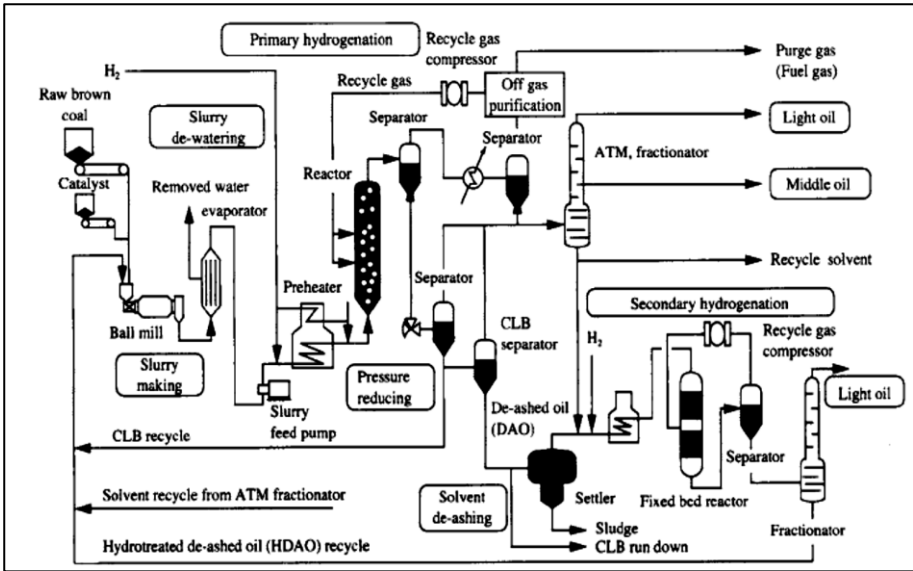
Proses Exxon Donor Solvent dibangun oleh American Exxon Company di Texas. Batu bara dijadikan slurry menggunakan recycle oil. Slurri batu bara-minyak dialirkan ke reaktor pada suhu 410 °C melalui pre heater dengan hidrogen bertekanan 150 bar. Perkembangan selanjutnya sebagian residu abu di recycle karena diketahui dapat mengkatalisis peristiwa hidrogenasi.



Gambar 27. Proses EDS

### Brown Coal Liquefaction (BCL)

Brown Coal liquefaction adalah usaha untuk mencairkan batu bara asal Victoria, Australia dengan kapasitas pilot plant sebesar 50 ton per hari. Hasilnya diperoleh sekitar 52% cairan setelah operasi selama 1700 jam.

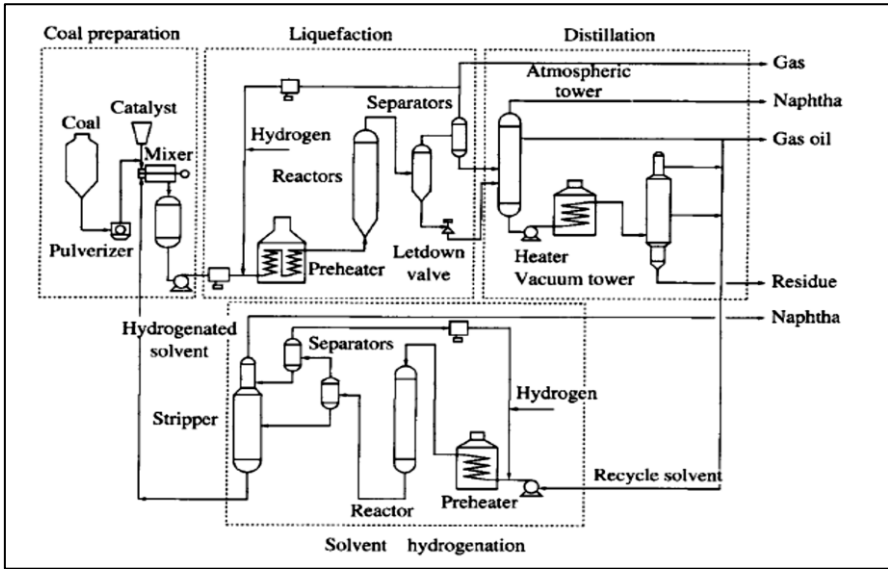


**Gambar 28. Proses Brown Coal Liquefaction**

**Proses NEDOL**

Proses NEDOL merupakan pencairan batu bara kelas Bituminus dengan menggunakan katalis berbasis Besi dan pelarut hydrotreated pada suhu 430-460 °C dan tekanan hidrogen 15-20 Mpa. Hasilnya berupa light and medium oil seperti gasolin dan minyak diesel sekitar 50%. Proses ini dapat digunakan untuk berbagai jenis batu bara mulai dari low rank bituminous coal sampai low rank subbituminous coal. Didesain dengan kapasitas 150 ton per hari dan menghasilkan cairan sekitar 58% selama beroperasi sekitar 1920 jam.



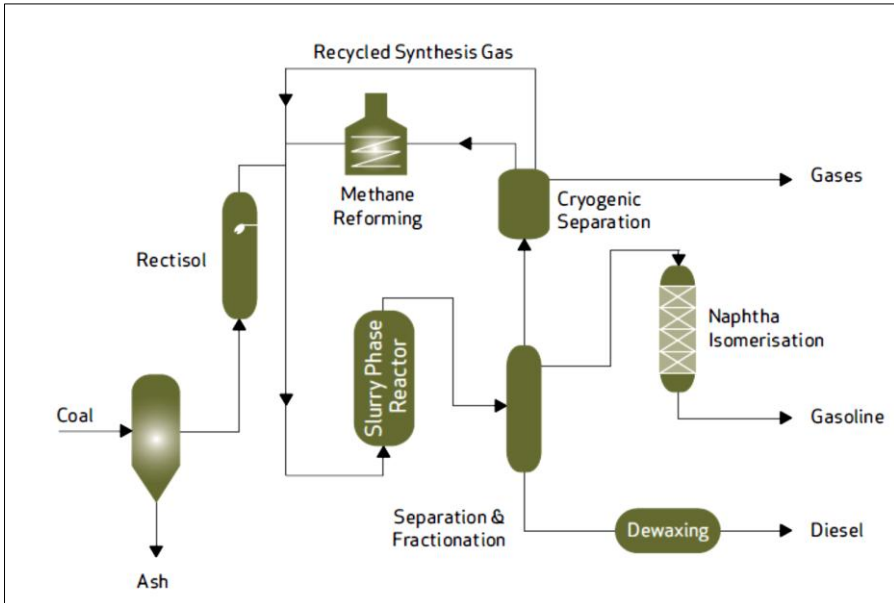


**Gambar 29. Proses NEDOL**

*(Sumber Ishihara et-al 2004)*

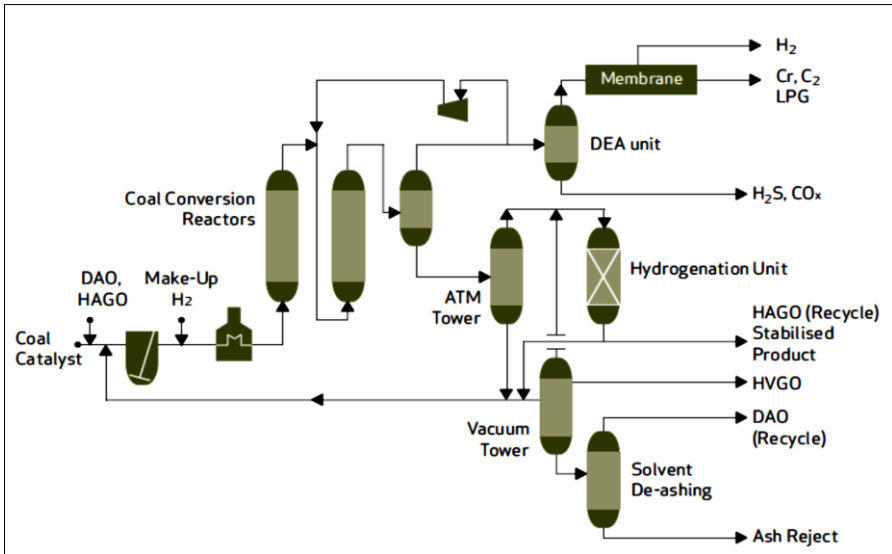
n

**Proses SASOL HTFT**



**Gambar 30. Proses SASOLHTFT**

## Proses Pencairan Langsung HTI



**Gambar 31. Proses HTI**

Pencairan batu bara tidak langsung mencakup pemutusan struktur batu bara melalui gasifikasi dengan steam. Gas yang dihasilkan disebut 'syngas'. Senyawa sulfur dibuang pada tahap ini untuk mencegah peracunan katalis dan untuk menghasilkan bahan bakar yang rendah sulfur. Syngas kemudian direaksikan pada suhu dan tekanan yang relatif rendah. Produk yang dihasilkan bervariasi tergantung pada kondisi reaksi dan katalis yang digunakan. Sebagai contoh untuk menghasilkan metanol digunakan katalis tembaga pada suhu 260-350°C dan tekanan 50-70 bar. DME dapat dihasilkan dari hidrasi parsial metanol menggunakan katalis activated alumina dan zeolite.

Proses pencairan tidak langsung yang beroperasi secara komersial saat ini adalah proses SASOL di South Africa. Proses Sasol didasarkan pada proses pencairan Fischer-Tropsch (FT). Proses Sasol menggunakan proses FT temperatur rendah dan temperatur tinggi yaitu Sasol Advanced Synthol technology. Proses HTFT beroperasi pada suhu 300-350°C dan tekanan 20-30 bar, menggunakan katalis berbasis besi dan menghasilkan produk minyak ringan, gasolin kualitas tinggi, senyawa petrokimia dan senyawa kimia teroksigenasi.

# **BAB 8**

## **PEMANFAATAN BATU BARA DAN ASPEK LINGKUNGAN**

### **8.1. Polutan dari Pengolahan Batu bara**

Aspek lingkungan akibat industri batu bara mencakup berbagai isu seperti penggunaan lahan, pengolahan limbah, polusi air dan udara karena penambangan, pemrosesan dan penggunaan batu bara. Selain mengakibatkan polusi udara, pembakaran batu bara menghasilkan jutaan ton limbah padat per tahun termasuk fly ash (abu terbang), bottom ash (abu terak), dan buangan hasil desulfurisasi yang mengandung senyawa mercury, uranium, thorium, arsenic, dan logam berat lainnya.

#### **8.1.1. Dampak Penambangan Batu bara**

Penambangan batu bara khususnya tambang permukaan memerlukan area tanah yang luas yang akan terganggu sementara. Hal ini akan memunculkan beberapa permasalahan terhadap lingkungan termasuk erosi tanah, debu, kebisingan dan polusi air dan berdampak pada keragaman hayati lokal. Beberapa langkah yang diambil pada operasi tambang modern untuk meminimisasi dampak terhadap semua aspek lingkungan. Mulai dari pra perencanaan proyek, penerapan pengukuran kontrol polusi, pemantauan pengaruh penambangan dan rehabilitasi area tambang, dan meminimalisasi pengaruh aktivitas industri pertambangan terhadap komunitas.

#### **Gangguan terhadap tanah**

Pada prakteknya studi mengenai dampak lingkungan dilaksanakan beberapa tahun sebelum tambang batu bara dibuka dalam rangka mengetahui keadaan sebenarnya dan untuk

mengidentifikasi masalah-masalah yang potensial terjadi. Studi biasanya dilakukan untuk melihat dampak penambangan terhadap air permukaan dan air tanah, tanah, penggunaan tanah lokal, vegetasi alam dan populasi hewan.

### **Longsor pada areal penambangan**

Longsornya tanah merupakan permasalahan pada tambang bawah tanah karena terjadi penurunan tanah ketika batu bara digali. Perusahaan pertambangan batu bara menggunakan berbagai teknik untuk mendesain lay out dan dimensi dari areal tambang bawah tanah sehingga penurunan permukaan tanah atau longsoran dapat diantisipasi.

### **Polusi Udara**

Pekerjaan operasi penambangan bekerja untuk meningkatkan manajemen air yang bertujuan mereduksi kebutuhan melalui efisiensi, dan daur ulang air yang berkualitas rendah. Polusi air dikontrol secara hati hati dengan memisahkan air limpasan dari area yang belum tercemar dari air yang mengandung sedimen atau garam-garam dari pekerjaan penambangan. Polusi air dapat dikontrol secara cermat dengan memisahkan limpasan air dari area yang tidak tersentuh dari air yang mengandung sedimen atau garam. Limpasan air yang bersih dapat dibuang ke lingkungan sedangkan yang kotor dapat diolah atau digunakan kembali untuk mengendapkan debu pada areal penambangan.

### **Air asam tambang (Acid mine drainage)**

Air asam tambang merupakan tantangan pada operasi penambangan batu bara. Air asam tambang merupakan air yang kaya akan ion logam yang terbentuk karena reaksi kimia antara air dan batuan yang mengandung sulfur. Air asam tambang terbentuk ketika pirit bereaksi dengan udara dan air membentuk asam sulfat dan besi terlarut. Air asam tambang melarutkan logam-logam berat seperti tembaga, timah hitam dan mercury ke air tanah dan air permukaan.

Ada beberapa metode manajemen tambang yang dapat meminimalkan problem air asam tambang dan desain yang efektif akan menjaga air dari material yang dapat membangkitkan asam. Air

asam tambang dapat ditreatmen secara aktif maupun pasif. Treatmen secara aktif meliputi instalasi pengolahan air dengan cara menetralkan asam dengan lime (batu kapur) dan dialirkan ke tanki pengendap untuk mengendapkan sedimen dan partikulat, Sedangkan treatmen secara pasif adalah membangun self operating system yang dapat mengolah efluen tanpa campur tangan manusia yang konstan. Pembahasan yang lebih rinci mengenai air asam tambang diberikan pada BAB 9.

### **Debu dan Kebisingan**

Debu pada operasi penambangan batu bara dapat disebabkan karena truk pengangkut atau jalan-jalan yang belum beraspal, proses pengecilan ukuran (crushing), operasi pengeboran atau karena hembusan angin disekitar area penambangan. Debu dapat dikontrol dengan penyemprotan air ke jalan, stockpiles dan conveyor. Cara lain adalah dengan melengkapi sistem pengeboran dengan penampung debu atau pengadaan lahan tambahan di sekitar area penambangan sebagai buffer zone. Penanaman pohon di area buffer zone juga dapat meminimalkan dampak visual aktifitas penambangan terhadap komunitas disekitarnya. Kebisingan dapat dikontrol melalui pemilihan peralatan dan sistem insulasi disekitar mesin/peralatan.

### **Rehabilitasi**

Tambang batu bara hanya memanfaatkan lahan sementara, sehingga rehabilitasi lahan sangat vital ketika penambangan berhenti. Dalam pelaksanaannya, rehabilitasi detil atau rencana reklamasi didisain dan disetujui untuk setiap tambang mulai dari periode awal operasi sampai penambangan berakhir. Bila tambang merupakan tambang bawah tanah area permukaan digunakan bersama untuk keperluan lainn misalnya hutan, penanaman tumbuhan sehingga gangguan terhadap penggunaan lahan tidak begitu signifikan.

### **Gas Metana dari tambang batu bara**

Metana ( $\text{CH}_4$ ) merupakan gas yang terbentuk akibat pembentukan batu bara dan dapat keluar dari cebakan batu bara. Gas Metana merupakan gas rumahkaca yang dapat menyebabkan pemanasan global 23 kali lipat dari gas  $\text{CO}_2$ .

### 8.1.2. Limbah Padat

Limbah padat batu bara terutama dalam bentuk debu yang berasal dari stockfile selama proses transportasi dan juga karena proses pengolahan (crushing, grinding, pengeringan thermal dll). Debu dalam bentuk partikel halus (<1 um) bila dihirup dalam jangka waktu tertentu dapat mengakibatkan bronkitis kronis dan penyakit paru yang disebut *black lung disease*. Limbah padat berbahaya juga dalam bentuk mineral matter yang dibuang dari proses pencucian atau pencairan batu bara, atau dalam bentuk abu (ash) yang berasal dari pembakaran dan gasifikasi. Karakterisasi lindi hasil pencucian batu bara menunjukkan adanya konsentrasi trace element pada permukaan partikel abu.

Pembuangan limbah padat dapat dilakukan pada suatu tempat yang dianggap cukup 'aman'. Namun hal ini dianggap tidak cukup menyelesaikan permasalahan karena pergerakan unsur-unsur seperti As, Be, Cd, Cr, F, Hg, Pb, Se dan Sr dari fly ash. Unsur As dan Pb merupakan unsur sangat toxic terhadap mamalia, sedangkan unsur Cd, F dan Se diketahui berpotensi meracuni tanaman. Unsur-unsur runtuhan seperti As, Be, Cd, Co, Cr, Ni dan Pb dalam mineral matter dan abu batu bara merupakan senyawa yang bersifat carcinogen.

### 8.1.3. Limbah Cair

Sumber limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan batu bara dapat dibedakan atas air asam tambang dan efluen dari pembangkit, oven coke, dan fasilitas konversi lainnya.

**Tabel 27. Senyawa-senyawa dalam limbah cair hasil konversi batu bara**

Jenis	Senyawa	Keterangan
Amina	Diethylamine Methylethilamine	Sumber potensial untuk senyawa nitrosoamina
Heterosiklik	Pyridin Pyrroles	
Hidrokarbon	Benzen	

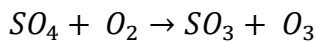
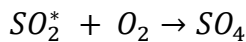
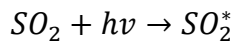
Phenols	Cresols	
	Alkyl cresol	
Senyawa Polynuclear	Anthracenne, Benzo(a) pyrene	
	Chrysene, Benzo (a) anthracene	
	Benzo (a) anthrone,	
	Dibenzo (a,l) pyrene,	
	Dibenzo (a,n) pyrene	
	Dibenzo (a,i) pyrene,	
	Indeno (1,2,3,a,d) pyrene, Benzoacridine	
Unsur runutan	Arsenic, Beryllium, Cadmium, Nickel	
Senyawa organo logam	Nickel carbonyl	
Partikulat halus	Debu batu bara CokeSulfur	Dapat bersifat co-carcinogen

#### 8.1.4. Emisi Gas

Emisi gas pada konversi batu bara terutama pada saat pembakaran dapat disebabkan oleh senyawa Sulfur dan Nitrogen.

##### 8.1.4.1. Gas Sulfur Dioksida

Gas sulfur dioksida telah lama dikenal mempunyai efek yang merusak di atmosfer sedangkan dan uap asam sulfat dan partikel sulfat lainnya merupakan kontaminan utama di atmosfer. Menurut Blacet, mekanisme terbentuknya gas  $SO_3$  adalah sebagai berikut :



Tabel 27 menampilkan angka kematian yang disebabkan oleh gas  $SO_2$  pada berbagai konsentrasi.

**Tabel 28. Angka kematian akibat gas SO<sub>2</sub>**

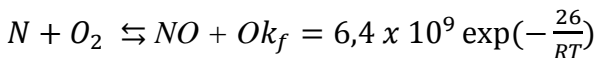
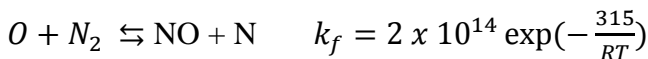
Waktu	Tempat	SO <sub>2</sub> (ppm)	Jumlah kematian (orang)
Desember 1952	London	1,5	3900
November 1952	New York	0,2	360
Januari 1956	London	0,51	1000
Januari 1959	London	0,2	200
Desember 1962	London	1,0	850
Desember 1962	Osaka	0,1	60
November 1966	New York	0,51	68

### 8.1.4.2. Gas NO<sub>x</sub>

Senyawa Nitrogen dalam atmosfer dapat berbentuk nitric oksida (NO) dan nitrogen dioksida. Kombinasi kedua gas ini dapat membentuk gas NO<sub>x</sub> dan nitrous oksida (N<sub>2</sub>O).

Gas NO<sub>x</sub> mengandung beberapa komponen nitrogen dan oksigen yang berkontribusi terhadap photochemical smog, penurunan ozon, dan pemanasan global. Ada dua jenis sumber NO<sub>x</sub> di udara yaitu Fuel NO<sub>x</sub> dan thermal NO<sub>x</sub>. Fuel NO<sub>x</sub> adalah gas NO<sub>x</sub> yang terbentuk ketika bahan bakar yang mengandung nitrogen terbakar. Tidak semua nitrogen dalam Fuel NO<sub>x</sub> membentuk NO<sub>x</sub>, sebagian terkonversi menjadi N<sub>2</sub>. Thermal NO<sub>x</sub> yaitu NO<sub>x</sub> yang terbentuk karena kombinasi langsung antara N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dalam peristiwa pembakaran. Thermal NO<sub>x</sub> terjadi temperatur dan konsentrasi oksigen yang tinggi. Pada kondisi ambient, NO<sub>x</sub> tidak stabil secara termodinamika, tetapi setelah terbentuk maka sukar untuk didekomposisi.

Mekanisme terbentuknya gas nitric oksida dari gas nitrogen dan oksigen dapat dinyatakan sebagai berikut ;



Mekanisme ini dikenal dengan “*Mekanisme Zeldovich*”



### 8.1.4.3. Gas CO

Gas CO terbentuk ketika bahan bakar yang mengandung karbon terbakar. Dalam pembakaran karbon akan menjadi CO dan CO<sub>2</sub> pada laju reaksi yang lambat. Hampir dalam setiap proses pembakaran CO sebagai intermediate product akan terikut pada flue gas. Emisi CO dapat terjadi pada rasio oksigen/bahan bakar yang rendah.

**Tabel 29. Pencemaran batu bara terhadap manusia dan lingkungan**

<b>Jenis Polutan</b>	<b>HAP (Hazardous Air Pollutants)</b>	<b>Bahaya terhadap kesehatan manusia</b>	<b>Bahaya terhadap lingkungan</b>
Gas-gas asam	HCl, HF	Iritasi terhadap kulit, mata, hidung, kerongkongan dan jalan pernapasan	Pengendapan asam merusak tumbuhan dan hutan
Dioxin dan Furan	2,3,7,8 tetrachlorodioxin (TCDD)	Penyebab karsinogen, lambung dan sistem kekebalan, mempengaruhi kelenjar endokrin pada sistem reproduksi	Pengendapan pada sungai, danau dan laut dan menjadi makanan ikan dan binatang lain. Akumulasi pada rantai makanan.
Mercury	Methyl mercury	Merusak otak, sistem syaraf, ginjal dan hati. Menyebabkan kerusakan sistem syaraf dan perkembangan bayi	Dimakan ikan dan binatang lainnya. Akumulasi pada rantai makanan.
Logam non mercury dan	Antimon, arsen, beryllium, Cadmium, Chrom, Nickel,	Karsinogen thd paru-paru, bladder, ginjal, kulit dan dapat	Mengendap pada tanah dan sedimen. Dalam bentuk larutan

metaloid	selenium dan Mangan	mempengaruhi sistem kardiovaskuler, dermal, pernapasan dan sistem kekebalan tubuh.	dapat mengkontaminasi air.
	Timah hitam	Merusak sistem syaraf, merusak sistem memori, kardiovaskular dan kerusakan ginjal, anemia, melemahkan sendi, jari tangan dll	Merusak tumbuhan dan binatang, mengendap dan mempengaruhi tanah, sedimen dan air.
PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)	Benzo-a-anthracene, benzo-a-pyrene, Fluoroanthene, Chrysene, Dibenzo-a-anthracene	Menyebabkan kanker	
Radioisotop	Radium	Karsinogen terhadap paru dan tulang, broncho-pneumonia, anemia, pembengkakan otak	
	Uranium		
VOC (Volatile Organic Compound)	Hidrokarbon aromatik termasuk benzen, xylene, ethyl benzen dan toluen.	Iritasi kulit, mata, hidung, kerongkongan, kesukaran bernapas,	
	Aldehida termasuk formaldehida		

## 8.2. Pengolahan Limbah/Polutan hasil konversi Batu bara

Seperti dijelaskan di awal bahwa sumber limbah/polutan pada pengolahan batu bara dapat berupa limbah cair, padat dan emisi gas.

Limbah padat hasil konversi batu bara dihasilkan dalam bentuk abu pada pembangkit listrik yang menggunakan batu bara sebagai sumber panas untuk pembuatan steam di boiler, sedangkan limbah cair pada kebanyakan pemrosesan batu bara dapat mengandung fenol, amonia, sulfur dan senyawa beracun lainnya. Sebuah pembangkit tenaga listrik berbahan bakar batu bara akan menghasilkan antara 10-30% limbah padat dari volume batu bara umpan. Sumber utama limbah padat adalah :

1. Abu atau slag pada gasifier atau reaktor likuifaksi batu bara
2. Fly ash dan bottom ash dari boiler
3. Sludge dari flue gas scrubber
4. Sludge dari oksidasi biologis baik senyawa organik maupun anorganik
5. Sludge dari klarifier pada pengolahan air baku.
6. Sisa-sisa karbon aktif dan katalis logam.

Fly ash merupakan abu layang hasil pembakaran batu bara di sebuah pembangkit tenaga listrik dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi bangunan dan juga merupakan adsorben yang baik. Ge et al (2018) telah membuat sebuah review tentang pemanfaatan fly ash sebagai adsorben. Fly ash mempunyai struktur porous tak beraturan dengan luas permukaan spesifik yang besar dan aktivitas daya adsorpsi yang tinggi.

Karakteristik Fly ash sangat tergantung pada jenis batu bara dan kondisi pembakaran. Diameter rata-rata fly ash kurang dari 20  $\mu\text{m}$ , bulk density dan spesifik luas permukaan berturut-turut 0,54 - 0,86  $\text{gram/cm}^3$  dan 300-500  $\text{m}^2/\text{kg}$  dengan pH antara 1,2 – 12,5. Fly ash mengandung berbagai senyawa seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{TiO}_2$  termasuk unsur-unsur lain seperti P, K, Mg, Zn, Fe, Mn dan lain lainnya.

Fly ash juga mempunyai sifat yang mirip dengan clay sehingga punya daya ikat yang baik sehingga dapat dijadikan semen, bata, bahan pengerasan jalan dan bahan bangunan lainnya. Fly ash juga merupakan low-cost adsorbent yang mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi, porositas dan ukuran partikel yang halus. Berdasarkan tingkat keasamannya Fly Ash dibedakan atas a) acidic ash yaitu Fly ash dengan nilai pH~4,5 b) mildly alkaline ash (pH 8 – 9) dan c) strongly alkaline ash (pH 11-13).

Zat polutan dalam udara yang dapat diadsorp oleh Fly ash adalah volatile organic compounds (VOCs), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>). Fly ash dapat juga dimanfaatkan untuk menyerap senyawa logam berat Cu, Pb, Zn, Mn, Cd, Cr, dan Ni dalam air limbah.

Limbah padat sering kali dijumpai dalam bentuk partikulat. Partikulat berupa partikel halus dari batu bara dapat dibedakan menjadi PM<sub>10</sub> yaitu partikulat dengan diameter kurang dari 10 mikron, dan PM<sub>2,5</sub> dengan diameter kurang dari 2,5 mikron. Partikulat ini khususnya PM<sub>2,5</sub> akan tertinggal di dalam paru paru bila terhisap. Hal ini akan mengakibatkan penyakit yang disebut *black lung* pada pekerja tambang.

Penanganan partikulat dapat dilakukan dengan menggunakan siklon, electric presipitator, fabric filter (baghouse) dan wet scrubber. Siklon kebanyakan digunakan pada awal 1970 an dan memiliki efisiensi yang relatif rendah yaitu sekitar 95% dan hanya cocok digunakan untuk partikulat dengan ukuran partikel cukup besar. Electric Presipitasi merupakan teknik yang banyak digunakan pada pembangkit listrik karena mempunyai efisiensi yang tinggi dan dapat menghandle partikulat dengan ukuran 0,1 sampai 100 µm. Fabric filter tidak begitu banyak dipakai pada industri pembangkit listrik. Tetapi pada industri lain seperti peleburan, penggilingan asbes, dan pabrik semen fabric filter banyak digunakan karena lebih kompetitif. Wet scrubber merupakan peralatan yang dapat digunakan khususnya untuk menangani polutan yang disebabkan oleh sulfur.

### 8.2.1. Siklon

Sejak lama siklon telah digunakan dalam pemisahan partikulat dari aliran gas, tetapi aplikasinya kebanyakan untuk partikulat dengan ukuran partikel yang relatif besar. Siklon bekerja berdasarkan secara tangensial yang mendorong aliran gas yang mengandung partikulat menuju bagian tengah siklon. Debu atau partikulat akan jatuh dan ditampung di bagian bawah sedangkan gas bersih keluar dari bagian atas siklon. Untuk meningkatkan efisiensi sebuah siklon biasanya dilakukan dengan memperkecil diameter siklon dan meningkatkan kecepatan aliran gas. Kinerja sebuah siklon dinyatakan dengan cut size ( $d_{50}$ ) yaitu ukuran partikel yang dikumpulkan dengan efisiensi 50%. Dapat dinyatakan dengan rumus :

$$D_{50} = \frac{9\mu B}{2\pi N v \rho_p}$$

Dengan  $D_{50}$  adalah diameter cut size particle (partikel dikumpulkan pada efisiensi 50%) (cm) ,  $\mu$  adalah kecepatan gas (g/cm.det), B adalah lebar celah gas inlet (cm), N jumlah efektif belokan gas yang terbentuk dalam siklon (-), v kecepatan inlet (cm/det),  $\rho_p$  adalah densitas partikel (g/cm<sup>3</sup>) dan g densitas gas (lb/ft).

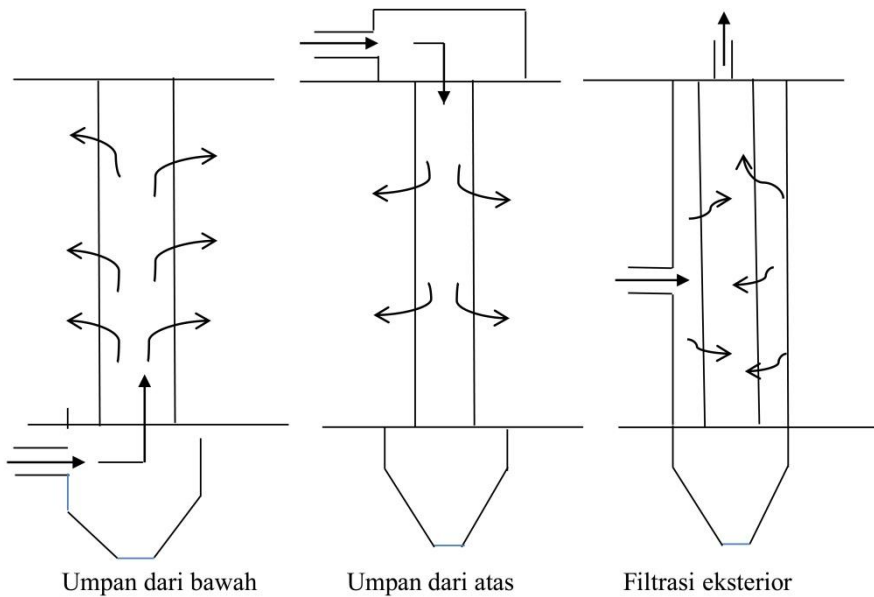


**Gambar 32. Siklon**

Sumber [http://www.airfiltrationsystems.com.au/cyclo\\_filter.html](http://www.airfiltrationsystems.com.au/cyclo_filter.html)

### 8.2.2. Fabric Filter

Ada dua macam bahan yang digunakan pada Fabric filter yaitu Synthetic felt atau fiber glass yang dapat dioperasikan sampai suhu  $550^{\circ}\text{F}$  dan natural woven (wol, katun) yang memerlukan pembersihan secara berkala. Hal ini disebabkan karena ketika partikel debu dikumpulkan maka pressure drop pada fabric filter akan meningkat. Debu dapat dibuang dengan cara gravitasi atau cara mekanis lainnya. Kelemahan fabric filter adalah dapat rusak karena adanya uap air yang terkandung dalam gas. Hal ini dapat diatasi dengan menjaga sistem operasi pada suhu sekitar  $250^{\circ}\text{F}$ . Baghouses pada fabric filter dapat terbakar karena muatan statis dari bahan yang tidak terbakar. Selain itu diperlukan ukuran baghouse yang besar bila dipasang pada power plant. Ada tiga jenis pola aliran pada fabric filter yaitu a) bottom feed b) top feed dan c) exterior filtration seperti terlihat pada gambar 27.



**Gambar 33. Susunan Fabric Filter**

*(Diolah dari Edgar, TF 1983)*

### 8.2.3. Electric Precipitator

Prinsip kerja Electric Precipitator (EP) cukup sederhana yaitu pelat paralel yang disusun seri dengan rangkaian elektroda diantaranya yang bekerja pada tegangan tinggi. Dalam desain sebuah EP ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu :

#### 1. Tahanan abu batu bara

Operasi EP sangat dipengaruhi oleh tahanan listrik dari Fly ash yang dihasilkan. Fly ash dengan electrical resistivity yang tinggi akan sulit untuk dipresipitasi oleh EP dan sebaliknya. Pengaruh resistivity pada area collector pada EP bervariasi secara eksponensial dengan resistivity Fly ash.

Hubungan antara area collector dengan efisiensi dapat dinyatakan dengan persamaan Efisiensi dari Deutsch-Andersen.

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{A}{V}\right) \cdot w$$

Dengan A adalah area collector, V adalah volumetric flow area dan w adalah kecepatan migrasi electrical atau parameter laju presipitasi.

#### 2. Sifat-sifat abu

Bickelhaupt mengemukakan hubungan antara resistivity sebagai fungsi dari konsentrasi lithium, natrium, kalium dan besi. Batu bara dengan konsentrasi lithium, sodium, kalsium dan besi memperlihatkan resistivity permukaan yang sangat rendah. Studi yang dilakukan oleh Bickelhaupt tidak memperhitungkan keberadaan kalsium yang diketahui berperan penting dalam pembentukan  $SO_3$ . Konsentrasi kalsium yang tinggi akan mengurangi konsentrasi  $SO_3$  dan dapat menurunkan kinerja dari presipitator.

#### 3. Kandungan Sulfur

Sebagaimana dikemukakan sebelumnya, sulfur memegang peranan penting dalam menentukan kinerja sebuah presipitator. Persentase sulfur dalam batu bara mempengaruhi parameter laju presipitasi. Abu dari batu bara dengan kadar sulfur rendah lebih sulit dipresipitasi dibandingkan dengan abu yang berasal dari batu bara dengan kandungan sulfur yang tinggi. Ketika batu bara dengan

kandungan sulfur yang tinggi dibakar maka konsentrasi gas sulfur trioksida yang terbentuk dalam flue gas sekitar 20-40 ppm. Gas  $SO_3$  yang beraksi dengan molekul air akan diadsorb oleh permukaan partikel abu membentuk film yang konduktif yang akan menurunkan resistivity dari abu.

Desain sebuah Electric Precipitator atau alat kontrol partikulat lainnya memerlukan data efisiensi koleksi (collection efficiency). Untuk sebuah plant batu bara dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$1 - \eta = 1 - \frac{ESxHV}{EFxAC}$$

Dengan :

$\eta$  adalah fraksi partikulat yang dapat dibuang ( $0 \leq \eta \leq 1$ )

ES adalah standar emisi (lb partikulat/ $10^6$  Btu), biasanya diambil 0,003

HV adalah nilai kalor batu bara (btu/lb)

AC adalah kandungan abu (%)

EF adalah faktor emisi ( $0 \leq \eta \leq 1$ )

Faktor emisi adalah rasio antara Fly ash dengan total abu yang bervariasi dengan jenis boiler yang digunakan. Sebagai patokan untuk boiler dengan serbuk batu bara basah harga EF adalah 0,65, untuk siklon harga EF adalah 0,1 dan untuk boiler dengan serbuk batu bara kering maka  $EF = 0,85$ .

#### **8.2.4. Wet Scrubber**

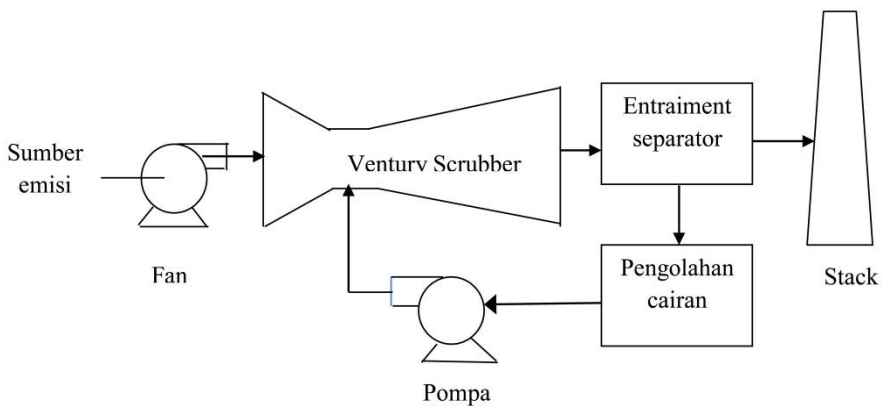
Scrubber merupakan peralatan yang dapat menghilangkan Fly ash dan gas sulfur trioksida. Pada plant gasifikasi dimana pendinginan gas dan scrubbing mesti dilakukan pada unit yang sama maka penggunaan scrubber juga menguntungkan. Jenis scrubber yang sering digunakan untuk menghilangkan partikulat adalah plate column, packed bed, preformed spray, ventury scrubber dll. Pada power plant biasanya digunakan ventury scrubber.

Beberapa kerugian penggunaan scrubber untuk power plant adalah



1. Besarnya pressure drop sehingga energi yang dibutuhkan cukup besar untuk menghilangkan partikel halus.
2. Perlu ada suplai air, disposal slurry Fly ash akan menambah cost.
3. Adanya masalah scaling, plugging dan erosi permukaan
4. Penghilangan uap air dalam gas yang diolah dapat menjadi masalah
5. Diperlukan pemanasan kembali stack gas

Skema ventury scrubber ditampilkan pada Gambar 29.



**Gambar 34. Sistem Ventury Scrubber**

*Sumber: Edgar, TF (1983)*

### **8.3. Pembakaran spontan batu bara (Spontaneous coal combustion)**

Salah satu masalah yang sering ditemukan dalam penimbunan batu bara di lokasi (*Stockfile*) adalah terjadinya swabakar atau pembakaran spontan. Pembakaran spontan batu bara merupakan peristiwa yang kompleks yang melibatkan perpindahan massa, perpindahan panas, dan reaksi kimia fisis yang sangat dipengaruhi oleh sifat batu bara, temperatur udara, ketinggian tumpukan batu bara dan lain lain. Pembakaran spontan batu bara adalah reaksi oksidasi batu bara yang terjadi akibat pemanasan dengan sendirinya karena

kenaikan temperatur internal yang bersifat eksotermis. Faktor-faktor yang menjadi penyebab pembakaran spontan yaitu : 1) Jenis batu bara 2) Distribusi ukuran partikel batu bara 3) Kadar moisture 4) Sistem penumpukan 5) Sistem drainase dan manajemen stockfile yang tidak optimal serta 6) Lamanya waktu penumpukan di stockfile.

Batu bara cenderung mengalami pemanasan dengan sendirinya (*self heating*) adalah apabila batubara tergolong peringkat rendah dengan kadar oksigen yang tinggi, memiliki kadar total moisture lebih dari 10 % dan mengandung besi dalam bentuk pyrite yang cukup yang mengalami reaksi eksotermik dengan udara untuk menghasilkan sulfat. Pembakaran spontan batubara dapat terjadi apabila batubara lama disimpan di stockpile secara terbuka, karena tingginya kecepatan angin yang menerpa stockpile, monitoring temperatur batubara yang kurang baik, dan pemisahan ukuran partikel batubara kurang baik ketika di tumpuk.

Berbagai upaya dapat dilakukan untuk mengurangi pembakaran spontan misalnya dengan mengurangi ketinggian stockpile dengan memperbesar luasan penumpukan atau melakukan pemadatan (*compaction*) tumpukan. Hal lain yang dapat dilakukan seperti menambahkan *additive* berupa surfactant dan chemical yang berfungsi sebagai anti oksidan.

Memonitor temperatur stockpile secara reguler perlu dilakukan agar kenaikan temperatur batu bara di stockpile cepat terdeteksi karena batubara akan mengalami oksidasi segera setelah terekspose diudara. Semakin tinggi peringkat batu bara, semakin rendah tingkat oksidasinya, karena internal surface areanya lebih kecil dibanding dengan batu bara peringkat rendah. Oksidasi batubara ini bersifat eksotermik atau menghasilkan panas. Pada saat oksidasi terjadi di permukaan yang terekspose ke udara, panas yang ditimbulkan dapat hilang secara konveksi ke udara sehingga suhu tumpukan batu bara tersebut stabil. Namun apabila oksidasi terjadi di bagian dalam tumpukan, panas yang dihasilkan tidak dapat segera dihilangkan dan temperatur batubara akan naik.

Pemanasan sendiri (*Self heating*) ini semakin lama semakin cepat karena naiknya suhu sampai temperatur nyala batu bara tersebut

yang disusul dengan terjadinya pembakaran spontan. Temperatur kritis masing-masing batu bara berbeda-beda tergantung pada jenis atau peringkat batubara. Namun demikian secara umum, temperatur kritis batubara adalah 50°C. Karena pada temperatur ini akselerasi oksidasi akan maksimum dan cepat sekali terjadi pembakaran spontan. Apabila temperatur sudah menjadi 55° C, sebaiknya tumpukan batu bara dibongkar dan ditebar agar suhu kembali normal. Pada saat suhu sudah sebaiknya tumpukan batu bara tersebut disemprot dengan *additive* atau dipadatkan. Tindakan lain yang perlu dilakukan adalah dengan mengatur penumpukan batu bara agar dengan cara *First In – First Out* di setiap stockpile baik di perusahaan tambang batubara maupun di *end user*. Karena hal ini juga akan mencegah resiko terjadinya pembakaran spontan di stockpile.

# BAB 9

## AIR ASAM TAMBANG

### 9.1. Definisi Air Asam Tambang

Air asam tambang terbentuk saat mineral sulfida tertentu yang ada pada batuan terpapar dengan kondisi terdapat air dan oksigen (sebagai faktor utama) yang membuat terjadinya proses oksidasi. Hal ini menyebabkan terbentuknya air dengan kondisi asam. Air asam tambang memiliki pH 2-5. Air asam tambang merupakan suatu permasalahan bagi industri pertambangan karena air dengan nilai  $pH < 7$  tidak dapat langsung dialirkan ke lingkungan bebas.

Air dengan tingkat keasaman yang tinggi atau pH rendah mudah melarutkan logam besi sehingga dapat mengganggu biota perairan. Air asam tambang juga dapat menyebabkan penurunan kualitas air permukaan. Hal ini dapat menurunkan salinitas masyarakat sekitar. Air asam tambang yang dihasilkan dari setiap penambangan batubara perlu dilakukan penanganan yang efektif agar tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan.

Menurut Fripp et al (2000), terdapat dua upaya dalam pengelolaan air asam tambang, yaitu preventif (pencegahan) dan kuratif (pengelolaan). Upaya preventif dilakukan dengan menutup batuan yang berpotensi membangkitkan asam dengan bahan yang dapat menghalangi suplai oksigen dan atau air. Upaya kuratif dilakukan pada air asam tambang yang telah terbentuk, dengan cara menambahkan hydrated lime ( $Ca(OH)_2$ ) atau batu kapur ( $CaCO_3$ ) ke dalamnya.

Pengelolaan air asam tambang yang dilakukan di salah satu industry pertambangan batu bara di Sumatera Selatan adalah dengan penambahan senyawa alkali kapur, yaitu hydrated lime ( $Ca(OH)_2$ ). Hydrated lime ditambahkan untuk meningkatkan nilai pH menjadi 6-9. PT Bukit Asam menghabiskan 1,2 miliar rupiah per tahun untuk membeli hydrated lime. Angka ini cukup besar untuk dihabiskan per

tahunnya hanya dalam pengelolaan air asam tambang, sehingga pengelolaan dengan penambahan senyawa alkali dinilai kurang efektif.

Air asam tambang disebut juga Acid Mine Drainage (AMD) terjadi sebagai akibat proses fisika dan kimia yang cukup kompleks yang melibatkan beberapa faktor dalam kegiatan pertambangan. Kegiatan pertambangan ini dapat berupa tambang terbuka maupun tambang dalam (bawah tanah). Menurut Keenan, Kleinfelter dan Wood (1980), dalam reaksi pembentukan air asam tambang diperlukan kehadiran tiga komponen, yaitu mineral sulfida, air dan oksigen. Dalam kegiatan pertambangan batubara, pemerintah telah menetapkan Baku Mutu Limbah Cair Tambang Batubara melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003.

**Tabel 30. Baku Mutu Limbah Cair Industri Batubara**

No	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Kekeruhan (turbidity)	NTU	-
2.	TDS	mg/L	-
3.	TSS	mg/L	400
4.	pH	-	6-9
5.	Besi	mg/L	7
6.	Mangan	mg/L	4
7.	Sulfat	mg/L	-
8.	Aluminium	mg/L	-

Sumber : Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003.

Air asam tambang (acid mine drainage) merupakan salah satu masalah yang serius terhadap lingkungan yang terutama dihasilkan oleh industri pertambangan. Kontaminasi air asam tambang terkait dengan saat dilakukannya konstruksi, kegiatan penambangan, dan saat tambang ditinggalkan karena tidak produktif lagi. Selain industri pertambangan, produk samping dari berbagai operasi industri seperti proses galvanik, penyerapan flue gas dari power plant, dll merupakan penghasil acid mine drainage/mine water. Air asam khususnya yang ada di areal bekas tambang mengandung ion-ion logam seperti

Aluminium, Mangan dan Besi, senyawa sulfat dll. dengan pH antara 2 sampai dengan 5.

Metoda yang dilakukan dalam pengolahan air asam tambang dapat dikategorikan menjadi 1) Active treatment 2) Passive Treatment dan 3) In situ treatment. Metoda yang kebanyakan dipakai oleh industri pertambangan khususnya batubara untuk menetralsir air asam tambang adalah metode passive treatment yaitu dengan penambahan kapur (limestone) dalam dosis tertentu yang tentunya membutuhkan investasi yang cukup besar untuk pembelian bahan kimia, biaya pemeliharaan, dan masalah lain yang terkait dengan aspek lingkungan. Sebagai contoh sebuah perusahaan tambang batu bara di Kalimantan Timur ada tahun 2009 menghabiskan 2787 ton *lime* untuk pengapuran air asam, hampir tiga kali lipat dibandingkan tahun 2008 yaitu sebesar 1036 ton. Perusahaan ini juga pada tahun 2009 mengeluarkan dana sebesar US \$ 396,396 untuk program pengelolaan air asam tambang. Sementara itu air asam tambang di kebanyakan 132esehata pertambangan dikelola dengan metode kolam pengendap lumpur dengan penambahan kapur untuk menetralsir air asam tambang selain metoda wetland yaitu memanfaatkan jenis-jenis tumbuh-tumbuhan penyerap logam yang diklaim dapat menurunkan kadar besi dan mangan.

Usaha untuk menetralsir air asam tambang telah banyak dilakukan diantaranya dengan menggunakan lignit sebagai adsorben (Mohan & Chander, 2006), penggunaan Fly ash, clinker, dan zeolit sintesis (Rios, et-al. 2008), atau dengan cara elektrokimia (Luptakova, et-al. 2012) dan menggunakan reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) (Rodriguez, et-al. 2012). Metoda yang relatif baru untuk mengolah air asam tambang adalah dengan cara elektrodialisa (Buzzi, et-al 2013).

Air asam tambang (AAT) perlu diolah dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran terhadap badan air dan lingkungan sekitarnya. Pengolahan atau penanganan AAT yang ada saat ini adalah pengolahan secara konvensional yang kurang efektif dan efisien karena memerlukan penambahan zat kimia seperti *lime* atau *limestone* sehingga diperlukan teknologi untuk meminimalkan kandungan logam

berat, jumlah padatan terlarut (TDS) dan electrical conductivity (EC), serta kenaikan derajat keasaman (pH). Metode ini membutuhkan waktu yang lama, luas area yang besar, dan bahan kimia dalam kuantitas yang besar dalam pengolahannya (Nasir, et al 2013).

Industri pertambangan di Indonesia sudah sangat maju pesat terutama industri pertambangan batubara. Hal ini terjadi karena besarnya potensi sumber daya batubara yang ada di Indonesia. Dampak berdirinya perusahaan pertambangan batubara tidak hanya menguntungkan dari sisi ekonomi tapi ada dampak buruk yang ditimbulkan akibat kegiatan pertambangan batubara. Hasil dari kegiatan tambang tersebut akan menimbulkan air asam tambang (*Acid Mine Drainage*). Air asam tambang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena pH yang rendah dan kandungan logam berat yang dapat merusak biota di di perairan sungai, laut, dan danau di sekitar penambangan serta dapat menimbulkan penyakit bagi manusia yang mengkonsumsi air yang terkontaminasi air asam tambang tersebut. Hal ini terjadi karena air asam tambang (AAT) atau *Acid Mine Drainage* mengandung  $H_2SO_4$  dan logam-logam berat yang berbahaya terutama bagi makhluk hidup yaitu logam tembaga (Cu), aluminium (Al), besi (Fe), timbal (Pb), dan mangan (Mn) dengan pH yang rendah.

Air asam tambang merupakan limbah cair yang berasal dari kegiatan penambangan baik yang masih aktif maupun yang sudah ditinggalkan. Terpaparnya mineral sulfida dari penggalian batuan yang bereaksi dengan oksigen serta air maka akan membentuk air asam tambang. Ada beberapa jenis mineral sulfida yang dapat bereaksi menghasilkan air asam tambang yaitu *pyrite* ( $FeS_2$ ), *millerite* (NiS), *chalcopyrite* ( $CuFeS_2$ ), *calcosite* ( $Cu_2S$ ), *galena* (PbS), dan *spalerite* (ZnS) (Skousen, et al 1998).

AAT merupakan air yang bersifat asam, dengan pH yang rendah (2-5) dan merupakan hasil oksidasi mineral sulfida yang terpapar di udara karena adanya oksigen dan air sehingga menghasilkan drainase yang mengandung ion sulfat dalam konsentrasi yang tinggi sehingga sangat asam. Tingkat keasaman, dan komposisi mineral dan konsentrasi tergantung pada jenis dan jumlah mineral

sulfida (pirit) dan keberadaan senyawa alkali di lokasi. Tingkat oksidasi pirit tergantung pada seperti bentuk dan luas permukaan pirit yang reaktif, konsentrasi oksigen di sekitar, pH larutan, lamanya waktu dan adanya bakteri pengubah sulfur seperti jenis *Thiobacillus* (Skousen, 1998)

Pembentukan AAT dapat terjadi secara kimia dan biologis. Secara kimia, terbentuknya AAT yaitu adanya reaksi pembentukan ion  $H^+$  yang merupakan ion pembentuk asam akibat oksidasi mineral-mineral sulfida yang bereaksi dengan air, kemudian oksidasi dari  $Fe^{2+}$ , hidrolisis  $Fe^{3+}$  serta pengendapan logam besi hidroksida.

Secara biologi, AAT terbentuk akibat adanya bakteri-bakteri tertentu yang dapat mempercepat proses dari oksida mineral-mineral sulfida dan oksidasi-oksidasi besi serta memperoleh energy hasil pelepasan energi dari proses oksidasi. Bakteri tersebut termasuk dalam kelompok strick aerobes, genus *trobhasillus*, spesies *thiobacillus ferroxidans* (kadang-kadang dijumpai *Ferrobacillus ferroxidans*).

Terbentuknya AAT ditandai oleh nilai pH yang rendah, konsentrasi logam seperti besi, aluminium, mangan terlarut dan konsentrasi ion sulfat yang tinggi dan konsentrasi oksigen terlarut yang rendah.

## **9.2. Dampak Air Asam Tambang terhadap Lingkungan**

Beberapa dampak dari air asam tambang, yaitu:

1. Terbentuknya  $H_2SO_4$  yang dapat menimbulkan peningkatan derajat keasaman pada air buangan tambang, di samping itu juga dapat terjadi peningkatan besi dan kandungan logam total.
2. Peningkatan konsentrasi TSS (Total Suspended Solid) akibat tingginya air limpasan yang membawa tanah tererosi akibat pembukaan lahan tambang yang dapat mengganggu penetrasi matahari dalam sungai yang membawa dampak lanjutan berupa gangguan proses fotosintetis biota perairan. Proses fotosintetis oleh komunitas phytoplankton juga akan terganggu, akibat penetrasi cahaya terhambat oleh partikel tersuspensi.
3. Pengendapan partikel yang akan menutupi lapisan dasar perairan sehingga mengganggu proses respirasi biota dasar.
4. Penurunan kualitas air permukaan sekaligus penurunan kualitas sanitasi lingkungan dimana tahap selanjutnya derajat 134esehatan



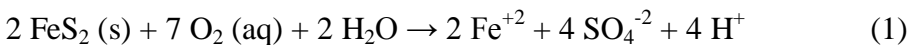
penduduk yang memanfaatkan sumber daya air sungai akan terganggu.

### 9.3. Pengelolaan Air Asam Tambang

Air asam tambang (AAT) atau acid mine drainage (AMD) terbentuk karena adanya mineral sulfida (pirit) yang terekspose oleh oksigen (oksidasi) dan air, dapat terbentuk dalam air tanah pada sebuah tambang yang masih aktif berproduksi. Namun ketika tambang ditutup dan ditinggalkan, air asam tambang dapat menyebabkan air tanah terkontaminasi. Air asam tambang merupakan dampak dari aktivitas penambangan yang ketika sudah terbentuk akan sulit untuk dihentikan dan dalam waktu yang sangat lama bahkan melebihi umur tambang itu sendiri (Gautama 2012). Senyawa-senyawa sulfur yang sering terdapat dalam air asam tambang adalah pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), marcasite ( $\text{FeS}_2$ ), pyrrhotite ( $\text{Fe}_x\text{S}_x$ ), chalcosite ( $\text{CuS}_2$ ), covelite ( $\text{CuS}$ ), chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ), molybdenite ( $\text{MoS}_2$ ), milerite ( $\text{NiS}$ ), galena ( $\text{PbS}$ ), sphalerite ( $\text{ZnS}$ ), dan arsenopyrite ( $\text{FeAsS}$ ) (Skousen et-al 1998).

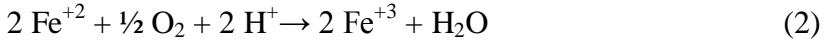
### 9.4. Proses terbentuknya air asam tambang

Senyawa pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) merupakan senyawa yang berperan dalam pembentukan asam dan pelarutan ion logam pada batu bara atau mineral lainnya. Pyrite dapat teroksidasi ketika terpapar oleh oksigen dan air dan menghasilkan ion hidrogen yang bersifat asam, ion sulfat dan kation logam yang dapat larut (Skousen et al, 1998; Castello 2003). Kecepatan oksidasi pyrite dipengaruhi beberapa hal seperti luas permukaan reaktifnya, bentuk dari sulfur pyrite, konsentrasi oksigen, keasaman larutan, agen katalitik, frekuensi flushing, dan keberadaan bakteri Thiobacillus.

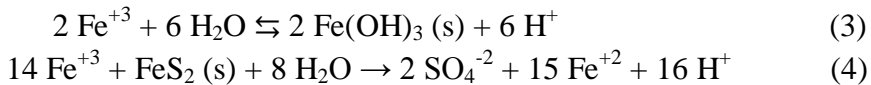


Proses oksidasi ini terjadi dalam batuan dengan laju reaksi yang lambat, namun aktivitas penambangan dapat memecah batuan dan meningkatkan luas permukaan (surface area) batuan yang

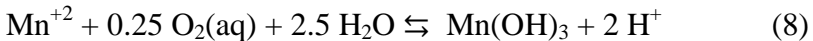
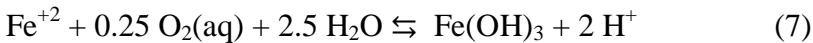
mengandung sulfur sehingga akan meningkatkan potensi terbentuknya asam. Oksidasi lebih lanjut dari ion  $\text{Fe}^{+2}$  menjadi  $\text{Fe}^{+3}$  muncul ketika oksigen terlarut dalam air berkurang.



Ion-ion ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) akan terendapkan sebagai *ochre* ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) yaitu endapan berwarna oranye kemerahan yang terlihat pada air yang terpapar oleh air asam tambang atau akan bereaksi langsung dengan pyrite menghasilkan lebih banyak ion ferro dan meningkatkan keasaman.



Ketika ion ferro dihasilkan menurut persamaan reaksi (4) dan dalam keadaan kekurangan oksigen terlarut maka reaksi (2) dan (3) akan berlangsung bersamaan. Rendahnya oksigen terlarut akan menyebabkan peningkatan konsentrasi ion fero, sulfat dan hidrogen. Akibatnya air asam yang terbentuk akan mempunyai pH yang rendah. Pada saat air mempunyai pH rendah maka bakteri acidophilic misalnya *Thiobacillus Ferroxidans* dapat memegang peranan yang signifikan dalam mengoksidasi ion ferro. Selain reaksi diatas beberapa reaksi berikut ini perlu dipertimbangkan dalam perancangan sistem pengolahan air asam tambang yaitu :



## 9.5. Jenis-jenis Air Asam Tambang

Berdasarkan karakteristiknya, Air Asam Tambang dapat dibedakan atas lima tipe (Skousen & Ziemkiewicz) yaitu :

- 1) Tipe 1 adalah air tambang (mine drainage) yang mempunyai  $\text{pH} < 4,5$  dan mempunyai kandungan Fe, Al, Mn dan logam lain, keasaman dan oksigen yang tinggi. Jenis ini disebut AMD (Acid Mine Drainage).
- 2) Tipe 2 adalah air asam tambang yang mempunyai kandungan TDS tinggi yang mengandung ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan Mn yang tinggi, rendah oksigen, dengan  $\text{pH} > 6,0$ . Ketika ion-ion besi dan mangan teroksidasi, pH air akan menurun drastis.
- 3) Tipe 3 adalah air asam tambang yang mempunyai kandungan TDS sedang sampai tinggi, dengan konsentrasi ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan Mn yang sedang sampai tinggi dan kandungan oksigen rendah. Tingkat keasaman (pH) air biasanya  $> 6,0$ . Dengan alkalinitas yang besar dibandingkan tingkat keasamannya, air tambang jenis ini disebut Alkaline Mine Drainage. Selama oksidasi asam yang terbentuk dari hidrolisis logam dan reaksi pengendapan dinetralkan.
- 4) Tipe 4 adalah air asam tambang yang bersifat netral dengan  $\text{pH} > 6,0$  dengan partikel tersuspensi total.
- 5) Tipe 5 adalah air asam tambang netral dengan  $\text{pH} > 6,0$  dan TDS yang tinggi. Setelah kebanyakan hidroksida logam mengendap dalam kolam pengendap, kation yang tertinggal adalah Ca dan Mg selain anion sulfat dan bikarbonat.

## **9.6. Proses-proses Pengolahan Air Asam Tambang**

Ada dua macam proses pengolahan air asam tambang yang dikenal saat ini yaitu proses pengolahan aktif (active treatment) dan proses pengolahan pasif (passive treatment) (Watzlaf, et-al, 2004). Akan tetapi, GARD (Global Acid Rock Drainage, 2009) mengklasifikasikan proses pengolahan air asam tambang menjadi pengolahan active, pengolahan passive dan pengolahan in situ. Proses pengolahan aktif merujuk kepada teknologi yang dioperasikan manusia dengan perawatan dan monitoring berdasarkan sumber energi dari luar (listrik) menggunakan infrastruktur dan sistem keteknikan. Beberapa contoh proses pengolahan aktif adalah aerasi, netralisasi, yang mencakup penghilangan ion logam, pengendapan secara kimia,

proses membran, pertukaran ion dan penghilangan sulfat secara biologi.

Proses pengolahan pasif adalah pengolahan yang tidak membutuhkan intervensi manusia secara reguler, baik pengoperasian maupun perawatannya. Biasanya menerapkan konstruksi material alam seperti tanah, clay dan batuan pecah, material alam seperti jerami, potongan kayu, dan kompos dan mempromote pertumbuhan vegetasi alam. Pengolahan secara passive menggunakan gravitasi atau pergerakan air. Pada beberapa daerah yang “arid” mencakup juga evaporasi atau infiltrasi dari sejumlah kecil dari acid rock drainage.

GARD (2009) juga menyitir pendapat Pulles et al. (2004) bahwa sistem pengolahan pasif adalah sistem pengolahan air yang memanfaatkan sumber energi alami seperti perbedaan tofografi, energi metabolisme mikrobial, fotosintesis dan energi kimia dan memerlukan perawatan reguler tetapi tidak berkala untuk operasinya secara baik sepanjang usia disainnya. Sementara Gusek (2002) mendefinisikannya sebagai sebuah proses sekuen yang bertujuan menghilangkan logam atau keasaman secara alami yang dibuat manusia dengan memanfaatkan reaksi ekologis dan geokimia serta proses ini tidak memerlukan daya atau bahan kimia setelah konstruksi dan pada bagian akhir ini hanya memerlukan sedikit usaha manusia. Contoh pengolahan air asam tambang pasif antara lain 1) Aerobic wetlands 2) Anoxic limestone drains (ALD) 3) Anaerobic wetlands 4) Reducing and alkalinity producing systems (RAPS) dan 5) Open limestone drains (OLD).

Pengolahan secara in situ mencakup beberapa cara misalnya 1) menyebarkan senyawa alkali pada areal penambangan yang terkena dampak dan air limbah tambang, 2) pengolahan in pit (*pit-lake*) water, penutupan areal tambang dan areal air tambang secara organik 3) pembuatan rintangan yang bersifat reaktif dan permeabel yaitu menggunakan material yang kaya zat organik dan penggunaan senyawa dengan valensi nol.

Penggunaan tumbuh-tumbuhan untuk mengikat ion logam (*Phytoremediation*) juga pernah diteliti misalnya *poplar* (Shim, et al 2013), *erica australis* dan *erica andevalensi s* (Abreu et al 2008),

Senecio sp. (Bech et al 2012.), dan *Azolla Pinnata* (Bharti & Banerjee (2012) yang ternyata dapat mengakumulasi ion Zn, Pb dan sulfat dalam tanaman tersebut sehingga mengurangi potensi pencemaran oleh air asam tambang.

## 9.7. Perbandingan Berbagai Proses Pengolahan Air Asam Tambang

Perbandingan berbagai proses pengolahan air asam tambang ditampilkan pada Tabel 31 berikut :

**Tabel 31. Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang**

Teknologi Pengolahan	Kebutuhan energi listrik	Bagian bergerak	Frekuensi Pemeliharaan		Frekuensi Penambahan Zat Kimia	Usia Disain (tahun)
			minor	mayor		
<b>Aerobic weland Anoxic Limestone Drains Compost wetlands Limestone bed Limestone pond Open Limestone channels</b>	Tidak	Tidak	Setiap bulan	Tidak diantisipasi	Tidak	20-30
<b>Diversion Wells</b>	Tidak	tidak	mingguan	tidak	mingguan	20-30
<b>Limestone Sands</b>	tidak	tidak	6 bulan	6 bulan	6 bulan	6 bulan
<b>Reducing and Alkalinity Producing System</b>	tidak	tidak	Setiap bulan	6 bulan	tidak	20-30
<b>RERAPS</b>	ya	Ya	Setiap bulan	Tidak ada	Tidak ada	20-30
<b>Water Powered Device-Windmils</b>	tidak	Ya	Setiap minggu	Setiap minggu-tahunan	Tidak ada-bulanan	5-10
<b>Sodium Carbonate Briquettes Liquid Sodium Hydroxide</b>	Tidak	tidak	Setiap hari	Setiap minggu-bulanan	Setiap hari-bulanan	5-10
<b>Hydrated Lime Quick lime</b>	Ya	Ya	Setiap hari	Setiap minggu-bulanan	Setiap hari-bulanan	5-10

## 9.8. Studi Mengenai Pengolahan Air Asam Tambang

Beberapa hasil penelitian mengenai pengolahan air asam tambang dijumpai di literatur (Mohan & Chander 2006; Rios, et-al. 2008; Luptakova, et-al. 2012; Rodriguez, et-al. 2012), Šír et al (2012), Buzzi, et-al 2013, Chen et al. 2021).

Pada studi yang dilakukan oleh Mohan & Chander (2006) untuk mempelajari efektifitas penurunan konsentrasi ion logam dari air asam tambang sintesis dengan menggunakan kolom berisi lignit. Recovery ion-ion logam seperti fero, ferri, mangan, seng dan kalsium dapat dicapai bila digunakan asam nitrat dengan konsentrasi 0,1 M.

Rios, et-al. (2008), meneliti penggunaan Fly ash, clinker, dan zeolit sintesis untuk menghilangkan kandungan logam berat dan ammonium dari air asam tambang dan mendapatkan bahwa pH memegang peranan penting dalam sorpsi/penurunan kontaminan ion-ion logam. Pada pengolahan air asam tambang, ratio adsorben yang tinggi dapat meningkatkan pH bila digunakan clinker alam berbasis faujasite menjadi 7.70–9.43 Selektivitas Faujasite dalam penghilangan kandungan logam menurun yaitu  $Fe > As > Pb > Zn > Cu > Ni > Cr$ .

Dalam studi yang lain, Luptakova, et-al. (2012) meneliti air asam tambang yang berasal dari tambang yang telah ditutup di Slovakia menggunakan metoda elektrokimia. Metode elektrokimia dapat menurunkan kadar Zn dan Mn hingga berturut turut sebesar 99 dan 94%.

Sementara itu, Cséfalvay (2009) menggabungkan nanofiltrasi (NF) dan reverse osmosis untuk meneliti limbah cair yang mengandung ion Cu. Dua model digunakan yaitu solution–diffusion model dan modified osmotic pressure model yang kemudian dibandingkan dengan data experimental. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa fluks hasil pengukuran bersesuaian dengan model yang diusulkan. Komposisi anion yang ada dalam air asam tambang tidak berpengaruh terhadap fluks permeat.

Dalam studi yang relatif baru, Šír et al (2012), meneliti limbah pasca tambang batubara jenis brown coal menggunakan reverse osmosis dengan membran spiral wound mendapatkan efisiensi

penyisihan ammonia nitrogen sebesar 94% dan 99% untuk ion-ion divalen. Rata-rata efisiensi untuk TDS diperoleh sekitar 99.3%.

Rodriguez, et-al. (2012) menggunakan reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) untuk pengolahan air asam tambang melalui reduksi sulfat secara biologi. Sampel yang digunakan berasal dari air asam tambang Uranium Osamu Utsumi Brazil dan dilengkapi dengan etanol sebagai sumber karbon eksternal. UASB dapat menurunkan kadar sulfat dari air asam tambang hingga 46.3% dan diiringi dengan peningkatan pH. Namun demikian penyisihan COD hanya sekitar 68% pada setiap tahapan operasi.



**Gambar 35. Kapur penetralisir Air Asam Tambang di KPL Udongan PTBA**

Kemungkinan penggunaan metoda elektrodialisa juga pernah dilakukan oleh Buzzi et al (2013) dalam pengolahan air asam tambang. Metoda elektrodialisa dapat memisahkan anion dan kation logam sehingga dapat memisahkan ion logam dan sekaligus merecovery air. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa elektrodialisa cocok digunakan untuk merecovery air dari air asam tambang dengan efisiensi penghilangan kontaminan besar dari 97%. Namun demikian pengendapan logam besi pada permukaan cation-

exchange membrane mengakibatkan blockage pada membran karena fenomena scaling yang akan menurunkan efisiensi proses.

Penggunaan tumbuh-tumbuhan untuk mengikat ion logam (Phytoremediation) dari air asam tambang juga pernah diteliti misalnya tanaman *poplar* (Shim, et al 2013), *erica australis* dan *erica andevalensis* (Abreu et al 2008), *Senecio sp.* (Bech et al 2012), dan *Azolla Pinnata* (Bharti & Banerjee 2012) yang ternyata dapat mengakumulasi ion Zn, Pb, dan sulfat dalam tanaman tersebut sehingga mengurangi potensi pencemaran oleh air asam tambang.



**Gambar 36. Pengaliran Air Asam Tambang yang telah dinetralisir**

Sebagaimana diketahui bakteri *Thiobacillus thiooxidans* dan *Thiobacillus Ferrooxidans* memegang peranan dalam transformasi ion  $Fe^{3+}$  yang memicu terbentuknya AAT. AAT terbentuk karena oksidasi mineral pyrite oleh oksigen dan udara serta keberadaan bakteri tersebut. Karena itu upaya menghambat kerja bakteri tersebut dapat dilakukan dengan pemberian bakterisida yang menghambat pembentukan AAT. Dari berbagai senyawa yang dapat dijadikan sebagai barrier untuk mencegah pertumbuhan bakteri tersebut disarankan adalah sodium dodecyl sulfate (SDS), sodium dodecylbenzene sulphonate (SDBS) dan asam organik. Teknik



lain untuk mencegah terbentuknya AAT adalah dengan dry covering yaitu menutupi AAT dengan material seperti fly ash yang dapat bereaksi dengan AAT dan sekali gus meningkatkan pH.



**Gambar 37. Penambahan Kapur pada Air Asam Tambang KPL Udongan**



**Gambar 38. Pengaliran Air Asam Tambang yang telah dinetralisir**

Penelitian yang pernah dilakukan Nasir et al (2016), menggunakan AAT asal salah satu perusahaan tambang di Sumatera Selatan menunjukkan bahwa penggunaan abu yang berasal dari jerami padi (rice hush ash) dan fly ash dapat menetralkan AAT dari pH 3 menjadi sekitar 7.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abreu, M. M., Tavares, M.T, & Batista, M.J., (2008). Potential use of *Erica andevalensis* and *Erica australis* in phytoremediation of sulphide mine environments: São Domingos, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*, 96, 2–3, 210-222.
- Baker, R.W., (2004). *Membrane Technology and Applications*, 2<sup>nd</sup> ed John Wiley and Sons, West Sussex, England.
- Bharti, S., & Banerjee, T.K., (2012). Phytoremediation of the coal mine effluent. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 81, 36-42.
- Bech, J., Duran. P, Roca, N., Poma, W., Sánchez, I., Pérez, L.R., Boluda, R., Barceló, J., & Poschenrieder, C., (2012). Accumulation of Pb and Zn in *Bidens triplinervia* and *Senecio* sp. spontaneous species from mine spoils in Peru and their potential use in phytoremediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 109-113.
- Bell, D.A, Brian F. Towler, Maohong Fan (2011), *Coal Gasification and Its Application*, Elsevier Inc, Amsterdam
- Berkowizt, N (1983), *Coal Science and Technology 7 : Coal Chemistry*, Elsevier Science and Technology Books, Amsterdam
- Berkowizt, N (1997), *Fossil Hydrocarbons : Chemistry and Technology*, Elsevier, Amsterdam
- Bourgeois, K.N, Darby, J.L., & Tchobanoglous, G., (2001). Ultrafiltration of Wastewater: Effects of Particles, Mode of Operation, and Backwash Effectiveness. *Water Research*, 35, 1, 77-90.

- Buzzi, D.C, Viegas, L.S., Rodrigues, M.A.S., Bernardes, A.M., & Tenório, J.A.S., (2013), Water recovery from acid mine drainage by electrodialysis. *Minerals Engineering*, 40, 82–89.
- Centre for Data and Information on Energy and Mineral Resources (2011), *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia.*, Ministry of Energy and Mineral Resources
- Chen, Guan., Yicheng Ye, Nan Yao, Nanyan Hu, Jie Zhang, Yang Huang (2021), A critical review of prevention, treatment, reuse, and resource recovery from acid mine drainage, *Journal of Cleaner Production*, 329, 129666
- Cséfalvay, E., Pauer, V., & Mizsey, P., (2009). Recovery of copper from process waters by nanofiltration and reverse osmosis. *Desalination*, 240, 1–3, 132-142.
- Costello, C (2003). *Acid Mine Drainage : Innovative Treatment Technologies*, U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office Washington DC.
- Edgar, T.F (1983), *Coal Processing and Pollution Control*, Gulf Publishing Company, Houston.
- Gautama, R.S., (2012). *Pengelolaan Air Asam Tambang, Bimbingan Teknis Reklamasi Dan Pascatambang Pada Kegiatan Pertambangan Mineral & Batubara Ditjen Mineral & Batubara*, KESDM, Yogyakarta.
- Ge, J.C., S.K., Yoon, N.J. Choi (2018), Review : Application of Fly Ash as an Adsorbent for Removal of Air and Water Pollution, *Applied Sciences*, 8, 1116.

Glassman, I & Richard A.Yetter ( 2008), Combustion, Elsevier Inc, Amsterdam

Global Acid Rock Drainage ([www.gardguide.com](http://www.gardguide.com)) diakses tanggal 18 Februari 2013.

Higman, C dan Van der Burgt (2003), Coal Gasification, Elsevier Science, Amsterdam

IGCC State-of-the-art report (2010), Low Emission Gas Turbine Technology for Hydrogen-rich Syngas, Department of Mech. & Structural Eng. & Material Science, University of Stavanger, Norway.

Johnson, D. B., & Hallberg, K.B., (2005). Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of the Total Environment*, 338, 3– 14.

Kabe, T, et-al (2004), Coal and Coal-Related Compounds Structures, Reactivity and Catalytic Reactions, Elsevier Science & Technology Books.

Langenbach, K., Kusch, P., Horn, H., & Kästner. M., (2010). Modeling of slow sand filtration for disinfection of secondary clarifier effluent. *Water Research*, 44, 1, 159-166.

Lee, S., J. Speight, S. Loyalka (2007), Handbook of Alternative Fuel Technologies, CRC Press, Boca Raton.

Luptakova, A., Ubaldini, S., Macingova, E., Fornari, P., & Giuliano, V., (2012). Application of physical–chemical and biological–chemical methods for heavy metals removal from acid mine drainage. *Process Biochemistry*, 47, 11, 1633–1639.

- Mohan, D & Chander, S., (2006). Removal and recovery of metal ions from acid mine drainage using lignite—A low cost sorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 137, 3, 1545-1553.
- Meyer, R.A editor (1982), *Coal Structure*, Academic Press, New York
- Nasir, S (1992), Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Distribusi Produk Hasil Proses Liquefaksi Batu bara, Thesis Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Nasir, S., (2007). Membrane Performance and Build-up of Solute in Small scale of Reverse Osmosis, PhD Thesis, Curtin University of Technology, Australia.
- Nasir, S, E, Ibrahim, A.T. Arief (2016), Design and Experimental Testing of Small-scale Acid Mine Drainage Treatment Plant, *Journal of Materials and Environmental Science*, 7, 8, 2912-2918.
- Nowacki, P (1979), *Coal Liquefaction Processes*, Noyes Data Corporation, New Jersey.
- Petala, M., Tsiridis, V., Samaras, P., Zouboulis, A., & Sakellariopoulos, G.P., (2006). Wastewater reclamation by advanced treatment of secondary effluents. *Desalination*, 195, 1-3, 109-118.
- Ríos, C.A, Williams, C.D., & Roberts, C.L., (2008). Removal of heavy metals from acid mine drainage (AMD) using coal fly ash, natural clinker and synthetic zeolites. *Journal of Hazardous Materials*, 156, 1–3, 23–35.
- Rodriguez, R.P, Oliveira, G.H.D., Raimundi, I.M., & Zaiat, M., (2012). Assessment of a UASB reactor for the removal of

- sulfate from acid mine water. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 74, 48–53.
- Shim, D., Kim, S., Choi, Y.I., Song, W.Y., Park, J., Youk, E.S., Jeong, S.C., Martinoia, E., Noh, E.W., & Lee, Y (2013). Transgenic poplar trees expressing yeast cadmium factor 1 exhibit the characteristics necessary for the phytoremediation of mine tailing soil. *Chemosphere*, 90, 4, 1478-1486.
- Shao, E., Wei, J., Yo, A., & Levy, R., (2009). Application of Ultrafiltration and Reverse Osmosis for Mine Waste Water Reuse. *Water in Mining*, Perth, Western Australia.
- Šír, M., Podhola, M., Patočka, T., Honzajková, Z., Kocurek, P., Kubal, M., & Kuraš, M., (2012). The effect of humic acids on the reverse osmosis treatment of hazardous landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 207–208, 86-90.
- Skousen, J et-al (1998). *Handbook of Technologies for Avoidance and Remediation of Acid Mine Drainage*, The National Mine Land Reclamation Centre, Morgantown, West Virginia.
- Speight, J (2005), *Handbook of Coal Analysis*, John Wiley and Sons, New Jersey.
- Spliethoff, H (2010), *Power Generation from Solid Fuels, Power Systems*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Tsai, S.C (1982), *Coal Science and Technology 2 : Fundamental of Coal Beneficiation and Utilization*”, Elsevier, Amsterdam.
- Toze, S., (2006). Reuse of effluent water--benefits and risks, *Agricultural Water Management Special Issue on Water Scarcity: Challenges and Opportunities for Crop Science*, 80, 1-3, 147-159.

Vela, M.C.V., Blanco, S.A., García, J.L., Gozávez-Zafrilla, J.M., & Rodríguez. E.B., (2007). Modelling of flux decline in crossflow ultrafiltration of macromolecules: comparison between predicted and experimental results. *Desalination*, 204, 1–3, 328–334.

Watzlaf, G.R., Schroeder, K.T., Kleinmann, R.L.P., Kairies, C.L., & Nairn, R.W., (2004). *The Passive Treatment of Coal Mine Drainage*, DOE/NETL-2004/1202, U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory Pittsburgh, PA.

Yeh, M.H (2002). Decline of permeate flux for ultrafiltration along membrane tubes, *Desalination*, 145, 1–3, 153–157.

Younger, P.L., Banwart, S.A., Hedin, R.S., (2002), *Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation*, The Netherlands: Kluwer Academic Press.

World Coal Association, 2008

Zhang, J.C., Wang, Y.H., Song, L.F., Hu, J.Y., Ong, S.L., Ng, W.J., & Lee, L.Y., (2005), Feasibility investigation of refinery wastewater treatment by combination of PACs and coagulant with ultrafiltration. *Desalination*, 174, 3, 247–256.

<http://www.kpc.co.id>, Laporan Keberlanjutan 2009, diakses pada tanggal 18 Februari 2013

<http://www.ptba.co.id>, Keselarasan dalam keberlanjutan, diakses pada tanggal 16 Februari 2013

oTshiaki Kabe

<http://www.worldcoal.org/coal-the-environment/coal-mining-the-environment/>

[http://www.ems.psu.edu/~radovic/coal\\_structure.html](http://www.ems.psu.edu/~radovic/coal_structure.html)

[www.ristek.go.id](http://www.ristek.go.id)



# DAFTAR KATA PENTING

## A

- Acid Mine Drainage : Air asam tambang yang terbentuk akibat reaksi antara mineral sulfida dengan air dan oksigen dari udara
- Air dry basis : Batu bara dianalisis dan dilaporkan termasuk kandungan inherent moisture-nya.
- Allogenic : Transportasi dan deposisi mineral dalam peat oleh angin atau air.
- Angle of Repose : Sudut kemiringan tumpukan batu
- As received : Batu bara dianalisis dan dilaporkan segera setelah sampel diterima.
- Asfalten : Bagian senyawa batubara yang larut dalam benzen
- Autochtonous : Teori pembentukan batu bara karena transformasi peat oleh tumbuhan di tempat (in-situ) dimana pohon-pohon tumbang.

## B

- Baghouse : Salah satu peralatan fabric filter yang digunakan untuk menangkap partikulat terutama debu.
- Ball-mill : Peralatan yang digunakan untuk menghancurkan bongkahan batubara dengan menggunakan bola-bola yang terbuat dari besi.
- Belt conveyor : Ban berjalan yaitu peralatan untuk memindahkan benda padat dalam wujud bongkahan
- Black lung : Jenis gangguan paru karena terpapar oleh debu di tambang batu bara.

- Bottom ash : Abu dasar hasil pembakaran batu bara dalam suatu power plant
- Brown Coal Liquefaction : Proses pencairan batu bara muda atau batubara coklat

### C

- Caking : Sifat-sifat batubara yang mengembang karena perubahan temperatur ketika dipanaskan.
- Calorific value : Nilai kalor suatu zat
- Carbonaceous : Sifat-sifat suatu material yang me
- Char : Arang hasil proses pirolisa, karbonisasi atau pencairan batu bara
- Coalifikasi : Proses pembentukan batu bara mulai dari peat sampai antrasit yang dipengaruhi oleh tahapan biokimia dan dinamokimia.
- Coking : Suatu sifat batu bara yang bila dipanaskan akan meleleh seperti plastik dan mengeras ketika didinginkan.
- Combustible material : Material atau bahan yang mudah terbakar

### D

- Dilatasi : Transformasi perubahan bentuk baik mengecil maupun membesar
- Dinamokimia : Tahapan pembentukan batu bara karena tekanan dan suhu yang tinggi dalam bumi
- Distilat : Hasil proses distilasi suatu campuran liquid berdasarkan perbedaan titik didihnya.

- Dry ash free : Suatu basis perhitungan analisis batu bara dengan mengabaikan kandungan abu kering.
- Dustiness Index : Indeks yang menyatakan kadar relatif dari debu yang dihasilkan pada pengangkutan atau pengolahan batu bara.

### E

- Electric Presipitator : Peralatan penangkap debu berdasarkan muatan listrik yang sering dijumpai pada pabrik semen.
- Eschka : Salah satu metode penentuan kadar sulfur dalam batu bara dengan menggunakan campuran magnesium oksida dan natrium karbonat hidrous
- Eutektik : Campuran suatu senyawa yang memiliki titik beku yang lebih rendah

### F

- Faktor emisi : Rasio antara fly ash dengan abu total yang digunakan untuk mendisain sebuah electric presipitator.
- Fixed bed : Unggun tetap
- Fixed carbon : Kandungan karbon yang ada dalam batu bara
- Flue gas : Gas hasil buangan dari suatu cerobong dapur pembakaran
- Fly ash : Abu layang hasil pembakaran batu bara dalam suatu pembangkit tenaga.
- Free moisture : Kandungan air bebas yang terdapat pada permukaan batu bara
- Free Swelling Index : Nilai muai bebas ditunjukkan oleh perubahan bentuk batu bara ketika dipanaskan dalam sebuah krus.

Friability : Ukuran ketahanan batu bara terhadap pengecilan ukuran (size-reduction).

### G

Giseler plastometer : Alat pengukur dilatasi batu bara  
Grate : Tumpukan batu bara dalam suatu tempat dalam ruang bakar atau gasifier  
Gray-King Assay : suatu metode untuk menentukan sifat coking batu bara yaitu dengan memanaskan 20 gram batubar dalam tabung silika sampai sampai suhu 600 °C. Sisa produk pemanasan dibandingkan dengan suatu standar mulai dari noncoking (type A) sampai sangat coking (G).  
Grindability : ketahanan gerus suatu material padat.

### H

Hardgrove Index : Indeks yang menyatakan mudah atau sukarnya batu bara dihaluskan.  
Heat of wetting : Panas pembasahan  
Heating Value : Nilai kalor  
Hydrogasification : Proses gasifikasi batu bara menggunakan gas hidrogen sebagai medium

### I

Inherent moisture : Kandungan moisture atau air yang terjebak dalam pori pori batu bara dan sukar untuk dihilangkan dengan pemanasan biasa

## **K**

Karbonisasi : Proses peningkatan kadar karbon batu bara dengan tujuan meningkatkan nilai kalornya.

## **L**

Lignit : Salah satu peringkat batu bara berdasarkan nilai kalor yang dimilikinya.

Limestone : Batu kapur

## **M**

Macropores : Pori-pori batu bara dengan diameter rata-rata antara 300 sampai 29,600 Å<sup>o</sup>

Mekanisme Zeldovich : Reaksi antara Oksigen dengan Nitrogen membentuk gas NO dan N dan sebaliknya.

## **N**

Naftalen : Salah satu senyawa hidrokarbon turunan dari benzena.

Nilai Kalor : Kandungan panas yang dimiliki oleh material

Non combustible : Material atau bahan yang tidak dapat terbakar oleh oksigen

## **P**

Partikulat : Partikel halus seperti debu

Petrografik : Komposisi batu bara berdasarkan maseralnya

Pirolisis : Pemanasan tanpa ada oksigen atau udara

Power plant : Pembangkit tenaga listrik yang dapat beroperasi menggunakan bahan bakar

fossil atau atau sumber energi lainnya.

## R

- Reaksi Boudouard : reaksi antara karbon dengan gas karbondioksida membentuk gas karbonmonoksida
- Red mud : residu pada pengolahan bauksit setelah pemisahan alumina, atau bijih besi, pyrite alam atau sintetik, partikel besi halus, besi sulfat dll
- Reflectance : Kemampuan batu bara memantulkan cahaya/ sinar sehingga permukaannya terlihat berkilau.
- Retort : Tabung untuk pemanasan atau karbonisasi batu bara
- Roga Index : salah satu pengujian untuk menentukan sifat caking batu bara dengan memanaskan sejumlah berat batu bara beberapa tahap.

## S

- Short Contact Time : Pencairan batubara dalam waktu yang singkat.
- Siklon : Peralatan untuk menangkap debu atau partikulat secara aksial dan debu akan mengendap secara gravitasi.
- Slagging : Penumpukan batu bara yang meleleh dalam ruang bakar yang berakibat menurunkan transfer panas antara batu bara dengan fluida seperti air dalam boiler
- Sulfat sulfur : Sulfur dalam bentuk senyawa sulfat organik dan anorganik

Supercritical Gas Extraction : Ekstraksi batubara menggunakan suatu pelarut dan dilangsungkan pada temperatur kritis pelarut tersebut.

### **T**

Thermal Nox : Senyawa NO<sub>x</sub> yang terbentuk pada temperatur tinggi pada saat bahan bakar fosil terbakar.

Tyler : Salah satu ukuran ayakan (screening) untuk partikel

### **V**

Ventury scrubber : Peralatan untuk menghilangkan emisi gas berbentuk ventury.

Viskositas : Ukuran kekentalan suatu cairan

Volatil : Zat yang mudah menguap

### **W**

Water- gas shift : Reaksi pergeseran air

Wet scrubber : Peralatan untuk menyerap debu atau partikel dengan menggunakan air

# INDEKS

A	C
Abu 25, 27, 28, 30, 46, 48, 51, 76, 85, 113, 117	caking 11, 14, 16, 18, 20, 23, 38, 40, 41, 52, 76
Acid Mine Drainage ..... 121	Calorific value ..... 36
Air dry basis ..... 24	carbonaceous ..... 1, 36
allogenic ..... 29	char ..... 98
Allothermal ..... 74	coalifikasi 1, 5, 9, 19, 26, 29, 33
Angle of Repose ..... 44	Coalifikasi ..... 4
Apparent specific gravity ..... 42	Coking ..... 21, 22, 36, 49
As received ..... 24	combustible material ..... 6
asfalten ..... 96	Co-Mo ..... 99
ASTM 6, 9, 10, 19, 24, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 44	
Audibert-Amu dilatometer .... 38	
Australia ..... 6, 9, 14, 102	
Autochtonous ..... 4	
Autothermal ..... 74	
	<b>D</b>
<b>B</b>	densitas ..... 41, 44, 114
baghouse ..... 115	diagenetik ..... 5
ball-mill ..... 44	Dilatasi ..... 36
Bed Moisture ..... 15	Dinamokimia ..... 5
belt conveyor ..... 44	Distilat ..... 88
besi sulfida ..... 99	DME ..... 105
Biokimia ..... 5	Dry ash free ..... 24
bituminus 1, 2, 3, 5, 9, 17, 19, 20, 25, 26, 39, 41, 59, 69, 80, 84, 92, 93, 95	Dry basis ..... 24
black lung ..... 113	Dustiness Index ..... 45
boiler ..... 117	
bottom ash ..... 113	<b>E</b>
boundary layer ..... 73	Electric Presipitator ..... 113
briket ..... 6, 61, 62, 63	Eschka ..... 34
Brown Coal Liquefaction .... 102	eutektik) ..... 27
bulk density ..... 41	
Bulk density ..... 42	<b>F</b>
	Fabric Filter ..... 115
	Faktor emisi ..... 117
	Fischer- Tropsch ..... 85
	fixed bed ..... 46
	fixed carbon ..... 25
	flue gas ..... 120
	fly ash 48, 52, 80, 106, 109, 116,



117, 118  
 free moisture ..... 26  
 Free Swelling Index .. 11, 38, 39  
 Friabilitas ..... 44, 45  
 friability..... 44

**G**

Gasifier Kopper-Totzek ..... 79  
 Gasifier Lurgi..... 77  
 Gasifier Molten-Iron Bath.... 81  
 Gasifier Wellman-Galusha.... 78  
 Gasifier Winkler..... 80  
 Gasifikasi Unggun bergerak.. 75  
 Gasifikasi Unggun  
 Terfluidakan..... 75  
 Gasifikasi Unggun Tetap ..... 74  
 gasolin ..... 88  
 Giseler plastometer ..... 38  
*grate* ..... 46, 48, 51, 52, 77  
 Gray-King ..... 60  
 Grindabilitas..... 44  
 Grindability ..... 44

**H**

Hargrove..... 44  
 heat of wetting..... 44  
 Heating Value ..... 9  
 helium density ..... 41  
 hidrogenasi ..... 92  
 Hidrogenasi ..... 99  
 hopper..... 44  
 hydrated lime..... 119  
 hydrogasification..... 72

**I**

inherent moisture..... 42  
 in-place density ..... 41  
 in-situ ..... 4  
 Internasional..... 9, 11, 12, 13

**J**

Jepang ..... 6, 9, 23, 57  
 Jepang, China, Rusia ..... 4

**K**

Karbonisasi54, 57, 58, 59, 62, 63  
 Katalis..... 99  
 King–Mavies–Crossley  
 formula ..... 29  
 Kjeldahl ..... 33  
 Kjeldahl–Gunning ..... 33  
 Klasifikasi6, 9, 10, 11, 12, 13, 14,  
 15, 16, 19, 21, 22, 23, 74

**L**

light oil ..... 88  
 lignit1, 4, 5, 9, 19, 26, 28, 41, 57,  
 58, 84, 93  
 lime, limestone ..... 4

**M**

macropores ..... 43  
 marcasite..... 27, 30, 34  
 Mekanisme Zeldovich ..... 111  
 micropores ..... 44  
 Mineral ..... 24, 29, 30, 31, 132

**N**

naftalen ..... 94  
 NCB..... 9, 14  
 Nilai Kalor..... 12, 13, 16, 23, 36  
 nitric oksida ..... 111  
 non combustible ..... 6  
 non slagging ..... 75

**P**

Parr formula..... 29  
 particle density ..... 41  
 partikel..... 118  
 partikulat. 46, 51, 107, 113, 114,

117, 118	
petrografik.....	1
Pirolisis....	54, 55, 59, 65, 67, 70
pori .....	43
Porositas .....	43
power plant.....	118
Preasfalten.....	96
Proksimat .....	25
Proses Coalcon.....	70
PROSES COED .....	67
Proses CS/R.....	71
Proses Exxon Donor Solvent	101
Proses FMC-COED.....	65
Proses Gasifikasi Shell.....	82
Proses H-Coal .....	101
Proses Kohleuel.....	100
Proses Lurgi-Rhurgas.....	68
Proses NEDOL.....	103
Proses SRC-II.....	100
Proses Toscoal.....	69
Pyrit.....	34
pyrite .....	30, 35, 99

## R

Reaksi Boudouard.....	73
red mud .....	99
Reflectance.....	15
retort..	36, 57, 58, 63, 64, 66, 69
Retort.....	66
Roga Index .....	40
Rusia.....	6, 9, 16, 19

## S

SASOL HTFT .....	104
Short Contact Time Liquefaction .....	92

Siklon.....	114
slagging .....	75
Spesifik Gravity.....	41
steam.....	113
subbituminus ...	1, 4, 5, 9, 80, 93
Sulfat .....	34
sulfur	1, 6, 15, 18, 29, 33, 34, 35, 46, 47, 48, 49, 66, 69, 70, 81, 85, 91, 105, 107, 110, 113, 114, 117
Supercritical Gas Extraction..	90
superkritik.....	98

## T

tetralin.....	98
Thermal NOx.....	111
Third Generation Liquefaction Processes .....	90
transitional pores .....	43
true density .....	41
True specific gravity.....	42
Tyler .....	42

## V

ventury scrubber .....	118
viskositas .....	87
Vitrinite .....	1
volatil	2, 3, 15, 27, 32, 37, 54, 55, 59, 60, 76

## W

water gas shift.....	73
wet scrubber .....	113
Wiser .....	3

## X

x-ray fluorescence .....	28
--------------------------	----