

Polimer Perekat antar
partikel tanah

4µm

20KV

02

024

BAHAN PEMBENAH TANAH POLIMER UNTUK KONSERVASI TANAH DAN AIR

IR. SITI MASREAH BERNAS, M.Sc., Ph.D.

Editor

PROF. DR. IR. DEDIK BUDIANTA, M.S.



**BAHAN PEMBENAH TANAH POLIMER
UNTUK KONSERVASI TANAH DAN AIR**

Ir. Siti Masreah Bernas, M.Sc., Ph.D

UPT. Penerbit dan Percetakan

Universitas Sriwijaya 2018

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. 026/KTA/APPTI/X/2015

Anggota IKAPI No. 001/SMS/2009

Pemenang Hibah Buku Teks Hasil Penelitian Tahun 2017

Keputusan Rektor Universitas Sriwijaya tanggal 29 Nopember 2017

Nomor : 1071/UN9/PG/2017

Cetakan pertama, Februari 2018

X + 107 hal ; 25 x 17 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit

ISBN 978-979-587-733-2





Ir. Siti Masreah Bernas, Ph.D., M.Sc.

Adalah dosen pada Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, Palembang sejak Tahun 1985. Menyelesaikan Master of Science dari University of North Wales Inggris pada Tahun 1988 dan Doktor dari University of Adelaide Australia pada Tahun 1995.

Mengajar dan membimbing di program S1, S2 dan S3 Fakultas Pertanian dan Program S2 dan S3 Ilmu Lingkungan, Universitas Sriwijaya. Mata kuliah yang diampuh antara lain Fisika Tanah, Konservasi Tanah dan Air, Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Agrohidrologi, Bahan Pembenah Tanah, serta Sistem Pertanian Terapung. Perhatian utama riset yang dilakukan sekarang adalah pertanian terapung untuk konservasi lahan rawa, dengan menggunakan pupuk kompos berbentuk briket untuk berbagai tanaman.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Allah S.W.T. atas tersusunnya dan rampungnya buku teks ini, karena buku ini sudah lama dimulai penulisannya Tahun 1996, tetapi pada waktu itu belum ada mata kuliah Bahan Pembenh Tanah dan hanya merupakan bagian kecil dari bahan kuliah Konservasi Tanah Dan Air, yaitu metoda kimia dalam konservasi tanah. Penulis sendiri mengajar Konservasi Tanah Dan Air dan Bahan Pembenh Tanah. Setelah adanya mata kuliah ini yang dibuka sejak Tahun 2015 di Program Studi Agroekologi Tanaman dan Ilmu Tanah, maka penulis berniat dan melanjutkan lagi menyelesaikan penulisan buku ini.

Bahan pembenh tanah sebenarnya dari bahasa Inggris “soil conditioner” dimana pada awalnya hanya memperbaiki sifat fisik tanah agar tanaman dapat tumbuh baik. Tetapi sekarang bahan pembenh tanah sangat luas dan beragam bentuk dan jenis yang digunakan dari organik, mineral alami, sampai polimer buatan. Dari semua bahan tersebut penulis lebih memfokuskan pada polimer yaitu bahan kimia yang berantai panjang, baik yang dibuat maupun organik.

Walaupun buku ini sudah ditulis lama sekali dan banyak menggunakan literatur tahun 1990-an ke bawah, ternyata hasil penelitian yang baru pun (Tahun 2017) pustakanya masih banyak merujuk ke tahun-tahun tersebut. Ini dikarenakan pada waktu itu sudah banyak sekali penelitian secara detil mengenai sifat dan ciri bahan pembenh tanah, reaksinya di tanah dan larutan, serta pengaruhnya terhadap tanah dan tanaman. Sehingga penelitian yang ada sekarang pembahasannya

masih relevan dengan bahasan tahun 1990-an. Namun penulis berusaha juga menambahkan beberapa pustaka acuan yang baru terutama dari jurnal atau prosiding, tetapi sayang di Indonesia kurang sekali publikasi tentang polimer sebagai bahan pembenah tanah, tulisan yang banyak hanya bahan organik dan mineral alami atau limbah pabrik sebagai pembenah tanah.

Sebagai buku perdana yang ditulis maka tentu akan banyak kekurangan disana sini, karena itu saran dan masukan dari pembaca sangat diharapkan. Mudah-mudahan buku ini dapat menambah ilmu pengetahuan dan bahan acuan bagi mahasiswa atau para peneliti dan pembaca lainnya. Serta dapat memberikan manfaat pada kita semua, aamiin Ya Robbal Alamin.

Palembang, 15 Agustus 2017.
Penyusun,

Ir. Siti Masreah Bernas, Ph.D., M.Sc.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
BAB 2 SIFAT DAN CIRI POLIMER SEBAGAI BAHAN PEMBENAH TANAH	10
2.1. Poly-Acrylamide (PAM)	11
2.2. Getah Karet sebagai bahan pembenah tanah dengan Bahan Polimer Isoprene	13
2.3. Poly-Diallyldimethylammonium Chloride atau Disingkat Poly-DADMAC	16
2.4. Polyvinyl Acetate dan Polyvinyl Alkohol	17
2.5. 2.5. Poly-Ethylene Glycol (PEG)	19
2.6. Bahan Pembenah Tanah Berbentuk Agar- agar air (Hydrogel).	20
2.7. Polisakarida, Glukosa Dan Bahan Dari Tanaman Dan Fauna Tanah Juga Sebagai Bahan Polimer Pembenah Tanah.	23
BAB 3 JERAPAN POLIMER SEBAGAI BAHAN PEMBENAH TANAH TERHADAP BAHAN PENYUSUN TANAH	25

	3.1. Jerapan Polimer Bermuatan Netral Terhadap Mineral Liat.	26
	3.2. Jerapan Polimer Yang Bermuatan Positif Pada Liat	32
	3.3. Jerapan Polimer Di Tanah	40
BAB 4	PENGARUH POLIMER TERHADAP SIFAT FISIK TANAH	44
	4.1. Kemantapan Agregat Tanah oleh Polimer (Kondisioner) Tanah.	45
	4.2. Pengaruh Polimer Terhadap Kekuatan Tensil (Adhesif) Tanah.	53
	4.3. Pengaruh Polimer Terhadap Retensi Air Tanah	57
	4.4. Pengaruh Polimer Terhadap Hidrofobisiti atau Hidrofilik Tanah	62
BAB 5	PENGARUH PEMBENAH TANAH TERHADAP ALIRAN PERMUKAAN, INFILTRASI DAN EROSI.	63
BAB 6	PENGARUH BAHAN PEMBENAH TANAH TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN	74
	6.1. Pengaruh Bahan Pembena Tanah Terhadap Tanaman	74
	6.2. Pengaruh Negatif Bahan Pembena Tanah Terhadap Tanaman dan Lingkungan.	81
	6.3. Dekomposisi Bahan Pembena Tanah	84

BAB 7	KESIMPULAN	88
	PUSTAKA ACUAN	90
	GLOSARI	
	DAFTAR INDEKS	

DAFTAR TABEL

NO.	JUDUL	Halaman
3.1.	Perlakuan poly-DADMAC dan poly-Isoprene terhadap flokulasi liat	33
3.2.	Jumlah polimer yang dibutuhkan untuk memflokulasikan silika berdasarkan ukuran partikelnya.	39
4.1.	Pengaruh PAM terhadap kemantapan agregat pada berbagai tanah	49
4.2.	Pengaruh latex terhadap kemantapan agregat pada berbagai tanah	51
4.3.	Pengaruh Poly-DADMAC terhadap kemantapan agregat tanah basah.	52
4.4.	Pengaruh polimer terhadap kadar air di tanah pasir	59
4.5.	Pengaruh agar-agar air terhadap kadar air tanah pada berbagai status kadar air (Sumber : Rajakumar dan Sankar, 2016).	61
5.1.	Pengaruh lateks dan poly-DADMAC terhadap aliran permukaan, infiltrasi dan erosi pada 2 jenis tanah.	70

DAFTAR GAMBAR

No.	JUDUL	Halaman
1.1.	Grafik jumlah makalah tentang kondisioner tanah yang Dipublikasikan yang menurun drastis	8
2.1.	Poly-acrylamide atau PAM (Sojka <i>et al.</i> , 2007).	13
2.2.	Poly-isoprene (Rubber Research Institute of Malaysia, 1970).	14
2.3.	Butiran karet diperbesar 12000 kali (R.R.I.M,1962)	14
2.4.	Poly-Diallyldimethylammonium chloride (Letterman dan Pero, 1990).	16
2.5.	Poly-vinyl alkohol atau PVA (de Boodt, <i>et al.</i> , 1990).	18
2.6.	Poly-vinyl acetat (de Boodt, <i>et al.</i> , 1990).	18
2.7.	Poly-ethylene glycol (de Boodt <i>et al.</i> , 1990).	20
2.8.	Struktur agar-agar air (hydrogel) (Rajakumar and Sankar, 2016).	22
2.9.	Poly-vinyl alkohol yang sambung silangkan dengan asam borak (Rajakumar and Sankar, 2016).	23
3.1.	Jerapan polimer di mineral liat yang sebagian polimer terjerap di mineral dalam bentuk “train”, sebagian menjuntai “tail” dan sebagian membentuk “loop” (Greenland, 1965).	29

- 3.2. Terlalu banyak polimer ditambahkan sehingga terjadi kondisi sterik dimana polimer kembali terdispersi (a sampai e oleh Theng, 1979). 36
- 3.3. Pengaruh polimer dengan berat molekul berbeda terhadap flokulasi liat berdasarkan transparansi larutan (Ueda dan Harada (1966a). 37

BAB I.

PENDAHULUAN

Bahan pembenah tanah atau dalam bahasa Inggrisnya “soil conditioner” di bidang pertanian sebenarnya lebih ditujukan kepada bahan yang dapat membentuk agregat tanah menjadi lebih besar dan berbutir (granular) sehingga gembur, memantapkan agregat tanah, dengan demikian tata udara tanah menjadi baik, ruang pori makro dan mikro bertambah, infiltrasi meningkat, kadar air tanah meningkat, serta aliran permukaan dan erosi berkurang. Selanjutnya diperbaikinya sifat fisik tanah, maka akar tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik sehingga produksi tanaman optimum.

Secara umum bahan pembenah tanah dibagi 3 tipe yaitu :

1. Bahan organik dapat berupa pupuk hijau, kompos, vermikompost, gambut, sisa tanaman atau jerami, mulsa tempurung kelapa, arang (charcoal), dan limbah pabrik organik.
2. Bahan mineral alami contohnya zeolit, gipsum, mineral liat.
3. Bahan anorganik buatan (sintesis), atau lebih populer sebagai bahan polimer contoh poli-vinyl alkohol (PVA), poli-vinyl acetat (PVAc), poli-acrylamida (PAM), dan hidrogel (bentuk agar-agar).

Dari ke tiga tipe bahan pembenah tanah maka hanya bahan organik yang paling lengkap manfaatnya terhadap tanah dan tanaman, karena bahan organik dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah.

Bahan organik organik sebagai bahan pembenah tanah berfungsi sebagai :

1. Pengikat antar butir partikel tanah sehingga dapat membentuk agregat.
2. Melindungi agregat dari tumbukan butiran hujan dan aliran air di permukaan tanah.
3. Banyak menyerap air sehingga meningkatkan kadar air tanah dan mengurangi aliran permukaan.
4. Karena sifatnya seperti spon maka dapat memperbaiki aerasi tanah.
5. Akar tanaman dan hifa cendawan yang dapat memecah dan menembus tanah merupakan bahan organik yang dapat membuat agregat serta mengikat agregat secara kuat.
6. Efek yang tidak langsung adalah bahan organik merupakan sumber makanan mikrobia dan fauna, dimana mikrobia yang mengeluarkan sejenis lendir dapat mengikat partikel tanah.
7. Serta fauna seperti cacing yang dapat membentuk lobang di tanah dan dapat mencampurkan bahan organik ke lapisan yang lebih dalam, sehingga infiltrasi air ke dalam tanah akan meningkat dan bahan organik juga memperbaiki sifat fisik tanah sampai ke dalam tanah. Serta banyak fauna lainnya seperti serangga atau binatang lainnya yang mampu membuat lubang di tanah sehingga dapat meningkatkan infiltrasi dan kadar air tanah.

Kelemahan bahan organik dalam memperbaiki tanah adalah memakan waktu atau tidak instan jadi harus menunggu beberapa bulan,

karena untuk mengikat atau memperbaiki agregat tanah bahan organik perlu didekomposisi atau dilapukkan dahulu. Padahal untuk memperbaiki atau mempertahankan agregat tanah yang mantap dan cepat sangat diperlukan, apalagi pada awal penanaman yang lahannya masih terbuka karena tanahnya baru diolah, dimana pada saat ini aliran permukaan dan erosi akan sangat tinggi, karena itu diperlukan bahan pembenah tanah yang instan atau langsung secara spontan bereaksi dengan tanah dan mempertahankan agregat dari erosi, sebelum tajuk tanaman menutupi permukaan tanah.

Karena itu para peneliti dan industrial membuat bahan kimia atau secara umum berupa bahan polimer yang fungsinya terhadap tanah dan tanaman hampir sama dengan bahan organik, tetapi langsung memperbaiki tanah, tidak menunggu beberapa bulan. Bahan pembenah polimer ini penting diberikan ke tanah sebelum pertumbuhan tajuk tanaman utama tumbuh dan dapat menutupi permukaan tanah, biasanya satu sampai 3 bulan untuk tanaman tahunan. Walau sifatnya instan, bahan polimer buatan tidak dapat menyumbangkan hara seperti bahan organik, tidak mempunyai KTK yang tinggi, tidak dapat berfungsi sebagai buffer pH, tidak sebagai sumber makanan mikrobia dan fauna. Walau demikian ada beberapa bahan polimer buatan seperti poli-acrilamida dikatakan juga sebagai polimer organik karena berasal dari minyak bumi, tetapi paruh hidupnya panjang.

Di buku ini hanya akan membahas bahan buatan berupa polimer sebagai bahan pembenah tanah.

Bentuk dan sifat bahan kondisioner tanah bermacam-macam, perbedaan tersebut dapat berupa :

1. Sifat fisik seperti warna, bentuk atau struktur, sifat kelarutan, hidrofilik atau hidrofobik.
2. Bahan kimia misal struktur kimia, panjang rantai polimer, muatan, reaksinya terhadap bahan tanah.

Tentu saja bahan kondisioner tanah dapat saja berupa bahan buatan (sintesis) atau alami :

- Bahan buatan misalnya polimer atau bahan kimia yang berantai panjang seperti poly-vinyl acetat, poly vinyl alkohol, poly-acrylamida dsb.
- Bahan alami bisa saja bahan mineral seperti zeolit, kapur, atau latex dengan bahan aktif poly-isoprene (dari getah pohon karet).

Kalau bicara tentang kondisioner tanah tentu saja akan anonim dengan polimer, karena sebagian besar bahan aktif untuk kondisioner tanah adalah polimer (bahan kimia berantai panjang). Makanya beberapa buku yang menulis tentang polimer ternyata di dalamnya banyak membahas kondisioner tanah dan begitu juga sebaliknya, menulis tentang kondisioner tanah didalamnya banyak dibahas tentang polimer. Demikian juga dengan tulisan dalam buku ini, akan lebih banyak membahas tentang polimer sebagai bahan aktif di dalam kondisioner tanah.

Memang masih sangat sedikit penelitian tentang bahan kondisioner tanah di Indonesia, atau dapat dikatakan sangat langka. Apalagi cara dan proses pembuatannya masih sangat jauh, berbeda dengan negara maju yang telah melakukan penelitian secara terus menerus tentang proses pembuatan bahan kondisioner tanah dan pengaruhnya terhadap tanah dan tanaman. Misalnya di Belgia (de Boodt, 1990) yang telah membuat bahan kondisioner tanah yang berupa agar-agar (Jely) atau di Amerika Serikat yang telah banyak memproduksi bahan kondisioner tanah yang dapat larut dalam air irigasi disebut poly-acrylamida (PAM). Memang bahan kondisioner tanah tidak sepopuler bahan pupuk, karena sifatnya yang tidak langsung terhadap pertumbuhan tanaman, masalah lain adalah harganya yang juga mahal sehingga petani umumnya kurang berminat dengan bahan ini.

Sebenarnya bahan kondisioner tanah cukup penting dalam mencegah erosi dan mencegah kerusakan tanah di daerah dengan curah hujan sangat tinggi seperti di Indonesia. Karena kondisioner tanah bersifat cepat reaksinya dan begitu diberikan secara langsung akan memperbaiki sifat fisik tanah dan menahan erosi. Jadi di lahan yang tanahnya peka terhadap erosi dan tanah yang strukturnya rusak dapat menggunakan kondisioner tanah. Kondisioner dapat diberikan setelah pengolahan tanah dan sebelum tanaman penutup tanah (cover crop) tumbuh dan dapat menutupi tanah, jadi kondisioner tanah dapat menahan erosi dalam waktu sekitar 2 sampai 3 bulan. Ini lumayan dalam mengurangi erosi terutama bila lahan yang dibuka cukup luas, contoh kalau erosi dalam 3 bulan sebesar 3 ton maka kalau luas lahannya 100 ha, maka erosi akan sebanyak 300 ton, ini cukup berbahaya bila hasil erosi

masuk ke sungai dimana akan banyak sungai-sungai kecil hilang karena tertimbun sedimen atau sungai besar yang semakin dangkal akibat erosi.

Berbeda dengan bahan pemantap (stabilizer) tanah, dimana bahan ini hanya untuk memantapkan tanah supaya jangan rusak atau tererosi, seperti asfalt dan semen. Bahan stabilizer tidak dituntut untuk memperbaiki sifat fisik tanah atau menggemburkan tanah, tetapi hanya untuk mengeraskan dan memadatkan tanah.

Sebaliknya bahan kondisioner tanah yang diharapkan dapat :

1. Memantapkan tanah agar agregat tidak rusak dan tidak mudah terkikis erosi,
2. Bahan kondisioner juga di tuntut untuk memperbaiki atau membentuk agregat tanah yang baik dan aerase tanah, jadi untuk ketersediaan air dan udara bagi perkembangan akar tanaman.

Beberapa contoh bahan kondisioner tanah buatan yang paling banyak di teliti terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman adalah poli-vinyl alkohol (PVA), poli-vinyl acetat (PVAc), poli-acrylamida (PAM), dan Terracotem (bentuk agar-agar) (Wallace and Wallace, 1986; Barvenik, 1994; Letey, 1994, dan Sojka, *et al.*, 2007).. Secara alami sebenarnya bahan organik yang ada di dalam tanah sebagian merupakan polimer sehingga dapat memperbaiki agregat tanah Bahan getah dari tanaman karet juga merupakan polimer yang berantai panjang dan dapat digunakan sebagai bahan kondisioner tanah (Bernas, *et al.* 1995). Tetapi kelemahan bahan getah karet ini adalah bersifat hidrofobik sehingga akan mengurangi infiltrasi dan mengurangi ketersediaan air bagi tanaman. Kelebihannya karena merupakan bahan

organik maka dapat dirombak oleh mikrobia tanah, sehingga tidak akan mencemari lingkungan.

Karena bahan kondisioner untuk memperbaiki lingkungan tanah untuk tanaman, maka bahan ini tidak boleh bersifat racun bagi tanaman dan juga mahluk disekitarnya. Oleh sebab itu ada beberapa syarat yang harus dipatuhi untuk itu, diantaranya :

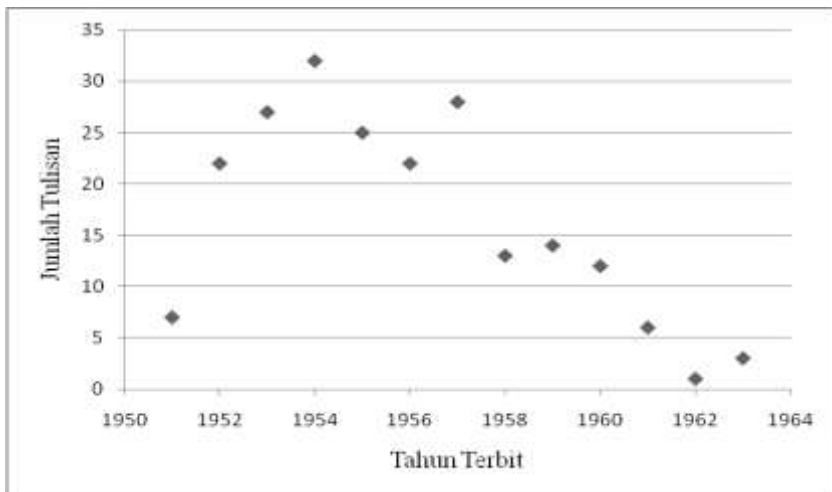
1. Tidak boleh menjadi persaingan dalam menyerap hara tanaman.
2. Tidak boleh mengandung monomer yang terlalu banyak.
3. Tidak boleh yang paruh hidupnya sangat panjang, kalau bisa yang dapat terdekomposisi oleh mikroba.

Seperti dinyatakan oleh Ambrust dan Lyles, 1975 dan de Boodt, 1993 bahwa suatu kondisioner tanah harus bersifat :

1. Memantapkan tanah dalam waktu minimal 2 bulan setelah aplikasi, tetapi sekarang polyacrylamide dapat bertahan lebih lama.
2. Mudah menggunakannya .
3. Harganya juga harus murah.
4. Tidak bersifat racun.
5. Tidak mencemari lingkungan dan
6. Dapat terdekomposisi.

Syarat-syarat di atas muncul karena pada tahun 1950-an masyarakat berlomba membuat bahan kondisioner tanah, karena efeknya terhadap sifat fisik tanah yang cepat, sehingga banyak sekali bahan kondisioner tanah di produksi, tanpa memikirkan efek samping, tetapi setelah digunakan ternyata banyak sekali hal

negatif yang ditimbulkan, serta harga yang relatif mahal. Dapat terdekomposisi atau terurai ternyata sampai sekarang belum ada bahan buatan pabrik yang bersifat demikian, hanya bahan organik yang dapat terdekomposisi secara cepat. Sejak saat itu produksi dan penggunaan kondisioner tanah sangat menurun yang ditunjukkan pula oleh menurunnya jumlah publikasi ilmiah, seperti pada grafik berikut (de Boodt, Hayes dan Herbillion, 1990).



Gambar 1.1. Grafik jumlah makalah tentang kondisioner tanah yang dipublikasikan yang menurun drastis (de Boodt *et al.*, 1990).

Walau demikian masih ada beberapa ahli yang terus melakukan penelitian dan masih memproduksi bahan kondisioner tanah, baik secara industri maupun dari bahan tanaman, seperti di Laboratorium de Boodt di Belgia dan Wallace and Wallace di Amerika Serikat. Di Amerika Serikat salah satu polimer yang paling banyak diteliti adalah Poli-Acrylamide dengan berbagai tipe muatan dan sifat kelarutannya dalam

air. Jadi sampai sekarang masih terus dicari dan diteliti bahan yang sesuai untuk kondisioner tanah, walau tidak sebanyak Tahun 50-an.

Sekarang penggunaan polimer sebagai bahan pembenah tanah di bidang pertanian meledak (booming) kembali setelah didapatkan bahwa polimer seperti polyacrylamide dapat digunakan dalam air irigasi baik disalurkan maupun di sprinkler, dengan penggunaan dalam dosis rendah telah dapat meningkatkan infiltrasi, mengurangi aliran permukaan dan erosi dari saluran (Sojka *et al.*, 2007). Di Amerika Serikat bahkan di adakan Workshop Khusus membahas tentang poly-acrylamide pada 26-27 Februari 2008 di Albany (Hammond, 2008) yang membahas penggunaan polimer, terutama PAM dari semua aspek seperti lingkungan termasuk menjernihkan sungai kecil, untuk industri, untuk pengolahan limbah cair dan untuk pembangunan lainnya.

BAB II.

SIFAT DAN CIRI POLIMER SEBAGAI BAHAN PEMBENAH TANAH

Bahan pembenah tanah umumnya adalah bahan kimia berantai panjang atau polimer, karena itu di dalam buku ini sering secara langsung ditulis polimer. Polimer sebagai bahan kimia yang berantai panjang akan berbeda sifat fisik dan kimianya, bahkan juga sifat biologi bagi polimer organik yang diproduksi secara alami. Semua sifat-sifat polimer tersebut mempengaruhi reaksinya dan hasil interaksinya dengan bahan tanah. Demikian juga dengan sifat-sifat tanah akan sangat menentukan reaksi and interaksinya dengan bahan polimer yang ditambahkan ke tanah. Penjelasan lebih lanjut tentang sifat-sifat polimer tanah perlu di sajikan secara satu persatu.

Kalau kita membicarakan polimer sebagai bahan kimia yang berantai panjang, maka akan lebih jelas bila interaksinya terhadap bahan penyusun tanah seperti liat, kation-kation, dan bahan mineral yang bermuatan positif dan negatif lainnya, maka bahan konsidioner tanah atau polimer perlu diuraikan sifat dan cirinya satu persatu. Tentu saja reaksi dan cara penjerapannya ke bahan tanah, atau mineral liat akan sangat jelas bila dipelajari dalam larutan liat yang murni, atau ditambah perlakuan lainnya seperti ditambah kation-kation basa, atau bahan mineral lainnya seperti yang telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti.

Dengan demikian sifat-sifat polimer ini sangat penting seperti :

- struktur kimianya,
- reaksinya,
- muatannya,
- berat molekulnya,
- type dan
- sifat kelarutannya.

Semua sifat di atas harus diketahui sehingga dapat dipelajari secara jelas mengenai reaksinya dan dampaknya terhadap tanah. Dalam mempelajari reaksi kebanyakan dilakukan di laboratorium seperti reaksinya dengan berbagai tipe liat ditambah bahan-bahan elektrolit lainnya. Karena tidak mungkin mempelajari dasar-dasar reaksinya di tanah secara langsung dimana bahan penyusun tanah sangat beragam dan kompleks.

Beberapa jenis polimer yang telah banyak diteliti, baik itu polimer organik atau anorganik (buatan) atau bentuk-bentuk lainnya dan beberapa diantaranya telah cukup populer penggunaannya di kalangan peneliti dan pengguna.

Beberapa contoh berikut secara detil sifat fisik dan kimia bahan kondisioner tanah adalah:

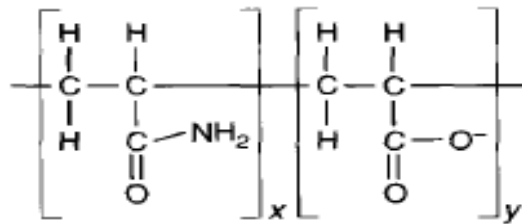
2.1. Poly-Acrylamide (PAM)

Bahan ini merupakan salah satu kondisioner tanah yang banyak diteliti dan diproduksi dari yang berat molekulnya rendah sampai tinggi. PAM dapat dibuat sebagai polimer yang netral, kationik, anionik atau

amfoterik (mempunyai dua muatan positif dan negatif). Jumlah muatan permukaannya dapat dibuat bervariasi melalui hidrolisis (Seybold, 1994). Poly-acrylamide (PAM) merupakan senyawa yang dibentuk dari proses polimerisasi acrylamide (AMD) dan monomer yang sejenis lainnya (Barvenik, 1994). Selanjutnya author memberikan beberapa contoh PAM dari berat molekul yang rendah sampai tinggi sbb :

- Berat molekul rendah $<10^5$ g/mol.
- Berat molekul sedang $10^5 - 10^6$ g/mol.
- Berat molekul tinggi yaitu $(1-5) \times 10^6$ g/mol.
- Berat molekul sangat tinggi yaitu $>5 \times 10^6$ g/mol.

Bahan PAM dapat bersifat anionik atau nonionik, dimana telah berhasil memperbaiki sifat fisik tanah, mengurangi erosi, aliran permukaan, dan pengerasan tanah di permukaan. Sedangkan PAM yang bersifat anionik digunakan sebagai flokulan untuk membersihkan air dan memperlakukan air limbah (Barvenik, 1994). PAM merupakan polimer yang larut dalam air, sehingga penggunaannya mudah yaitu dengan cara dimasukkan dalam pipa irigasi (Seybold, 1994 dan Sojka et al., 2007). Bahkan Seybold (1994) menyatakan bahwa penggunaan lebih luas lagi seperti untuk menguatkan kertas dan papan kertas, sebagai agen adesif (perekat) and agen perenggang untuk minyak bensin, sebagai fluid pemotong, sebagai gel untuk elektroforesis, sebagai pengental bahan, dan juga digunakan untuk industri tekstil. Namun demikian PAM sebagai pembersih air limbahlah yang paling banyak digunakan dan ke dua sebagai bahan dalam industri kertas.



Gambar 2.1. Poly-acrylamide atau PAM (Sojka *et al.*, 2007).

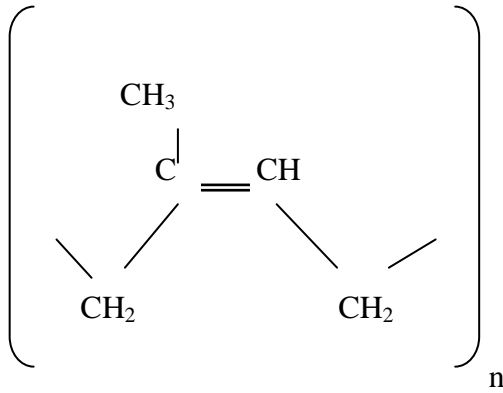
Sejak tahun 1990-an sampai sekarang PAM merupakan bahan pembenah tanah yang paling banyak di gunakan dan diteliti antara lain oleh (Letey, 1994; Ben-Hur, 1994; Sojka and Lentz, 1994; Sojka *et al.*, 2007).

2.2. Getah Karet sebagai bahan pembenah tanah dengan Bahan Polimer Isoprene

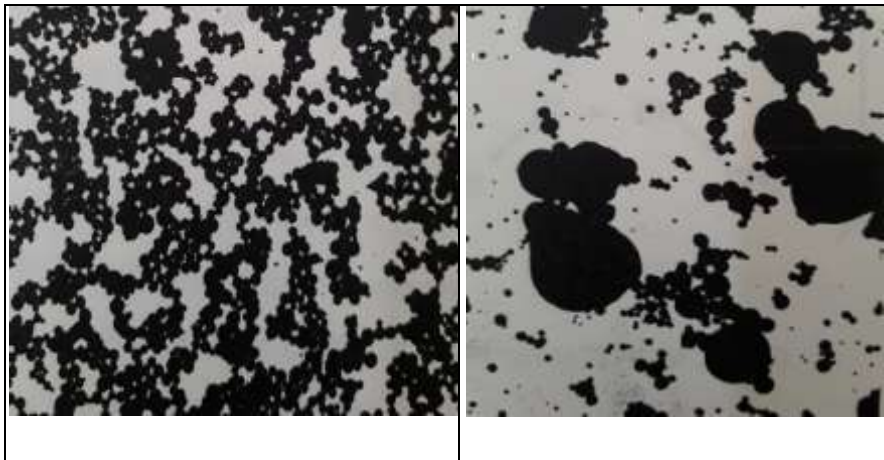
Sudah diketahui bahwa getah karet yang bewarna susu adalah merupakan suatu larutan emulsi yang mengandung sekitar 60% air, 30% karet (poli-isoprene), kurang dari 20% protein serta beberapa bahan penyusun lainnya yang lebih sedikit (Davis, 1937).

Gambar 2.2. merupakan struktur kimia isoprene yaitu bahan karet dari pohon karet (*Hevea braziliensis L.*). Karet merupakan bahan polimer yang diproduksi secara alami sehingga panjang polimernya bervariasi dan mempunyai berat molekul yang tinggi serta disebut “*bi modal*” karena mempunyai dua puncak berat molekul dari sangat rendah sampai sangat besar yaitu (1×10^5 dan $>1 \times 10^6$) (Rubber Research Institute of Malaysia, 1970). Tetapi menurut Cornish, *et.al.*, 1993 berat molekul karet bervariasi, jadi tidak hanya bi modal yakni dengan berat

rata-rata 1,5 juta Dalton dan dapat mencapai lebih dari 9 juta Dalton, didapatkan juga bahwa terdapat butiran polymer sekecil 0,12 μm .



Gambar 2.2. Poly-isoprene (Rubber Research Institute of Malaysia, 1970).



Gambar 2.3. Butiran karet diperbesar 12000 kali (R.R.I.M, 1962).

Di dalam larutan getah karet poly-isoprene berbentuk lonjong seperti buah almond dengan diameter $<0,25 \mu\text{m}$ dengan rata-rata $1,23 \mu\text{m}$ dan panjang dapat mencapai $4 \mu\text{m}$, dalam getah karet terdapat protein sekitar 20%, karena protein bersifat amfoterik maka poly-isoprene (karet) dapat terdispersi atau tidak menggumpal, tetapi bila terbuka di udara maka protein akan cepat terdekomposisi yang mengeluarkan bau busuk, dan karet yang kering akan menggumpal (Polhamus, 1962 dan RRIM, 1962). Secara jelas dapat dilihat dari Gambar 2.3., dimana butir-butir karet dari ukuran yang besar dan kecil dilihat di bawah mikroskop dengan pembesaran 12000 kali. Dari gambar tersebut terlihat jelas bahwa karet dalam bentuk poli-isoprene selalu bergumpal atau berbentuk buah almond baik yang besar maupun yang kecil, jadi tidak seperti polimer buatan yang memanjang atau meregang atau menjulur. Selanjutnya sifat fisik lainnya yang sangat penting adalah polimer isoprene ini tidak mempunyai muatan negatif atau positif tetapi hanya netral dan juga bersifat sangat hidrofobik (tidak dapat menyerap air) (R.R.I.M., 1970). Dari sifat inilah maka karet dapat dibuat balon karena besar ukuran butir yang bervariasi dan bila melekat satu dengan lain sulit untuk lepas karena molekulnya yang sangat berat serta bersifat hidrofobik.

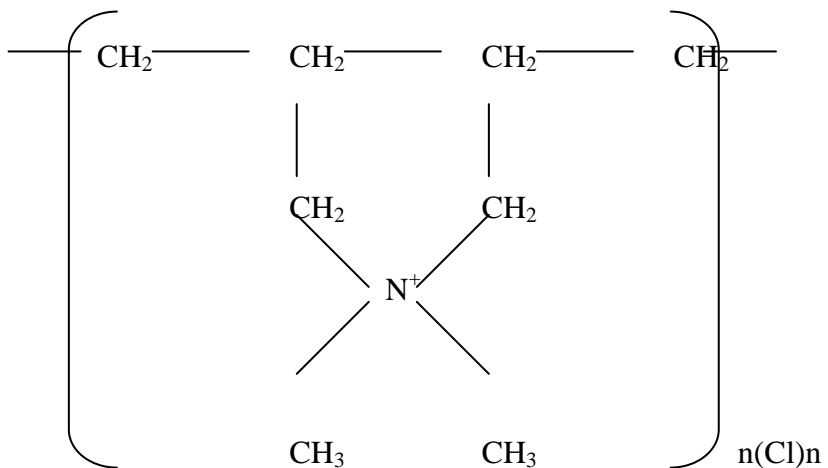
Dengan demikian penggunaan karet sebagai kondisioner tanah harus benar-benar dipertimbangkan pada keadaan air tanah yang rendah dan tentu saja akan sangat tidak sesuai di gunakan di daerah arid (kering), bila tujuannya untuk meningkatkan air infiltrasi atau meningkatkan kadar air tanah. Tetapi sisi baiknya adalah karet dengan senyawa poly-isoprene yang mempunyai ikatan rangkap (double bond),

sehingga senyawa ini dapat dirombak oleh mikrobia. Bernas, 1995 telah memonitor dekomposisi bahan karet yang dicampur tanah di inkubasi selama 4 minggu, dimana sebanyak 39% C dari karet telah hilang dari tanah. Berarti bila digunakan sebagai kondisioner tanah maka efektif hanya dalam jangka pendek bila dosis yang di gunakan rendah (0,02% w/w), karena karet bersifat hidrofobik maka masih perlu penelitian dengan dosis lebih tinggi lagi dan pada berbagai jenis tanah dan lahan.

2.3. Poly-Diallyldimethylammonium Chloride atau Disingkat Poly-DADMAC

Bahan poly-DAMAC merupakan polimer buatan dan dalam bentuk emulsi yang merupakan bahan koagulant yang bersifat poli-elektrik yaitu bermuatan positif. Sehingga mempunyai sifat yang sangat cepat untuk terjerap pada permukaan bahan atau partikel yang aktif terutama dalam larutan air.

Struktur kimia poli-DADMAC dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.4. Poly-Diallyldimethylammonium Chloride (Letterman dan Pero, 1990).

Menurut (Letterman and Pero, 1990) poli-DADMAC nama kimia bahan ini adalah N,N-dimethyl-N-2-propenyl-2-2-propen-1-1ammonium chloride, merupakan bahan yang mempunyai muatan positif dan homopolimer (seragam bentuk struktur polimernya) jadi hanya satu berat molekul yaitu 1×10^6 (sejuta) Dalton.

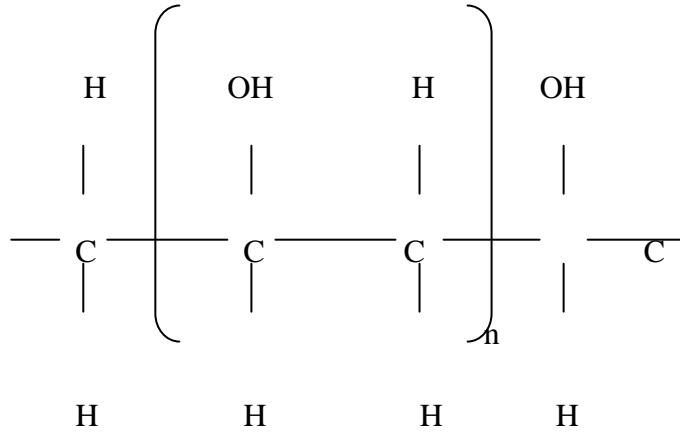
Beberapa penelitian telah banyak dilakukan oleh Theng, 1979; Molyneux, 1984 dan Letterman and Pero, 1990 dalam menjernihkan air untuk keperluan domestik, bahan ini secara cepat telah dapat memflokulasi liat, metal, dan koloid yang berada di air. Sekarang sudah banyak sekali jenis dan macam poli-DADMAC yang di produksi terutama untuk penjernihan air dan bahan industri lainnya. Bahan ini belum banyak digunakan sebagai kondisioner tanah terutama untuk memperbaiki sifat fisik tanah dan mencegah erosi. Karena itu Bernas *et al.*, 1995 menggunakan bahan ini pertama kali untuk memflokulasikan liat dalam larutan, juga untuk memperbaiki agregat, infiltrasi dan erosi. Hasilnya cukup menjanjikan dalam memperbaiki sifat-sifat fisik tanah.

2.4. Polyvinyl Acetate dan Polyvinyl Alkohol

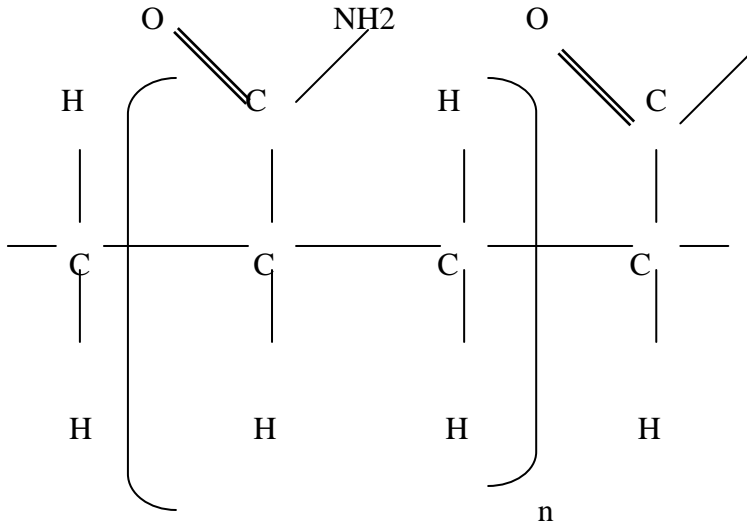
Kedua polimer ini adalah buatan dan berbeda sifat fisiknya, dimana polyvinyl acetat (PVAc) merupakan emulsi sedangkan polyvinyl alcohol (PVA) merupakan bahan padat bewarna agak putih dan bentuk granular atau tepung, tidak bersifat racun, fleksibel, dan dapat terdekomposisi (Pajak *et al.*, 2010 dan Rapa, 2014).

Sudah berbagai macam bentuk PVA yang diproduksi secara industri dan yang membedakan biasanya adalah rantai panjangnya yang

tercemin dari berat molekul bahan ini, dimana semakin panjang rantai polimer maka akan semakin tinggi pula berat molekulnya.



Gambar 2.5. Poly-vinyl alkohol atau PVA (de Boodt, *et al.*, 1990).



Gambar 2.6. Poly-vinyl acetat (de Boodt, *et al.*, 1990).

Polyvinyl alkohol (PVA) berat molekulnya lebih rendah dibandingkan dengan karet atau poli-DADMAC, dimana PVA dengan

kode GLO₃ berat molekulnya sekitar 15000 Dalton, dan kode GH20 berat molekulnya 100.000 Dalton, serta masing-masing setiap 100 segment mempunyai 12 group acetyl (Carr dan Greenland, 1975).

Sifat kimia lainnya adalah tidak bermuatan (netral) seperti PVA. Penggunaan PVA perlu dilarutkan dalam air dan dipanaskan pada temperatur 70-80 °C dan diaduk terus sampai semua larut, makanya PVA walau sangat efektif para konsumen masih jarang menggunakannya apalagi kalau penggunaan dalam skala besar, maka butuh biaya lagi untuk menyediakan air panas. Sisi baiknya PVA dapat terdekomposisi sehingga tidak akan menumpuk atau mencemari lingkungan, menurut Chiellini *et al.*, 1999 PVA yang mengandung 12% kelompok asetat dapat terdekomposisi sebanyak 7% selama 48 hari.

Selanjutnya dinyatakan bahwa PVAc penggunaannya hanya perlu dilarutkan saja (Carr dan Greenland, 1975). Tentu saja cara penggunaan PVA yang tidak praktis dan membutuhkan biaya mahal maka bahan ini masih kurang terkenal penggunaannya oleh konsumen, walaupun penelitian bahan ini sudah sangat banyak dilakukan di seluruh dunia. Makanya PVA dan PVAc kurang populer dibandingkan dengan polyacrylamide yang mudah penggunaannya dan dapat digunakan dalam dosis yang lebih rendah.

2.5. Poly-Ethylene Glycol (PEG)

Bahan ini merupakan polimer yang berantai panjang dengan berat molekul yang tinggi, bersifat larutan; banyak digunakan dalam studi untuk mempelajari proses osmotik dalam mempertahankan media tanaman dalam kondisi potensi kadar air yang konstant; contoh yang

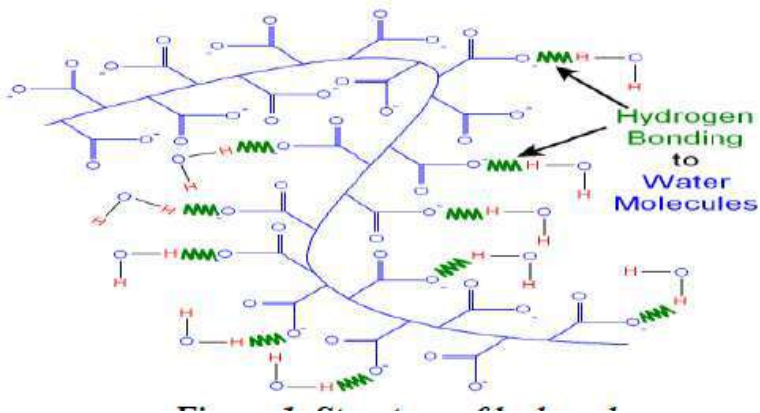
disebut ko-polimer. Ko-polimer merupakan hasil sambung silang antara 2 monomer dan satu monomernya harus hidrofilik, dengan konfigurasi bergantian sepanjang rantai jaringan polimer (Ahmed, 2015). Bentuknya jelas seperti agar-agar bewarna putih dan dapat menyerap air dalam jumlah banyak sekitar 300-500 kali beratnya.

Menurut (Ahmed, 2015; Rajakumar and Sankar, 2016) karakteristik bahan polimer agar-agar air (hidrogel) yang diinginkan untuk diterapkan di pertanian adalah sbb:

1. Kemampuan menyerap air tinggi.
2. Tidak bewarna dan tidak berbau.
3. Permeabilitasnya baik (sedang).
4. Tingkat kelarutan rendah.
5. Kandungan monomer rendah di bawah 0,05%.
6. Tahan lama dan mantap baik di lingkungan maupun waktu disimpan.
7. pH netral setelah menyerap air.
8. Dapat di dekomposisi (biodegradable) dan tidak melepaskan senyawa beracun.
9. Mampu dibasahi kembali.
10. Tidak bersifat racun untuk tanaman dan lingkungan.
11. Tahan terhadap sinar.

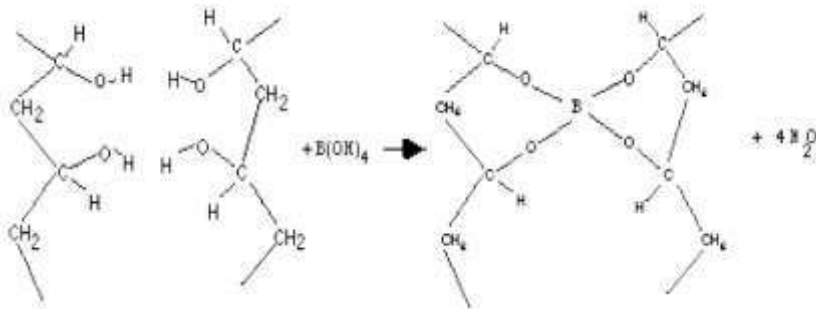
Pengaruh polimer berbentuk agar-agar terhadap pertumbuhan akar juga telah diteliti oleh Danneels *et al.*, 1992 telah menggunakan suatu bahan sintetik (buatan) seperti agar yang kemampuan menyerap airnya sangat tinggi disebut “swollen hydrogel” atau agar agar yang mengembang dengan bahan kimianya “*Potassium Propenoate*

Propenamide Copolymer”. Di Indonesia juga ada di pasaran dengan nama Terracottem, Agar-agar ini dapat bermanfaat bagi penanaman di lahan dengan tekstur tanah pasir atau tanah liat. Karena di tanah pasir dapat meningkatkan penyerapan air sehingga tersedia bagi tanaman. Ditanah liat pengaruhnya dapat memperbaiki struktur tanah, membuat ruang pori makro sehingga dapat memperbaiki aerasi tanah.



Gambar 2.8. Struktur agar-agar air (hydrogel) (Rajakumar and Sankar, 2016).

Agar-agar air (hydrogel) dibuat dari menyambung silangkan bahan polimer dengan bahan lainnya sehingga terbentuk jaringan tiga dimensi yang dapat menyerap banyak air seperti di Gambar 2.8. dan 2.9. Menurut Calo dan Khutoryanskiy, 2015 hydrogel dapat dibuat dari PVA, poly vinyl pyrrolidone, PEG, PAM dan beberapa polisakarida. Karena mengandung kadar air tinggi, berpori, dengan konsistensi yang lembut maka hampir serupa dengan jaringan hidup buatan sehingga dapat digunakan juga di dunia kedokteran.



Gambar 2.9. Poly-vinyl alkohol yang sambung silangkan dengan asam Borak (Rajakumar and Sankar, 2016).

2.7. Polisakarida, Glukosa Dan Bahan Dari Tanaman Sebagai Bahan Polimer Pembena Tanah.

Diantara polimer yang berasal dari tanaman ini, polisakarida merupakan yang cukup banyak diteliti, bahkan (Theng, 1979) telah membahas banyak bahan polimer alami reaksinya dengan bahan tanah. Polisakarida yang di ekstrak dari tanaman kacang-kacangan biasanya digunakan dengan dilarutkan dalam air, serta ditambah larutan asam agar dapat larut secara sempurna (Wallace, 1986). Tetapi bahan ini tidak memantapkan agregat tanah secara kuat dan lama, karena polisakarida sebagai bahan alami lebih cepat terdekomposisi dibandingkan bahan buatan. Sehingga masih dipertanyakan fungsinya sebagai kondisioner tanah, mungkin lebih baik campur semua senyawa organik dan bahan lainnya seperti dalam bentuk pupuk organik.

Dari beberapa polimer di atas yang akhir-akhir ini banyak diteliti adalah Poly-Acrylamida (PAM), dimana dari yang bermuatan positif, negatif dan tanpa muatan serta dengan berbagai berat molekul, sampai yang larut dalam air irigasi telah dicobakan. Dan Sojka, 1995 telah

mendapatkan hadiah “Nobel” karena telah membuat PAM yang dapat diberikan bersama air irigasi. Jadi PAM ini sangat praktis cara penggunaannya dan tentu saja sangat efisien, dan digunakan dalam dosis rendah, penggunaannya sambil mengairi tanaman secara bersamaan juga dapat memperbaiki struktur tanah sehingga kerusakan tanah dan erosi dapat dikurangi.

BAB III.

JERAPAN POLIMER SEBAGAI BAHAN PEMBENAH TANAH TERHADAP BAHAN PENYUSUN TANAH

Hampir semua penelitian tentang jerapan polimer terhadap bahan-bahan di dalam tanah atau liat dilakukan pada tahun 1950-an dan 1960-an karena pada waktu itu produksi bahan kondisioner tanah sangat banyak namun tidak mempertimbangkan harga dan pengaruhnya terhadap lingkungan, sehingga turun drastis (De Boodt *et al.*, 1990). Berdasarkan penelitian yang sudah banyak dilakukan maka proses dan mekanisme jerapan polimer banyak dilaporkan pada tahun 1970 sampai 1990-an. Sejak saat itu penelitian tentang polimer sebagai kondisioner tanah menurun drastis dan sangat sedikit sekali, dikarenakan harganya yang mahal dan kurang dimengertinya reaksi antara polimer dan bahan tanah atau mineral liat. Itulah sebabnya kebanyakan literatur yang ada banyak sekali diambil dari tahun-tahun tersebut. Sekarang ada beberapa polimer yang sangat banyak digunakan misal PAM dan hidrogel, tentu saja reaksinya di dalam tanah masih berdasarkan bahan bacaan yang di bawah tahun 90-an. Beberapa ahli yang cukup banyak memberikan informasi dalam kemajuan ilmu tentang jerapan polimer dengan mineral liat dan bahan tanah lainnya, seperti yang dikutip dalam pembahasan berikut ini.

Sebelum membicarakan tentang jerapan (adsorpsi) maka sebaiknya dijelaskan dahulu definisi jerapan tersebut atau jangan sampai tertukar dengan kata lain terutama reaksi. Menurut Hayes dan Mingelgrin (1990) proses jerapan suatu bahan kimia tidaklah mengubah

bahan tersebut kebentuk bahan lain tetapi bahan tersebut hanya terakumulasi dipermukaan bahan mineral liat atau bahan lainnya. Selanjutnya menurut author suatu molekul polimer dapat terjepit satu atau beberapa lapisan molekul di permukaan bahan liat atau bahan lainnya.

Jerapan molekul polimer terhadap permukaan liat atau bahan tanah akan tergantung pada tipe, muatan dan berat molekul polimer, sifat dan ciri liat serta tipenya, konsentrasi bahan elektrolit di larutan (Greenland, 1965, 1972; Theng, 1979; Ueda dan Harada, 1968a dan 1968b). Berikut ini akan dijelaskan tentang jerapan polimer yang berhubungan dengan muatannya.

3.1. Jerapan Polimer Bermuatan Netral Terhadap Mineral Liat.

Polimer netral atau tak bermuatan maksudnya polimer dengan muatan nol, jadi sebagai bahan kimia ada yang bermuatan negatif, positif dan nol atau tanpa muatan (netral). Polimer bermuatan netral yang sangat populer adalah poli-vinyl alkohol (PVA), dimana sangat banyak diteliti dan dibahas sejak tahun 60-an oleh beberapa author diantaranya (Greenland, 1963, 1965 dan 1972; Williams *et al.*, 1967 dan Theng, 1979). Masalah penelitian yang paling banyak dilakukan adalah tentang jerapan PVA dengan liat di dalam suatu larutan atau suspensi liat, ini dilakukan agar dapat di mengerti prosesnya baik secara fisik dan kimia. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di dalam larutan atau suspensi liat maka akan terjadi beberapa hal seperti :

- Akan terjadi koagulasi liat yang ada di suspensi, jadi liat akan bergabung satu dengan lainnya oleh polimer tetapi butir yang terbentuk tidak cukup besar untuk mengendap.
- Akan terjadi flokulasi liat di suspensi karena liat akan bergabung oleh polimer satu dengan lainnya membentuk butiran yang besar dan butiran tersebut cukup besar untuk mengendap.
- Terjadi “steric condition” dimana polimer akan terjerap disekeliling mineral liat maka mineral akan tetap dalam keadaan dispersi di suspensi.
- Mineral liat di suspensi akan terflokulasi bila jerapan polimer pada liat membentuk laso dan jantai atau buntut sehingga dapat terjerap ke liat lainnya.
- Mineral liat akan lebih mudah dan cepat terflokulasi oleh polimer bila ditambah basa-basa ke dalam larutan.

Polimer bermuatan netral lainnya yang banyak juga telah diteliti adalah poli-isoprene yang merupakan getah karet (lateks). Tetapi penelitian yang dilakukan banyak berupa pemakaian langsung ke tanah sebagai bahan kondisioner tanah, karena bahan lateks walaupun bermuatan netral, juga bersifat hidrofobik sehingga sulit mempelajari jerapannya ke mineral liat atau bahan tanah lainnya di dalam larutan (Soong, 1979; Bachik, 1979; dan Bernas *et al.*, 1995).

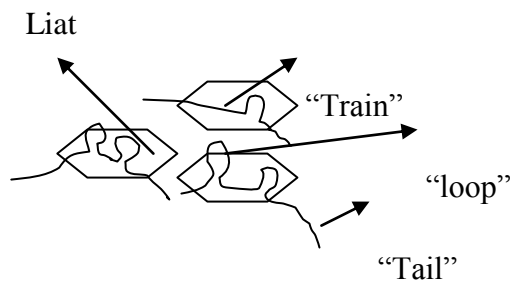
Dalam mempelajari jerapan suatu polimer di dalam tanah secara langsung adalah tidak mungkin, karena itu banyak penelitian yang dilakukan dengan mempelajari jerapan polimer dengan suatu type liat tertentu didalam larutan atau suspensi liat. Biasanya penelitian dilakukan

dengan memasukkan polimer dalam suspensi liat yang telah diketahui konsentrasinya. Kemudian setelah didiamkan beberapa jam, suspensi tersebut diambil dan diukur berapa kadar liat yang masih terdapat dalam suspensi tersebut. Faktor-faktor lain seperti larutan elektrolit dan kandungan basa-basa tertentu, pH serta kandungan logam tertentu juga banyak dibahas.

Greenland merupakan salah satu peneliti yang cukup banyak pengalaman dalam meneliti bahan polimer. Menurut Greenland (1972) bila suatu polimer yang bersifat netral, linear, dan larut dalam air dijerap oleh bahan mineral liat, maka tidak semua segmen (ruas) dari polimer tersebut akan melekat pada permukaan liat. Tetapi hanya sebagian yang melekat disebut “train”, sebagian lagi akan menjulur kearah luar membentuk hook yang disebut “loops” seperti lingkaran laso dan sebagian lain akan terjurai seperti ekor disebut “tails”. Hal yang sama didapatkan oleh Kavanagh *et al.*, 1978 bahwa poli-vinyl alkohol dapat dijerap oleh liat Illit dan Montmorillonit dalam larutan, dimana sebagian PVA dijerap oleh permukaan liat tersebut dalam bentuk train dan sebagian lagi dalam bentuk “loops” dan “tails”. Terbentuknya laso dan ekor sangat penting sebagai jembatan pengikat ke liat lainnya, sehingga akan terjadi flokulasi liat di larutan. Bila semua polimer terjerap dalam bentuk train maka akan terjadi sterik dimana liat akan tetap terdispersi. Sedangkan jerapan PVA pada Gibsit sangat berbeda dimana hanya 7% PVA dijerap dalam bentuk train dan sebagian besar dalam bentuk loops dan tails. Hal inilah yang dapat menjelaskan mengapa PVA merupakan bahan flokulan yang baik untuk Gibsit (Al_2OH_6)_n tetapi kurang dapat memflokulasi liat Illit dan Montmorillonit. Maksudnya PVA sangat

efektif dalam mengendapkan Gipsit di dalam larutan, tetapi hanya sebagian dari Illit dan Montmorillonit yang diendapkan. Ternyata polimer netral ini sangat efektif untuk mengendapkan bahan dengan Kapasitas tukar kationnya rendah tetapi kurang untuk liat dengan KTK tinggi.

Dapat juga disimpulkan bahwa semakin banyak bentuk laso (loops) dan ekor (tails) maka akan semakin banyak endapan yang terjadi. Disamping itu Greenland (1965a dan b) menyatakan bahwa untuk lebih banyak mengendapkan suatu liat dengan KTK yang tinggi diperlukan suatu polimer yang bermuatan netral dengan berat molekul yang tinggi, jadi PVA sendiri berat molekulnya masih rendah.



Gambar 3.1. Jerapan polimer di mineral liat yang sebagian polimer terjerap di mineral dalam bentuk “train”, sebagian menjuntai “tail” dan sebagian membentuk “loop” (Greenland, 1965).

Lebih lanjut dilaporkan oleh Greenland (1965a dan b) bahwa polimer yang ditambahkan pada suspensi liat dapat membentuk ikatan antar partikel liat yang sudah berdekatan satu dengan lainnya. Greene *et al.*, 1978 menggunakan PVA yang mengandung 12% Acetil direaksikan

dengan suspensi liat yang dijenuhi Ca atau Ca-illit, ternyata banyak PVA dijerap oleh liat (train) tetapi hanya sedikit terjadi flokulasi (pengendapan). Artinya terjadi ikatan antar liat tetapi ikatan tersebut tidak membentuk butiran (partikel) yang lebih besar, sehingga tidak terjadi pengendapan.

Flokulasi liat dalam suspensi oleh polimer juga akan sangat tergantung pada konsentrasi bahan elektrolit (Greenland, 1965). Greene *et al.*, 1978 telah menambahkan PVA dan calsium ke dalam larutan Illit yang dijenuhi Ca (Ca-illit), ternyata flokulasi yang terjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan penambahan CaCl_2 . Emerson dan Raupach (1963) membuat suatu model (bentuk) interaksi antara PVA, elektrolit dan Na-Montmorillonit. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk meningkatkan flokulasi minerat Montmorillonit maka sebaiknya ditambahkan dahulu polimer baru disusul garam atau bahan elektrolit lainnya.

Theng (1979) mengukur banyaknya PVA yang dijerap di liat Montmorillonit yang dijenuhi beberapa jenis kation yang berbeda. Hasil yang didapat dari larutan liat (0,5% berat/vol) adalah PVA dijerap sebesar 0,8% dari tiap 1 g liat Montmorillonit yang dijenuhi Na.); dan 3 g dari g liat yang dijenuhi Ca; dan 0,15 g dari 1 g liat yang dijenuhi Ce. Hal ini disebabkan oleh polimer yang tidak dapat dijerap pada permukaan luar dan dalam liat Na-Montmorillonit. Greenland (1963) yang cukup penting dalam jerapan bahan polimer dipermukaan liat adalah keterbukaan permukaan liat, hal ini tergantung pada kekuatan interaksi antara kation yang dapat dipertukarkan dan lapisan silika alumina (lapisan liat).

Emerson dan Raupach (1963) mendapatkan bahwa bila PVA ditambahkan ke dalam suspensi Montmorillonit maka tidak terjadi pelepasan kation-kation atau dengan kata lain PVA terjerap di lapisan liat tetapi tidak dapat menukar kation dalam jerapan liat. Dengan demikian author menyarankan bahwa PVA dijerap oleh liat melalui ikatan H yaitu ikatan antara Group OH dari polimer PVA dengan O dari permukaan silika liat. Akan tetapi pendapat tersebut dibantah oleh Greenland (1972) karena PVA sebagai senyawa alkohol sederhana tidak akan dapat membentuk ikatan H yang kuat dengan oksigen dari permukaan silika liat. Dia menyatakan bahwa yang terjadi justru reaksi yang berhubungan secara langsung maupun tidak langsung berhubungan dengan pertukaran kation. Dowdy dan Mortland (1967) juga menyatakan pendapat yang sama dengan Greenland. Selanjutnya Greenland (1972) menyatakan bahwa group silanol pada permukaan liat biasanya mengikat air sangat kuat sehingga polimer tidak dapat dijerap karena tidak dapat menggantikan air dari permukaan liat. Author menyatakan bahwa polimer dijerap oleh permukaan siloxane liat disebabkan oleh terjadinya gaya Van der Waals yang ditimbulkan oleh banyaknya ikatan antara permukaan liat dengan segmen polimer.

Secara umum disimpulkan bahwa jerapan antara non-ionic polimer (polimer netral) dengan liat dalam larutan atau suspensi liat tergantung pada tipe liat, konsentrasi elektrolit, kation terjerap di liat, dan berat molekul polimer. Dengan interaksi yang terjadi melalui Gaya Van der Waals.

3.2. Jerapan Polimer Yang Bermuatan Positif Pada Liat

Kekuatan suatu polimer untuk dijerap di atas permukaan liat adalah berdasarkan muatannya, dimana urutannya adalah polimer kation > polimer netral > polimer anion (Ben-Hur *et al.*, 1992). Jumlah polimer bermuatan positif yang akan dijerap oleh liat di dalam larutan akan lebih banyak, karena polimer ini dapat dijerap di permukaan luar dan dalam mineral liat. Walaupun demikian adalah sangat kecil kemungkinan polimer untuk menutupi semua permukaan dalam dari mineral liat, karena kalau titik kontak antara polimer dan permukaan liat bertambah maka pergerakannya akan berkurang, sehingga polimer akan menumpuk disekitar pinggiran kristal liat (Lagaly, 1987). Hal inilah yang telah banyak diteliti oleh para pakar sehingga didapat suatu kesimpulan bahwa banyaknya polimer yang dijerap oleh liat tidak selalu menggambarkan bahwa polimer tersebut merupakan flokulan yang baik.

Black *et al.*, 1966 melaporkan bahwa polimer bermuatan positif dapat berfungsi baik sebagai koagulan maupun flokulan. Sebagai koagulan, polimer bermuatan positif akan menekan lapisan ganda difusi (diffuse double layer) di permukaan liat. Sedangkan sebagai flokulan, polimer ini akan membentuk ikatan antar partikel liat dan ini akan tergantung dengan konsentrasi liat dalam suspensi. Sehingga semakin tinggi konsentrasi liat dalam larutan maka semakin banyak liat yang terflokulasi atau mengendap.

Polimer kation biasanya lebih efektif dari pada polimer netral dan anion dengan berat molekul yang sama dalam memflokulasikan partikel liat. Demikian juga pada polimer dengan berat molekul yang lebih rendah (Dixon, *et al.*, 1967). Sifat dari polimer bermuatan positif yang

merupakan flokulan terbaik telah banyak digunakan untuk menjernihkan air dengan cepat, sebagai contoh Poly-dialil dimetil ammonium chlorit atau disingkat dengan Poly-DADMAC. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Bernas, *et al.*, 1995) menunjukkan bahwa penggunaan 2 g poly(DADMAC) per kg tanah atau sebesar 0,2% secara nyata telah memflokulasikan sekitar 98% dari liat yang terdispersi secara mekanik untuk tanah Alfisol. Dan dengan dosis yang sama telah mengendapkan (memflokulasikan) sebanyak 85% liat yang terdispersi dari tanah Mollisol, untuk lebih jelasnya lihat Tabel 3.1. berikut.

Tabel 3.1. Perlakuan poly-DADMAC dan poly-Isoprene terhadap flokulasi liat

Dosis g polimer/kg tanah	Flokulasi Liat dari tanah Mollisol	Flokulasi Liat dari tanah Alfisol
Tanpa polimer	40%	42%
1 g poly-isoprene	50%	50%
2 g poly-isoprene	48%	46%
1 g poly-DADMAC	80%	95%
2 g poly-DADMAC	85%	98%

Sumber : Bernas, *et.al.*, 1995.

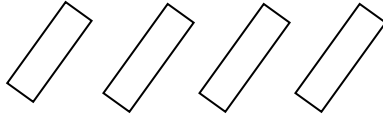
Dibandingkan dengan polimer netral (poly-isoprene) dimana pada dosis yang sama hanya mampu mengendapkan liat sebanyak 46% dan 48%. Hal ini disebabkan karena polimer bermuatan positif yang mampu dijerap oleh permukaan luar dan juga permukaan dalam liat, dan juga

mampu mempertukarkan kation di kompleks jerapan liat. Sedangkan polimer netral tidak mampu menggantikan air yang diikat kuat pada permukaan liat, sehingga proses yang terjadi hanya gaya Van der Waals, dengan demikian akan lebih sedikit memflokulasikan liat. Hal ini juga menunjukkan bahwa polimer netral tidak baik bila digunakan untuk memflokulasikan liat di dalam larutan atau digunakan sebagai bahan penjernih air.

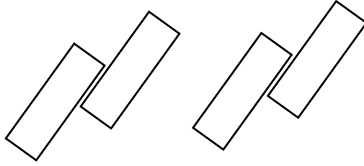
Jerapan polimer terhadap liat juga tergantung pada kapasitas tukar kation liat tersebut. Liat montmorillonit lebih banyak menjerap polimer positif dari pada liat Kaolinit (Black, *et al.*, 1966). Ueda dan Harada (1966a dan 1966b) melakukan percobaan dengan menambahkan poly-DADMAC-SO₂ ke dalam suspensi liat kaolinit. Didapatkan bahwa flokulasi dan sedimentasi dapat terjadi secara langsung dengan penambahan polimer tersebut.

Akan tetapi penambahan polimer dengan dosis yang lebih tinggi menyebabkan dispersi liat kembali terjadi dan disebutnya sebagai “steric effect” atau keadaan sterik atau tolak menolak (Theng, 1979). Keadaan ini dapat terjadi karena semua polimer terjerap kepermukaan liat (train) dan tidak dapat membentuk lingkaran (“loop”) and ekor (“tail”) sehingga tidak dapat menyatukan liat yang lainnya.

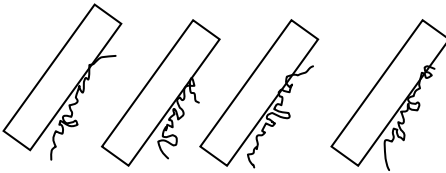
Berikut gambar-gambar merupakan tahapan keadaan liat yang terdispersi dalam suspensi air sampai terdispersi kembali karena kebanyakan polimer yang ditambahkan.



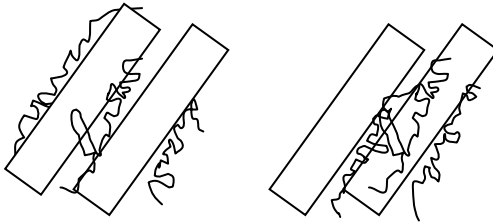
Gambar a. Liat di larutan suspensi dalam keadaan dispersi dan stabil.



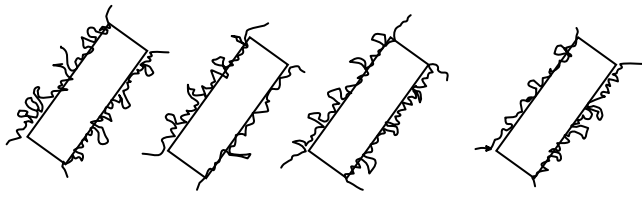
Gambar b. Bila ditambahkan bahan elektrolit maka terjadi koagulasi.



Gambar c. Bila hanya sedikit polimer diberikan maka liat tetap terdispersi.



Gambar d. Dengan penambahan polimer yang cukup maka menyebabkan liat terflokulasi.

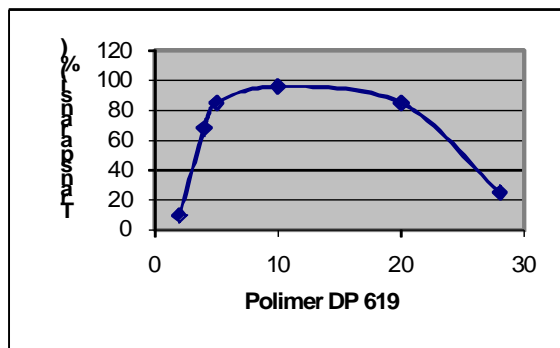
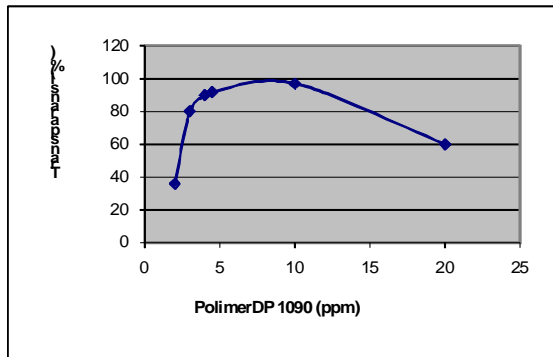


Gambar 3.2. Terlalu banyak polimer ditambahkan sehingga terjadi kondisi sterik dimana polimer kembali terdispersi a sampai e (Theng, 1979).

Dari ilustrasi di atas nampak jelas bahwa untuk memflokulasikan mineral liat di dalam suspensi air maka harus tepat perhitungannya (jumlah) polimer yang ditambahkan. Dan selain dengan penambahan polimer maka penambahan bahan elektrolit (seperti Na atau Ca) dalam jumlah sedikit juga akan membantu proses flokulasi.

Nampaknya hanya sedikit jumlah polimer dengan rantai panjang untuk menyebabkan terjadinya flokulasi secara keseluruhan (sempurna), jumlah polimer ini akan semakin rendah lagi dengan semakin meningkatnya berat molekul suatu polimer yang digunakan. Sebagai contoh polimer dengan berat molekul lebih tinggi 1430 Dalton (DP 1090) dibutuhkan lebih sedikit dibanding polimer dengan berat molekul yang lebih rendah 64 Dalton (DP 619) untuk memflokulasikan liat.

Ueda dan Harada (1968b) juga melakukan penelitian dengan menggunakan poli-DADMAC-SO₂ yang mempunyai berat molekul berbeda. Ternyata kedua polimer dapat menurunkan kapasitas tukar kation liat dan meningkatkan kapasitas tukar anion liat Montmorillonit. Walaupun jumlah polimer yang dijerap berbeda; tetapi polimer dengan berat molekul lebih rendah (14.000 Dalton; DP=67) dijerap lebih banyak dari pada polimer dengan berat molekul (167.000 Dalton; DP=791).



Gambar 3.3. Pengaruh polimer dengan berat molekul berbeda terhadap flokulasi liat berdasarkan transparansi larutan (Ueda dan Harada (1966a).

Polimer kation bermuatan (positif) juga dapat memflokulasikan partikel silika seperti dilaporkan Iler (1971). Peneliti menggunakan poly-methacryloyloxyethyl diethyl ammonium methyl sulfate untuk memflokulasikan partikel silika yang bersifat koloid dengan beberapa ukuran yang berbeda. Dilaporkan bahwa jumlah polimer yang dibutuhkan tergantung pada diameter partikel silika. Semakin besar diameter silika maka semakin sedikit jumlah polimer tersebut dibutuhkan untuk memflokulasikan silika (Tabel 3.2).

Roberts *et al.*, 1974 menginvestigasi flokulasi liat kaolinit dengan Hidrolisa Alumunium dan polimer kation. Penambahan alumunium dahulu kemudian disusul polimer dengan dosis rendah dan sama yaitu 5 ppm telah menghasilkan sedimen yang maksimum. Jumlah sedimen berkurang setelah penambahan alumunium meningkat lebih dari 20 ppm. Hal tersebut disebabkan muatan alumunium yang positif meningkatkan muatan positif liat sehingga menekan jerapan poli-akrilamid positif dan mengurangi flokulasi suspensi liat.

Pengaruh polimer positif terhadap flokulasi liat juga tergantung pada pH suspensi. Ueda dan Hara (1968a) menggunakan 4 tipe polimer yang berbeda pH-nya untuk memflokulasikan suspensi liat. Pada pH 7 setiap polimer mempunyai kemampuan yang sama untuk memflokulasikan liat kaolinit, tetapi pada pH yang lebih tinggi maka kemampuannya untuk memflokulasikan liat berbeda. Perbedaan ini disebabkan oleh pH polimer yang berbeda.

Dari beberapa penelitian yang telah diuraikan di atas maka dapat disimpulkan bahwa polimer kation akan terjerap di permukaan liat atau dapat memflokulasikan liat akan tergantung pada :

- kapasitas tukar kation liat,
- tipe liat,
- pH,
- serta jumlah,
- dan berat molekul polimer.

Tabel 3.2. Jumlah polimer yang dibutuhkan untuk memflokulasikan silika berdasarkan ukuran partikelnya.

Polimer	Tipe silika		Persen polimer untuk	
	Diameter partikel (nm)	Luas permukaan (m ² /g)	Memflokulasikan semua silika	Menjenuhi permukaan silika
Buatan-1	4	650	10	36.25
Ludox SM	9	330	5.75	18.5
Ludox HS	14	124	4.55	12.25
Ludox TM	25	124	2.7	6.75
Ludox TM dengan 0,01 NaCl	25	54	2.7	7.25
Buatan-2	50	40	0.8	2.6
Buatan-3	70	22	-	1.55
Buatan-4	120	22	0.127	0.65
Buatan-5	124	12	0.125	0.55
Buatan-6	220		0.035	0.25

Selanjutnya kecepatan jerapan polimer bermuatan positif di dalam larutan atau suspensi lebih cepat dari pada polimer netral dan negative, sebagai akibat liat yang bermuatan negatif.

3.3. Jerapan Polimer Di Tanah

Reaksi atau jerapan polimer di suspensi liat atau koloid mudah di monitor dan diukur di dalam tabung reaksi di laboratorium sehingga mudah dipahami dengan jelas proses dan reaksinya, apalagi bahan yang akan digunakan secara jelas diketahui. Tetapi bila polimer digunakan di tanah maka reaksi dan jerapannya akan lebih kompleks dan sulit dimengerti, karena bahan tanah yang juga terdiri dari berbagai jenis bahan, dan bahan aktif liat di tanah juga sudah dijenuhi oleh basa-basa atau kation lainnya. Tambahan juga bahwa kadang-kadang sifat dan ciri reaksi polimer di suspensi liat atau koloid tidak selalu mencerminkan reaksinya di dalam tanah atau permukaan tanah, seperti di bahas seperti berikut.

Dalam beberapa tahun terakhir ini diantaranya Wood dan Oster (1985), Mithcell (1986); Letey (1994), Ben-Hur (1994) dan Sojka, 1995, telah melakukan penelitian dengan mencampurkan polimer dengan air irigasi untuk menstabilkan tanah. Dari penelitian ini telah didapatkan bahwa dengan cara ini telah dapat mengurangi biaya (digunakan dalam dosis rendah) dan lebih praktis dalam menutupan permukaan tanah oleh partikel tanah yang lebih halus (surface sealing), juga telah mengurangi dispersi liat bila polimer diberikan dalam air irigasi, dengan demikian mengurangi penutupan pori dalam profil tanah.

Jerapan polimer pada liat dalam larutan air dan tanah secara keseluruhan tidaklah dapat disamakan. Sebagai contoh, poli-anion

merupakan suatu flokulan yang baik dalam larutan liat tetapi tidak memantapkan agregat mikro atau makro tanah kecuali sistem tersebut mengandung kation poli-valensi yang dapat bertindak sebagai titik kontak ke permukaan liat, sebagai contoh oksida besi atau aluminium yang biasanya menutupi liat atau partikel tanah berperan sebagai titik kontak antara liat dan polimer (Theng, 1979 dan Letey, 1994). Menurut Ben-Hur *et al.*, 1992 jerapan polimer ke permukaan tanah juga tergantung pada muatan dan berat molekul polimer dan sifat tanah seperti jenis mineral dan morfologi mikronya.

Nadler dan Letey (1989) telah menggunakan tiga polimer anion dengan berat molekul dan jumlah muatan yang berbeda di tanah. Dua diantara tiga polimer yang digunakan adalah poly-Acrylamide (PAM) dengan berat molekul 10 sampai 15×10^6 Dalton; setiap polimer mempunyai muatan negatif yang rendah atau tinggi tergantung pada jumlah OH yang disubstitusi oleh NH_2 (2% substitusi = muatan rendah, tanpa muatan; dan 21% substitusi = muatan anion tinggi). Polimer ketiga adalah polisakarida netral (tanpa muatan) atau disebut “guar” dengan berat molekul rendah dibanding dengan kedua PAM, tetapi muatan anionnya berada diantara keduanya.

Frakasi tanah yang halus (liat) diperlakukan dengan berbagai cara untuk mendapatkan 1) tanah dengan pH tinggi, 2) tanah tanpa karbon organik, 3) tanah yang dijenuhi calcium, dan 4) tanah dijenuhi natrium. Hasilnya menunjukkan bahwa untuk semua tanah yang dijenuhi Ca dan Na, penjerapan polimer akan tergantung pada muatan polimer tersebut. PAM dengan muatan negatif tertinggi akan dijerap secara linier. PAM yang netral menunjukkan jerapan yang rata (Plateau) pada konsentrasi

yang lebih tinggi. Sedangkan polisakarida Guar menunjukkan jerapan diantara kedua sifat jerapan tersebut. Pada tanah yang dijenuhi Na hanya sedikit terjadi jerapan polimer.

Malik dan Letey (1991) melakukan penelitian dengan menggunakan beberapa polimer yang mempunyai muatan yang berbeda, polimer tersebut diberikan pada beberapa jenis tanah dan fraksi pasir halus. Didapatkan bahwa jerapan polimer di tiap tipe tanah yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Mereka menyarankan bahwa pada umumnya jerapan terjadi di bagian luar dan tidak pada permukaan total tanah, dan hal ini tergantung pada kandungan liat dan tipe liat yang ada. Dalam usaha menerangkan pendapat tersebut, mereka juga mengukur jerapan polimer pada fraksi pasir, dan dilaporkan bahwa jerapan akan lebih banyak pada fraksi pasir yang sangat halus dibandingkan dengan fraksi kasar. Hal tersebut diakibatkan oleh di tanah sangat sedikit muatannya yang terbuka untuk menjerap polimer. Dengan demikian ukuran polimer dan bentuknya lebih mempengaruhi jerapannya dibandingkan muatannya atau reaksi secara elektrostatis. Penjelasan ini secara langsung menyatakan bahwa polimer tidak masuk ke dalam agregat. De Boodt (1993) menyatakan bahwa partikel tanah tanpa muatan seperti halnya butiran pasir mempunyai juga kemampuan untuk menjerap polimer. Prosesnya adalah melalui gaya Van der Waals dan pengaruh entropi negatif yang meningkat dengan meningkatnya berat molekul polimer. Jerapan tersebut dapat meningkat juga dengan meningkatnya ion metal polivalensi ditambahkan.

Jerapan polimer Poly-acrylamid anion atau kation oleh tanah bertekstur lempung halus dan kasar adalah irreversibel, karena polimer

tersebut mempunyai berat molekul yang tinggi, dengan segmen (ruas) yang banyak serta fleksibel (Nadler *et al.*, 1992). Menurut Greenland, 1972 bila polimer melekat ke permukaan tanah melalui titik kontak yang banyak, maka akan sangat sulit untuk dilepaskan kembali pada waktu yang bersamaan. Hal ini hampir sama dengan kalau binatang kaki seribu yang ingin mengangkat semua kakinya secara bersamaan dari tanah.

Dari hal-hal yang telah diuraikan di atas maka dapat diambil kesimpulan bahwa jerapan polimer ke tanah dipengaruhi juga oleh faktor-faktor yang mempengaruhi jerapan polimer ke liat di dalam suspensi atau larutan. Tipe jerapan juga akan tergantung pada muatan polimer, panjangnya polimer serta melibatkan gaya Van der Waals, ikatan-H dan gaya elektrik (listrik).

BAB IV.

PENGARUH POLIMER TERHADAP SIFAT FISIK TANAH

Perbaikan sifat fisik tanah sangat tergantung dengan sifat bahan pembenah tanah yang digunakan, ada bahan organik dan anorganik. Bahan anorganik terbagi lagi menjadi yang alami dan buatan pabrik, bahan organik tentu saja merupakan bahan yang paling baik dalam memperbaiki sifat fisik tanah, karena pengaruhnya tidak hanya pada sifat fisik tetapi sifat kimia dan biologi tanah yang selanjutnya berpengaruh terhadap sifat fisik, tetapi pengaruhnya tidak instan seperti pengaruh polimer dan juga tidak bertahan lama karena proses dekomposisi yang cepat menghilangkan bahan organik dari tanah terutama di daerah tropika basah. Sebaliknya polimer buatan pabrik pengaruhnya langsung dan dapat bertahan lebih lama dibanding bahan organik.

Polimer sebagai bahan pembenah tanah bila diaplikasikan ke tanah maka bahan tersebut diharapkan memberikan pengaruh yang baik atau memperbaiki sifat fisik tanah yang penting seperti :

- Reaksinya cepat sehingga secara instan memperbaiki struktur tanah,
- merangsang pembentukan agregat dan pori tanah,
- memantapkan agregat dan pori tanah,
- meningkatkan kekuatan tensil agregat,
- meningkatkan retensi air tanah atau kadar air tanah,
- meningkatkan infiltrasi dan permeabilitas tanah,
- meningkatkan tata udara tanah,

- serta menurunkan hidrofobisiti tanah.

Proses bagaimana cara polimer mempengaruhi sifat fisik tanah dan sifat fisik mana saja yang dipengaruhi oleh polimer sebagai bahan pembenah tanah, secara rinci disajikan pada sub Bab berikut.

4.1. Kemantapan Agregat Tanah oleh Polimer (Kondisioner) Tanah.

Agregat adalah sekelompok bongkah tanah yang terdiri dari dua atau lebih partikel tanah yang berlekatan satu dengan lainnya lebih kuat dibandingkan dengan partikel yang dekat lainnya (Kemper dan Rosenau, 1986). Kemantapan suatu agregat akan sangat tergantung pada bahan alami sebagai pengikat atau perekat yang biasanya bahan tersebut akan bersifat sementara, lama atau hanya berfungsi sebagai jembatan penghubung antara satu partikel dengan partikel lainnya (Tisdall dan Oades, 1982). Polimer organik dan inorganik dapat juga digolongkan ke dalam satu bahan perekat tersebut dan kekuatannya sebagai bahan perekat tergantung pada sifat dan ciri polimer.

Bahan polimer lainnya yang merupakan hasil ikatan silang antar polimer disebut hidrogel seperti agar-agar dan dapat menyerab air dalam jumlah banyak (sekitar 500 kali beratnya) (Rajakumar and Sankar, 2016). Hidrogel ini berbeda dengan polimer rantai panjang lainnya dalam hal memantapkan agregat. Kemantapan agregat melalui proses penyerapan air yang banyak sehingga dapat membantu pembentukan pori makro, bukan melalui pengikatan antar partikel atau ikatan adhesif lainnya.

Tentu saja hidrogel ini sangat sesuai untuk tanah dengan kandungan pasir yang tinggi atau kandungan liat yang tinggi.

Pembentukan agregat dimulai dari ikatan adhesif yang terjadi karena adanya interaksi antara polimer dan liat atau permukaan tanah seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Biasanya ada ribuan atau jutaan molekul polimer yang terdapat diantara 2 partikel tanah untuk menciptakan ikatan adhesif. Kekuatan ikatan tersebut akan tergantung pada ikatan antar polimer dan ikatan antara polimer dengan permukaan liat atau tanah. Ikatan tersebut harus mempunyai kekuatan mekanik dan kemantapan terhadap air atau tidak larut untuk memantapkan agregat tanah (Schamp *et al.*, 1975). Menurut Ben-Hur (1994) proses pemantapan agregat tanah oleh polimer melalui dua cara yaitu jerapan polimer ke permukaan liat disebabkan oleh perubahan fisik kimia pada permukaan liat, sehingga berkurangnya gaya tolak menolak antar partikel liat. Dan kedua polimer bertindak sebagai jembatan antar dua partikel di dalam agregat.

Menurut (Greenland, 1963 dan 1965) polimer yang bermuatan netral dan bermuatan positif atau negatif memantapkan agregat tanah melalui cara yang berbeda yaitu :

1. Polimer anion melekat pada beberapa partikel, walaupun demikian hanya beberapa dari segmen tersebut yang mengikat di setiap partikel tanah.

2. Sedangkan polimer netral akan menyebar keseluruh permukaan agregat dan membentuk ikatan kesetiap permukaan tanah setelah bahan tersebut kontak satu dengan lainnya
3. Polimer bermuatan negatif akan membentuk ikatan berupa tali berbentuk tasbih (laso) (lingkaran).
4. Sedangkan polimer netral akan menutupi agregat yang sudah berdekatan satu dan lainnya, jadi berperan seperti cat atau lem dengan meliputi agregat tersebut, sama dengan penggunaan latex (poly-isoprene) yang hidrophobik (Bernas *et al.*, 1995).

Selanjutnya (Greenland, 1963 dan 1965) berpendapat bahwa polimer yang berat molekulnya lebih tinggi, mula-mula akan melekat pada beberapa partikel, kemudian karena proses kontraksi polimer maka partikel yang satu akan ditarik untuk berdekatan dengan yang lainnya. Proses ini sangat penting dalam memperbaiki sifat fisik tanah dengan polimer atau kondisioner (Greenland, 1972). PVA sebagai polimer yang netral dan lurus memantapkan agregat dengan cara terjerapnya polimer ke dalam pori didalam agregat atau berkumpul di dalam pori agregat (Emerson dan Raupach, 1964; Kavanagh *et al.*, 1978). Ukuran pori tanah berkisar antara 1 um sampai 50 um, dan polimer diameternya berkisar antara 1 sampai 10 nm bila dalam keadaan bergulung, dengan panjang polimer sekitar 100 sampai 1000 nm bila dalam keadaan lurus. Dengan demikian polimer dapat memasuki pori tanah dan dapat dijerap di bagian dalam pori tanah, atau diantara kristal liat, atau juga diantara kelompok liat (domain), liat humus, juga kompleks liat-humus-oksi hidroksida (De Boodt, *et al.*, 1990). Menurut Letey (1994) kalau polimer

tidak memasuki atau dijerap kedalam agregat, maka interaksi antara polimer dan permukaan liat tidaklah berarti dalam memantapkan agregat. Dalam kasus ini, polimer akan membentuk jaringan di sekeliling agregat, dan bila agregat dengan jaringan polimer tersebut dikeringkan maka polimer tidak dapat lepas kembali (irreversible) dan akan melekat sangat kuat. Nadler dan Letey (1989) mendapatkan bahwa jerapan polimer negatif yang sangat kuat tidak menjamin bahwa polimer tersebut akan memantapkan agregat tanah secara kuat. Karena itu perlu ditambah kation sebelum di berikan polimer yang bermuatan anion. Kation penting karena berfungsi sebagai jembatan penghubung antara liat yang bermuatan negatif dengan polimer yang juga bermuatan negatif. Dalam kasus tanah dijenuhi Na dan kemudian ditambahkan Gypsum lebih dahulu, terakhir ditambahkan poli-acrilamid anion ternyata dapat memantapkan agregat tanah (Wallace, *et al.*, 1986b).

Belum begitu banyak informasi tentang berbagai ukuran agregat yang dapat dimantapkan oleh polimer atau kondisioner tanah. Tetapi umumnya yang dimantapkan adalah agregat makro dan pori makro seperti yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Carr dan Greenland (1975) memperlakukan tanah dengan PVA yang netral dan didapatkan bahwa PVA dapat meningkatkan kemantapan agregat dalam air ukuran >0,5 mm sebanyak 60%, sementara itu PVA dengan berat molekul 100.000 memantapkan agregat lebih baik dari pada PVA dengan berat molekul 15.000. Mukhopadhyay *et al.*, 1994 melaporkan bahwa dengan menggunakan asam poly-acrylic sebanyak 0,1% (berat/berat) telah meningkatkan agregat mantap air berukuran >2 mm sebanyak 90%.

Melo *et al.*, 2014 telah melakukan penelitian menggunakan dosis PAM yang berbeda dengan dua jenis tanah yang berbeda dari dua lapisan tanah yang kandungan liatnya berbeda (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Pengaruh PAM dan kadar liat terhadap agregat ukuran 2-4,7 mm.

PAM Dosis (mg kg ⁻¹)	Ultisol (liat 12,6%)	Ultisol (liat 33,7%)	Oxisol (liat 56,7%)
0	50,68	6,70	60,31
12,5	64,27	17,65	71,43
50	61,53	37,72	68,57
100	80,87	44,83	89,14

Sumber : Melo *et al.*, 2014.

Semakin tinggi dosis PAM yang diberikan ternyata semakin banyak jumlah agregat ukuran 2-4,71 mm dan semakin tinggi kadar liat maka akan semakin banyak pula ukuran agregat makro yang terbentuk. Nampaknya PAM sangat efektif dalam meningkatkan agregat di tanah Ultisol mencapai 30,19% dengan menggunakan PAM sebanyak 100 mg kg⁻¹. Disebabkan karena kandungan Ca dan KTK paling tinggi di horison tanah Ultisol, dimana untuk PAM yang bersifat ionik maka basa-basa tanah berperan penting sebagai bahan pengikat antar polimer dan liat

yang sama-sama bermuatan negatif. Walau demikian kation-kation lainnya juga berperan dalam pengikatan tersebut.

Bernas, *et al.*, 1995a telah menggunakan latex dengan berat molekul yang tinggi dan bimodal (1×10^5 dan $>2 \times 10^6$ Dalton, RRIM, 1970) terhadap kemantapan agregat tanah basah (Tabel 3). Tanah yang digunakan adalah Alfisol (Seri Urrbrae, Evans, dan Quiggley) dan Mollisol (Seri Wiesenboden). Latex telah meningkatkan stabilitas agregat di air berukuran >2 mm dari sekitar 10% menjadi sekitar 85% di tanah Alfisol dengan dosis penggunaan latex sebesar $^{-1}$ tanah. Sedangkan di tanah Mollisol telah meningkatkan agregat mantap air dari sekitar 25% menjadi 95% dengan penggunaan latex sebesar 1.5g kg^{-1} tanah, lihat Tabel 4.1. Nampaknya kemantapan agregat tanah ini disebabkan oleh latex yang menutupi agregat yang kecil-kecil menjadi besar (berkelompok) dan latex sendiri bertindak seperti lem (glue). Melekatnya latex ke agregat tanah kemungkinan besar akan sama dengan Poly-vinyl alkohol dimana yang bekerja adalah Gaya Van der Waals, karena kedua polimer itu bermuatan netral. Dengan bermuatan netral tersebut maka penggunaannya akan sangat tepat kalau tanah dalam keadaan kering, karena semakin dekat ke permukaan agregat maka akan semakin cepat latex memantapkan agregat. Disamping itu bahan aktif poly-isoprene bersifat hidrofobik, sehingga bila diberikan ke tanah yang basah tidak akan melekat, kemudian hujan turun maka kemungkinan juga tidak akan efektif.

Tabel 4.2. Pengaruh latex terhadap kemantapan agregat pada berbagai tanah

Dosis Latex (g/kg)	Agregat tanah Alfisol (Urrbrae) ukuran		
	> 2mm	0.125-2 mm	<0,125 mm
0	10	30	60
1	58	22	20
2	80	8	12
3	82	5	13
5	85	10	5
Dosis Latex (g/kg)	Agregat Tanah Mollisol (Wiesenboden) ukuran		
0	25	28	47
1	90	8	2
2	95	2	3
3	94	3	3
5	98	2	0

Sumber : Bernas *et al.*, 1995.

Tabel 4.3. Pengaruh Poly-DADMAC terhadap kemantapan agregat tanah basah.

Dosis Poly-DADMAC (g/kg)	Agregat tanah Alfisol (Urrbrae) ukuran		
	> 2mm	0.125-2 mm	<0,125 mm
0	10	30	60
1	20	53	27
2	18	62	20
3	20	60	20
5	18	64	18
Dosis Poly-DADMAC (g/kg)	Agregat Tanah Mollisol (Wiesenboden)		
0	25	28	47
1	34	48	18
2	30	60	10
3	42	42	16
5	46	44	8

Sumber : Bernas *et al.*, 1995.

Sebagai pembanding telah digunakan poly-DADMAC yang bermuatan positif dan larut dalam air, sifat ini berlawanan dengan lateks yang hidrofobik, dengan berat molekul sangat tinggi sekitar 10^6 Dalton

pada tanah yang sama seperti di atas (Tabel 4.2.). Kalau dibandingkan maka kedua tanah tersebut secara alami mempunyai kemantapan agregat yang berbeda, dimana agregat ukuran makro lebih tinggi pada tanah Mollisol. Sehingga tanah ini lebih stabil dibandingkan tanah Alfisol. Hal tersebut disebabkan oleh kandungan bahan organik, basa-basa dan liat yang lebih tinggi di tanah Mollisol.

Ternyata poly-DADMAC juga meningkatkan kemantapan agregat basah, walaupun pengaruhnya berbeda dengan latex, dimana latex umumnya meningkatkan agregat berukuran >2 mm sedangkan poly-DADMAC memantapkan agregat berukuran ($>0,125$ sampai <2) mm. Karena poly-DADMAC yang bermuatan positif dan bersifat hidrofilik maka dalam memflokulasi agregat, kation ini akan melekat ke permukaan liat secara cepat dan akan sedikit sekali membentuk “loops dan tails” sehingga agregat terbentuk akan lebih kecil. Walaupun demikian hal ini cukup penting karena dengan berkurangnya agregat mikro ($<0,125$ mm), maka penutupan pori di permukaan tanah dan pembentukan lapisan kerak dapat dihindari (Loch dan Foley, 1994). Lapisan kerak di permukaan tanah biasanya dapat mengganggu atau menghambat perkecambahan tanaman. Sehingga dapat juga dikatakan bahwa poly-DADMAC dapat digunakan sebagai salah satu kondisioner tanah. Tetapi polimer ini akan lebih baik digunakan di tanah-tanah yang terletak di lahan yang relatif datar, karena agregat dengan ukuran ($>0,125 - <2$) mm masih mudah untuk dibawah aliran permukaan. Keuntungan lainnya karena polimer ini larut dalam air maka penggunaannya dapat juga di campurkan dengan air irigasi sehingga akan lebih mudah dan praktis.

4.2. Pengaruh Polimer Terhadap Kekuatan Tensil (Adhesif) Tanah.

Kemantapan agregat tanah kering akan sangat tergantung pada kemantapan individu agregatnya. Banyak peneliti yang telah mengukur tanah atau agregat dengan menekan agregat atau bongkah tanah diantara dua pelat yang datar, sampai agregat tersebut retak (belah), kemudian tekanan tertinggi pada saat retak itu dikatakan sebagai kekuatan tensil tanah atau yang merupakan kekuatan adhesi tanah. Metoda pengukuran kekuatan tensil dari suatu agregat tersebut disebut Test Brazil (Braunack *et al.*, 1979). Kekuatan tensil atau juga disebut moduli retak merupakan suatu standar untuk menentukan kekuatan kohesi dan adhesi suatu tanah. Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tensil antara lain kandungan liat, kadar air tanah, proses pembasahan dan pengeringan tanah tersebut, kandungan kation dan bahan organik.

Polimer dapat juga digolongkan ke dalam bahan organik dalam hal mempengaruhi kekuatan tensil tanah. Bahan organik sendiri cenderung untuk mencegah kontak langsung atau ikatan antar permukaan mineral yang berdekatan sehingga bahan organik akan mengurangi kekuatan kohesi tanah (Kemper *et al.*, 1987) atau kembalinya kekuatan kohesi (Quirk dan Panabokke, 1962). Kedua author menyatakan bahwa bila bahan polimer organik yang dijerap oleh mineral tanah, kemudian agregat tanah tersebut dirusak atau diaduk kembali maka ikatan antara polimer dan mineral tidak akan kembali lagi seperti semula. Dengan demikian kekuatan kohesinya akan menurun, walaupun tanah tersebut dibentuk dengan kerapatan isi yang sama. Selanjutnya tanah dalam keadaan kering tanpa bahan organik akan lebih tinggi kekuatan kohesinya dibandingkan tanah dengan bahan organik. Bahan organik

dalam agregat tanah merupakan merupakan titik lemah atau titik retak bila suatu agregat diukur kekuatan tensilnya.

Beberapa peneliti seperti dijelaskan berikut ini mendapatkan bahwa jerapan poly-vinyl alkohol (PVA) yang mempunyai berat molekul yang berbeda pada beberapa liat dan tanah, mendapatkan bahwa kekuatan tensil liat dan tanah akan berhubungan langsung dengan berat molekul PVA yang dicampurkan.

Williams *et al.*, 1967 telah mencampurkan PVA yang berat molekulnya berbeda (25.000; 64.000; 70.000; dan 100.000 Dalton) dengan tanah Alfisol dari horison B. Ternyata PVA telah meningkatkan kekuatan tensil tanah secara efektif walaupun kekuakatan tensilnya tidak berbeda antara berat molekul yang berbeda. Dowdy (1975) menambahkan PVA dengan berat molekul 75.000 dan 14.000 Dalton dan juga Glukosa ke liat Montmorillonit yang dijenuhi Na. Hasilnya ternyata kedua PVA dengan berat molekul berbeda telah meningkatkan kekuatan tensil tanah secara nyata, tetapi Glukosa tidak mempengaruhi kekuatan tensil liat Monmorillonit tersebut. Hal tersebut disebabkan oleh polimer PVA dijerap oleh permukaan luar liat sehingga memaksimalkan kekuatan ikatan antar molekul. Sebaliknya glukosa yang ukuran molekulnya lebih kecil akan terlalu kecil untuk dapat membentuk ikatan sebagai jembatan antara permukaan liat. Schamp *et al.*, 1975 menggunakan poly-vinyl acetat, bahan karet buatan (Butadiena dan Isoprene) dan karet alam yang dicampurkan dengan pasir pada taraf 0,15% dan 0,25%. Hasilnya menunjukkan bahwa poly-vinyl acetat secara nyata meningkatkan kekuatan tensil pasir kering. Di lain pihak

karet buatan dan karet alam tidak mempengaruhi kekuatan tensil pasir sama sekali.

Polimer sebagai kondisioner tanah juga dapat mengurangi kohesi tanah salin yang biasanya dapat membentuk lapisan kerak (keras) dipermukaannya. VAMA telah meningkatkan kekuatan kohesi tanah salin sebesar 3 kali lipat dibandingkan tanpa VAMA (Allison, 1956). Selanjutnya author menggunakan dua jenis polimer yaitu VAMA dan HPAN di tanah salin dan ternyata hasilnya juga sama. Mirzababaei *et al.*, 2017 menggunakan PVA and 1,2,3,4 Butane Tetra Carboxylic Acid ($C_8H_{10}O_8$) (BTCA) yang merupakan ko-polimer organik di tanah liat yang dipadatkan dalam ring dan didiamkan selama 14 hari, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tanah yang diberi PVA 1,5% dan BTCA meningkatkan kekuatan tanah dari 10 kPa tanpa PVA menjadi 116 kPa. Bila tanah tanpa perlakuan di rendam dalam air maka yang tanpa perlakuan akan hancur dalam 15 menit sedangkan dengan perlakuan PVA dapat bertahan sampai 4 hari. Mekanisme meningkatnya kekuatan tanah disebabkan oleh penyerapan air berlebihan oleh PVA untuk membentuk agregat tanah dan membentuk lapisan hidrogel antar partikel tanah, bukan air di dalam pori tanah. Oades (1976) mendapatkan bahwa PVA telah mencegah terbentuknya lapisan kerak (lapisan keras di atas tanah), sebagai akibat terdispersinya tanah.

Bernas, *et al.*, 1995a telah melakukan penelitian dengan menggunakan latex dan poly-DADMAC di tanah Alfisol dan Mollisol. Dimana tanah Alfisol merupakan tanah yang sangat rentan terhadap tekanan atau mempunyai kekuatan tensil yang jauh lebih rendah dibandingkan Mollisol. Dari hasil penelitian ternyata penggunaan latex

dan poly-DADMAC (0, 1 dan 2 g/kg) dengan dosis yang rendah ini tidak mempengaruhi kekuatan tensil kedua tanah tersebut. Latex sendiri tidak berpengaruh lebih disebabkan karena latex tidak dapat memasuki ruang pori tanah, dikarenakan molekulnya yang sangat besar. Jadi latex dalam memantapkan agregat tanah terhadap akan lebih baik karena sifatnya yang hidrofobik. Tetapi tidak menambah kekuatan tensil tanah karena latex yang bermuatan netral tidak akan dapat mengikat antar partikel tanah dengan kuat, disamping pada dosis yang rendah tersebut hanya sedikit bagian partikel tanah yang berikatan langsung dengan latex. Sedangkan poly-DADMAC seharusnya dapat meningkatkan secara nyata kekuatan tensil kedua tanah tersebut. Tetapi karena penggunaannya hanya dalam jumlah yang kecil, maka tidak cukup untuk mengikat antar partikel tanah. Namun demikian karena poly-DADMAC merupakan polimer dengan berat molekul yang tinggi dan bermuatan positif, tidak baik digunakan dalam jumlah yang banyak karena dikhawatirkan akan mengganggu penyerapan hara lainnya.

Dapat disimpulkan bahwa beberapa polimer dapat meningkatkan kekuatan tensil suatu agregat, tetapi ada juga yang tidak. Semakin tinggi dosis polimer yang dicampurkan ketanah maka akan semakin besar kekuatan tensilnya. Berat molekul suatu polimer yang ditambahkan nampaknya tidak mempengaruhi kekuatan tensil tanah terutama tanah Alfisol Urrbrae dari horison B. Polimer juga menurunkan kekuatan tensil tanah salin yang berkerak, dan hal tersebut telah dapat meningkatkan perkecambahan tanaman di tanah tersebut.

4.3. Pengaruh Polimer Terhadap Retensi Air Tanah

Hubungan antara kadar air tanah dan tegangan (tensi) air tanah didefinisikan sebagai sifat dan ciri suatu kelembaban tanah. Air yang berada di dalam tanah dapat ditahan (diretensi) oleh tanah dengan energi yang sangat tinggi misalnya kadar air pada titik layu, atau sebaliknya di tahan tanah dengan energi yang lebih rendah seperti pada kapasitas lapang. Kemampuan tanah menahan air (retensi air tanah) pada tekanan tertentu pada prinsipnya tergantung pada tekstur, struktur, tipe liat, dan bahan organik (Klute, 1986). Air yang ditahan oleh tanah pada tegangan rendah (hisapan rendah) antara 0 – 1bar akan tergantung pada ukuran pori tanah dengan demikian secara langsung tergantung pada struktur tanah. Sedangkan kandungan air pada tegangan yang lebih tinggi adalah disebabkan oleh adsorpsi (jerapan) antara air dan partikel tanah, dengan demikian akan sangat dipengaruhi oleh sebaran ukuran partikel (tekstur) dan luas permukaan partikel tanah (Hillel, 1986).

De Boodt (1993) menyatakan bahwa bila suatu agregat makro disusun dari agregat-agregat mikro maka akan mengandung pori makro yang berukuran dari 30 sampai $>50 \mu\text{m}$. Dengan demikian bila suatu polimer berukuran dari 0,1 sampai $>1 \mu\text{m}$ akan dapat masuk ke lubang pori tanah dan akan melekat ke bagian tanah di dinding pori, bagian tanah tersebut dapat berupa koloid liat, kelompok liat atau kompleks humus-liat. Disamping itu polimer dapat juga menutupi (menyelimuti) agregat tanah (Greenland, 1963). Polimer yang mengisi pori tanah atau meliputi agregat dapat menimbulkan dua kemungkinan pengaruhnya terhadap tanah yaitu mengurangi atau meningkatkan kadar air tanah pada tegangan tertentu, hal ini sangat tergantung sekali pada sifat dan ciri polimer.

Zuang *et al.*, 2013 telah menggunakan polimer Sodium polyacrylate (SP) di tanah pasir dan mendapatkan bahwa polimer tersebut dapat meningkatkan kemampuan pasir menahan air, menyimpannya, dan menyediakannya untuk tanaman dan juga mengurangi hidraulik konduktifitas. Penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan 1% SP telah dapat meningkatkan kadar air tanah di lapisan 0-10 cm dari 48% tanpa SP menjadi 68% dengan menggunakan SP.

Pengaruh penggunaan sodium polyacrylate terhadap kadar air tanah pasir pada berbagai kedalaman disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4.4. Pengaruh polimer terhadap kadar air di tanah pasir.

Kedalaman Tanah (cm)	Perlakuan Sodium Polyacrylate (%)				
	0	0,08	0,2	0,5	1,0
	Kadar Air (% Volume)				
10	48	43	50	55	68
20	40	40	40	45	50
30	40	40	40	45	50
40	40	40	40	45	47
50	28	28	28	28	30

Sumber : Zuang *et al.*, 2013.

Kijne (1967) menggunakan Krilium dan PVA di tanah Alfisol Urrbrae dan hasilnya menunjukkan bahwa PVA dan Krilium

memantapkan pori-pori tanah sehingga infiltrasi air lebih tinggi dibandingkan tanah tanpa Krilium dan PVA.

Mukhopadhyay *et al.*, (1994) menyatakan bahwa suatu kondisioner tanah yang berasal dari sisa Acrylic biasanya dapat mengurangi kadar air tanah pada hisapan 0,13 dan 14 bar di tanah pasir berlempung dan lempung liat berdebu. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Pla (1975) yang telah menambahkan bitumen dan PAM ke tanah Alfisol dan Vertisol. Didapatkan bahwa kedua polimer telah mengurangi kadar air sampai sebesar 11% pada tekanan 0,1 dan 0,5 bar. Bitumen sendiri telah mengurangi kadar air lebih besar dari pada PAM pada retensi air yang sama. Akan tetapi keduanya sama-sama mengurangi kerapatan isi tanah dan meningkatkan konduktivitas (permeabilitas) tanah. Hal ini disebabkan karena kedua polimer dapat membentuk agregat makro (lebih besar) sehingga banyak terbentuk pori makro yang berisi udara.

Latex dan Poly-DADMAC telah digunakan dengan dosis 1 g/kg tanah di Alfisol Urrbrae dan Mollisol Wiesenboden (Bernas *et al.*, 1995). Kedua tanah tersebut mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menyerap air, dimana Wiesenboden lebih banyak dapat menyerap air dibandingkan Alfisol. Karena Wiesenboden mempunyai kandungan liat tipe 2:1 (Monmorillonit) sangat tinggi (55%) sedangkan Alfisol hanya mengandung 17% liat Illit, demikian juga kandungan carbon 3.3% di Wiesenboden dan 1.06% di Alfisol (Stace *et al.*, 1972 dan Chittleborough dan Oades (1980). Karena sifat kedua tanah yang berbeda, maka perlu dilihat bagaimana pengaruh kedua polimer tersebut terhadap kadar air pada berbergai tekanan, seperti berikut.

Selanjutnya dilaporkan oleh (Bernas *et al.*, 1995) bahwa Latex dan Poly-DADMAC tidak mempengaruhi kadar air pada tanah Alfisol di bawah berbagai tekanan, tetapi hanya berpengaruh terhadap kadar air tanah Wiesenboden pada tekanan yang sangat rendah (0.003 dan 0.004) bar yaitu sekitar 38% dan 40%. Ini kemungkinan kedua polimer hanya mempengaruhi pori makro, karena berat molekulnya yang sangat tinggi sehingga tidak dapat memasuki pori mikro. Dimana pada dosis yang rendah tersebut, latex dan poli-DADMAC hanya menyelimuti agregat dan mengikatnya menjadi agregat yang lebih besar. Dengan tidak berpengaruhnya terhadap kemampuan tanah menahan air pada berbagai tegangan maka penggunaan kedua polimer ini tidak akan mengganggu kebutuhan air untuk tanaman terutama pada kisaran kapasitas lapang sekitar 0,1 bar.

Tabel 4.5. Pengaruh agar-agar air terhadap kadar air tanah pada berbagai status kadar air (Sumber : Rajakumar dan Sankar, 2016).

Kadar Hydrogel (%)	Kapasitas Maksimum Menahan Air	Kapasitas Lapang	Titik Layu Permanen	Kadar Air Tersedia
0	0,52	0,32	0,04	0,28
0,2	0,55	0,41	0,06	0,35
0,6	0,6	0,45	0,07	0,38
1	0,78	0,55	0,07	0,48

Agar-agar air (hydrogel) yang merupakan jaringan tiga dimensi dan dapat menyerap air sampai 500 kali volumenya, telah diteliti oleh Rajakumar and Sankar, (2016) bagaimana pengaruhnya terhadap kadar air tanah pada berbagai kondisi, mulai dari titik layu sampai kapasitas lapang seperti pada Tabel 4.5.

4.4. Pengaruh Polimer Terhadap Hidrofobisiti atau Hidrofilik Tanah

Sifat bahan polimer yang bervariasi dan beragam muatannya maka tentu saja akan berpengaruh terhadap sifat hidrofobisiti (kemampuan tanah menolak air) atau hidrofilik (menyerap air) tanah.

Phillips, 2007 telah menggunakan PAM di lahan yang ditanami bawang dengan tanah sebagian bersifat hidrofobik atau “unwetting sand” yaitu tanah pasir yang diliputi oleh sejenis lilin di Australia. Hasilnya menunjukkan PAM berhasil meningkatkan kadar air tanah dan juga produksi bawang bombai. Dejbhimon dan Wada, 2010 telah menggunakan PVA di tanah pasir yang kadar garamnya tinggi, ternyata PVA telah dapat menekan air kapiler menuju ke permukaan yang mengandung garam dan dapat mencuci garam di tanah tanpa mengganggu atau merusak agregat. Kedua hasil penelitian ini mengatasi masalah yang berbeda dimana satu mengikat air dan satu lagi menahan air, seperti diketahui bahwa tanah dengan kadar garam tinggi sangat banyak menyerap air, bahkan liat pun dapat terdispersi sehingga pada waktu kering akan menutupi pori tanah dan membentuk kerak di permukaan tanah yang dapat menghalangi perkecambahan tanah. Dengan demikian banyak pilihan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki tanah yang menolak air atau yang terlalu banyak menyerap air. Polimer agar-agar

air (hydrogel) dapat juga diberikan di tanah-tanah yang bersifat hidrofobik (tidak dapat menyerap air).

BAB V.

PENGARUH PEMBENAH TANAH TERHADAP ALIRAN PERMUKAAN, INFILTRASI DAN EROSI.

Aliran air di permukaan tanah, infiltrasi dan erosi merupakan satu kesatuan yang sangat mempengaruhi satu dengan lainnya, bila suatu tanah nilai infiltrasinya tinggi maka akan banyak air yang meresap ke dalam tanah dan aliran air di permukaan berkurang selanjutnya pengikisan tanah (erosi) menjadi rendah. Manfaat penting dan paling utama dari pemberian kondisioner tanah adalah memperbaiki sifat fisik tanah sehingga menjadi gembur dan mantap (stabil) dengan demikian air akan banyak meresap ke dalam tanah, sehingga infiltrasi air ke dalam tanah tinggi, aliran permukaan rendah dan selanjutnya erosi dapat dikurangi.

Kondisioner tanah diberikan adalah untuk memperbaiki sifat fisik tanah sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik, untuk mengurangi erosi dan membantu meningkatkan penyimpanan air tanah (De Boodt, 1975 dan Zhung *et al.*, 2013). Polyacrylamide digunakan dalam air irigasi di saluran pertama kali dilakukan oleh Lentz *et al.*, 1992 dalam Sojka, 2007 dimana dengan dosis rendah 1-2 kg ha dapat mengurangi erosi disaluran irigasi. Sebenarnya yang mempatenkan pembuatan PAM pertama kali adalah Minks *et al.*, 1949 dalam Sojka *et al.*, 2007. Penelitian lanjutan di saluran irigasi atau dengan sprinkler (Lentz and Sojka, 1994 dan 2000) dan dapat mengurangi erosi di saluran irigasi (saluran cacing) dengan dosis 10 ppm PAM dalam air irigasi, setelah itu dosisnya diturunkan menjadi 1-5 ppm. Alternatif lainnya oleh Sojka *et*

al., 2007 penggunaannya dilakukan secara terus menerus di saluran irigasi dengan dosis rendah 1-2 kg ha⁻¹ dalam 5 kali irigasi. Sekarang penggunaannya dan penelitian sangat populer (booming) terutama di Amerika Serikat, dimana penggunaan yang lebih luas adalah di bidang industri dan lingkungan. Sistem penggunaan PAM di air irigasi ini diberikan pada waktu tanaman sedang tumbuh dan secara periodik tetapi dengan dosis rendah.

Tetapi di bidang pertanian umumnya kondisioner tanah diberikan sebelum tanaman tumbuh kecuali PAM yang diberikan secara periodik di lahan yang tanamnya sedang tumbuh, dengan tujuan agar erosi yang terjadi dapat dikurangi terutama pada bulan-bulan awal sebelum tanaman tumbuh dan tajuknya belum menutupi tanah, pada sistem ini biasanya polimer yang diberikan sekali saja contoh PVA. Setelah itu bila tajuk tanaman sudah lebat dan menutupi permukaan tanah, maka biasanya tanaman dengan sendirinya dapat mengurangi aliran permukaan dan erosi. Oleh karena itu bahan pembenah tanah (kondisioner tanah) yang digunakan harus secara langsung efektif atau instan dalam mengendalikan aliran permukaan dan erosi. Hal ini akan tergantung pada sifat dan ciri polimer, tanah, iklim dan jenis tanaman (Schamp *et al.*, 1975).

Sifat polimer seperti tingkat kelarutannya, berat molekul, panjang polimer, dan muatannya berperan sangat penting terutama reaksinya dengan sifat tanah, seperti tekstur dimana sangat berperan penting dalam menentukan berkurangnya atau tidak erosi dan aliran permukaan (Gabriels dan De Boodt, 1978). Banyak peneliti yang telah membuktikan bahwa polimer mempunyai kemampuan untuk

memantapkan tanah pasir sampai tanah liat dan juga semua tipe liat yang ada di tanah.

Didapatkan bahwa poly-Acrylamid (PAM) yang bersifat hidrofilik tidak dapat digunakan di tanah pasir murni karena hanya dengan sedikit hujan saja maka polimer ini akan tercuci. Karena polimer tidak dapat melekat atau terjerap di butiran pasir. Dengan demikian dibutuhkan penambahan bahan lain (seperti basa-basa atau kation lainnya sebagai agen pengikat) yang dapat mengikatkan satu polimer dengan bahan lainnya, sehingga polimer dapat melekat antar partikel, membungkus atau meliputi partikel pasir, serta memantapkan agregat tersebut sangat penting diperhatikan seperti dibuktikan oleh penelitian Gabriels dan De Boodt, 1978.

PAM juga dapat digunakan di area kering (arid) atau basah (humid) tentu saja tergantung pada tujuan penggunaannya (De Boodt, 1975), jadi pemilihan suatu bahan pembenah tanah sangat tergantung dengan yang diinginkan, seperti untuk meningkatkan infiltrasi pada tanah hidrophobik, atau untuk menahan air di tanah dengan kandungan pasir yang tinggi dsb. PAM telah digunakan di tanah kapur yang kurang subur di Francis, dimana curah hujan sangat rendah dan hasilnya sangat memuaskan karena tanah kapur tersebut telah dapat dihijaukan kembali sebagai program reboisasi. Selanjutnya author telah melakukan percobaan di Lembang Jawa Barat, dimana curah hujan sangat tinggi antara 3000 sampai 6000 mm, penggunaan PAM telah dapat meningkatkan infiltrasi air ke tanah sebagai akibat terciptanya tanah yang hidrofilik, sehingga aliran permukaan dan erosi berkurang.

Bitumen yang bersifat hidrofobik juga digunakan di tempat-tempat dengan iklim tropik basah seperti Malaysia dan Indonesia (De Boodt, 1975). Di Puchong (Malaysia), Bitumen secara nyata telah mengurangi aliran permukaan dan erosi; di Jonggol (Indonesia) Bitumen yang digunakan telah meningkatkan aliran permukaan tetapi telah mengurangi erosi secara nyata. Bahkan aliran permukaan di tanah dengan bitumen lebih tinggi dibandingkan tanah tanpa bitumen, berarti bitumen benar-benar hanya memantapkan agregat yang ada dengan meliputi atau menutupi agregat tersebut, bukan membentuk atau agregat menjadi lebih besar dari agregat-agregat mikro, sehingga tidak tercipta pori makro seperti di tanah yang diberi PAM. Bitumen hidrophobik sangat penting digunakan di tanah yang sangat gembur dan mengandung liat tipe 2:1, karena tanah ini bersifat mengembang dan mengerut sehingga kemampuannya menyerap air sangat tinggi, maka untuk mengurangi air masuk ke dalam tanah perlu ditambahkan bahan bersifat hidrophobik seperti bitumen atau latex (karet), lahan yang mudah longsor karena mengandung liat tipe 2:1 perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah longsor dapat dikurangi dengan menjadikan tanah tersebut hidrofobik. Belum ada penelitian tentang masalah ini.

Mousbach dan Shrader (1975) telah menggunakan PVA dan PAM ke tanah liat dari sub-soil dengan dosis sebesar 336 kg/ha, hasilnya ternyata kedua polimer tersebut telah dapat mengurangi dispersi tanah liat dan penghancuran agregat sehingga dapat mengurangi erosi lembar yang sering terjadi.

Gabriels dan De Boodt (1978) melaporkan bahwa penggunaan PVA tidak mengurangi erosi percikan dan aliran permukaan, tetapi telah

mengurangi erosi tanah. Author juga melaporkan bahwa penggunaan bitumen dalam jumlah kecil ($0,35 \text{ liter/m}^2$) yang dilarutkan dalam air telah dapat menyebabkan misel bitumen masuk ke dalam partikel pasir dan mengikat partikel tersebut setelah dikeringkan. Akan tetapi karena pasir dicampur bitumen menjadi hidrofobik maka aliran permukaan meningkat dan infiltrasi berkurang.

PAM secara nyata telah mengurangi aliran permukaan sebesar 20% dibandingkan tanpa PAM di tanah dengan kandungan liat Illit dan Kaolinit (Stern *et al.*, 1991). Dilaporkan oleh author bahwa permukaan tanah yang ditambah PAM akan kasar sebagai hasil flokulasi membentuk agregat dan agregat yang dihasilkan mantap, sedangkan tanah tanpa PAM permukaannya akan mulus tidak terjadi flokuasi dan tidak mempunyai agregat yang mantap. PAM dalam bentuk tepung yang larut dalam air, telah mengurangi aliran permukaan secara nyata, kemungkinan disebabkan oleh polimer mengikat antar partikel menjadi agregat lebih besar, juga membungkus atau menutupi agregat sehingga pemecahan dan dispersi agregat dapat dikurangi. Levin *et al.*, 1991 menggunakan PAM sebanyak 20 kg/ha yang dicampur dengan fosfo-gypsum sebanyak 5 ton/ha dan didapatkan bahwa bahan tersebut telah meningkatkan infiltrasi sebesar 3 kali lipat dibandingkan tanpa perlakuan di tanah liat atau pasir.

PAM telah mempertahankan kecepatan infiltrasi yang tinggi di tanah Vertisol dan Loess (fraksi debu tinggi) sampai pada intensitas hujan mencapai 80 mm/jam. PAM dengan berat molekul 10 juta dan 15 juta Dalton ditambah bahan elektrolit (larutan 0,05 N NaCl dan CaCl_2) telah meningkatkan hidraulik konduktivitas (permeabilitas) kedua tanah

tersebut (Shainberg *et al.*, 1992). Berat molekul polimer PAM yang digunakan juga berpengaruh terhadap kecepatan infiltrasi seperti dilaporkan Lentz, 2008 dimana semakin tinggi berat molekul maka akan meningkatkan kecepatan infiltrasi menjadi 2 kali lipat, dari $5,25 \text{ m}^{-6} \text{ detik}^{-1}$ untuk molekul rendah menjadi $11,5 \text{ m}^{-6} \text{ detik}^{-1}$ untuk molekul tinggi. Ini disebabkan karena jumlah dan ukuran agregat dari partikel dalam larutan bertambah dan kemantapan agregat dan pori tanah bertambah.

PAM yang bersifat anion dengan berat molekul $12 - 15 \text{ ton mol}^{-1}$ dan larut dalam air sudah banyak digunakan di Amerika Serikat dan sekitar 800.000 hektar lahan irigasi sudah menggunakan PAM seperti dilaporkan Sojka *et al.*, 2007. Di Amerika Serikat PAM juga digunakan untuk penggunaan yang lebih luas lagi seperti pengendalian erosi dari pembangunan gedung dan bangunan lainnya, pengendalian debu dari lapangan helikopter, dan jalanan di fasilitas militer.

Bahan lainnya seperti Poly-propylene acid (PPA) dan poly-thene alkohol (PTA) juga sudah digunakan oleh Wu *et al.*, 2010, dimana percobaan telah dilakukan dengan menggunakan rainfall simulator di laboratorium dengan kemiringan lereng 10° , dengan PPA dosis 145 g m^{-2} telah dapat mengurangi aliran permukaan sebesar 49,7% dan mengurangi erosi 79,4% dibanding tanpa perlakuan, sedangkan dosis PTA 40 g m^{-2} telah mengurangi aliran permukaan sebesar 12,3% dan mengurangi erosi 61,0%. Penurunan ini disebabkan polimer mampu memantapkan agregat, meningkatkan penahanan air dan porositi, menurunkan kerapatan isi tanah dan meningkatkan infiltrasi.

Latex dan poly-DADMAC juga telah digunakan di tanah Alfisol (Red brown earth) dan Mollisol (Wiesenboden), bahan ini secara nyata telah mengurangi aliran permukaan dan erosi dan meningkatkan infiltrasi air ke tanah seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.1. (Bernas, *et al.*, 1995). Latex yang berupa emulsi telah mengurangi aliran permukaan sekitar 10% dan meningkatkan infiltrasi sekitar 30% dibandingkan dengan kontrol di tanah Alfisol, dan mengurangi aliran permukaan sekitar 13% dan meningkatkan infiltrasi sebesar 28% di tanah Mollisol. Pengaruh latex lebih disebabkan oleh sifat latex yang hidrofobik dan caranya dalam memantapkan agregat, dimana latex menutupi atau membungkus/meliputi beberapa agregat mikro menjadi agregat berukuran > 2 mm dan memantapkan agregat yang ada. Memantapkan agregat yang lebih besar tersebut telah dapat memperlambat aliran permukaan dan memberikan kesempatan air untuk berinfiltrasi ke dalam tanah. Agregat yang dibungkus latex juga tahan terhadap pengaruh butiran hujan yang jatuh, sehingga hanya sedikit terdapat partikel halus sebagai hasil dispersi hujan dan kebanyakan pori tanah tidak tersumbat oleh partikel halus tersebut. Dengan demikian permeabilitas dan potensi infiltrasi tanah tetap tinggi dan aliran permukaan rendah dengan perlakuan latex. Dengan catatan bahwa penggunaan latex dalam kasus ini adalah rendah (0,5 sampai 1,5 g/kg tanah), jadi karena sifatnya hidrofobik maka penggunaannya tidak boleh melebihi 0,2% kecuali untuk tujuan tertentu seperti sengaja mengurangi infiltrasi air dan meningkatkan aliran permukaan untuk mengumpulkan air di bagian bawah.

Tabel 5.1. Pengaruh lateks dan poly-DADMAC terhadap aliran permukaan, infiltrasi dan erosi pada 2 jenis tanah.

Perlakuan	Mollisol (Wiesenboden)		
	Total Infiltrasi (mm)	Total aliran permukaan (mm)	Total Erosi (g m ⁻²)
Kontrol	10	23	225
Lateks 0,5 g kg ⁻¹	13	20	55
Poly-DADMAC 0,5 g kg ⁻¹	23	12	40
	Alfisol (Red-brown earth)		
Kontrol	8	25	240
Lateks 1,5 g kg ⁻¹	10	22	55
Poly-DADMAC 1,5 g kg ⁻¹	4	30	120

Sumber : Bernas, *et al.*, 1995.

Poly-DADMAC yang larut dalam air, mempengaruhi aliran permukaan dan infiltrasi di tanah Alfisol dan Mollisol berbeda dengan latex (Bernas *et al.*, 1995). Poly-DADMAC telah meningkatkan aliran permukaan sekitar 15% dan mengurangi infiltrasi sekitar 58% dibandingkan dengan kontrol di tanah Alfisol. Akan tetapi poly-DADMAC mengurangi aliran permukaan sekitar 47% dan mengurangi total infiltrasi sekitar 102% di tanah Wiesenboden. Polimer ini dapat dikatakan lebih efektif dalam mengurangi aliran permukaan dan dalam meningkatkan infiltrasi di tanah Mollisol dibandingkan Alfisol. Hal ini dapat disebabkan karena poly-DADMAC yang bermuatan positif dapat

teradsorpsi secara kuat ke permukaan liat, dimana tanah Mollisol mempunyai kapasitas tukar kation yang tinggi dan liat yang juga tinggi. Poly-DADMAC kemungkinan terlalu banyak diberikan di tanah Alfisol, sehingga kemungkinan lebih dari satu lapisan polimer telah dijerap pada suatu partikel liat atau polimer kemungkinan membentuk multiple ikatan dengan satu partikel liat bukan membentuk ikatan antar partikel seperti pendapat Theng, 1979 dan Mukhopahyay *et al.*, 1994. Sedangkan yang tidak terjerap atau terikat akan berada bebas di tanah, dan karena berat molekulnya yang tinggi (1 juta Dalton), maka dapat saja menutupi pori tanah dan mengurangi infiltrasi sehingga meningkatkan aliran permukaan tanah Alfisol.

Sebaliknya penambahan poly-DADMAC di tanah Mollisol (Bernas *et al.*, 1995) telah mengurangi aliran permukaan dan meningkatkan infiltrasi secara nyata dibandingkan kontrol. Hal ini dapat disebabkan oleh Mollisol dengan kandungan liat yang tinggi dan sehingga penggunaan 0,5 g/kg telah dapat membentuk ikatan antara polimer dan partikel liat secara langsung sehingga terjadi flokulasi, selanjutnya dapat terbentuk lingkaran polimer dan ekor polimer menonjol keluar untuk mengkitar antar partikel menjadi agregat yang lebih besar dibandingkan tanah Alfisol. Dan agregat yang terbentuk walaupun kecil (< 2 mm) tidak menutupi pori tanah bahkan cukup meningkatkan pori makro sehingga meningkatkan infiltrasi dan mengurangi aliran permukaan.

Walaupun poly-DADMAC meningkatkan aliran permukaan dan mengurangi infiltrasi tanah Alfisol, tetapi polimer ini masih tinggi mengurangi erosi di tanah ini. Poly-DADMAC mengurangi erosi

sebesar 50% di tanah Alfisol dan sebesar 85% tanah Wiesenboden, sedangkan latex mengurangi erosi sangat besar sekali yaitu 77% di tanah Alfisol dan 74% tanah Mollisol. Kemampuan poly-DADMAC mengurangi erosi disebabkan karena polimer ini mampu meningkatkan pembentukan agregat berukuran ($>0,125$ mm) dimana agregat ini tidak akan terbawa oleh aliran permukaan (Bernas *et al.*, 1995). Ini bagus karena bila menghasilkan agregat ($>0,125$ mm) berarti tidak akan mengurangi infiltrasi. Penelitian mengenai ukuran agregat dan curah hujan yang dilakukan oleh Glanville dan Smith (1988) dan Loch dan Foley (1994), dimana mendapatkan bahwa agregat berukuran 0,125 mm berhubungan erat dengan infiltrasi air ke tanah. Semakin tinggi ukuran agregat tersebut maka semakin rendah infiltrasi, karena agregat halus tersebut dapat menutupi permukaan tanah.

Poly-DADMAC mengurangi erosi secara nyata di tanah Mollisol dibandingkan kontrol, karena seperti dikatakan sebelumnya polimer ini memantapkan agregat berukuran $> 0,125$ mm karena kandungan liatnya yang tinggi (Bernas *et al.*, 1995). Liat tipe 2:1 dengan kapasitas tukar kation yang tinggi, secara langsung tentu saja berikatan dengan polimer yang bermuatan positif tersebut. Tanah Mollisol ini sebenarnya kandungan liat dan bahan organiknya tinggi dan merupakan tanah yang bersifat “self mulching soil” atau yang dapat membentuk agregat dengan sendirinya. Tetapi agregat tersebut dapat terurai (slake) menjadi agregat yang lebih halus, sehingga erosi di tanah ini masih tetap tinggi bila tidak diberi polimer seperti latex dan poly-DADMAC. Terutama bila tanah dibawah hujan lebat dan terbuka, tanah yang demikian biasanya terjadi setelah pengolahan tanah dimana terjadi pemutusan ikatan antar partikel

dan tajuk tanaman belum menutupi permukaannya. Dalam situasi ini biasanya merupakan saat yang peka terhadap erosi sehingga diperlukan suatu kondisioner tanah atau mulsa sebagai penutup tanah.

Berdasarkan temuan-temuan di atas maka dapat disimpulkan bahwa polimer mengurangi erosi melalui pembentukan agregat yang lebih besar, menciptakan ruang pori makro sehingga dapat meningkatkan infiltrasi dan mengurangi aliran permukaan. Sebaliknya polimer yang bersifat hidrofobik mengurangi erosi dengan cara memantapkan agregat tanah secara fisik untuk menahan tenaga aliran permukaan dan energi tumbukan butiran hujan. Sedangkan Bitumen dapat mengurangi ataupun meningkatkan aliran permukaan tergantung tipe tanah. Dengan demikian penggunaan polimer tanah akan sangat tergantung pada tujuan atau pertimbangan yang kita inginkan, seperti apakah yang lebih penting mengurangi erosi atau menyimpan air dalam tanah.

BAB VI.

PENGARUH BAHAN PEMBENAH TANAH TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN

Bahan pembenah tanah yang telah banyak di uji kemampuannya dalam memperbaiki sifat fisik tanah dan juga telah dilakukan penelitian terutama terhadap tanaman dan lingkungan. Karena bahan pembenah tanah yang aman untuk tanaman, untuk kesehatan dan lingkungan adalah yang dapat di rekomendasikan untuk dapat digunakan, tidak hanya meningkatkan infiltrasi, mengurangi aliran permukaan dan mengurangi erosi saja. Berikut di uraikan beberapa jenis bahan pemantap tanah dan pengaruhnya terhadap tanaman, baik pengaruh positif maupun negatif.

6.1. Pengaruh Bahan Pembenah Tanah Terhadap Tanaman

Pemberian kondisioner ke tanah pertanian tujuan utamanya adalah memperbaiki sifat fisik tanah atau menggemburkan tanah, meningkatkan kadar air, sehingga perakaran dapat tumbuh dengan baik dan produksi tanaman tinggi. Pengaruh positif sangat diharapkan bukan hanya memperbaiki kesuburan sifat fisik tanah tetapi produksi tanaman rendah dapat ditingkatkan. Nampaknya pemberian bahan pembenah tanah sangat tergantung dengan sifat dan ciri tanah atau jenis tanah, seperti yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti berikut.

Tujuan penggunaan kondisioner tanah secara umum adalah untuk memperbaiki sifat fisik tanah, mengurangi erosi dan longsor dan menyimpan air. Termasuk mengendalikan erosi dan memantapkan pinggiran jalan utama ataupun pinggiran sungai. Di bidang pertanian

walaupun belum begitu intensif digunakan, tujuan penggunaan bahan pembenah tanah dalam bentuk polimer adalah untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman atau mempertahankan hasil yang tinggi (De Boodt, 1975). Beberapa polimer telah banyak diterapkan di bidang pertanian yang menjadi sarat utama adalah tidak bersifat racun, baik bagi tanaman maupun manusia dan lingkungan serta dapat terkomposisi. Beberapa penelitian telah banyak digunakan di bidang pertanian oleh (Phillips *et al.*, 2008 yang meneliti PAM di tanah pasir hidrofobik yang ditanami bawang bombai. Polyacrylamide merupakan salah satu yang banyak digunakan sekarang ini dengan syarat kandungan monomer harus kurang dari 0,05%. Lentz, 2008 melaporkan bahwa PAM sangat efektif di gunakan di lahan irigasi karena :

- Dapat mengurangi erosi 94%.
- Meningkatkan infiltrasi 15%.
- Meningkatkan kadar air tanah di kiri dan kanan saluran 25%.
- Mengurangi kehilangan fosfor dan kebutuhan oksigen kimia (COD) sekitar 75%.
- Mengurangi pengangkutan biji gulma sebesar 81%.
- Mengurangi pengangkutan mikrobia sekitar 61%.

Penggunaan jenis lainnya seperti VAMA dan HPAN di tanah lempung Salin telah meningkatkan agregat mantap air berukuran >0,1 mm, meningkatkan infiltrasi sebanyak 6 kali lipat, dan mengurangi pembentukan lapisan kerak di permukaan tanah walaupun nilai Na-dd dari rendah sampai sangat tinggi, dan juga telah meningkatkan hasil

Jagung manis selama 4 tahun musim tanam secara berurutan (Allison, 1956). Wallace *et al.*, 1986b menggunakan polyacrylamida anion di tanah Sodik dengan kadar garam tinggi dan pH 9,9 dan hasilnya menunjukkan bahwa bahan polimer ini telah meningkatkan perkecambahan dan pertumbuhan tanaman, walaupun tanpa penambahan gipsum yang biasanya ditambahkan untuk mengatasi masalah di tanah ini. Pengaruh tersebut disebabkan oleh terciptanya aerasi yang lebih baik di tanah tersebut dan meningkatnya infiltrasi sebagai akibat terbentuknya agregat makro dan berkurangnya dispersi di tanah Sodik ini dan tidak terbentuk lapisan kerak di permukaan tanah akibat liat yang terdispersi yang biasanya menutupi pori tanah. Unruh *et al.*, 2017 menggunakan polymaleic anhydride yang dapat larut, telah dapat mengurangi lapisan kerak di atas permukaan tanah dan dapat meningkatkan perkecambahan gandum di tanah tersebut.

Rubio *et al.*, 1989 telah menggunakan PAM untuk persiapan penanaman rumput di tanah kapur (Calcareus) yang mengandung fraksi debu halus. Dilaporkan bahwa PAM secara keseluruhan tidak menambah tingkat perkecambahan rumput. Akan tetapi gandum (Oat) berkecambah lebih cepat dengan adanya pemberian PAM dibanding dengan tanpa PAM. Di tanah dengan pemberian PAM dengan dosis rendah telah terbentuk rekahan-rekahan yang besar, sedangkan dengan pemberian dosis yang lebih tinggi lagi (>20 kg/ha) tidak terbentuk rekahan tersebut.

Masih di tanah kapur (Calcareus) masalah kekurangan Fe (unsur besi) adalah hal yang biasa, sebagai akibat kelebihan air dan karbon dioksida yang biasanya berasal dari aktifitas mikrobia dan akar yang

membentuk bikarbonat dengan kapur (Wallace dan Abouzamzam, 1984). Ternyata penggunaan PAM telah mengurangi khlorosis pada tanaman Kedelai yang disebabkan oleh pengaruh kapur. Berkurangnya khlorosis disebabkan oleh perbaikan aerasi tanah dan ketersediaan air (Wallace, *et al.*, 1986c).

De Boodt (1975) melaporkan bahwa di Negara Belgia, Perancis, dan Jerman telah digunakan 0,2% PAM di tanah Loess berdebu (tanah subur tetapi kandungan debu sangat tinggi sehingga rentan erosi). Ternyata PAM telah dapat mengurangi erosi dan meningkatkan perkecambahan tanaman bit gula serta meningkatkan hasil sebanyak sekitar 8 sampai 10%. PAM di tanah Loess yang peka erosi ini masih terus digunakan walaupun hanya sedikit meningkatkan hasil, tetapi hasil peningkatan tersebut cukup untuk menutupi pembelian PAM. Bila tidak dilakukan pemberian PAM maka tanah akan tererosi dan bila tererosi kemungkinan akan sulit untuk ditanami kembali. Pertimbangan ini sangat bijaksana kalau suatu sistem pertanian tidak hanya mengejar keuntungan semata, tetapi yang juga harus diutamakan adalah mempertahankan permukaan tanah dan memperbaikinya sehingga tanah dapat secara terus menerus ditanami.

Carr dan Greenland (1975) mendapatkan bahwa penggunaan poly-vynil acetat telah meningkatkan perkecambahan rumput rye sebanyak 40% dan meningkatkan berat tajuk kering sebanyak 50%. Kedua author juga melaporkan bahwa polimer tersebut secara nyata telah meningkatkan berat tajuk dan akar tanaman Tomat, juga telah meningkatkan pertumbuhan tanaman Barley dibandingkan dengan tanah tanpa polimer. Karena polimer telah memperbaiki agregat,

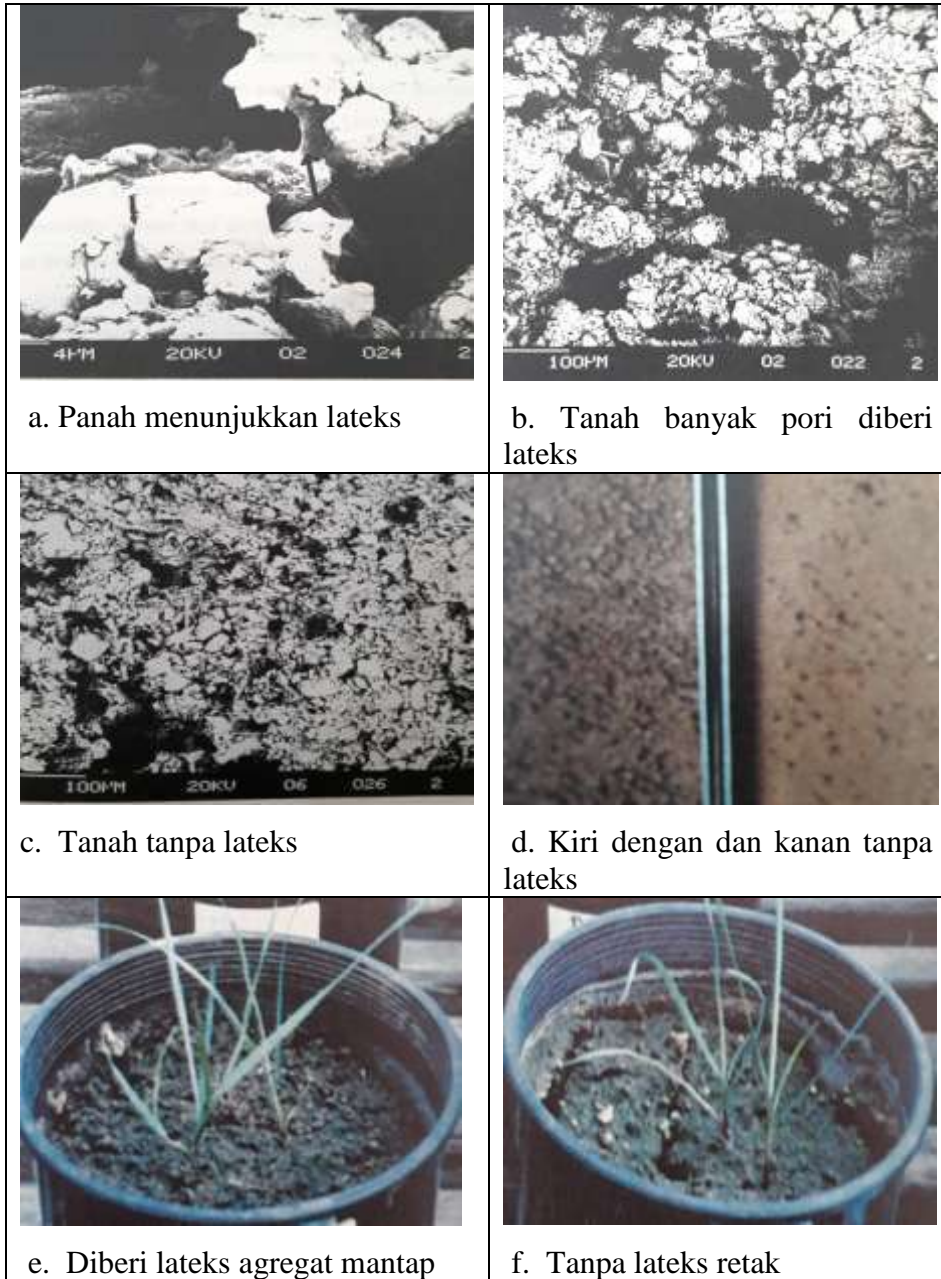
memantapkan pori dan aerase tanah maka pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik.

Pengaruh polimer terhadap pertumbuhan akar juga telah diteliti oleh Danneels *et al.*, 1992. Peneliti telah menggunakan suatu bahan sintetik (buatan) seperti agar yang kemampuan menyerap airnya sangat tinggi disebut “swollen hydrogel” atau agar agar air dengan bahan kimianya Potassium Propenoate Propenamide Copolymer. Dilaporkan bahwa tanaman Pisum telah tumbuh lebih baik dan subur di hydrogel tersebut dibandingkan dengan yang tumbuh di lem tulang (polimer organik), bearti hydrogel berpengaruh baik terhadap pertumbuhan akar dan tidak ada pengaruh negatif lainnya. Jadi tidak bersifat racun, dengan demikian berguna untuk digunakan di lapangan terutama di tanah-tanah yang tidak mampu menahan air untuk pertumbuhan tanaman atau di area arid (kering), sehingga penggunaan air dapat lebih hemat disamping memperbaiki sifat fisik tanah.

Karet alam berupa getahnya telah banyak juga diteliti untuk dijadikan bahan kondisioner tanah, umumnya hasil yang didapat adalah berpengaruh baik terhadap perkecambahan dan pertumbuhan tanaman, seperti dilaporkan berikut ini. Lateks dari tanaman karet yang dicampur dengan 2% minyak aromatik, emulsifier, dan stabiliser telah dapat mengurangi erosi dan meningkatkan pertumbuhan tanaman penutup tanah selama sebulan di lahan dengan curah hujan sebesar 210 mm di Malaysia. Soong dan Yeoh (1975) juga telah menggunakan campuran lateks tersebut dengan mencampurkannya ke tanah berpasir sedalam 15 cm. Hasilnya menunjukkan bahwa lateks telah meningkatkan produksi Jagung sebesar 40% dan Kedelai sebesar 90%. Sebaliknya Wah dan

Bachik (1985) mendapatkan bahwa lateks yang dicampur minyak aromatik telah menghambat perkecambahan rumput, kemungkinan disebabkan oleh minyak mineral tersebut bersifat racun terhadap tanaman. Juga telah dilakukan penelitian dengan menambahkan bahan KOH (Kalium hidroksida) ke dalam emulsi lateks dan ternyata telah meningkatkan perkecambahan sebanyak 35%.

Bernas, 1995 menggunakan emulsi lateks (getah karet) sebagai pembenah tanah dengan dosis $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ tanah meningkatkan berat kerangkaan tajuk dan berat akar tanaman rumput rye, dan secara nyata meningkatkan panjang akar. Ini disebabkan karena tanah yang diberi lateks membentuk dan mengikat agregat yang lebih mantap dibandingkan kontrol yang agregatnya hancur tanpa perlakuan, sehingga tanah dengan lateks tata udara dan air cukup tersedia untuk pertumbuhan dan perkembangan akar. Bila lateks dibandingkan dengan penggunaan poly-DADMAC yang bermuatan positif dengan dosis yang sama, maka pertumbuhan rumput rye lebih baik di tanah dengan perlakuan lateks. Ini dapat disebabkan poly-DADMAC yang bermuatan positif dan berantai panjang bisa saja memblok serapan hara terutama basa-basa tanah atau hara yang bermuatan positif. Karena itu dari penelitian ini tidak disarankan untuk menggunakan bahan polimer atau bahan pemantap tanah yang bermuatan positif, tentu saja masih perlu penelitian lebih lanjut seperti untuk tanaman lainnya.



Gambar 6.1. Pemberian lateks pada tanah dan tanaman.

Nampaknya hidrofobik polimer seperti karet alam dapat berguna bila diberikan di lahan di bawah curah hujan yang tinggi seperti iklim tropika basah (Bernas et al., 1995). Walaupun demikian polimer seperti ini dapat juga mempunyai manfaat bila digunakan di area arid (kering) seperti yang dibahas oleh De Boodt berikut ini. Bila suatu kondisioner tanah hidrofobik digunakan di permukaan tanah, maka polimer tersebut akan mencegah evaporasi sehingga akan mengurangi proses salinisasi dan pembentukan lapisan kerak di permukaan tanah yang biasanya merusak pertumbuhan dan perkecambahan (De Boodt, 1993). Lebih lanjut disarankan untuk menyiram tanaman setelah polimer hidrofobik dicampurkan di permukaan tanah.

Di lain pihak, kondisioner tanah yang bersifat hidrofilik dimana dapat menyerap banyak air, maka dapat mencegah perkolasi yang dalam atau pergerakan air secara lateral. Juga dapat menahan air melawan gravitasi, walaupun demikian air yang ditahannya tersebut masih tersedia untuk tanaman (De Boodt, 1993).

6.2. Pengaruh Negatif Bahan Pembena Tanah Terhadap Tanaman dan Lingkungan.

Pada tahun 1950-an tercatat sebanyak sekitar 100 kondisioner tanah yang mendapat hak paten (De Boodt, 1993). Akan tetapi pada dekade tersebut tidak diteliti efek sampingan dari polimer tersebut, pada saat itu para ahli berpendapat bahwa kondisioner tanah hanyalah berupa bahan perekat (lem) atau bahan adhesif lainnya. Karena kemudian diketahui bahwa kondisioner tanah ada yang merusak tanaman dan tidak semuanya dapat digunakan secara aman, sedangkan di lain pihak belum banyak penelitian ke arah itu. Maka sejak saat itu penelitian tentang

polimer sebagai kondisioner tanah menurun drastis. Sekarang ini sangat dianjurkan bahwa polimer yang digunakan harus ramah lingkungan, tidak bersifat racun, dan akan lebih baik lagi kalau dapat terdekomposisi. Sebagai bahan kimia, tentu saja polimer dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Akan tetapi hanya sedikit informasi yang ada tentang pengaruh negatif polimer terhadap tanaman walaupun yang sangat populer seperti poly-acrylamid dan poly-vinyl alkohol.

Sojka dan Lentz (1974) mendapatkan bahwa poly-acrylamid dapat meracuni tanaman, sifat racun tersebut disebabkan oleh adanya beberapa monomer di kondisioner tanah tersebut. Di Amerika Serikat saja suatu poly-acrylamid dapat dikatakan aman kalau hanya mengandung kurang dari 0,05% monomer. Lebih lanjut author menjelaskan bahwa monomer dapat terdekomposisi secara cepat pada temperatur 30°C dalam beberapa hari, sehingga tidak akan begitu berbahaya kalau digunakan di daerah tropis, tetapi pengaruh monomer terhadap serapan hara tanaman perlu dipertimbangkan. PAM sendiri tidak akan terdekomposisi dan patah menjadi monomer, karena mikrobia dapat menggunakan gugus fungsi amida sebagai sumber nitrogennya sehingga terbentuknya suatu acrylamida dapat dicegah. Pengaruh negatif dari penggunaan PAM dengan kandungan monomer sebesar 1% dilaporkan oleh Wallace *et al.*, 1986c. Mereka mendapatkan bahwa penggunaan PAM dengan dosis tinggi sebesar 1-5% di tanah kering telah mengurangi kandungan fosfor dan silika pada tanaman gandum dan tomat, dan mengurangi transportasi Mn dan Bo pada tanaman Gandum. PAM tidak bersifat racun terhadap manusia, binatang, ikan dan tanaman; yang menjadi perhatian dan bersifat racun terhadap manusia adalah

bentuk monomernya (acrylamide). Namun monomer ini dapat terdekomposisi di tanah dan tidak akan terakumulasi (Seybolt, 1994). Inilah yang menyebabkan PAM merupakan bahan kondisioner tanah yang paling banyak digunakan saat ini.

Pengaruh polimer terhadap akar tanaman juga dilaporkan oleh Danneels *et al.*, 1992 telah menggunakan kondisioner tanah yang dinamakan lem tulang, dan didapatkan bahwa akar akan menghindari untuk tumbuh di lem tersebut. Walaupun tidak dijelaskan oleh author mengapa lem tulang tersebut dihindari oleh akar tanaman dan juga kimia dari lem tulang tersebut juga tidak dijelaskan.

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan PAM (0,2%) dapat mengurangi erosi dan meningkatkan pertumbuhan tanaman. Juga suatu polimer tidak akan berpengaruh buruk terhadap tanaman kalau kandungan monomernya di bawah 0,05% seperti yang telah diteliti oleh Sojka, *et al.*, 2007. Masih diperlukan suatu penelitian yang lebih intensif terutama bagi polimer yang telah menunjukkan pengaruh negatif terhadap tanaman, jadi jangan terlalu cepat merekomendasikan penggunaan suatu polimer yang baru di buat atau ditemukan.

Dapat disimpulkan bahwa sifat bahan pembenah tanah harus disesuaikan penggunaannya, seperti yang hidrofobik digunakan di area dengan curah hujan tinggi dan untuk tanah dengan kandungan liat tipe 2:1 tinggi, sehingga dapat mengurangi air terlalu banyak masuk ke dalam tanah dan dapat mengurangi mengembangnya tanah yang berlebihan, serta mengurangi longsor. Tetapi belum banyak yang melakukan penelitian tentang mengurangi longsor ini. Sebaliknya bahan hidrofilik

dapat digunakan di tanah dengan curah hujan rendah atau tanah-tanah berpasir, sehingga dapat meningkatkan kadar air tanah.

6.3. Dekomposisi Bahan Pembenh Tanah

Bahan pembenh tanah buatan sekarang sudah banyak yang dapat terdekomposisi, walaupun kecepatan dekomposisinya lebih lambat dari pada bahan organik. Dapat terdekomposisinya polimer karena sebagian besar dibuat dari bahan minyak mentah seperti PAM, PCA, PVAc dsb (Lihat Bab 2)., jadi merupakan rantai karbon yang panjang dan juga mempunyai gugus-gugus kimia sehingga dapat dirombak. Pengaruh langsung terhadap tanaman biasanya yang sering dilaporkan oleh beberapa peneliti.

Kalau suatu bahan organik ditambahkan ke tanah, maka bahan organik tersebut akan digunakan oleh mikrobia sebagai sumber energinya kalau keadaan lingkungan mendukung mikrobia itu. Banyak faktor yang mempengaruhi kecepatan dekomposisi bahan organik diantaranya lingkungan, tanah, komposisi bahan organik itu sendiri, kelembaban, aerasi, tekstur tanah dan pH tanah (Jenkinson, 1977). Komposisi tanaman akan menentukan proses dekomposisi diantaranya telah dilakukan oleh Collins *et al.*, 1990 dan Oades, 1989.

Jenkinson (1977) telah memantau kecepatan dekomposisi bahan organik di Pusat Penelitian Rothamsted Inggris dalam jangka waktu yang cukup lama, dan juga telah bekerjasama dengan Ayanaba dan Jenkinson (1990) meneliti kecepatan dekomposisi rumput Rye di area tropik Nigeria Afrika. Didapatkan bahwa tipe bahan organik yang sama akan terdekomposisi 2 kali lebih cepat di daerah tropik basah seperti di

Nigeria dibandingkan di daerah sedang (Temperate) Inggris sebagai akibat perbedaan temperatur dan musim.

Pengeringan bahan organik pada temperatur yang berbeda sebelum dilakukan inkubasi, juga akan mempengaruhi proses dekomposisi humus (Joger dan Bruins, 1975). Penelitian yang dilakukan author tersebut adalah dengan mengeringkan bahan organik pada berbagai temperatur, kemudian dibasahi dan diinkubasi pada temperatur 29°C selama 4 minggu. Setelah dilakukan siklus perlakuan tersebut sebanyak 6 kali dengan mengukur kehilangan bahan organik sebagai CO₂ maka jumlahnya 31,2; 18,0; 17% untuk pengeringan 85° ; 35°C dan tanpa pengeringan.

Martin dan Haider (1986) melakukan penelitian yang cukup detil mengenai pengaruh komposisi bahan organik terhadap kecepatan dekomposisinya. Author tersebut mendapatkan bahwa bahan yang akan mudah terdekomposisi adalah bahan dengan berat molekul yang rendah seperti gula, asam amino, dan asam alifatik. Bahan-bahan ini akan terdekomposisi dalam beberapa jam atau hari. Protein dan polisakarida juga akan terdekomposisi agak cepat tetapi lebih lambat dari bahan senyawa sederhana seperti di atas. Berikutnya yang agak cepat diikuti oleh bahan seperti fenol (termasuk cincin benzena), diikuti oleh polimer fenol dan kemudian melanin mikrobial. Nampaknya semakin besar atau tinggi berat molekul suatu bahan organik, maka akan semakin lama proses dekomposisinya oleh mikro organisme tanah.

Dengan demikian polimer buatan atau alami yang berantai panjang dengan berat molekul dari tinggi sampai sangat tinggi, maka

kecepatan dekomposisinya akan lambat seperti halnya bahan organik yang berantai panjang yang dihasilkan oleh tanaman. Pada tahun 1950-an “hydrolysed poly-acrylonitrile (HPAN)” salah satu polimer yang sangat populer tetapi tidak digunakan lagi karena harganya yang mahal. Dekomposisi polimer tersebut telah di investigasi oleh Martin (1953), dimana dia telah mencampurkan polimer tersebut (HPAN) tanah lempung liat berdebu dan kemudian diinkubasi pada temperatur 27°C pada kadar air kapasitas lapang. Dilaporkan bahwa setelah 39 hari inkubasi, sebanyak 0,97% CO₂ telah dibebaskan yang berasal dari karbon yang ada di HPAN yang ditambahkan; sebanyak 13% dari jumlah tersebut dilepaskan selama 24 jam pertama. Diantara polimer yang populer sekarang adalah PVA dan PVAc, kedua polimer tersebut dapat bertahan cukup lama (tahunan) di tanah (Carr dan Greenland, 1975). Polimer dengan berat molekul yang tinggi seperti poly-acrylamid yang sekarang digunakan bersamaan dengan air irigasi. Nampaknya polimer ini tidak akan terdekomposisi menjadi monomer karena seperti dijelaskan sebelumnya bahwa mikrobia dapat memanfaatkan gugus fungsi amida sebagai sumber nitrogen, sehingga dapat menghindari terbentuknya acrylamid (Sojka dan Lentz, 1994). Author juga mendapatkan bahwa monomer dalam poly-acrylamid dapat terdekomposisi secara cepat dalam beberapa hari pada temperatur yang hangat (30°C). Barvenik (1994) mendapatkan bahwa kecepatan dekomposisi monomer bahkan lebih cepat lagi yaitu hanya dalam hitungan jam. Author menjelaskan bahwa paruh hidup (half life) acrylamid adalah 18 sampai 24 jam pada kondisi aerobik dan temperatur 22°C.

Karet sendiri sebagai poly-isoprene mudah dioksidasi oleh mikrobia karena mempunyai ikatan yang rangkap. Itulah sebabnya dalam penggunaan karet sebagai bahan industri digunakan bahan anti oksidan yang berumur panjang seperti fenol, amine, organo sulfur dan senyawa fosfor organik (Khorasani *et al.*, 1993). Dengan demikian bahan karet (lateks) yang hidrofobik dapat digunakan sebagai kondisioner tanah tetapi dalam dosis yang rendah dan karena dapat didekomposisi oleh mikrobia maka penggunaannya hanya bersifat sementara. Jadi sangat sesuai di tanah yang terbuka dan baru diolah tetapi tanaman belum tumbuh dan tajuknya belum cukup menutupi tanah.

BAB VII.

KESIMPULAN

Bahan pembenah tanah dengan bentuk polimer atau bahan kimia berantai panjang, keefektifannya yang instan dalam memantapkan agregat tanah, membentuk agregat, memflokulasi sedimen di larutan, meningkatkan infiltrasi dan mengurangi erosi, serta membersihkan air sangat tergantung dengan sifat polimer, jenis tanah, basa-basa, bahan elektrolit, kadar air dsb.

Sifat dan ciri polimer yang sangat penting adalah panjang rantai atau berat molekulnya, nampaknya semakin panjang rantai suatu polimer maka akan semakin cepat dan baik dalam mengendapkan sedimen dan membentuk agregat yang lebih besar. Kedua adalah sifat muatannya, ada polimer bermuatan negatif, positif atau tanpa muatan (netral). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan polimer bermuatan negatif seperti polyacrylamide sangat baik digunakan di tanah atau melalui air irigasi, hasilnya sangat efektif dalam meningkatkan penyerapan air di saluran, menurunkan aliran permukaan dan erosi. Sedangkan yang bermuatan positif kurang efektif digunakan di tanah karena agregat yang terbentuk lebih kecil dan di tanah pertanian kalau rantainya panjang maka bisa menutupi hara yang bersifat basa untuk di serap tanaman. Sedangkan polimer bermuatan netral seperti lateks dan polyvinyl alkohol, hanya dapat digunakan di tanah dan tanah harus dalam keadaan kering, karena reaksinya bersifat van Der Waal, dimana semakin dekat kontakannya dengan partikel tanah maka sifat melekatnya semakin baik. Polimer

bermuatan netral cenderung seperti lem atau meliputi agregat yang berdekatan satu dengan lainnya dan memantapkannya.

Di Indonesia belum banyak penelitian yang dilakukan tentang polimer sebagai bahan pembenah tanah, penelitian lebih banyak menggunakan bahan organik dan mineral yang diproduksi secara alami atau dari limbah pabrik.

Walaupun polimer buatan berasal dari minyak bumi dan berantai karbon panjang serta dapat terdekomposisi, tetapi masih perlu penelitian lebih lanjut terutama bila digunakan dalam air irigasi atau untuk membersihkan air sungai-sungai kecil yang keruh seperti yang dilakukan di Amerika Serikat. Karena bila senyawa ini masuk ke dalam sungai dan mengendap maka dikhawatirkan nantinya akan menumpuk menjadi bahan pencemar lingkungan, seperti diketahui bahwa bahan organik saja bila berada dalam air tidak dapat terdekomposisi seperti terbentuknya gambut.

PUSTAKA ACUAN

- Ahmed, E.M. 2015. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of Advanced Research* 6, 105–121.
- Allison, L.E. and D.C. Moore, 1956. Effect of VAMA and HPAN soil conditioners on aggregation surface crusting, and moisture retention in alkali soils. *Soils Science Society of America Proceedings* 20, 143-146.
- Allison, L.E., 1956. Soil and plant responses to VAMA and HPAN soil conditioners in the presence of high exchangeable sodium. *Soil Science Society of America Proceedings*, 20, 147-151.
- Ambrust, D.V. and Dickerson, J.D. 1971. Temporary Wind Erosion control: Cost and effectiveness of 34 commercial materials. *Journal of Soil Conservation*, 26: 154-157.
- Ayanaba, A. And D.S. Jenkinson, 1990. Decomposition of carbon-14 labeled Rye grass and maize under tropical conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 112-115.
- Bachik, A.T., C.S. Yeoh, Y.K. Chee, F.K. Yew and G. Haridas, 1985. New formulations and recommendations in the use of natural rubber for soil stabilisation and erosion control. *Proceeding of International Rubber Confernces*, Kuala Lumpur, 701-709.
- Bavernik, F.W. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. *Soil Science*, 158(4), 235-243.
- Ben-Hur, M 1994. Run-off, erosion, and polymer application in moving-sprinkler irrigation. *Soil Science*, 158(4) 283-290.
- Ben-Hur, M. And J. Letey, 1989. Effect of polysaccharides, clay dispersion, and impact energy on water infiltration. *Soil Science*, 153, 349-356.

- Ben-Hur, M.; M. Malik; J. Letey, and U. Mingelgrin, 1992. Adsorption of polymers on clays as affected by clay charge and structure, polymers properties, and water quality. *Soil science*. 153, 349-356.
- Bernas, S.M. 1995. Latex and poly-DADMAC as soil conditioners. Disertasi. Department of Soil Science, University of Adelaide, Australia. *Unpublished*. 130p.
- Bernas, S.M., J.M. Oades, G.J. Churchman, C.D. Grant, 1995. Comparison of the effects of latex and poly-DADMAC on structural stability and strength of soil aggregates. *Aust. J. Soil Res.*, 33, 369-380.
- Bernas, S.M., J.M. Oades, G.J. Churchman, 1995. The effects of latex and poly-DADMAC on erosion, hydrophobicity and water retention on different soils. *Aust. J. Soil Res.*, 33, 805-816.
- Black, A.P., F.B. Birkner, and J.J. Morgan, 1966. The effect polymer adsorption on the electrokinetic stability of dilute clay suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 21, 626-648.
- Braunack, M.V., J.S. Hewitt and A.R. Dexter, 1979. Brittle fracture of soil aggregates and the compaction of aggregate beds. *Journal of Soil Science*, 30, 653.
- Calo, E. dan V.V. Khutoryanskiy, 2015. Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products. *European Polymer Journal* : 65: 252–267.
- Car, C.E and D.J. Greenland, 1975. Potential application of polyvinyl acetate and polyvinyl alcohol in the structural improvement of sodic soils. pp: 47-63. *In Soil Conditioners*. (ed. W. C. Moldenhaver). 1975. SSSA spec publ. Madison, Wisconsin.

- Chittleborough, D.J. and J.M. Oades. 1980. The development of a red brown earth. III. The degree of weathering and translocation of clay. *Australian Journal of Soil Research* 19, 383-93.
- Collins, H.P., Lf. Alliott, R.W. Rickman, D.F. Bezdicek, and R.I. Papendick, 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. *Soil Science Society of American Journal*, 54, 780-785.
- Cornish, K., D.J. Siler, O. Grosjean and n. Goodman, 1993. Fundamental similarities in rubber particle architecture and function in three evolutionarily divergent plant species. *Journal of Natural Rubber Research*, 8(4), 275-285.
- Danneels, P., Q. Vyvey, C. Beel and W. Van Gotthem, 1992. Use of mini-rhizotrons to study effects of soil conditioners on root growth. *Soil Technology*: 5,97-100.
- Davis, C. C. 1937. The chemistry and technology of rubber. Reinhold, New York.
- De Boodt, M. 1975. use of soil conditioners around the world. In "Soil Conditioners". *Soil Science Society of America*, special Pub. No. 7. Wisconsin, USA. 1-12.
- De Boodt, M.F., Hayes, M.H.B. and Herbillion, A. 1990. Soil colloids and their associations in aggregates. Nato Series. Series B: Physics Vol. 215. Plenum Press. New York. 520-528.
- De Boodt, M. F., 1993. Soil conditioning, a modern procedure for restoring physical soil degradation. *Pedologie*, 43(1), 157-195.
- Dejbhimon, K. dan H. Wada, 2010. Improvement of the saline sandy soil in Northeast Thailand using polyvinyl alcohol (PVA). Research Annex, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

- Dixon, J.K., V.K. La Mer, Cassian LI, S. Messinger, and H.B. Linford, 1967. Effect of the structure of cationic polymers of the flocculation and the electrophoretic mobility of crystalline silica. *Journal of colloid and Interface Science*, 23, 465-473.
- Dowdy, R.H. 1975. The Effect of organic polymers and hydrous iron oxides on the tensile strength of clays. pp: 25-33. in *Soil Conditioners*. SSSA special pub. No 7. Madison, Wisconsin.
- Dowdy, R.H. and M.M. Mortland, 1967. Alcohol-Water interactions on montmorillonite surfaces I Ethanol. *Clays and Clay Minerals*, 15, 259-271.
- Emerson, W.W. and Raupach, M. 1964. The reaction of polyvinyl alcohol with montmorillonite. *Australian Journal of soil Research*, 2, 46-55.
- Gabriels, D and Boodt, 1978. Evaluation of soil conditioners for water erosion control and sand stabilization. In Emerson, W.W.; R.V. Bond and A.R. Dexter. 1978. *Modification of soil structure*. John Wiley and sons. Chichester.
- Greene, R.S.B., A.M. Posner and J.P. Quirk, 1978. interaction of suspensions of ca-illite with PVA and $\text{Ca}(\text{OH})_2$. pp: 157-163. In 'Modifications of soil Structure' ed W.W. Emerson, R.D. Bond and A.R. Dexter. John Wiley and Sons, Chichester.
- Greenland, D.J. 1962. Adsorption of polyvinyl alcohols by montmorillonite. *Journal of Colloid Science*, 18, 647-664.
- Greenland, D.J. 1965a. Interction between clays and organic compound in soils. I. Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. *Soil and Fertilizers*, 28, 415-425.
- Greenland, D.J. 1965b. Interction between clays and organic compound in soils. I. Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. *Soil and Fertilizers*, 28, 521-532.

- Greenland, D.J. 1963. Interaction between organic polymers and inorganic soil particles. *State Univ. Ghent, Belgium*, 37(3), 897-906.
- Hammond, 2008. Polyacrylamide (PAM) and PAM Alternatives Workshop. Februari 26-27, 2008. Albany California. Desert Research Institute.
- Hayes, M.H.B. and U. Mingelgrin, 1991. Interactions between small organic chemicals and soil colloidal constituents. *In* H. Bolt, M.F. De Boodt, M.H.B. Hayes and M.B. McBride (eds). "Interactions at the soil colloid-soil solution interface", pp. 323-407. Kluwer Ac. Pub. The Netherlands.
- Hillel, D. 1980. Introduction to soil physics. Academic Press. London, 44-45.
- Iler, R.F. 1971. Relation of particle size of colloidal silica to the amount of a cationic polymer required for flocculation and surface coverage. *Journal of Colloid and Interface science*, 37, 364-373.
- Jager, G and E. H. Bruins, 1975. Effect of repeated drying at different temperatures on soil organic matter decomposition and characteristic, and on the soil microflora. *Soil Biology and Biochemistry*, 7, 153-159.
- Jenkinson, D.S., 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil V. The effect of plant cover and soil type on the loss of carbon from ¹⁴C labelled Rye grass decomposing under field conditions. *Journal of Soil Science*, 28, 424-434.
- Kavanagh, B.V., A.M. Posner, and J.P. Quirk. 1978. Adsorption of PVA on Emersion, R.D. Bond and A.R. Dexter. John Wiley and Sons, Chichester, p165-173.
- Kemper, W.D., and Rosenau, R.C., and Dexter, A.R., 1987. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic

- matter content and temperature. *Soil Science Society of America Journal*, 51, 860-867.
- Khorasani, M.T., G.R. G.R. Bakhshandeh and A.A. Katbab, 1993. Synthesis charactersation and activity of two new phenol antioxidants in natural rubber. *Journal of Natural Rubber Research*, 8(4), 253-259.
- Kijne, J.W. 1967. Influence of soil conditioners on infiltration and water movement in soils. *Journal Soil Science Society of America Proceedings*, 31(1), 8-13.
- Klute, A. 1986. Methods of soil analysis. Part 1 in The Series Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Lagaly, G. 1987. Clay-organic interactions: Problems and recent result. Proc. Int. Clay Conf. Denver, 1985 (Eds. L.G. Schults, H. Van Olphen, and F.A. Mumpton). The Clay Minerals society, 343-351.
- Lentz, R.D. 2008. Overview of PAM Research Conducted by the Agricultural Research Service. *In Polyacrylamde (PAM) and PAM Aternatives Workshop*. Februari 26-27, 2008. Albany California. Desert Research Institute.
- Letely, J. 1994. Adsorption and desorption of polymers on soil. *Soil Science*, 158, 244-248.
- Letterman, R.D. and Pero, R.W. 1990. Contaminants in polyelectrolytes used in water treatment. *Journal American Water Works Association.*, 82(11),87-97.
- Levin, J.; M. Ben-Hur' M. Gal and G.J. Levy. 1991. Rain energy and soil amendmets effects on infiltration and erosion of three different soil types. *Australian Journal of Soil Research*, 29,455-65.
- Loch, R.J. and J.L. Foley, 1994. Measurement of aggregate breakdown under rain: comparison with tests of water stability and

- relationships with field measurements of infiltration. *Australian Journal of Soil Research*, 32,701-720.
- Malik, M. and Letey, 1991. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil materials. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 380-383.
- Martin, J.P. and K. Haider, 1986. Influence of mineral colloids on turnover rates of soil organic matter. pp: 283-304. In 'Interaction of Soil Minerals With Natural Organic and Microbes', Editors P.M. Huang and M. Schnitzer. *SSSA Spec. Pub.* No. 17. Madison.
- Martin, W.P., 1953. Status report on soil conditioning chemicals. I. *Soil Science Society of America Proceedings*, 17(1), 1-16.
- Mausbach, J.J. and W.D. Shrader, 1975. Influence of surface treatment of selected subsoil materials on infiltration and erosion. In Soil Conditioners No-7. *Soil Science Society of America*. Special Publ. Series, 8393, pp.83-93.
- Melo, D.V.M., B.G. Almeida, E.R. Souza, L.S. Silva & P.K.T. Jacomine, 2014. Structural quality of polyacrylamide-treated cohesive soils in the coastal tablelands of pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:476-485.
- Mirzababaei, M., A. Arulrajah, M. Ouston, 2017. Polymers for stabilization of soft clay soils. *Procedia Engineering*, 189 (25 – 32). Elsevier.
- Mitchell, A.R. 1986. Polyacrylamide application in irrigation water to increase infiltration. *Soil Science*, 141, 353-358.
- Molyneux, P. 1984. Water-soluble synthetic polymers: Properties and Behavior. Vol. II. C.R.C. Florida.
- Mukhopadhyay, R.; P.R. Gajri and M.R. Chandhary. 1994. Synthesis of a soil conditioner from acrylic waste and its effect on aggregate

- stability and moisture retention in two soils. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 8,178-186.
- Nadler, A. and J. Letey, 1989. Organic polyanions' effect on aggregation of structurally disrupted soil. *Soil Science*, 148, 346-354.
- Nadler, A., M. Malik, and J. Letey, 1992. Desorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers from soil materials. *Soil Technology*, 91-95.
- Oades, J.M. 1976. Prevention of crust formation in soils by poly(vinyl alcohol). *Australian Journal of Soil Research*, 14, 139-148.
- Oades, J.M. 1989. An introduction to organic matter in mineral soils. pp 89-160. In "Minerals in soil Environments". Eds: J.B. Dixon and S.B. Weed. 2nd edition. SSSA Book Series 1. Madison, Wisconsin. 1244p.
- Jolanta Pająk, J. M. Ziemiński, B. Nowak, 2010. Poly(vinyl alcohol)–biodegradable vinyl material. Faculty of Biology and Environmental Protection, University of Silesia, Katowice. *Chemik* 2010, 64, 7-8, 523-530.
- Phillips, S. 2008. The role of polyacrylamide (PAM) in onion production. A Final Report prepared for the South Australian Murray-Darling Basin Natural Resources Management Board by Tandou Limited for Project 71.2007: *Optimising Irrigation WUE by reducing deep percolation losses*.
- Pla, I. 1975. Effect of bitumen anulsion and polyacrylamide on some physical properties of Venezuelan soils. pp. 35-46. In "Soil Conditioners". Soil Science Society of America, special Pub. No. 7. Wisconsin, USA.
- Polhamus, L.J. 1962. Rubber Botany, production, and utilization. Leonard Hill, London.
- Quirk, J.P. and C.R. Panabikke, 1962. Incipient failure of soil aggregates. *Journal of Soil Science*, 13,60-70.

- Rajakumar, R. and J. Sankar, 2016. Hydrogel: Novel Soil Conditioner and Safer Delivery Vehicle for Fertilizers and Agrochemicals. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*. Volume 02, Issue 09 : 163-172.
- Rapa M., E. Grosu, P. Stoica, M. Andreica, M. Hetvary, 2014. Polyvinyl alcohol and starch blends: properties and biodegradation behavior. *Journal of Environmental Research and Protection*, 34 Volume 11 issue 1. *www.ecoterra-online-ro*.
- Roberrts, K., J. Kowalewska, and S. Friberg, 1974. The influence of interactions between hydrolyzed aluminum ions and polyacrylamides on the sedimentation of kaolin suspensions. *Journal of Colloid and Interface Sciences*, 48, 361-367.
- Rubber Research Institute of Malaysia (R.R.I.M.), 1962. Annual Report. Kuala Lumpur. p:81-83.
- Rubber Research Institute of Malaysia, 1970. Annual Report. Kuala Lumpur. p:48.
- Rubio, H.O., M.K. Wood, M. Cardenas, and B.A. Buchanan, 1989. Effect of Polyacrylamide on seedling emergence of three grass species. *Soil Science*, 148, 355-360.
- Schamp, N., Huyebroek, J., and Sadones, m. 1975. Adhesion and adsorption phenomena in soil conditioning. *In Soil Conditioners*. Soil Science Society of America, special Pub. No. 7. Wiscosin, USA. 13-23.
- Seybold, C.A. 1994. Polyacrylamide review: Soil conditioning and envirotal fate. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 25(11 & 12), 2171-2185.
- Shainberg, I., G.J. Levy, P. Regasamy, and H. Frenkel, 1992. Aggregate stability and seal formation as affected by drops' impact energy and soil amendements. *Soil Science*, 154(2), 113-119.

- Sojka, R.E. and R.D. Lentz, 1994. Time for yet nother look at soil conditioners. *Soil Science*, 158(4), 223-234.
- Sojka, R. E., D. L. Bjorneberg, J. A. Entry, R. D. Lentz and W. J. Orts, 2007. Polyacrylamide In Agriculture And Environmental Land Management. *Advances in Agronomy, Volume 92* : 75-162. Elsevier.
- Sojka, R. E, 2008. Polyacrylamide and Biopolymers Safely Protect Water Quality and Improve Water Quantity Management in the Environment. *In Polyacrylamde (PAM) and PAM Aternatives Workshop*. Februari 26-27, 2008. Albany California. Desert Research Institute.
- Soong, N.K. and C.S. Yeoh, 1974. The use of NR emulsions for stabilising sandy soils. *Proc. Rubb. Res. Int. Kuala Lumpur, Malaysia*. 127-137.
- Soong, N.K. 1979. The prospects of using natural rubber for conditioning tropical soils. In Lal, R. and Greenland, D.J. 1979. *Soil physical properties and crop production*. Pp 105-110. John Wiley and Sons. Chichester.
- Stace, H.T.C., Hubble, G.D., and Brewer, R., Northcote, k.h., Sleeman, J.R., Mulcahy, M.J., and Hallsworth, E.G. 1972. "A Handbook of Australian Soils". Rellim, Glenside, S.A.
- Stern, R.; M.C. Laker and A.J. Van der Merwe. 1991. Field studies on effect of soil conditioners and mulch on run off from kaolinitic and allitic soils. *Australian Journal of Soil Research*, 29, 249-261.
- Theng, B.K. 1979. Formation and properties of clay-polymer complexes. *Developments in Soil Science* 9. Elsevier. 362p.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades, 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 141-63.

- Ueda, T. and S. Harada, 1968a. Effect of the structure of cationic polysulfone on the flocculation of kaolinite. *Journal of Applied Polymer Science*, 12, 2383-2394.
- Ueda, T. and S. Harada, 1968b. Adsorption of cationic polysulfone on bentonite. *Journal of Applied Polymer Science*, 12, 2395-2401.
- Unruh, B.L.; J.C. Silvertooth; C.A. Sanchez and E.R. Norton, 2017. Evaluation of soil conditioners and water treatments for cotton production systems. *Journal of Cotton: A College of Agriculture Report*. UA Campus Repository. 348-351.
- Utomo, W.H. and Dexter, A.R. 1981. Soil friability. *Journal of Soil Science*, 32, 203-214.
- Wah, H.C. and A.T. Bachik, 1985. Commercial application in the use of natural rubber latex emulsions for hydroseeding. *Proceedings International Rubber Conference*, Kuala Lumpur, 710-722.
- Wallace, A. and A.M. Abouzamzam, 1984. Nitrogen and bicarbonate relationships with iron nutrition in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 7, 587-594.
- Wallace, A.; G.A. Wallace; A.M. Abouzamzam, and J.W. Cha, 1986c. Effects of polyacrylamide soil conditioner on the iron status of soybean plants. *Soil Science*, 141, 368-369.
- Wallace, A.; G.A. Wallace, and A.M. Abouzamzam, 1986a. Effects of soil conditioners on water relationships in soils. *Soil Science*, 141, 346-352.
- Wallace, G.A. and A. Wallace, 1986. Control of soil erosion by polymeric soil conditioners. *Soil Science*, 141, 363-367.
- Wallace, A., G.A. Wallace, and A.M. Abouzamzam, 1986b. Amelioration of sodic soils with polymers. *Soil Science*, 141, 359-362.

- Williams, B.G., D.J. Greenland, and J.P. Quirk, 1967. The tensile strength of soil cores containing polyvinyl alcohol. *Australian Journal of Soil Research*, 5, 85-92.
- Wood, J.D. and J.D. Oster, 1985. The effect of cellulose xanthate and polyvinyl alcohol on infiltration, erosion, and crusting at different sodium levels. *Soil Science*, 139, 243-249.
- Wu, S. F., P. T. Wu, H. Feng and C. F. Bu, 2010. Influence of amendments on soil structure and soil loss under simulated rainfall China's loess plateau. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9(37): 6116-6121.
- Zhuang et al., 2017. Effects of sodium polyacrylate on water retention and infiltration capacity of a sandy soil. Springer Plus: 2 (Suppl 1):S11.

DAFTAR ISTILAH (GLOSARI)

Adhesif merekat

Aerose tata udara tanah

Agar-agar air (hydrogel) merupakan ko-polimer seperti agar-agar dengan kemampuan menyerap air sangat tinggi sampai 500 kali.

Agen pengikat merupakan bahan yang menjadi menghubungkan antara polimer dan bahan tanah

Agregat makro merupakan bongkah tanah dengan ukuran > 250 um

Agregat mikro merupakan bongkah tanah dengan ukuran < 250 um

Air kapiler merupakan air yang terdapat di pori tanah sangat halus.

Anionik bersifat anion

Area kering (arid) merupakan area dengan curah hujan sangat rendah kadang tidak ada hujan dalam setahun

Bahan aktif bahan yang mempunyai muatan

Bahan elektrolit bahan-bahan yang dapat menciptakan muatan listrik seperti NaCl.

Basah (humid) merupakan daerah dengan curah hujan tinggi > 1000 mm tahun⁻¹

Berat molekul berat semua unsur yang ada dalam senyawa

Bi modal senyawa rantai panjang (polimer) yang mempunyai dua macam berat molekul.

Calcareus Tanah dengan kandungan Ca yang tinggi dan pH tinggi.

Dalton satuan untuk berat molekul misal berat molekul poli-isoprene 1000.000 Dalton.

Dekomposisi perombakan bahan organik.

Ekor atau jantai (tail) bagian ujung polimer yang tidak melekat ke

bahan tanah sehingga terjantai

Elektroforesis adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan pergerakan partikel dalam medium gel atau cairan yang memiliki medan listrik yang relatif seragam.

Emulsifier merupakan suatu bahan yang digunakan pada emulsi lateks agar lateks tidak menggumpal.

Flokulan bahan yang dapat memflokulasikan partikel liat atau tanah

Flokulasi proses menyatunya partikel-partikel menjadi lebih besar dan mengendap.

Fluid bahan cair

Gaya Van der Waals merupakan gaya yang menyebabkan penyatuan atau melekatnya dua bahan yang berbeda

Hidrofilik sifat yang suka air atau mudah menyerap air

Hidrofobik sifat yang tidak dapat menyerap atau menolak air

Hidrolisis

Homopolimer seragam bentuk struktur polimernya

Ikatan rangkap (double bond) merupakan ikatan tidak jenuh

Inkubasi penyimpanan suatu bahan dalam waktu tertentu dan pada temperatur dan lingkungan yang dapat diatur.

Irreversibel tidak dapat dilepaskan kembali

Isoprene merupakan monomer dari getah karet

Kapasitas lapang keadaan air maksimum yang tersedia untuk tanaman pada pF 2,3 atau 0,33 bar.

Kationik bersifat kation

Kekuatan tensil adalah kekuatan tanah atau bongkah tanah untuk menahan tekanan sampai titik retak

Kemantapan agregat dalam air ketahanan agregat yang diayak dalam air

Koloid fraksi yang berukuran < 1 um dan biasanya bermuatan negatif.

Kondisioner tanah bahan pembenah tanah

Lapisan silika alumina lapisan liat terdiri dari tetrahedra dan oktahedra tergantung jenis liat.

Laso (lingkaran) atau loop polimer yang tidak dijerap bahan tanah dan membentuk lingkaran.

Lateks getah karet

Lem tulang merupakan bahan pembenah tanah dibuat dari tulang dan dijadikan seperti perekat

Loess tanah dengan kandungan debu yang tinggi dan merupakan endapan hasil erosi angin.

Netral tanpa muatan

Perenggang (dispersi) terpisahnya butir-butir liat atau bahan tanah lainnya.

Polimer merupakan senyawa berantai panjang berupa gabungan dari monomernya.

Polimerisasi proses pembuatan polimer dari monomer

Polisakarida guar merupakan bahan polimer dari getah tanaman

Polivalensi mempunyai valensi banyak (lebih dari 2)

Proses salinisasi merupakan proses suatu tanah dengan kadar garam menjadi lebih tinggi

Retensi air adalah penahan air di tanah

Salin tanah dengan kadar garam tinggi

Saluran cacing irigasi merupakan saluran tanah di lahan pertanian

Self mulching soil merupakan tanah pasir yang tidak dapat menyerap air karena pasir diliputi oleh lilin.

Sprinkler merupakan sistem irigasi yang memancarkan air.

Stabiliser merupakan suatu bahan yang digunakan agar emulsi lateks tidak berubah

Steric condition keadaan bahan liat yang merenggang satu dengan lainnya karena permukaannya semua tertutup polimer sehingga terjadi tolak menolak antar partikel.

Surface sealing merupakan penutupan permukaan tanah oleh partikel tanah halus yang terdispersi

Suspensi merupakan larutan tetapi bahan terlarut masih bersifat seperti aslinya (seperti larutan gula).

Terurai (slake) keadaan partikel tanah atau liat menjadi yang lebih kecil.

Titik layu kadar air di tanah dimana tanaman tidak dapat lagi diserap tanaman sehingga tanaman menjadi layu.

DAFTAR INDEKS

- Acetil 29.
- Acrylamide (AMD) 1,12,83,86.
- Butan tetra carboxylic 56.
- Charcoal 1.
- GH₂₀ 19.
- Gypsum 1,48.
- GLO₃ 19.
- Illit 30,60.
- Hevea braziliensis* L. 13.
- Hidrolisa Alumunium
- HPAN 56,75,86.
- Hydrogel 20,21,22,25,45,46,61.
- Illit 28,30.
- Kalium hidroksida 79.
- Kaolinit 34.
- Lateks 4,27,50,60,61,66,69,79,80,87.
- Mollisol 52,53.
- Montmorillonit 28,30.
- Oksi hidroksida 47.
- Oksida besi
- Polisakarida Guar 22,42.
- Poly-propylene (PPA) 68.
- Poly-thene alcohol (PTA) 68.
- Poly vinyl alcohol (PVA) 1,6,17,18,19,22,23,26, 28,29,31,47,48,50,

55,56,59,62,64,66,82,86.

Poly vinyl acetat (PVAc) 1,6,17,18,19,55,84,86.

Poly-vynil pyrrolidine 22

poly-acrylamida (PAM) 1,5,6,7,8,9,11,12,13,23,25,41,42,43,48,49,
60,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,75,76,77,82,83,84.

poly-DADMAC 16,17,33,37,51,52,53,56,57,60,61,79.

Poly-Ethylene Glycol (PEG) 19,20,22.

poly-isoprene 4,13,14,15,33,47,55,87.

poly-methacryloyloxythyl diethyl ammonium methyl sulfate 38.

Poly-vinyl acetat (PVAc)

Potassium Propenoate Propenamide Copolymer 21,78.

Silanol 31.

Siloxane 31.

Sodium poly-acrylate (SP) 58,59.

Terracotem 6.

VAMA 56,57.

Zeolit 1.