

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI *DUST SUPPRESSANT*
BERBASIS POLIMER EMULSI UNTUK APLIKASI DI
PERTAMBANGAN

TESIS

FIRMAN MUTTAQIN
0606151015



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
JAKARTA
DESEMBER 2008

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI *DUST SUPPRESSANT*
BERBASIS POLIMER EMULSI UNTUK APLIKASI DI
PERTAMBANGAN

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister

**FIRMAN MUTTAQIN
0606151015**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
JAKARTA
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Firman Muttaqin
NPM : 0606151015
Tanda Tangan :
Tanggal : 4 Desember 2008



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Firman Muttaqin

NPM : 0606151015

Program Studi : Ilmu Material

Judul Tesis : Pembuatan dan Karakterisasi *Dust Suppressant* Berbasis Polimer Emulsi untuk Aplikasi di Pertambangan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlakukan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Ilmu Material Fakultas MIPA, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Ketua : Dr. Bambang Soegijono ()

Pembimbing : Dr. Emil Budianto ()

Penguji : Dr. Azwar Manaf, M.Met ()

Penguji : Dr. Muhammad Hikam ()

Penguji : Dr. Budhy Kurniawan ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar *Master of Science* Jurusan Material pada Fakultas MIPA Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Emil Budianto, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) PT 3M Indonesia yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) Keluarga tercinta, terutama istri saya, yang telah memberikan bantuan moral dan material; dan
- (4) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 4 Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Firman Muttaqin
NPM : 0606151015
Program Studi : Ilmu Material
Departemen : Fisika
Fakultas : MIPA
Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, meyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pembuatan dan Karakterisasi *Dust Suppressant* Berbasis Polimer Emulsi untuk Aplikasi di Pertambangan

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 4 Desember 2008

Yang menyatakan

(Firman Muttaqin)

ABSTRAK

Nama : Firman Muttaqin
Program Studi : Ilmu Material
Judul : Pembuatan dan Karakterisasi *Dust Suppressant* Berbasis Polimer Emulsi untuk Aplikasi di Pertambangan

Pencemaran udara oleh debu akibat aktivitas pertambangan sangat membahayakan bagi kesehatan dan berpotensi menyebabkan beberapa penyakit. Selain itu, debu juga mengurangi daya pandang mata sehingga membahayakan keselamatan pekerja. *Dust suppressant* adalah material yang digunakan untuk menekan pembentukan debu. Material konvensional yang paling umum digunakan di area pertambangan di Indonesia adalah air karena murah, melimpah, dan aman bagi lingkungan, tetapi tidak tahan lama karena mudah berevaporasi sehingga lebih boros dari segi biaya dan tenaga kerja.

Pada penelitian ini, dua zat aktif utama yaitu polimer emulsi sebagai *binding agent* dan surfaktan sebagai *wetting agent* digunakan pada formulasi material *dust suppressant*. *Dust suppressant* yang baik memiliki sifat tahan lama sehingga mengurangi konsumsi air, daya membasahi yang baik, tidak korosif, dan tahan terhadap erosi. Beberapa uji aplikasi baik di laboratorium maupun di lapangan dilakukan untuk mengetahui kinerja *dust suppressant*. Dari uji aplikasi di lapangan, material *dust suppressant* dengan polimer VA mampu mempertahankan kadar kelembaban tanah 300% lebih tinggi daripada air dan penurunan konsentrasi emisi debu dari 60 sampai 80% daripada air.

Kata kunci: *Dust suppressant, debu, pertambangan*

ABSTRACT

Name : Firman Muttaqin

Program Study : Material Science

Title : The Formulation and Characterization of Emulsion Polymer Based Dust Suppressant for Mining Application

Air pollution by dust, caused by mining activity is very dangerous for healthy and can cause some diseases. Beside that, dust also can reduce visibility so endanger employees safety. Dust suppressant is a material used to push down the formation of dust. The most conventional material for mining industry in Indonesia is water since it's cheap, overabundance, and safe for environment, but evaporate easily so more wasful in fuel and labor cost.

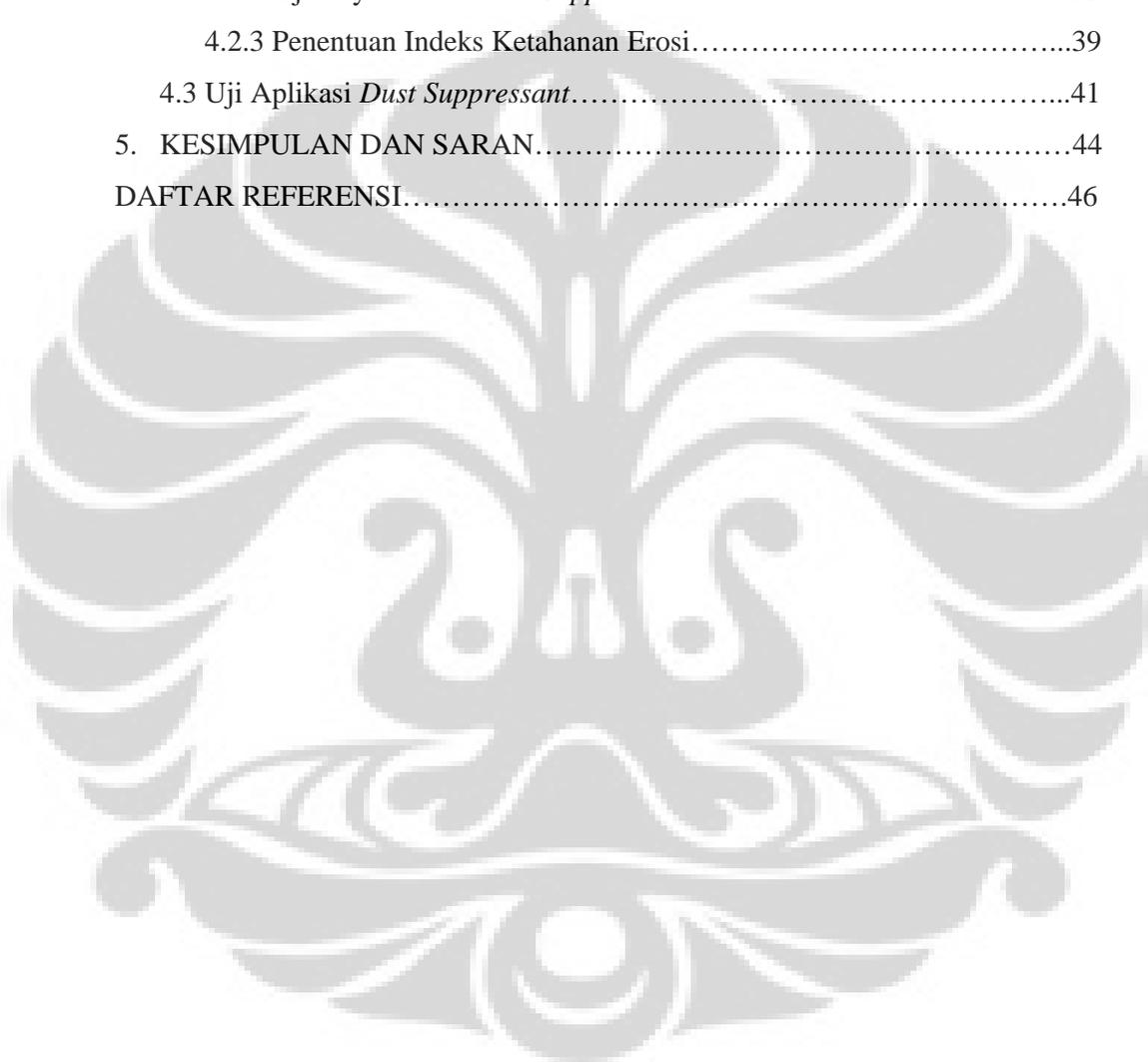
In this research, there are two active substances, emulsion polymer as binding agent and surfactant as wetting agent, used in dust suppressant formulation. Good dust suppressant is well preserved so it reduces water consumption, good wetting agent, non-corrosive, and non-erosion. Some tests in laboratory and field have been done to measure the performance of dust suppressant. From field application test, dust suppressant with VA polymer can maintain soil humidity 300% greater than water and can reduce dust emission from 60% to 80% than water..

Keyword: *Dust suppressant, dust, mining*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR...v	
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Polimer Emulsi.....	5
2.2 Proses Polimerisasi Emulsi.....	7
2.3 Surfaktan.....	10
2.4 Debu dan Pengendaliannya.....	12
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Alat dan Bahan.....	19
3.2 Cara Kerja.....	20
3.2.1 Karakterisasi Polimer.....	20
3.2.2 Penentuan Komposisi Optimum <i>Dust Suppressant</i>	20
3.2.3 Penentuan Tegangan Permukaan Larutan.....	21
3.2.4 Penentuan Laju Penetrasi Larutan <i>Dust Suppressant</i>	21
3.2.5 Penentuan Daya Korosi Larutan <i>Dust Suppressant</i>	22
3.2.6 Penentuan Indeks Ketahanan Erosi.....	22
3.2.7 Penentuan Kadar Kelembaban Tanah.....	23

3.2.8 Penentuan Konsentrasi Emisi Debu.....	24
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Karakterisasi Polimer.....	26
4.2 Karakterisasi <i>Dust Suppressant</i>	32
4.2.1 Pengaruh Surfaktan terhadap Tegangan Permukaan Larutan.....	33
4.2.2 Uji Daya Korosi <i>Dust Suppressant</i>	38
4.2.3 Penentuan Indeks Ketahanan Erosi.....	39
4.3 Uji Aplikasi <i>Dust Suppressant</i>	41
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	44
DAFTAR REFERENSI.....	46



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Formulasi umum <i>dust suppressant</i>	21
Tabel 4.1 Struktur kimia dan temperatur tansisi gelas (T_g) homopolimer.....	26
Tabel 4.2 pH, % kadar padatan dan viskositas polimer.....	27
Tabel 4.3 Uji ketahanan erosi tanah setelah diaplikasikan polimer.....	30
Tabel 4.4 Hasil pengukuran sudut kontak larutan.....	34
Tabel 4.5 Hasil pengukuran sudut kontak larutan.....	35
Tabel 4.6 Uji laju penetrasi larutan <i>dust suppressant</i> 0,5%.....	36
Tabel 4.7 Efek korosi larutan <i>dust suppressant</i> dibandingkan dengan air.....	38
Tabel 4.8 Indeks ketahanan erosi larutan <i>dust suppressant</i> 0,5% b/b.....	40
Tabel 4.9 Penurunan konsentrasi debu setelah diaplikasikan <i>dust suppressant</i> ...	43

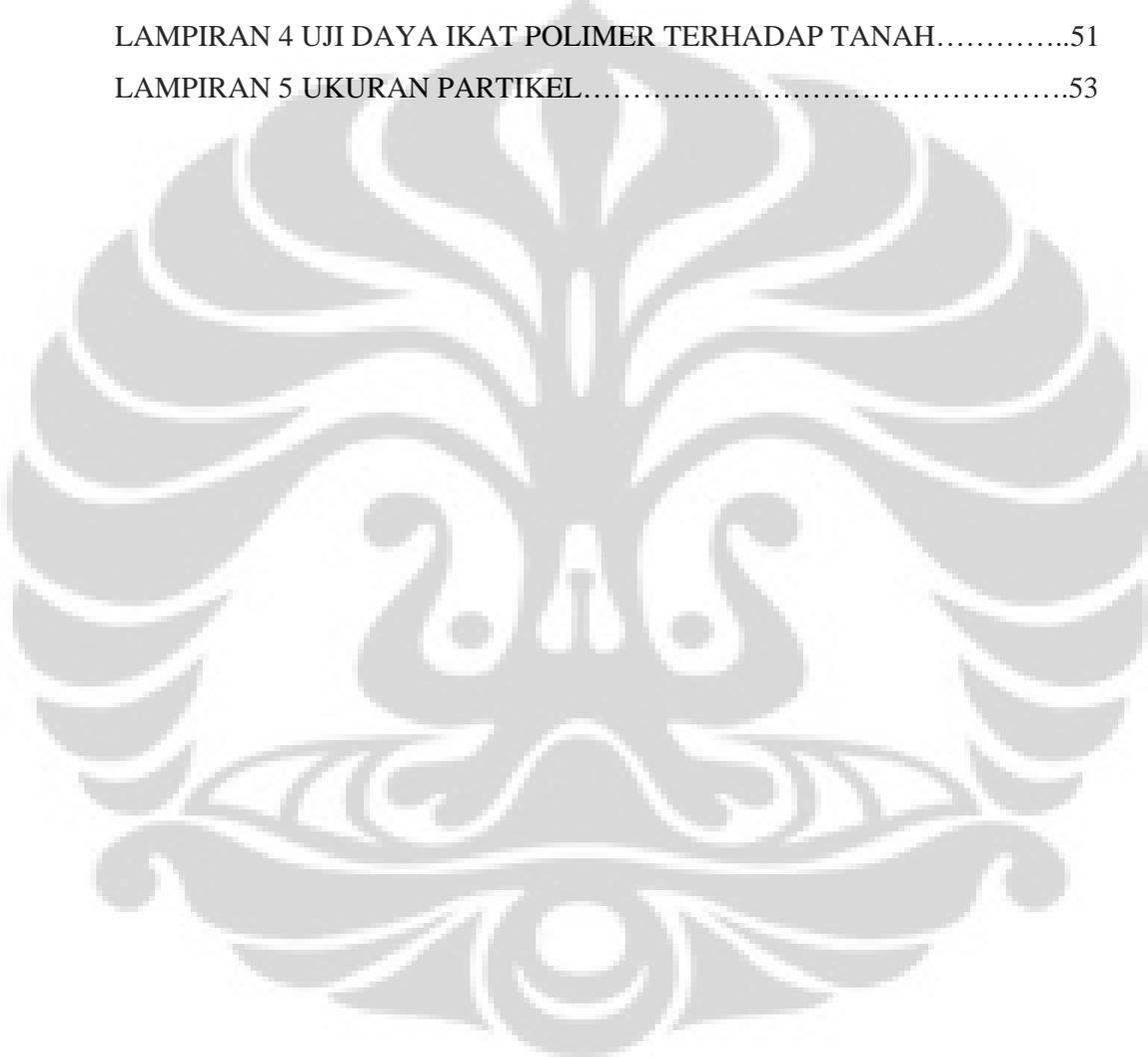
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Aktivitas yang menghasilkan debu di area pertambangan.....	1
Gambar 2.1 Partikel polimer emulsi.....	5
Gambar 2.2 Kondisi awal: pembentukan misel.....	8
Gambar 2.3 Proses polimerisasi emulsi tahap I.....	9
Gambar 2.4 Proses polimerisasi emulsi tahap II.....	9
Gambar 2.5 Proses polimerisasi emulsi tahap III.....	10
Gambar 2.6 Skema molekul surfaktan dengan bagian hidrofil sebagai kepala dan bagian hidrofob sebagai ekor.....	10
Gambar 2.7 Molekul surfaktan dalam air.....	11
Gambar 2.8 Surfaktan dalam air membentuk misel.....	11
Gambar 2. 9 Sistem pernafasan manusia dan tipe debu yang dapat berpenetrasi ke dalam tubuh.....	14
Gambar 2.10 <i>Dust collection systems</i>	16
Gambar 2.11 <i>Wet dust suppression systems</i>	16
Gambar 2. 12 <i>Airborne dust capture through water spray</i>	17
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 3.2 Diagram alir karakterisasi material.....	19
Gambar 3.3 Penentuan tegangan permukaan cairan.....	21
Gambar 4.1 Struktur kimia monomer: a) stiren, b) butil akrilat, c) vinil asetat, d) Veova.....	26
Gambar 4.2 Pembuatan film polimer dengan ketebalan pada kondisi basah 200 mikron dan ketebalan pada kondisi kering 80 mikron.....	28
Gambar 4.3 Skema pembentukan film polimer.....	28
Gambar 4.4 Film polimer diuji tarik menggunakan <i>instron instrument</i>	29
Gambar 4.5 Sifat mekanik polimer.....	29
Gambar 4.6 Homopolimer VA (a), Kopolimer VA/Veova (b), dan kopolimer stiren/akrilat (c).....	30
Gambar 4.7 Grafik uji ketahanan erosi beberapa material polimer dibandingkan dengan air.....	31
Gambar 4.8 Kondisi spesimen setelah direndam lebih dari 18 jam.....	31

Gambar 4.9 Skema ideal pengikatan tanah oleh polimer.....	32
Gambar 4.10 Surfaktan non-ionik dengan rantai etilen glikol sebagai gugus hidrofil.....	33
Gambar 4.11 Penurunan sudut kontak larutan setelah penambahan surfaktan.....	33
Gambar 4.12 Penurunan sudut kontak larutan terhadap penambahan konsentrasi surfaktan.....	34
Gambar 4.13 Sudut kontak cairan dan korelasinya terhadap tegangan permukaan.....	34
Gambar 4.14 Sudut kontak larutan <i>dust suppressant</i>	36
Gambar 4.15 Uji laju penetrasi larutan <i>dust suppressant</i> 0,5%.....	37
Gambar 4.16 Mekanisme peningkatan penetrasi air setelah ditambahkan <i>dust suppressant</i>	37
Gambar 4.17 Efek korosi larutan <i>dust suppressant</i> dibandingkan dengan air murni.....	39
Gambar 4.18 Uji ketahanan erosi larutan <i>dust suppressant</i> 0,5% b/b.....	40
Gambar 4.19 Kadar kelembaban tanah sebelum dan sesudah aplikasi <i>dust suppressant</i>	42
Gambar 4.20 Konsentrasi partikel debu sebelum dan sesudah aplikasi <i>dust suppressant</i>	43

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 MATERIAL <i>DUST SUPPRESSANT</i> , KARAKTERISTIK SERTA KETERBATASANNYA.....	47
LAMPIRAN 2 FOTO ALAT-ALAT.....	48
LAMPIRAN 3 FORMULASI <i>DUST SUPPRESSANT</i>	50
LAMPIRAN 4 UJI DAYA IKAT POLIMER TERHADAP TANAH.....	51
LAMPIRAN 5 UKURAN PARTIKEL.....	53



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Pertambangan adalah industri yang mengolah sumberdaya alam dengan mengambil dan mengolah bahan tambang untuk menghasilkan berbagai produk akhir yang dibutuhkan umat manusia. Industri pertambangan di Indonesia telah memberikan kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan perekonomian Indonesia, baik sebagai sumber penerimaan negara dari ekspor komoditi pertambangan, penyedia sumber energi nasional dan bahan baku industri, penyedia lapangan kerja dan merupakan penggerak sektor lain serta mesin penggerak (*prime mover*) pengembangan suatu wilayah karena sumber daya mineral dan batubara pada umumnya terdapat di daerah yang terpencil^{1,2}.

Namun demikian, Industri pertambangan, seperti juga industri lain, berpotensi memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satunya adalah pencemaran udara oleh debu akibat aktivitas pertambangan seperti ekstraksi, pengeboran (*drilling*), peledakan (*blasting*), *dropping*, penghancuran (*crushing*) dan *conveying*. Hal ini telah menjadi perhatian selama bertahun-tahun karena partikel debu yang berhamburan di udara sangat membahayakan bagi kesehatan dan keselamatan para pekerja tambang.³



Gambar 1.1 Aktivitas yang menghasilkan debu di area pertambangan

Debu merupakan partikel yang melayang di udara (*Suspended Particulate Matter*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam Kasus Pencemaran udara, debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran yang menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan dan keselamatan pekerja.⁴ Ukuran dan jenis debu sangat berpengaruh terhadap kesehatan dengan potensi bahaya yang berbeda-beda. Pekerja yang terpapar partikel debu yang berbahaya dengan konsentrasi berlebihan berpotensi mengalami gangguan pernafasan yang disebut *pneumoconiosis*. Penyakit ini disebabkan oleh penimbunan partikel debu mineral atau logam di paru-paru dan bereaksi dengan jaringan. *Pneumoconiosis* adalah nama umum dari sejumlah penyakit paru-paru yang diakibatkan oleh debu. Beberapa tipe *pneumoconiosis* adalah⁵:

- *Silikosis* disebabkan oleh silika bebas (SiO_2) yang terdapat dalam debu yang terhirup dan tertimbun di dalam paru paru dengan masa inkubasi 2-4 tahun.
- *Black Lung* atau paru-paru hitam terjadi jika partikel batu bara *respirable* terakumulasi di paru-paru dan menggelapkan jaringan. Penyakit ini bersifat progresif. Walaupun penyakit ini umumnya disebut sebagai *black lung*, nama ofisialnya disebut juga *coal worker's pneumoconiosis* (CWP).
- *Asbestosis* adalah jenis *pneumoconiosis* yang disebabkan oleh debu asbes dengan masa latennya 10-20 tahun.

Karena banyaknya dampak negatif yang disebabkan pencemaran udara oleh debu, maka sistem kendali pembentukan debu di area pertambangan perlu diterapkan. Metode konvensional yaitu penyiraman lahan dengan air tidak terlalu efektif karena air cepat berevaporasi sehingga konsumsi air akan lebih banyak atau boros. Penyiraman air yang terlalu banyak juga dapat menyebabkan lahan tanah tergenang menjadi kubangan lumpur karena air sulit berpenetrasi ke dalam tanah dan hal ini tentu saja tidak nyaman bagi para pekerja tambang karena dapat menghambat aktivitas^{3,6}.

Untuk mengatasi hal ini, maka dikembangkan *dust suppressant* yaitu suatu bahan yang bersifat menurunkan tegangan permukaan air sehingga dapat mempercepat laju penetrasi ke dalam tanah dan mengikat partikel-partikel debu

menjadi partikel yang lebih besar. Salah satu sifat lainnya yaitu bahan ini harus mampu mempertahankan kelembaban tanah sehingga penggunaannya lebih efisien. Mekanisme *dust suppressant* adalah aglomerasi, mengikat, meningkatkan kohesi, dan meningkatkan densitas permukaan tanah. Mekanismenya digolongkan menjadi dua proses utama yaitu meningkatkan ukuran partikel material permukaan tanah halus dengan proses aglomerasi dan menghambat degradasi material tanah kasar⁷.

1.2 Perumusan Masalah

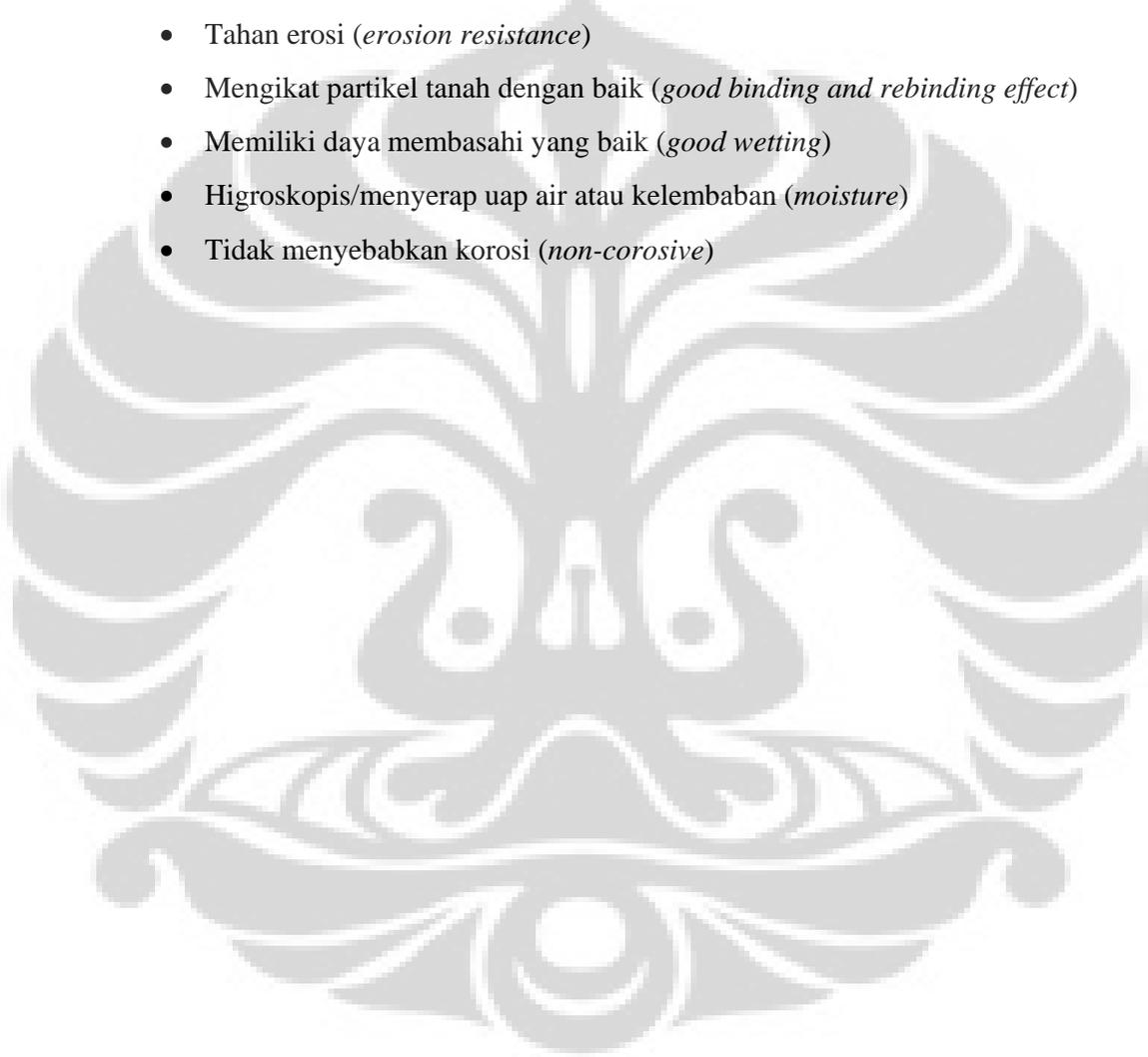
Material *dust suppressant* yang telah umum digunakan diantaranya air, larutan garam seperti NaCl, MgCl₂, dan CaCl₂, emulsi aspal, lignosulfonat, dan resin atau polimer. Material-material ini memiliki karakteristik yang berbeda dengan keterbatasannya masing-masing⁷ (Lampiran 1). Material *dust suppressant* yang paling umum digunakan di daerah pertambangan di Indonesia adalah air karena jumlahnya yang melimpah, murah, dan bersifat aman bagi lingkungan. Namun, air memiliki beberapa keterbatasan yaitu mudah menguap sehingga tidak tahan lama, dan harus diaplikasikan berulang-ulang yang berakibat pada tingginya biaya aplikasi (biaya tenaga kerja dan bahan-bakar). Selain itu, karakteristik sebagian debu yang hidrofob menyebabkan air tidak efektif untuk mengikat partikel-partikel ini.

Pada penelitian ini, *dust suppressant* dikembangkan dari bahan polimer akrilat sebagai *binding agent* dan dikombinasikan dengan penambahan surfaktan sebagai *wetting agent*. Penentuan material polimer yang sesuai dan komposisi optimum merupakan tahap awal penelitian. Karakterisasi material *dust suppressant* dilakukan dengan beberapa metode yang merujuk pada standar internasional (ASTM), dan standar 3M sebagai perusahaan yang mendukung penelitian ini. Karakterisasi yang dilakukan yaitu penentuan parameter dasar material dan uji aplikasi. Beberapa uji aplikasi baik di laboratorium maupun di lapangan dilakukan dengan air sebagai pembanding untuk mengetahui keefektifan *dust suppressant*.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan formulasi *dust suppressant* dari polimer akrilat sebagai *binding agent* dan surfaktan sebagai *wetting agent*. Air digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui keefektifan material hasil penelitian dalam menekan pembentukan debu. Material *dust suppressant* yang diharapkan memiliki kriteria sebagai berikut:

- Tahan erosi (*erosion resistance*)
- Mengikat partikel tanah dengan baik (*good binding and rebinding effect*)
- Memiliki daya membasahi yang baik (*good wetting*)
- Higroskopis/menyerap uap air atau kelembaban (*moisture*)
- Tidak menyebabkan korosi (*non-corosive*)

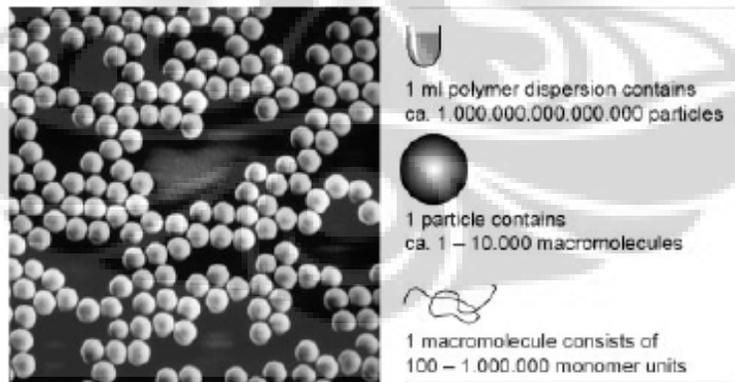


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer Emulsi

Polimer emulsi (disebut juga polimer dispersi atau lateks) adalah polimer yang terdispersi pada fasa air yang disintesis melalui proses polimerisasi emulsi. Polimer ini terdiri dari partikel-partikel polimer kecil yang terdispersi dalam fasa air dan tampak sebagai cairan putih susu (*milky white*). Polimer emulsi merupakan bahan mentah yang sangat dibutuhkan dalam proses industri. Polimer emulsi digunakan untuk melapisi dan melindungi logam, kayu, dan kulit terhadap air dan mikroorganisme, dan juga digunakan sebagai *binder/adhesive*, *filler*, dan fiber.

Pada kebanyakan aplikasi, air sebagai media polimer akan mengalami evaporasi sehingga tersisa polimer fungsional. Polimer ini dapat bersifat keras (*rigid*) maupun lengket, transparan maupun buram (*opaque*), tergantung dari jenis monomer yang digunakan untuk membuat polimer. Polimer emulsi yang sangat penting bagi industri biasanya mengandung 40-60% polimer dalam air. Setiap 1 mL polimer mengandung sekitar 10^{15} partikel dengan diameter 50-500 nm. Satu partikel polimer mengandung 1-10000 makromolekul, dan tiap makromolekul mengandung 100- 10^6 unit monomer⁸.



Gambar 2.1 Partikel polimer emulsi⁸

Beberapa sifat polimer yang penting dan perlu diketahui diantaranya: kekuatan tarik (*tensile strength*), pemuluran (*elongation at break*), elastisitas, transparansi, ketahanan terhadap *solvent* dan UV, temperatur transisi gelas (T_g), adhesivitas, dll. Sifat-sifat polimer tersebut ditentukan oleh komposisi kimia kopolimer, berat molekul dan distribusi berat molekul, morfologi partikel polimer dan morfologi film polimer.

Polimer-polimer yang penting bagi industri diklasifikasikan sebagai berikut:

- Kopolimer stiren/butadien memiliki sifat elastis. Berat molekul dan derajat ikat silang polimer dapat dikontrol dengan memilih derajat konversi dan jumlah *chain transfer agent*. Polimer ini digunakan sebagai karet sintetik dan busa. Polimer stiren/butadien terkarboksilasi mengandung akrilat, metakrilat, asam maleat, fumarat, atau itakonat. Gugus karboksilat memberikan kestabilan partikel polimer dan interaksi yang baik dengan *filler* (kalsium karbonat, *clay*) dan pigmen. Aplikasi utama sebagai sebagai pelapis kertas (*coating*) dan *backing* karpet. Ikatan ganda butadien 1,2 dan 2,3 dapat mengalami oksidasi dan menyebabkan polimer menguning dan getas. Hal ini dapat dihindari dengan penambahan zat antioksidan. Golongan polimer ini tahan terhadap hidrolisis pada pH berapapun karena tidak memiliki gugus ester yang cenderung terhidrolisis terutama pada pH yang sangat tinggi.
- Polimer emulsi akrilat (akrilat murni dan stiren akrilat) adalah polimer yang serbaguna. Jenis akrilat dan ester metakrilat yang bervariasi dengan stiren memungkinkan untuk mengatur temperatur transisi gelas (T_g) dan sifat hidrofil/hidrofob polimer. Ester akrilat cenderung membentuk rantai polimer terikat silang dengan cara menarik atom hidrogen- α , sedangkan ester metakrilat membentuk rantai polimer yang tidak terikat silang. Polimer akrilat memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi oleh udara dan degradasi oleh sinar UV. Aplikasi utama jenis polimer ini adalah sebagai pelapis (*coating*) dan *binder/adhesive*.
- Kopolimer vinil asetat digunakan secara luas sebagai pelapis (*coating*) dan *adhesive*. Untuk menstabilkan partikel polimer, polivinil alkohol

digunakan sebagai koloid pelindung. Kebanyakan komonomer yang umum adalah etilen, *versatic ester*, vinil klorida, dan ester akrilat. Kopolimer etilen/vinil asetat membentuk film elastis dan tidak tahan terhadap oksigen dan sinar. Polimer dispersi dengan kandungan viniliden klorida yang tinggi membentuk film polimer dengan area kristal. Film PVDC (*poliviniliden chloride*) ini memiliki permeabilitas yang sangat rendah terhadap oksigen dan uap air sehingga sering digunakan sebagai pelapis pada bahan pembungkus (*packaging*), terutama pembungkus makanan.

Polimer emulsi dengan asam akrilat/metakrilat dalam jumlah yang besar berubah menjadi larutan dalam air atau gel ketika pH menaik. Polimer ini digunakan sebagai pengental (*thickener*). Film yang terbuat dari dispersi poliuretan memiliki sifat kombinasi yaitu elastis tetapi memiliki *tensile strength* yang tinggi. Dispersi polistiren memiliki temperatur transisi gelas 105°C. polimer ini digunakan sebagai pelapis kertas untuk meningkatkan kilap (*glossy*), pada sabun cair untuk memberikan opasiti, dan pada diagnosis medis sebagai pembawa (*carrier*) zat aktif.

Semua contoh polimer di atas digunakan dengan jumlah besar maupun kecil untuk setiap aplikasi. Alasan utama digunakan polimer ini adalah karena sifatnya yang bervariasi yang dapat dicapai melalui polimerisasi emulsi. Proses polimerisasi emulsi tergolong sebagai proses produksi yang murah, produknya yang berupa cairan mudah ditangani, dan penggunaan media air menyebabkan produk ini lebih ramah lingkungan.

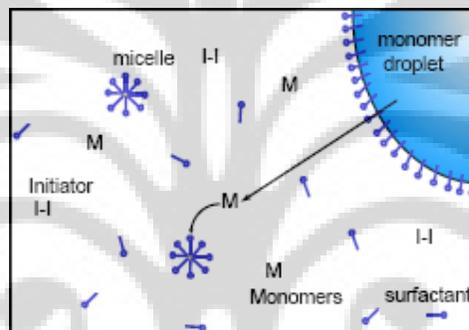
2.2 Proses Polimerisasi Emulsi

Pada proses polimerisasi emulsi, monomer vinil atau akrilat dikonversi menjadi polimer yang terdispersi dalam media air atau disebut juga lateks. Proses dimulai dengan penambahan inisiator berupa radikal bebas. Partikel polimer distabilkan oleh zat aktif permukaan atau surfaktan untuk mencegah terjadinya penggabungan partikel atau penggumpalan (koagulasi). Produk akhir dari proses ini berupa polimer lateks.

Proses polimerisasi emulsi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan polimerisasi larutan (tanpa surfaktan) karena dapat dilakukan pada viskositas

rendah. Proses polimerisasi emulsi dapat meminimalkan panas yang terbentuk selama reaksi (eksotermik), membentuk polimer dengan massa molar polimer yang tinggi dan siklus waktunya pendek. Produk akhirnya berupa sistem polimer dalam air dengan viskositas rendah. Polimerisasi emulsi diterapkan pada skala industri untuk memproduksi *binder* dalam berbagai produk seperti cat emulsi, *adhesive*, primer dan *sealant*.

Proses polimerisasi emulsi terjadi dalam beberapa tahap. Pada fasa awal, monomer terdispersi dalam tetesan kecil yang distabilkan oleh surfaktan. Hampir semua molekul surfaktan sisa terdapat dalam bentuk kluster (misel) dalam fasa air.

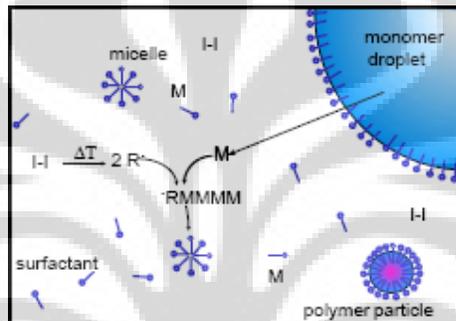


Gambar 2.2 Kondisi awal: pembentukan misel⁹

Misel relative lebih kecil (10 nm) dibandingkan ukuran tetesan monomer (1-10 μm). Proses polimerisasi dapat dibedakan dalam tiga tahapan. Pada tahap I terjadi pembentukan awal partikel polimer. Pada tahap II, polimerisasi terjadi bersamaan dengan pemberian monomer baru yang menghasilkan pertumbuhan partikel polimer. Pada akhir tahap II, suplai monomer berhenti diikuti oleh penurunan laju polimerisasi secara bertahap (tahap III).

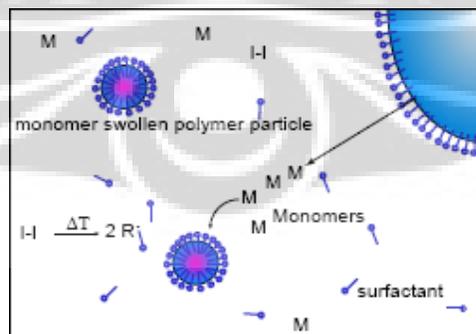
Polimerisasi emulsi biasanya digunakan untuk membentuk polimer lateks melalui tiga tahapan diatas. Proses ini semikontinyu dimana monomer ditambahkan secara bertahap kedalam reaktor dalam periode tertentu. Untuk memulai proses, reaktor diisi air, surfaktan dan sebagian inisiator. Reaktor dipanaskan sampai mencapai suhu reaksi. Monomer sebanyak 5-10% dari jumlah total ditambahkan kedalam reaktor untuk membentuk bibit lateks sehingga tahap pembentukan partikel dapat dikontrol dengan baik.

Polimerisasi dimulai dengan pembentukan radikal bebas dari dekomposisi termal inisiator pada fasa air. Radikal bebas bereaksi dengan monomer pada fasa air membentuk rantai oligomer (tahap I). Oligomer ini dapat terserap kedalam misel atau dapat melanjutkan pertumbuhan dan menyerap molekul surfaktan sehingga membentuk partikel polimer baru (gambar 2.2). Proses ini terus berlanjut sampai tak ada misel yang tersisa. Pada proses semikontinyu, tahap I berkaitan dengan pembentukan bibit lateks.



Gambar 2.3 Proses polimerisasi emulsi tahap I⁹

Partikel polimer mulai menyerap monomer tambahan yang bermigrasi dari tetesan monomer dalam fasa air. Kemudian polimerisasi utama terjadi dalam partikel polimer yang menyerap monomer tanpa pembentukan partikel polimer baru (tahap II). Monomer yang dikonsumsi oleh rantai polimer akan digantikan oleh monomer baru yang terus menerus bermigrasi dari tetesan monomer.

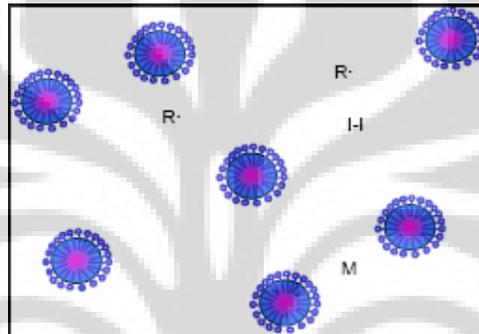


Gambar 2.4 Proses polimerisasi emulsi tahap II⁹

Penipisan jumlah monomer dicegah dengan penambahan monomer baru secara kontinyu. Partikel yang tumbuh distabilkan oleh penyerapan surfaktan dan koloid

pada permukaan polimer. Inisiator baru ditambahkan secara kontinyu kedalam reaktor melalui sistem feeding yang berbeda. Untuk proses semikontinyu, tahap II diterapkan selama periode penambahan monomer.

Setelah semua monomer ditambahkan, polimerisasi berlanjut dengan konversi monomer residu menjadi partikel polimer. Laju polimerisasi menurun secara bertahap menuju nol ketika sudah tidak ada lagi monomer yang tersisa. Tahap III berkaitan dengan periode akhir polimerisasi semikontinyu.



Gambar 2.5 Proses polimerisasi emulsi tahap III⁹

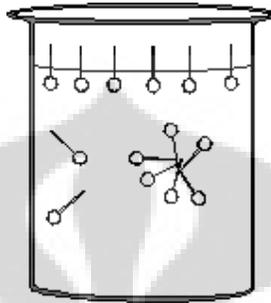
2.3 Surfaktan

Surfaktan berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan suatu cairan atau disebut juga *wetting agent* karena dapat meningkatkan daya membasahi suatu cairan. Secara etimologi, surfaktan berasal dari “*surface acting agent*” atau zat aktif permukaan. Surfaktan merupakan senyawa organik yang memiliki gugus hidrofilik dan hidrofobik dalam satu rantai molekul, sehingga zat ini dapat larut baik di air maupun di pelarut organik.



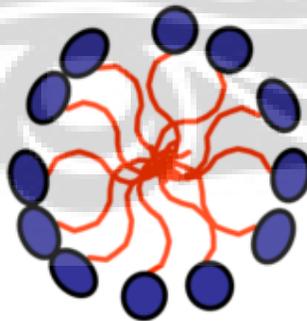
Gambar 2.6 Skema molekul surfaktan dengan bagian hidrofil sebagai kepala dan bagian hidrofob sebagai ekor

Surfaktan mengurangi tegangan permukaan air dengan cara mengadsorpsi antarmuka liquid-gas. Surfaktan juga mengurangi tegangan antarmuka minyak dan air dengan mengadsorpsi pada antarmuka liquid-liquid.



Gambar 2.7 Molekul surfaktan dalam air¹⁰

Fenomena penting yang diamati pada surfaktan yaitu beberapa perubahan sifat fisik suatu larutan air yang terjadi pada konsentrasi kritis tertentu. Jika konsentrasi kritis tercapai, molekul surfaktan bergabung/membentuk agregat yang teratur, biasanya berbentuk bulat (*spherical*), yang disebut juga dengan misel (*micelles*). Konsentrasi surfaktan mulai membentuk misel disebut juga konsentrasi kritis misel (*critical micelle concentration* atau CMC) dan jumlah molekul surfaktan yang membentuk satu misel disebut jumlah aglomerasi. Ketika misel terbentuk di dalam air, ekor surfaktan membentuk inti yang dapat membungkus tetesan minyak, dan bagian kepala (ionik/polar) membentuk kulit terluar yang dapat mempertahankan kontak dengan air.



Gambar 2.8 Surfaktan dalam air membentuk misel

Gugus hidrofobik biasanya merupakan hidrokarbon rantai panjang atau hidrokarbon teroksigenasi, sedangkan gugus hidrofiliknya bisa berupa molekul

ionik maupun yang sangat polar. Berdasarkan sifat molekul gugus hidrofiliknya, surfaktan diklasifikasikan menjadi:

- Anionik, yaitu gugus hidrofil bermuatan negatif. Sebagai contoh: gugus karboksilat, sulfat, sulfonat, dan fosfat.
- Kationik, yaitu gugus hidrofil bermuatan positif. Sebagai contoh: garam amoniak kuartener berantai panjang dan garam amina, baik dengan atau tanpa unit etilen oksida.
- Non-ionik, yaitu gugus hidrofilnya tak bermuatan, biasanya adalah alkilfenol. Keseimbangan hidrofilik/hidrofobik dikontrol oleh jumlah mol etilen oksida.
- Zwitterionik, memiliki kedua muatan positif dan negatif pada gugus hidrofilnya.

Surfaktan anionik dan kationik tidak sesuai (*compatible*) satu dengan lainnya, sedangkan surfaktan non-ionik dan zwitter-ionik bersifat kompatibel dan dapat digunakan baik dengan anionik maupun kationik.

Surfaktan merupakan bahan yang sangat penting pada proses polimerasi emulsi. Surfaktan berfungsi untuk:

- Pelarutan monomer ke dalam misel, membentuk inti utama pada proses nukleasi
- Menstabilkan partikel polimer yang terbentuk selama proses
- Meningkatkan sifat atau kinerja aplikasi polimer

Satu jenis surfaktan mungkin dapat memenuhi ketiga peranan di atas, atau memerlukan beberapa surfaktan lainnya. Pemilihan surfaktan yang optimum untuk satu peranan kemungkinan menyebabkan kinerja yang tak diinginkan dan kemungkinan menimbulkan sinergi yang positif atau negatif ketika banyak surfaktan digunakan. Oleh karena itu sangat penting mempelajari karakteristik masing-masing surfaktan agar diperoleh hasil yang optimal

2.4 Debu dan Pengendaliannya

Debu adalah partikel yang sangat kecil yang dibawa oleh aliran udara. Partikel-partikel ini terbentuk karena adanya proses pemecahan, seperti *grinding*, penghancuran (*crushing*), atau tumbukan (*impact*). MSHA mendefinisikan debu

sebagai partikel padat yang sangat halus yang dapat menjadi partikel udara dari bentuk awalnya tanpa terjadinya perubahan fisika maupun kimia. Debu dihasilkan dengan ukuran partikel yang bervariasi selama proses pembentukan debu dan biasanya diukur dalam satuan mikrometer/mikron.

Debu dihasilkan dari beberapa kegiatan manufaktur dan industri serta kegiatan domestik seperti transportasi. Industri konstruksi, agrikultur, dan pertambangan adalah beberapa industri yang paling umum yang berkontribusi terhadap peningkatan kadar debu di atmosfer. Pada operasi pengolahan mineral, debu diemisikan dari:

- ketika bijih hancur akibat tumbukan, abrasi, penghancuran (*crushing*), *grinding*, dll
- melalui pelepasan debu yang sudah terbentuk sebelumnya melalui proses pemuatan (*loading*), *dumping*, dan pengiriman
- melalui resirkulasi oleh angin atau mobilitas pekerja dan mesin.

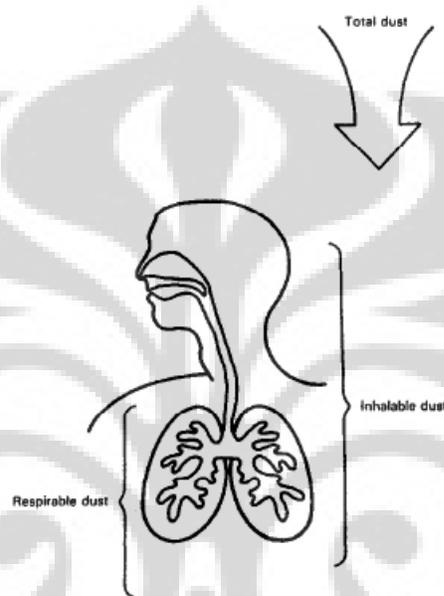
Jumlah debu yang dihasilkan dari kegiatan di atas bergantung pada karakteristik fisik material dan cara penanganannya.

Fibrogenic dust, seperti silika kristalin atau asbestos, secara biologi bersifat toksik, dan jika terdapat di paru-paru dapat merusak jaringan dan merusak fungsi paru-paru. *Nuisance dust*, atau *inert dust*, dapat didefinisikan sebagai debu dengan kandungan kuarsa kurang dari 1%. Karena kandungan silikanya yang rendah, *Nuisance dust* memiliki efek jangka panjang terhadap paru-paru. Bagaimanapun juga, konsentrasi debu yang berlebihan di area kerja dapat mengganggu aktivitas, mengurangi daya pandang/visibilitas (contoh oksida besi), menyebabkan deposit berbahaya di mata, rongga hidung, dan telinga (contoh debu semen), dan merusak jaringan kulit dan membran *mucous* baik karena reaksi kimia maupun mekanik.

Dari sudut pandang kesehatan, debu diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama:

- *respirable dust*, yaitu fraksi partikel debu dengan diameter kurang dari 10 mikron yang dapat berpenetrasi ke dalam hidung, masuk ke sistem pernafasan atas, dan bergerak ke dalam paru-paru.

- *Inhalable dust*, yaitu fraksi partikel debu dengan diameter lebih dari 10 mikron yang dapat memasuki tubuh tetapi terperangkap di rongga hidung, tenggorokan, dan sistem pernafasan bagian atas.
- *Total dust* meliputi semua partikel debu yang ada di udara tanpa mempertimbangkan ukuran dan komposisinya.



Gambar 2. 9 Sistem pernafasan manusia dan tipe debu yang dapat berpenetrasi ke dalam tubuh⁵

Walaupun tak dapat dihindari pada setiap operasi pengolahan mineral, pembentukan debu di lingkungan kerja sangat tidak diinginkan karena dapat menghambat produktivitas. Beberapa masalah kesehatan dan industri yang timbul akibat konsentrasi debu yang berlebihan di udara adalah sebagai berikut:

- Masalah kesehatan, seperti
 - Penyakit pernafasan
 - Iritasi pada kulit, rongga hidung, mata, telinga, dan tenggorokan
- Resiko kebakaran dan ledakan
- Merusak peralatan
- Mengganggu daya pandang/visibilitas
- Bau yang tidak sedap
- Masalah pada hubungan antar komunitas

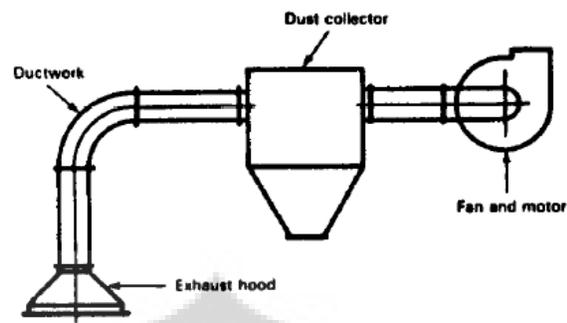
Dan yang menjadi konsen paling utama adalah masalah kesehatan pekerja yang terpapar debu secara berlebihan, yang dapat menyebabkan penyakit pada sistem pernafasan yang disebut *pneumoconiosis*. Penyakit ini disebabkan karena penimbunan debu mineral dan logam pada paru-paru dalam jangka lama sehingga menyebabkan reaksi dengan jaringan disekitarnya. *Pneumoconiosis* adalah nama umum bagi penyakit paru-paru yang diakibatkan debu. Beberapa tipe *pneumoconiosis* lainnya adalah:

- *Silikosis* disebabkan oleh silika bebas (SiO_2) atau kuarsa yang terdapat dalam debu dan terhirup serta tertimbun di dalam paru paru dengan masa inkubasi 2-4 tahun dan dapat melukai jaringan.
- *Black lung* (paru-paru hitam) disebabkan oleh partikel batubara *respirable* (diameter <10 mikron) yang terakumulasi pada paru-paru dan menggelapkan jaringan. Nama lainnya disebut juga *coal worker's pneumoconiosis* (CWP).
- *Asbestosis*, adalah bentuk *pneumoconiosis* yang disebabkan oleh fiber asbes. Penyakit ini tak dapat disembuhkan.

Melihat dari banyaknya potensi bahaya yang disebabkan oleh debu, sistem kendali pembentukan debu perlu diterapkan untuk mengurangi emisi debu ke lingkungan. Selain itu juga, sistem kendali ini dapat meningkatkan produktivitas pekerja, peralatan menjadi lebih awet, biaya perawatan murah, dan mengurangi *downtime*.

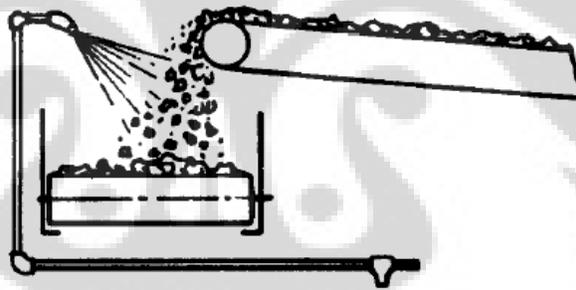
Beberapa metode yang dapat diterapkan untuk mengurangi emisi debu ke lingkungan sebagai berikut:

- Pencegahan, yaitu dengan menerapkan penanganan yang benar terhadap setiap material yang berpotensi menimbulkan debu, meminimalkan terjadi tumbukan, abrasi, dll.
- Sistem kendali, yaitu beberapa teknik yang didesain untuk mengurangi konsentrasi debu di udara, seperti
 - *Dust collection systems*, yaitu penerapan prinsip ventilasi di industri untuk menangkap partikel debu dari sumbernya. Debu yang tertangkap kemudian dikirim ke *dust collector*, sehingga dapat membersihkan udara.



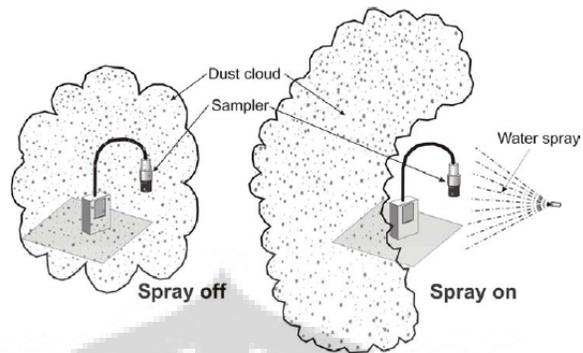
Gambar 2.10 *Dust collection systems*⁵

- *Wet dust suppression systems*, yaitu menggunakan cairan (biasanya air) untuk membasahi material yang memiliki kecenderungan menghasilkan debu. Menjaga material tetap lembab, meminimalkan pembentukan debu.



Gambar 2.11 *Wet dust suppression systems*⁵

- *Airborne dust capture through water spray*, yaitu dengan menyemprotkan tetesan air halus pada udara berdebu. Tetesan air akan bertumbukan dengan partikel debu di udara sehingga terjadi proses aglomerasi, dan debu akan jatuh atau mengendap.



Gambar 2. 12 Airborne dust capture through water spray³

- Dilusi dan isolasi
 - Dilusi yaitu mengurangi konsentrasi debu yang berlebihan dengan mengalirkan udara segar yang tidak terkontaminasi. Sistem ini tidak terlalu memuaskan dan hanya diterapkan jika ada proses atau operasi yang tidak membolehkan sistem kendali debu yang lain
 - Isolasi yaitu dengan cara memisahkan para pekerja pada suatu area tertutup dan dialirkan udara tersaring dan bersih. Cara ini dapat melindungi para pekerja dari debu yang membahayakan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mempelajari dan mengembangkan formulasi *dust suppressant* berbasis kopolimer akrilat sebagai *binding agent* dan nonionik surfaktan sebagai *wetting agent*. Metodologi penelitian terdiri dari tiga tahap utama:

1. Penentuan komposisi optimum *dust suppressant*
2. Karakterisasi material
3. Uji aplikasi



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Pada penentuan komposisi optimum, pencampuran bahan-bahan utama, yang terdiri dari polimer akrilat dan surfaktan serta bahan tambahan seperti *humectant agent* dan *emulsifier*, dilakukan dengan komposisi tertentu melalui serangkaian uji aplikasi dan karakterisasi material untuk memperoleh kinerja yang paling baik.

Berikut tahapan karakterisasi material dust suppressant:



Gambar 3.2 Diagram alir karakterisasi material

3.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas yang umum digunakan di laboratorium kimia. Beberapa peralatan khusus yang digunakan diantaranya :

1. *Instron universal tester* model 5576
2. *IKA Mechanical overhead stirrer* model RW20.n
3. *Viscometer Brookfield analog* model LVT
4. *pH meter WTW* model inoLab pH 730
5. *Oven Ecocel ex MMM*, kapasitas 200 L, temperatur maksimal 250°C
6. *Climatic Chamber Binder* model KBF115
7. *Analytical Balance Mettler Toledo* model AB204-S/Fact
8. *Laboratory weighing AND* model GX-6100
9. *CAM-Plus Contact Angle Meter*
10. *Erosion test equipmet* yang dikembangkan oleh 3M (Lampiran 2)

Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah (Lampiran 3):

1. Air
2. Kopolimer emulsi lateks
3. Surfaktan nonionik dari jenis alkil polietilen glikol eter dengan derajat etoksilasi 7
4. karboksimetil selulosa (CMC)
5. Poliglikol
6. *Acticide* (anti jamur)

3.2 Cara Kerja

3.2.1 Karakterisasi Polimer

Karakterisasi polimer terdiri dari penentuan kadar padatan, viskositas, dan uji tarik menggunakan *instron instrument*. Penentuan kadar padatan dilakukan dengan metode pemanasan didalam oven pada suhu 120°C selama 1 jam, dengan berat sampel 1 gram. Persentase kadar padatan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\% \text{ kadar padatan} = \frac{\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Pengukuran viskositas polimer menggunakan viskometer analog Brookfield model LVT berdasarkan ASTM D2196. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik polimer. Polimer emulsi dibentuk lapisan tipis/film dengan menggunakan aplikator 200 mikron pada substrat kaca dan didiamkan selama 4 jam sampai film mengering. Film polimer kemudian dilepas dari substrat kaca dan diuji tarik berdasarkan ASTM D882 untuk mengetahui kekuatan tarik dan derajat elongasinya.

3.2.2 Penentuan Komposisi Optimum *Dust Suppressant*

Pada tahap ini, yaitu tahap formulasi *dust suppressant* meliputi proses pemilihan polimer yang memiliki kinerja paling optimal dengan konsentrasi polimer 50% b/b, dan penentuan konsentrasi surfaktan yang optimal berdasarkan hasil uji tegangan permukaan larutan. Persentase bahan-bahan lain dibuat tetap

yaitu CMC 0,2% b/b, poliglikol 5% b/b, dan *acticide* 0,2% b/b. Formulasi secara umum adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Formulasi umum *dust suppressant*

No	Bahan-bahan	% berat
1	Air	40-50
2	CMC	0,2
3	Surfaktan nonionik	0-4
4	Kopolimer akrilat	50
5	Poliglikol	5
6	<i>Acticide</i>	0,2

3.2.3 Penentuan Tegangan Permukaan Larutan

Penentuan tegangan permukaan cairan dilakukan untuk mengetahui keefektifan *dust suppressant* yang mengandung surfaktan dalam menurunkan tegangan permukaan air. Tegangan permukaan cairan ditentukan dengan mengukur sudut kontak yang terbentuk antara tetesan cairan terhadap substrat berdasarkan ASTM D5946 menggunakan alat CAM-plus *contact angle meter*. Semakin rendah sudut kontak yang terbentuk, semakin kecil tegangan permukaan cairan.



Gambar 3.3 Penentuan tegangan permukaan cairan

3.2.4 Penentuan Laju Penetrasi Larutan *Dust Suppressant*

Uji laju penetrasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *dust suppressant* dalam mempercepat laju penetrasi air ke dalam tanah. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut: 500 gram tanah dengan ukuran yang seragam

dimasukkan ke dalam gelas ukur 1 L dan diratakan tingginya. Larutan *dust suppressant* 0,5% (dalam air) seberat 200 gr dituangkan kedalam gelas ukur berisi tanah dan dihitung waktu penetrasi yaitu dari awal penuangan sampai semua larutan berpenetrasi sempurna kedalam tanah.

3.2.5 Penentuan Daya Korosi Larutan *Dust Suppressant*

Penentuan daya korosi dilakukan untuk mempelajari efek korosi yang ditimbulkan oleh larutan *dust suppressant* terhadap material logam. Prosedur pengujian dilakukan dengan merendam lempengan besi dengan ukuran tertentu dan berat yang telah diketahui (ditimbang dengan *analytical balance*, ketelitian 0.1 mg) di dalam larutan *dust suppressant* 0,5% selama rentang waktu tertentu. Berat yang hilang (berat awal dikurangi berat akhir) selama perendaman dicatat dan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ berat terkorosi} = \frac{\text{berat yang hilang}}{\text{berat awal}} \times 100\% \quad (3.2)$$

3.2.6 Penentuan Indeks Ketahanan Erosi

Penentuan indeks ketahanan erosi dilakukan dalam dua prosedur:

Prosedur ke-1:

Uji ketahanan air (*water resistance test*) dilakukan untuk menentukan jenis polimer yang memiliki kekuatan ikat (*binding strength*) yang paling tinggi terhadap tanah. Prosedur pengujian mengadopsi metode dari paten US7070709 B2¹¹. Tanah seberat 50 gr dicampur dengan 20 gr larutan polimer 10% b/b dan diaduk sampai homogen membentuk lumpur (*slurry*). Lumpur yang terbentuk sebanyak 10 gr dicetak dan dipadatkan membentuk silinder dengan diameter 2 cm dan tinggi 2 cm. Spesimen didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Spesimen kemudian disiram air yang mengalir dengan laju konstan selama 5 menit. Berat sesudah penyiraman ditimbang dan dihitung indeks ketahanan erosinya dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ Indeks ketahanan erosi} = \frac{\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \quad (3.3)$$

Prosedur tambahan yaitu dengan cara merendam spesimen tanah didalam air selama rentang waktu tertentu. Data diperoleh dari pengamatan visual spesimen setelah perendaman.

Prosedur ke-2:

Uji ketahanan terhadap angin (*air flow resistance test*) berdasarkan metode yang dikembangkan oleh 3M Colombia. Prosedur ini digunakan sebagai simulasi lapangan untuk menentukan kinerja *dust suppressant* dalam menekan emisi debu yang terbentuk akibat terpaan angin. Spesimen tanah sebanyak 100 gr ditempatkan pada wadah berukuran 10x20 cm dan diratakan tingginya. Larutan *dust suppressant* 0,5% sebanyak 30 gr diaplikasikan pada spesimen dengan cara *dispray* sampai merata, kemudian ditimbang berat total awal. Spesimen tanah didiamkan selama 2 jam pada suhu 40°C. Angin yang dihasilkan dari *air compressor* bertekanan 40 psi disemprotkan pada spesimen selama 5 menit. Berat tanah akhir ditimbang dan dihitung indeks ketahanan erosinya menggunakan persamaan 3.

3.2.7 Penentuan Kadar Kelembaban Tanah

Dust suppressant dapat menjaga kelembaban tanah dengan mengurangi laju evaporasi air. Penentuan kadar kelembaban tanah berdasarkan berat merujuk pada ASTM D 2216-05 setelah perlakuan *dust suppressant* dilakukan dengan metode pengeringan menggunakan oven. Untuk uji kandungan air pada tanah, sampel tanah yang digunakan terdiri dari tiga jenis: 1. spesimen tanah setelah aplikasi *dust suppressant*; 2. spesimen tanah setelah aplikasi dengan air; 3. spesimen tanah tanpa perlakuan (*original specimen*). Untuk persiapan spesimen tanah, *dust suppressant* diaplikasikan pada sebidang tanah, sebagai pembanding, air diaplikasikan pada sebidang tanah yang lain dan beri tanda masing-masing kemudian diamkan selama rentang waktu tertentu. Spesimen tanah diambil sebanyak ± 200 gr, ditempatkan pada kontainer yang telah diketahui beratnya kemudian ditimbang dan dicatat. Spesimen tanah ditempatkan ke dalam oven pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ selama 16 jam. Spesimen setelah pengeringan ditimbang dan dicatat beratnya. %kadar air (kelembaban) tanah ditentukan dengan persamaan:

$$\%kadar\ air = \frac{M_{cms} - M_{cds}}{M_{cds} - M_c} \times 100\% = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

M_{cms} = berat kontainer dan spesimen lembab

M_{cds} = berat kontainer dan spesimen kering

M_c = berat kontainer

M_w = berat air

M_s = berat spesimen kering

3.2.8 Penentuan Konsentrasi Emisi Debu

Penentuan konsentrasi emisi debu dilakukan untuk mempelajari keefektifan *dust suppressant* dalam menekan pembentukan debu. Penentuan konsentrasi emisi debu dilakukan dengan menggunakan alat *particle counter* yang dapat mendeteksi jumlah partikel per volume dengan rentang ukuran partikel yang bervariasi dari 0,2 mikron sampai lebih dari 10 mikron. Pada percobaan ini, rentang ukuran partikel debu yang diteliti dibagi menjadi dua, yaitu ukuran partikel 5-10 mikron yang merupakan jenis *respirable dust* dan ukuran partikel lebih dari 10 mikron yang merupakan jenis *inhalable dust*. Pengukuran konsentrasi debu dilakukan pada tiga area, yaitu:

- 1) *buffer area* yaitu area yang tidak diaplikasikan *dust suppressant* maupun air,
- 2) area yang disiram dengan air, dan
- 3) area yang diaplikasikan *dust suppressant*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dust suppressant adalah material, biasanya berbentuk cairan, yang berfungsi untuk mengurangi emisi debu atau menekan pembentukan debu dari permukaan tanah tak beraspal akibat aktivitas pertambangan seperti transportasi dan erosi oleh angin. *Dust suppressant* diaplikasikan dengan cara disiram pada permukaan tanah. *Dust suppressant* yang dikembangkan pada penelitian ini terdiri dari zat utama yaitu *binding agent* sebagai zat pengikat partikel tanah dan surfaktan non-ionik yang berfungsi untuk meningkatkan laju penetrasi *dust suppressant* ke dalam tanah.

Penelitian ini berfokus pada penentuan jenis polimer yang sesuai untuk aplikasi *dust suppressant*. Beberapa metode digunakan untuk mempelajari karakteristik tiap polimer. Polimer yang digunakan adalah polimer emulsi berbasis VAM (*vinyl acetate monomer*), Veova, dan *styrene acrylate*. Tipe-tipe polimer ini memiliki ciri khas yaitu bersifat elastis pada kondisi kering dan memiliki daya ikat (*binding effect*) yang baik. Hal ini sangat penting untuk aplikasi *dust suppressant* karena kelemahan polimer yang kaku (*rigid*) pada kondisi kering yaitu mudah retak, sehingga kemampuan polimer sebagai zat pengikat tanah menjadi tidak efektif.

Penambahan surfaktan pada formulasi *dust suppressant* dapat meningkatkan kinerja *dust suppressant* dengan cara mempercepat laju penetrasi larutan ke dalam tanah sehingga menghambat laju evaporasi air. Poliglikol sebagai *humectant agent* digunakan untuk meningkatkan kemampuan material *dust suppressant* dalam mempertahankan kelembaban tanah.

Pada bab ini dibahas secara berurutan dari tahapan uji sifat mekanik polimer, kemampuan polimer dalam mengikat tanah (*binding effect*), karakterisasi *dust suppressant* dan uji aplikasi *dust suppressant*. Metode yang digunakan pada percobaan ini merujuk pada standar internasional (ASTM), jurnal ilmiah dan paten, dan metode yang dikembangkan oleh 3M sebagai perusahaan yang mendukung penelitian ini.

4.1 Karakterisasi Polimer

Dust suppressant menekan pembentukan debu melalui dua mekanisme utama yaitu;

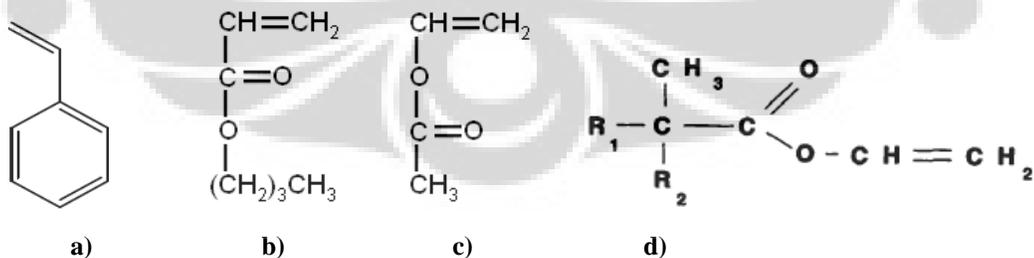
- 1) Meningkatkan ukuran partikel tanah halus melalui proses aglomerasi dan
- 2) Menghambat degradasi material tanah kasar.

Proses aglomerasi terjadi karena adanya efek pengikatan (*binding effect*) partikel-partikel tanah halus menjadi ukuran besar melalui kerja polimer dispersi sebagai zat pengikat (*binding agent*)⁷. Polimer yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- 1) Hopolimer Vinil asetat
- 2) Kopolimer Vinil asetat-Veova
- 3) Kopolimer Stiren-akrilat

Tabel 4.1 Struktur kimia dan temperatur tansisi gelas (T_g) homopolimer

No	Monomer	Struktur	T_g homopolimer ($^{\circ}\text{C}$)
1	Vinil asetat	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$	32
2	Stiren	$\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{C}_6\text{H}_5)$	100
3	<i>n</i> -Butil akrilat	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})-\text{O}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$	-54
4	Veova 10	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\text{C}(\text{O})-\text{C}(\text{CH}_3)(\text{R}_1)(\text{R}_2)$	-3



Gambar 4.1 Struktur kimia monomer: a) stiren, b) butil akrilat, c) vinil asetat, d) Veova

Hasil uji pH, kadar padatan dan viskositas polimer tertera pada tabel berikut:

Tabel 4.2 pH, % kadar padatan, dan viskositas polimer

No	Jenis Polimer	pH (25°C)	Viskositas (cps) (25°C)*	% Kadar padatan**
1	Homopolimer VA	3,3	8350	57.19
2	Kopolimer VA/Veova 1	4,6	562.5	51.56
3	Kopolimer Stiren/akrilat	7	12100	57.52

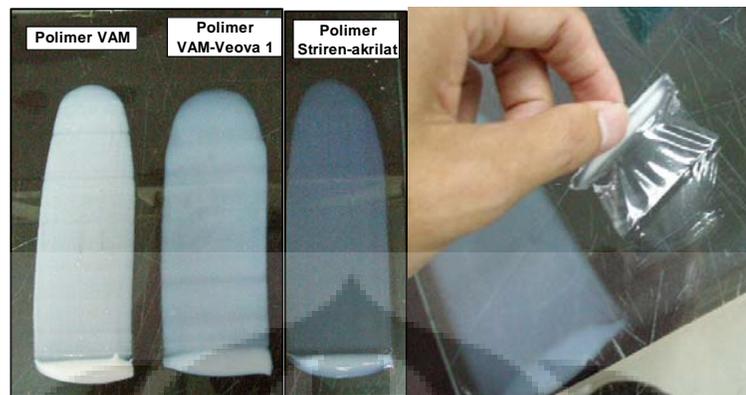
Catatan: *Penentuan viskositas menggunakan viskometer Brookfield LVT (ASTM D2196)

**Penentuan kadar padatan dilakukan pada suhu 120°C selama 1 jam

Kopolimer stiren/akrilat memiliki viskositas yang paling tinggi dikarenakan tingginya derajat ikat silang pada polimer ini. Selain itu, pengaruh dari stiren yang dapat menaikkan T_g dapat meningkatkan kekakuan dari kopolimer ini. Hal ini dikarenakan pengukuran dilakukan pada suhu ruang (25-27 °C), dan pergerakan partikel polimer pada suhu dibawah suhu transisi gelas lebih terbatas.

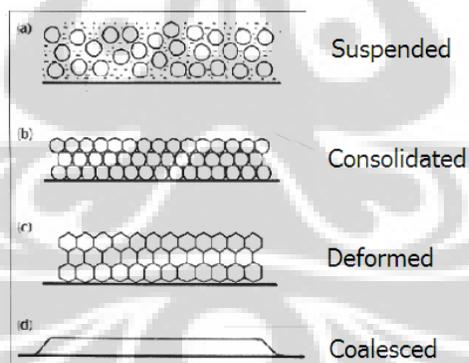
Syarat utama polimer dispersi yang digunakan untuk aplikasi *dust suppressant* harus memiliki elastisitas yang baik pada kondisi kering atau tidak bersifat kaku dan retak (*rigid*). Untuk mengetahui sifat elastisitas polimer, film polimer dibuat *film applicator* dengan ketebalan basah 200 mikron, kemudian diuji dengan menggunakan *instron instrument* untuk mempelajari sifat mekanik polimer tersebut.

Film polimer yang masih basah didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang. Pada kondisi ini, air sebagai media dispersi polimer terevaporasi sehingga meninggalkan lapisan tipis/film polimer solid dengan ketebalan akhir sekitar 80 mikron.



Gambar 4.2 Pembuatan film polimer dengan ketebalan pada kondisi basah 200 mikron dan ketebalan pada kondisi kering 80 mikron

Proses pembentukan film polimer terjadi secara bertahap yang diawali dengan evaporasi air, penggabungan partikel-partikel polimer yang kemudian mengalami deformasi sehingga partikel polimer lebih rapat. Tahap terakhir terjadi penggabungan partikel menjadi lapisan tipis atau film yang dapat dijelaskan dengan skema berikut¹²:



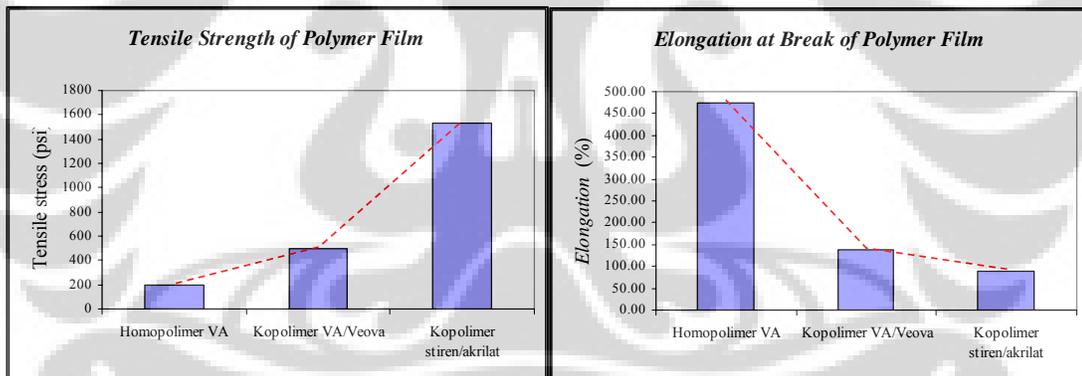
Gambar 4.3 Skema pembentukan film polimer¹²

Film polimer dilepas dari substrat kaca dan diuji tarik dengan *instron instrument* berdasarkan ASTM D882-02. Dimensi film memiliki ketebalan 80 mikron, lebar 1 inch dan panjang 5 cm.



Gambar 4.4 Film polimer diuji tarik menggunakan *instron instrument*

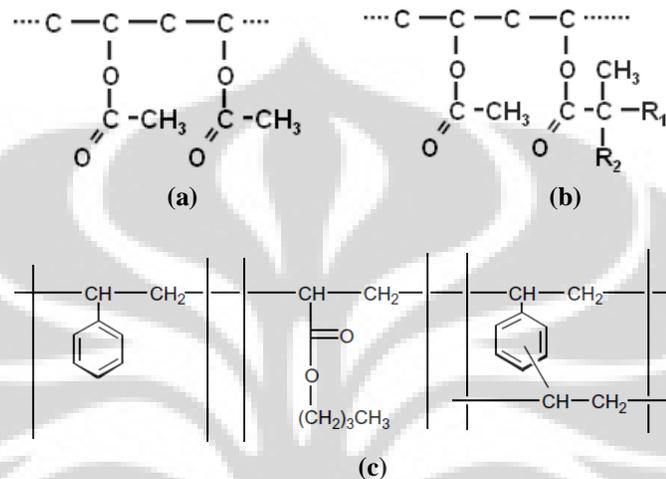
Dari hasil uji tarik diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 4.5 Sifat mekanik polimer

Kopolimer stiren/akrilat memiliki sifat yang kaku dan keras karena adanya monomer stiren yang menaikkan kekakuan kopolimer dikarenakan memiliki T_g yang tinggi⁸. Hal ini terlihat dari grafik diatas bahwa kopolimer stiren/akrilat menunjukkan nilai *tensile strength* yang paling tinggi dan *elongation at break* yang paling rendah. Sedangkan Homopolimer VA memiliki derajat elastisitas paling tinggi yang ditunjukkan oleh persentase *elongation at break*, dikarenakan polimer ini T_g yang

rendah sehingga film polimer cenderung lentur, sedangkan kopolimer VA/Veova memiliki cabang rantai polimer yang fungsional dan berpotensi mengalami ikat silang sehingga nilai *tensile strength*-nya mengalami kenaikan dibandingkan homopolimer VA.

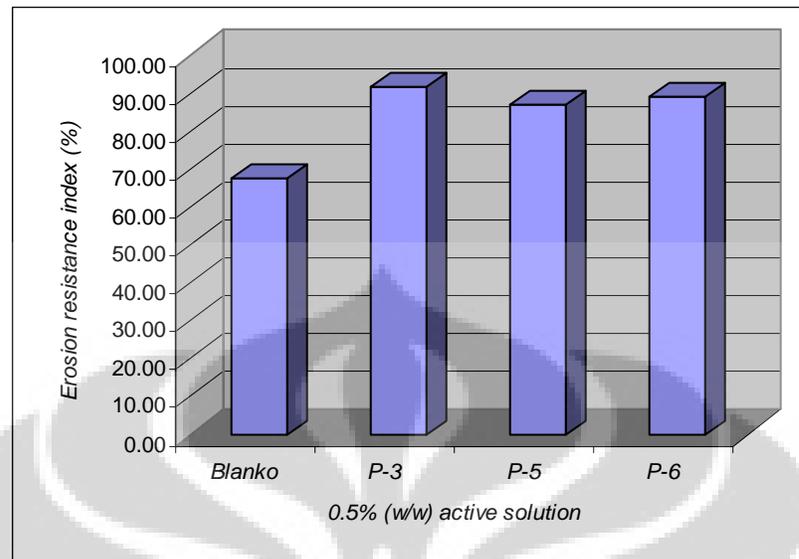


Gambar 4.6 Homopolimer VA (a), Kopolimer VA/Veova (b), dan kopolimer stiren/akrilat (c)

Polimer dievaluasi lebih lanjut untuk mengetahui kekuatan ikat (*binding strength*) polimer terhadap partikel tanah. Uji ketahanan erosi tanah dilakukan untuk mengetahui keefektifan polimer dalam mengikat material tanah. Hasil uji ketahanan erosi sebagai berikut:

Tabel 4.3 Uji ketahanan erosi tanah setelah diaplikasikan polimer

No	Bahan	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)	Indeks Ketahanan Erosi (%)
1	Homopolimer VA	9.9214	7.0874	71.44
2	Kopolimer VA/Veova	9.4842	6.5577	69.14
3	Kopolimer stiren/akrilat	9.7892	6.954	71.04
4	Air	10.276	6.3743	62.03



Gambar 4.7 Grafik uji ketahanan erosi beberapa material polimer dibandingkan dengan air

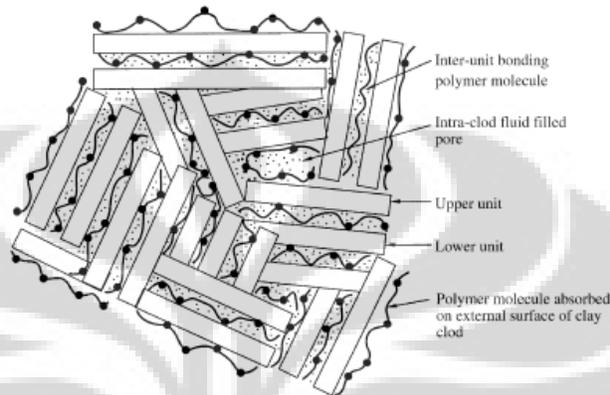
Homopolimer VA dan kopolimer stiren/akrilat memiliki ketahanan erosi yang baik. Sedangkan kopolimer VA/Veova memiliki ketahanan erosi yang lebih rendah dibandingkan kedua polimer sebelumnya. Sedangkan air digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui seberapa jauh kinerja polimer dalam mengikat partikel tanah.



Gambar 4.8 Kondisi spesimen setelah direndam lebih dari 18 jam

Gambar diatas menunjukkan kondisi spesimen setelah direndam dalam air selama 18 jam. Dari hasil pengamatan secara visual (lampiran 4), homopolimer VA memiliki kekuatan ikat yang paling baik terhadap tanah dikarenakan homopolimer

VA memiliki T_g yang paling rendah sehingga cenderung lebih elastis dan memiliki daya adhesi dan pelapisan (*coating*) yang lebih baik dibandingkan polimer dengan T_g yang tinggi¹³. Skema pelapisan polimer oleh tanah ditunjukkan oleh gambar di bawah ini:



Gambar 4.9 Skema ideal pengikatan tanah oleh polimer⁶

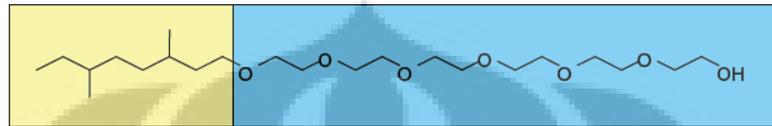
Berdasarkan hasil dari kedua prosedur diatas, maka untuk percobaan selanjutnya akan difokuskan pada penggunaan polimer-polimer tersebut untuk diformulasikan menjadi material *dust suppressant*.

4.2 Karakterisasi Dust Suppressant

Formulasi *dust suppressant* terdiri dari dua zat aktif utama yaitu polimer emulsi sebagai zat pengikat (*binding agent*) dan surfaktan sebagai *wetting agent* yaitu zat yang berfungsi meningkatkan daya membasahi suatu liquid. *Humectant* ditambahkan pada formulasi untuk meningkatkan kemampuan *dust suppressant* dalam mempertahankan kelembaban tanah. Pengemulsi CMC ditambahkan untuk menstabilkan emulsi dan *acticide* untuk mencegah pembentukan jamur (lampiran 3). Beberapa uji terhadap formulasi *dust suppressant* dilakukan untuk mengetahui karakteristik masing-masing material dengan menggunakan beberapa metode uji yang telah dipaparkan pada bab 3. Dari hasil uji ini akan dipilih material *dust suppressant* terbaik yang selanjutnya akan digunakan untuk uji lapangan.

4.2.1 Pengaruh Surfaktan terhadap Tegangan Permukaan Larutan

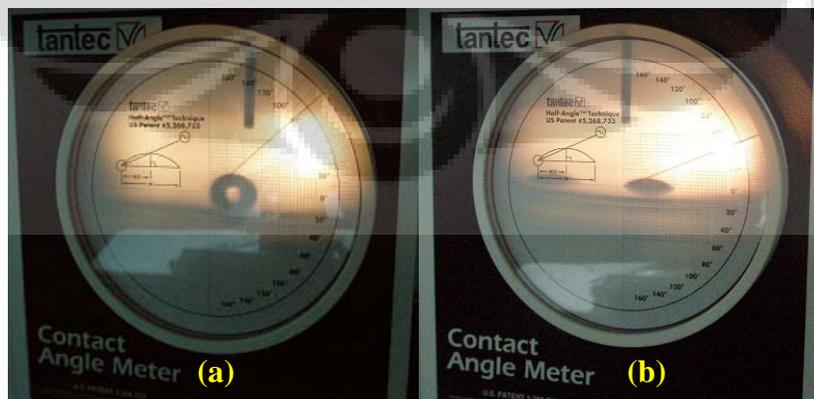
Surfaktan yang digunakan pada penelitian ini adalah surfaktan non-ionik *alkyl polyethylene glycol ethers* dengan derajat etoksilasi 7 yang memiliki daya emulsi dan membasahi yang sangat baik (*excellent wetting*)¹⁴.



Gambar 4.10 Surfaktan non-ionik dengan rantai etilen glikol sebagai gugus hidrofil¹⁴

Surfaktan jenis ini bersifat ramah lingkungan seperti kadar toksisitas *aquatic* yang rendah, busa yang sedikit (*low foaming*), dan mudah mengalami biodegradasi¹⁵. Surfaktan berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan air dan larutan. Penambahan surfaktan pada *dust suppressant* dapat mempercepat laju penetrasi larutan ke dalam tanah.

Untuk mengetahui pengaruh surfaktan terhadap tegangan permukaan larutan, maka dibuat beberapa formulasi *dust suppressant* dengan memvariasikan konsentrasi surfaktan dari 0% sampai 4% b/b, sementara konsentrasi material lain dibuat tetap (lampiran 3). Material hasil formulasi kemudian dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 0,5% b/b dan diukur tegangan permukaannya dengan CAM-PLUS *contact angle meter* berdasarkan ASTM D5946-04.



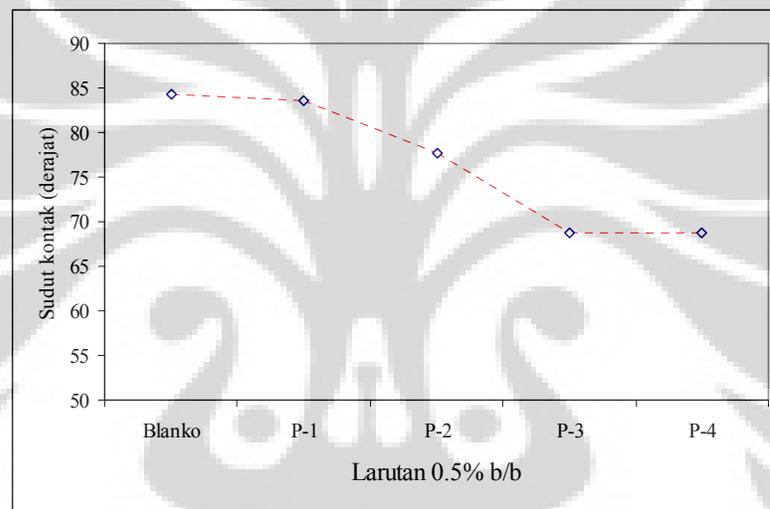
Gambar 4.11 Penurunan sudut kontak larutan setelah penambahan surfaktan

Tabel 4.4 Hasil pengukuran sudut kontak larutan

No	Larutan 0.5%	Konsentrasi surfaktan	Pengukuran Ke-					Sudut kontak rata-rata*
			1	2	3	4	5	
1	Blanko**	-	86	82	84	85	84	84.2
2	P-1	0%	84	86	84	82	82	83.6
3	P-2	1%	76	76	80	78	78	77.6
4	P-3	2%	68	68	68	70	70	68.8
5	P-4	4%	68	68	70	68	70	68.8

Keterangan: *Sudut kontak diukur menggunakan teknik pengukuran setengah sudut

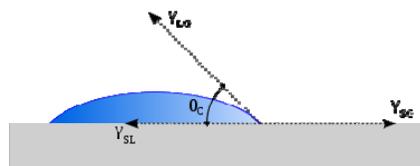
** Blanko adalah air murni



Gambar 4.12 Penurunan sudut kontak larutan terhadap kenaikan konsentrasi surfaktan

Grafik pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi surfaktan menurunkan sudut kontak larutan yang berarti pula penurunan tegangan permukaan sesuai dengan persamaan Young berikut (θ adalah sudut kontak dan γ_{SL} adalah tegangan permukaan):

$$0 = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} - \gamma \cos \theta_C$$



Gambar 4.13 Sudut kontak cairan dan korelasinya terhadap tegangan permukaan

Dari P-1 ke P-2 terjadi penurunan sudut kontak yang signifikan, sedangkan dari P-2 ke P-3, tidak terjadi penurunan sudut kontak yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa surfaktan menurunkan tegangan permukaan larutan hanya pada konsentrasi yang rendah¹⁰, dan pada konsentrasi 2% adalah konsentrasi optimal, sehingga untuk percobaan selanjutnya akan digunakan konsentrasi surfaktan 2%.

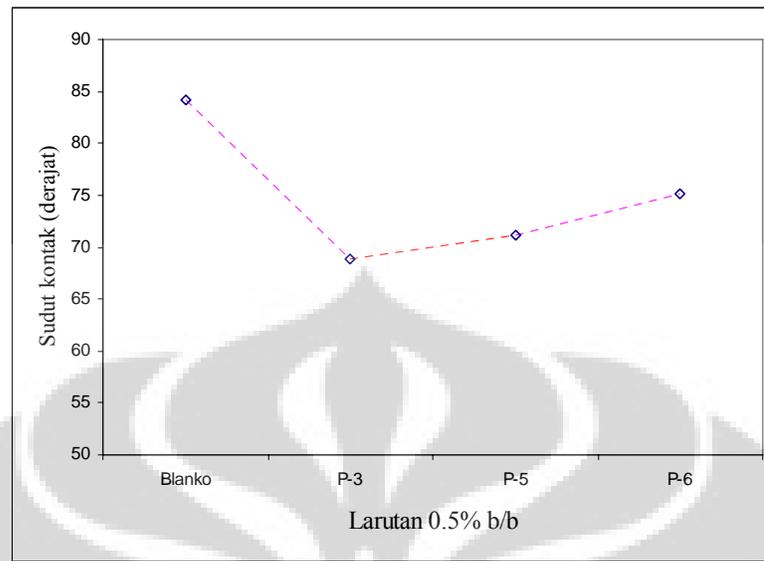
Dust suppressant yang efektif memiliki kemampuan membasahi permukaan tanah dengan baik sehingga mudah berpenetrasi ke dalam tanah. Hal ini dapat dicapai dengan penambahan surfaktan pada formulasi *dust suppressant*. Formulasi *dust suppressant* yang terbaik dapat diketahui dengan mengevaluasi sudut kontak dan laju penetrasi larutan *dust suppressant*. Hasil pengukuran sudut kontak larutan *dust suppressant* hasil formulasi (P-3 sampai P-6, lampiran 3) dengan konsentrasi 0,5% b/b dalam air adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil pengukuran sudut kontak larutan

No	Larutan 0,5%	Pengukuran Ke-					Sudut kontak rata-rata*
		1	2	3	4	5	
1	Blanko**	86	82	84	85	84	84.2
2	P-3	68	68	68	70	70	68.8
3	P-5	76	76	80	78	78	77.6
4	P-6	68	68	68	70	70	68.8

Keterangan: *Sudut kontak diukur menggunakan teknik pengukuran setengah sudut (*half angle measurement*)

** Blanko adalah air murni



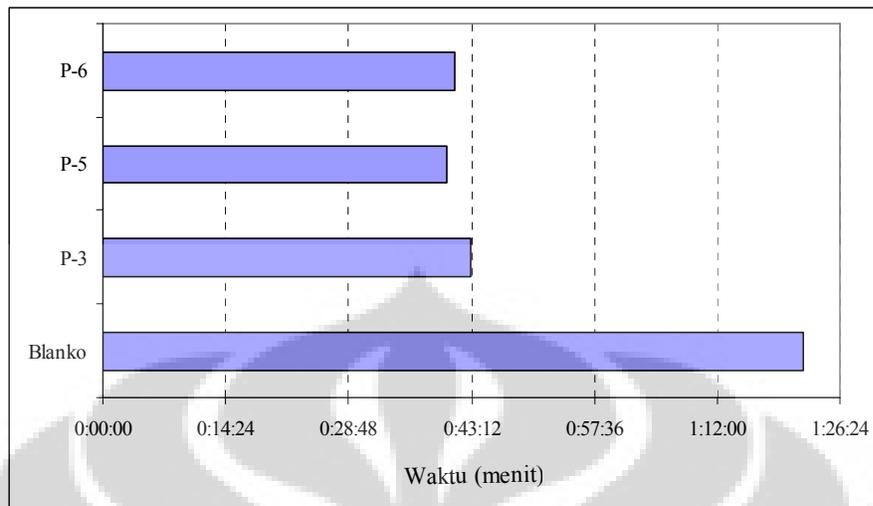
Gambar 4.14 Sudut kontak larutan *dust suppressant*

Hasil uji sudut kontak menunjukkan bahwa formulasi P-3 memiliki tegangan permukaan paling rendah. Hal ini dikarenakan sifat dari homopolimer VA yang lebih mudah terhidrolisis karena adanya gugus asetat yang terhidrolisis menjadi gugus OH sehingga formulasi P-3 lebih mudah larut dalam air dan tegangan permukaan larutan akan menurun.

Hasil uji laju penetrasi larutan *dust suppressant* 0,5% b/b sebagai berikut:

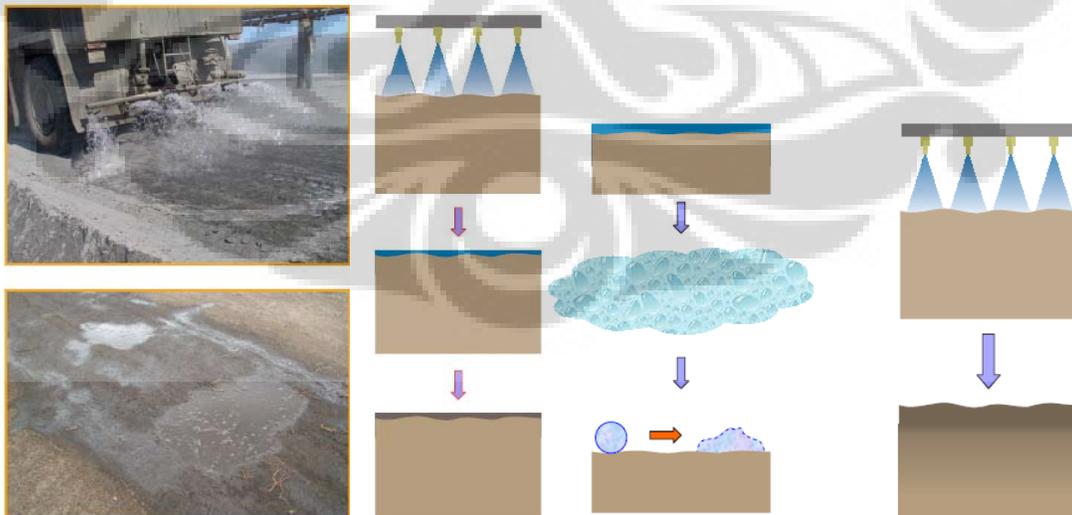
Tabel 4.6 Uji laju penetrasi larutan *dust suppressant* 0,5% b/b

No	Larutan 0,5%	Waktu (menit)
1	Blanko	1:22:12
2	P-3	0:43:06
3	P-5	0:40:22
4	P-6	0:41:12



Gambar 4.15 Uji laju penetrasi larutan *dust suppressant* 0,5%

Histogram pada gambar 4.15 menunjukkan bahwa penambahan *dust suppressant* mampu mempercepat laju penetrasi dibandingkan air murni. Dengan meningkatnya laju penetrasi, aplikasi *dust suppressant* pada permukaan tanah diharapkan dapat menekan pembentukan debu dalam jangka waktu yang lebih lama daripada air.



Gambar 4.16 Mekanisme peningkatan penetrasi air setelah ditambahkan *dust suppressant*

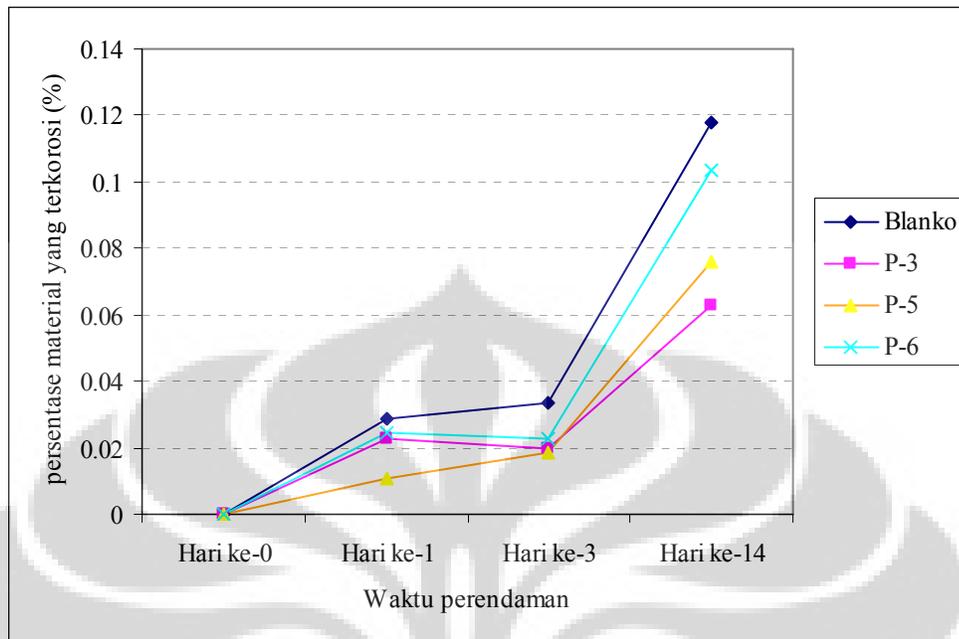
Hal ini dapat terjadi karena laju evaporasi air dapat dikurangi akibat penetrasi yang dalam ke dalam permukaan tanah. Keuntungan lainnya adalah tidak terbentuk kubangan lumpur pada permukaan tanah akibat air yang mengambang pada permukaan tanah.

4.2.2 Uji Daya Korosi *Dust Suppressant*

Efek korosi yang ditimbulkan larutan *dust suppressant* dipelajari dengan menggunakan prosedur perendaman lempengan logam dalam cairan uji dan diamati perubahan beratnya dalam rentang waktu tertentu. Garam-garam seperti NaCl dan $MgCl_2$ yang digunakan sebagai alternatif *dust suppressant* memiliki kelebihan dapat mempertahankan kelembaban tanah karena bersifat higroskopis, akan tetapi efek korosinya juga tinggi sehingga dapat merusak alat-alat pertambangan dan dikhawatirkan mempengaruhi mineral-mineral logam. *Dust suppressant* yang dikembangkan pada penelitian ini diharapkan memiliki efek korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan air murni. Dari uji daya korosi diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.7 Efek korosi larutan *dust suppressant* dibandingkan dengan air

No	Sampel	% terkorosi			
		Hari ke-0	Hari ke-1	Hari ke-3	Hari ke-14
1	Blanko	0	0.03	0.03	0.12
2	P-3	0	0.02	0.02	0.06
3	P-5	0	0.01	0.02	0.08
4	P-6	0	0.02	0.02	0.10



Gambar 4.17 Efek korosi larutan *dust suppressant* dibandingkan dengan air murni

Formulasi *dust suppressant* P-3 dengan homopolimer VA menimbulkan efek korosi yang paling rendah diantara yang lainnya. Hal ini bisa dijelaskan dengan meninjau laju difusi dan efek pelapisan (*coating*) homopolimer VA yang lebih baik karena ukuran partikelnya yang lebih kecil (lampiran 5) sehingga dapat mencegah terjadinya oksidasi pada lempeng logam.

4.2.3 Penentuan Indeks Ketahanan Erosi

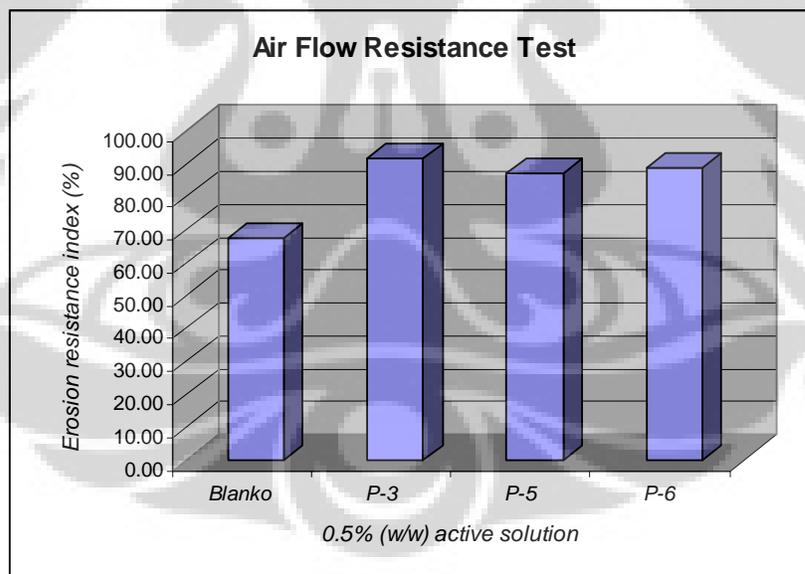
Pembentukan debu terjadi karena adanya proses pemecahan material tanah menjadi partikel-partikel debu halus yang berterbangan di udara. Proses pembentukan debu ini biasanya terjadi akibat aktivitas pertambangan dan erosi oleh angin. Permukaan tanah kering akan lebih mudah tererosi oleh angin dibandingkan permukaan tanah lembab. *Dust suppressant* diaplikasikan pada permukaan tanah untuk meningkatkan kelembababn tanah dan meminimalkan pembentukan debu karena erosi oleh angin.

Penentuan indeks ketahanan erosi dilakukan untuk mengetahui keefektifan *dust suppressant* dalam menekan pembentukan debu oleh angin. Indeks ketahanan erosi ini adalah rasio perbandingan berat tanah sesudah dan sebelum pengujian. Metode yang digunakan yaitu *air flow resistance test* merupakan metode yang dikembangkan oleh 3M untuk mengetahui kinerja *dust suppressant* dalam menahan erosi (lampiran 2). Berikut hasil uji ketahanan erosi tanah:

Tabel 4.8 Indeks ketahanan erosi larutan *dust suppressant* 0,5% b/b

No	Sampel	Berat (gr)		Indeks ketahanan erosi (%)
		Sebelum	Sesudah	
1	Blanko*	190.76	128.71	67.47
2	P-3	191.31	175.61	91.79
3	P-5	190.50	165.88	87.08
4	P-6	190.61	169.61	88.98

Keterangan: *Blanko adalah air murni



Gambar 4.18 Uji ketahanan erosi larutan *dust suppressant* 0,5% b/b

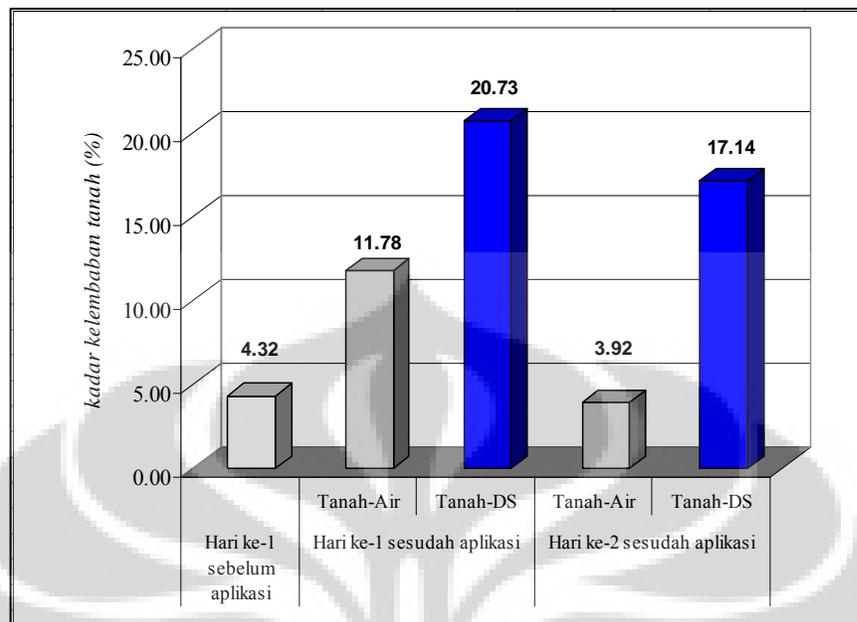
Dari histogram pada gambar 4.18, formula P-3 memiliki kinerja paling baik dalam menahan erosi dengan indeks ketahanan erosi 91,79% artinya kurang dari 9% material tanah yang tererosi menjadi debu setelah penambahan larutan *dust*

suppressant. Hal ini menunjukkan bahwa P-3 dengan homopolimer VA mampu mengikat partikel-partikel tanah kasar dengan sangat baik sehingga debu yang terbentuk akibat erosi dapat dikurangi. Dari serangkaian uji karakterisasi formulasi *dust suppressant*, formulasi *dust suppressant* P-3 memberikan hasil yang paling optimal sehingga disimpulkan bahwa formulasi P-3 dengan homopolimer VA adalah formulasi yang terbaik yang akan digunakan untuk uji aplikasi di lapangan terbuka.

4.3 Uji Aplikasi *Dust Suppressant*

Uji aplikasi *dust suppressant* bertujuan untuk mengetahui kinerja *dust suppressant* dalam meminimalkan emisi debu jalanan. Parameter yang akan diukur adalah kemampuan *dust suppressant* dalam mempertahankan kelembaban tanah dan konsentrasi debu yang terbentuk sesudah aplikasi. Uji aplikasi dilakukan di sebidang tanah merah di daerah pertambangan pada kondisi kering dengan suhu udara 34°C dan suhu tanah mencapai 38°C dan kelembaban relatif 80%. Formulasi *dust suppressant* P-3 (homopolimer vinil asetat) dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 0,5% b/b dan diaplikasikan pada permukaan tanah dengan *coverage area* 0,5 liter/m². Sebidang tanah yang lain disiram dengan air biasa sebagai pembanding keefektifan *dust suppressant* dalam mengurangi emisi debu akibat erosi dan aktivitas pertambangan.

Histogram pada gambar 4.19 menunjukkan bahwa *dust suppressant* mampu menjaga kelembaban tanah dengan baik dibandingkan dengan air. Kelembaban Tanah-air di hari ke-2 menurun drastis sebesar 67% daripada hari ke-1, sedangkan kelembaban tanah-DS hari ke-2 menurun hanya 17% dibandingkan hari ke-1. Hal ini membuktikan bahwa material *dust suppressant* mampu mempertahankan kelembaban tanah dengan sangat baik dibandingkan air (1,76 kali di hari ke-1 dan 4,37 kali di hari ke-2 dibandingkan dengan air). Kelembaban tanah yang tinggi mengurangi pembentukan debu sehingga frekuensi penyiraman air dapat dikurangi dengan penambahan *dust suppressant* hanya 0,5% dari berat total air.

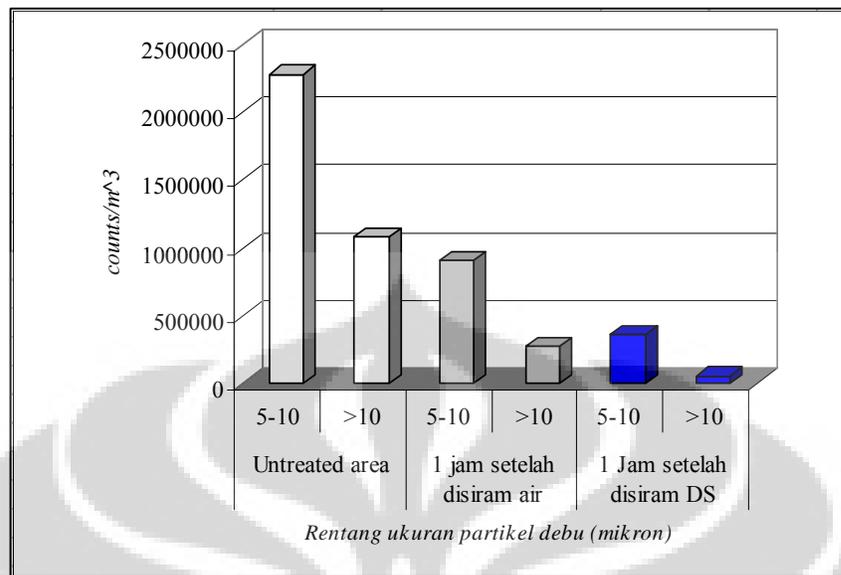


Keterangan: Tanah-air adalah tanah yang diaplikasikan air
Tanah-DS adalah tanah yang diaplikasikan *dust suppressant*

Gambar 4.19 Kadar kelembaban tanah sebelum dan sesudah aplikasi *dust suppressant*

Material polimer dapat mengikat dan melapisi permukaan tanah dengan sangat baik. Selain itu, efek *humectant agent* yang terdapat pada formulasi mampu mengikat partikel-partikel air karena sifatnya yang higroskopis sehingga kadar kelembaban tanah lebih tinggi pada tanah-DS. Kedalaman penetrasi *dust suppressant* karena penggunaan surfaktan juga sangat mempengaruhi kinerja *dust suppressant* dalam mempertahankan kelembaban tanah. Hal ini sangat membantu dalam mengurangi evaporasi air akibat sinar matahari dan angin dengan cara membentuk lapisan *dust suppressant* yang dalam dan berlapis.

Peningkatan kelembaban tanah ini berimbas pada menurunnya konsentrasi emisi debu yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan seperti lalu lalang kendaraan pada area yang diaplikasikan *dust suppressant*.



Gambar 4.20 Konsentrasi partikel debu sebelum dan sesudah aplikasi *dust suppressant*

Dari histogram gambar 4.20, tampak jelas bahwa konsentrasi debu di udara pada area yang diaplikasikan *dust suppressant* lebih rendah dibandingkan pada area dengan perlakuan air. Perbedaan ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.9 Penurunan konsentrasi debu setelah diaplikasikan *dust suppressant*

Area/sampel tanah	Ukuran partikel debu	
	5-10 mikron	>10 mikron
Tanah-air	-60%	-80%
Buffer	-84%	-95%

Nilai persentase negatif menunjukkan penurunan konsentrasi partikel debu setelah pengaplikasian *dust suppressant*. Dari serangkaian uji aplikasi, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan *dust suppressant* dengan komposisi utama polimer emulsi sebagai *binding agent* dan surfaktan sebagai *wetting agent* terbukti efektif dalam menekan pembentukan debu jalanan di area pertambangan dibandingkan dengan penggunaan air. Hal ini diharapkan dengan penambahan *dust suppressant* 0,5% pada air dapat mengurangi frekuensi penyiraman air sampai 80% sesuai tabel 4.9.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan polimer emulsi sebagai zat pengikat (*binding agent*) lebih efektif meningkatkan kemampuan *dust suppressant* dalam menekan pembentukan debu dibandingkan dengan penggunaan air. Dari beberapa polimer yang digunakan, poli (vinil asetat) memiliki kinerja terbaik yang dibuktikan dari serangkaian uji yang dilakukan. Hasil uji ketahanan erosi tanah terhadap angin menunjukkan peningkatan indeks ketahanan erosi sampai 24.32% terhadap air. Efek korosi poli (vinil asetat) paling rendah dibandingkan polimer yang lain dengan % terkorosi 0,06% b/b sampai hari ke-14, setengah kali daripada air. Dari hasil uji aplikasi di lapangan, *dust suppressant* dengan poli (vinil asetat) mampu mempertahankan kelembaban tanah sampai 4,37 kali daripada air, dan penurunan konsentrasi emisi debu dari 60% sampai 80% daripada air.

Dari hasil penelitian, penggunaan *dust suppressant* dapat menghemat penggunaan air sehingga peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya agar dilakukan kajian ekonomi yang lebih mendalam antara penggunaan air dan penggunaan *dust suppressant* ditinjau dari segi biaya material, bahan bakar, tenaga kerja, dan kaitannya dengan peningkatan produktivitas pertambangan. Walaupun bahan yang digunakan bersifat *biodegradable*, aspek lingkungan jangka panjang pun perlu diteliti lebih lanjut.

DAFTAR REFERENSI

1. Ekawan, Rudianto. *Mengapa Pertambangan?*, 2004, diakses 19 Februari 2008.
< http://www.dpmb.esdm.go.id/modules/_news/news_detail.php>
2. Sembiring, Simon F. *Pemanfaatan Sumber Daya Tambang dalam rangka Menunjang Pembangunan Berkelanjutan*, Proceeding Seminar Ilmiah Nasional: Mining, Environment, and People Welfare, 2007.
3. Kissel, Fred N. *Handbook for Dust Control in Mining*, National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburg PA, 2003.
4. Pudjiastuti, Wiwiek. *Debu sebagai bahan pencemar yang membahayakan kesehatan kerja*, Pusat Kesehatan Kerja Departemen Kesehatan RI, 2002, diakses 21 feb 2008, 2:37.
<<http://www.depkes.go.id/downloads/debu.PDF>>
5. Mody, Vinit, and Raj Jakhete. *Dust Control Handbook*, Reprint edition, Westwood, New Jersey, 1988.
6. Bae, Sunyoung, et al. *Soil desiccation rate integration into empirical dust emission models for polymer suppressant evaluation*, Journal of Hazardous Materials 132, p. 111-117, 2006.
<www.elsevier.com/locate/jhazmat>
7. Lohnes, R.A. and B.J. Coree. *Determination and Evaluation of Alternative Methods for Managing and Controlling Highway-related Dust*, Final Report, Department of Civil and Construction Engineering, Iowa State University, 2002.
8. Urban, Dieter, and Koichi Takamura. *Polymer Dispersions and Their Industrial Applications*, Wiley-VCH, Charlotte, 2002.
9. *General Principles of Emulsion Polymerisation with Veova Monomer*, Product bulletin, October 2002.
10. *Surfactants: Surface Active Agents*, LA & HA Campbell 1998-2008, diakses 10 Nov. 2008
<<http://www.chemistry.co.nz/surfactants.htm>>
11. Schilling et al., *Dust suppressant and soil stabilization composition*, United States Patent No: 7070709 B2, 2006

12. Tauer Klaus, *Polymer-dispersionen, Definitions Meaning & properties of polymer dispersions*, diakses 27 Okt. 2008
<<http://www.mpikg-golm.mpg.de/kc/scripts/polymer%20latexes.pdf>>
13. Beyers, Cornelis, et al, *Advanced polymer design for adhesives*, BASF-AG, Ludwigshafen, Germany, diakses 27 Okt. 2008.
<<http://www.pstc.org/technical/BeyersPaper.pdf>>
14. Klingelhofer, Paul, *BASF-innovative products for cleaner*, BASF buletin, May 2006.
15. Johansson, Ingegard, *Does hydrophobe branching make surfactant more or less hydrophilic?*, Specialty Chemical Magazine, November 2004.
16. Oscarsson, Karin, *Dust suppressants for nordic gravel roads*, thesis, Royal Institute of Technology, 2007.
17. Anderson, John A.; Gesford, Alan L., *Environmentally Sensitive Maintenance for Dirt & Gravel Roads*, U.S. Environmental Protection Agency, Pennsylvania, 2007, hal. 243-247

LAMPIRAN 1

**MATERIAL DUST SUPPRESSANT, KARAKTERISTIK SERTA
KETERBATASANNYA⁷**

No	<i>Dust suppressant</i>	Karakteristik	Keterbatasan
1	Air	<ul style="list-style-type: none"> - Aman bagi lingkungan - mudah didapatkan 	<ul style="list-style-type: none"> - mudah menguap - tenaga kerja dan biaya tinggi karena aplikasinya berulang-ulang
2	NaCl, MgCl ₂ , CaCl ₂	<ul style="list-style-type: none"> - Higroskopis, mengurangi laju evaporasi sehingga tahan lama 	<ul style="list-style-type: none"> - korosif pada baja
3	Turunan lignin	<ul style="list-style-type: none"> - meningkatkan kekuatan tanah kering - mengurangi penetrasi air 	<ul style="list-style-type: none"> - korosif pada alumunium - licin pada kondisi basah, dan rapuh pada kondisi kering
4	Emulsi aspal	<ul style="list-style-type: none"> - mengikat partikel debu (adhesive) - <i>water repellent</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - berbahaya bagi tanaman dan hewan - membutuhkan <i>curing time</i> - menghasilkan VOC
5	Resin	<ul style="list-style-type: none"> - mengikat partikel debu (adhesive) - dapat dimodifikasi 	<ul style="list-style-type: none"> - membutuhkan <i>curing time</i>

LAMPIRAN 2

FOTO ALAT-ALAT

1. ALAT UJI EROSI (AIR FLOW RESISTANCE TEST EQUIPMENT)

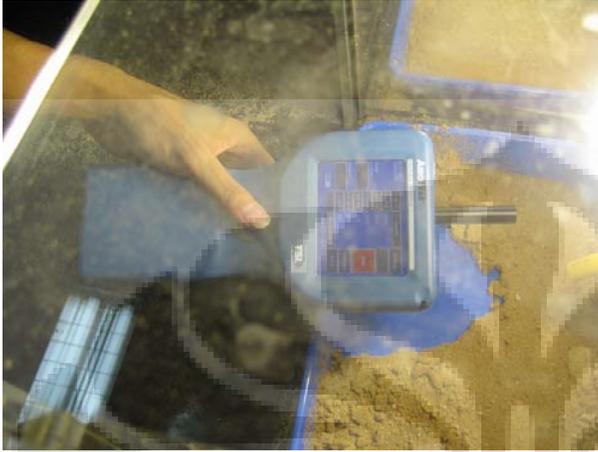


2. CONTACT ANGLE METER



3. INSTRON INSTRUMENT



*Lanjutan***4. PARTICLE COUNTER****5. LAJU PENETRASI**

LAMPIRAN 3

FORMULASI DUST SUPPRESSANT

A-1. Formulasi polimer A dengan memvariasikan konsentrasi surfaktan

No	Bahan	Komposisi (%)			
		P-1	P-2	P-3	P-4
1	Air	44.6	43.6	42.6	40.6
2	Karboksimetil selulosa	0.2	0.2	0.2	0.2
3	Surfaktan non ionik*	0.0	1.0	2.0	4.0
4	Homopolimer VA	50.0	50.0	50.0	50.0
5	Poliglikol	5.0	5.0	5.0	5.0
6	Actiside	0.2	0.2	0.2	0.2
Total		100.0	100.0	100.0	100.0

Keterangan: *derajat etoksilasi 7

A-2. Formulasi dust suppressant dengan tipe polimer yang berbeda

No	Bahan	Komposisi (%)		
		P-3	P-5	P-6
1	Air	42.6	42.6	42.6
2	Karboksimetil selulosa	0.2	0.2	0.2
3	Surfaktan non ionik*	2.0	2.0	2.0
4	Homopolimer VA	50.0		
5	Kopolimer VA/Veova		50.0	
6	Kopolimer Stiren/akrilat			50.0
7	Poliglikol	5.0	5.0	5.0
8	Actiside	0.2	0.2	0.2
Total		100.0	100.0	100.0

LAMPIRAN 4**UJI DAYA IKAT POLIMER TERHADAP TANAH****Tujuan:**

Menentukan jenis polimer yang memiliki daya adhesi dan ketahanan erosi yang tinggi terhadap tanah. Hal ini sangat penting karena polimer yang digunakan diharapkan mampu mengikat partikel tanah dengan baik sehingga dapat mencegah pembentukan debu akibat erosi oleh air dan angin.

Cara Kerja:

Polimer dibuat larutan aktif 10%. Tanah seberat 50 gr dalam beaker glass dicampur dengan larutan polimer 10% seberat 20 gr, kemudian diaduk sampai membentuk lumpur (*slurry*). *Slurry* yang terbentuk seberat 10 gr dibuat spesimen berbentuk tabung dengan diameter 2 cm dan tinggi 2 cm (serupa pelet), didiamkan selama 1 jam pada suhu ruang., Spesimen dimasukkan kedalam wadah berisi air sampai terendam sempurna, kemudian diamati perubahannya tiap waktu.

1. Spesimen silinder tanah + polimer, dan tanah + air



Lanjutan

2. Awal perendaman (jam ke-0)



3. Setelah 2 jam perendaman (jam ke-2)



4. setelah direndam lebih dari 18 jam (jam ke-18)

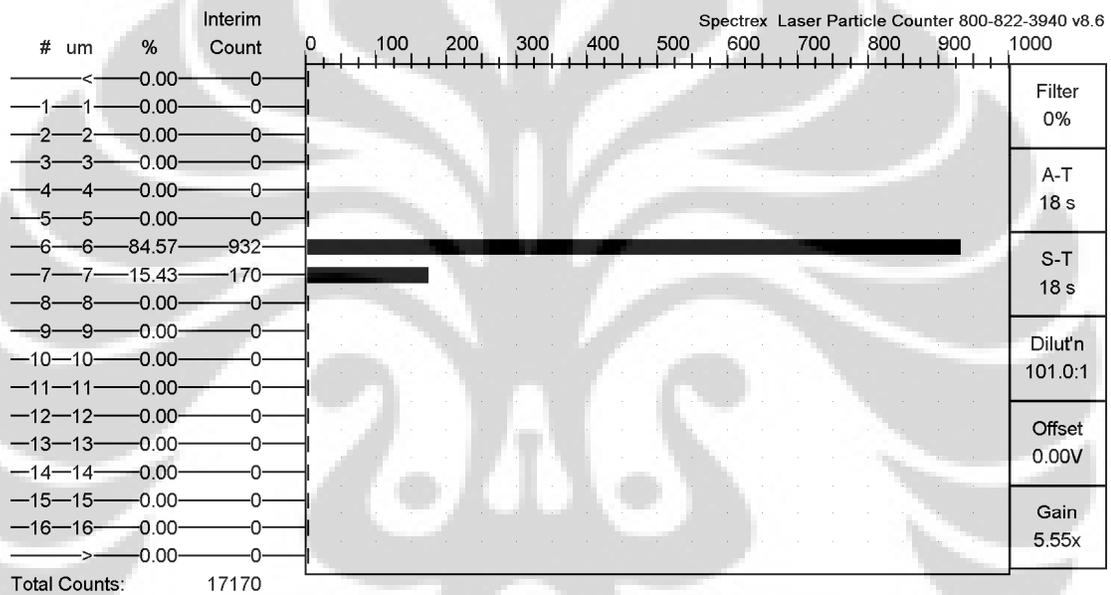


LAMPIRAN 5

UKURAN PARTIKEL

1. Polimer VA

VAM polimer Lampiran 8

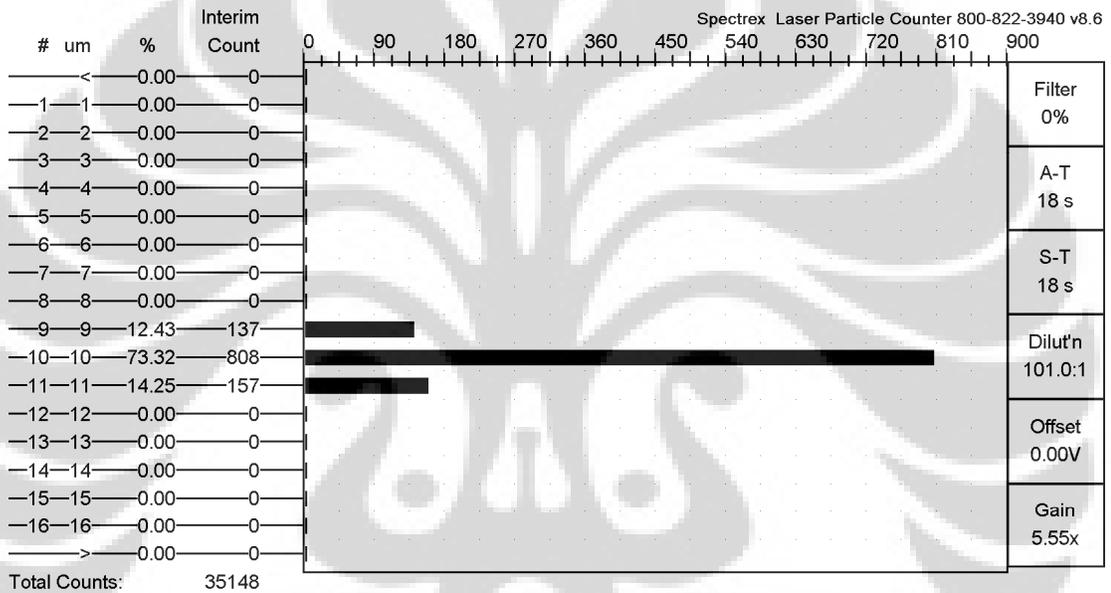


Bin	Size	Total counts /cc	Counts percent	Surface area percent	Volume percent	Mass/bin ppm
1	1-2	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
2	1um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
3	2um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
4	3um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
5	4um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
6	5um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
7	6um	14,521.27	84.57%	80.11%	78.20%	1.0493
8	7um	2,648.73	15.43%	19.89%	21.80%	0.2925
9	8um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
10	9um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
11	10um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
12	11um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
13	12um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
14	13um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
15	14um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
16	15um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
17	16um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
18	>	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
TOTALS		17,170.00	100.00%	100.00%	100.00%	1.3418

Total counts: 17,170.00/cc
 Total suspended solids: 1.34ppm (mg/liter)
 Dilution factor: 101.00:1
 Spec. gravity: 1.00
 Mean size: 6.15um
 Standard dev: 0.36um
 Sample taken on November 5, 2008 at 10:26

2. Polimer VA-Veova

VAM-Veova lanjutan

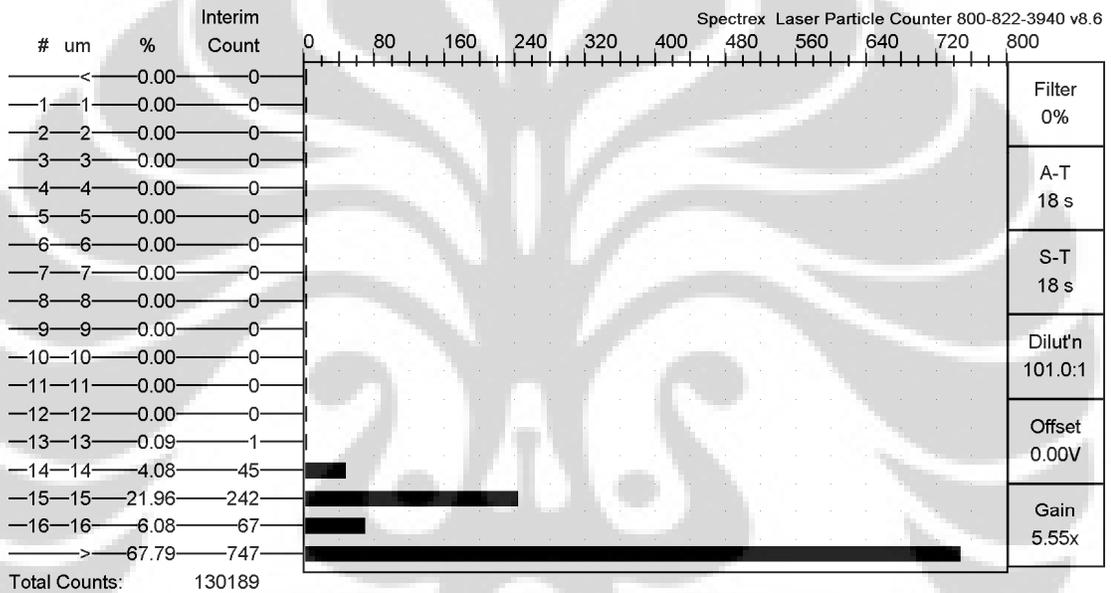


Bin	Size	Total counts /cc	Counts percent	Surface area percent	Volume percent	Mass/bin ppm
1	1-2	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
2	1um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
3	2um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
4	3um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
5	4um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
6	5um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
7	6um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
8	7um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
9	8um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
10	9um	4,369.58	12.43%	10.01%	9.20%	0.9630
11	10um	25,770.95	73.32%	72.86%	72.49%	7.5880
12	11um	5,007.47	14.25%	17.13%	18.31%	1.9162
13	12um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
14	13um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
15	14um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
16	15um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
17	16um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
18	>	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
TOTALS		35,148.00	100.00%	100.00%	100.00%	10.4672

Total counts: 35,148.00/cc
 Total suspended solids: 10.47ppm (mg/liter)
 Dilution factor: 101.00:1
 Spec. gravity: 1.00
 Mean size: 10.02um
 Standard dev: 0.52um
 Sample taken on November 5, 2008 at 10:31

3. Polimer Stiren-Akrilat

Stiren-akrilat lanjutan



Bin	Size	Total counts /cc	Counts percent	Surface area percent	Volume percent	Mass/bin ppm
1	1-2	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
2	1um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
3	2um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
4	3um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
5	4um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
6	5um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
7	6um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
8	7um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
9	8um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
10	9um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
11	10um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
12	11um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
13	12um	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.0000
14	13um	118.14	0.09%	0.21%	0.19%	0.0716
15	14um	5,316.25	4.08%	10.94%	10.34%	3.9487
16	15um	28,589.60	21.96%	67.56%	67.24%	25.6719
17	16um	7,915.30	6.08%	21.28%	22.23%	8.4878
18	>	88,249.71	67.79%	0.00%	0.00%	0.0000
TOTALS		130,189.00	100.00%	100.00%	100.00%	38.1800

Total counts: 130,189.00/cc
 Total suspended solids: 38.18ppm (mg/liter)
 Dilution factor: 101.00:1
 Spec. gravity: 1.00
 Mean size: 15.06um
 Standard dev: 0.57um
 Sample taken on November 5, 2008 at 10:18