

**STUDI EKSPERIMENTAL TINGKAT REMBESAN TAILING
TAMBANG PT FREEPORT INDONESIA DENGAN STABILISASI
TANAH – ASPAL EMULSI**

*EXPERIMENTAL STUDY LEVEL MINE TAILING SEEPAGE FROM
PT. FREEPORT INDONESIA WITH SOIL STABILIZATION -
ASPHALT EMULTION*

**HASAN ERWIN LAONSO
P2305211404**



**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

**STUDI EKSPERIMENTAL TINGKAT REMBESAN TAILING
TAMBANG PT. FREEPORT INDONESIA DENGAN STABILISASI
TANAH – ASPAL EMULSI**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Teknik Sipil Kosentrasi Geoteknik

Disusun dan diajukan oleh

Hasan Erwin Laonso

P2305211404

kepada

PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2013

ABSTRAK

HASAN LAONSO. Studi Eksperimental Tingkat rembesan Tailing Tambang PT Freeport Indonesia dengan Stabilisasi Tanah Aspal Emulsi (dibimbing oleh Tri Harianto dan Achmad Bakri Muhiddin)

Penelitian ini bertujuan menganalisis dan mengevaluasi nilai permeabilitas untuk mengetahui tingkat rembesan dengan melakukan stabilisasi tanah aspal emulsi menggunakan persentase 2%, 4%, 6% dan 8%.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium dan data parameter sekunder lainnya. Analisis data menggunakan validasi numerik geostudio seep/w.

Dari hasil uji laboratorium diperoleh hasil bahwa nilai koefisien permeabilitas dengan menggunakan campuran tanah aspal emulsi kadar 2%, 4%, 6% dan 8% dapat dijadikan acuan dan menjadi dasar rancangan desain tempat untuk menampung limbah tailing yang dapat mengatasi dampaknya.

Kata kunci : lingkungan, air, tanah, dam, kontaminasi.

ABSTRACT

HASAN LAONSO, *Experimental Study of Mining Tailing Permeability Level, PT Freeport Indonesia with Emulsion Asphalt Soil Stabilization* (supervised by Tri Harianto and Achmad Bakri Muhiddin)

The research aimed to analyse and evaluate the permeability value to find out the seepage level by conducting the emulsion asphalt soil stabilization using the percentage of 2%, 4%, 6% and 8%.

The research used the laboratory and model testing. Method used to obtain the result as the analysis material was the laboratory experimental and the other secondary parameter data. The data were analysed by the geostudio numeric validation.

The research result indicates that it is obtained the permeability coefficient value by using the mixture of the emulsion asphalt soil of the contents of 2%, 4%, 6% and 8%. The result will become the reference. The result represents the discussion result the obtain the permeability value target which will become the basis in the design of the space to accommodate the tailing waste in order to be able to cope with the impact.

Key-words : Environment, water, soil, dam, contamination.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha esa dengan selesainya tesis ini.

Bahasan yang tersaji dalam penulisan ini adalah hasil eksperimental yang dilakukan dilaboratorium beralasan dari adanya permasalahan yang menyangkut tentang dampak lingkungan akibat dari pembuangan bahan limbah tambang yang disebut tailing. Hasil penelitian ini akan menjadi masukan dan motifasi bagi pemerintah maupun bagi pengelola penambangan khususnya PT Freeport Indonesia kiranya dapat menggunakan hasil ekperimental ini sebagai bahan untuk perencanaan tempat pembuangan bahan limbah tambang tailing.

Penulisan tesis ini jujur diakui masih banyak kekurangan dan kelemahan namun demikian berkat bantuan berbagai pihak, maka tesis ini selesai pada waktunya. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasin kepada Dr. Eng. Tri Harianto,ST.,MT sebagai Ketua Komisi Penasihat dan Ir. Achmad Bakri Muhiddin,M.Sc.,Ph.D sebagai Anggota Komisi Penasihat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan tesis ini, pelaksanaan penelitiannya sampai dengan penulisan tesis ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. H. Lawalena Samang,MS.,M.Eng sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil

yang telah memberi masukan kepada penulis. Penulis haturkan terima kasih juga kepada anak tersayang Yulisa Ayu Hajar Laonso dan istri tercinta Fajjah Ance Wopi yang selalu rukun dalam sholat dan doa dan juga kepada rekan-rekan Geoteknik angkatan 2011 atas kerja sama yang baik serta masukan yang bermanfaat sehingga tesis ini terwujud. Penulis haturkan pula kepada mereka yang tidak dapat disebutkan namanya yang telah pula ikut membantu penulis menyelesaikan tesis ini.

Makassar, Agustus 2013

DAFTAR ISI

ABSTRAK	
PRAKATA	
LEMBAR PENGAJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
Bab I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
Bab II TINJAUAN PUSTAKA	6

A. Gambaran Umum Tailing	6
1. Mengenali Limbah Tailing	6
2. Cara Pembuangan Tailing	8
3. Bahaya Sianida dan Merkuri	11
4. Karakteristik Komposisi Tailing	12
5. Tailing sebagai Bahan Konstruksi	13
B.. Partikel Tanah	14
1. Susunan Tanah Lempung	15
2. Susunan Granular	16
C. Aspal Emulsi	17
D. Stabilisasi Tanah	19
E. Stabilisasi Tanah dengan Aspal Emulsi	21
F. Pengujian Sifat – Sifat Mekanis Tanah	22
1. Berat Volume Tanah dan Hubungannya	22
2. Pemadatan Tanah (Standar Proctor Test)	23
3. Kekuatan Tekan Bebas	26
4. Permeabilitas dan Rembesan	27
a. Air Tanah	27
b. Permeabilitas	28
c. Koefisien Rembesan	28
d. Hukum Darcy	29

e. Pengaruh Tekanan air Terhadap Stabilitas Tanah	32
G. Kolom Tes	34
1. Pengertian	34
2. Menentukan Susunan Lapisan Pada Kolom Test	35
H. Validasi Program	37
1. SEEP/W	37
2. Mendefinisikan Model aliran Rembesan/Air	38
I. Penelitian Terdahulu	39
Bab III METODE PELAKSANAAN PENELITIAN	46
A. Rancangan Penelitian	46
B. Waktu dan Lokasi	47
1. Waktu	47
2. Lokasi Penelitian	47
C. Bahan dan Alat	49
1. Bahan	49
2. Alat	50
D. Bagan Alir Penelitian	52
E. Pengujian Laboratorium	53
1. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah	53

2. Stabilisasi tanah dengan Aspal Emulsi	54
3. Uji Model Kolom Tes	54
F. Bagan Alur Prosedur Pengujian Laboratorium	55
G. Metode Analisis	58
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN	62
A. Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanis Tanah	62
1. Tanah Asli Lanau	62
2. Stabilisasi Tanah Aspal Emulsi	63
B. Karakteristik Tailing Tambang	71
1. Sifat Karakteristik Tailing Tambang	71
C. Hasil Uji Model Kolom Rembesan	74
1. Uji Model Kolom Rembesan Tanah asli	75
2. Uji Model Kolom Rembesan Stabilisasi tanah Aspal Emulsi	75
D. Hasil Uji Model Analisa Numerik Geostudio Seep/W	84
1. Hasil Analisa Numerik Geostudio Seep/w	
Uji Falling Head	84
E. Validasi Hasil Pengujian Laboratorium Falling Head Dan Hasil Uji Model Kolom Rembesan	89
F. Bahasan Hasil Analisis	90
Bab V KESIMPULAN	92
A. Kesimpulan	92

B. Saran

93

DAFTAR PUSTAKA

94

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1	Kandungan Mineral Pada Tailing	13
2	Persyaratan Tailing terhadap Baku mutu lingkungan	14
3	Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung dengan Konsistensi	27
4	Koefisien Permeabilitas Tanah	29
5	Waktu Kegiatan Pengujian	47
6	Persentase Campuran antara Tanah dengan Aspal Emulsi	54
7	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Asli	63
8	Hasil Pemeriksaan Sifat Mekanis Tanah stabilisasi Aspal Emulsi	64
9	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tailing Tambang	71
10	Bobot Kandungan Bahan Kimia Pada Tailing	73
11	Hasil Uji Model Kolom Rembesan Tanah Asli dan Stabilisasi Tanah Aspal Emulsi	74
12	Hasil perbedaan Rembesan Uji Falling Head dengan Uji Model Kolom	84
13	Hasil Analisa Numerik Geostudio SEEP/W rembesan Uji Falling Head Stabilisasi Tanah Aspal Emulsi	85
14	Perbedaan Permeabilitas Hasil Analisa Numerik Geostudio SEEP/W	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1	Tempat pembuangan tailing	9
2	Kandungan bahan kimia pada tailing	10
3	Dampak dari limbah tailing terhadap tumbuhan	11
4	Alat uji standar Proctor	23
5	Hubungan antara berat isi kering dengan kadar air	24
6	Uji tegangan tetap	30
7	Uji tegangan menurun	31
8	Pengaruh gaya rembesan	32
9	Susunan lapisan pada kolom test	35
10	Susunan tebal lapis bawah	36
11	Kerangka pikir	44
12	Lokasi penelitian	46
13	Lokasi pengambilan sampel	47
14	Bahan – bahan yang diuji pada laboratorium	48
15	Alat –alat yang digunakan pada penelitian	50
16	Bagan alir Penelitian	51
17	Alat Uji Model Kolom Rembesan	55
18	Bagan Alur pengujian Laboratorium	56
19	Model analisis Seep/ W	57
20	Grafik analisa butiran	61

21	Grafik kuat tekan bebas	62
22	Hasil uji kuat tekan bebas tanah asli	62
23	Grafi hubungan kadar air dan berat isi kering tanah asli	63
24	Pemeriksaan permeabilitas tanah asli	64
25	Grafik rembesan stabilisasi tanah aspal emulsi Uji falling head	65
26	Grafik debit rembesan stabilisasi tanah aspal emulsi Uji falling head	65
27	Hasil uji permeabilitas (falling head)	67
28	Hasil uji kuat tekan bebas	67
29	Grafik gradasi tailing	69
30	Bahan tailing tambang	69
31	Hasil tes EDS tailing	70
32	Uji model kolom rembesan tanah asli	72
33	Uji model kolom rembesan stabilisasi tanah aspal 2%	73
34	Uji model kolom rembesan stabilisasi tanah aspal 4%	74
35	Uji model kolom rembesan stabilisasi tanah aspal 6%	75
36	Uji model kolom rembesan stabilisasi tanah aspal 8%	75
37	Grafik rembesan stabilisasi tanah aspal uji model kolom	76
38	Grafik debit rembesan stabilisasi tanah aspal uji kolom	76
39	Grafik hubungan permeabilitas uji falling head dengan Uji model kolom	77
40	Grafi hubungan debit rembesan uji falling head Dengan uji model kolom	78

41	Hubungan permeabilitas dan debit rembesan terhadap Persentase kadar aspal mulsi stabilisasi tanah	79
42	Grafik hubungan rembesan dengan debit uji model Persentase kadar aspal stabilisasi tanah	80
43	Aliran rembesan hasil analisa geostudio	83
44	Grafik hubungan matric suction dengan x- conductivity	83
45	Hasil analisa numerik falling head	85
46	Hasil perbedaan rembesan validasi numerik dengan Hasil laboratorium	87

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	ARTI
γ	Berai Isi (gr/cm ³)
%	Persen
ΔH	Ketinggian Hidraulik (cm)
A	Luas Penampang
CL	Lempung berpasir
γ_d	Berat volume kering (gr/cm ³)
Gs	Berat Jenis
i	Gradient Hidraulik
k	Koefisien permeabilitas
(cm/detk)	
w	Kadar air (%)
w _{opt}	Kadar air optimum (%)
L.L	<i>Liquid Limit</i> (Batas Cair)
P.I	<i>Plasticity Indeks</i>
P.L	<i>Plasticity Limit</i> (Batas Plastis)
ZAV	<i>Zero air void</i>
Q	Debit Rembesan (cm ³ /detik)
R	Temperatur (°C)
t	Waktu (detik)

V	Volume (cm ³)
σ	Tegangan (Kg/cm ²)
P	Beban (Kg)
qu	Tegangan tanah (Kg/cm ²)
γ_{ef}	Berat volume efektif (gr/cm ³)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tailing adalah bahan buangan hasil tambang tembaga dan emas pada perusahaan tambang PT Freeport Indonesia yang berlokasi di Tembagapura Timika Papua. Bahan buangan ini telah menjadi perhatian yang sangat serius baik kepada masyarakat maupun kepada pemerintah dengan terus meningkatnya hasil buangan sisa pengolahan tambang tersebut yang kini menjadi permasalahan pada dampak lingkungan khususnya di kawasan wilayah daerah penambangan kota Timika Papua. Pertambangan biji tembaga dan emas PT Freeport Indonesia sejak dimulai operasi komersialnya pada tahun 1972 telah membuang tailing sisa pengolahan biji melalui Sungai Ajkwa. Dari awal produksinya yang hanya 16.000 ton biji perhari, telah meningkat secara tajam saat ini menjadi sekitar 223.000 ton perhari dari target 300.000 ton perhari. Pembuangan limbah hasil tambang yang terus meningkat sehingga terjadi pengendapan pada sungai Ajkwa dan dam tailing yang berdampak pada lingkungan telah meresahkan masyarakat karena terjadi kerusakan lingkungan seperti matinya tumbuhan mangrove, hutan sagu serta tanaman sayur mayur. Hal ini disebabkan karena terjadinya kontaminasi dari limbah tailing melalui angin serta air hujan terhadap tumbuhan dan tanaman – tanaman pada kawasan ini.

Menurut Prof Dr Warjono Soemodinoto dari Departemen Tambang ITB

(2001) mengatakan bahwa ada dua jenis limbah yang dihasilkan PT Freeport Indonesia yakni limbah penambangan dan limbah pengolahan berupa tailing dan limbah – limbah ini dibuang langsung ke sungai Ajkwa. Tailing yang dibuang ini dalam volume yang sangat besar karena dari 100% biji yang diolah hanya menghasilkan 3 – 5 % konsentrat sedangkan 95 – 97 % merupakan tailing. Dari kedua jenis hasil limbah tailing yang dibuang dan mempengaruhi lingkungan adalah limbah tailing yang berasal dari tambang yang dicuci karena mengandung 2% tembaga dan logam berat lainnya seperti Arsen (As), Kadmium (Cd), Timbal (pb), Merkuri (Hg), Sianida (Cn) dan lainnya. Akibat dari adanya kandungan mineral berbahaya yang terdapat pada limbah tailing ini yang berdampak pada kehidupan manusia maupun tumbuhan seperti tercemar air yang mengakibatkan ikan menjadi mati, hutan mangrove dan sagu serta tanaman lainnya juga menjadi mati. Penelitian mengenai dampak lingkungan terhadap pencemaran limbah tailing menurut Hidayati dan kawan – kawan tahun 2009 sedimen atau pengendapan tailing yang mengandung bahan – bahan berbahaya tidak menutup kemungkinan akan mencemari air tanah. Monitoring report PT Freeport Indonesia pada Juni 2006 melalui Departemen Lingkungan Hidup, menemukan sekitar 15 jenis tanaman yang dipanen dan dikumpulkan terbukti terkontaminasi logam berat. diantaranya Seledri, Sawi Hijau, Bayam Merah, Bayam Hijau, Kangkung, Sawi “petsay”, Buncis, Bengkoang, Kentang, Singkong, Talas, Padi, Ketimun “Hercules”, Mentimun Hijau “Rocket” dan Mentimun ‘Venus’. Pada Tanaman Kol logam Zinc (Zn) tinggi terbukti kandungan logam berat melampaui batas normal yaitu 5,45% di atas batas ambang dari 4.00%.

Dengan mencermati penelitian yang telah dilakukan khususnya pada tanaman yang terkontaminasi dalam hal ini terkontaminasi melalui angin dan hujan pada limbah tailing yang mengendap di sungai maupun dam tailing yang menimbulkan terjadinya rembesan melalui air tanah mengakibatkan tumbuhan mati, maka penulis tertarik untuk mengkaji tentang akibat dari terkontaminasi melalui air hujan atau rembesan yang terjadi pada dam tailing. Sebagaimana diketahui bahwa dam tailing yang ada pada lokasi pembuangan limbah tailing ini merupakan konstruksi yang terbuat dari tanah asli. Dengan demikian tingkat rembesan yang terjadi pada dam tailing ini akan semakin besar sehingga perlu untuk ditanggulangi pengaruh rembesan yang terjadi.

Untuk menanggulangi pengaruh rembesan tersebut penulis mencoba mengkaji stabilisasi tanah asli dengan campuran aspal emulsi menggunakan persentase 2%, 4%, 6% dan 8%. Melalui uji riset ini diharapkan akan memperoleh hasil yang maksimal agar dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi pada perencanaan dam tailing sebagai tempat pembuangan limbah tambang tersebut.

B. Rumusan Masalah

Akibat dari adanya pembuangan tailing pada sungai maupun dam tailing telah menimbulkan dampak lingkungan seperti matinya tanaman – tanaman yang terterkontaminasi dengan kandungan bahan kimia pada limbah tailing melalui air hujan yang merembes kedalam tanah maka perlu dirumuskan permasalahan yang terjadi adalah :

1. Bagaimana cara untuk mengatasi pengaruh air tailing tambang yang merembes kedalam tanah sehingga tidak terjadi kontaminasi yang berdampak pada tanaman.
2. Bagaimana sifat karakteristik tailing tambang PT. Freeport Indonesia
3. Bagaimana pemodelan numerik pola rembesan.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengevaluasi perilaku penyerapan (*infiltrasi*) air tailing tambang pada tanah yang telah distabilisasi.
2. Menganalisis rembesan tailing pada tanah yang telah distabilisasi.

D. Batasan Penelitian

Untuk memfokuskan penelitian ini, maka penulis membatasi permasalahan khusus pada pengujian sebagai bahan stabilisasi yaitu :

- a). Pengujian sifat fisik dan sifat mekanis tanah asli meliputi kadar air, berat jenis, distribusi butiran, uji kuat tekan bebas (qu), uji kepadatan tanah (Proctor Standar) dan permeabilitas mengacu pada standar ASTM dan SNI

- b). Stabilisasi tanah dengan persentase aspal emulsi 2%, 4%, 6%, 8%
- c). Pengujian rembesan dengan melakukan uji model kolom tes.
- d). Analisis hasil menggunakan validasi numerik Geo studio Seep/W

E. Manfaat Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk merencanakan (design) lapis pelindung permukaan tanah terhadap pengaruh rembesan air tailing.
2. Mengetahui besar rembesan pada stabilisasi tanah dengan aspal emulsi.
3. Sebagai salah satu solusi alternatif dalam usaha menanggulangi rembesan air tailing.
4. Sebagai wujud penambahan wawasan peneliti dalam bidang geoteknik.

Melalui penelitian ini diharapkan rembesan tailing yang menyebabkan terjadi pencemaran dapat diatasi dengan merencanakan lapis pelindung permukaan yang mampu mengendalikan rembesan air tailing tersebut. Kajian ini juga akan menjadi masukan bagi pemerintah untuk benar – benar memperhatikan system pembuangan tailing, juga kepada pihak wirausahaan perusahaan – perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan terutama PT Freeport Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Gambaran Umum Tailing

1. Mengenali Limbah Tailing

Tailing adalah suatu jenis limbah yang dihasilkan oleh kegiatan tambang. Selain tailing kegiatan tambang juga menghasilkan limbah lain seperti limbah batuan keras (*overburden*) dan lain – lain. Limbah – limbah itu baru dari satu bagian dari permasalahan pertambangan yang ada. Tailing dalam dunia pertambangan selalu menjadi masalah serius. Limbah yang menyerupai lumpur kental , pekat, asam dan mengandung logam – logam berat itu berbahaya bagi keselamatan makhluk hidup. Apalagi jumlah tailing yang dibuang oleh setiap perusahaan tambang mencapai ribuan ton perhari. Bahkan di beberapa tempat penambangan seperti PT Freeport Indonesia dan PT Newmont Nusa Tenggara jumlah tailing yang dibuang mencapai ratusan ribu ton setiap hari.

Limbah tailing berasal dari batu – batuan dalam tanah yang telah dihancurkan hingga menyerupai bubur kental oleh pabrik pemisah mineral dari bebatuan, proses ini dikenal dengan sebutan proses penggerusan. Batuan yang mengandung mineral seperti emas, perak, tembaga dan lainnya diangkut dari tempat galian menuju tempat pengolahan yang disebut *processing plant* ditempat itu proses penggerusan dilakukan. Setelah proses penghancuran dilakukan menyerupai bubur biasanya diberikan bahan kimia tertentu seperti sianida atau merkuri agar mineral yang dicari mudah terpisah. Mineral yang berhasil diperoleh berkisar antara 3% sampai 5% dari total batuan yang

dihancurkan dan sisanya sekitar 95% sampai 97% menjadi tailing dan dibuang ke tempat pembuangan. Tailing hasil penambangan biasanya mengandung mineral inert (tidak aktif) Mineral itu antara lain kwarsa, kalsit dan berbagai jenis aluminosilikat. Walau demikian tidak berarti tailing yang dibuang itu tidak berbahaya, sebab tailing penambangan emas mengandung salah satu atau lebih bahan berbahaya beracun seperti : Arsen (As), Kadmium (Cd), Timbal (Pb), Merkuri Sianida (Cn) dan lainnya. Logam – logam yang ada dalam tailing sebagian adalah logam berat yang masuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3).

Secara fisik komposisi tailing terdiri dari 50% fraksi pasir halus dengan diameter 0.075 – 0.4 mm dan sisanya berupa fraksi lempung dengan diameter 0.075 mm. Keadaannya semakin menakutkan karena limbah tailing yang dibuang dengan jumlah jutaan ton oleh PT Freeport Indonesia kini menjadi masalah serius. Dari tahun 1973 hasil limbah tailing dengan kisaran 7.275 tonperhari meningkat menjadi 31.040 ton perhari di tahun 1998 dengan kisaran angka tersebut dapat diprediksi jumlah tonase limbah tailing sampai saat ini akan menjadi lebih meningkat sehingga factor lingkungan pada kawasan sekitarnya akan menjadi sangat berbahaya seperti yang telah terjadi pada kawasan penduduk masyarakat Timika. Secara kasat mata tailing Freeport telah mematikan ratusan hektar hutan alam diwilayah pengendapan tailing mengakibatkan pohon sagu dan hutan mangrove ikut mati terendam rembesan tailing.

2. Cara Pembuangan Tailing

Membuang tailing ke sungai seperti yang dilakukan PT Freeport Indonesia adalah salah satu cara pembuangan tailing yang dikenal didunia pertambangan (Gambar.1.b). Cara lain adalah pembuatan bendungan atau kolam penampung yang biasa disebut *Tailing Dams* (Gambar 1.a) Banyak cara dilakukan di Indonesia tetapi masalahnya tetap sama. Lingkungan hidup tercemar tailing hasil pencucian dari endapan tailing yang tertampung dalam dam pada akhirnya mengalir ke sungai – sungai sekitarnya mengakibatkan pencemaran seperti yang telah diuraikan diatas banyak pohon sagu mati serta mangrove pun demikian. Selain dampak pembuangan dengan system penampungan dam serta akibat dari rembesannya yang masuk ke sungai juga mengakibatkan banyak ikan yang terdapat pada sungai tersebut menjadi mati pula.

Cara membuang tailing ke sungai mulai kehilangan keabsahan karena dengan jelas dapat dilihat kerusakan yang terjadi. Tidak hanya bantaran sungai dan ekosistemnya yang dihancurkan tapi juga budaya dan nadi kehidupan penduduk pun menjadi rusak. Penggunaan dam sebagai tempat pembuangan limbah tailing pun juga mulai menjadi masalah sehingga akan pula ditinggalkan. Dalam kondisi demikian maka lautpun menjadi sasaran. Pandangan public mulai diarahkan untuk mendukung pembuangan tailing ke laut, maka argumentasi – argumentasipun mulai dikembangkan dengan solusi pembuangan tailing ke laut. Dengan demikian maka munculah pertanyaan apakah dengan membuang tailing kelaut akan menjadi solusi.



(a) Dam Tailing



(b) Sungai Ajkwa

Gambar. 1 Tempat pembuangan tailing (Indotekhnoplus co,2001)

3. Bahaya Sianida dan Merkuri

Sianida telah dikenal sebagai racun, dalam konsentrasi alami sianida dibutuhkan oleh tubuh manusia untuk ikut serta membentuk vitamin B.12. Konsentrasi diluar itu akan mengganggu system organ manusia seperti

menghambat jaringan pernapasan dan lain – lain. Sianida secara besar – besaran digunakan oleh industry pertambangan untuk membantu pemisahan unsur metal murni dengan yang tidak murni dari batuan. Kasus yang berhubungan dengan sianida pada industry pertambangan banyak menyebabkan terjadi pencemaran seperti yang terjadi pada sungai tempat pembuangan sisa limbah yang mengandung sianida banyak ikan yang mati.

Mercuri adalah bahan kimia yang digunakan untuk menambang emas. Dan mempunyai dampak juga kepada lingkungan maupun pada manusia.



Gambar 2. Kandungan Bahan Kimia pada Tailing (Yamintimikap,2001)

Akibat dari adanya kandungan bahan kimia menyebabkan banyak tanaman mati telah menimbulkan dampak yang sangat berbahaya terutama pada tumbuhan serta kehidupan manusia dengan semakin tingginya kandungan bahan kimia yang digunakan pada pemisahan biji tambang. Hal ini terjadi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Akibat dari pembuangan limbah tambang pada dam tailing maupun pada sungai yang mengakibatkan tumbuhan mati.



Gambar 3. Dampak dari limbah tailing pada tumbuhan (Indotekhnoplus, 20010)

4. Karakteristik Komposisi Tailing

Bahan – bahan kimia yang terkandung dalam tailing dapat dikomposisikan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel. 1. Kandungan mineral pada Tailing (LIPI, 2008)

Mineral	Kandungan
---------	-----------

Quartz	SiO ₂ - 54%
Dolomite	CaMg - 2,5%
Calcite	CaCO ₃ – 37%
An hidrite	CaSO ₄ – 42%
Clay/Kaolinite/Montmorillonite/Illite	- 9%
Iron Oxide	- 3%

Didalam proses ekstraksi emas biasanya perusahaan pertambangan menggunakan sianida (Cn) dalam melindikan emas. Secara alami biji yang diolah mengandung merkuri dalam bentuk mineral Cinnabar (HgS). Selama dalam proses pengolahan olsida, cinnabar relative tidak berubah hanya terlarut dalam larutan sianida kurang dari 1% dan selanjutnya diproses deteksifikas dengan sodium sulphide untuk membentuk presipitasi HgS yang sukar larut didalam air laut.

5. Tailing sebagai Bahan Konstruksi

Salah satu usaha untuk menanggulangi pembuangan tailing yang menimbulkan pencemaran lingkungan yaitu dilakukan penelitian limbah tailing ini untuk digunakan sebagai bahan konstruksi baik untuk konstruksi beton maupun konstruksi perkerasan jalan. Penggunaan tailing sebagai bahan konstruksi terutama pada konstruksi perkerasan jalan harus memenuhi baku mutu lingkungan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persyaratan Tailing Terhadap Baku Mutu Lingkungan (ITB Departemen, 2000)

No.	Parameter	Satuan	Metode Analisis	Baku Mutu
1	Timbal, Pb	mg/L	US EPAD D 1311	5,0
2	Tembaga, Cu	mg/L	US EPAD D 13	10,0
3	Kadmium, Kd	mg/L	US EPAD D 13	1,0
4	Kromium, Cr	mg/L	US EPAD D 13	5,0
5	Seng, Zn	mg/L	US EPAD D 13	50,0
6	Perak, Ag	mg/L	US EPAD D 13	5,0
7	Arsen, As	µg/L	US EPAD D 13	5000
8	Selenium, Se	µg/L	US EPAD D 13	1000
9	Merkuri, Hg	µg/L	US EPAD D 13	200

B. Partikel Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan – endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak diatas batuan dasar (*bed rock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es atau manusia. Umumnya pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh proses oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali). Bila hasil pelapukan berada pada tempatnya tanah ini disebut tanah residual, sedangkan tanah yang berpindah tempat disebut tanah terangkut.

Pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Sebagai contoh lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis. Sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak

plastis. Tanah lempung belum tentu terdiri dari lempung saja tetapi dapat bercampur dengan butiran lanau maupun pasir.

1. Susunan Tanah Lempung

Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya – gaya permukaan. Terdapat kira – kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung diantaranya terdiri dari kelompok – kelompok : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite* dan *polygorskite* (Hardiyatmo 2010). Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (Das, 1995). Hardiyatmo (2010) mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran-butiran halus > 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat.

Sifat dan Perilaku lempung terlihat pada komposisi mineral, unsur-unsur kimianya, dan partikel-partikelnya serta pengaruh yang ditimbulkan di lingkungan sekitarnya. Sehingga untuk dapat memahami sifat dan perilakunya diperlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia lempung, hal ini dikarenakan mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk dan sifat fisik serta kimia dari partikel tanah. Tanah lempung memiliki sifat yang khas yaitu apabila dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air.

Ada beberapa hal istilah yang perlu dibedakan dalam mempelajari mengenai lempung yaitu:

- a). Penggunaan istilah ukuran lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi dari ukuran partikel, yang biasanya berukuran $< 2\mu\text{m}$.
- b). Penggunaan istilah mineral lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi ukuran mineral. Ukuran mineral ini lebih spesifik, kadang-kadang ukuran mineral ini $< 2\mu\text{m}$ dan dapat pula $> 2\mu\text{m}$, meskipun pada umumnya $< 2\mu\text{m}$.

2. Susunan Granular

Butiran tanah yang dapat mengendap pada suatu larutan suspensi secara individu, tak bergantung pada butiran yang lain akan berupa susunan tunggal contoh seperti pasir dan lanau. Tanah granular dapat membentuk hubungan sarang lebah (*honey comb*) yang dapat mempunyai angka pori yang besar. Lengkungan butiran dapat mendukung beban statis tapi susunan ini sangat sensitive terhadap longsor, getaran atau beban dinamis. Adanya air dalam susunan butir tanah yang sangat tidak padat dapat mengubah sifat – sifat teknisnya.

Kerapatan relative (D_r) sangat berpengaruh pada sifat – sifat teknis tanah granular. Karena itu diperlukan pengujian terhadap tanah pasir pada kondisi kerapatan relative yang sama seperti kondisi asli dilapangan (Hardiyatmo 2010)

C. Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah campuran aspal panas hasil penyulingan minyak bumi dengan bahan emulsifier, HCL, kerosin dan air dalam suatu pabrik yang hasil akhirnya berupa aspal dingin. Pengolahan aspal menjadi partikel yang melayang diatas air disebut dispersi. Pembuatan aspal emulsi dengan maksud untuk memperoleh keenceran tertentu dari aspal yang akan digunakan pada pekerjaan jalan. Aspal emulsi dibagi dalam 3 kategori yaitu anionik, kationik dan norionik. Dari ketiga kategori aspal emulsi tersebut yang lazim dikenal adalah anonik dan kationik. Pada aspal emulsi jenis kationik partikel – partikel aspalnya bermuatan positif karena jenis ini sangat sesuai dengan jenis batu – batuan yang ada didunia yang sebagian besar 80% terdiri dari batuan silika yang bermuatan listrik negatif. Sedangkan jenis anionik partikel – partikel aspalnya bermuatan listrik negatif dimana hanya sesuai dengan jenis batuan alkali seperti batu kapur dan karang.

Aspal emulsi juga dapat diklasifikasikan menurut kecepatan perubahannya kembali susunan partikelnya ke keadaan semula. Dalam klasifikasi ini dikenal :

- a). *Rapid Setting (RS)* : CRS-1/CRS-2
- b). *Medium Setting (MS)* : CMS-2/CMS-2h
- c). *Slow Setting (SS)* : CSS-1/CSS-1h

Penggunaan aspal emulsi jenis kationik berdasarkan tipe seperti DGEM (*Dense Graded Emulsion Mixes*) atau dapat juga disebut CEBR

(Campuran Emulsi Bergradasi Rapat) merupakan campuran aspal dengan gradasi rapat dicampur dalam kondisi dingin yang berfungsi untuk subbase, base maupun lapis permukaan. Penggunaannya juga didasarkan atas type sesuai dengan susunan lapisan perkerasan dalam hal ini type yang digunakan adalah type I untuk subbase.

Penelitian pemanfaatan bahan pembenahan tanah untuk meningkatkan kualitas tanah sudah dirintis oleh Balai Penelitian Tanah sejak tahun 1970, dengan memanfaatkan *emulsi bitumen*, *poliakrilamin* dan *lateks*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan hasil yang sangat menggembirakan, oleh karena itu usaha – usaha kearah itu terus dikembangkan, terutama didalam memproduksi bahan – bahan tersebut. Salah satu bahan pemantap tanah adalah emulsi bitumen yang harganya relative lebih murah, sehingga bahan ini paling banyak digunakan. Kegunaan bahan ini tanah akan lebih hidropobik yang bermanfaat bagi pembentukan agregat tanah yang mudah mengeras dan mengurangi penguapan air jika dicampur kedalam 5 – 8 cm dibawah permukaan tanah. Ketika bahan ini dicampur dengan tanah maka partikel – partikel tanah akan merekat menjadi satu kesatuan dan kedap air.

Hal ini terjadi karena : (a) struktur tanah terflokulasi akibat adanya daya ikat yang ditimbulkan oleh bitumen, (b) lapisan tanah menjadi kedap air karena partikel – partikel tanah diselimuti oleh bitumen, (c) kedua efek tersebut dapat juga terjadi secara bersamaan. Efek dari pencampuran bitumen pada tanah yaitu akan meningkatkan nilai kuat tekan bebas.

D. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah disebut dengan perbaikan tanah dibidang rekayasa teknik sipil. Stabilisasi dapat dilaksanakan dengan menambah sesuatu bahan atau komposit tertentu untuk menambah kekuatan pada tanah. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu untuk meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan serta meningkatkan stabilitas tanah.

Pada umumnya ada dua cara stabilisasi tanah, yaitu dengan cara mekanis dan cara kimiawi. Stabilisasi tanah secara mekanis bertujuan untuk mendapatkan tanah yang bergradasi baik (*well graded*) sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Pada prinsipnya stabilisasi tanah secara mekanis dengan penambahan kekuatan dan daya dukung terhadap tanah yang ada dengan mengatur gradasi dari butir tanah yang bersangkutan dengan meningkatkan kepadatannya. Menambah dan mencampur tanah yang ada (*natural soil*) dengan jenis tanah yang lain sehingga mempunyai gradasi baru yang lebih baik. Yang perlu diperhatikan dalam stabilisasi tanah secara mekanis adalah gradasi butir tanah yang memiliki daya ikat (*binder soil*) dan kadar air.

Menurut *Bowles (1986)* stabilisasi dapat berupa :

1. Meningkatkan kerapatan tanah,
2. Menambah material yang dapat meningkatkan kohesi dan tahanan geser.
3. Menambah material untuk membuat perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah,
4. Menurunkan muka air tanah,
5. Mengganti tanah yang buruk.

Perbaikan kualitas tanah harus segera dilakukan dengan cara stabilisasi tanah, jika tanah asli yang digunakan sebagai landasan suatu perkerasan memiliki kualitas daya dukung yang kurang baik untuk dijadikan sebagai lapisan tanah dasar maupun sebagai material timbunan. Pemilihan kualitas jenis tanah yang dapat dijadikan tanah dasar melalui penyelidikan tanah menjadi penting karena tanah dasar akan sangat menentukan tebal lapis perkerasan di atasnya, sifat fisik perkerasan di kemudian hari, dan kelakuan perkerasan seperti deformasi permukaan dan lain sebagainya. Perbaikan tanah pada lapis tanah dasar (*subgrade*) dengan stabilisasi merupakan suatu pilihan untuk mengatasi kondisi tersebut. Maksud dari stabilisasi lapisan tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi perkerasan adalah suatu usaha untuk perbaikan sifat-sifat tanah eksisting agar memenuhi spesifikasi teknis.

E. Stabilisasi Tanah Dengan Aspal Emulsi

Pada dasarnya bahan, tahapan pembuatan dan jenis pengujian campuran tanah dengan aspal emulsi sangat ditentukan dari sifat dan karakteristik masing – masing komponen. Ketika dilakukan pencampuran tanah dengan bitumen hal – hal yang akan terjadi adalah :

- 1). Struktur tanah menjadi *flocculated* karena adanya daya ikat yang ditimbulkan oleh bitumen.
- 2). Lapisan tanah menjadi kedap air karena partikel – partikel tanah diselimuti oleh bitumen
- 3). Kedua efek tersebut terjadi secara bersamaan.

Stabilisasi tanah menggunakan bitumen pada tanah dasar berfungsi sebagai kedap air sehingga tanah stabilisasi mampu bertahan dari kerusakan. Pencampuran bitumen dengan tanah akan mengakibatkan bitumen mengikat partikel – partikel tanah menjadi satu kesatuan sehingga tanah tersebut kedap air sehingga dapat menjaga daya ikat lapisan tipis air antara partikel – partikel. Semua jenis tanah yang tidak mengandung bahan organik dapat dicampur dengan bitumen, tanah – tanah tersebut bergradasi (A.Kezdi 2008) sebagai berikut :

- a. 50% lolos saringan no.4
- b. 35 – 100% lolos saringan no.40
- c. 0 – 50% lolos saringan 200
- d. Batas cair (LL) < 40%
- e. Plastis Indeks (PI) < 18%.

Stabilisasi tanah dengan aspal emulsi telah dilakukan oleh peneliti – peneliti terdahulu seperti stabilisasi tanah granular menggunakan aspal emulsi (Yanuarius Katmok,2008) dengan persentase 2%, 4%, 6% dan 8% diperoleh peningkatan daya dukung. Dalam hal ini peneliti mencoba untuk menggunakan persentase dibawah nilai persentase aspal emulsi yang telah dilakukan yaitu persentase 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Jenis aspal emulsi yang digunakan adalah aspal emulsi kationik tipe I DGEM (Campuran Emulsi Bergradasi Rapat), sedangkan untuk komposisi berat tanah yang akan digunakan pada campuran aspal emulsi ditentukan berdasarkan berat volume kering hasil pemadatan pada laboratorium.

F. Pengujian Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah

1. Berat Volume Dan Hubungannya

Tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian artinya bila dalam keadaan kering terdiri dari dua bagian yaitu butir dan pori udara, dan juga pada tanah jenuh terdapat dua bagian yaitu bagian padat dan air pori sedangkan pada keadaan tidak jenuh tanah terdiri dari tiga bagian yaitu padat, pori serta air. Apabila dari fase tanah yang terdiri dari butir, rongga dan air dapat didefinisikan sebagai berikut :

Berat volume butiran adalah perbandingan antara berat butiran padat dengan volume butiran padat. Hubungan volume yang sering digunakan dalam mekanika tanah adalah kadar air (w), angka pori (e) porosititas (n), derajat kejenuhan (sr) dan berat spesifik (G_s).

2. Pemadatan Tanah (Standart Proctor Test)

Pemadatan adalah suatu proses bertambahnya berat volume kering tanah akibat memadatnya partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan air tetap tidak berubah (*Hardiyatmo, 2010*). Tujuan pemadatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanisme tanah yang akan memberikan keuntungan yaitu:

- a. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
- b. Bertambahnya kekuatan tanah.
- c. Memperkecil pemampatan dan daya rembes airnya.
- d. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Kegunaan pengujian ini untuk mencari nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum dari suatu sampel tanah. Pemadatan tanah dapat dilaksanakan di lapangan maupun di laboratorium. Dilapangan biasanya tanah akan digilas dengan mesin penggilas yang didalamnya terdapat alat penggetar, getaran akan menggetarkan tanah sehingga terjadi pemadatan. Sedangkan dilaboratorium menggunakan pengujian standar yang disebut dengan uji proctor, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume.

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (1)$$

Dimana :

γ_d = Berat isi kering maksimum (gr/cm^3)

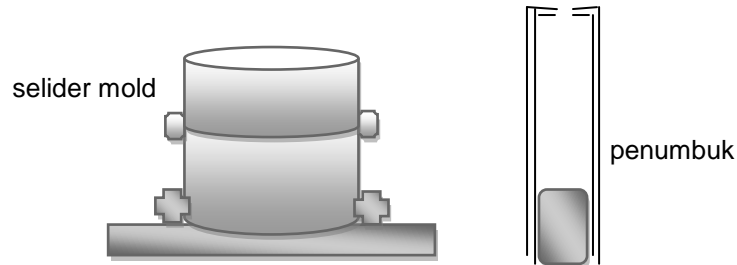
γ = Berat isi basah (gr/cm^3)

W = Kadar air (%)

Berat volume tanah kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat pemadatnya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar Laboraturium yang disebut dengan Pengujian Proktor. Prinsip pengujian uji proctor menggunakan

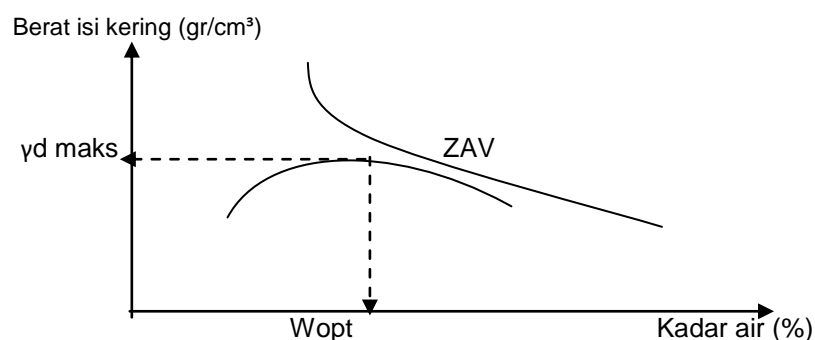


silinder mould yang mempunyai volume $9,44 \times 10^4 \text{ m}^3$ (Gambar. 4) dengan alat penumbuk yang beratnya 2,5 kg dan tinggi jatuh 30,5 cm.



Gambar 4. Alat uji standar proctor (Hardiyatmo,C.H,2006)

Dalam uji pemadatan paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan sehingga diperoleh grafik untuk menentukan berat volume kering (γ_d) dan kadar air optimum (w_{opt}) Gambar.5.



Gambar 5. Hubungan antara berat isi kering dengan kadar air (Das.Braja.M, 1995)

Kurva yang dihasilkan dari pengujian pada Gambar 5 memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Kadar air pada keadaan ini disebut *kadar air optimum*. Pada nilai kadar air yang rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi

lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

3. Kekuatan Tekan Bebas (*Unconfined Compressive Strength*)

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari pengujian-pengujian laboratorium pada benda uji yang diambil dari lokasi lapangan hasil pengeboran yang dianggap mewakili (Hardiyatmo, 2010). Adapun beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, salah satu diantaranya adalah pengujian tekan bebas. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya kekuatan tekan bebas contoh tanah dan batuan yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan. Yang dimaksud dengan kekuatan tekan bebas ialah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Pada Tabel 3 memperlihatkan kekuatan tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya.

Analisa perhitungan jika diketahui : A = luas sampel (cm^2),

LRC = kalibrasi alat kuat tekan (kg/div) dan δh = pembacaan deformasi (mm),
diperoleh rumus :

Tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Dimana :

P = Beban (gram)

A = Luas sampel (cm²)

Tabel 3. Kuat Tekan Bebas (qu) Tanah Lempung dengan Konsistensi (Hardiyatmo,H.C,2010)

Konsistensi	qu (kg/cm²)
Lempung Keras	'> 4.00
Lempung Sangat Kaku	2.00 – 4.00
Lempung Kaku	1.00 – 2.00
Lempung Sedang	0,50 – 1.00
Lempung Lunak	0,25 – 0,50
Lempung Sangat Lunak	< 0,25

4. Permeabilitas Dan Rembesan

a. Air Tanah

Air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat dibawah permukaan bumi. Salah satu sumbernya adalah air hujan yang meresap kebawah melalui ruang pori diantara butiran tanah. Pengaruh air pada sifat – sifat teknis tanah terutama pada tanah berbutir halus sehingga merupakan factor utama yang berkaitan dengan masalah – masalah teknis seperti : penurunan, stabilitas pondasi, stabilitas lereng dan lain – lainnya.

Tanah merupakan susunan butiran padat dan pori-pori yang saling berhubungan satu dengan yang lain sehingga air dapat mengalir dari satu titik yang mempunyai energy yang lebih tinggi ke titik yang mempunyai energy yang lebih rendah. Studi mengenai aliran air melalui pori tanah diperlukan dalam mekanika tanah untuk memperkirakan jumlah rembesan air dalam tanah seperti pada perencanaan waduk atau dam dan lain sebagainya yang menyangkut dengan rembesan. Parameter-parameter yang menyangkut dengan perhitungan rembesan seperti diperkenalkan oleh Darcy (1956) untuk menghitung kecepatan aliran air yang mengalir dalam tanah yang jenuh.

b. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan dapat mengalir pada rongga pori yang saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik yang tinggi ke titik yang rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah (Hardiyatmo,2010).

Bahan yang mempunyai pori – pori kontinu disebut dapat tembus (*permeabel*) seperti kerikil, sedangkan lempung mempunyai sifat tembus yang rendah (*impermeabel*).

c. Koefisien Rembesan

Koefisien rembesan mempunyai satuan yang sama seperti kecepatan. Para ahli geoteknik menyebutnya sebagai konduktifitas hidrolik (*hydraulic conductivity*). Koefisien rembesan tanah adalah tergantung pada beberapa

factor yaitu kekentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori dan derajat kejenuhan. Pada tanah berlempung struktur tanah memegang peranan penting dalam menentukan koefisien rembesan. Harga koefisien rembesan (k) untuk tiap tanah berbeda – beda seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Koefisien rembesan tanah (Das,Braja.M, 1998)

Jenis tanah	Koefisien rembesan (k)	
	(cm / detik)	(ft / menit)
Kerikil bersih	1,0 - 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 - 0,01	2,0 - 0,02
Pasir halus	0,01 - 0,001	0,002 - 0,002
Lanau	0,001 - 0,00001	0,002 - 0,00002
Lempung	> 0,000001	> 0,000002

d. Hukum Darcy

Darcy (1956) mengusulkan hubungan antara kecepatan dan gradient hidrolis sebagai berikut :

$$v = k \cdot i \tag{3}$$

Dimana,

v = kecepatan air (cm/detik)

i = gradient hidrolis

k = koefisien rembesan (cm/detik)

Hubungan antara kecepatan aliran dengan kecepatan rembesan apabila jumlah air yang mengalir melalui tanah dalam satu satuan waktu adalah q maka :

$$q = V \cdot A \quad (4)$$

$$\text{Atau } q = k \cdot i \cdot A \quad (5)$$

Dimana :

q = debit

v = kecepatan

A = luas penampang

Untuk menentukan koefisien rembesan biasanya dilakukan melalui uji laboratorium dengan menggunakan dua pengujian masing- masing :

1. Uji Tinggi Konstan (*Constant head*)

Uji tinggi konstan ini digunakan biasanya pada pengujian tanah berbutir kasar karena system pemberian air yang tetap. Sehingga air yang keluar ditentukan melalui gelas ukur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = Avt = A(ki)t \quad (6)$$

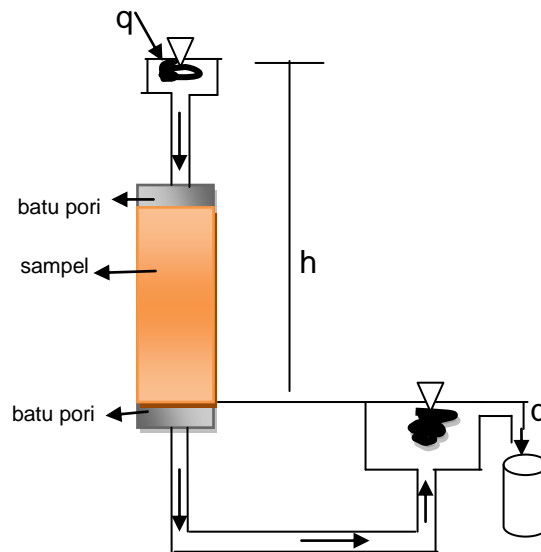
$$l = h/L \quad (7)$$

Dimana : t = waktu

L = panjang contoh tanah

Sehingga koefisien rembesannya adalah :

$$K = QL/Aht \quad (8)$$



Gambar 6. Uji tegangan tetap (Hardiyatmo,2010)

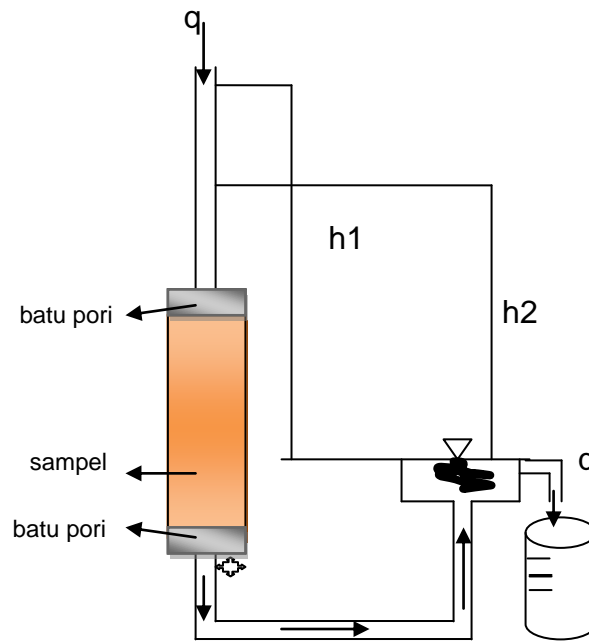
2. Uji Tinggi Jatuh (*Falling head*)

Uji tinggi jatuh (*falling head*) lebih cocok digunakan untuk tanah berbutir halus karena pengujian ini menggunakan debit air yang diberikan dengan perbedaan tinggi air pada pipa dengan waktu. Percobaan ini menunjukkan perbedaan tinggi air (h_1) dan (h_2) dalam pipa dengan waktu awal (t_0) maka persamaannya adalah :

$$Q = k \frac{h}{L.A} \quad (9)$$

Koefisien rembesanya

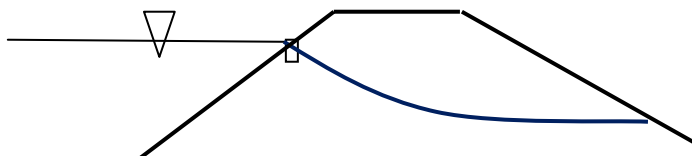
$$K = 2,3 \frac{aL}{At \log h_1/h_2} \quad (10)$$

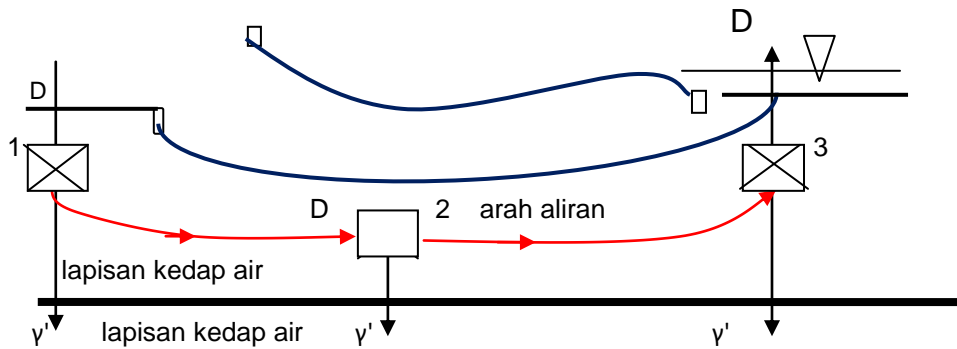


Gambar 7. Uji tegangan menurun (Hardiyatmo, 2010)

e. Pengaruh Tekanan Air Terhadap Stabilitas Tanah

Tekanan hidrodinamis mempunyai pengaruh yang besar pada stabilitas tanah dan dapat mempengaruhi berat volume tanah tergantung pada arah aliran. Pengaruh gaya rembesan pada berat volume tanah oleh adanya rembesan seperti ditunjukkan pada Gambar 8.





Gambar 8. Pengaruh gaya rembesan terhadap berat volume efektif tanah pada bendungan (Hardiyatmo,C.Hary, 2010)

Titik 1 dimana garis aliran berarah vertical kebawah berat volume efektif adalah :

$$\gamma_{ef} = \gamma' + D \quad (11)$$

Titik 2 dimana dua vector D dan γ' bekerja saling tegak lurus menghasilkan vector resultante gaya yang miring.

Titik 3 dimana arah vertical berat volume efektifnya adalah :

$$\gamma_{ef} = \gamma' - D \quad (12)$$

Bila $D = \gamma'$, tanah akan kehilangan berat sehingga tanah tidak stabil. Kondisi ini disebut kondisi kritis akibatnya gradient hidrolis kritis, kecepatan kritis sehingga persamaannya adalah :

$$D = \gamma_w \cdot i_c \quad (\text{kN/m}^3, \text{t/m}^3) \quad (13)$$

Dimana :

D = gaya rembesan

γ_w = berat volume air

i_c = gradient hidrolis kritis

G. Kolom Tes

1. Pengertian

Salah satu uji model yang sering digunakan pada usaha perbaikan tanah yaitu uji model menggunakan kolom tes. Kolom tes ini yang sering dilakukan menggunakan bahan semen dan kapur. Penggunaan kolom tes tentu menyangkut dengan penelitian yang akan dilakukan dalam hal ini penelitian tentang stabilisasi tanah untuk rembesan tailing. Berbicara tentang rembesan (Hasrullah,2010) hasil penelitian rembesan menggunakan kolom infiltrasi diperoleh kecepatan rembesan pada tanah lempung $3,3 \times 10^{-3}$ cm/detik sedangkan pada tanah pasir lempung kecepatan rembesan $3,7 \times 10^{-3}$ cm/detik. Dengan mengacu pada hasil rembesan yang telah diteliti tersebut peneliti mencoba untuk meneliti rembesan tailing pada stabilisasi tanah granular dengan aspal emulsi menggunakan persentase 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Penggunaan persentase aspal emulsi diatas karena mengikuti penelitian yang telah dilakukan (Elifas Bunga, 2010) menggunakan campuran aspal emulsi pada tanah pasir kelempungan adalah 60cc/m, 80cc/m dan 100cc/m. Stabilisasi tanah granular dengan aspal emulsi seperti telah dijelaskan pada penggunaan tipe dan jenis aspal emulsi yaitu tipe I DEGM serta jenis kationik. Alasan menggunakan jenis tersebut karena dapat dicampur dalam keadaan dingin serta dominan digunakan pada lapisan bawah.

2. Menentukan Susunan lapisan Pada Kolom Tes

a. Berat material

Untuk memperoleh berat material yang akan digunakan pada pemodelan kolom tes mengacu pada kondisi spesifik dari pemodelan alat

kolom tes yaitu volume. Berat material pada tiap lapisan dapat ditentukan dengan menggunakan parameter dari berat volume yang dihasilkan dari hasil kompaksi sebagaimana telah dijelaskan pada Persamaan (1) yaitu untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum. Dari persamaan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

Untuk menentukan berat volume basah

$$\gamma = \gamma_d (1+ w) \quad (14)$$

Dimana : w = Kadar air (%)

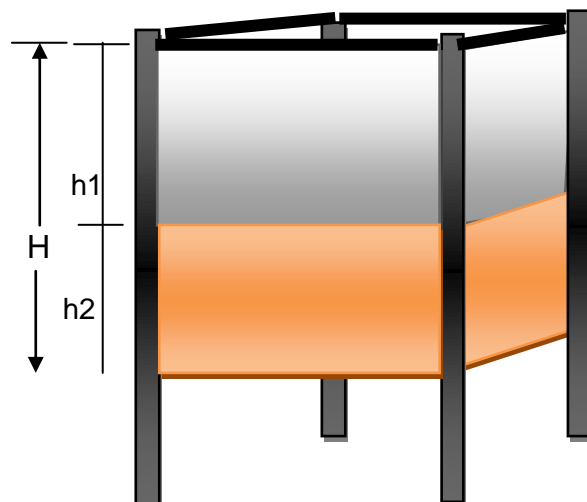
γ_d = Berat volume kering

Dari Persamaan (27) dapat ditentukan berat tanah atau material dengan menggunakan persamaan berat volume adalah :

$$\gamma = W/V \quad (15)$$

Dimana : W = Berat tanah (gram)

V = Volume tanah (gram/cm³)



Gambar 9. Susunan lapisan pada kolom test

b. Tebal lapisan material

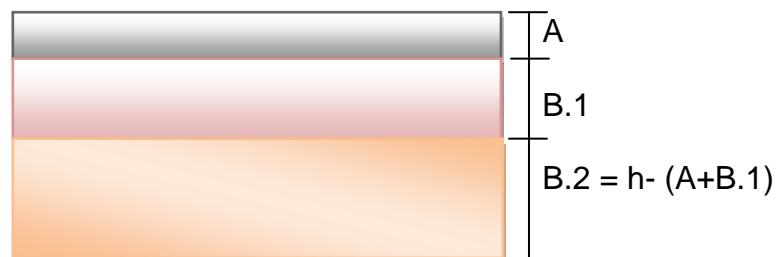
Pengujian yang dilakukan terdiri dari lapisan atas berupa taling (h_1) sedangkan lapisan bawah adalah stabilisasi tanah dengan aspal emulsi (h_2). Susunan lapisan yang digunakan pada pengujian rembesan menggunakan kolom tes mengacu pada konstruksi jalan raya (D.U. Doedarsono1979) sebagai berikut :

a). Tebal Lapisan Atas

Dalam perkerasan ditentukan berdasarkan keadaan lalu lintas dengan batas minimum adalah 12,5cm sampai 25 cm.

b). Tebal Lapisan bawah

Untuk lapisan bawah tergantung dari tebal konstruksi. Umumnya tidak lebih dari 25 cm dan biasanya sampai 20 cm. Bila tanah dasar jelek digunakan tebal 50 cm. Bila h kurang dari 50 cm dihitung menggunakan tebal lapisan pada Gambar 10.



Gambar 10. Susunan Tebal Lapisan Bawah (Doedarsono,U.D, 1979)

Bila h lebih dari 50 cm, maka $B.2$ diambil 20cm (max 25 cm)

Dari acuan tersebut diatas maka untuk menentukan susunan lapisan pada pengujian rembesan menggunakan uji model kolom tes adalah sebagai berikut :

Untuk lapisan atas (h_1) tailing digunakan tebal 25 cm, sedangkan untuk lapisan bawah (h_2) stabilisasi tanah dengan aspal emulsi digunakan tebal 20 cm.

H. Validasi Program

1. SEEP/W

Untuk menganalisis data penelitian akan dilakukan dengan menggunakan program computer yaitu geostudio SEEP/W . Program ini adalah sebagai alat bantu untuk menganalisis rembesan yang terjadi pada tanah yang telah distabilisasi. Oleh karena penggunaan program computer ini maka program ini perlu dilakukan suatu validasi. Yaitu membandingkan antara hasil analisis secara manual dan hasil analisis dengan menggunakan program computer. Dengan demikian diharapkan program komputer dari hasil penelitian ini nantinya dapat digunakan untuk analisis rembesan sebagai bahan yang dapat dipertanggung jawabkan keakuratannya setelah melalui tahap validasi ini.

Parameter – parameter yang digunakan pada validasi program untuk mengetahui rembesan tergantung dari sifat tanah setelah distabilisasi. Pada setiap kedalaman mempunyai koefisien permeabilitas yang berbeda-beda tergantung karakteristik dan sifat tanahnya. Dari hasil pengukuran parameter

tanah, dibuat simulasi numerik untuk melihat koefisien rembesan pada tanah dengan tinggi 20 cm, dengan variasi tebal tailing 25 cm dan juga dihitung dengan menggunakan program SEEP /W sedangkan untuk perhitungan koefisien rembesan digunakan persamaan Darcy.

2. Mendefinisikan Model aliran Rembesan / Air

Analisis awal sederhana seperti mendefinisikan geometri dengan menggambar daerah dan garis yang mengidentifikasi lapisan tanah, atau dengan mengimpor *file DXF*, kemudian grafis menerapkan kondisi batas dan menentukan sifat material. Sifat material dapat diperkirakan dari parameter seperti ukuran butir, konduktivitas jenuh, kadar air jenuh, dan nilai-masuk udara. Setelah memecahkan analisis rembesan, akan menghasilkan kontur dari setiap parameter yang dihitung, seperti tekanan, gradien, kecepatan, dan konduktivitas. Vektor kecepatan menunjukkan tingkat dan arah aliran. Kondisi Transient adalah perubahan air dari waktu ke waktu. SEEP / W dapat memodelkan semua masalah tanah termasuk :

- a. Perubahan kondisi tekanan air pori pada lereng karena infiltrasi presipitasi
- b. Jumlah aliran rembesan ke dalam penggalian.
- c. Mengintegrasikan dengan TEMP / W dan mempertimbangkan aliran dalam pembekuan dan pencairan tanah.

I. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian tentang dampak dari tailing seperti mengatasi tailing yang telah dilakukan oleh :

1. Proceeding PT Freeport Indonesia, (2007)

Semenjak pembuangan *tailing* di alihkan dari aliran Sungai Ajkwa ke aliran Sungai Otomona, telah dilakukan rehabilitasi pada aliran Sungai Ajkwa. Untuk menghindari *tailing* masuk kembali ke aliran Sungai Ajkwa dibuat tanggul barat. Rehabilitasi dilakukan dengan melakukan penghijauan dengan penanaman pohon pinus, dan juga dilakukan percobaan penanaman tanaman buah maupun tanaman lain pada bekas *tailing* tersebut. Sedangkan pada daerah pembuangan *tailing* aktif, dilakukan percobaan penanaman rumput dan magrove untuk menghambat sedimentasi dan mencegah erosi.

2. Sartji Taberima, (2008)

Penelitian terhadap evolusi sirsat menjadi tanah didalam Daerah Pengendapan. Dimodifikasi Ajkwa (Modified Ajkwa Deposition Area / ModADA) Penelitian ini bertujuan mengkaji sifat tanah yang beralih ragam dari sirsat.

Salah satu limbah pasir sisa tambang (sirsat / tailing) – yaitu sisa dari proses pengolahan bijih berupa batuan halus dan air. Dikarenakan keadaan topografi, kegiatan seismik, serta curah hujan tahunan yang melebihi 10 meter pada beberapa lokasi, kami menerapkan sistem pengelolaan sirsat yang

memanfaatkan sungai untuk mengalirkan sirsat menuju suatu daerah yang telah ditentukan di dataran rendah dan kawasan pesisir yang disebut Daerah Pengendapan Dimodifikasi (*Modified Deposition Area / ModADA*). Daerah pengendapan menjadi bagian dari bantaran banjir sungai tersebut, dan merupakan suatu sistem yang direkayasa dan dikelola untuk pengendapan dan pengendalian sirsat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sirsat dapat dirubah menjadi tanah dan dapat ditanam tanaman

3. Katmok Yanuarius, (2008)

Hasil penelitian menunjukkan aspal emulsi dengan variasi 2 %, 4 %, 6 % dan 8 % dapat menaikkan nilai CBR yang dapat dilakukan dengan dua metode yaitu, yang pertama dengan nilai CBR menjadi 5,16%, 5,63%, 6,88%, 7,96%, sedangkan yang kedua dengan nilai CBR menjadi 5,64%, 6,15%, 7,11%, 8,66%, untuk nilai kuat bebas naik menjadi 2,08 kg/cm² sampai dengan 8% mencapai 4,08 kg/cm² dan modulus elastisitas cenderung naik dari 2% sampai dengan 8% kadar aspal emulsi mencapai nilai 115,556 kg/cm², 131,765 kg/cm², 168,32 kg/cm², 510 kg/cm², sedangkan tanah lempung asli lolos saringan no 200 (0,075 mm) 42,88%, berat jenis tanah 2,633, batas cair 28,17%, batas plastis 19,87%, indeks plastisitas 8,3%, berat isi kering maksimum 1,644 gr/cc, kadar air optimum 20,08% , klasifikasi tanah sistem USCS termasuk tanah ML. Sedangkan sistem AASHTO tanah termasuk kelompok A-4 yaitu tanah berlanau dan berlempung. Dari hasil pengujian ini menunjukkan nilai CBR dan kuat tekan bebas memperoleh peningkatan daya dukung tanah yang signifikan setelah dicampur dengan aspal emulsi CSS, setelah diperam selama 3 hari.

4. Fauzia Syarif, (2009)

Tumbuhan yang terkontaminasi dengan limbah tailing yang mengandung sianida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi jenis tumbuhan yang dapat menyerap sianida dalam jumlah tinggi dan dapat digunakan untuk membersihkan lingkungan yang tercemar melalui teknik fitoremediasi.

5. Agus Susanto. (2009)

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah lempung dengan aspal emulsi terhadap penurunan konsolidasi dan modulus stabilisasi tanah. Kadar aspal emulsi untuk stabilisasi sebesar 0%, 3%, 6% dan 12% berat kering tanah dengan variasi perawatan 0 hari, 2 hari, 4 hari. Hasilnya menunjukkan bahwa stabilisasi aspal emulsi dapat memperkecil penurunan sebesar 26,27% dan meningkatkan nilai modulus stabilisasi tanah cukup signifikan.

6. I Wayan Mulyawan, (2011)

Penelitian tentang penggunaan Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan Kadar Aspal Residu Optimum Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan mempergunakan agregat lokal dari wilayah Gesing Selat Karangasem dan Karakteristiknya serta menganalisis peningkatan stabilitas (kekuatan) Campuran Aspal Emulsi Dingin tanpa penambahan semen maupun dengan penambahan 2 % semen sesuai spesifikasi Bina Marga. Campuran Aspal Emulsi Dingin mempergunakan proporsi agregat bergradasi rapat dengan variasi kadar aspal residu 6,0 %,

6,5%, 7%, 7,5%, dan 8% . Dari perbandingan nilai rata-rata, standar deviasi dan nilai t untuk kategori perbandingan lama waktu *curing* dari 3 hari ke 6 hari memberikan hasil yang terbaik terhadap peningkatan stabilitas CAED tanpa penambahan semen dan penambahan 2 % semen. Sementara untuk perbandingan stabilitas tanpa penambahan semen dan penambahan 2 % semen untuk waktu *curing* yang sama, stabilitas CAED yang terbaik terdapat pada waktu *curing* 12 hari

7. Warsiti. (2009)

Tujuan penelitian ini adalah menjelaskan pengaruh penambahan kapur ke dalam tanah terhadap peningkatan CBR (daya dukung tanah), swelling, dan mengetahui persentase kapur optimum sehingga diperoleh CBR maksimum dan swelling minimum. Pengujian dilakukan terhadap beberapa campuran tanah lempung dan bahan stabilisasi kapur dengan berbagai komposisi campuran (0 %, 5%, 8%, 10%, 12%) dengan meliputi pengujian berupa sifat-sifat mekanis berupa pengujian pemadatan, CBR, swelling.

Pada hasil pengujian CBR dengan metode standar terhadap tanah yang dicampur dengan kapur dari berbagai persentase dapat dikatakan CBR yang dihasilkan mengalami peningkatan yang cukup tinggi. Pada pengujian CBR dalam kondisi *unsoaked* akan mengalami perbaikan dari 11.88% menjadi 22,1 % dengan persentase kapur 10%. Begitu pula hasil CBR dalam kondisi *soaked*

mengalami peningkatan yang cukup besar, yaitu dari 2,45 % menjadi 7,6 % pada persentase kapur 10 %

8. Elifas Bunga, (2010)

Laju erosi tanah pasir kelempungan yang distabilisasi dengan aspal emulsi dalam penelitian dilaboratorium contoh tanah disiapkan 50 x 50 x 10cm pada kadar air 15,76%, derajat kepadatan 70,66%, permukaan tanah disemprot aspal emulsi dengan konsentrasi (60,80,100 cc/m) yang dicampur air rasio (1:3) disimpan dalam suhu ruangan 3x24jam. Hasil penelitian menunjukkan rata – rata reduksi laju erosi pada atabilisasi Ae 60, Ae 80, Ae 100 terhadap laju erosi Ae 0 (tanpa stabilisasi) masing – masing sebesar 62,77%,73,26% dan 86,61%. Model ini memberikan indikasi bahwa laju erosi meningkat dengan bertambahnya intensitas hujan dan menurun dengan bertambahnya konsentrasi aspal emulsi.

9. Hasrullah, (2010)

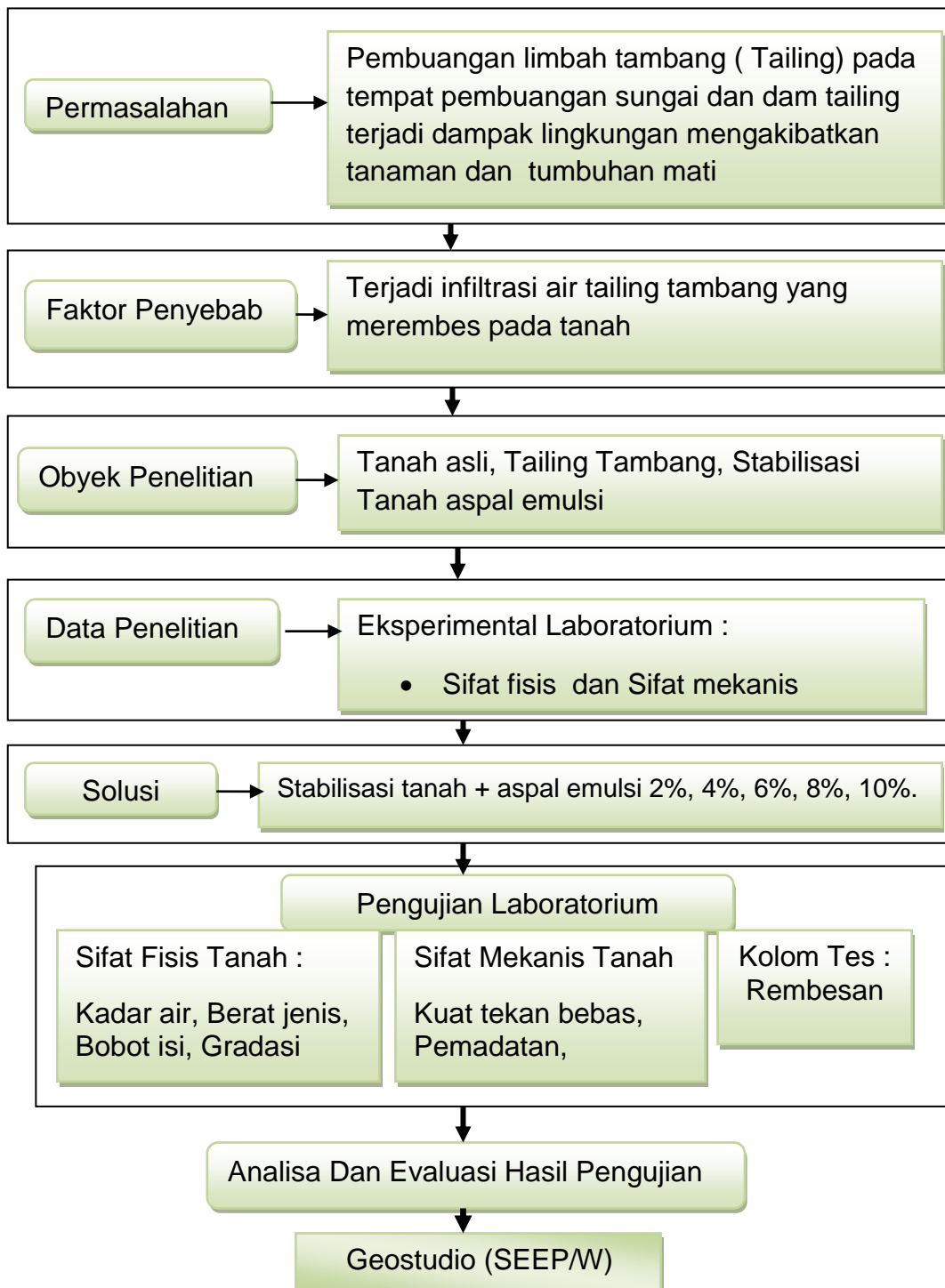
Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh infiltrasi air hujan terhadap perubahan parameter tanah . Sedangkan uji infiltrasi dilakukan dengan menggunakan alat uji kolom infiltrasi, dan menghitung koefisien permeabilitas tanah digunakan rumus Darcy. Hasil yang diperoleh pada pengukuran kecepatan rembesan : Tanah kandungan lempung 54,87% (hujan) kecepatan rembesan $4,17 \times 10^{-3}$ cm/detik. Tanah kandungan lempung 44,14% dan pasir 32,60% (hujan) kecepatan rembesan $4,6 \times 10^{-3}$ cm/detik

Untuk perhitungan faktor keamanan dihitung menggunakan program SLOPE/W

10. Akhmad Azis, (2013)

Penggunaan kolom pasir pada waduk resapan hasil penelitian menyatakan besar debit air tanah dipengaruhi oleh beda tinggi, tebal lapisan tanah / tinggi kolom berpengaruh terhadap debit.

Kerangka Pikir



Gambar 11. Kerangka Pikir