



THESIS RC 142501

**THE EFFECT OF ECOCURE²¹ MATERIAL
UTILIZATION ON DISPOSAL AREA AND HAULING
ROAD AREA OF PT ADARO INDONESIA, SOUTH
KALIMANTAN**

**IRWANDY MUZAIDI
NRP. 3113 201 002**

**Supervisor :
Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA**

**POST GRADUATE PROGRAM
MASTER PROGRAM OF GEOTECHNIC
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



TESIS RC 142501

**PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN ECOCURE²¹
TERHADAP KESTABILAN PADA AREA DISPOSAL
DAN AREA *HAULING ROAD* PT. ADARO INDONESIA,
KALIMANTAN SELATAN**

IRWANDY MUZAIDI
NRP. 3113 201 002

Dosen Pembimbing :
Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh :

Irwandy Muzaidi
Nrp. 3113201002

Tanggal Ujian : 06 November 2015
Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
NIP: 19501011 198203 1 002

(Pembimbing)

2. M. Farid Ma'ruf, ST., MT., Ph.D
NIP: 19741223 199803 1 002

(Penguji)

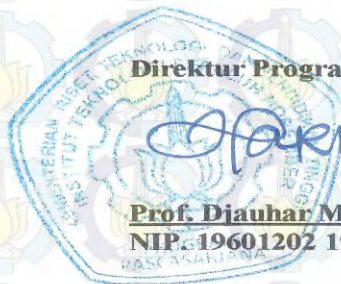
3. Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng
NIP: 19560119 198601 2 001

(Penguji)

4. Dr. Dwa-Desa Warnana, S.Si., M.Si
NIP: 19760123 200003 1 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP: 19601202 198701 1 001

PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN ECOCURE²¹ TERHADAP AREA DISPOSAL DAN AREA *HAULING ROAD* PT ADARO INDONESIA, KALIMANTAN SELATAN

Nama : Irwandy Muzaidi
NRP : 3113201002
Pembimbing : Prof. DR. Ir. Indarto, DEA

ABSTRAK

Kestabilan area pertambangan terutama pada area disposal (*waste dump*) dan fasilitas jalan tambang (*hauling road*) pada industri pertambangan adalah salah satu permasalahan yang penting saat ini. Ketidakstabilan lereng di area disposal dapat terjadi sewaktu-waktu. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dilakukan pengujian tanah pada area pertambangan PT. Adaro Indonesia yang berlokasi di Kalimantan Selatan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh dari bahan Ecocure²¹ sebagai stabilisator pada campuran tanah-semen dan campuran tanah-kapur sebagai dasar atau pondasi dari suatu area disposal dan juga sebagai dasar dari perkerasan pada fasilitas jalan tambang (*hauling road*). Penelitian ini dilakukan di laboratorium dan lapangan.

Dari penelitian ini, pada kondisi tanah asli tanpa Ecocure²¹ untuk area disposal didapatkan nilai kadar air benda uji sebesar 29,3%, nilai indeks plastisitas sebesar 21,40%, nilai kuat tekan bebas 271,2 kPa, nilai CBR laboratorium sebesar 21% dan nilai kristalinisasi benda uji sebesar 71,0264%. Sedangkan untuk area *parking bay* didapatkan nilai kadar air 8,2%, nilai indeks plastisitas sebesar 6%, nilai kuat tekan bebas 112,432% dan nilai CBR laboratorium sebesar 36%.

Pada kondisi benda uji tanah asli + Ecocure²¹ untuk area disposal didapatkan nilai kadar air sebesar 28,4%, nilai indeks plastisitas sebesar 18%, nilai kuat tekan bebas meningkat menjadi 1045,33 kPa, nilai CBR laboratorium menjadi 39% dan nilai kristalinisasi benda uji menjadi 78,8926%. Sedangkan untuk area *parking bay* didapatkan nilai kadar air 7,8%, nilai indeks plastisitas sebesar 5,10%, nilai kuat tekan bebas 447,908% dan nilai CBR laboratorium sebesar 48%.

Pada kondisi benda uji tanah asli + Ecocure²¹ + kapur untuk area disposal didapatkan nilai kadar air sebesar 26%, nilai indeks plastisitas sebesar 16,10%, nilai kuat tekan bebas meningkat menjadi 1134,56 kPa, nilai CBR laboratorium menjadi 49% dan nilai kristalinisasi benda uji menjadi 72,9381%. Sedangkan untuk area *parking bay* didapatkan nilai kadar air 7,1%, nilai indeks plastisitas sebesar 4,8%, nilai kuat tekan bebas 542,435% dan nilai CBR laboratorium sebesar 121%.

Pada kondisi benda uji tanah asli + Ecocure²¹ + semen untuk area disposal didapatkan nilai kadar air sebesar 24,8%, nilai indeks plastisitas sebesar 18,10%, nilai kuat tekan bebas meningkat menjadi 1543,67 kPa dan nilai kristalinisasi benda uji menjadi 62,9166%.

Pada pengujian lapangan untuk area *parking bay* diperoleh nilai CBR lapangan untuk kondisi tanah asli sebesar 56,46%, untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ menurun menjadi 22,68% dan untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur sebesar 33,27%.

Nilai faktor keamanan lereng untuk area disposal sebelum penambahan Ecocure²¹ yaitu 1,154, pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ menjadi 1,482, pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen adalah 1,514, sedangkan pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur menjadi 1,51.

Kata kunci : disposal, *hauling road*, *parking bay*, Ecocure²¹, uji tekan bebas (*UCS*), campuran tanah-kapur, campuran tanah-semen, CBR laboratorium, CBR lapangan, kristalinisasi, Kalimantan Selatan.

**THE EFFECT OF ECOCURE²¹ MATERIAL UTILIZATION
ON DISPOSAL AREA AND HAULING ROAD AREA
OF PT ADARO INDONESIA, SOUTH KALIMANTAN**

Name : Irwandy Muzaidi
Student Identity Number : 3113201002
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA

Abstract

The stability of the mining areas, especially in the disposal area (waste dump) and the mines road facilities (hauling road) in the mining industry is one of the important issues today. The disposal area slope instability can occur at any time. To overcome these problems, the testing ground have been done in the mining area of PT. Adaro Indonesia located in South Kalimantan.

This research aims to study the effect of material Ecocure²¹ as a stabilizer in the soil-cement mixture and mix the soil-lime as the base or foundation of a disposal area and the base of the hauling road. This research was conducted in the laboratory and field.

This research, the original soil conditions without Ecocure²¹ for disposal area obtained value water content the specimen is 29.3%, plasticity index value of 21.40%, the value of compression strength test (UCS) is 271,2 kPa, laboratory CBR value of 21% and crystallization the specimen value of 71.0264%. While parking bay area, was obtained water content of 8.2%, the value of plasticity index of 6%, the value of compression strength test (UCS) is 112,432 kPa and Laboratory CBR value of 36%.

The original soil conditions + Ecocure²¹, for disposal area obtained value water content the specimen is 28,4%, plasticity index value of 18%, the value of compression strength test (UCS) increase to 1045,33 kPa, laboratory CBR value of 39% and crystallization the specimen value of 78,8926%. While parking bay area, was obtained water content of 7,8%, the value of plasticity index of 5,10%, the value of compression strength test (UCS) is 447,908 kPa and Laboratory CBR value of 48%.

The mixture of soil + Ecocure²¹ + lime, for disposal area obtained value water content the specimen is 26%, plasticity index value of 16,10%, the value of compression strength test (UCS) increase to 1134,56 kPa, laboratory CBR value of 49% and crystallization the specimen value of 72,9381%. While parking bay area,

was obtained water content of 7,1%, the value of plasticity index of 4,8%, the value of compression strength test (UCS) is 542,435 kPa and Laboratory CBR value of 121%.

The mixture of soil + Ecocure²¹ + cement, for disposal area obtained value water content the specimen is 24,8%, plasticity index value of 18,10%, the value of compression strength test (UCS) increase to 1543,67 kPa and crystallization the specimen value of 62,9166%.

In the field tests for the parking bay area, Field CBR values obtained for the original soil conditions by 56.46%, for the original soil conditions + Ecocure21 decreased to 22.68% and for the original soil conditions + Ecocure21 + lime of 33.27%.

The value of the safety factor of the slope to the disposal area before the addition Ecocure²¹ ie 1,154, the original soil conditions + Ecocure²¹ becoming 1,482, the mixture of soil + Ecocure²¹ + cement has a value of 1,514, while the mixture of soil + Ecocure²¹ + lime becoming 1,51.

Keywords : disposal, hauling road, parking bay, Ecocure²¹, compression strength test (UCS), The mixture of soil and lime, The mixture of soil and cement, laboratory CBR, field CBR, crystallization, South Kalimantan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan anugerah-Nya yang telah diberikan sehingga penyusun dapat menyelesaikan tesis dengan baik dan tepat waktu. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) pada Bidang Keahlian Geoteknik Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyelesaian tesis ini tidak dapat dipungkiri bahwa penyusun sering menemui beberapa kendala dalam pengerjaannya. Namun berkat bimbingan, bantuan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya penyusun dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Oleh karena itu, penyusun tidak lupa mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang terkait dalam penyusunan proposal tugas akhir ini, yaitu kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA., selaku dosen pembimbing dan dosen penguji selama pengerjaan tesis ini yang dengan sangat sabar meluangkan waktunya demi terselesaikannya tesis ini.
2. Ibu Dr. Ir. Ria A.A. Soemitro., M.Eng., Bapak Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si. dan Bapak M. Farid Ma'ruf, ST., MT.,Ph.D., selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak koreksi dan masukannya.
3. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungan moral dalam mengerjakan tesis, serta adik saya satu-satunya yang selalu memberikan doa dan dukungannya kepada penulis.
4. Bapak Samuel Lianto, selaku pihak PT. Ecocure Indonesia yang telah memberikan izin dan masukan kepada penulis dalam penelitian ini.
5. Bapak Iswan Sujarwo, selaku Kepala Teknik Tambang PT. Adaro Indonesia yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian di wilayah tambang PT. Adaro Indonesia.
6. Bapak Hotmanahan Timbul, selaku *Geotechnical & Hydrogeology Department Head* PT. Adaro Indonesia, yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis dalam penelitian ini.
7. Bapak Putih Fajariyadi, selaku *Road Maintenance Section Head* PT. Adaro Indonesia, yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis dalam penelitian ini.
8. Bapak Wagiyono beserta tim laboratorium *Geotechnical* PT. Adaro Indonesia, yang sangat membantu dalam penelitian penulis.
9. Seluruh teman – teman S2 Geoteknik 2013 ITS, yang telah banyak memberikan dukungan, masukan, dan motivasi hingga mampu memberikan kekuatan dan semangat bagi penulis.
10. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas segala kebaikan, doa serta bantuannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Sehingga, besar harapan adanya koreksi maupun masukan dari semua pihak untuk kesempurnaan tesis ini. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2016
Penulis

Irwandy Muzaidi

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL

ABSTRAK **i**

KATA PENGANTAR **v**

DAFTAR ISI **vii**

DAFTAR GAMBAR **xi**

DAFTAR TABEL **xiii**

DAFTAR SIMBOL **xv**

DAFTAR ISTILAH **xvii**

BAB 1. PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 5

1.4 Manfaat Penelitian 6

1.5 Batasan Penelitian 6

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA **7**

2.1 Tinjauan Umum..... 7

2.1.1 Tanah Lempung..... 7

2.2 Area disposal dan area tambang..... 8

2.2.1 Area disposal..... 8

2.2.2 Jalan tambang..... 11

2.3 Kestabilan lereng 11

2.3.1 Kestabilan lereng pada area disposal..... 11

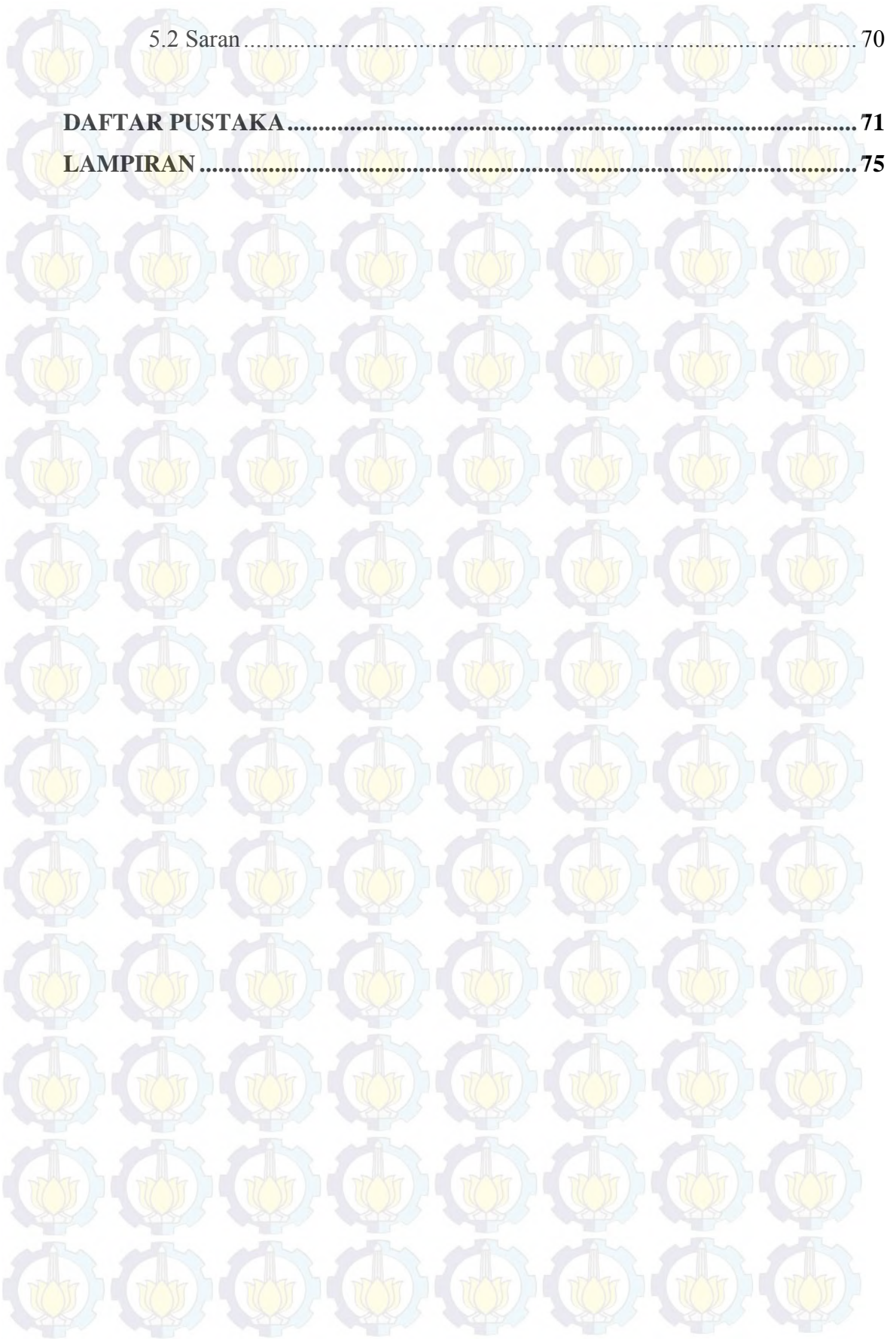
2.3.2 Klasifikasi kelongsoran 13

2.4 Prinsip dasar pemadatan 15

2.5 Kekuatan geser tanah 16

2.6 Bahan stabilisasi Ecocure ²¹	17
2.7 Pengujian dengan <i>X-Ray Diffraction</i>	19
2.8 Permodelan geoteknik dengan bantuan program GeoStudio	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Persiapan bahan.....	27
3.2 Rincian pengujian di lapangan	27
3.2.1 Pengujian CBR lapangan	27
3.3 Rincian pengujian di laboratorium	28
3.3.1 Analisa butiran tanah	28
3.3.2 Pengujian batas atterberg	28
3.3.3 Pengujian kuat tekan bebas	28
3.3.4 Pengujian CBR laboratorium	29
3.3.2 Pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i>	29
3.3.2 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Umum	31
4.2 Komposisi pencampuran Ecocure ²¹	34
4.3 Hasil pengujian skala laboratorium	34
4.3.1 Hasil pengujian kadar air	34
4.3.2 Hasil pengujian batas Atterberg	37
4.3.4 Hasil pengujian kuat tekan bebas	40
4.3.5 Hasil pengujian CBR Laboratorium	41
4.3.6 Hasil pengujian <i>Triaxial Unconsolidated Undrained</i>	46
4.3.7 Hasil pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	47
4.4 Hasil pengujian skala lapangan	56
4.4.1 Hasil pengujian CBR lapangan	56
4.5 Permodelan geoteknik dengan menggunakan GeoStudio	57
BAB 5. PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65

5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	75



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Lokasi tambang PT. Adaro Indonesia	3
Gambar 2.1 Skema pemindahan lapisan tanah penutup.....	9
Gambar 2.2 Kondisi area disposal di PT. Adaro Indonesia	10
Gambar 2.3 Kondisi hauling road di PT. Adaro Indonesia.....	11
Gambar 2.4 Kurva tipikal hubungan kepadatan kering – kadar air	16
Gambar 2.5 Ecocure ²¹	17
Gambar 3.1 Bagan alir pelaksanaan penelitian.....	24
Gambar 4.1 Peta lokasi pengambilan contoh tanah area disposal paringin	33
Gambar 4.2 Lokasi <i>parking bay</i> hauling road yang diteliti	34
Gambar 4.3 Grafik hubungan nilai kadar air dengan variasi benda uji area disposal	35
Gambar 4.4 Grafik hubungan nilai kadar air dengan variasi benda uji area <i>parking bay</i>	36
Gambar 4.5 Grafik hubungan nilai kadar air dengan variasi benda uji area disposal setelah dilakukan pengujian kembali.....	37
Gambar 4.6 Grafik hubungan nilai indeks plastisitas dengan kondisi benda uji area disposal.....	39
Gambar 4.7 Grafik hubungan nilai kadar air dengan variasi benda uji area <i>parking bay</i>	40
Gambar 4.8 Grafik hubungan nilai CBR dengan waktu pemeraman area disposal (kondisi atas benda uji)	42
Gambar 4.9 Grafik hubungan nilai CBR dengan waktu pemeraman area disposal (kondisi bawah benda uji).....	43
Gambar 4.10 Grafik hubungan nilai CBR dengan waktu pemeraman area <i>parking bay</i> (kondisi atas benda uji).....	44
Gambar 4.11 Grafik hubungan nilai CBR dengan waktu pemeraman area <i>parking bay</i> (kondisi bawah benda uji).....	45

Gambar 4.12 <i>Peak</i> data hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli	47
Gambar 4.13 <i>Search result</i> komposisi mineral yang terdapat dalam contoh tanah asli.....	48
Gambar 4.14 <i>Peak</i> data hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure ²¹	49
Gambar 4.15 <i>Search result</i> hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure ²¹	50
Gambar 4.16 <i>Peak</i> data hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	51
Gambar 4.17 <i>Search result</i> hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	52
Gambar 4.18 <i>Peak</i> data hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure ²¹ + semen	53
Gambar 4.19 <i>Search result</i> hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	54
Gambar 4.20 Sketsa area <i>parking bay</i> yang dilakukan pengujian.....	56
Gambar 4.21 Pengujian CBR dengan <i>Clegg Hammer</i> untuk kondisi sebelum penambahan Ecocure ²¹ pada area <i>parking bay</i>	57
Gambar 4.22 Sketsa permodelan lereng disposal	58
Gambar 4.23 Tekanan air pori pada kondisi tanah asli.....	59
Gambar 4.24 Tekanan air pori pada kondisi tanah asli + Ecocure ²¹ disposal.....	60
Gambar 4.25 Analisa kestabilan pada kondisi tanah asli.....	61
Gambar 4.26 Analisa kestabilan pada kondisi tanah asli + Ecocure ²¹	61
Gambar 4.27 Analisa kestabilan pada kondisi tanah asli + Ecocure ²¹ + semen.....	62
Gambar 4.28 Analisa kestabilan pada kondisi tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	62

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi bahan yang terkandung dalam Ecocure ²¹	18
Tabel 4.1 Karakteristik tanah pada area disposal	32
Tabel 4.2 Karakteristik tanah pada area <i>parking bay</i>	32
Tabel 4.3 Hasil pengujian atterberg limit area disposal.....	38
Tabel 4.4 Hasil pengujian atterberg limit area <i>parking bay</i>	38
Tabel 4.5 Hasil pengujian kuat tekan bebas area disposal.....	41
Tabel 4.6 Hasil pengujian kuat tekan bebas area <i>parking bay</i>	41
Tabel 4.7 Hasil pengujian Triaxial <i>Unconsolidated Undrained</i> area disposal.....	46
Tabel 4.8 Hasil pengujian <i>XRD</i> terhadap 4 variasi campuran tanah	47
Tabel 4.9 Nilai berat volume tanah (γ) untuk area disposal.....	58
Tabel 4.10 Nilai faktor keamanan dari 4 variasi tanah	60

DAFTAR SIMBOL

ΣMsf = *Multiplier safety factor*

c_{input} = kohesi tanah (kN/m^2)

φ_{input} = sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)

$c_{reduksi}$ = kohesi tanah tereduksi (kN/m^2)

$\varphi_{reduksi}$ = sudut geser dalam tereduksi ($^{\circ}$)

c = Kohesi

ϕ = Sudut geser dalam

C_u = Tegangan longsor

S_t = Sensitivity

C_c = Compression Indeks

C_v = Koefisien konsolidasi

τ_f = Tegangan geser tanah pada saat runtuh

σ = Tegangan normal

φ = Sudut geser dalam

DAFTAR ISTILAH

Batas Atterberg

Batas – batas yang terdiri dari batas cair, batas plastis dan batas susut.

Batas cair

Kadar air batas dimana suatu tanah berubah dari keadaan plastis menjadi keadaan cair.

Batas plastis

Kadar air minimum dimana suatu tanah masih dalam keadaan plastis.

Batas susut

Kadar air (%) dimana terjadi transisi dari keadaan padat menjadi keadaan semi padat.

Disposal

Daerah pada suatu operasi tambang terbuka yang dijadikan tempat membuang material kadar rendah dan material bukan bijih.

Ecocure²¹

Suatu zat additif untuk bahan stabilisasi tanah yang berfungsi untuk mempertahankan atau memperbaiki sifat tanah. Bahan ini berupa material serbuk halus yang terdiri dari komposisi logam, garam dan mineral anorganik.

Geostudio

Sebuah paket aplikasi untuk permodelan geoteknik dan geo lingkungan.

Hauling road

Jalan tambang yang berfungsi sebagai penghubung lokasi-lokasi penting, antara lain lokasi tambang dengan pengolahan bahan galian, perkantoran, dan tempat-tempat lain di wilayah penambangan.

Illite

Mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral illite. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat diantara dua lembar silika tetrahedra.

Indeks plastisitas

Selisih antara batas cair (*Liquid limit*) dengan batas plastis (*Plastic limit*) yaitu $PI = LL - PL$.

Parking bay

Area tepi jalan tambang yang mempunyai fungsi sebagai tempat berhentinya unit sarana tambang seperti truk gandeng pengangkut bahan tambang akibat terjadinya kerusakan mesin.

X-Ray Diffraction

Alat pengujian yang berfungsi untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dari masing-masing contoh benda uji beserta parameter-parameternya yang meliputi system kristal, konstanta kisi, bidang difraksi.

UCS

Suatu alat pengujian tanah yang berfungsi untuk mengetahui kekuatan tekan bebas suatu jenis tanah yang bersifat kohesif dalam keadaan asli (*undisturbed*) atau dalam keadaan buatan (*remoulded*).

Triaxial UU

Suatu alat pengujian tanah yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan geser tanah (c) dan sudut geser dalam (ϕ), dalam tegangan total ataupun efektif yang mendekati keadaan aslinya di lapangan dan dimana dalam pengujian ini tidak diperkenankan perubahan kadar air dalam contoh tanah.

Clegg Hammer

Suatu alat pengujian di lapangan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR lapangan.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kestabilan pada area pertambangan terutama pada area disposal (*waste dump*) dan fasilitas jalan tambang (*hauling road*) pada industri pertambangan merupakan salah satu isu penting saat ini, mengingat sebagian besar perusahaan tambang di Indonesia meningkatkan produksinya. Akibatnya perusahaan tambang tersebut melakukan pelebaran dan pendalaman penggalian. Semakin lebar dan dalam tambang tersebut dilakukan penggalian, maka tentunya akan semakin besar resiko yang akan muncul, atau semakin meningkatnya ketidakpastian pada faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan tambang terbuka. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya resiko kelongsoran lereng mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi air tanah, karakteristik massa batuan, serta struktur yang ada pada batuan. (Azizi, 2012).

PT Adaro Indonesia adalah perusahaan pertambangan batubara yang melakukan kegiatan penambangan di daerah Wara, Tutupan dan Paringin, secara administrasi berada di Kabupaten Tabalong dan Kabupaten Balangan, Propinsi Kalimantan Selatan. Infrastruktur berupa jalan angkut batubara sepanjang ± 80 km, bengkel, perkantoran, perumahan, dan pelabuhan khusus batubara Kelanis tersebar di Kabupaten Balangan dan Kabupaten Tabalong Propinsi Kalimantan Selatan, serta Kabupaten Barito Timur dan Kabupaten Barito Selatan Propinsi Kalimantan Tengah. Lokasi penambangan terletak di Kabupaten Balangan dan Kabupaten Tabalong Propinsi Kalimantan Selatan, berjarak lebih kurang 220 km dari kota Banjarmasin ke arah utara yang dapat ditempuh melalui jalan darat, dengan waktu tempuh sekitar lima (5) jam dari Banjarmasin. Lokasi pengolahan batubara (*crushing plant*) dan Pelabuhan Khusus batubara berada di Kabupaten Barito Selatan Propinsi Kalimantan Tengah.

Masalah kestabilan lereng area disposal saat ini menjadi masalah yang ramai dibicarakan. Dimana kestabilan lereng di lereng disposal dapat saja menjadi tidak stabil sewaktu-waktu. Hal inilah yang dapat menjadi kelongsoran pada lereng, sehingga dapat mengganggu produksi dari tambang tersebut. Masalah kestabilan lereng inipun juga terjadi pada wilayah tambang PT. Adaro Indonesia, sehingga diperlukan solusi untuk memecahkan masalah mengenai kestabilan lereng tersebut.

Di Indonesia banyak alternatif untuk memecahkan masalah mengenai kestabilan tanah maupun kestabilan lereng. Metode stabilisasi tanah dasar yang banyak digunakan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah, misalnya dengan cara pemadatan. Sedangkan stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan jalan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia seperti kapur, fly ash, abu sekam, semen, dan lain-lain. (Yunaefi, 2010).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencari alternatif perbaikan tanah dasar. Contoh-contoh penelitian yang telah dilakukan antara lain adalah pencampuran kapur pada tanah ekspansif dalam keadaan *liquid limit* (Kusuma, 2001), pengaruh kadar kapur, waktu perawatan dan perendaman terhadap kuat dukung tanah lempung (Wiqoyah, 2006), dan stabilisasi tanah ekspansif dengan menggunakan campuran fly ash dan kapur (Welly, 2002).

Alternatif lain untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada kestabilan tanah maupun kestabilan lereng adalah menggunakan bahan stabilisasi yaitu Ecocure²¹. Ecocure²¹ merupakan produk dari Jepang, yang berupa bahan stabilisasi dan pemadatan tanah, dan juga sebagai zat aditif untuk mempertahankan fungsi tanah terutama kesuburannya. Ecocure²¹ terbuat dari komposisi logam dan garam anorganik. (Yunaefi, 2010).

Ecocure²¹ sebagai penstabil tanah mampu meningkatkan kualitas tanah, antara lain daya tahan terhadap beban tinggi, dapat memiliki porositas

yang baik, anti retak, tidak licin dan tidak berdebu. Semakin terkena air maka akan semakin kokoh, dapat mengeliminasi racun yang ramah lingkungan. Ecocure²¹ telah banyak digunakan di Jepang, Vietnam, Thailand. Uji coba penggunaan bahan Ecocure²¹ di lapangan yang telah dilakukan di beberapa Negara tersebut telah terbukti dengan baik. Namun demikian masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang Ecocure²¹ ini mengenai jenis tanah apa saja yang masih efektif bila diperbaiki dengan bahan ini dan untuk mensimulasi kondisi kerusakan di lapangan dengan menggunakan bahan Ecocure²¹. (Ecocure Indonesia)

Penelitian yang akan dilakukan yaitu pada area disposal dan area *hauling road* dalam wilayah kerja tambang PT. Adaro Indonesia yang berada di Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan, seperti pada Gambar 1.1. Penelitian pada area disposal difokuskan pada area *base* atau dasar dari suatu timbunan disposal sebelum dilakukan penimbunan material disposal. Tanah pada *base* disposal akan diberikan bahan Ecocure²¹. Dengan adanya penambahan bahan Ecocure²¹, diharapkan dapat meningkatkan nilai dari parameter-parameter tanah dibandingkan sebelum menggunakan bahan Ecocure²¹.



Gambar 1.1 Lokasi tambang PT. Adaro Indonesia

1.2 Perumusan masalah

Permasalahan utama adalah bagaimana kinerja lapisan tanah yang distabilisasi dengan bahan Ecocure²¹. Adapun detail permasalahannya adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana nilai kadar air, nilai batas Atterberg, kuat tekan bebas, nilai CBR laboratorium, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (\emptyset) serta nilai kristalinisasi dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji pada kondisi tanah asli tanpa penambahan Ecocure²¹ untuk area disposal dan *parking bay*.
- b. Bagaimana pengaruh penambahan Ecocure²¹ pada kondisi campuran tanah asli + Ecocure²¹ terhadap perubahan nilai kadar air, nilai batas Atterberg, kuat tekan bebas, nilai CBR laboratorium, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (\emptyset) serta nilai kristalinisasi dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji untuk area disposal dan *parking bay*.
- c. Bagaimana pengaruh penambahan Ecocure²¹ pada kondisi campuran tanah asli + Ecocure²¹ + kapur terhadap perubahan nilai kadar air, nilai batas Atterberg, kuat tekan bebas, nilai CBR laboratorium, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (\emptyset) serta nilai kristalinisasi dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji untuk area disposal dan *parking bay*.
- d. Bagaimana pengaruh penambahan Ecocure²¹ pada kondisi campuran tanah asli + Ecocure²¹ + semen terhadap perubahan nilai kadar air, nilai batas Atterberg, kuat tekan bebas, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (\emptyset) serta nilai kristalinisasi dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji untuk area disposal dan *parking bay*.
- e. Bagaimana pengaruh perubahan nilai CBR lapangan area *parking bay* pada kondisi tanah asli, kondisi tanah asli + Ecocure²¹ dan kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur.
- f. Bagaimana faktor keamanan dari area disposal pada kondisi tanah asli, kondisi tanah asli + Ecocure²¹, kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen dan kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur, dengan bantuan program Geostudio.

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian dari percobaan di Laboratorium adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui nilai kadar air, nilai batas Atterberg, kuat tekan bebas, nilai CBR laboratorium, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) serta nilai kristalinitasi dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji pada kondisi tanah asli tanpa penambahan Ecocure²¹.
- b. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Ecocure²¹ pada kondisi campuran tanah asli + Ecocure²¹ terhadap perubahan nilai kadar air, nilai batas Atterberg, kuat tekan bebas, nilai CBR laboratorium, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) serta nilai kristalinitasi dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji.
- c. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Ecocure²¹ pada kondisi campuran tanah asli + Ecocure²¹ + kapur terhadap perubahan nilai kadar air, nilai batas Atterberg, kuat tekan bebas, nilai CBR laboratorium, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) serta nilai kristalinitasi dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji.
- d. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Ecocure²¹ pada kondisi campuran tanah asli + Ecocure²¹ + semen terhadap perubahan nilai kadar air, nilai batas Atterberg, kuat tekan bebas, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) serta nilai kristalinitasi dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji.
- e. Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai CBR lapangan area *parking bay* pada kondisi tanah asli, kondisi tanah asli + Ecocure²¹, kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur.
- f. Untuk mengetahui faktor keamanan dari area disposal pada kondisi tanah asli, kondisi tanah asli + Ecocure²¹, kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen dan kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur, dengan bantuan program Geostudio.

1.4 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian diharapkan bahwa penggunaan bahan stabilisasi dengan Ecocure²¹ ditambah semen atau kapur maupun tidak, dapat mengatasi permasalahan yang terjadi pada area disposal dan area hauling, setelah percobaan di laboratorium dan dilapangan telah dilakukan dengan baik.

1.5 Batasan masalah

Untuk memfokuskan penelitian yang diajukan ini, maka beberapa batasan dari penelitian ini, yaitu:

- a. Pengujian ini dilakukan di area disposal dan *hauling road* yang bermasalah, dimana contoh benda uji diambil dari lokasi disposal dan lokasi untuk *hauling road* (*parking bay*).
- b. Permodelan geoteknik yang dilakukan adalah dengan program GeoStudio.
- c. Hasil yang dianalisa adalah pengaruh bahan Ecocure²¹ terhadap contoh tanah area disposal dan area *parking bay*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tanah dan tanah dasar erat kaitannya dengan konstruksi bangunan sipil, karena setiap bangunan sipil pasti berdiri di atas suatu permukaan tanah. Sering kali dijumpai permasalahan pada tanah dan tanah dasar suatu konstruksi bangunan sipil. Suatu konstruksi bangunan sipil selalu berdiri di atas tanah dasar yang akan menerima dan menahan beban dari keseluruhan struktur di atasnya. Sedangkan tanah memiliki karakteristik dan sifat-sifat yang berbeda dari satu lokasi dengan lokasi lainnya. Sehingga diperlukan penanganan dan perlakuan khusus dalam mengatasi permasalahan yang mungkin terjadi dalam perencanaan suatu konstruksi bangunan sipil.

2.1.1 Tanah lempung

Tanah lempung dan mineral lempung adalah tanah yang memiliki partikel - partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Partikel-partikel tanah berukuran yang lebih kecil dari 2 mikron ($=2\mu$), atau <5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid ($<1\mu$) dan ukuran 2μ merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung.

Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral yang terkandung didalamnya. ASTM D 653 memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm hingga 0,005 mm.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh tanah lempung (Hardiyatmo, 1999) adalah sebagai berikut:

- a. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
- b. Permeabilitas rendah
- c. Kenaikan air kapiler tinggi

- d. Bersifat sangat kohesif
- e. Kadar kembang susut yang tinggi
- f. Proses konsolidasi lambat.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik

Kezdi (1979), melaporkan bahwa dengan menambah semen baik kedalam tanah lempung maupun kedalam tanah pasir akan meningkatkan kepadatan maksimum tanah tersebut sebesar kurang lebih 10%. Namun demikian, jika diterapkan pada tanah lanau kepadatannya justru menurun. Menurutnya, semen menurunkan indeks plastisitas tanah kohesif yang disebabkan oleh peningkatan batas plastis serta penurunan batas cairnya.

Hosiya dan Mandal (1984), melakukan stabilisasi tanah lempung dengan bubuk logam (aluminum + besi tuang). Hasil penelitian yang dilaporkan adalah bahwa dengan menambah 0,5% berat bubuk logam kedalam tanah lempung akan menaikkan nilai kohesi tanah tersebut kurang lebih sebesar 15%, sedangkan kuat tekan bebas tanah lempung tersebut meningkat kurang lebih 17% dibanding dengan kuat tekan bebas tanah asli.

Idrus (1991), melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapur sebagai bahan kimia. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah kepadatan kering maksimum (standar Proctor) meningkat sebesar 30% dari kepadatan semula (tanah asli), dengan kadar kapur optimum pada 8,5%. Nilai CBR tanah juga mengalami kenaikan sebesar 25%.

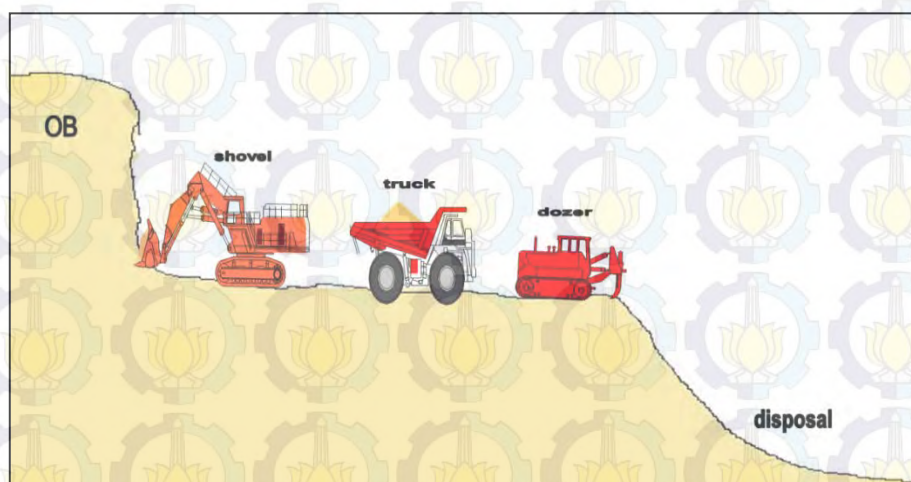
2.2 Area disposal dan area jalan tambang

2.2.1 Area disposal

Suatu kegiatan pertambangan umumnya memindahkan tanah penutup untuk mengambil bahan galian yang berada di dalam bumi. Oleh karena itu, diperlukan suatu area tertentu untuk membuang material tanah penutup tersebut sehingga tidak menutupi area yang masih mengandung bahan galian yang ekonomis. Tempat penimbunan dapat dibagi menjadi dua, yaitu *waste dump* atau

disposal dan *stockpile*. *Waste dump* atau disposal adalah daerah pada suatu operasi tambang terbuka yang dijadikan tempat membuang material kadar rendah dan material bukan bijih. Material tersebut perlu digali dari tambang demi memperoleh bijih atau material kadar tinggi, sedangkan *stockpile* digunakan untuk menyimpan material yang akan digunakan pada saat yang akan datang. *Stockpile* juga dapat berfungsi sebagai tempat penyimpanan bijih kadar rendah yang dapat diproses pada saat yang akan datang maupun tanah penutup atau tanah pucuk yang dapat digunakan untuk reklamasi.

Berdasarkan alasan sosiologis di masyarakat, banyak perusahaan menjauhi nama *waste dump*. Istilah yang dipakai adalah area disposal, *waste rock storage area*, *rock piles*, dan lain-lain. Disposal biasanya dibuat pada lubang-lubang bekas penambangan ataupun bekas penambangan kuari, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Ketika lubang tersebut telah penuh, maka permukaan dari disposal ini akan ditutupi dengan lapisan tanah penutup (*top soil*) untuk dijadikan daerah penghijauan. Sudah menjadi tanggung jawab tiap perusahaan penambangan untuk melakukan penghijauan kembali setelah area penambangan ditutup. Oleh karena itu, suatu area yang berupa lubang atau lereng bekas penambangan harus disiapkan untuk menjadi area disposal.



Gambar 2.1 Skema pemindahan lapisan tanah penutup

Rancangan disposal sangat penting untuk perhitungan keekonomian. Lokasi dan bentuk dari disposal akan berpengaruh terhadap jumlah giliran truk, biaya operasi dan jumlah truk dalam satu armada yang diperlukan. Pada umumnya daerah yang diperlukan untuk disposal luasnya berkisar antara 2–3 kali dari daerah penambangan. Hal ini berdasarkan pertimbangan diantaranya:

- Material yang telah dibongkar berkembang 30 – 45 % dibandingkan dengan material in situ.
- Sudut kemiringan untuk suatu *dump* umumnya lebih landai dari daerah penambangan.
- Material pada umumnya tidak dapat ditumpuk setinggi kedalaman dari pit.

Stabilitas pembentukan *waste dump* area (disposal) menjadi hal yang kritis untuk jangka panjang suatu kegiatan tambang, baik ditinjau dari aspek pendukung operasional kegiatan aktif maupun pasca tambang. Hal ini bertujuan agar tercapainya target optimalisasi keberhasilan stabilitas lahan yang disiapkan untuk area reklamasi. Investigasi geoteknik dan analisa kestabilan lereng harus dilakukan sebelum penimbunan untuk memastikan disposal cukup aman dan optimal. (PT. Adaro Indonesia, 2014)

Beberapa aspek yang menjadi parameter tercapainya stabilitas area disposal antara lain :

- *Base* atau pondasi area disposal yang nantinya akan ditimbun. Strategi penempatan material.
- Pematatan pada saat pembentukan timbunan disposal, lapis per lapis.



Gambar 2.2 Kondisi area disposal di PT Adaro Indonesia

2.2.2 Jalan tambang (*hauling road*)

Setiap operasi penambangan memerlukan jalan tambang sebagai sarana infrastruktur yang vital di dalam lokasi penambangan dan sekitarnya. Jalan tambang berfungsi sebagai penghubung lokasi-lokasi penting, antara lain lokasi tambang dengan area *crushing plant*, pengolahan bahan galian, perkantoran, perumahan karyawan dan tempat-tempat lain di wilayah penambangan.

Konstruksi jalan tambang secara garis besar sama dengan jalan angkut di kota. Perbedaan yang khas terletak pada permukaan jalannya (*road surface*) yang jarang sekali dilapisi oleh aspal atau beton seperti pada jalan angkut di kota, karena jalan tambang sering dilalui oleh peralatan mekanis yang memakai *crawler track*, misalnya *bulldozer*, *excavator*, *Crawler Rock Drill (CRD)*, *track loader* dan sebagainya. Kondisi jalan tambang atau *hauling road* PT. Adaro Indonesia seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kondisi *hauling road* di PT Adaro Indonesia

2.3 Kestabilan lereng

2.3.1 Kestabilan lereng pada area disposal

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang. Faktor keamanan didefinisikan sebagai berikut (Das 1985).

Kestabilan dari suatu lereng pada kegiatan penambangan dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada lokasi tersebut, kondisi air tanah setempat, faktor luar seperti getaran akibat peledakan ataupun alat mekanis yang beroperasi dan juga dari teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng. Faktor pengontrol ini jelas sangat berbeda untuk situasi penambangan yang berbeda dan sangat penting untuk memberikan aturan yang umum untuk menentukan seberapa tinggi atau seberapa landai suatu lereng untuk memastikan lereng itu akan tetap stabil.

Kestabilan lereng penambangan dipengaruhi oleh geometri lereng, struktur batuan, sifat fisik dan mekanik batuan serta gaya luar yang bekerja pada lereng tersebut. Suatu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng penambangan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor.

Menurut Manaf (1992), faktor – faktor yang umum mempengaruhi kestabilan / kemantapan suatu lereng adalah sebagai berikut:

- a. Sifat fisis dan mekanis dari massa batuan ataupun bidang-bidang lemah yang terdapat dalam massa batuan yang membentuk lereng itu, misalnya orientasi bidang – bidang lemah yang ada dalam kaitannya dengan arah dip dari lereng tersebut.
- b. Karakteristik kekuatan batuan (*strength properties*) dari batuan.
- c. Tekanan air pada lereng.
- d. Tinggi lereng serta geometrinya.
- e. Kondisi tegangan pada lokasi tersebut.
- f. Sistem penambangan yang dalam hal ini metode peledakan dan pemboran ataupun penambangan secara mekanik.

Bila faktor – faktor di atas dapat diketahui secara pasti, maka informasi yang diperlukan untuk menganalisis kestabilan lereng dapat terpenuhi.

Kelongsoran lereng terjadi karena kekuatan geser material pada bidang longsor tidak cukup untuk menahan tegangan geser yang terjadi. Saat ini ada dua pendekatan dalam analisis stabilitas lereng yakni metode irisan keseimbangan batas (*limit equilibrium*) dan analisis numeris *elasto-plastic* menggunakan metode

elemen hingga (*finite element method*). Keruntuhan yang terjadi secara alami melalui zona lereng dimana kekuatan geser tanah tidak mampu menahan gaya geser yang terjadi. Dalam teknik reduksi kekuatan geser (*shear strength reduction*) metode elemen hingga (SSR-FEM), lereng di modelkan sebagai *plain-strain* 2 dimensi dengan model material tanah digunakan Mohr-Coulomb. Pada model material tanah Mohr-Coulomb, ada 6 parameter tanah yang diperlukan yakni sudut geser dalam tanah, kohesi tanah, sudut dilatasi, modulus Young's (E), poisson rasio dan berat volume tanah. Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Sehingga faktor aman (SF) stabilitas lereng menjadi :

$$\begin{aligned}\Sigma M_{sf} &= \tan \varphi_{input} / \tan \varphi_{reduksi} \\ &= c_{input} / c_{reduksi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SF &= \text{Kekuatan geser yang tersedia} / \text{Kekuatan geser saat runtuh} \\ &= \text{Nilai } \Sigma M_{sf} \text{ pada saat kelongsoran.}\end{aligned}$$

dengan,

$$\Sigma M_{sf} = \textit{Multiplier safety factor}$$

$$c_{input} = \text{kohesi tanah (kN/m}^2\text{)}$$

$$\varphi_{input} = \text{sudut geser dalam tanah (}^\circ\text{)}$$

$$c_{reduksi} = \text{kohesi tanah tereduksi (kN/m}^2\text{)}$$

$$\varphi_{reduksi} = \text{sudut geser dalam tereduksi (}^\circ\text{)}$$

2.3.2 Klasifikasi kelongsoran

Menurut Karnawati (2005), longsor merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan yang umumnya terjadi pada kemiringan lereng 20°-40° dengan massa yang bergerak berupa tanah residual, endapan koluvial dan batuan vulkanik yang lapuk. Tanah residual dan koluvial umumnya merupakan tanah yang bersifat lepas-lepas dan dapat menyimpan air. Akibatnya kekuatan gesernya relatif lemah, apalagi bila air yang dikandungnya semakin jenuh dan menekan. Peningkatan kejenuhan air dapat terjadi apabila tanah tersebut menumpang di atas lapisan tanah atau batuan yang lebih kompak dan kedap air. Sehingga air yang meresap ke dalam tanah sulit menembus lapisan tanah atau batuan di bawahnya,

dan hanya terakumulasi dalam tanah yang relatif gembur. Kontak antara lapisan tanah atau batuan yang lebih kedap dengan massa tanah di atasnya sering merupakan bidang gelincir gerakan tanah. Bidang gelincir ini dapat pula berupa zona yang merupakan batas perbedaan tingkat pelapukan batuan, bidang diskontinuitas batuan, dan lapisan batuan seperti batu lempung, batu lanau, serpih dan tuf. Massa tanah dan batuan yang tidak bergerak merupakan tanah atau batuan dasar yang bersifat lebih kompak dan lebih masif misalnya batuan breksi andesit dan andesit. Munculnya rembesan-rembesan atau mata air pada lereng umumnya terjadi pada zona kontak antara batuan kedap air dengan massa atau lapisan tanah/batuan yang lolos air. Zona kontak ini sering sebagai bidang gelincir gerakan.

Jenis atau bentuk longsoran tergantung pada jenis material penyusun dari suatu lereng dan juga struktur geologi yang berkembang di daerah tersebut. Karena batuan mempunyai sifat yang berbeda, maka jenis longsorannya pun akan berbeda pula.

Menurut Rai, M.A (1998), longsoran pada kegiatan pertambangan secara umum diklasifikasikan menjadi empat bagian, yaitu longsoran bidang (*plane failure*), longsoran baji (*wedge failure*), longsoran guling (*toppling failure*) dan longsoran busur (*circular failure*).

a. Longsoran bidang

Longsoran bidang merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi disepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa rekahan, sesar maupun bidang perlapisan batuan.

b. Longsoran baji

Sama halnya dengan longsoran bidang, longsoran baji juga diakibatkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang. Perbedaannya adalah adanya dua struktur geologi (dapat sama jenis atau berbeda jenis) yang berkembang dan saling berpotongan.

c. Longsoran guling

Longsoran guling terjadi pada lereng terjal untuk batuan yang keras dengan bidang – bidang lemah tegak atau hampir tegak dan arahnya berlawanan dengan arah kemiringan lereng. Kondisi untuk menggelincirkan atau

mengguling ditentukan oleh sudut geser dalam dan kemiringan sudut bidang gelincir.

d. Longsoran busur

Longsoran busur merupakan longsoran yang paling umum terjadi di alam, terutama pada tanah dan batuan yang telah mengalami pelapukan sehingga hampir menyerupai tanah. Pada batuan keras longsoran busur hanya terjadi jika batuan tersebut sudah mengalami pelapukan dan mempunyai bidang – bidang lemah (rekahan) dengan jarak yang sangat rapat kedudukannya.

2.4 Prinsip dasar pemadatan

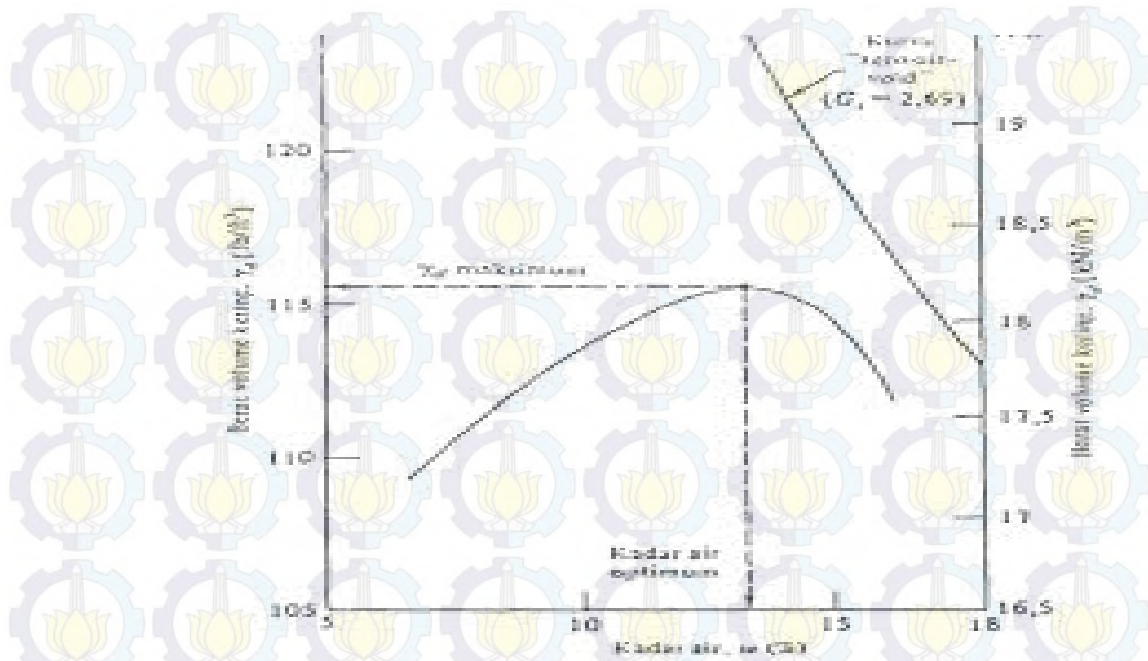
Pemadatan adalah suatu proses densifikasi dimana partikel-partikel tanah diusahakan untuk lebih rapat dengan cara mengurangi pori-pori udara yang terdapat di dalam suatu masa tanah. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menerapkan sejumlah energi pada tanah yang akan dipadatkan.

Tujuan utama dari pemadatan adalah untuk menghasilkan tanah yang memenuhi karakteristik teknik yang diinginkan yaitu :

- meningkatkan kekuatan,
- mengurangi kompressibilitas
- memperkecil permeabilitas.

Suatu kurva hubungan antara kepadatan kering dengan kadar air untuk tanah dengan energi pemadatan tertentu diperlihatkan dalam Gambar 2.3.

Ada dua metode pengujian pemadatan di laboratorium yaitu *Standard Proctor Test* (ASTM Designation D 698 dan AASHTO Designation T-99) dengan energi pemadatan sebesar 12.375 ft.lb/ft³ (593 kJ/m³) dan *Modified Proctor Test* (ASTM Designation D 1577 dan AASHTO Designation T-180) dengan energi pemadatan sebesar 56.250 ft. Lb/ft³ (2694 kJ/m³). Pada Gambar 2.4, menunjukkan kurva hubungan kepadatan kering dengan kadar air



Gambar 2.4 Kurva tipikal hubungan kepadatan kering – kadar air
(Das, B.M, 1985)

2.5 Kekuatan Geser Tanah

Kekuatan geser (*shear strength*) tanah merupakan gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas masa tanah untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam masa tanah tersebut. Kekuatan geser tanah juga dapat didefinisikan adalah untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan.

Pada dasarnya kekuatan geser tanah dapat dipengaruhi sebagai berikut:

- Kohesi (C)
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Tegangan longsor (C_u)
- Sensitivity (S_t)
- Compression Indeks (C_c)
- Koefisien konsolidasi (C_v)

Pada dasarnya, parameter kekuatan geser tanah dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tanah dasar, stabilitas lereng, dan tegangan lateral.

Kriteria keruntuhan Mohr – Coulomb :

a. Keruntuhan dalam suatu bahan dapat terjadi akibat kombinasi kritis dari tegangan normal dan tegangan geser.

b. Hubungan antar kedua tegangan tersebut:

$$\tau_f = f(\sigma)$$

c. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh kohesi (c) dan gesekan antar butir tanah (φ)

$$\tau_f = c + \sigma \tan\varphi$$

dengan:

τ_f = tegangan geser pada saat runtuh

c = kohesi

σ = tegangan normal

φ = sudut geser dalam

2.6 Bahan Stabilisasi Ecocure²¹

Bahan Ecocure²¹ adalah agen stabilisasi dan pemadatan (solidifikasi) tanah, berupa material serbuk halus, terdiri dari komposisi logam garam anorganik (natrium klorida, kalium klorida, magnesium klorida, kalsium fosfat, natrium sulfat, kalsium klorida dan lainnya), bersumber dari air laut, aman untuk makhluk hidup dan ramah lingkungan. Bahan ini merupakan produk untuk memperbaiki tanah yang dikembangkan melalui percobaan dan pengujian dengan tujuan mencapai kepadatan yang kuat dan stabil untuk jangka waktu yang lama. Contoh serbuk Ecocure²¹ seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Ecocure²¹

Ecocure²¹ juga didefinisikan sebagai bahan stabilisasi dan pemadatan (solidifikasi) tanah dan juga sebagai zat additif untuk mempertahankan fungsi tanah terutama kesuburannya. Komposisi mineral anorganik yang terkandung dalam Ecocure²¹ adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi bahan yang terkandung dalam Ecocure²¹

UNSUR	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	Ca ₃ (PO ₄) ₂	Na ₂ SO ₄	C ₈ H ₈ O ₇ H ₂ O	Lain-lain
Berat (%)	15-25	20-35	15-25	5-15	1-5	1-10	1-5	5

(sumber: PT. Ecocure Indonesia)

Apabila partikel tanah dilihat secara mikro, maka pada permukaan tanah tersebut menempel lapisan air yang tipis dengan ketebalan 0,5 µm. Sifat air yang melekat ini berbeda dengan air biasa yang diketahui. 1 cc = 1 gram pada suhu air normal, tetapi air khusus ini adalah 1 cc = 1.4 gram. Air ini dapat bergerak dengan arah horizontal tetapi tidak dapat bergerak arah vertikal. Air inilah yang menghambat semen menjadi keras. Terbentuknya humus adalah dengan melarutnya tanaman-tanaman yang sudah mati ke dalam air yang menempel pada permukaan tanah, dan humus (*humic acid* R COOH) ini menghambat terjadinya kontak antara kation kalsium (Ca⁺⁺) pada semen dan anion (-) dari partikel-partikel tanah.

Bila pencampuran semen yang mengandung sulfur (SO₃) dengan tanah, tidak menggunakan Ecocure²¹, maka ketika bercampur dengan air tanah atau terkena air hujan, akan menghasilkan asam sulfat yang menyebabkan keretakan, dimana reaksi kimianya sebagai berikut : SO₃ + H₂O = H₂SO₄. Hal ini akan berbeda jika melibatkan Ecocure²¹, dimana pada saat terjadi pengikatan semen pada partikel tanah, maka akan mengering karena reaksi dehidrasi, akan terbentuk kristal - kristal yang muncul diantara campuran semen yang mengikat partikel tanah, kristal - kristal tersebut menyerupai jarum - jarum yang secara intensif akan bertambah banyak dan membesar yang nantinya membentuk rongga-rongga mikro yang bisa menyerap air (porositas), sehingga tidak terjadi keretakan.

Beberapa aplikasi penggunaan Ecocure²¹ diantaranya yaitu, untuk meningkatkan kualitas lapisan tanah elastis, penerapannya antara lain pembuatan jalan tanah, landasan pesawat terbang, pembentukan tanah padat di bawah lapisan aspal, pembuatan areal lahan kawasan perumahan, pembentukan tanah padat untuk areal olah raga.

Keunggulan dari penggunaan bahan Ecocure²¹ ini adalah sebagai berikut:

1. Memiliki kekuatan menahan beban hingga 240 ton/ m² pada ketebalan 20 cm.
2. Memiliki tingkat porositas/ daya resap untuk air yang baik.
3. Anti retak.
4. Hemat waktu, sangat mudah dalam pengerjaannya, sekalipun dengan cara manual.
5. Hemat biaya konstruksi dan perawatan, relatif lebih murah dibandingkan dengan cara konvensional.
6. Sangat efektif dan efisien, terutama digunakan di daerah yang sulit batu dan pasir sebagai bahan baku lapisan perkerasan atas dan lapis perkerasan bawah.
7. Keras/ tidak licin dan tidak berdebu.
8. Semakin terkena air, maka konstruksi semakin kokoh.
9. Terbuat dari bahan air laut.
10. Ramah lingkungan, mengikat Ca⁺⁺, menetralkan zat racun.

Untuk pembuatan lapisan tanah yang tidak kedap air (resapan), penerapannya antara lain perbaikan lapisan dasar sungai, pemadatan tanah yang rusak akibat erosi air tanah, menstabilkan lereng, perbaikan lapisan tanah.

Untuk pekerjaan pondasi tanah, penerapannya antara lain menstabilkan areal pondasi tanah yang labil, menstabilkan tanah dibawah lantai kerja pada struktur bangunan, pondasi tanah pekerjaan pembangunan tower, tiang listrik, dan perbaikan tanah akibat gempa bumi.

2.7 Pengujian dengan X-Ray Diffraction

Pengujian *X-Ray Diffraction* bertujuan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dari masing-masing contoh benda uji beserta parameter-

parameternya yang meliputi sistem kristal, konstanta kisi, bidang difraksi. (Septawander, 2007).

Proses analisis menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10^{-10} sampai dengan 5^{-10} nm, berfrekuensi 10¹⁷-10²⁰ Hz dan memiliki energi 10³-10⁶ eV. *X-Ray Diffraction* digunakan untuk analisis komposisi fasa atau senyawa pada material dan juga karakteristik kristal. Prinsip dasar *X-Ray Diffraction* adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antara atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar X, elektron dan neutron. (Ilmi, 2013)

Beberapa informasi yang didapat dari pengujian *X-Ray Diffraction* adalah sebagai berikut:

- a. Posisi puncak difraksi memberikan gambaran tentang parameter kisi, jarak antar bidang, struktur kristal dan orientasi dari sel satuan.
- b. Intensitas relatif puncak difraksi memberikan gambaran tentang posisi atom dalam satuan.
- c. Bentuk puncak difraksi memberikan gambaran tentang ukuran kristalis dan ketidaksempurnaan kisi.

2.8 Permodelan Geoteknik dengan bantuan program GeoStudio

Perkembangan teknologi sekarang ini telah memunculkan struktur yang rumit. Perhitungan dengan menggunakan metode eksak tidak memungkinkan untuk digunakan pada struktur dengan kompleksitas yang rumit. Hal ini dikarenakan penyelesaian eksak hanya dapat diperoleh untuk kasus yang sederhana.

Program GeoStudio adalah sebuah aplikasi untuk permodelan geoteknik dan geo-lingkungan. Software ini melingkupi SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W, TEMP/W, DAN CTRAN/W. Dalam penelitian ini akan digunakan program SLOPE/W. SLOPE/W adalah produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan lereng. Dengan SLOPE/W dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode keseimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan air pori, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Dengan program ini dapat menggunakan elemen tekanan air pori yang terbatas, tegangan statis atau tekanan dinamik pada analisis kestabilan lereng.

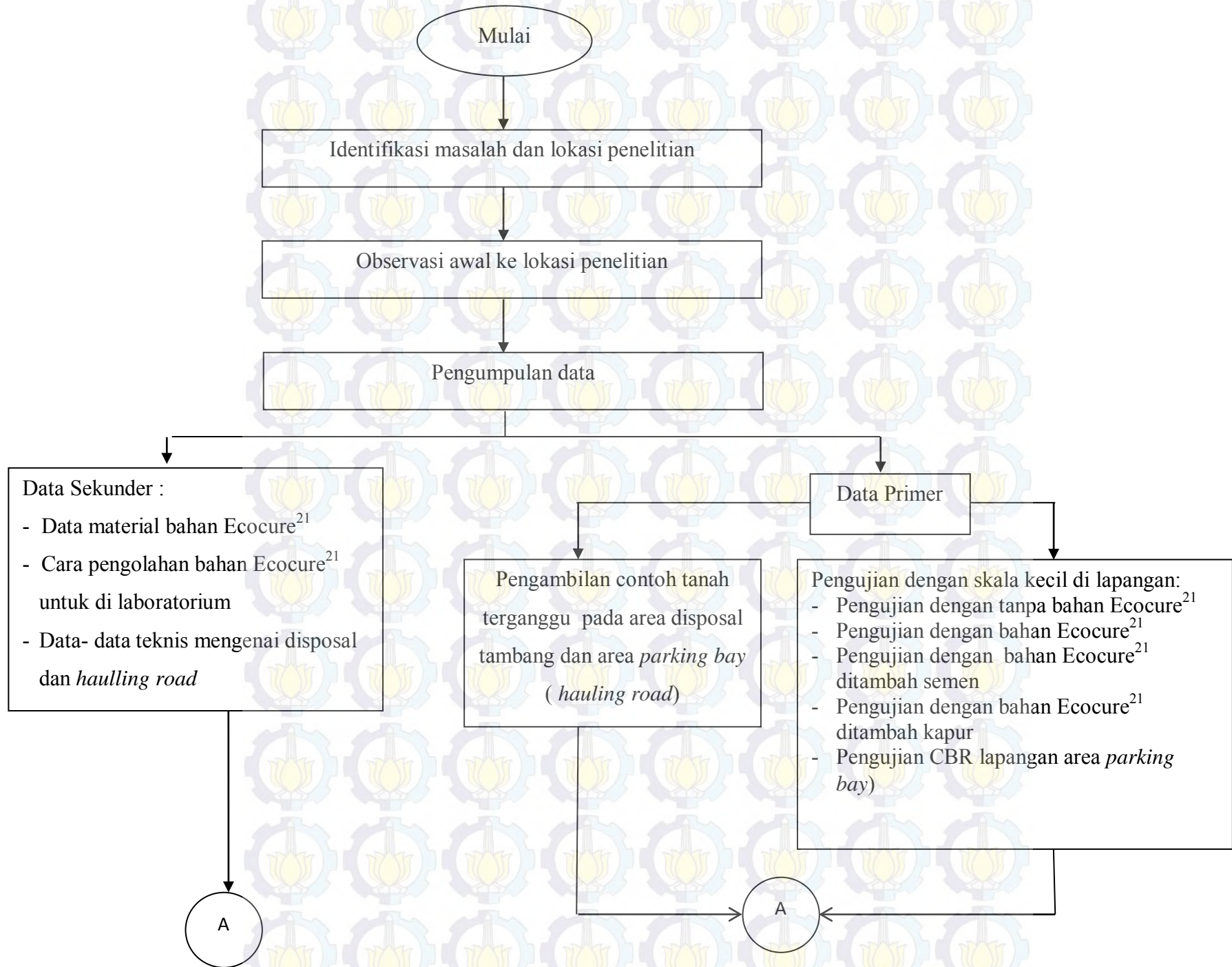


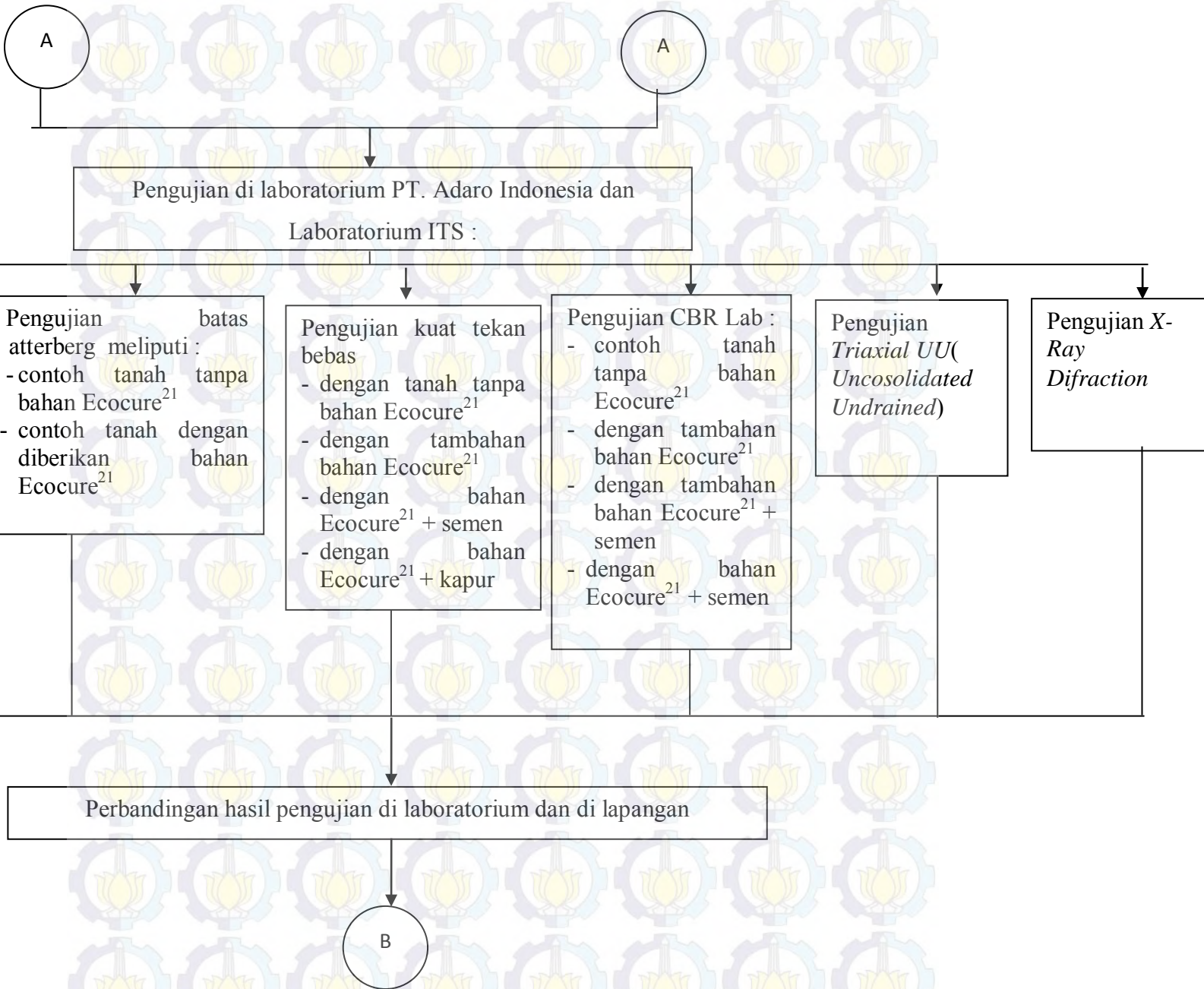


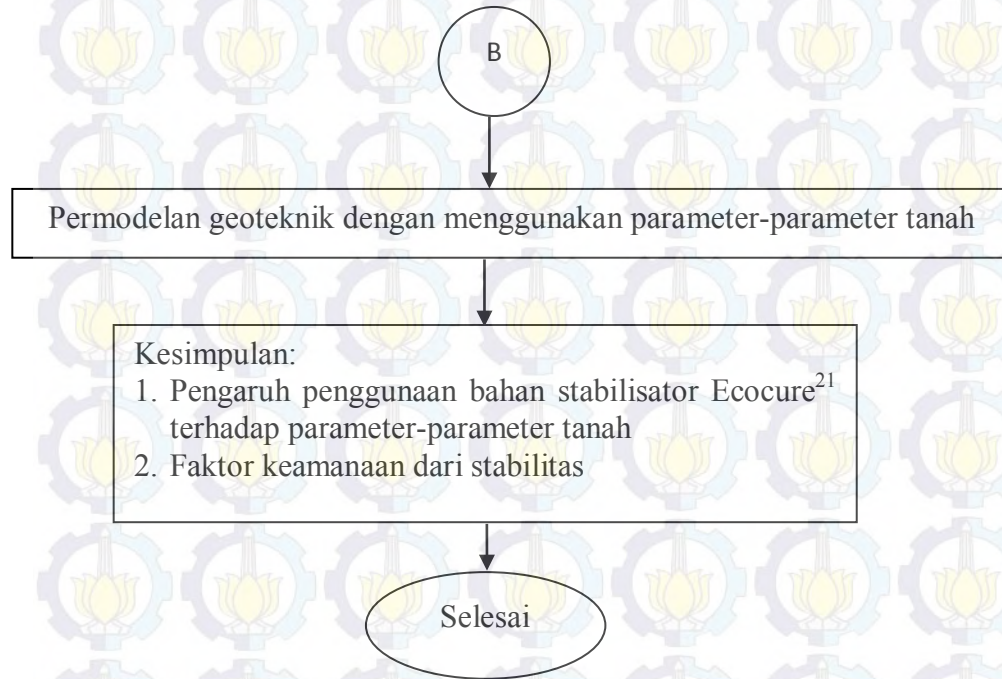
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilaksanakan merupakan penelitian dalam skala kecil di lapangan dan skala laboratorium. Penelitian dalam skala laboratorium akan dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah dan laboratorium PT. Adaro Indonesia dengan menggunakan contoh tanah yang berasal dari area disposal tambang P.T. Adaro Indonesia dan area *hauling road*, dimana tanah tersebut akan dicampur dengan semen ataupun dengan dicampur dengan kapur dan diberikan bahan stabilisasi tanah yang bernama Ecocure²¹. Setelah tahapan pengujian skala laboratorium selesai dilakukan, maka contoh tanah tersebut akan dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction*. Permodelan geoteknik dengan bantuan program GeoStudio akan dilakukan setelah pengujian skala laboratorium selesai dilakukan. Dalam penelitian ini akan dirancang dengan tahapan seperti pada Gambar 3.1.







GAMBAR 3.1 BAGAN ALIR PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1. Persiapan Bahan

Persiapan bahan yang akan digunakan dilakukan dengan pengambilan contoh tanah di area kegiatan pertambangan PT. Adaro Indonesia, di Kabupaten Tabalong Kalimantan Selatan.

3.2 Rincian pengujian di lapangan

Pengujian di lapangan ini dilakukan dengan skala kecil, dimana dibuat petak kecil dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 40 cm, dan tebal 20 cm. Petak kecil tersebut di buat dalam beberapa titik pengujian disposal dan *hauling road*. Untuk area disposal akan dilakukan 3 titik pengamatan, sedangkan untuk area *hauling road* dilakukan pada titik yang mengalami permasalahan. Dalam area pengujian dilakukan penggalian sedalam 20 cm untuk memasukkan campuran dari tanah+ Ecocure²¹, campuran tanah+ Ecocure²¹ + semen maupun campuran tanah + Ecocure²¹ + kapur. Setelah campuran tersebut dimasukkan maka akan dilakukan proses pemadatan dengan standar Proctor. Benda uji tersebut dibiarkan selama 3 hari sebelum dilakukan pengambilan yang bertujuan untuk pengujian selanjutnya di laboratorium.

3.2.1 Pengujian CBR lapangan

Pengujian CBR lapangan adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu lapisan/ bahan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. CBR lapangan digunakan untuk:

- a. Memperoleh nilai CBR asli di lapangan, sesuai dengan kondisi tanah dasar saat itu. Umum digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan dalam kondisi kadar air tinggi atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.
- b. Memeriksa apakah kepadatan yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan.

Pengujian CBR lapangan untuk area *hauling road* yang akan diteliti ini akan dilakukan 2 tahap, yaitu tahap pertama pengujian sebelum penambahan bahan Ecocure²¹. Tahap kedua pengujian CBR lapangan dilakukan setelah 3 hari pemberian bahan Ecocure²¹. Dari pengujian sebelumnya, waktu tunggu 3 hari adalah waktu yang efektif untuk pengujian yang ditambah dengan bahan Ecocure²¹.

3.3 Rincian pengujian di Laboratorium

3.3.1 Analisa Butiran Tanah (Analisa Saringan)

Pengujian contoh tanah dari masing-masing jenis tanah diambil sesuai dengan standar yang digunakan, kemudian dilakukan pengujian analisa butiran dimana tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui prosentase fraksi butiran dari masing-masing jenis tanah.

3.3.2 Pengujian Batas Atterberg

Pengujian batas Atterberg ini bertujuan untuk mengetahui nilai batas cair (LL), batas plastis (PL), dan nilai Indeks Plastisitas (IP)

Contoh tanah yang akan diuji dibuat campuran sebagai berikut :

1. Penentuan nilai LL, PL, dan IP contoh tanah asli
2. Penentuan nilai LL, PL, dan IP contoh tanah asli yang dicampur dengan bahan Ecocure²¹.

3.3.3 Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Test*)

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan untuk mengetahui kekuatan kokoh hancur benda uji sesuai dengan komposisi campuran. Pengujian dilakukan pada contoh tanah area lereng tambang dan area disposal yang dicampur dengan bahan Ecocure²¹, tanah asli + Ecocure²¹ + semen, tanah asli + Ecocure²¹ + kapur, dan dipadatkan dengan pengujian kepadatan tanah. Prosedur pengujian dan pembuatan benda uji dilakukan dengan pemeraman 3 hari

3.3.4 Pengujian CBR laboratorium

Pada uji CBR digunakan cetakan yang lebih besar dari uji pemadatan, yaitu dengan rata-rata volume 2124,1 cm³. Tanah yang dipadatkan dengan jumlah lapisan yang sama. Untuk mendapatkan nilai CBR yang sesuai maka tanah disiapkan dan dipadatkan sebanyak 3 contoh benda uji, dimana masing-masing dipadatkan sebanyak 10x, 25x dan 56x tumbukan per lapisnya. Tanah yang dipadatkan adalah tanah dengan kondisi kadar air optimum

3.3.5 Pengujian Triaxial *Unconsolidated Undrained*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan geser tanah yaitu kohesi dan sudut geser dalam.

3.3.6 Pengujian *X-Ray Diffraction*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dari masing-masing contoh benda uji beserta parameter-parameternya yang meliputi sistem kristal, konstanta kisi dan bidang difraksi.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan contoh tanah disposal yang meliputi tanah asli disposal area paringin sedangkan untuk penelitian di area *hauling road* dilakukan pada area *parking bay* km 54. Area *parking bay* adalah suatu area tepi jalan tambang yang mempunyai fungsi sebagai tempat berhentinya unit sarana tambang seperti truk gandeng pengangkut bahan tambang akibat terjadinya kerusakan mesin mendadak, sehingga lalu lintas tetap lancar. Pengujian ini dilakukan dengan 4 variasi contoh benda uji yang berbeda, yaitu :

- a. Contoh tanah asli
- b. Contoh tanah asli ditambah bahan Ecocure²¹
- c. Contoh tanah asli ditambah bahan Ecocure²¹ dicampur dengan semen
- d. Contoh tanah asli ditambah bahan Ecocure²¹ ditambah dengan kapur

Karakteristik tanah pada pengujian untuk area disposal berdasarkan pengujian analisa ayakan adalah mengandung lanau dan lempung sebanyak 72,7%. Sedangkan karakteristik tanah pada area *parking bay* dominan kerikil dengan persentase kerikil 82,3% dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1 Karakteristik tanah pada area disposal

Kondisi tanah	Kadar Air (%)	Analisa Ayakan		
		Kerikil (%)	pasir (%)	Lanau & lempung (%)
Tanah asli	29,3	16,6	10,7	72,7
Tanah asli + Ecocure ²¹	28,4	-	-	-
Tanah asli + Ecocure ²¹ + semen	26	-	-	-
Tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	24,8	-	-	-

Tabel 4.2 Karakteristik tanah pada area *parking bay*

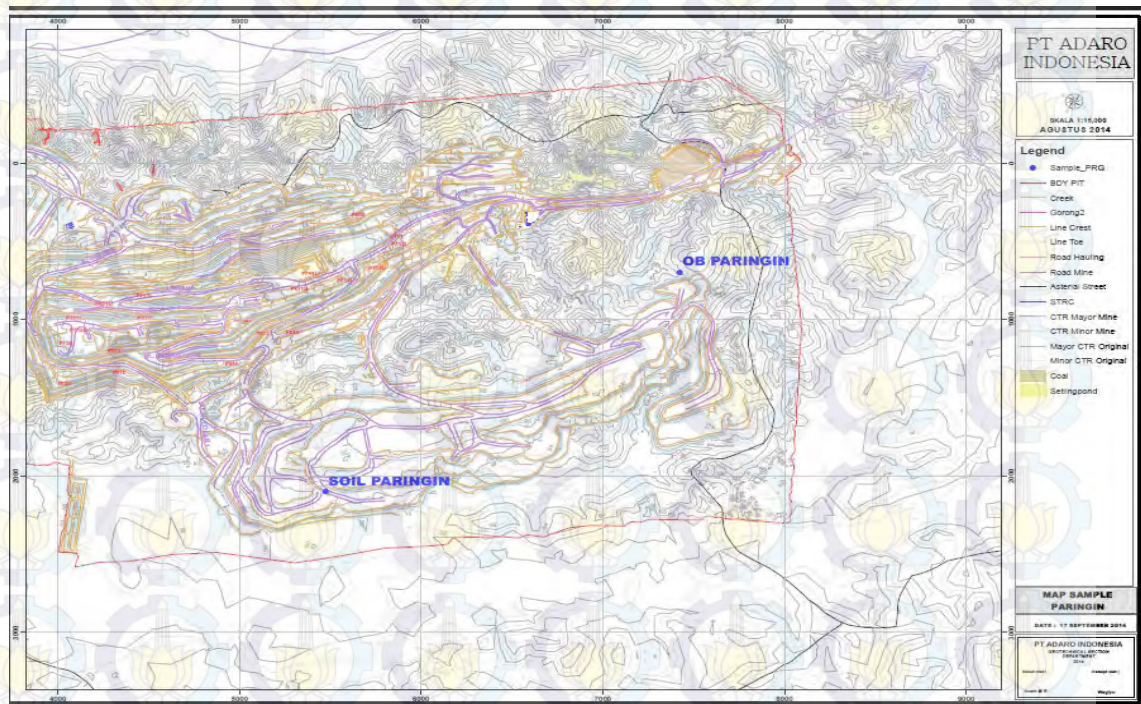
Kondisi tanah	Kadar Air (%)	Analisa Ayakan		
		Kerikil (%)	Pasir (%)	Lanau & lempung (%)
Agregat klas A	8,20	82,3	13,0	4,7
Agregat klas A + Ecocure ²¹	7,80	-	-	-
Agregat klas A + Ecocure ²¹ + kapur	7,10	-	-	-

Pada tabel 4.1 dan tabel 4.2, karakteristik contoh tanah tersebut dapat diketahui dengan penambahan Ecocure²¹ dapat menurunkan nilai kadar air dari contoh benda

uji tersebut. Dari pengujian analisa ayakan pada area disposal diketahui material yang dominan terdapat dalam tanah asli adalah lanau dan lempung sebanyak 72,7%

Pada area *hauling road* (*parking bay*) yang diteliti menggunakan material agregat kelas A. Hal ini dikarenakan kondisi *parking bay* sebelumnya adalah menggunakan agregat kelas A, sehingga dalam penelitian ini mengikuti kondisi area sebelum dilakukan penelitian.

Lokasi penelitian dan pengambilan contoh tanah untuk dilakukan pengujian di laboratorium seperti terlihat pada Gambar 4.1 untuk lokasi disposal, sedangkan untuk area *parking bay* seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Peta lokasi pengambilan contoh tanah area disposal paringin



Gambar 4.2 Lokasi *parking bay* hauling road yang diteliti

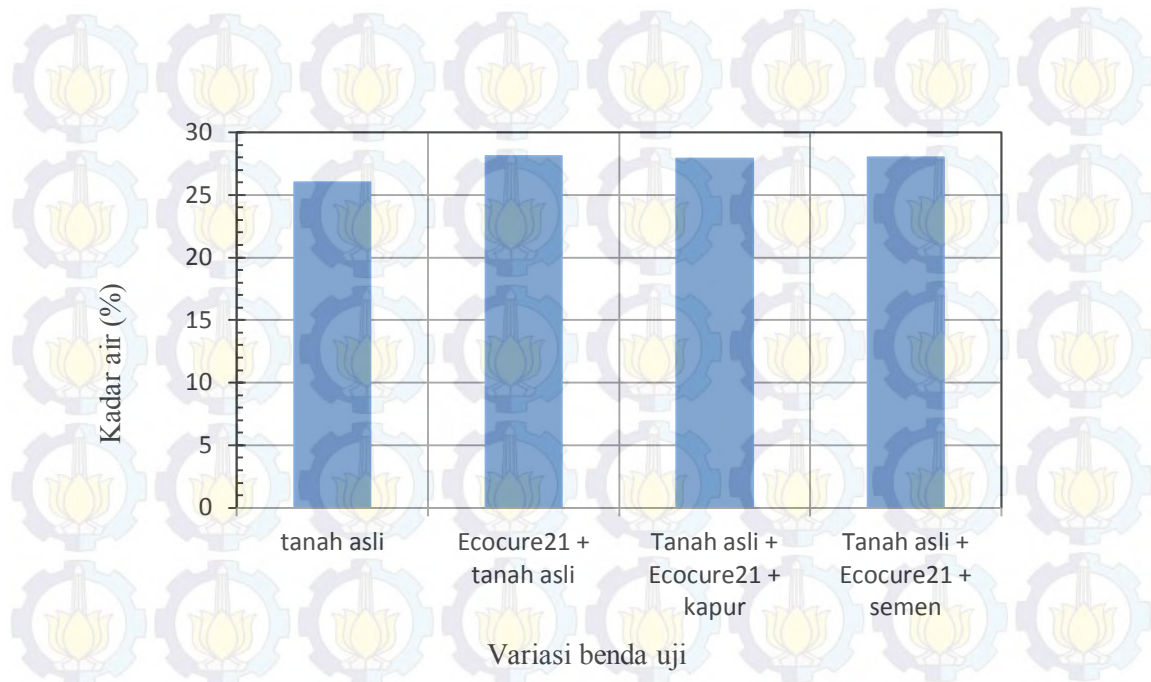
4.2 Komposisi pencampuran Ecocure²¹

Dalam penelitian ini, komposisi Ecocure²¹ yang diberikan dalam contoh benda uji adalah sebanyak 1% dari berat contoh benda uji. Sedangkan penambahan kapur maupun semen terhadap contoh benda uji adalah sebanyak 10% dari berat contoh benda uji tersebut. Penggunaan 1% Ecocure²¹ dan 10 % semen atau kapur adalah komposisi yang ideal untuk mendapatkan hasil pengujian yang diinginkan. Penggunaan 1% ini juga berdasarkan pengujian yang telah dilakukan oleh PT. Ecocure Indonesia.

4.3 Hasil pengujian skala laboratorium

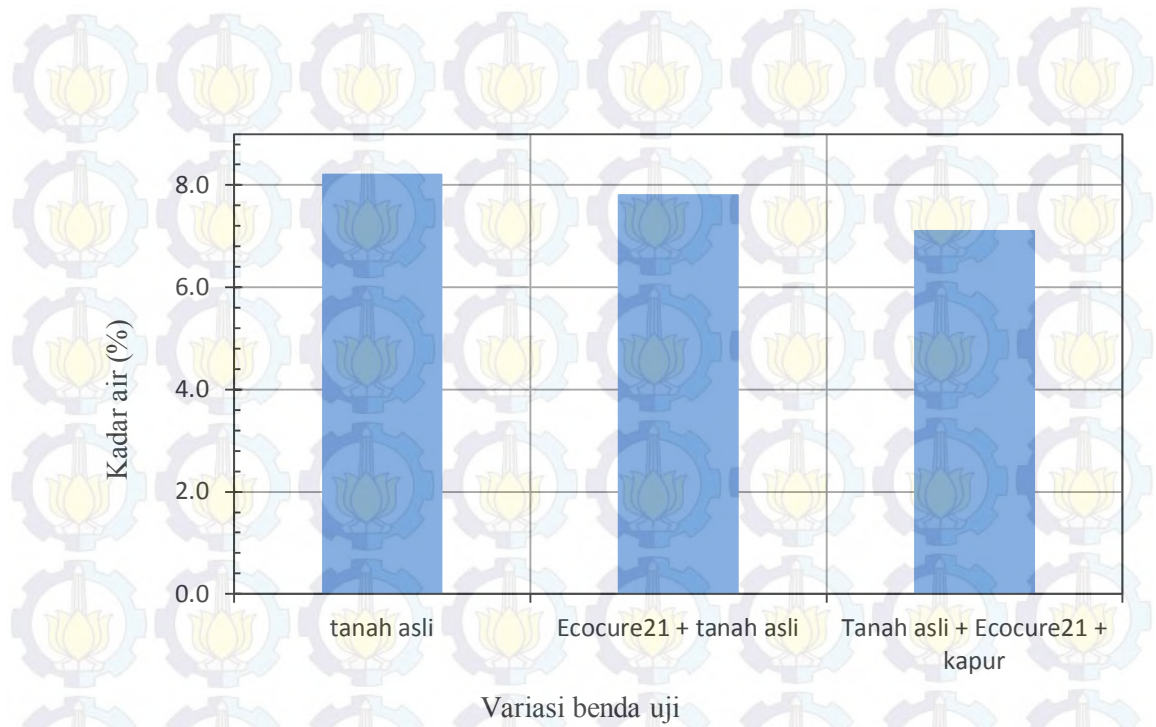
4.3.1 Hasil pengujian kadar air

Hasil pengujian kadar air untuk area disposal dan area *parking bay* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Grafik hubungan nilai kadar air dengan variasi benda uji area disposal

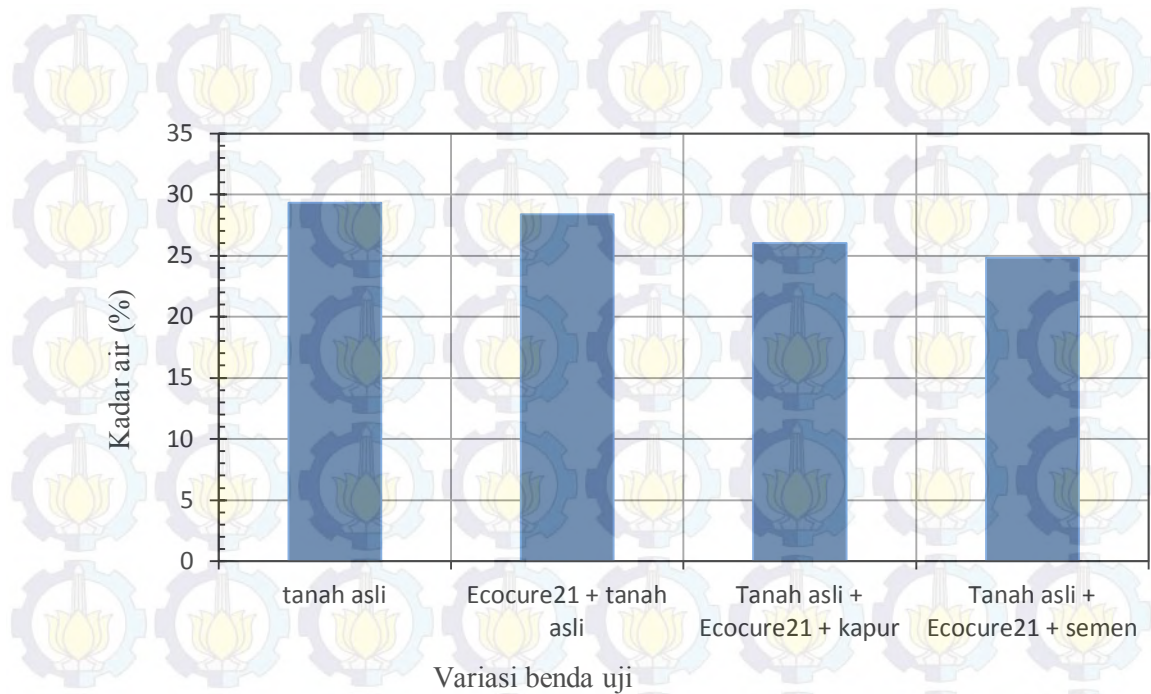
Dari gambar grafik 4.3 dapat diketahui dengan adanya penambahan Ecocure²¹ terjadi kenaikan nilai kadar air dari variasi benda uji tersebut. Dimana seharusnya dengan penambahan Ecocure²¹ dapat menurunkan nilai kadar air dari benda uji. Hal ini disebabkan oleh kesalahan pada saat pencampuran dalam pembuatan benda uji, dimana seharusnya dengan pemberian bahan Ecocure²¹ + kapur dapat menurunkan tingkat kadar air pada benda uji tersebut. Sehingga pengujian kadar air untuk area disposal dilakukan pengujian kembali dengan berdasarkan contoh tanah hasil pengujian CBR laboratorium.



Gambar 4.4 Grafik hubungan nilai kadar air dengan variasi benda uji area *parking bay*

Dari gambar grafik 4.4 diatas dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan bahan Ecocure²¹ terhadap contoh benda uji akan menurunkan nilai kadar air dari kondisi sebelum adanya penambahan Ecocure²¹. Variasi benda uji yang mempunyai kadar air terendah adalah campuran tanah asli + Ecocure²¹ + kapur sebesar 7,1 %.

Hasil pengujian kadar air area disposal yang dilakukan pengujian kembali dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hubungan nilai kadar air dengan variasi benda uji area disposal setelah dilakukan pengujian kembali

Dari Gambar 4.5 untuk nilai kadar air area disposal yang dilakukan pengujian kembali diketahui mengalami penurunan setelah adanya penambahan bahan Ecocure²¹, baik dengan campuran kapur maupun semen. Nilai kadar air terendah yaitu pada benda uji tanah asli + Ecocure²¹ + semen sebesar 24,8%.

4.3.2 Hasil pengujian batas Atterberg

Hasil dari pengujian batas Atterberg untuk area disposal dan area *parking bay* disajikan pada tabel 4.3 dan tabel 4.4

Tabel 4.3 Hasil pengujian batas Atterberg area disposal

tanah asli	Ecocure ²¹ + tanah asli	Tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	Tanah asli + Ecocure ²¹ + semen	
46.40%	40.40%	41.60%	43.20%	Batas cair
25.00%	22.40%	25.40%	25.10%	Batas plastis
21.40%	18%	16.10%	18.10%	Indeks plastisitas
10.20%	10.10%	7.80%	9.30%	Batas susut
CI	CL	CL	CL	Klasifikasi
<i>Medium Plasticity</i>	<i>Medium Plasticity</i>	<i>Medium Plasticity</i>	<i>Medium Plasticity</i>	

Tabel 4.4 Hasil pengujian batas Atterberg area parking bay

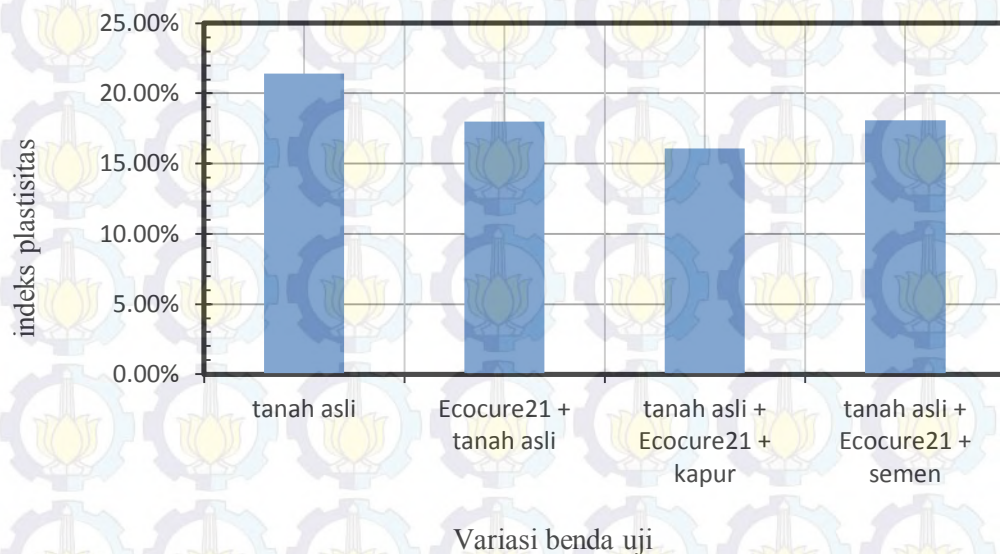
Tanah asli	Ecocure ²¹ + tanah asli	Tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	
24.70%	21.40%	21.70%	Batas cair
18.80%	16.10%	18.10%	Batas plastis
6.00%	5.10%	4.80%	Indeks plastisitas
5.00%	4.90%	4.20%	Batas susut

Dari kedua tabel 4.3 dan 4.4, baik area disposal maupun area *parking bay* dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan bahan Ecocure²¹ pada campuran tanah secara umum dapat memperkecil nilai dari batas cair, batas plastis dan index plastisitas. Pengujian ini dilakukan dengan penambahan Ecocure²¹ sebanyak 1% dari berat tanah yang akan diuji.

Secara umum terlihat bahwa harga indeks plastisitas dari tanah yang diberikan penambahan campuran Ecocure²¹ berkurang dari tanah asli sebelum adanya penambahan bahan Ecocure²¹. Dari kedua tabel diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan Ecocure²¹ yang dicampur dengan kapur mempunyai nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas yang lebih kecil dibandingkan dengan benda uji yang diberi penambahan Ecocure²¹ + semen maupun hanya diberikan penambahan Ecocure²¹ saja.

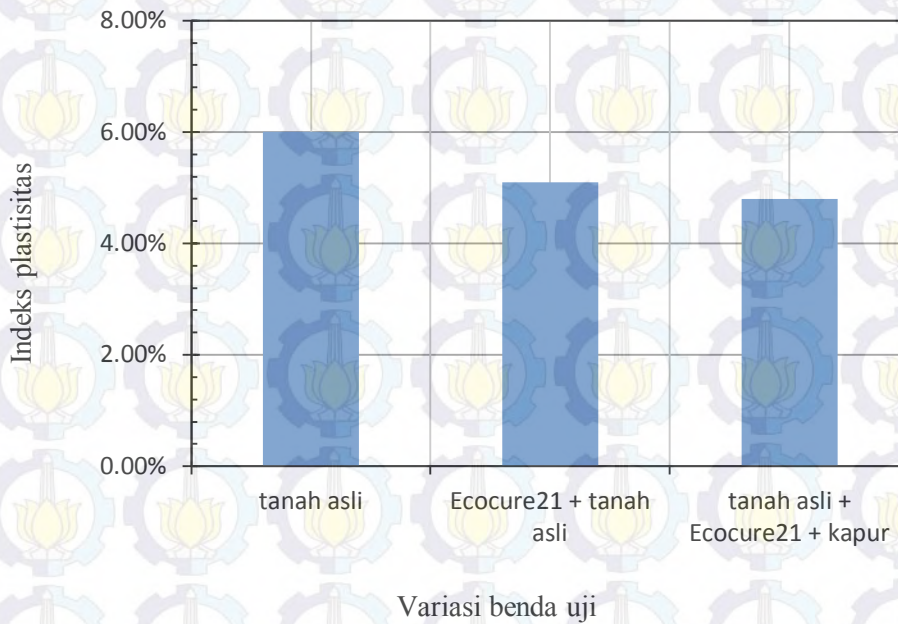
Pada tabel 4.3 batas Atterberg untuk area disposal diketahui bahwa nilai indeks plastisitas pada tanah asli adalah sebesar 21,40%, pada kondisi tanah asli + tambahan Ecocure²¹ menjadi 18%, kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur sebesar 16,10% dan kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen sebesar 18,10%. Sedangkan untuk nilai indeks plastisitas pada area *parking bay* untuk kondisi asli adalah 6%, pada tanah asli + Ecocure²¹ sebesar 5,10% dan untuk tanah asli + Ecocure²¹ + kapur sebesar 4,8%.

Hasil pengujian indeks plastisitas untuk area disposal dan area *parking bay* seperti terlihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.6 Grafik hubungan nilai indeks plastisitas dengan variasi benda uji area disposal

Pada Gambar 4.6 adalah grafik hubungan nilai indeks plastisitas dengan kondisi benda uji area disposal. Dimana dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa penambahan Ecocure²¹ maupun Ecocure²¹ + kapur terhadap contoh tanah dapat berpengaruh terhadap nilai indeks plastisitas. Nilai indeks plastisitas terendah yaitu pada kondisi benda uji tanah asli + Ecocure²¹ + kapur sebesar 16,10%.



Gambar 4.7 Grafik hubungan nilai indeks plastisitas dengan variasi benda uji area *parking bay*

Pada Gambar 4.7 adalah grafik hubungan nilai indeks plastisitas dengan kondisi benda uji area *parking bay*. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai indeks plastisitas terendah benda uji pada kondisi campuran tanah asli + Ecocure²¹ + kapur yaitu sebesar 4,8%

4.3.4 Hasil pengujian kuat tekan bebas (UCS)

Pengujian ini dilakukan pada tanah asli + Ecocure²¹, tanah asli + Ecocure²¹ + kapur dan tanah asli + Ecocure²¹ + semen. Benda uji yang akan diuji adalah contoh tanah yang telah dipadatkan berdasarkan nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum dari uji Proctor standar. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan bebas, benda uji tersebut dilakukan pemeraman selama 3 hari. Hal ini dikarenakan pada waktu 3 hari akan menghasilkan nilai kuat tekan bebas yang optimal. Sedangkan apabila dilakukan pemeraman lebih dari 3 hari, maka benda uji akan mudah pecah pada saat pengujian. Pemeraman 3 hari ini berdasarkan pengujian yang dilakukan

sebelumnya pada umur peram benda uji diatas 3 hari. Hasil pengujian kuat tekan bebas dapat dilihat pada tabel 4.5 untuk area disposal dan tabel 4.6 untuk area *parkingbay*.

Tabel 4.5 Hasil pengujian kuat tekan bebas area disposal

Tanah asli	Tanah asli + Ecocure ²¹	Tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	Tanah asli + Ecocure ²¹ + semen
271.2 kPa	1045.33 kPa	1134.56 kPa	1543.67 kPa

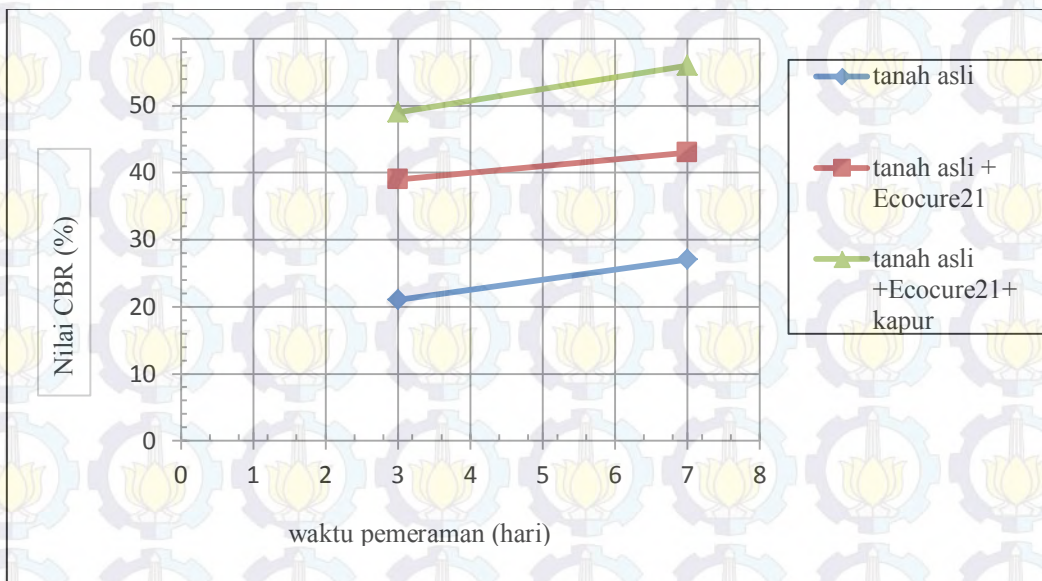
Tabel 4.6 Hasil pengujian kuat tekan bebas pada area *parkingbay*

Tanah asli	Tanah asli + Ecocure ²¹	Tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur
112.432 kPa	447.908 kPa	542.435 kPa

Dari pengujian kuat tekan bebas (UCS) untuk area disposal dan *parking bay* (*hauling road*), diketahui bahwa dengan penambahan bahan Ecocure²¹ dapat meningkatkan nilai dari kuat tekan bebas. Nilai uji tekan bebas yang tertinggi dari area disposal adalah contoh benda uji tanah asli + Ecocure²¹ + semen yaitu sebesar 1543,67 kPa, sedangkan untuk area *parking bay* yaitu contoh benda uji tanah asli + Ecocure²¹ + kapur sebesar 542,435 kPa. Dari kedua tabel tersebut dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan bahan Ecocure²¹ maupun ditambah dengan campuran kapur atau semen akan memberikan dampak kenaikan nilai uji tekan bebas secara signifikan.

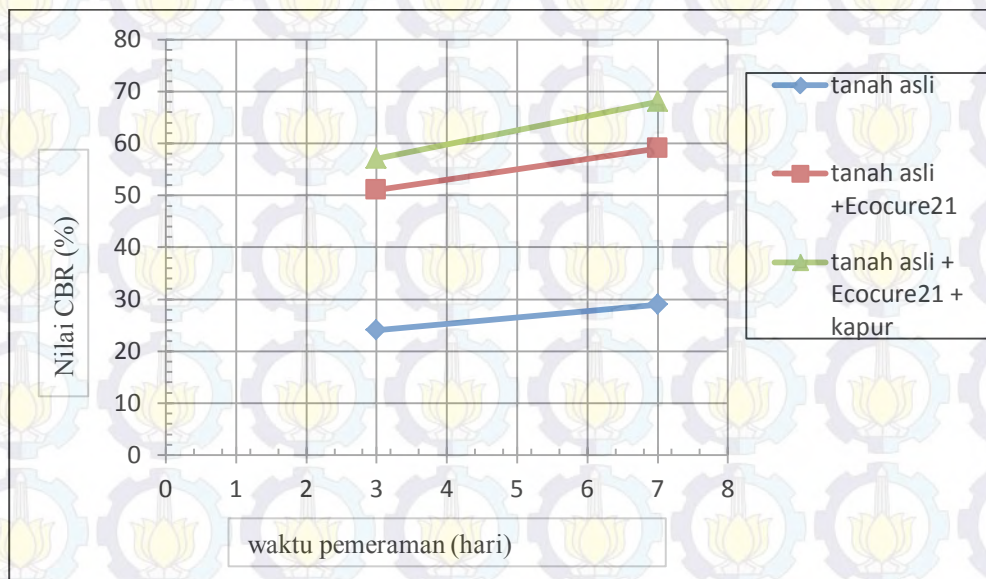
4.3.5 Hasil pengujian CBR laboratorium

Pengujian CBR laboratorium untuk area disposal dan area *parking bay* dilakukan dengan waktu pemeraman benda uji selama 3 hari dan 7 hari sebelum dilakukan pengujian. Hasil pengujian CBR laboratorium disajikan dalam grafik Gambar 4.8 dan 4.9 untuk area disposal, sedangkan untuk area *parking bay* pada Gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.8 Grafik hubungan nilai CBR dengan waktu pemeraman area disposal (kondisi atas benda uji)

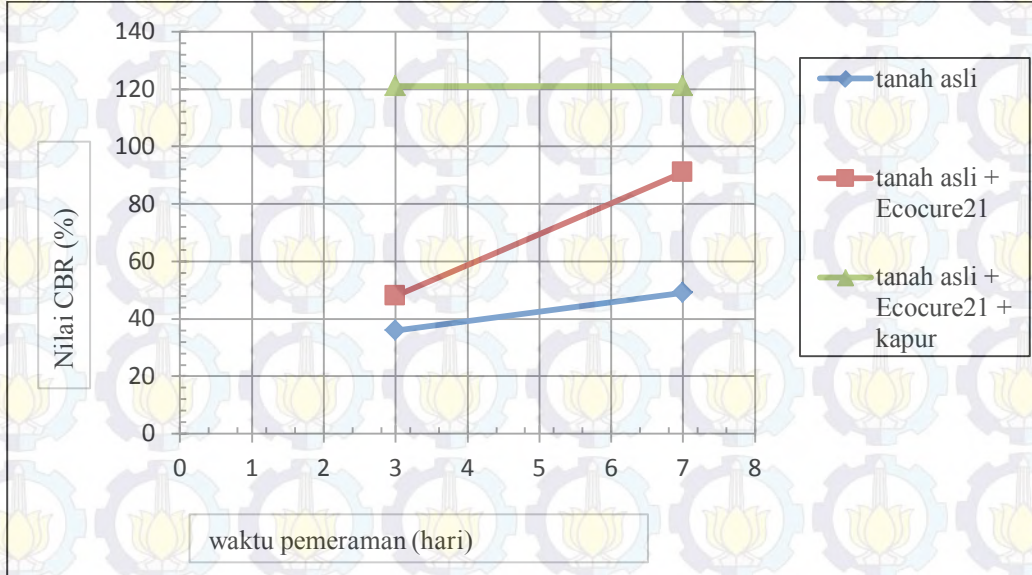
Pada gambar 4.8 nilai CBR area disposal pada kondisi atas benda uji dapat diketahui bahwa nilai CBR pada tanah asli usia peram 3 hari sebesar 21% dan pada benda uji usia peram 7 hari adalah 27%. Untuk benda uji tanah asli + Ecocure²¹ usia peram 3 hari adalah 39% dan untuk usia peram 7 hari adalah 47%. Sedangkan untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ kapur untuk usia peram 3 hari adalah 49% dan untuk usia peram 7 hari adalah sebesar 56%.



Gambar 4.9 Grafik hubungan nilai CBR dengan waktu pemeraman area disposal (kondisi bawah benda uji)

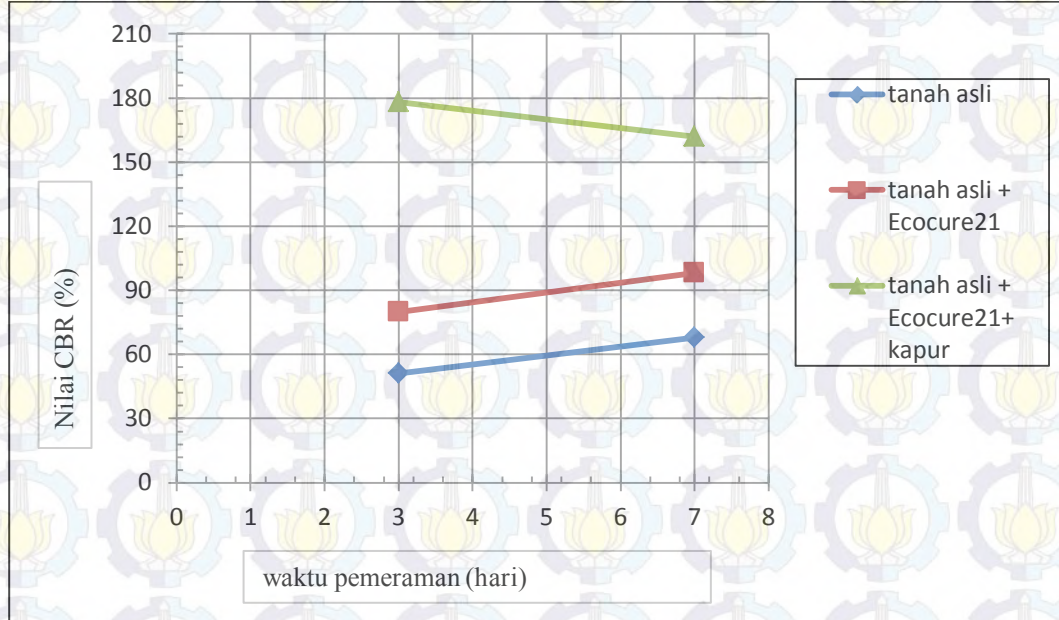
Pada gambar 4.9 pada kondisi bawah benda uji dapat diketahui bahwa nilai CBR pada tanah asli usia peram 3 hari sebesar 24% dan pada benda uji usia peram 7 hari adalah 29%. Untuk benda uji tanah asli + Ecocure²¹ usia peram 3 hari adalah 51% dan untuk usia peram 7 hari adalah 59%. Sedangkan untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur untuk usia peram 3 hari adalah 57% dan untuk usia peram 7 hari adalah sebesar 68%.

Dari Gambar 4.8 dan 4.9 hubungan nilai CBR laboratorium dengan waktu pemeraman dapat diketahui bahwa dengan penambahan bahan Ecocure²¹ terhadap benda uji dapat meningkatkan nilai CBR Laboratorium. Waktu pemeraman yang dilakukan adalah 3 hari dan 7 hari. Sedangkan untuk waktu pemeraman 14 hari tidak dilakukan karena pada saat pengujian benda uji pada waktu pemeraman 14 hari, benda uji sudah mulai kering dan mudah pecah, sehingga nilai CBR pada waktu pemeraman 14 hari semakin menurun secara drastis.



Gambar 4.10 Grafik hubungan nilai CBR dengan waktu pemeraman area *parking bay* (kondisi atas benda uji)

Pada gambar 4.10 nilai CBR area *parking bay* pada kondisi atas benda uji dapat diketahui bahwa nilai CBR pada tanah asli usia peram 3 hari sebesar 36% dan pada benda uji usia peram 7 hari adalah 49%. Untuk benda uji tanah asli + Ecocure²¹ usia peram 3 hari adalah 48% dan untuk usia peram 7 hari adalah 91%. Sedangkan untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur untuk usia peram 3 hari adalah 121% dan untuk usia peram 7 hari adalah sebesar 121%.



Gambar 4.11 Grafik hubungan nilai CBR dengan waktu pemeraman area *parking bay* (kondisi bawah benda uji)

Pada gambar 4.11 nilai CBR area *parking bay* pada kondisi bawah benda uji dapat diketahui bahwa nilai CBR pada tanah asli usia peram 3 hari sebesar 51% dan pada benda uji usia peram 7 hari adalah 68%. Untuk benda uji tanah asli + Ecocure²¹ usia peram 3 hari adalah 80% dan untuk usia peram 7 hari adalah 98%. Sedangkan untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur untuk usia peram 3 hari adalah 178% dan untuk usia peram 7 hari adalah sebesar 162%.

Dari grafik 4.11 diatas diketahui dengan penambahan bahan Ecocure²¹ maupun ditambah dengan kapur akan meningkat nilai CBR laboratorium dari benda uji tersebut. Namun pada saat kondisi bawah pada benda uji campuran Ecocure²¹ dan kapur mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena kondisi bawah benda uji sudah mulai kering sehingga kondisi benda uji mudah pecah.

Dari hasil pengujian CBR laboratorium untuk area disposal maupun area *parking bay* dapat diketahui bahwa dengan penambahan bahan Ecocure²¹ sebanyak 1% dari berat tanah yang diuji dapat meningkatkan nilai CBR laboratorium. Nilai CBR yang tertinggi adalah dengan komposisi pencampuran tanah asli + Ecocure²¹ +

kapur. Hal ini dikarenakan dengan pemberian kapur akan menyebabkan penggumpalan butiran tanah yang menyebabkan meningkatnya daya ikat antar butiran. Peningkatan antar butiran akan meningkatkan kemampuan saling mengikat antar butiran dan rongga pori yang dikelilingi bahan kapur akan lebih keras, sehingga butiran tidak akan mudah hancur. Pengujian yang dilakukan di area parking bay adalah menggunakan agregat kelas A.

4.3.6 Hasil pengujian Triaxial *Uncosolidated Undrained* (UU)

Pengujian ini dilakukan di area disposal. Pengujian ini dilakukan dengan skala kecil dilapangan, dimana tanah area disposal digali dengan ukuran 40cm x 40 cm dan kedalaman sekitar 20 cm. Tanah hasil galian tersebut dilakukan pencampuran dengan bahan Ecocure²¹ baik ditambah kapur, semen, maupun tidak. Hasil pencampuran tersebut dimasukkan kembali dan dipadatkan menggunakan Proctor standar. Benda uji tersebut didiamkan dilapangan selama 3 hari sebelum diambil dan dilakukan pengujian Triaxial *Uncosolidated Undrained* di laboratorium.

Pengujian ini dilakukan dengan 4 variasi benda uji, yaitu contoh tanah asli, contoh tanah asli + Ecocure²¹, contoh tanah asli + Ecocure²¹ + kapur, dan contoh tanah asli + Ecocure²¹ + semen. Hasil pengujian tersebut untuk area disposal dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian Triaxial *Uncosolidated Undrained* area disposal

tanah asli	tanah asli + Ecocure ²¹	tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	tanah asli + Ecocure ²¹ + semen	Satuan
15	20	25	22	kPa
9	12	14	11	derajat

Dari tabel 4.7 pengujian triaxial UU pada area disposal diatas dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan bahan Ecocure²¹ maupun diberikan tambahan kapur atau semen dapat meningkat nilai kohesi (c). Perubahan nilai kohesi (c)

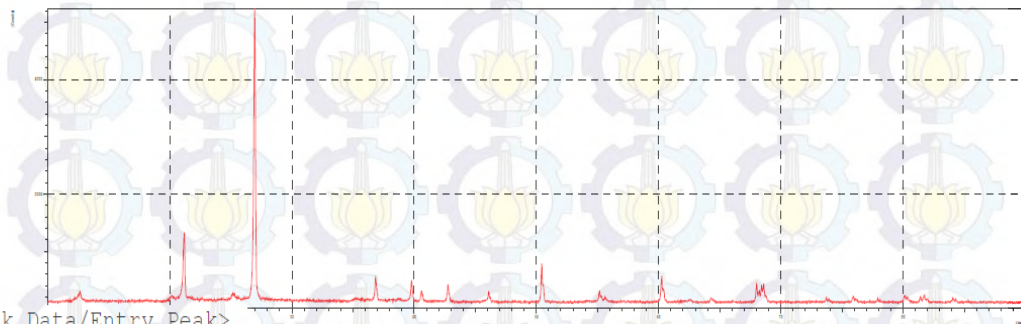
maupun sudut geser dalam (ϕ) dipengaruhi oleh besarnya nilai kadar air dari kondisi benda uji tersebut. Dimana semakin rendah nilai kadar air pada benda uji, maka akan meningkatkan nilai dari kohesi dan sudut geser dalam benda uji tersebut.

4.3.7 Hasil pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

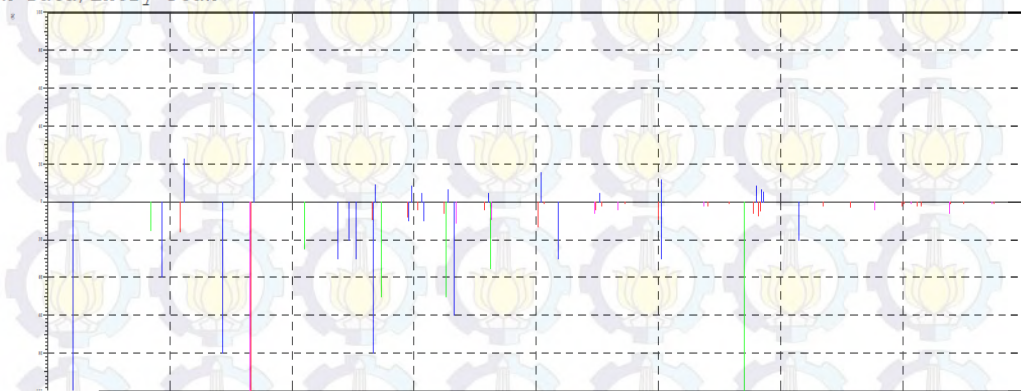
Puncak yang muncul dalam suatu difraktogram dapat dijadikan acuan untuk analisis kualitatif yang bersifat kuantitatif, bersifat kualitatif karena puncak yang terbentuk dari hasil perekaman terhadap sudut Θ , khas/ spesifik untuk mineral tertentu dan bersifat kuantitatif karena memiliki ukuran volume yaitu intensitas yang menunjukkan kuantitas terbentuknya mineral tertentu dalam suatu contoh benda uji (Septawendar, 2007).

Analisa *X-Ray Diffraction* pada penelitian ini digunakan untuk mengkarakterisasi jenis mineral yang terdapat pada contoh tanah yang diuji dalam kondisi asli, dengan campuran Ecocure²¹ dan dengan campuran bahan kapur maupun semen.

<Raw Data>



<Peak Data/Entry Peak>



<Cond. Data>

Gambar 4.12 *Peak* data hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli

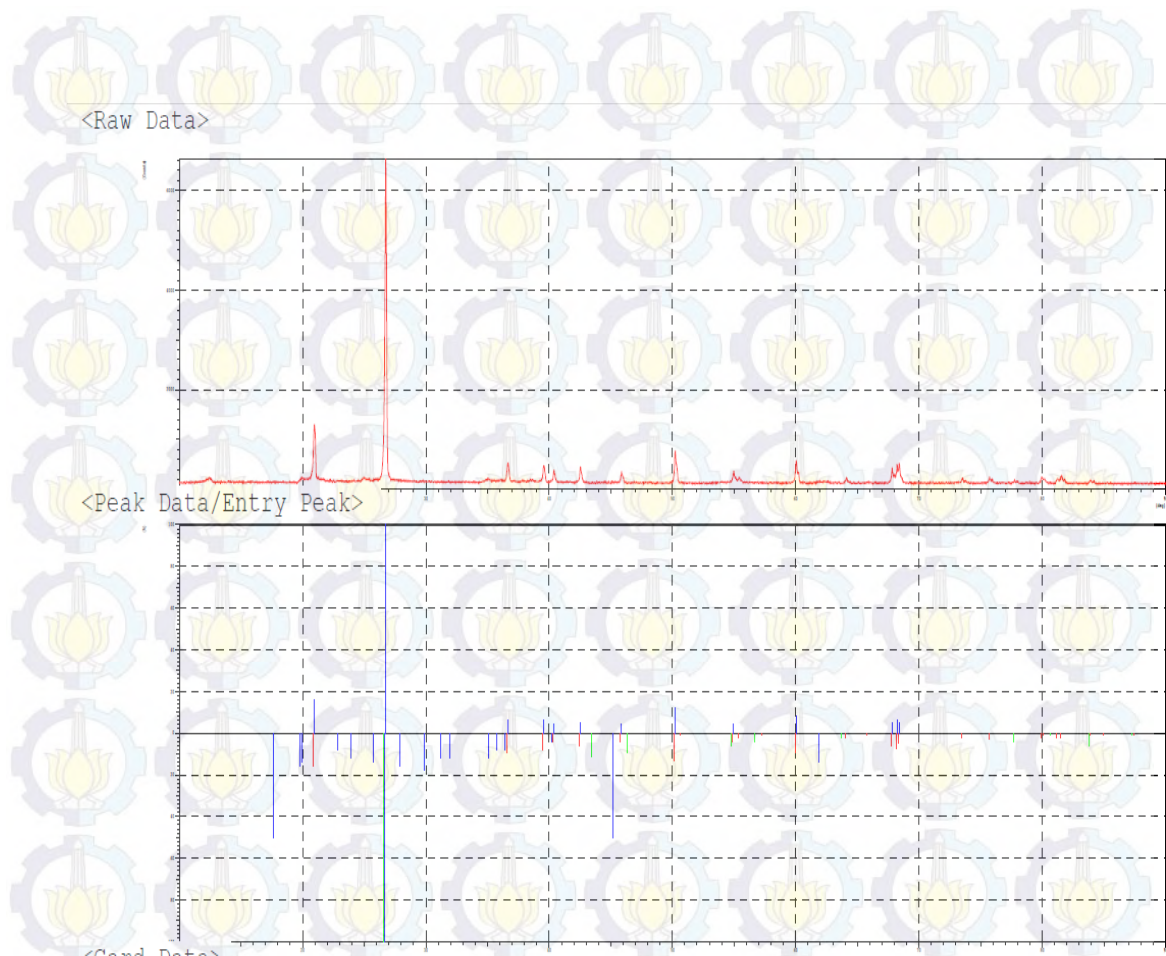
***** SEARCH / MATCH RESULT *****

Group Name : KENSA
 Data Name : IRWANDY_MUZAIDI_02
 File Name : IRWANDY_MUZAIDI_02.PKR
 Sample Name : standard
 Comment : tanah original
 <Entry Card>

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx	WT%	S.G.		
1	13-0373	Al2O3 Aluminum Oxide	0.141	0.500 (3/ 6)	0.486	0.813	0.197
2	46-1045	SiO2 Silicon Oxide (Quartz, syn)	1.000	0.429 (12/42)	0.504	0.868	0.187
3	43-0662	Mg3Si2O5(OH)4 Magnesium Silicate Hydroxide (Clinochryso	0.200	0.385 (5/13)	0.548	0.490	0.103
4	26-1079	C Carbon (Graphite-3\ITR\RG, syn [N]	0.939	0.300 (3/16)	0.384	0.893	0.103

Gambar 4.13 *Search Result* komposisi mineral yang terdapat dalam contoh tanah asli

Dari gambar 4.12 dan 4.13 dapat diketahui bahwa pada hasil pengujian contoh tanah asli diketahui mineral yang terkandung dalam benda uji tersebut adalah Al₂O₃ (Aluminium Oxide), SiO₂ (Silicon Oxide), Mg₃Si₂O₅ (OH)₄ (Magnesium Silicate Hydroxide), dan C (Carbon) dan kristalinitasnya sebesar 71,0264%.



Gambar 4.14 *Peak data* hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure²¹

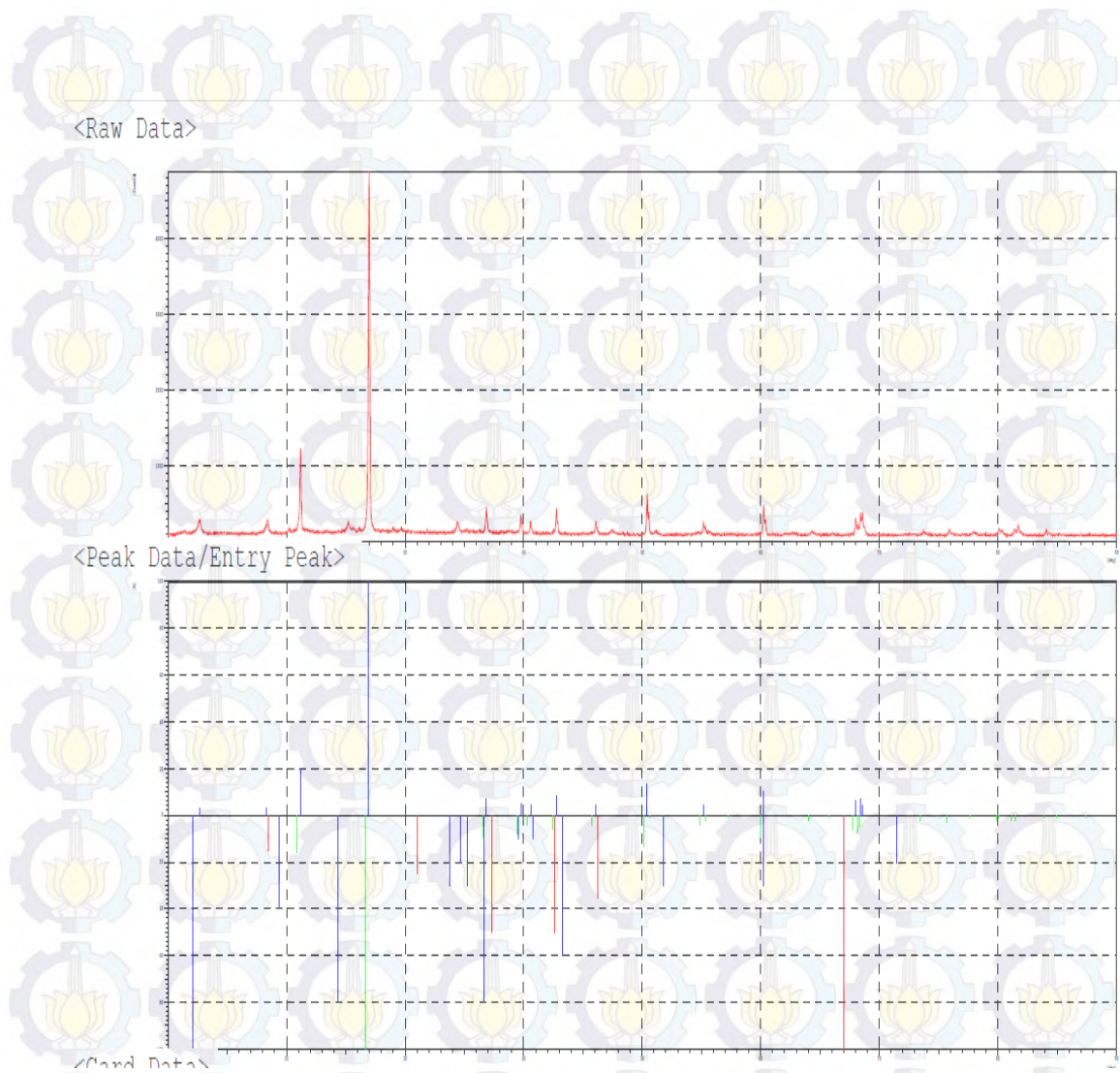
***** SEARCH / MATCH RESULT *****

Group Name : KENSA
 Data Name : IRWANDY_MUZAIDI
 File Name : IRWANDY_MUZAIDI.PKR
 Sample Name : standard
 Comment : tanah original+ecocure
 <Entry Card>

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)		Dx	WT%	S.G.	
1	46-1045	SiO ₂	0.948	0.464	(13/42)	0.829	0.926 0.356
		Silicon Oxide (Quartz, syn)		----	100.00	-----	
2	26-1079	C	0.939	0.300	(3/16)	0.495	0.893 0.133
		Carbon (Graphite-3\ITR\RG, syn [N])		----	-----	-----	
3	26-0911	(K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	0.982	0.176	(3/18)	0.708	0.967 0.121
		Potassium Aluminum Silicate Hydroxide (Il		----	-----	-----	

Gambar 4.15 *Search result* hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure²¹

Dari kedua gambar diatas dapat diketahui bahwa pada hasil pengujian contoh tanah asli + Ecocure²¹ diketahui mineral yang terkandung dalam benda uji tersebut adalah SiO₂ (Silicon Oxide), C (Carbon), dan (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ (Potassium Aluminium Silicate Hydroxide) dan kristanilitas sebesar 78,8926%.



Gambar 4.16 *Peak data* hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure²¹ + kapur

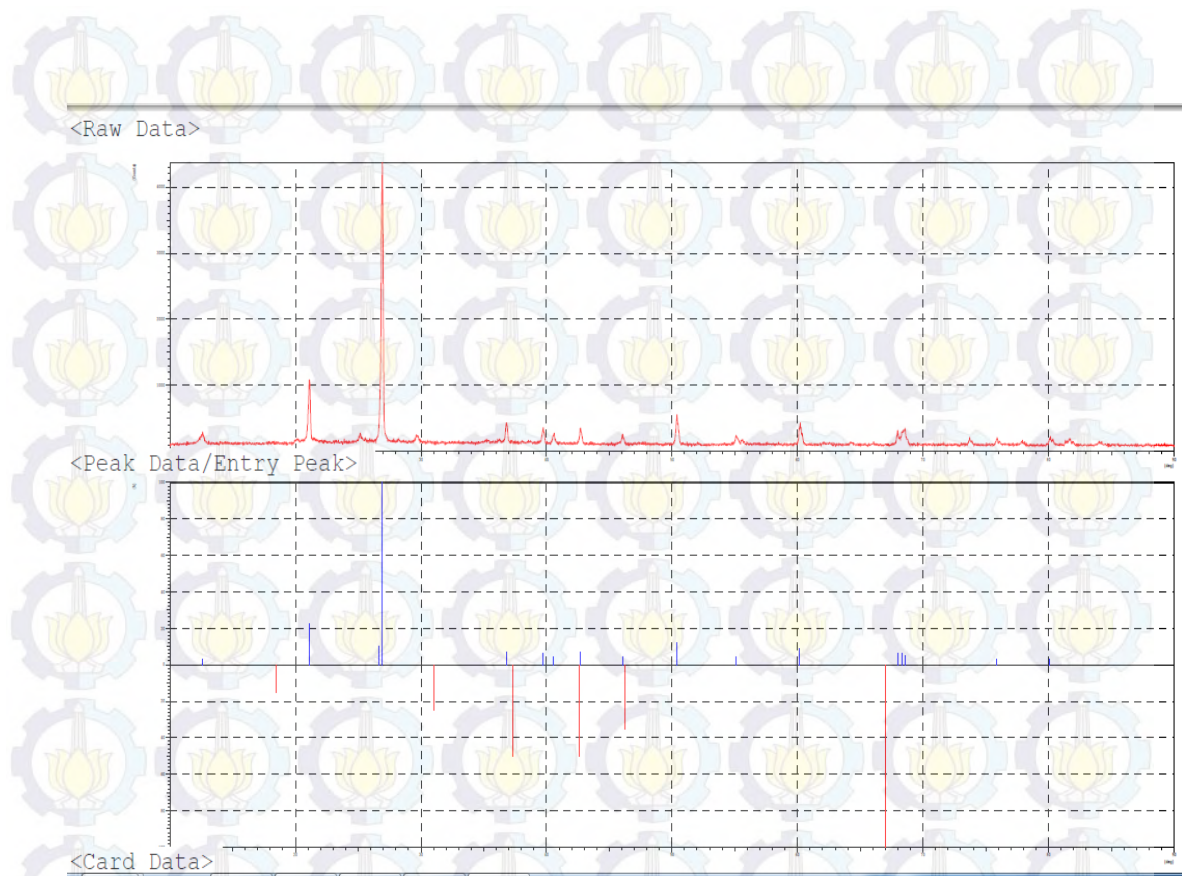
***** SEARCH / MATCH RESULT *****

Group Name : KENSA
 Data Name : IRWANDY_MUZAIDI_03
 File Name : IRWANDY_MUZAIDI_03.PKR
 Sample Name : standard
 Comment : tanah original+ecocure+kapur
 <Entry Card>

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx	WT%	S.G.		
1	13-0373	Al ₂ O ₃ Aluminum Oxide	0.147	0.667 (4/ 6)	0.546	0.875	0.318
2	46-1045	SiO ₂ Silicon Oxide (Quartz, syn)	0.965	0.429 (12/42)	0.504	0.828	0.179
3	43-0662	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ Magnesium Silicate Hydroxide (Clinochryso	0.179	0.385 (5/13)	0.547	0.544	0.114

Gambar 4.17 Search result hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure²¹ + kapur

Dari kedua gambar diatas dapat diketahui bahwa pada hasil pengujian contoh tanah asli + Ecocure²¹ diketahui mineral yang terkandung dalam benda uji tersebut adalah Al₂O₃ (Aluminium Oxide), SiO₂ (Silicon Oxide), dan Mg₃Si₂O₅(OH)₄ (Magnesium Silicate Hydroxide) dan kristalinitasnya sebesar 72,9381 %.



Gambar 4.18 *Peak data* hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure²¹ + semen

***** SEARCH / MATCH RESULT *****

Group Name : KENSA
 Data Name : IRWANDY_MUZAIDI_04
 File Name : IRWANDY_MUZAIDI_04.PKR
 Sample Name : standard
 Comment : tanah original+ecocure+semen
 <Entry Card>

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R	
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx	WT%	S.G.			
1	13-0373	Al2O3	0.133	0.500	(3/ 6)	0.463	0.929 0.215	
		Aluminum Oxide	-----					

Gambar 4.19 Search result hasil difraksi sinar X untuk contoh tanah asli + Ecocure²¹ + semen

Dari gambar 4.18 dan 4.19 dapat diketahui bahwa pada hasil pengujian contoh tanah asli + Ecocure²¹ + semen diketahui mineral yang terkandung dalam benda uji tersebut adalah Al₂O₃ (Aluminium Oxide) dengan kristalinitas sebesar 62,9166%.

Tabel 4.8 Hasil pengujian XRD terhadap 4 variasi campuran tanah

Kondisi tanah	Tingkat kristalisasi	Mineral yang terkandung
Tanah asli (tanpa Ecocure ²¹)	71,0264 %	- Al ₂ O ₃ - SiO ₂ - Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ - C (Carbon)
Tanah asli + Ecocure ²¹	78,8926 %	- SiO ₂ - (K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂
Tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	72,9381 %	- Al ₂ O ₃ - SiO ₂ - Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Tanah asli + Ecocure ²¹ + semen	62,9166 %	- Al ₂ O ₃

Hasil lengkap pengujian *X-Ray Diffraction* untuk area disposal dapat dilihat pada lampiran 3 mengenai pengujian *X-Ray Diffraction*.

Dari tabel 4.8 tersebut dapat diketahui tingkat kristalisasi terendah adalah pada tanah asli + Ecocure²¹ + kapur yaitu 62,9166%. Secara umum pada pengujian terhadap 4 variasi tanah tersebut mineral yang tetap terkandung didalam keempat contoh tanah tersebut adalah *silicon dioxide* (SiO₂) dan Al₂O₃ (*Aluminium Oxide*). Tetapi pada pengujian tanah asli + Ecocure²¹ + semen, mineral yang terkandung hanya terdapat Al₂O₃. Dengan adanya penambahan Ecocure²¹ ditambah semen maupun kapur, menurunkan tingkat kristalisasi mineral dari contoh tanah tersebut.

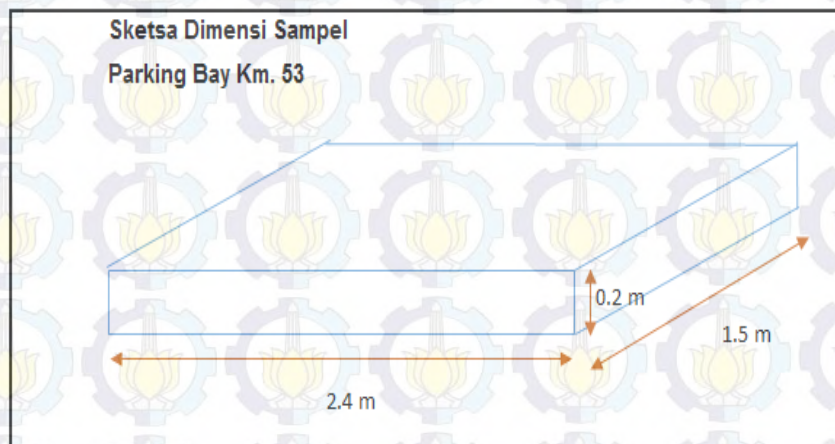
Aluminium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al₂O₃. Umumnya Al₂O₃ terdapat dalam bentuk kristalin yang disebut corundum atau aluminium oksida. Al₂O₃ dipakai sebagai bahan abrasif dan sebagai komponen dalam alat pemotong, karena sifat kekerasannya.

Dari hasil pengujian *X-Ray Diffraction* untuk 4 variasi benda uji tersebut diketahui bahwa pada kondisi benda uji tanah asli + Ecocure²¹ mineral lempung yang dominan terdapat dalam benda uji tersebut adalah mineral lempung illite dengan rumus kimia $(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$. Sedangkan pada benda uji untuk tanah asli maupun tanah asli + Ecocure²¹ + kapur, mineral yang dominan terdapat adalah mineral *clinocrysotile* dengan rumus kimia $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$.

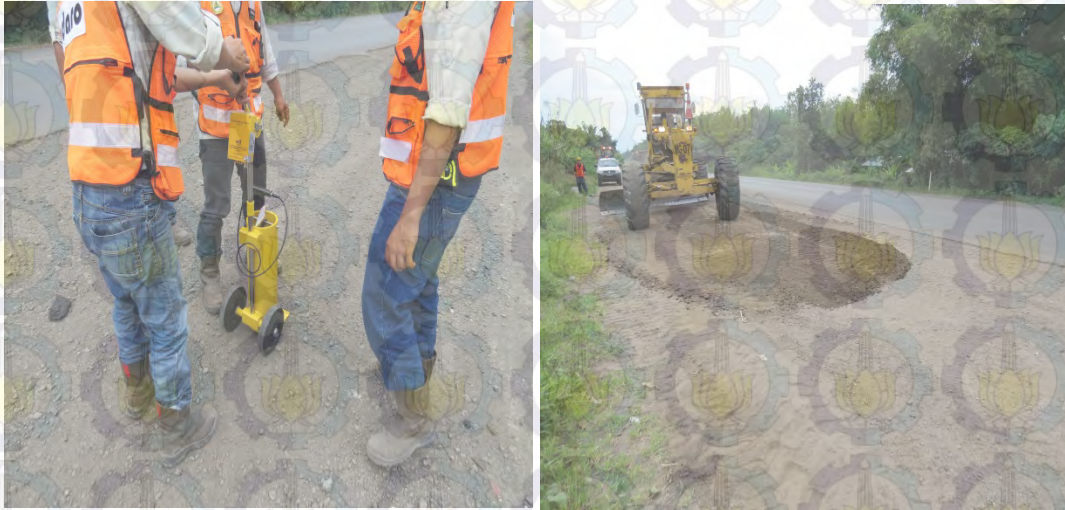
4.4 Hasil pengujian skala lapangan

4.4.1 Hasil pengujian CBR Lapangan

Pengujian CBR lapangan dilaksanakan di area *parking bay* sedangkan untuk area disposal tidak dilakukan. Area *parking bay* yang diuji mempunyai panjang 2,4 meter, lebar 1,5 meter dan kedalaman untuk pencampuran agregat kelas A dan bahan Ecocure²¹ maupun ditambah kapur adalah 0,2 meter dari permukaan tanah seperti pada Gambar 4.20



Gambar 4.20 Sketsa area *parking bay* yang dilakukan pengujian



Gambar 4.21 pengujian CBR dengan *Clegg Hammer* untuk kondisi sebelum penambahan Ecocure²¹ pada area *parking bay*

Dari hasil pengujian CBR lapangan didapatkan nilai CBR lapangan kondisi tanah asli yaitu 56,46 %. Setelah dilakukan pengujian CBR lapangan kondisi tanah asli, area *parking bay* dibongkar untuk dilakukan pengujian dengan penambahan bahan Ecocure²¹ maupun ditambah kapur. Setelah 7 hari waktu pemeraman dilakukan pengujian CBR lapangan dititik tersebut. Dari hasil pengujian tersebut didapat nilai CBR lapangan untuk kondisi agregat (kondisi asli) + bahan Ecocure²¹ sebesar 22,68% dan untuk agregat (kondisi asli) + bahan Ecocure²¹ + kapur sebesar 33,27%.

Pada pengujian ini terjadi penurunan nilai CBR lapangan. Hal ini disebabkan karena pada saat pengujian CBR lapangan untuk pencampuran bahan Ecocure²¹ adalah kondisi area *parking bay* yang dibongkar kembali, sehingga untuk nilai CBR nya tidak akan lebih besar dari nilai CBR lapangan kondisi asli yaitu sebelum terjadi bongkaran.

4.5 Permodelan geoteknik dengan menggunakan program GeoStudio

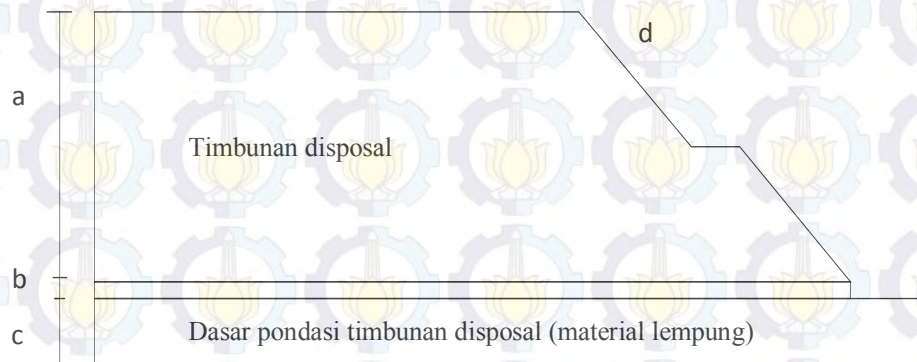
Permodelan geoteknik yang dilakukan adalah pada area disposal. Dimana area disposal tersebut mempunyai tinggi timbunan sebesar 16 meter dan kedalaman tanah

dasar 5 meter. Permodelan ini untuk melihat seberapa besar faktor keamanan lereng disposal apabila diberikan penambahan bahan Ecocure²¹ terhadap tanah aslinya. Analisis kestabilan lereng dengan SLOPE/W dengan menggunakan parameter data tanah yaitu sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), dan berat volume tanah (γ) pada masing-masing pencampuran Ecocure²¹. Nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ) yang digunakan dalam permodelan geoteknik ini adalah berdasarkan hasil pengujian *Triaxial Unconsolidated Undrained*. Sedangkan untuk parameter berat volume tanah (γ) berdasarkan tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Nilai berat volume tanah (γ) untuk area disposal

γ	tanah asli	tanah asli + Ecocure ²¹	tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	tanah asli + Ecocure ²¹ + semen	satuan
	15,7	16,2	16,9	17,4	kN/m ³

Dalam permodelan ini juga menganalisis tentang seberapa besar pengaruh tekanan air pori dari kestabilan lereng disposal yang diuji. Analisis untuk mengetahui pengaruh tekanan air pori ini menggunakan program SEEP/W yang terdapat dalam program GeoStudio.



Gambar 4.22 Sketsa permodelan lereng disposal

Dari gambar 4.22 adalah sketsa permodelan geoteknik yang akan dilakukan pada area disposal, dimana :

a = tinggi timbunan disposal yaitu 16 meter

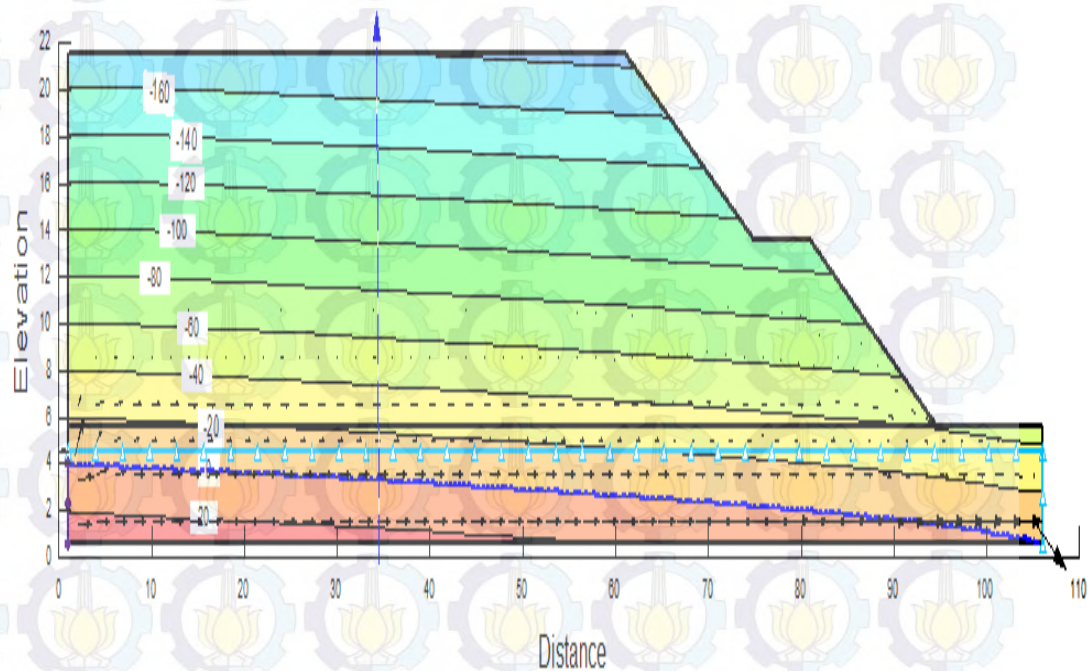
b = kedalaman pencampuran tanah asli dengan bahan Ecocure²¹ yaitu 0,20 meter

c = lapisan tanah dasar yang menjadi pondasi timbunan disposal

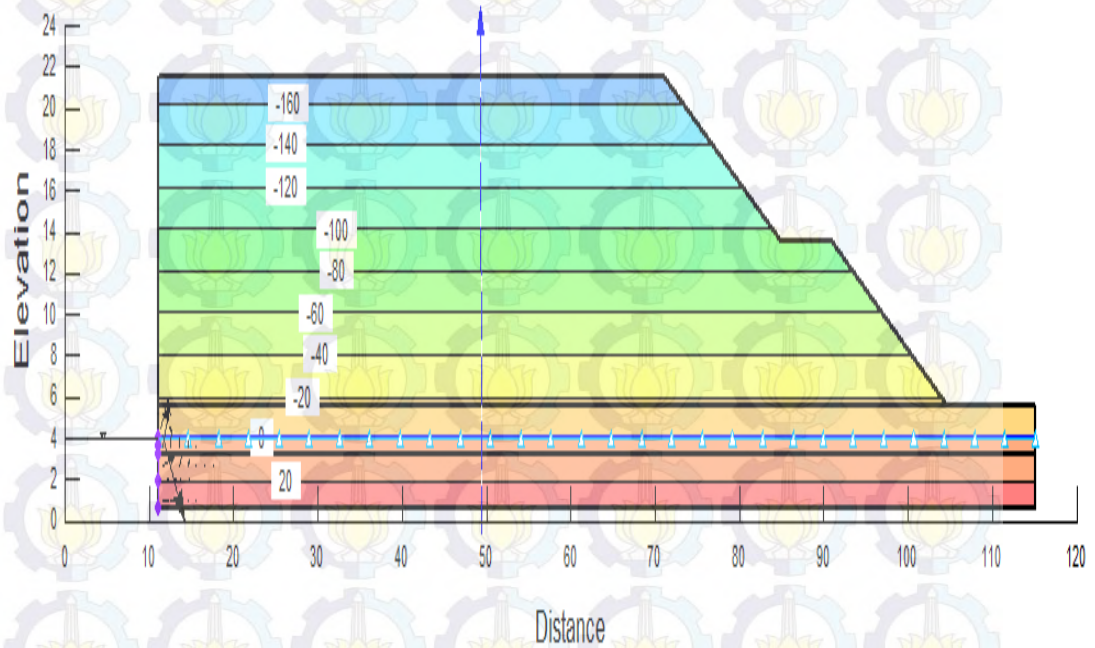
d = sudut kemiringan disposal yaitu 30°

Timbunan disposal adalah material – material buangan yang mempunyai kadar rendah dan material bukan bijih yang berasal dari pembongkaran maupun peledakan suatu area tambang terbuka.

Sebelum dilakukan permodelan geoteknik dengan program SLOPE/W, juga diperhitungkan mengenai adanya pengaruh tegangan air pori pada permodelan lereng disposal tersebut. Sehingga untuk dapat mengetahui besaran tegangan air pori yang terjadi pada lereng tersebut dapat menggunakan bantuan program SEEP/W. Pengaruh tegangan air pori tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22 untuk kondisi tanah asli, sedangkan Gambar 4.23 untuk kondisi tanah asli ditambah Ecocure²¹.



Gambar 4.23 Tekanan air pori pada kondisi tanah asli disposal

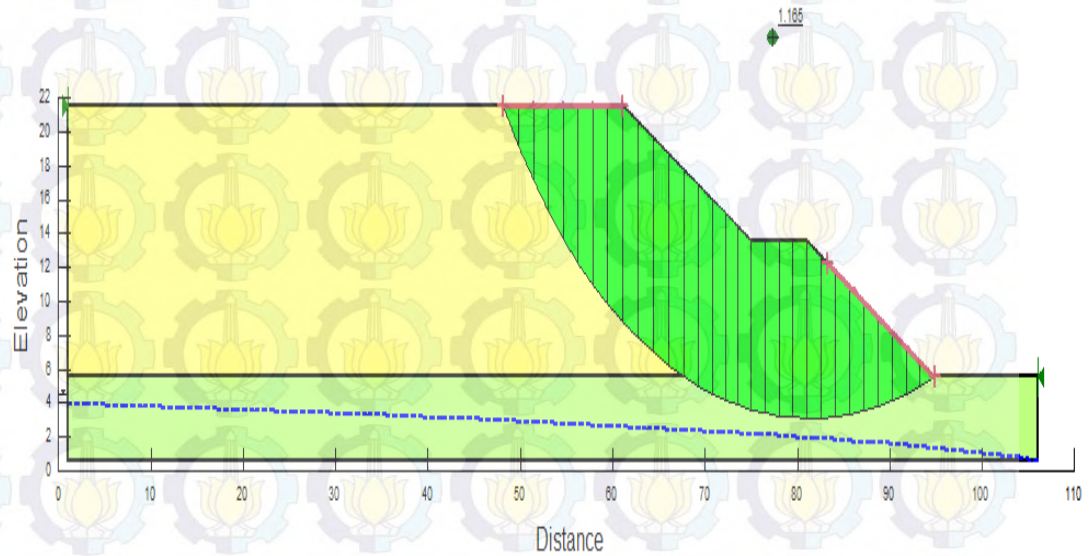


Gambar 4.24 Tekanan air pori pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ disposal

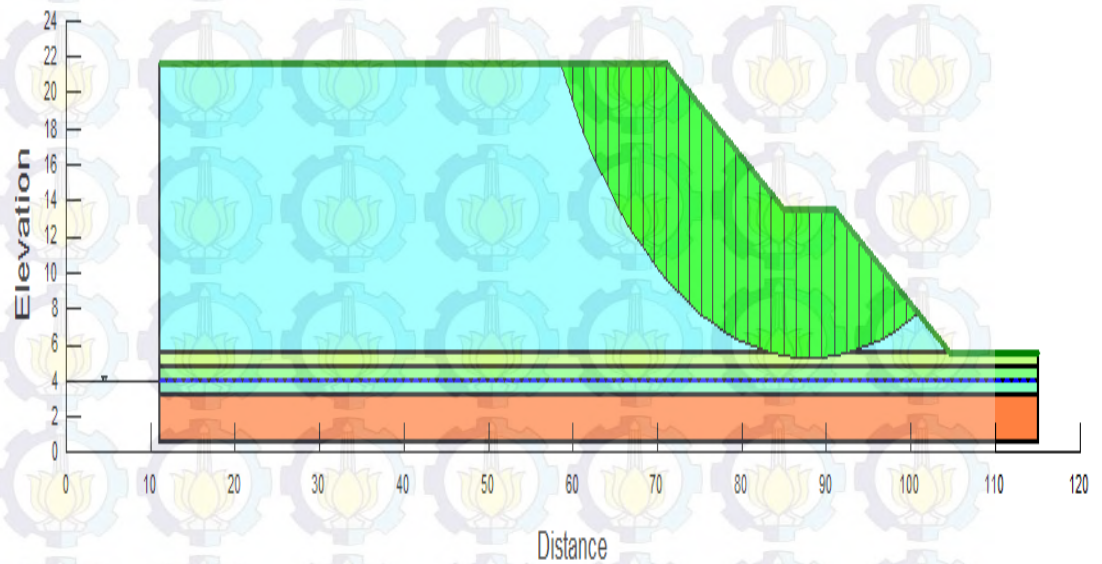
Pada gambar 4.23 dan 4.24 untuk kondisi tanah asli maupun tanah asli + Ecocure²¹ dapat diketahui tekanan air pori lereng akan semakin meningkat dari muka air tanah menuju lereng timbunan disposal. Tekanan air pori ini sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng disposal. Pada kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa tegangan air pori sangat berpengaruh dalam kestabilan lereng. Dimana tegangan air pori ini akan semakin meningkat seiring menjauhi muka air tanah dasar lereng disposal. Tegangan air pori negatif terbesar berada pada ketinggian timbunan 14 meter yaitu sebesar 160 kPa.

Setelah dilakukan permodelan untuk mengetahui tegangan air pori negatif yang terjadi pada lereng disposal dengan program SEEP/W, maka selanjutnya dilakukan permodelan kestabilan lereng dengan menggunakan bantuan program SLOPE/W. Pada permodelan ini, muka air tanah dasar berada 1 meter dibawah permukaan tanah dasar timbunan. Untuk melihat pengaruh Ecocure²¹ terhadap kestabilan lereng disposal, maka campuran Ecocure²¹ dan tanah asli diberikan

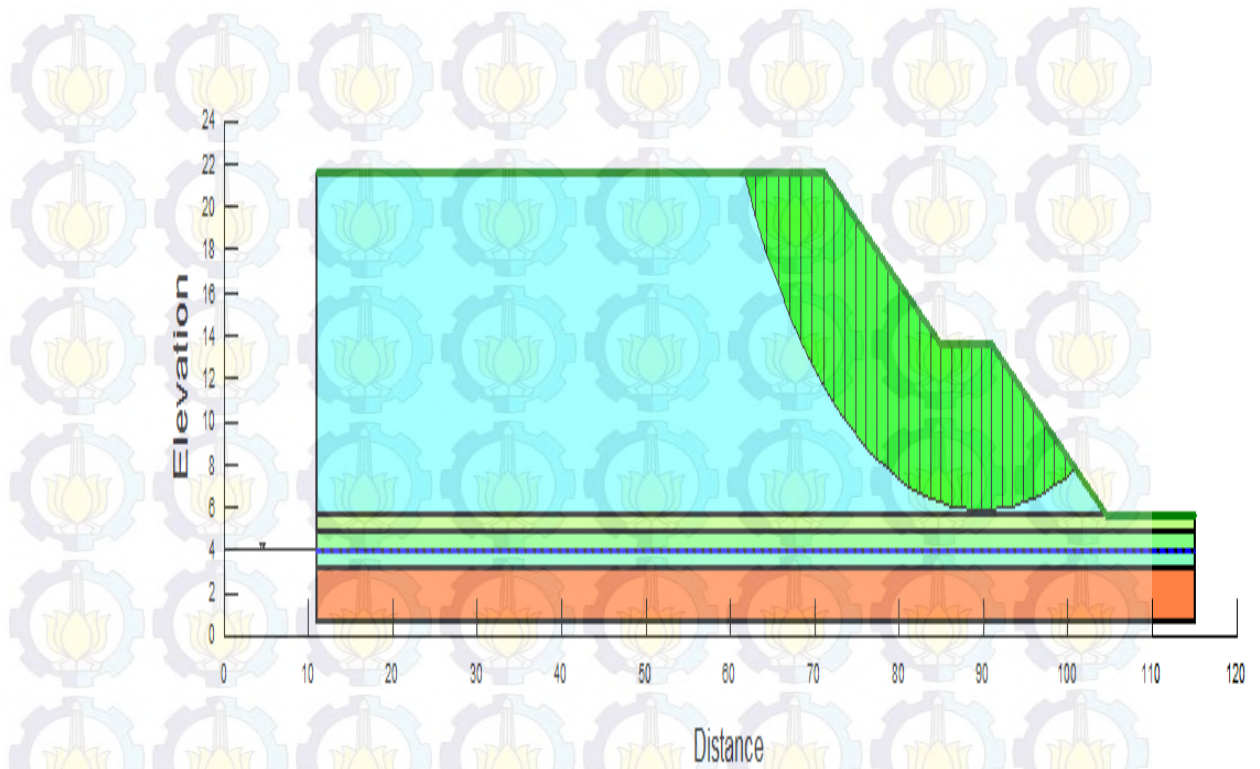
sedalam 20 cm dari permukaan dasar timbunan. Hasil permodelan lereng tersebut disajikan pada gambar 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 dibawah ini.



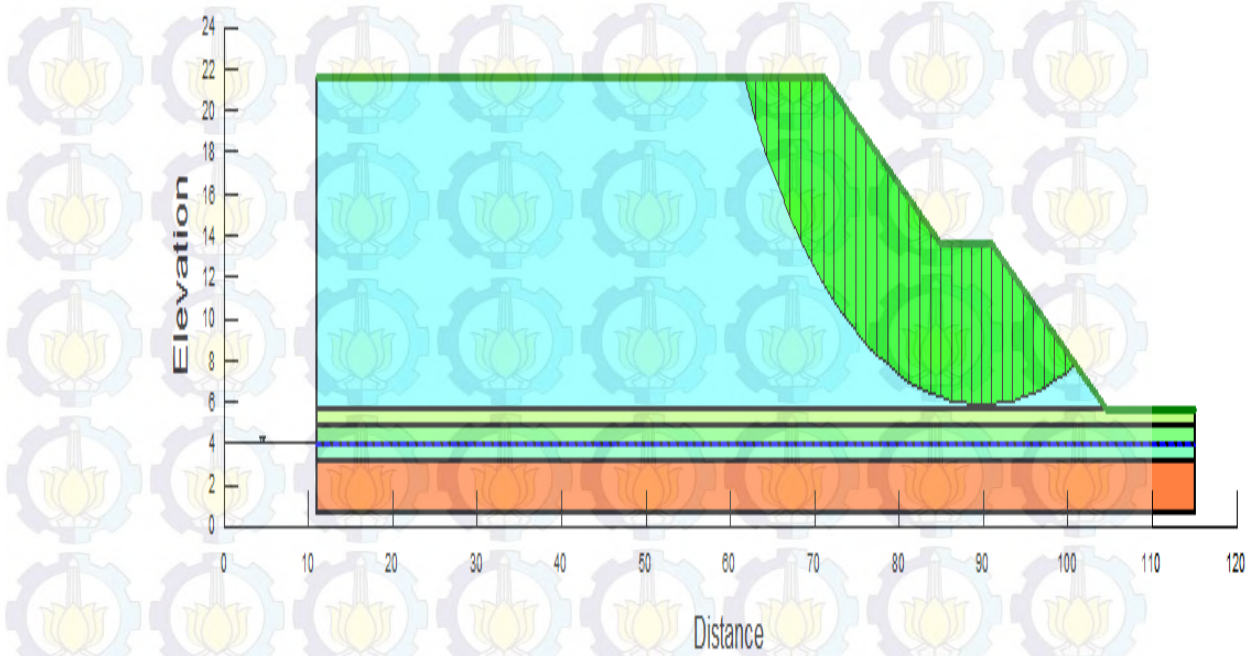
Gambar 4.25 Analisa kestabilan pada kondisi tanah asli



Gambar 4.26 Analisa kestabilan pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹



Gambar 4.27 Analisa kestabilan pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen



Gambar 4.28 Analisa kestabilan pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur

Tabel 4.10 Nilai faktor keamanan dari 4 variasi tanah dengan campuran Ecocure²¹

Kondisi tanah	Faktor keamaan
Tanah asli	1,154
Tanah asli + Ecocure ²¹	1,482
Tanah asli + Ecocure ²¹ + semen	1,514
Tanah asli + Ecocure ²¹ + kapur	1,51

Permodelan geoteknik terhadap kestabilan lereng disposal diatas menggunakan campuran Ecocure²¹ dengan tanah asli (pondasi disposal), baik dengan ditambah semen maupun kapur. Campuran Ecocure²¹ berpengaruh terhadap kedalaman dasar disposal. Pengaruh Ecocure²¹ tersebut dilihat pengaruhnya sedalam 60 c m. Hal ini dikarenakan kemampuan alat pengambil contoh tanah di lapangan mempunyai kemampuan terbatas.

Dari keempat gambar diatas dapat diketahui bahwa permodelan lereng disposal dilakukan dengan 4 variasi kondisi tanah, yaitu pada kondisi tanah asli (tanpa penambahan bahan Ecocure²¹), kondisi tanah asli + Ecocure²¹, kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen, dan kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur. Dimana campuran Ecocure²¹, baik Ecocure²¹ + semen maupun kapur diberikan pada tanah asli yaitu dasar pondasi disposal sedalam 20 c m. Parameter-parameter tanah untuk analisa kestabilan disposal tersebut didapatkan dari pengujian di laboratorium maupun dilapangan. Material penyusun timbunan adalah material buangan hasil peledakan tambang.

Dari hasil perhitungan analisis dengan bantuan program *Slope/W* dapat diketahui bahwa faktor keamanan lereng disposal untuk kondisi tanah asli adalah sebesar 1,154. Untuk kondisi lereng disposal tanah asli + Ecocure²¹ mempunyai faktor keamanan 1,482. Untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen adalah sebesar

1,514 Sedangkan untuk kondisi lereng disposal tanah asli + Ecocure²¹ + kapur mempunyai nilai faktor keamanan sebesar 1,51.

Pada tabel 4.10 diketahui bahwa nilai faktor keamanan pada campuran Ecocure²¹ dengan tambahan semen maupun kapur mempunyai nilai yang lebih tinggi dari campuran tanah asli + Ecocure²¹. Namun kenaikan nilai tersebut hanya sedikit. Dimana seharusnya dengan pemberian semen maupun kapur akan lebih meningkatkan nilai faktor keamanannya secara signifikan. Hal ini kemungkinan dikarenakan pada saat campuran tanah + Ecocure²¹ + semen maupun kapur dilakukan pemadatan lapangan, Ecocure²¹ kurang bisa menembus lapisan dibawahnya, sehingga pengaruh Ecocure²¹ hanya sedikit berpengaruh terhadap lapisan tanah dibawahnya.

Dari analisa kestabilan tersebut terlihat bahwa dengan adanya penambahan bahan Ecocure²¹ pada area disposal dapat meningkatkan faktor keamanan dari lereng disposal tersebut. Walaupun pemberian bahan Ecocure²¹ hanya diberikan pada dasar pondasi timbunan disposal. Dampak kenaikan nilai faktor keamanan lereng tersebut dengan 4 variasi benda uji tidak terlalu signifikan. Dari analisa tersebut bahan Ecocure²¹ mempunyai pengaruh cukup besar terhadap perubahan nilai faktor keamanan lereng disposal tersebut.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari uraian yang diberikan pada Bab 4 dapat disimpulkan berapa hal penting yaitu :

1. Pada kondisi tanah asli tanpa penambahan bahan Ecocure²¹.
 - a. Untuk area disposal
 - Pada contoh benda uji kondisi tanah asli mempunyai nilai kadar air sebesar 29,3%.
 - Pada pengujian batas Atterberg didapatkan nilai batas cair sebesar 46,40%, nilai batas plastis 25% dan nilai indeks plastisitas sebesar 21,40%.
 - Pada pengujian kuat tekan bebas didapatkan nilai kuat tekan bebas benda uji kondisi tanah asli sebesar 271,2 kPa.
 - Hasil pengujian CBR laboratorium didapatkan nilai CBR laboratorium sebesar 21% pada usia peram benda uji 3 hari dan pada usia peram benda uji 7 hari sebesar 27%.
 - Pada pengujian Triaxial *Unconsolidated Undrained* didapatkan nilai kohesi benda uji sebesar 15 kPa dan nilai sudut geser dalam 9^0 .
 - Pada pengujian *X-Ray Diffraction* dapat diketahui nilai kristalinisasi benda uji sebesar 71,0264% dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji adalah mineral *illite*.
 - b. Untuk area *parking bay*
 - Pada contoh benda uji kondisi tanah asli mempunyai nilai kadar air sebesar 8,2%.
 - Pada pengujian batas Atterberg didapatkan nilai batas cair sebesar 24,70%, nilai batas plastis 18,80% dan nilai indeks plastisitas sebesar 6,0%.

- Pada pengujian kuat tekan bebas didapatkan nilai kuat tekan bebas benda uji kondisi tanah asli sebesar 112,432 kPa.
 - Hasil pengujian CBR laboratorium didapatkan nilai CBR laboratorium sebesar 36% pada usia peram benda uji 3 hari dan pada usia peram benda uji 7 hari sebesar 49%.
2. Pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹.
- a. Untuk area disposal
- Pada contoh benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ mempunyai nilai kadar air sebesar 28,4%.
 - Pada pengujian batas Atterberg didapatkan nilai batas cair sebesar 40,40%, nilai batas plastis 22,40% dan nilai indeks plastisitas sebesar 18%.
 - Pada pengujian kuat tekan bebas didapatkan nilai kuat tekan bebas benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ meningkat menjadi sebesar 1045,33 kPa.
 - Hasil pengujian CBR laboratorium didapatkan nilai CBR laboratorium sebesar 39% pada usia peram benda uji 3 hari dan pada usia peram benda uji 7 hari sebesar 43%.
 - Pada pengujian Triaxial *Unconsolidated Undrained* didapatkan nilai kohesi benda uji sebesar 20 kPa dan nilai sudut geser dalam 12⁰.
 - Pada pengujian *X-Ray Diffraction* dapat diketahui nilai kristalinisasi benda uji sebesar 78,8926% dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji adalah mineral *illite*.
- b. Untuk area *parking bay*
- Pada contoh benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ mempunyai nilai kadar air sebesar 7,8%.
 - Pada pengujian batas Atterberg didapatkan nilai batas cair sebesar 21,40%, nilai batas plastis 16,10% dan nilai indeks plastisitas sebesar 5,10%.

- Pada pengujian kuat tekan bebas didapatkan nilai kuat tekan bebas benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ meningkat sebesar 447,908 kPa.
 - Hasil pengujian CBR laboratorium didapatkan nilai CBR laboratorium sebesar 48% pada usia peram benda uji 3 hari dan pada usia peram benda uji 7 hari sebesar 91%.
3. Pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur.
- a. Untuk area disposal
- Pada contoh benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur mempunyai nilai kadar air sebesar 26%.
 - Pada pengujian batas Atterberg didapatkan nilai batas cair sebesar 41,60%, nilai batas plastis 25,40% dan nilai indeks plastisitas sebesar 16,10%.
 - Pada pengujian kuat tekan bebas didapatkan nilai kuat tekan bebas benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur meningkat sebesar 1134,56 kPa.
 - Hasil pengujian CBR laboratorium didapatkan nilai CBR laboratorium sebesar 49% pada usia peram benda uji 3 hari dan pada usia peram benda uji 7 hari sebesar 56%.
 - Pada pengujian Triaxial *Unconsolidated Undrained* didapatkan nilai kohesi benda uji sebesar 25 kPa dan nilai sudut geser dalam 14⁰.
 - Pada pengujian *X-Ray Diffraction* dapat diketahui nilai kristalinisasi benda uji sebesar 72,9381% dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji adalah mineral *illite*.
- b. Untuk area *parking bay*
- Pada contoh benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur mempunyai nilai kadar air sebesar 7,1%.
 - Pada pengujian batas Atterberg didapatkan nilai batas cair sebesar 21,70%, nilai batas plastis 18,10% dan nilai indeks plastisitas sebesar 4,80%.

- Pada pengujian kuat tekan bebas didapatkan nilai kuat tekan bebas benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur meningkat sebesar 542,435 kPa.
 - Hasil pengujian CBR laboratorium didapatkan nilai CBR laboratorium sebesar 121% pada usia peram benda uji 3 hari dan pada usia peram benda uji 7 hari sebesar 121%.
4. Pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen.
- a. Untuk area disposal
- Pada contoh benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen mempunyai nilai kadar air sebesar 24,8%.
 - Pada pengujian batas Atterberg didapatkan nilai batas cair sebesar 43,20%, nilai batas plastis 25,10% dan nilai indeks plastisitas sebesar 18,10%.
 - Pada pengujian kuat tekan bebas didapatkan nilai kuat tekan bebas benda uji kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen meningkat sebesar 1543,67 kPa.
 - Pada pengujian Triaxial *Unconsolidated Undrained* didapatkan nilai kohesi benda uji sebesar 22 kPa dan nilai sudut geser dalam 11⁰.
 - Pada pengujian *X-Ray Diffraction* dapat diketahui nilai kristalinisasi benda uji sebesar 62,9166% dan mineral lempung yang terkandung dalam benda uji adalah mineral *illite*.
- b. Untuk area *parking bay* pada kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + semen tidak dilakukan karena mengikuti kondisi pengujian di lapangan yaitu kondisi tanah asli, kondisi tanah asli + Ecocure²¹ dan kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur.
5. CBR lapangan dilaksanakan pada area *parking bay* jalan tambang, dengan area pengujian 2,4 meter x 1,5 meter dan kedalaman 0,2 meter. Dimana pengujian menggunakan campuran agregat kelas A. Dari hasil pengujian yang dilakukan pemeraman selama 7 hari didapatkan nilai CBR lapangan yaitu:

a. Untuk kondisi tanah asli tanpa penambahan Ecocure²¹ mempunyai nilai CBR lapangan sebesar 56,46%.

b. Untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ mempunyai nilai CBR sebesar 22,68%.

c. Untuk kondisi tanah asli + Ecocure²¹ + kapur sebesar 33,27%.

Pada pengujian ini terjadi penurunan nilai CBR lapangan, dimana yang seharusnya terjadi kenaikan nilai CBR lapangan. Hal ini disebabkan karena pada saat pengujian lapangan adalah kondisi area *parking bay* yang dibongkar kembali, sehingga nilai CBR untuk penambahan Ecocure²¹ tidak akan lebih besar dari nilai CBR lapangan kondisi asli yaitu sebelum dilakukan pembongkaran.

6. Dari permodelan geoteknik dengan menggunakan program GeoStudio untuk area disposal dapat diketahui bahwa dengan penambahan bahan Ecocure²¹ pada dasar disposal dapat mempengaruhi faktor keamanan lereng disposal tersebut, dimana penambahan bahan Ecocure²¹ tersebut dapat meningkatkan faktor keamanan lereng.

a. Kondisi benda uji tanah asli mempunyai faktor keamanan lereng sebesar 1,154.

b. Kondisi benda uji tanah asli + Ecocure²¹ mempunyai faktor keamanan lereng sebesar 1,482.

c. Kondisi benda uji tanah asli + Ecocure²¹ + kapur mempunyai faktor keamanan lereng sebesar 1,51.

d. Kondisi benda uji tanah asli + Ecocure²¹ + semen mempunyai faktor keamanan lereng sebesar 1,514.

5.2 Saran

Dari analisa dan kesimpulan yang diberikan di atas, ada beberapa saran yang perlu disampaikan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Variasi dari benda uji sebaiknya tidak hanya dengan penambahan kapur dan semen, akan tetapi dengan bahan- bahan yang lain, sehingga didapatkan berbagai variasi permodelan geoteknik kestabilan lereng.
2. Penelitian lebih mendalam terhadap lereng disposal tidak hanya penelitian terhadap dasar pondasi lereng saja, tetapi juga dapat dilakukan pada area kemiringan lereng.

DAFTAR PUSTAKA

Agus Subandrio, dkk. "Pelaksanaan Reklamasi di PT Adaro Indonesia".
Environmental Department PT Adaro Indonesia.

Aji, Setyo.B, Anjar. 2009. "The Role Of a Coal Gasification Fly Ash as Clay Additive
in Building Ceramic. *Journal of the European Ceramic Society* 26 (2006) 3783-3787.

Azizi, M.A, et.al. 2012. "Analisis resiko lereng tambang terbuka (studi kasus
tambang mineral x)". Prosiding symposium dan seminar nasional Geomekanika ke-1

Bowles Joseph E, 1984, "Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah" (Mekanika Tanah),
Erlangga, Jakarta

Das, B. M.,1985, Alih bahasa : Noor Endah dan Indrasurya B. Moctar,
1994,"Mekanika tanah (Prinsip Prinsip Rekayasa Geoteknis)". Jilid 1 dan 2. Penerbit
Erlangga

Das, B.M.,1987,"Advanced Soil Mechanics", Mc Graw Hill Int. Edit, New York.

Fathul, Ilmi. 2013. "Teori dasar *X-Ray Diffraction* (XRD).

Hardiyatmo. 1999. "Teknik Fondasi 1. Beta Offset. Yogyakarta.

Hosiya, N., and Mandal,J.N., 1984, Metallic Powders in Reinforced Earth., *Journal
of Geotechnical Engineering*, Vol.110, No. 10, October 1984, ASCE, pp. 1507-1511.

Idrus, 1991, "Stabilisasi Pada Lempung Losari Dengan Kapur dan Semen". Master
Tesis. Institut Teknologi Bandung.

Ji-Cheng, Wang, Gong Xiao-Nan. 2014. “Effects of Pore-Water Pressure Distribution on Slope Stability Under Rainfall Infiltration”. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* Vol. 19.

Karnawati, 2005. “Bencana alam gerakan massa tanah di Indonesia dan upaya penanggulangannya. Jurusan Teknik Geologi UGM. Yogyakarta.

Kezdi, A.,1979, *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.

Kusuma, L. 2001, “Pengaruh pencampuran tanah ekspansif dalam kondisi batas cair dengan kapur terhadap sifat kembang susut tanah”. Tugas Akhir. Universitas Kristen Petra.

M.H. Manaf. 1992. “Mekanisme Longsoran Suatu Lereng dan Teknik Pengamatannya”. Kumpulan makalah geoteknik prosiding temu profesi tahunan PERHAPI.

Munawir, As’ad, Herlin, I, Elly, R. 2008. “Pengaruh Kadar Air Terhadap Perilaku Modulus Deformasi Tanah Lempung di Kawasan Universitas Brawijaya Malang yang dipadatkan Secara Standar”. *Jurnal Rekayasa Sipil* Vol. 2 No. 2.

Novianto, D. 2006. “Pengujian Kinerja Bahan Ecomic SC-100 Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah”, Master Tesis, Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

PT. Adaro Indonesia. 2014. “Laporan pelaksanaan pengelolaan dan pemantauan lingkungan triwulan II”. Kalimantan Selatan.

Rafael Baker.2005.”*Variational Slope Stability Analysis of Materials with Nonlinear Failure Criterion*”. Israel Institute of Technology. Israel

Rai, M.A. (1998). “Kestabilan lereng pada tambang permukaan”. Laboratorium Geoteknik. ITB Bandung.

Septawendar, Rifki, Nuryanto, Suhandi., Wahyudi, Kristanto. 2007. “Sifat Fisik Lempung Tanjung Morawa Dalam Transformasi Fasa Mineral Berdasarkan Investigasi Difraksi Sinar X”. Riset Geologi dan Pertambangan: 11 – 19.

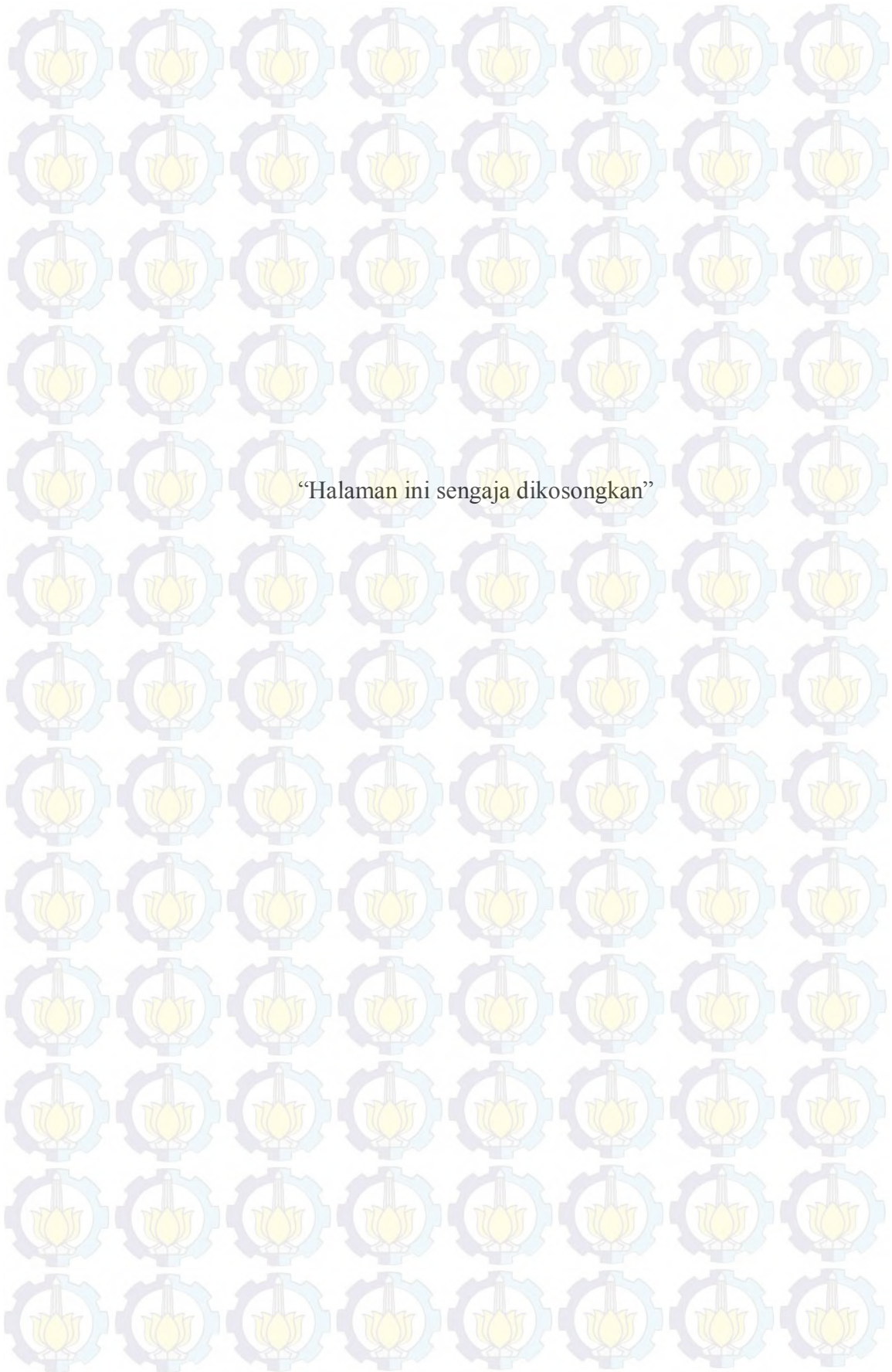
Tiwari, S. K, Anil. G. 2013. “*Geotechnical Characteristics of Cement-Stabilized Fiber-Reinforced Fly Ash-Soil Blends*”. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* Vol. 18.

Wiqoyah, Q. 2006. “Pengaruh kadar kapur, waktu perawatan dan perendaman terhadap kuat dukung tanah lempung”. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Welly, B, Putu Dedy,W. 2002. “Stabilisasi tanah ekspansif dengan menggunakan campuran fly ash dan kapur”. Tugas Akhir. Universitas Kristen Petra.

Yan, Yue, Yahui, Z, Chao, H. 2014. “*Impact of Blasting Vibration on Soil Slope Stability*”. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* Vol. 19.

Yunaefi. 2010. “Pengujian Kinerja Bahan Eco-Cure²¹ Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Untuk Lapisan Sub-Base Perkerasan Jalan”. Master Tesis. Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

The background of the page is a repeating pattern of a light blue gear with a yellow lotus flower inside it, arranged in a grid. The text is centered over this pattern.

LAMPIRAN
(HASIL PENGUJIAN AREA
DISPOSAL)

laboratorium

	Original	Ecocure + Original	Ecocure + kapur	Eco Cure21 + semen	Original + kapur	Satuan
$C =$	9	14	0	28	0	kPa
$\phi =$	11	13	15	20	9	degree

moisture content

	tanah asli	Ecocure21 + tanah asli	Tanah asli + Ecocure21 + kapur	Tanah asli + Ecocure21 + semen	tanah asli + kapur
MC (%)	26	28.1	27.9	28	36.4

Atterber Limit

tanah asli	Ecocure21 + tanah asli	tanah asli + Ecocure21 + kapur	tanah asli + Ecocure21 + semen	
46.40%	40.40%	41.60%	43.20%	Liquid Limit
25.00%	22.40%	25.40%	25.10%	Plastic limit
21.40%	18%	16.10%	18.10%	Plasticity index
10.20%	10.10%	7.80%	9.30%	Linear shrinkage
CI	CL	CL	CL	Klasifikasi
Medium Plasticity	Medium Plasticity	Medium Plasticity	Medium Plasticity	

UCS

Tanah asli	Tanah asli + ecocure	Tanah asli + Ecocure + kapur	Tanah asli + ecocure + semen
271.2 kPa	1045.33 kPa	1134.56 kPa	1543.67 kPa

CBR Laboratorium

tanah asli	Eco Cure21 + tanah asli	tanah asli + Eco Cure21 + kapur	Kondisi	Waktu peram
21%	39%	49%	atas	3 hari
24%	51%	57%	bawah	
27%	43%	56%	atas	7 hari
29%	59%	68%	bawah	

kadar air setelah pengujian ulang

	tanah asli	Ecocure21 + tanah asli	Tanah asli + Ecocure21 + kapur	Tanah asli + Ecocure21 + semen
MC (%)	29.3	28.4	26	24.8

berat volume tanah

y	tanah asli	tanah asli + Eco Cure21	tanah asli +Eco Cure21 + kapur	tanah asli + Eco Cure21 + semen	satuan
	15,7	16,2	16,9	17,4	kN/m3



LAMPIRAN
(HASIL PENGUJIAN AREA PARKING
BAY

moisture content

	tanah asli	Ecocure21 + tanah asli	Tanah asli + Ecocure21 + kapur
MC (%)	8.2	7.8	7.1

Atterber Limit

tanah asli	Ecocure21 + tanah asli	tanah asli + Ecocure21 + kapur	
24.70%	21.40%	21.70%	Batas cair
18.80%	16.10%	18.10%	Batas plastis
6.00%	5.10%	4.80%	Indeks plastisitas
5.00%	4.90%	4.20%	Batas susut
			Klasifikasi

UCS

Tanah asli	Tanah asli + ecocure	Tanah asli + ecocure + kapur
112.432 kPa	447.908 kPa	542.435 kPa

CBR Laboratorium

tanah asli	Eco Cure21 + tanah asli	Eco Cure21 + kapur	Kondisi	Waktu peram
36%	48%	121%	atas	3 hari
51%	80%	178%	bawah	
49%	91%	121%	atas	7 hari
68%	98%	162%	bawah	



LAMPIRAN
(PENGGUNAAN CLEGG *HAMMER*)

Pengujian Clegg hammer

Clegg hammer adalah suatu alat pengujian di lapangan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR lapangan. Langkah kerja penggunaan alat Clegg hammer adalah sebagai berikut:

a. Tahap 1 (langkah kerja Clegg hammer di lapangan):

- Memposisikan alat Clegg hammer tegak lurus pada permukaan tanah yang akan diteliti.



- Tarik palu (hammer) ke atas setinggi 50 cm, sesuai dengan standar yang diberikan oleh alat tersebut



- Menjatuhkan hammer ke permukaan tanah
- Membaca hasil dampak pukulan dari hammer yang dijatuhkan ke permukaan tanah tersebut, dengan cara melihat layar monitor digital yang terdapat pada alat tersebut.

- Mengulangi langkah 2, 3, 4 sebanyak antara 2- 5 kali pukulan untuk setiap titik pengujian

b. Tahap 2 (pengolahan data hasil nilai dampak pukulan dari Clegg hammer untuk mendapatkan nilai CBR):

- Mengumpulkan data bacaan dampak pukulan Clegg *hammer*

- Data Clegg *hammer* yang terdiri dari 2-5 pukulan untuk setiap titik pengujian tersebut di rata-rata.

- Hasil nilai dampak pukulan rata-rata tersebut dikorelasikan untuk mendapatkan nilai CBR, korelasi tersebut dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{nilai CBR} = 0,07 \times (\text{nilai dampak pukulan})^2 \dots\dots\dots(1)$$

BIOGRAFI PENULIS



Nama Lengkap : Irwandy Muzaidi

Tempat & Tanggal Lahir : Banjarmasin, 09 Mei 1989

N R P : 3113 201 002

Agama : Islam

Alamat : Jl. Palapa 2 NO. 72, RT. 2/ RW.04, Banjarbaru, Kalimantan Selatan

Kode Pos : 70711

Email : irwann.muzaidi@gmail.com

Judul Tesis : Pengaruh Penggunaan Bahan Ecocure²¹ Terhadap Kestabilan Pada Area Disposal dan Area *Hauling Road* PT. Adaro Indonesia, Kalimantan Selatan

Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA

Program Studi : Pascasarjana – Teknik Sipil ITS

Bidang Keahlian : Geoteknik

Pendidikan :

SDN Banjarbaru Utara 4 (Lulus tahun 2001)

SLTPN 2 Banjarbaru (Lulus tahun 2004)

SMAN 2 Banjarbaru (Lulus tahun 2007)

S1 Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat (Lulus tahun 2012)

S2 Teknik Sipil ITS (Geoteknik) (Lulus tahun 2016)