

**KAJIAN LABORATORIUM PENGGUNAAN MATERIAL
TANAH MERAH TERSTABILISASI KAPUR SEBAGAI BAHAN
PENGIKAT MATERIAL GRANULAR AGREGAT KELAS B**

(Skripsi)

Oleh :

AMRAN RAMA YUDA

1715011021



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

KAJIAN LABORATORIUM PENGGUNAAN MATERIAL TANAH MERAH TERSTABILISASI KAPUR SEBAGAI BAHAN PENGIKAT MATERIAL GRANULAR AGREGAT KELAS B

Oleh

AMRAN RAMA YUDA

Dalam lapis pondasi agregat diperlukan material lapis pondasi yang dapat mengikat agregat yang memiliki nilai daya dukung tinggi sehingga bahan agregat tidak mudah terlepas dan membuat menurunnya daya dukung lapis agregat. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu alternatif yang sering dilaksanakan adalah metode stabilisasi. Dalam metode stabilisasi, tanah merupakan salah satu alternatif material yang digunakan sebagai material lapis pondasi agregat.

Metode yang digunakan adalah metode pengujian pemadatan metode CBR (*California Bearing Ratio*)

Berdasarkan hasil tabel pengujian CBR didapatkan setiap penambahan tanah merah terstabilisasi nilai CBR mengalami peningkatan. Untuk hasil nilai CBR terkecil terdapat pada variasi 1 (100% Agregat), dan untuk nilai CBR terbesar terdapat pada variasi 5 (85% Agregat + 15% Tanah merah terstabilisasi 15% kapur) dengan nilai CBR masing-masing sebesar 69,7% dan 82,9%.

Kata Kunci : Lapis pondasi agregat, tanah merah terstabilisasi, CBR

ABSTRACT

LABORATORY STUDY ON THE USE OF LIME STABILIZED RED SOIL MATERIAL AS BINDER FOR CLASS B GRANULAR AGGREGATE MATERIAL

By

AMRAN RAMA YUDA

In the aggregate foundation layer, a foundation layer material is needed that can bind aggregates that have high bearing capacity values so that the aggregate material is not easily detached and make the aggregate layer bearing capacity decrease. To overcome this problem, one alternative that is often implemented is the stabilization method. In the stabilization method, soil is one of the alternative materials used as aggregate foundation layer material.

The method used is the CBR (California Bearing Ratio) compaction testing method.

Based on the results of the CBR testing table, it was found that each addition of stabilized red soil increased the CBR value. For the results of the smallest CBR value is in variation 1 (100% Aggregate), and for the largest CBR value is in variation 5 (85% Aggregate + 15% Stabilized red soil 15% lime) with a CBR value of 69.7% and 82.9% respectively.

Keywords: Aggregate foundation layer, Stabilized red soil, CBR

**KAJIAN LABORATORIUM PENGGUNAAN MATERIAL TANAH
MERAH TERSTABILISASI KAPUR SEBAGAI BAHAN PENGIKAT
MATERIAL GRANULAR AGREGAT KELAS B**

Oleh

AMRAN RAMA YUDA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

**: KAJIAN LABORATORIUM PENGGUNAAN
MATERIAL TANAH MERAH TERSTABILISASI
KAPUR SEBAGAI BAHAN PENGIKAT
MATERIAL GRANULAR AGREGAT KELAS B**

Nama Mahasiswa

: Amran Rama Yuda

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011021

Program Studi

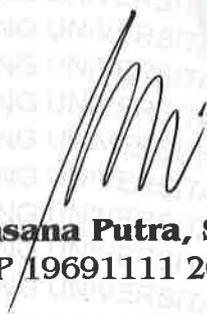
: Teknik Sipil

Fakultas

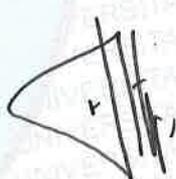
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Sasana Putra, S.T., M.T.

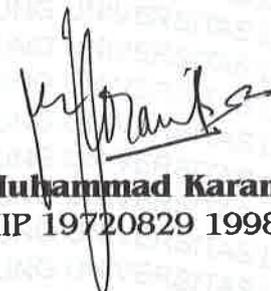
NIP 19691111 200003 1 002


Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.

NIP 19741004 200003 2 002

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.

NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Sasana Putra, S.T., M.T.

Sekretaris : Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Dwi Herlanto, M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 19750928 200112 1 002**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 06 Juni 2023

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Amran Rama Yuda

NPM : 1715011021

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul "*Kajian Laboratorium Penggunaan Material Tanah Merah Terstabilisasi Kapur Sebagai Bahan Pengikat Material Granular Agregat Kelas B*" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Bapak Sasana Putra, S.T., M.T.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

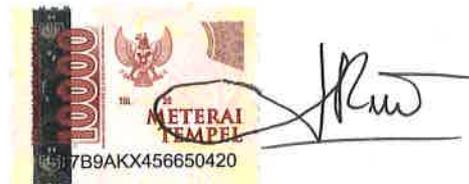
Bandar Lampung, 12 Juni 2023

Mengetahui

Dosen Pembimbing Skripsi

Mahasiswa


Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP. 196911112000031002



Amran Rama Yuda
NPM. 1715011021

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Amran Rama Yuda, dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada tanggal 07 Februari 1998.

Jenjang pendidikan yang ditempuh oleh penulis yaitu pendidikan pra sekolah di TK PGRI Sukarame, pendidikan dasar di SD Negeri 1 Way Dadi, pendidikan menengah tingkat pertama di MTs Negeri 2 Bandar Lampung, dan pendidikan menengah tingkat atas di SMA Kebangsaan Lampung Selatan.

Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur seleksi SNMPTN. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan tingkat jurusan di Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Usaha Karya (periode 2018/2019) dan Departemen Kerohanian dan Keolahragaan (K2) (periode 2019/2020).

Dalam merepresentasikan tri dharma perguruan tinggi, penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata pada periode 1 Tahun 2020 di Desa Karang Anyar, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan selama 40 hari. Penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di PT Nusa Raya Cipta pada Proyek Pembangunan Lampung City Mall dan Apartemen di Jalan Yos Sudarso, Teluk Betung, Kota Bandar Lampung.

Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2023, dengan judul skripsi “Kajian Laboratorium Penggunaan Material Tanah Merah Terstabilisasi Kapur Sebagai Bahan Pengikat Material Granular Agregat Kelas B”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, Puji syukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan berkahnya kesetiap langkah perjalanan hidupku. Shalawat serta salam tak lupa saya haturkan kepada nabi tercinta Nabi Muhammad SAW. Kupersembahkan karya Kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi.

Papa dan Mama

Kedua orang tua, Papa Munzir dan Mama Wirdayani. atas segala pengorbanan yang tak terbalaskan, do'a, kesabaran, keikhlasan, cinta dan kasih sayangnya yang tidak ada putusnya.

Saudara ku tersayang

Adik-adiku Novrizal dan Ikbar Mustofa.

Dosen Teknik Sipil

Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan ilmu serta saran baik secara akademis maupun non akademis.

Sahabat-sahabatku

Yang selalu membantu, memberikan semangat, mendukung menuju keberhasilan, selalu ada, serta berbagi cerita suka duka dalam berkeluh kesah,

Keluarga Besar Teknik Sipil 2017

Yang selalu memberi semangat, membantu dan melindungi serta memberi dukungan dalam proses yang sangat panjang, dan selalu berdiri Bersama dalam suka dan duka.

KATA INSPIRASI

"Tak apa-apa terlambat, asalkan kamu tetap berjalan".

(Anonim)

"Menyesali nasib tidak akan mengubah keadaan. Terus berkarya dan berkejarlah yang membuat kita berharga"

(Abdurrahman Wahid)

"Hiduplah seakan-akan kamu akan mati besok. Belajarlah seakan-akan kamu akan hidup selamanya".

(Mahatma Ghandi)

"Pertolongan tuhan tidak datang terlalu cepat, tidak juga terlalu terlambat. Tetapi pertolongan tuhan selalu datang disaat yang tepat dan waktu yang tak terduga."

(Anonim)

"Kesalahan adalah pengalaman hidup, belajarlah darinya. Jangan membuang waktumu untuk menjadi sempurna."

(Anonim)

"Namanya juga manusia, terkadang baru akan sadar jika sudah ditampar oleh keadaan."

(Anonim)

"Terkadang orang dengan masa lalu paling kelam akan menciptakan masa depan paling cerah."

(Umar bin Khattab)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Kajian Laboratorium Penggunaan Material Tanah Merah Terstabilisasi Kapur sebagai Bahan Pengikat Material Granular Agregat Kelas B*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Pada penyusunan skripsi ini penulis mendapat banyak dukungan, bantuan baik moril dan materil, serta bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
2. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung
4. Bapak Ir. Dwi Herianto, M.T. selaku Dosen Penguji pada skripsi penulis
5. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan skripsi yang dilakukan oleh penulis
6. Ibu Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang dengan senantiasa memberikan masukan dan saran terhadap penulisan skripsi
7. Bapak Ir. Nur Arifaini, M.S. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis
8. Seluruh Civitas Akademik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung baik dalam lingkup akademis, administrasi, dan non administrasi.

9. Seluruh keluarga penulis terutama ayah dan ibu penulis yang telah memberikan dukungan berupa materil dan moril dalam penyelesaian skripsi ini, serta kedua adik penulis yang telah memotivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini
10. Rekan-rekan penulis dalam pengerjaan dan penelitian: M. Ade Ramadhan dan M. Bagus Santoso
11. Teman-teman Deadwood Squad: Abiyyu, Indra, Arjun, Diki, Sugeng, Damas, Taupiq, Cen
12. Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2017 (REA17Y) yang telah mewarnai kehidupan perkuliahan sejak pertama kali menginjak kampus teknik sipil tercinta

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, baik dari segi isi maupun cara penyampaiannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat.

Bandar Lampung, 2023

Penulis

Amran Rama Yuda

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Lapis Pondasi.....	6
2.2 Lapis Pondasi Agregat Kelas B	7
2.3 Agregat.....	9
2.3.1 Abrasi.....	10
2.3.2 Kadar Air Agregat	11
2.3.3 Berat Jenis Agregat.....	11
2.4 Tanah Merah.....	14
2.4.1 Kadar Air Tanah.....	14
2.4.2 Berat Jenis Tanah	15
2.4.3 Batas – Batas Atterberg	16
2.4.3.1 Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>).....	17

2.4.3.2	Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)	19
2.4.3.3	Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i>)	19
2.5	Stabilisasi Tanah Merah - Kapur	20
2.6	Pemadatan	23
2.7	CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)	24

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	26
3.2	Lokasi Penelitian	27
3.3	Penyiapan Material	28
3.4	Pengujian Material	30
3.4.1	Agregat.....	30
3.4.2	Tanah Merah	31
3.4.3	Kapur	33
3.5	Peralatan Material	33
3.6	Prosedur Penelitian	34

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengujian Bahan Material	39
4.1.1	Batas-Batas Atterberg.....	40
4.1.2	Analisa Saringan.....	41
4.1.3	Abrasi.....	43
4.1.4	Kadar Air	46
4.1.5	Berat Jenis	46
4.2	Pembuatan Benda Uji	47
4.2.1	Uji Pemadatan (<i>Modified Proctor</i>)	47
4.2.2	Uji CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)	49

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Lapis Pondasi Agregat	7
Gambar 2.2 Batas – Batas Atterberg.....	17
Gambar 2.3 Kurva Penentuan Batas Cair Tanah Lempung	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3.2 Laboratorium Mekanika Tanah dan Inti Jalan Raya.....	28
Gambar 3.3 Agregat Kasar.....	28
Gambar 3.4 Agregat Halus.....	29
Gambar 3.5 Tanah Merah.....	29
Gambar 3.6 Kapur Padam	30
Gambar 3.7 Pengujian Batas-Batas Atterberg.....	35
Gambar 3.8 Uji Pemasatan	37
Gambar 3.9 Pengujian CBR.....	38
Gambar 4.1 Grafik Batas-Batas Atterberg	40
Gambar 4.2 Grafik Persentase Lolos Saringan Agregat Kelas B.....	43
Gambar 4.3 Grafik Pemasatan Agregat Kelas B.....	48
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai CBR pada Setiap Variasi.....	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas B.....	8
Tabel 2.2 Sifat - Sifat Lapis Pondasi Agregat Kelas B.....	9
Tabel 2.3 Berat Jenis Tanah (<i>Spesific Gravity</i>).....	16
Tabel 2.4 Tingkat Plastisitas Tanah Menurut Atterberg.....	20
Tabel 4.1 Nilai Batas-Batas Atterberg.....	40
Tabel 4.2 Persentase Lolos Saringan Agregat Kelas B.....	42
Tabel 4.3 Komposisi Uji Abrasi Metode A.....	44
Tabel 4.4 Hasil Uji Abrasi Metode A.....	44
Tabel 4.5 Komposisi Uji Abrasi Metode F.....	45
Tabel 4.6 Hasil Uji Abrasi Metode F.....	45
Tabel 4.7 Nilai Rata-Rata Kadar Air.....	46
Tabel 4.8 Nilai Berat Jenis.....	46
Tabel 4.9 Nilai Pemadatan Agregat Kelas B.....	48
Tabel 4.10 Nilai <i>California Bearing Ratio</i>	49

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Lapis pondasi jalan merupakan lapisan perkerasan yang tersusun atas material batu-batu dan pasir yang menggunakan atau tanpa bahan pengikat yang terletak diantara lapis permukaan dan tanah dasar. Ada banyak jenis material yang digunakan untuk pondasi jalan, salah satunya dengan menggunakan lapis granular kelas B, yaitu lapis pondasi jalan yang berupa agregat dengan susunan ukuran butiran tertentu dengan agregat halus sebagai bahan ikat.

Dalam lapis pondasi agregat diperlukan material lapis pondasi yang dapat mengikat agregat yang memiliki nilai daya dukung tinggi sehingga bahan agregat tidak mudah terlepas dan membuat menurunnya daya dukung lapis agregat. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu alternatif yang sering dilaksanakan adalah metode stabilisasi. Dalam metode stabilisasi, tanah merupakan salah satu alternatif material yang digunakan sebagai material lapis pondasi agregat.

Tanah merah adalah tanah yang unik, tanah merah ini pada dasarnya hampir sama dengan tanah-tanah yang ada, salah satu faktor yang membedakan tanah ini dengan tanah yang lain yaitu warnanya yang merah kecoklatan sesuai dengan nama dari tanah tersebut. Tanah merah ini termasuk tanah lempung berlanau dengan plastisitas yang sedang dan tergolong tanah kohesif. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (Warsiti, 2020).

Tanah merah dapat digunakan sebagai bahan campuran lapis pondasi agregat kelas B apabila tanah merah tersebut memiliki nilai Indeks Plastisitas sebesar 4 - 10%. Dan jika tanah merah memiliki nilai $IP > 10\%$, maka untuk menurunkan nilai IP tanah merah perlu adanya perlakuan tanah, salah satu cara untuk memperbaiki tanah adalah dengan metode stabilisasi tanah. Ada beberapa cara stabilisasi tanah yang dapat dilakukan salah satunya adalah penambahan kapur. Alasan dipilihnya kapur sebagai bahan kimiawi yang digunakan, karena kapur merupakan bahan yang terbilang terjangkau harganya dan mudah didapatkan serta campuran tanah dengan kapur mempunyai kenaikan kekuatan waktu yang lebih panjang sehingga mengurangi resiko dalam stabilisasi tanah karena penundaan pekerjaan di lapangan.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penggunaan tanah merah terstabilisasi kapur sebagai bahan pengikat lapis pondasi agregat kelas B untuk meningkatkan daya dukung (*California Bearing Ratio*) pada lapis pondasi agregat kelas B.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menganalisis nilai stabilisasi tanah merah dengan penambahan kapur pada nilai Indeks Plastisitas.
2. Bagaimana pengaruh daya pengikat tanah merah yang terstabilisasi oleh kapur terhadap material granular agregat kelas B.
3. Bagaimana perbandingan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) lapis pondasi agregat kelas B dengan tanah merah terstabilisasi kapur dan tanpa tanah merah.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini :

1. Penelitian ini hanya berdasarkan kajian laboratorium.
2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung dan Laboratorium Inti Jalan Raya Universitas Lampung.
3. Material agregat yang akan digunakan dipilih sesuai persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk pekerjaan Lapis Pondasi Agregat Kelas B.
4. Tanah yang digunakan adalah tanah merah sebagai bahan pengikat untuk lapis pondasi agregat kelas B.
5. Kapur yang digunakan adalah kapur padam sebagai bahan untuk menstabilkan tanah merah.
6. Penambahan kapur 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat tanah kering, untuk proses stabilisasi tanah merah.
7. Pengujian sifat fisik tanah merah yang dilakukan :
 - a. Kadar Air
 - b. Berat Jenis
 - c. Batas *Atterberg* :
 - Batas Cair (*Liquid Limit*)
 - Batas Plastis (*Plastic Limit*)
 - Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)
8. Pengujian kapur yang dilakukan :
 - a. Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)
 - b. Uji Kadar Air
9. Pengujian lapis pondasi agregat kelas B yang dilakukan :
 - a. Analisa Saringan
 - b. Pemadatan Lapis Pondasi Agregat (*Modified Proctor*)
 - c. CBR (*California Bearing Ratio*)

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh dari tanah merah terstabilisasi kapur sebagai bahan pengikat agregat terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dengan komposisi agregat kelas B.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang pemanfaatan tanah merah dan kapur sebagai bahan alternatif untuk bahan pengikat lapis pondasi agregat kelas B.
2. Untuk memberikan pemahaman tentang pengaruh penambahan tanah merah dan kapur sebagai bahan pengikat lapis pondasi agregat kelas B.
3. Untuk memberikan tentang perbandingan nilai California Bearing Ratio (CBR) lapis pondasi agregat kelas B dengan campuran tanah merah terstabilisasi kapur dan tanpa tanah merah.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini menggunakan sistematika penulisan yaitu sebagai berikut:

I. Pendahuluan

Pada bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

II. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan pembahasan dari teori-teori dan rumus-rumus berdasarkan jurnal penelitian sebelumnya yang digunakan untuk menunjang penelitian dan diperoleh dari berbagai sumber.

III. Metodologi Penelitian

Bab ini akan menjelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data.

IV. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian yang dilakukan mencakup hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan data berdasarkan hasil yang diperoleh dan teori yang ada.

V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini akan berisi kesimpulan dan saran yang diambil dari penelitian ini. Pada akhir penulisan skripsi ini akan dilampirkan daftar pustaka sebagai referensi penunjang yang digunakan dan lampiran yang berisikan data–data penunjang dalam proses pengolahan data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapis Pondasi

Lapis pondasi merupakan bagian perkerasan jalan raya yang terletak antara lapis permukaan jalan dan tanah dasar dimana salah satu fungsi utamanya pada perkerasan lentur adalah untuk menyebarkan beban kendaraan agar tegangan yang sampai ke tanah dasar tidak melampaui tegangan yang dapat menimbulkan deformasi berlebih. Pada perkerasan kaku, fungsi utama lapis pondasi adalah untuk mencegah pemompaan (Dinas Bina Marga, 2006).

Terdapat tiga kelas lapis pondasi agregat, yaitu (Purba, 2015) :

1. Lapis Pondasi Agregat Kelas A

Lapis Pondasi Agregat kelas A umumnya disebut juga Lapis Pondasi Atas (Base Course). Karena terletak tepat di bawah permukaan perkerasan, maka lapisan ini menerima pembebanan yang berat dan untuk mencegah terjadinya keruntuhan akibat tegangan yang terjadi langsung di bawah permukaan, lapis pondasi atas harus terdiri dari bahan bermutu tinggi. Apabila lapis pondasi atas terdiri atas agregat, maka agregat tersebut harus gradasi yang sesuai dengan gradasi yang dicantumkan dalam spesifikasi.

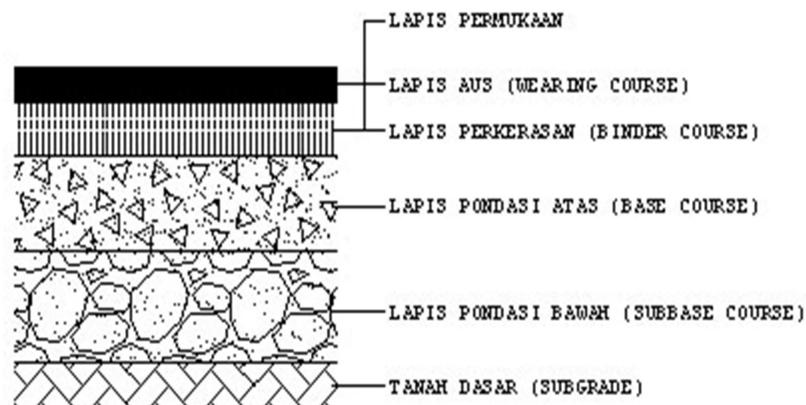
2. Lapis Pondasi Agregat Kelas B

Lapis Pondasi Agregat kelas B umumnya disebut juga Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*). Pondasi bawah atau *subbase* terletak antara *base* dan *subgrade*. Karena letaknya dibawah *base* maka syarat-syaratnya agak longgar dari syarat-syarat untuk *base*. Syarat untuk *subbase* prinsipnya sama dengan untuk *base*, hanya butir-butir batuan tidak

diharuskan dari batuan pecah. Untuk menghemat biaya sedapat mungkin agar dipergunakan batuan-batuan alam/asli (tidak perlu diproses lebih dahulu).

3. Lapis Pondasi Agregat Kelas S

Lapis pondasi Agregat Kelas S digunakan pada bahu jalan tanpa penutup aspal tebal padat 15 cm, dengan kondisi elevasi permukaan dan kemiringan melintang mengacu pada Spesifikasi Teknik. Bahan Material Klas S terdiri dari fraksi Agregat Kasar (tertahan saringan No. 4), dan Faraksi Agregat Halus (lolos saringan No. 4) dengan rentang komposisi dan syarat spesifikasi bahan yang diatur dalam Spesifikasi Teknik.



Gambar 2.1 Lapis Pondasi Agregat

2.2 Lapis Pondasi Agregat Kelas B

Lapis pondasi bawah (*subbase course*) terdiri dari agregat kasar dan agregat halus dengan atau tanpa *clay*. Penggunaan lapis pondasi bawah adalah untuk membentuk lapisan perkerasan yang relatif cukup tebal tapi dengan biaya yang lebih murah. Umumnya penentuan persyaratan kepadatan dan kadar air ditentukan dari hasil-hasil uji laboratorium atau lapangan (Santoso, 2010).

Fungsi dari lapis pondasi bawah adalah :

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ketanah dasar. Lapisan ini harus cukup kuat, mempunyai $\text{CBR} \geq 60\%$ dan Plastis Indeks (PI) $\leq 10\%$ (berdasarkan spesifikasi Bina Marga tahun 2018).
2. Efisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah relatif murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.
3. Mengurangi tebal lapisan di atas yang lebih mahal.
4. Lapis peresapan, agar air tanah tidak terkumpul dipondasi.
5. Lapisan pertama, agar pekerjaan dapat bekerja lancar. Hal ini sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda-roda alat berat.
6. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik kelapisan pondasi atas.

Pelaksanaan pekerjaan lapis pondasi agregat harus dikerjakan menurut persyaratan yang dibuat oleh Direktorat Bina Marga Kementerian Umum. Adapun Spesifikasi Umum Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2018 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Gradasi Lapis Pondasi Agregat Kelas B

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos
ASTM	(mm)	Kelas B
2"	50	100
1 ½"	37,5	88 – 95
1"	25,0	70 – 85

Tabel 2.1 Lanjutan

3/8"	9,50	30 – 65
No. 4	4,75	25 – 55
No. 10	2,0	15 – 40
No. 40	0,425	8 – 20
No. 200	0,075	2 – 8

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Tabel 2.2 Sifat-Sifat Lapis Pondasi Agregat Kelas B

Sifat – sifat	Kelas B
Abrasi dan Agregat Kasar (SNI 2417 : 2008)	0 - 40%
Butiran pecah, tertahan ayakan 3/8" (SNI 7619 : 2012)	55/50
Batas Cair (SNI 1967 : 2008)	0 – 35%
Indek Plastisitas (SNI 1966 : 2008)	4 – 10%
Gumpalan Lempung dan Butiran – Butiran Mudah Pecah (SNI 03-4141-1996)	0 – 5%
CBR Rendaman (SNI 1744 : 2012)	Min. 60%
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No. 200 dan No. 40	Maks. 2/3

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

2.3 Agregat

Agregat merupakan material yang digunakan sebagai bahan campuran, yang berupa berbagai jenis butiran atau pecahan yang termasuk didalamnya seperti: pasir, kerikil, agregat pecah, abu atau debu batu. Untuk memilih suatu jenis agregat sebagai bahan lapis pondasi tergantung pada tersedianya bahan setempat dan mutu bahan, tetapi dapat atau tidaknya suatu agregat digunakan sebagai material lapis pondasi ditentukan dari hasil uji laboratorium (Yully, 2010).

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu dalam merencanakan suatu lapis pondasi jalan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemeriksaan yang teliti terhadap sifat-sifat agregat sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material lapis pondasi.

Agregat memiliki sifat keras dan padat. Sifat dan kualitas agregat merupakan salah satu faktor penentu dalam merencanakan suatu lapis pondasi. Oleh karena itu perlu pemeriksaan yang teliti sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material lapis pondasi. Sifat-sifat agregat yang menentukan kualitasnya adalah:

- a. Gradasi Agregat
- b. Daya Tahan Agregat
- c. Bentuk dan Tekstur Agregat
- d. Berat Jenis

Berikut persyaratan agregat serta rumus-rumus yang akan digunakan pada penelitian ini :

2.3.1 Abrasi

Abrasi atau keausan agregat adalah proses penghacuran atau pecahnya agregat dalam hal ini agregat kasar akibat proses mekanis seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan pembuatan jalan (penimbunan, penghampanan, pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu lintas dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembaban, kepanasan, dan perubahan suhu sepanjang hari. Nilai abrasi adalah nilai yang menunjukkan daya tahan agregat kasar terhadap penghancuran (degradasi) akibat dari beban mekanis. Nilai abrasi ditentukan dengan melakukan percobaan abrasi (*Abration Los Angeles Test*) di laboratorium dengan menggunakan alat abrasi Los Angeles. Pemeriksaan nilai abrasi dilakukan sesuai dengan SNI-03-2417-2008 atau AASHTO T 96-74.

Untuk menghitung hasil pengujian, menggunakan rumus :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

a = Benda uji semula (gram)

b = Benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (gram)

2.3.2 Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

Untuk menghitung hasil pengujian, menggunakan rumus :

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

W_w = Berat air yang terkandung dalam agregat (gram)

W_s = Berat agregat dalam keadaan kering (gram)

2.3.3 Berat Jenis Agregat

Berat jenis (*specific gravity*) adalah perbandingan berat dari suatu volume bahan pada suatu temperatur terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tersebut. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat karena umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori.

Berikut rumus-rumus dari berat jenis yang digunakan :

- **Berat Jenis Kering Oven (*Bulk Specific Gravity*)**

Berat jenis kering oven (*Bulk specific gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat kering dan seluruh volume agregat. perhitungan berat jenis kering oven (S_d), pada temperature air 23°C dengan rumus berikut ini:

$$(S_d) = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

S_d = Berat jenis kering oven (gram)

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji kondisi SSD (gram)

B_a = Berat benda uji dalam air (gram)

- **Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface Dry*)**

Berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan dan seluruh volume agregat. Perhitungan berat jenis kering permukaan (S_s), pada temperatur air 23°C dengan rumus berikut ini:

$$(S_s) = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

S_s = Berat jenis kering permukaan jenuh

B_j = Berat benda uji kondisi SSD (gram)

B_a = Berat benda uji dalam air (gram)

- **Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)**

Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat yang tidak dapat diresapi oleh air. Perhitungan berat jenis semu (S_a) pada temperature 23°C dengan rumus berikut:

$$(S_a) = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

S_a = Berat jenis semu

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_a = Berat benda uji dalam air (gram)

- **Penyerapan Air**

Penyerapan merupakan persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Persen-tase penyerapan air (S_w) dengan rumus berikut:

$$(S_w) = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

S_w = Penyerapan air (%)

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji kondisi SSD (gram)

2.4 Tanah Merah

Tanah merah (laterit) ini pada dasarnya hampir sama dengan tanah-tanah yang ada, salah satu faktor yang membedakan tanah ini dengan tanah lain yaitu warnanya yang merah kecoklatan sesuai dengan nama dari tanah tersebut. Warna merah pada tanah disebabkan oleh kandungan mineral oksida besi. Walaupun konsentrasinya hanya kecil, keberadaan oksida besi dalam tanah dapat mempengaruhi warna tanah (Warsiti, 2020).

Berikut sifat-sifat dari tanah merah :

1. Mengandung mineral lempung yaitu *Halloysite*.
2. Mudah menyerap air menyebabkan tanah ini sangat cocok dimanfaatkan sebagai bahan campuran untuk membuat berbagai bangunan seperti konstruksi jalan, rumah dan gedung.
3. Tekstur tanah yang kokoh dan padat dapat menopang bangunan yang ada di atasnya dengan baik.
4. Memiliki kandungan bahan organik yang sedang dan juga memiliki pH atau tingkat keasaman netral.

Hasil dari pengujian sebelumnya tanah merah ini termasuk tanah lempung berlanau dengan plastisitas yang sedang dan tergolong tanah kohesif. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (Warsiti, 2020).

Berikut persyaratan tanah merah serta rumus-rumus yang akan digunakan pada penelitian ini :

2.4.1 Kadar Air Tanah

Kadar air (w) adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) dalam tanah tanah tersebut, dinyatakan dalam persen. (Hardiyatmo, 2002)

Kadar air sangat mempengaruhi perilaku tanah khususnya proses pengembangannya. Lempung dengan kadar air rendah memiliki potensi pengembangannya yang lebih tinggi dibandingkan dengan lempung berkadar air tinggi (Supriyono). Bila kadar air tanah rendah, tanah tersebut sukar dipadatkan, jika kadar air dinaikkan dengan menambah air, air tersebut seolah-olah sebagai pelumas antara butiran tanah sehingga mudah dipadatkan tetapi bila kadar air terlalu tinggi kepadatannya akan menurun.

Rumus Persamaan Kadar Air :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

w = Kadar Air (%)

W_w = Berat Air (gram)

W_s = Berat Butiran Padat (gram)

2.4.2 Berat Jenis Tanah

Berat jenis atau berat spesifik (*specific gravity*) tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s), dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4° C. (Hardiyatmo, 2002)

Rumus persamaan berat jenis :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana :

G_s = Berat jenis

γ_s = Berat volume butiran padat (gr/cm^3)

$$\gamma_w = \text{Berat volume air (gr/cm}^3\text{)}$$

Tabel 2.3 Berat Jenis Tanah (*specific gravity*)

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organic	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

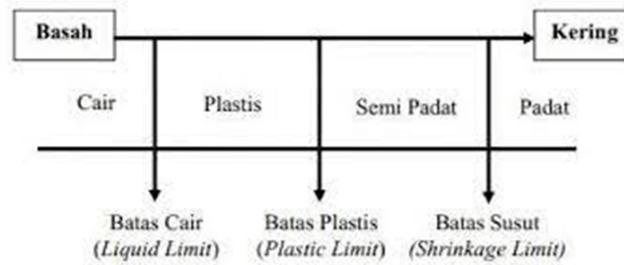
(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

2.4.3 Batas - Batas Atterberg

Konsistensi (*consistency*) tanah lempung (*clays*) berubah seiring dengan perubahan kadar airnya. Tanah lempung akan menjadi lebih lunak bila kadar airnya meningkat dan sebaliknya akan mengeras bila kadar airnya berkurang.

Pada volume butiran tanah (*solid*) yang konstan, bila kadar air di dalam tanah lempung tersebut relatif besar, maka tanah lempung menjadi lumpur (*slurry*) yang bersifat seperti cairan yang kental (*viscous liquid*), dan kondisi ini disebut fase cair (*liquid state*). Sebaliknya bila kadar air di dalam tanah lempung dibiarkan menguap sedikit demi sedikit, maka tanah lempung mulai mengeras dan mempunyai kemampuan untuk menahan perubahan bentuk. Kondisi ini dinamakan dinamakan fase plastis (*plastic state*). Jika kadar air dibiarkan menguap lebih lanjut, maka tanah lempung mengalami penyusutan (*shrink*), kaku (*stiff*), dan mudah retak (*brittle*). (Setyo, 2011)

Cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah (Atterberg). Kedudukan tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*).



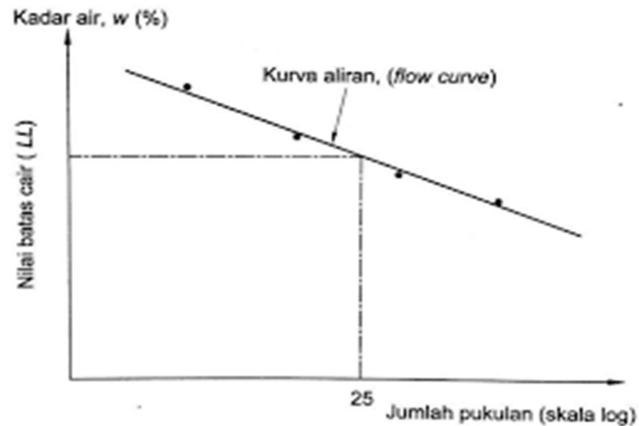
Gambar 2.2 Batas-Batas Atterberg.

2.4.3.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

Batas cair biasanya ditentukan dari pengujian *Casagrande*. Contoh tanah dimasukkan dalam cawan. Tinggi contoh tanah dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat di tengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan diketuk-ketukkan pada landasannya dengan tinggi jatuh 1 cm.

Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup pada 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dan dengan jumlah pukulan yang berkisar antara 15 sampai 35. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan, digambarkan dalam grafik semi logaritmis untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulannya.



Gambar 2.3 Kurva Penentuan Batas Cair Tanah Lempung.

Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*) dan dinyatakan dalam persamaan.

$$I_f = \frac{W_1 - W_2}{\text{Log}\left(\frac{N_2}{N_1}\right)} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

I_f = Indeks aliran

W_1 = Kadar air (%) pada N_1 pukulan

W_2 = Kadar air (%) pada N_2 pukulan

Dari semua uji batas cair, Waterways Experiment Station di Vicksburg, Mississippi, mengusulkan persamaan batas cair :

$$LL = W_N \left(\frac{N}{25}\right)^{tg \beta} \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana :

N = Jumlah pukulan, untuk menutup celah 0,5 in (12,7 mm)

W_N = Kadar air (%)

$\text{tg } \beta = 0,121$ (tapi $\text{tg } \beta$ tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

2.4.3.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air yang untuk nilai-nilai dibawahnya, tanah tidak lagi berpengaruh sebagai bahan yang plastis. Tanah akan bersifat sebagai bahan yang plastis dalam kadar air yang berkisar antara LL dan PL. Kisaran ini disebut indeks plastisitas. (Hardiyatmo, 2002).

Secara definitif, nilai PL ditentukan berdasarkan kondisi kadar air tertentu di mana tanah yang digulung dengan 3 mm mulai mengalami retak (Widjaja, 2014).

2.4.3.3 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas biasanya dipakai sebagai salah satu syarat untuk pemeriksaan sampel yang akan dipakai sebagai bahan pembuatan jalan raya. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk, yaitu kekuatannya rendah dan kompresibilitasnya tinggi serta sulit untuk memadatkannya, seperti untuk pembuatan jalan. Index plastisitas bisa diketahui dengan menggunakan pengujian batas-batas *Atterberg*.

Index Plastisitas merupakan interval kadar air, yaitu tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisitan tanah. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah

plastis besar disebut tanah gemuk. Nilai indeks plastisitas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana:

PI = Index Plastisitas (%)

LL = Batas Cair (%)

PL = Batas Plastis (%)

Tabel 2.4 Tingkat Plastisitas Tanah menurut Atterberg

Indeks Plastisitas	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif
			Sebagian
7 – 17	Plastisitas Sedang	Lanau Berlempung	Kohesif
> 17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

2.5 Stabilisasi Tanah Merah – Kapur

Stabilisasi tanah disebut dengan perbaikan tanah dibidang rekayasa teknik sipil. Stabilisasi dapat dilaksanakan dengan menambah sesuatu bahan atau komposit tertentu untuk menambah kekuatan pada tanah. Stabilisasi tanah dilakukan untuk mengubah sifat-sifat tanah dari material yang ada dan kurang baik menjadi material yang memiliki sifat yang lebih baik sehingga stabilisasi tanah ini dapat memenuhi kebutuhan sehingga perencanaan yang diinginkan dapat terlaksana dan sesuai dengan perencanaan suatu bangunan.

Jenis Stabilizer yang digunakan tergantung pada jenis tanah dan tujuan dari stabilisasi itu sendiri. Beberapa pertimbangan teknis yang perlu diperhatikan untuk memilih stabilizer yang cocok antara lain adalah jenis bahan apa yang akan distabilisasi, kekuatan dan tujuan yang ingin dicapai serta kondisi lingkungan dimana proses stabilisasi itu akan dilaksanakan.

Metode stabilisasi 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, sedangkan stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia seperti semen, kapur atau *pozzolan*. (Harneini, 2007). Dalam penelitian ini digunakan metode stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan kapur.

Kapur memiliki sifat sebagai bahan ikat yaitu sifat plastis baik (tidak getas), mudah dan cepat mengeras, *workability* baik dan mempunyai daya ikat baik untuk batu dan bata (Tjokrodinuljo). Kapur merupakan salah satu material yang sering digunakan dalam proyek konstruksi jalan. Kapur mengandung ion-ion Ca, Mg dan sebagian kecil Na. Adanya tambahan kation Ca, Mg dan Na menyebabkan bertambahnya ikatan antara partikel-partikel mineral lempung.

Hasil uji batas konsistensi (*Atterberg Limits*) campuran tanah dengan penambahan kapur dibandingkan tanah asli menunjukkan bahwa batas cair (LL) dan batas plastis (PL) mengalami penurunan dikarenakan terjadi pengikatan antara kapur dengan butiran tanah yang mengakibatkan butiran

tanah lempung mengikat saat uji batas cair dan batas plastis, yang berarti Indeks Plastisnya (PI) cenderung menurun. (Riwayati, 2018)

SNI 03-4147-1996 membagi tipe kapur menjadi empat macam:

- a) Kapur tipe I, yaitu kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi; dengan kadar magnesium oksida (MgO) paling tinggi 4%
- b) Kapur tipe II, yaitu kapur magnesium atau dolomite yang mengandung magnesium oksida lebih dari 4% dan maksimum 36% berat
- c) Kapur tohor (CaO), yaitu hasil pembakaran batu kapur pada suhu ± 900 F, dengan komposisi sebagian besar kalsium karbonat (CaCO₃).
- d) Kapur padam, yaitu kapur dari hasil pepadaman kapur tohor dengan air, sehingga terbentuk hidrat Ca(OH)₂

Bahan dasar kapur adalah batu kapur atau *dolomit*, yang mengandung senyawa kalsium karbonat (CaCO₃). Pengertian kapur sebagai bahan stabilisasi mengacu pada mineral kapur berupa kalsium hidroksida (Ca(OH)₂), kalsium oksida (CaO) dan kalsium karbonat (CaCO₃).

Penggunaan yang paling efektif dan aman dalam pelaksanaan konstruksi adalah menggunakan kalsium hidroksida (kapur padam) yang disarankan berupa bubuk, karena sangat penting untuk proses hidrasi dan mengurangi masalah yang timbul, kalsium karbonat kurang efektif dipergunakan untuk bahan campuran, sedangkan kalsium oksida (*quick lime*) lebih baik dalam proses kimianya namun beberapa kelemahan dari kalsium oksida ini dapat mempermudah terjadinya korosi pada peralatan dan sangat berbahaya bagi kulit pelaksana konstruksi (Ingless).

Berdasarkan penjelasan diatas maka kapur yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kapur padam/kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) yang berbentuk bubuk. Kapur padam, yaitu kapur dari hasil pepadaman kapur tohor dengan air, sehingga terbentuk hidrat Ca(OH)₂ (SNI 03-4147-1996).

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul Stabilisasi Tanah dengan Variasi Penambahan Kapur dan Waktu Pemeraman, dengan menggunakan tanah lempung didapat nilai LL sebesar 66,08%, nilai PL sebesar 32,84%, dan nilai PI sebesar 33,96%. Hasil penelitian setelah menggunakan penambahan kapur sebesar 15% dari berat total sampel didapatkan nilai LL sebesar 50,07%, nilai PL sebesar 38,05%, dan nilai PI sebesar 9,67% (Soehardi, 2017).

Untuk menentukan variasi campuran tanah merah dan kapur perlu dilakukan pengujian batas-batas atterberg untuk mengetahui nilai indeks plastisitas di dalam tanah merah dan setelah distabilisasi kapur. Variasi yang akan digunakan adalah variasi yang memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 yaitu sebesar 4% - 10%.

2.6 Pemadatan

Pemadatan tanah adalah suatu usaha secara mekanik yang bertujuan agar butir-butir tanah merapat, volume tanah akan mengurang, dan volume pori berkurang. Akan tetapi volume butir tidak berubah, dilakukan dengan cara menggilas atau menumbuk (Santoso).

Pemadatan (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara dan tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah ini. Umumnya, makin tinggi derajat pemadatan, makin tinggi pula kekuatan geser dan makin rendah kompresibilitas tanah (Craig).

Ada dua jenis pemadatan di Laboratorium yang bisa dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat kering maksimum. Percobaan ini disebut "*Standart Compaction Test*" dan "*Modified Compaction Test*".

1. Pemadatan Standar (*Standard Compaction Test*). Dalam percobaan ini tanah dipadatkan dalam suatu mold yang isinya 1/30 ft³, diameter mold 4

inch, tinggi 4,58 inch dengan menggunakan alat penumbuk seberat 5,5 pound yang dijatuhkan dengan ketinggian 12 inch. Cetakan isi dengan lapisan, dipadatkan dengan 25 pukulan dari alat penumbuk. Percobaan ini dilakukan sebanyak 3 lapisan.

2. Pemadatan Modifikasi (*Modified Compaction Test*). Cara melakukan percobaan ini tidak banyak berbeda dengan cara sebelumnya. Bedanya hanya pada penumbuk yang digunakan, berat penumbuknya 10 pound dan tinggi jatuh 18 inch. Juga disini tanah dipadatkan dalam 5 lapisan, bukan 3 lapisan seperti pada percobaan Pemadatan Standar. Namun dalam penelitian di Laboratorium ini menggunakan Pemadatan Modifikasi (*Modified Compaction Test*).

2.7 CBR (*California Bearing Ratio*)

Tes CBR (*California Bearing Ratio*) dikembangkan oleh *California Division of Highway*, sebagai suatu cara untuk menilai kekuatan tanah *subgrade* atau material *base course* untuk keperluan konstruksi jalan raya. Nilai CBR yang didapat digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Nilai CBR adalah nilai perbandingan antara beban yang digunakan suatu piston penetrasi untuk menetrasi ke dalam tanah atau suatu lapisan bahan, yang selanjutnya disebut beban penetrasi. Nilai CBR juga didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dan dinyatakan dalam prosentase. Tujuan dari percobaan CBR adalah untuk menentukan daya dukung tanah dalam kepadatan maksimum.

Nilai CBR yang digunakan dan dilaporkan adalah nilai penetrasi 0,1". Apabila dalam pemeriksaan ternyata nilai CBR untuk penetrasi 0,2" lebih besar dari nilai untuk 0,1", maka percobaan harus diulang. Dan ternyata pada percobaan ulang ini, nilai CBR untuk 0,2" tetap lebih besar dari 0,1", maka nilai CBR yang dipakai adalah nilai untuk 0,2". (Warsiti, 2020).

Rumus perhitungan dalam penentuan nilai CBR adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi } 0,1'' = \frac{A}{3000} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.12$$

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi } 0,2'' = \frac{B}{4500} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.13$$

Dimana:

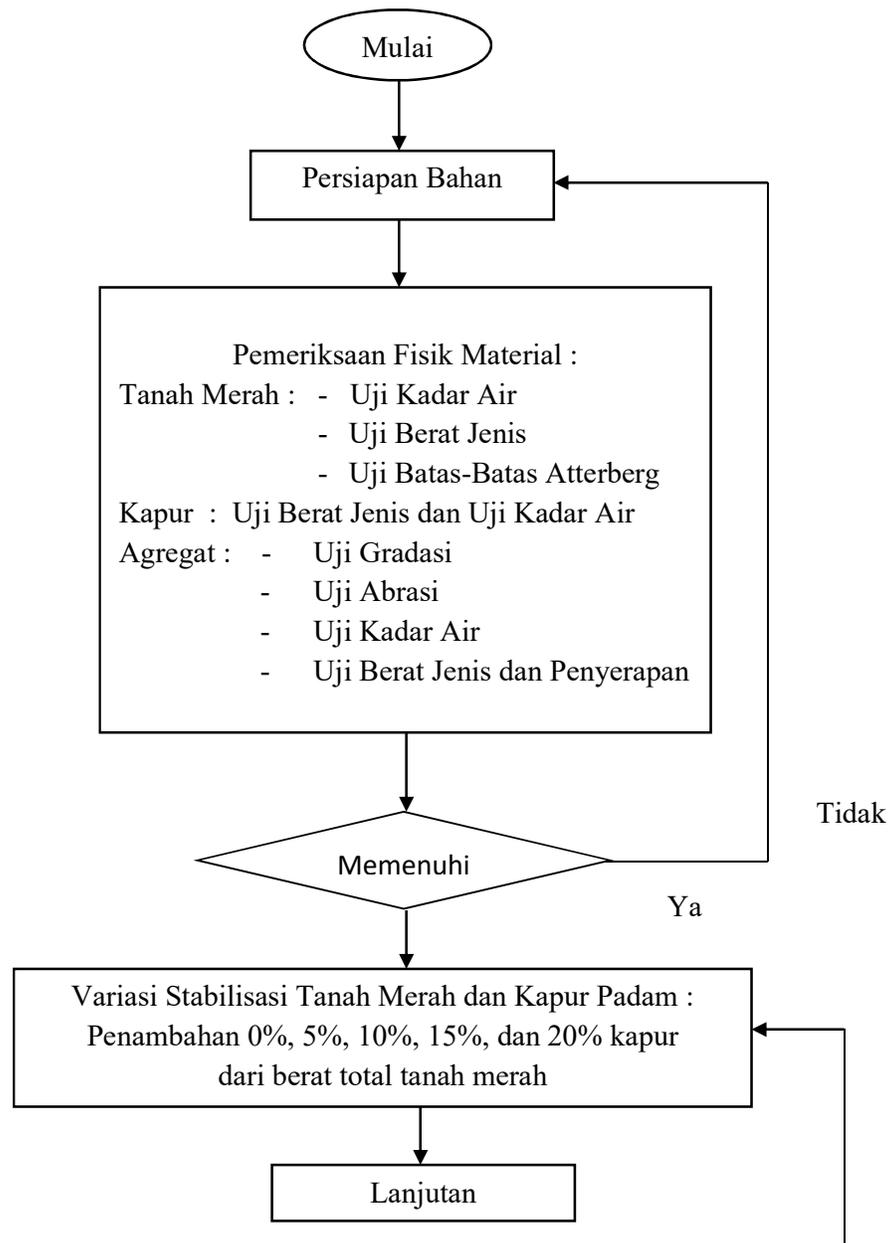
A = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1''

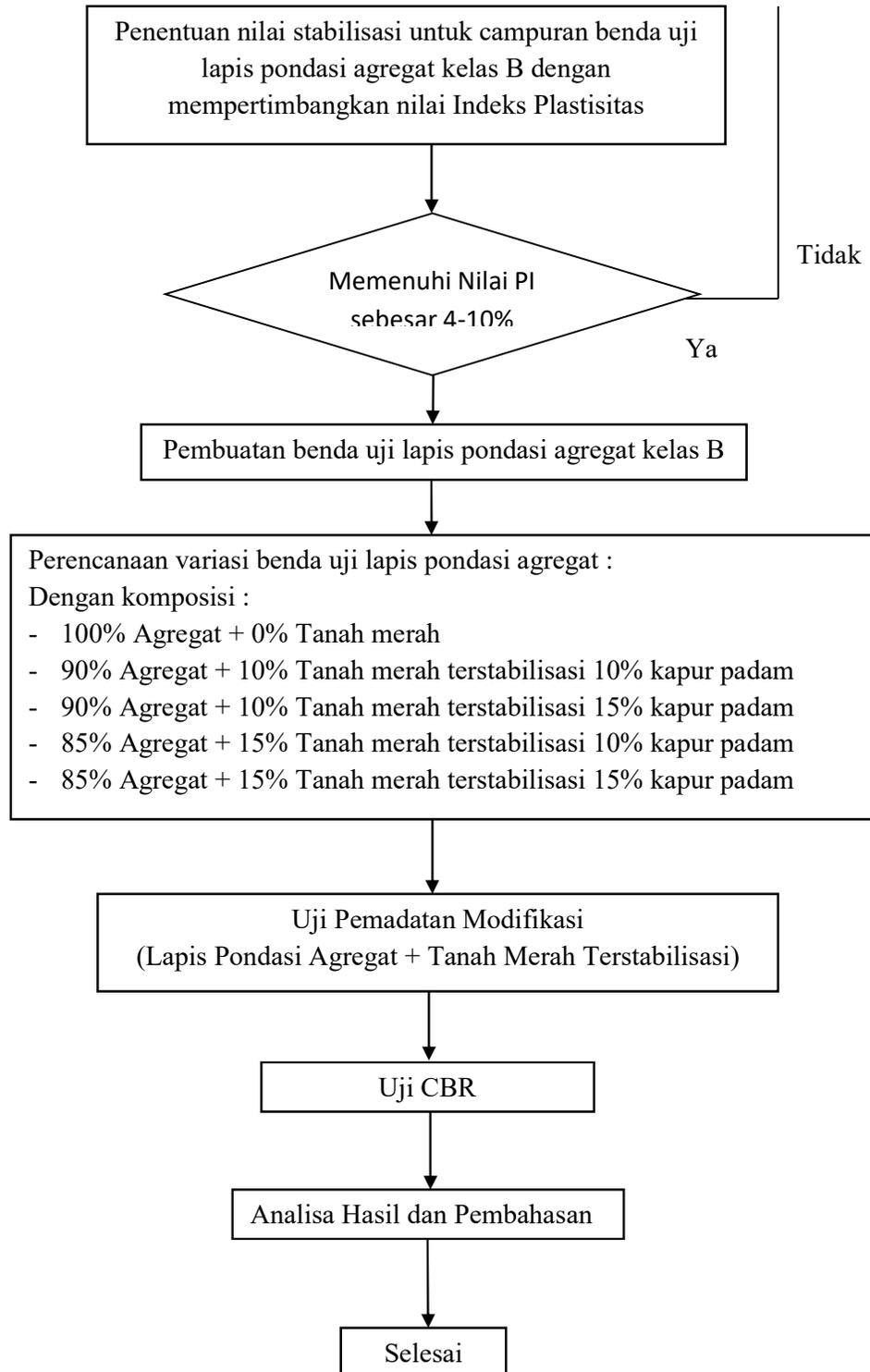
B = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2''

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR. Berikut ini adalah tabel nilai CBR yang menjadi acuan dalam pengujian CBR.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian diperlukan suatu tahapan grafik untuk membantu dalam pelaksanaan pekerjaan, yang biasa disebut dengan *flowchart* penelitian. *Flowchart* penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya Universitas Lampung dan Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung.



Gambar 3.2 Laboratorium Mekanika Tanah dan Inti Jalan Raya Unila

3.3 Penyiapan Material

Material yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Jenis agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang lolos saringan diameter 37,5 mm dan tertahan di saringan No. 4 (berdiameter 4,75 mm). Agregat yang digunakan berasal dari Laboratorium Inti Jalan Raya Universitas Lampung.



Gambar 3.3 Agregat Kasar

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berupa agregat yang merupakan hasil ayakan saringan No. 4 (berdiameter 4,75 mm) hingga lolos di saringan No. 200. Agregat yang digunakan berasal dari Laboratorium Inti Jalan Raya Universitas Lampung.



Gambar 3.4 Agregat Halus

3. Tanah Merah

Tanah merah yang digunakan merupakan tanah yang digunakan untuk pembuatan batu bata merah, Tanah merah ini berasal dari Desa Gunung Langgar, Jl. Pulau Singkep, Kecamatan Sabah Balau, Kabupaten Lampung Selatan. Harga dari tanah merah ini adalah berkisar Rp. 300.000 untuk muatan 1 mobil pik up. Setelah sampai di Laboratorium

Inti Jalan Raya Unila, tanah merah ini kemudian dikeringkan untuk mengurangi nilai kadar air-nya.



Gambar 3.5 Tanah Merah

4. Bahan stabilisasi tanah yang digunakan merupakan kapur padam, yaitu kapur dari hasil pemadaman kapur tohor dengan air, sehingga terbentuk hidrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Harga kapur padam ini berkisar Rp. 10.000 per kg.



Gambar 3.6 Kapur Padam

3.4 Pengujian Material

Sebelum membuat benda uji material yang akan digunakan dalam penelitian harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik dan sifat material apakah memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan atau tidak.

3.4.1 Agregat

Agregat yang akan digunakan untuk lapis pondasi agregat kelas B harus bermutu tinggi, dengan spesifikasi sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga tahun 2018 tentang Lapis Pondasi Agregat. Agregat yang digunakan berupa agregat kasar dan agregat halus dengan ukuran agregat 3 – 5 cm, 2 - 3 cm, 1 - 2 cm, Screening (1-1 cm) dan Abu Batu. Sebelum agregat digunakan, dilakukan pengujian *properties*.

1. Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan. Acuan yang digunakan untuk gradasi agregat kelas B adalah Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018. Untuk nilai gradasi agregat kelas B terdapat pada tabel 2.1.

2. Abrasi

Pengujian abrasi dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus tertahan saringan No. 12 terhadap berat semula, dalam persen. Acuan yang digunakan untuk pemeriksaan ini adalah SNI 2417 - 2008. Untuk nilai abrasi (keausan agregat) yang digunakan untuk lapis pondasi agregat kelas B adalah sebesar 0 - 40% berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018.

3. Kadar air

Pengujian kadar air dimaksudkan untuk mengetahui nilai kadar air yang terkandung dalam agregat yang akan digunakan untuk lapis pondasi agregat kelas B. Acuan yang digunakan pada pengujian ini adalah SNI 03 – 1971 - 1990

4. Berat jenis dan penyerapan air

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai berat jenis, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan air dari agregat yang akan digunakan untuk lapis pondasi agregat kelas B. Acuan yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI 1969 - 2008 untuk agregat kasar dan SNI 1970 - 2016 untuk agregat halus.

3.4.2 Tanah Merah

Sebelum tanah merah dijadikan sebagai bahan pengikat lapis pondasi perlu adanya dilakukan pengujian *properties* tanah merah. Pengujian yang akan dilakukan dilaboratorium adalah pengujian sifat fisik tanah lempung. Pengujian sifat fisik yang akan dilakukan pada penelitian, yakni sebagai berikut ini.

1. Analisa Saringan (*Sieve Analysis Test*)

Pengujian analisa saringan dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir gradasi tanah merah dengan menggunakan saringan. Acuan yang digunakan untuk gradasi tanah merah adalah ASTM D 421 untuk prosedur pengujian dan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 untuk nilai persyaratan gradasi.

2. Kadar Air (*Moisture Content*)

Pengujian kadar air menggunakan dua buah sampel tanah merah, kemudian dari kedua sampel diperoleh nilai kadar air rata-rata. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air sampel tanah asli yang akan diuji. Pengujian berdasarkan ASTM D 2216-98.

3. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Pengujian berat jenis tanah dilakukan untuk menentukan kepadatan massa butiran atau partikel tanah yaitu perbandingan antara berat

butiran tanah dan berat air suling dengan volume yang sama pada temperature tertentu . Pengujian berdasarkan ASTM D 854-02.

4. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah dalam keadaan batas antara air dan plastis. Pengujian ini untuk mengetahui jenis dan sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan no 40. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-00.

5. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis (kadar air peralihan dari kondisi semi solid ke kondisi plastis). Penggunaan sampel pengujian sama dengan batas cair. Pengujian berdasarkan ASTM D 4318-00.

3.4.3 Kapur

Kapur padam digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah merah yang harus melalui tahapan penyaringan melalui saringan No. 200 sehingga menjadi serbuk yang dapat dicampur kedalam tanah merah agar proses stabilisasi tanah merah lebih efektif dan dilakukan pengujian kadar air yang mengacu pada ASTM D 2216-98.

3.5 Peralatan Penelitian

Berikut peralatan yang akan digunakan pada penelitian ini :

1. Satu Set Alat Saringan/Ayakan (*Sieve*)

Penggunaan alat saringan digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat menurut persyaratannya.

2. Alat Uji Pemeriksaan Tanah Merah

Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain alat batas cair *cassagrande* (uji batas *atterberg*), alat pengering yaitu oven, timbangan berat, dan alat uji untuk berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).

3. Alat Uji Pemeriksaan Agregat

Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), alat pengering yaitu oven, timbangan berat, dan alat uji untuk berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).

4. Alat Uji Pemeriksaan Lapis Pondasi Agregat

Peralatan yang digunakan untuk pengujian lapis pondasi agregat antara lain alat pemadat agregat dengan penumbuk seberat 10 pound, dan seperangkat alat untuk uji CBR (*California Bearing Ratio*).

5. Dan alat-alat penunjang lainnya seperti : sarung tangan, sendok semen, lap, dll.

3.6 Prosedur Penelitian

Berikut tahapan – tahapan pada pengujian penelitian ini:

1. Studi Literatur

Studi literatur digunakan sebagai referensi teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi ini didapatkan dari buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian.

2. Pengujian fisik tanah merah, yang meliputi uji analisis saringan, kadar air, berat jenis dan uji batas *atterberg*.
3. Penyaringan kapur dengan menggunakan saringan No.200 dan pengujian kadar air kapur

4. Pembuatan dan Pengujian Bahan Tanah Merah dan Kapur

Tanah merah yang belum sesuai standar nilai PI lapis pondasi agregat perlu adanya perlakuan stabilisasi tanah merah menggunakan kapur agar nilai PI tanah merah bisa sesuai standar Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018.

a. Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Tahap-tahap pembuatan benda uji :

- Melakukan pengujian batas *atterberg* pada tanah merah berdasarkan SNI 1967 – 2008 dan SNI 1966 - 2008.
- Melakukan penyaringan kapur dengan saringan No. 200
- Campur tanah merah yang sudah diuji dengan kapur yang sudah disaring. Dalam pembuatan benda uji tanah merah terstabilisasi kapur akan digunakan variasi :
 - 1) 0% penambahan kapur dari berat total tanah merah.
 - 2) 5% penambahan kapur dari berat total tanah merah.
 - 3) 10% penambahan kapur dari berat total tanah merah.
 - 4) 15% penambahan kapur dari berat total tanah merah.
 - 5) 20% penambahan kapur dari berat total tanah merah.

b. Pengujian Bahan Tanah Merah dan Kapur

Pengujian yang akan dilakukan untuk benda uji tanah merah terstabilisasi kapur adalah pengujian batas-batas *atterberg*, yaitu pengujian batas cair dan batas plastis.



Gambar 3.7 Pengujian Batas-batas Atterberg

5. Penentuan Nilai Stabilisasi Tanah Merah

Setelah benda uji diuji maka akan didapat nilai-nilai dari batas-batas atterberg yang akan digunakan sebagai bahan campuran lapis pondasi agregat, dan nilai dari batas-batas atterberg yang bisa digunakan sebagai bahan campuran adalah sebesar 0-35% batas cair dan 4-10% indeks plastisitas sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018. Variasi yang dipilih adalah variasi yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, apabila nilai batas Atterberg tanah merah tidak masuk standar maka digunakan metode stabilisasi dengan kapur agar nilai batas Atterberg tanah merah memenuhi nilai standar.

6. Pengujian fisik agregat, yang meliputi uji analisis saringan, abrasi, kadar air, berat jenis dan penyerapan air.

7. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Lapis Pondasi Agregat Kelas B

a. Pembuatan Benda Uji Lapis Pondasi Agregat Kelas B

Dalam pembuatan benda uji lapis pondasi agregat kelas B dan campuran tanah terstabilisasi kapur akan digunakan variasi :

- 1) 100% Agregat dan 0% Tanah merah terstabilisasi kapur terhadap berat total.

- 2) 90% Agregat dan 10% Tanah merah terstabilisasi 10% kapur terhadap berat total.
- 3) 90% Agregat dan 10% Tanah merah terstabilisasi 15% kapur terhadap berat total.
- 4) 85% Agregat dan 15% Tanah merah terstabilisasi 10% kapur terhadap berat total.
- 5) 85% Agregat dan 15% Tanah merah terstabilisasi 10% kapur terhadap berat total.

b. Pengujian Benda Uji Lapis Pondasi Agregat Kelas B

Terdapat dua pengujian yang akan dilakukan pada benda uji lapis pondasi agregat kelas B yaitu pengujian pemadatan dan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*).

1) Pemadatan

Pemadatan merupakan proses densifikasi dengan mengurangi rongga udara menggunakan peralatan mekanis. Derajat pemadatan diketahui dalam parameter pengukuran unit berat kering. Acuan pada pengujian pemadatan ini adalah Standar SNI 1743 – 2008.

Tahap-tahap uji pemadatan:

- Menyiapkan benda uji sesuai dengan tahapan no 7.a.
- Siapkan satu set alat uji pemadatan yang terdiri dari mould berdiameter 15 cm dan tinggi 12 cm, dan penumbuk dengan berat 10 pound dengan tinggi jatuh 18 inch.
- Kemudian hamparkan benda uji di atas alas yang lebar.
- Lalu bagi benda uji menjadi 5.
- Timbang mould dan alasnya.
- Masukkan benda uji yang sudah dibagi sebelumnya, lalu tumbuk sebanyak 55 kali untuk setiap lapisan.
- Setelah ditumbuk 5 lapisan ratakan benda uji.

- Timbang benda uji yang sudah diratakan serta mould dan alasnya.
- Ambil 2 sampel benda uji lalu timbang masing-masing sampel.
- Kemudian masukkan sampel ke oven selama 24 jam.
- Timbang kembali sampel yang sudah kering.



Gambar 3.8 Uji Pemadatan

2) *California Bearing Ratio (CBR)*

Pengujian CBR merupakan perbandingan antara beban penetrasi suatu jenis material dan beban standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Acuan yang digunakan pada uji CBR adalah SNI 1744 tahun 2012. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 nilai minimum dari pengujian CBR lapis pondasi agregat kelas B adalah sebesar 60%.



Gambar 3.9 Pengujian CBR

8. Analisis Hasil dan Pembahasan

Melakukan analisis perhitungan daya dukung lapis pondasi agregat kelas B menggunakan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). Dari keempat variasi campuran agregat dengan tanah merah terstabilisasi kapur tersebut akan memperlihatkan seberapa kuat tanah merah terstabilisasi kapur sebagai bahan pengikat untuk meningkatkan daya dukung lapis pondasi agregat kelas B. Sehingga mendapat hasil kesimpulan dan saran.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian batas-batas Atterberg yang dilakukan pada tanah merah dengan penambahan kapur sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, yang memenuhi persyaratan nilai indeks plastisitas sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 adalah penambahan 10% dan 15%.
2. Berdasarkan hasil tabel pengujian CBR didapatkan setiap penambahan tanah merah terstabilisasi nilai CBR mengalami peningkatan. Untuk hasil nilai CBR terkecil terdapat pada variasi 1 (100% Agregat), dan untuk nilai CBR terbesar terdapat pada variasi 5 (85% Agregat + 15% Tanah merah terstabilisasi 15% kapur) dengan nilai CBR masing-masing sebesar 69,7% dan 82,9%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka disarankan beberapa hal berikut untuk menjadi pertimbangan:

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengamatan terhadap nilai CBR gradasi lapis atas, gradasi nilai tengah dan nilai CBR gradasi lapis atas serta membandingkan nilai gradasi ketiganya.
2. Perlu dilakukan penelitian terhadap sampel agregat dari quarry-quarry lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Universitas Lampung, 2018. *Format Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*, Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. 2018. Spesifikasi Umum revisi 1.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. 2006. Manual Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan.
- Hardiyatmo, H.C. 1999. *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Runtuwene, Adelina AR, Oscar H. Kaseke, and Freaddy Jansen, 2015. *Pengaruh Variasi Nilai Index Plastisitas Dari Agregat Halus Terhadap Daya Dukung Lapis Pondasi Agregat Kelas-A*. TEKNO 13.62.
- Widjaja, B., dan Santoso, R. 2014. *Studi Eksperimental Kuat Geser Tanah di Sekitar Batas Plastis*. In Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), ITS, Surabaya.
- Warsiti, W., Kusdiyono, K., Risman, R., dan Ristiawan, A. 2020. *Kajian Karakteristik Nilai CBR Campuran Tanah Merah dengan Kapur*. Bangun Rekaprima: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa, Sosial dan Humaniora, 6 (1, April), 58-68.
- Soehardi, F., Lubis, F., dan Putri, L. D. 2017. *Stabilisasi Tanah dengan Variasi Penambahan Kapur dan Waktu Pemeraman*. Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan KN-TSP, 54-60.
- Riwayati, R. S., dan Yuniar, R. 2018. *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Kapur Untuk Lapisan Tanah Dasar Konstruksi*. Jurnal Teknik Sipil, 8(2), 104-111.
- Lapian, F. E. 2019. *Penggunaan Metode Dua Tahap Untuk Menentukan Kadar Optimum Penambahan Kapur Lapis Pondasi Jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan Bupul-Erambu Sota Kabupaten Merauke)*. Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) X.

- Harianto, J. 2003. *Penggunaan Sistem Lapis Pondasi Jalan Tanpa Penutup Untuk Jalan di Pedesaan*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Giri, D. P. 2012. *Analisis Pengaruh Kondisi Pondasi Material Berbutir Terhadap Umur Pelayanan Jalan dengan Metode Analitis (Studi Kasus: Jalan Pantura Ruas Rembang-Bulu)*. Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ismiadji, O. G. 2010. *Investigasi Kualitas Material Pondasi Jalan Granular Kelas A Menggunakan Alat CBR dan UTM*. Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Yanette, Y., Ing, T. L., dan Haris, S. 2010. *Evaluasi Karakteristik Agregat untuk Dipergunakan Sebagai Lapis Pondasi Berbutir*. Jurnal Teknik Sipil, 6(2), 151-164.
- Watie, J. S., dan Chandra, A. A. 2021. *Pengaruh Penambahan Semen dan Kapur Terhadap Stabilisasi Tanah Merah Distrik Mindiptana Kabupaten Boven Digoel*. CRANE : Civil Engineering Research Journal, 2(1), 12-17.
- Ardianti, R., Haza, Z. F., dan Sulistriyorini, D. 2018. *Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Campuran Abu Sekam Padi dan Kapur Padam Terhadap Uji Batas-Batas Atterberg*.
- Mendrofa, S. T. P. 2019. *Pengaruh Penambahan Kapur Batu Pada Tanah Merah Terhadap Nilai California Bearing Ratio*. Doctoral dissertation, Universitas Medan Area.