

TESIS

PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL TANAH KAPUR YANG DISTABILISASI SEMEN SEBAGAI LAPIS PONDASI JALAN DI WILAYAH SORONG SELATAN - KAMBUAYA DI PROVINSI PAPUA BARAT DAYA



JUFRI MAHMUD

005809262023

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJAN
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA
MAKASAR
2026**

TESIS

PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL TANAH KAPUR YANG DISTABILISASI SEMEN SEBAGAI LAPIS PONDASI JALAN PADA WILAYAH SORONG SELATAN - KAMBUAYA DI PROVINSI PAPUA BARAT DAYA

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister

Diajukan Oleh :

JUFRI MAHMUD

005809262023



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA

MAKASAR

2026

**PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL TANAH KAPUR YANG
DISTABILISASI SEMEN SEBAGAI LAPIS PONDASI
JALAN DI WILAYAH SORONG SELATAN -
KAMBUAYA DI PROVINSI PAPUA
BARAT DAYA**

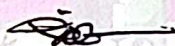
JUFRI MAHMUD

0058.09.26.2023

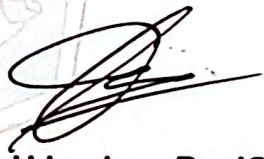
**telah diujikan pada tanggal 27 Februari 2026
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Susunan Tim Penguji

Ketua


Prof. Dr. Ir. Ratna Musa, MT.

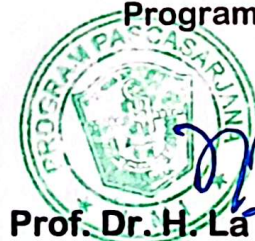

Prof. Dr. Ir. H. Hanafi Ashad, MT., IPM., Asean Eng.


Prof. Ir. H. Lambang Basri Said, MT., Ph.D., IPM.


Prof. Dr. Ir. Hj. St. Maryam H, MT.


Dr. Ir. Andi Alifuddin, ST., MT., IPM.

**Makassar, ..04 MAR 2024.....
Program Pascasarjana UMI
Direktur,**



Prof. Dr. H. La Ode Husen, SH., M.Hum.

Tesis

**PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL TANAH KAPUR YANG
DISTABILISASI SEMEN SEBAGAI LAPIS PONDASI
JALAN DI WILAYAH SORONG SELATAN -
KAMBUAYA DI PROVINSI PAPUA
BARAT DAYA**

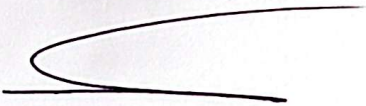
JUFRI MAHMUD
0058.09.26.2023

telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji
pada tanggal **27 Februari 2026**
dan telah diperbaiki

Komisi Pembimbing

Ketua,

Anggota


Prof. Dr. Ir. H. Hanafi Ashad, MT., IPM., Asean Eng.


Dr. Ir. Andi Alifuddin, ST., MT., IPM.

04 MAR 2026
Makassar,
Program Studi Magister Teknik Sipil
Ketua,


Prof. Dr. Ir. Ratna Musa, MT.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda - tangan dibawah ini:

NAMA : JUFRI MAHMUD
NIM : 005809262023
JUDUL TESIS : PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL TANAH
KAPUR YANG DISTABILISASI SEMEN
SEBAGAI PONDASI JALAN DIWILAYAH
SORONG SELATAN - KAMBUAYA PROVINSI
PAPUA BARAT DAYA

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muslim Indonesia.

Makassar, Pebruari 2026

Yang membuat pernyataan,


JUFRI MAHMUD,ST

Pemanfaatan Material Lokal Tanah Kapur Yang Distabilisasi Semen Sebagai Pondasi Jalan Diwilayah Sorong Selatan - Kambuaya Provinsi Papua Barat Daya

Jufri Mahmud¹, Hanfi Ashad², Andi Alifuddin³

¹) Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Muslim Indonesia Kota.Makassar. jufri.mahmud3@gmail.com.

²) Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Muslim Indonesia Kota.Makassar. hanafi.ashad@umi.ac.id.

³) Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Muslim Indonesia Kota.Makassar. andi.alifuddin@umi.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur jalan di Kabupaten Sorong Selatan masih menghadapi kendala keterbatasan material agregat berkualitas sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Tanah kapur lokal yang tersedia melimpah memiliki karakteristik granular non plastis dengan daya dukung alami relatif rendah sehingga belum memenuhi syarat sebagai lapis pondasi jalan tanpa stabilisasi. Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan kualitas material melalui metode stabilisasi semen (soil-cement).

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui karakteristik fisik dan mekanik tanah kapur lokal Sorong Selatan – Kambuaya, (2) menganalisis pengaruh penambahan semen tipe PCC dengan variasi kadar 3%, 5%, 6%, dan 7% terhadap peningkatan nilai California Bearing Ratio (CBR) dan kuat tekan bebas (UCS), serta (3) menilai kelayakan tanah kapur yang distabilisasi semen sebagai alternatif material lapis pondasi jalan sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan pengujian analisa saringan, berat jenis, pemadatan (Standard Proctor), CBR, dan UCS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah kapur memiliki persen lolos saringan No.200 sebesar 4,31% (granular bersih) dengan berat jenis 2,37. Tanah asli memiliki OMC sebesar 7,48% dan MDD sebesar 1,779 gr/cm³. Penambahan semen meningkatkan nilai CBR secara signifikan, yaitu 80% (3%), 125% (5%), 155% (6%), dan 185% (7%). Nilai UCS juga meningkat dari 17,85 kg/cm² (3%) menjadi 32,45 kg/cm² (7%).

Berdasarkan hasil tersebut, campuran tanah kapur dengan kadar semen 6% dinyatakan paling efektif dan layak digunakan sebagai lapis pondasi soil-cement, karena memenuhi persyaratan nilai CBR (100–200%) dan UCS (20–30 kg/cm²) sesuai spesifikasi teknis yang berlaku.

Kata Kunci: Tanah kapur, soil-cement, CBR, UCS, stabilisasi semen, lapis pondasi jalan.

Utilization of Local Limestone Soil Stabilized with Cement as a Road Foundation Layer in the Sorong Selatan–Kambuaya Area, Southwest Papua Province

Jufri M¹, Hanfi Ashad², Andi Alifuddin³

¹) Master Student of Civil Engineering Study Program, Postgraduate Program, Universitas Muslim Indonesia, Makassar City". jufri.mahmud3@gmail.com.

²) Lecturers of the Master's Study Program in Civil Engineering, Postgraduate Program, Universitas Muslim Indonesia, Makassar City".

hanafi.ashad@umi.ac.id.

³) Lecturers of the Master's Study Program in Civil Engineering, Postgraduate Program, Universitas Muslim Indonesia, Makassar City. andi.alifuddin@umi.ac.id

ABSTRACT

Road infrastructure development in South Sorong Regency faces limitations in obtaining high-quality aggregate materials that comply with the 2018 Revised 2 General Specifications of Bina Marga. Locally available calcareous soil is predominantly non-plastic granular material with relatively low natural bearing capacity, making it unsuitable for use as a base course without stabilization. Therefore, soil improvement through cement stabilization (soil-cement) is required. This study aims to: (1) determine the physical and mechanical characteristics of local calcareous soil from Sorong Selatan – Kambuaya, (2) analyze the effect of Portland Composite Cement (PCC) addition at 3%, 5%, 6%, and 7% on the improvement of California Bearing Ratio (CBR) and Unconfined Compressive Strength (UCS), and (3) evaluate the feasibility of cement-stabilized calcareous soil as an alternative base course material in accordance with the 2018 Revised 2 Bina Marga Specifications.

The research employed laboratory experimental methods including sieve analysis, specific gravity test, Standard Proctor compaction test, CBR test, and UCS test. The results indicate that the calcareous soil has 4.31% passing No.200 sieve (clean granular material) with a specific gravity of 2.37. The natural soil exhibited an optimum moisture content (OMC) of 7.48% and maximum dry density (MDD) of 1.779 g/cm³. Cement addition significantly increased the CBR values to 80% (3%), 125% (5%), 155% (6%), and 185% (7%). The UCS values also improved from 17.85 kg/cm² (3%) to 32.45 kg/cm² (7%).

Based on these findings, the 6% cement mixture is considered the most effective and technically feasible composition for soil-cement base course applications, as it satisfies the required CBR (100–200%) and UCS (20–30 kg/cm²) criteria according to applicable technical standards.

Keywords: Calcareous soil, soil-cement, CBR, UCS, cement stabilization, road base course.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “ **Pemanfaatan Material Lokal Tanah Kapur Yang Distabilisasi Semen Sebagai Lapis Pondasi Jalan Diwilayah Sorong Selatan - Kambuaya Di Provinsi Papua Barat Daya**”. ini dengan baik dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyusun Tesis ini guna menyelesaikan studi strata dua untuk memperoleh gelar Magister pada program Magister Teknik Sipil Pasca Sarjana Universitas Muslim Indonesia. Dalam proses penulisan Tesis ini, kami telah mendapatkan bimbingan dari berbagai pihak, baik berupa material, spiritual dan informasi. Oleh karena itu, sudah selayaknya penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua tercinta Ibunda” Hj. Rusna Abd Rahim” dan Ayahanda Almarhum “Ahmad Mahmud” yang telah memberikan segalanya dalam hidup penulis yang tak terhingga.
2. Istri tercinta “Domaitila Janjaan” dan Anak- Anak sebagai Pendamping dan penghibur dalam kehidupan Penulis.
3. Rektor Universitas Muslim Indonesia, Makassar Prof. Dr. H. Hambali Thaib,SH,MH, Direktur Program Pascasarjana Prof. Dr. H. La Ode

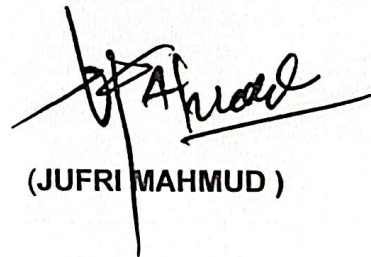
Husen, SH., MH, Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Ibu Prof. Dr. Ir. Ratna Musa beserta Komisi Pembimbing Ketua Bapak Prof. Dr. Ir. H. Hanafi Ashad., MT. Dan Anggota Komisi Pembimbing Bapak Dr. Ir. Andi Alifudin, ST., MT. Atas segala masukan, saran dan perhatian yang sangat membantu dalam penyempurnaan Tesis ini.

4. Para Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil yang telah meluangkan waktu, tenaga dan ilmunya selama proses perkuliahan berlangsung.
5. Rekan-rekan seperjuangan yang selalu memberikan semangat, berbagi pengalaman dan membantu dalam berbagai hal selama proses penulisan ini.

Ucapan terima kasih yang setinggi tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Allah SWT. Tuhan Yang Maha Kuasa dapat membalasnya.

Makassar,.....Pebruari 2026

Penulis



(JUFRI MAHMUD)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL DAN GAMBAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
PESAN PENULIS	XVIII

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	.7
1.6 Sistematika Penelitian	7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori	10
2.2. Struktur Lapisan Perkerasan Jalan	13
2.2.1 Tanah Dasar	13
2.2.2 Lapisan Pondasi (base) Soil Cement	14

2.2.3 Metode Pelaksanaan Dilapangan	15
2.2.4 Lapisan Permukaan (surface / lapisan aus)	18
2.3. Klasifikasi Tanah	20
2.3.1 Metode USC	20
2.3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO	23
2.3.3 Menurut Bina Marga	26
2.3.4 Persyaratan Material Tanah Kapur Untuk Soil Sement	27
2.3.5 Stabilisasi Tanah Dengan Semen	29
2.3.6 Reaksi Kimia Hidrasi Utama	30
2.4. Pengujian Sifat-sifat Fisik Tanah	31
2.4.1 Analisa Saringan	32
2.4.2 Batas-batas Atterberg	32
2.4.3 Pengujian Pemadatan Tanah	36
2.4.4 Pengujian CBR	39
2.4.5 Pengujian UCS	41
2.5. Penelitian Terdahulu	43

III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian.....	46
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	46
3.3 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	47
3.3.1 Letak Georakfik Kabupaten Sorong Selatan	47
3.3.2 Kondisi Topografi Dan Morfologi Wilayah	48
3.3.3 Kondisi Geologi	48

3.3.4 Kondisi Iklim Dan Curah Hujan	48
3.4 Potensi Material Tanah Kapur Dilokasi Penelitian	
Teknik Pengumpulan Data	49
3.5 Teknik Pengumpulan Data	50
3.5.1 Data Primer	50
3.5.2 Pengujian Karakteristik Tanah Kapur.....	51
3.5.3 Pembuatan Campuran Tanah Kapur + Semen	51
3.5.4 Pengujian Parameter Teknik Campuran Soil Cement	52
3.5.5 Data Sekunder	53
3.5.6. Bahan Dan Alat Penelitian	54
3.6 Variasi Penelitian	54
3.7 Tahapan Penelitian	54
3.8 Stabilisasi Tanah Dengan Semen	55
3.8.1 Pengujian Mekanik	55
3.8.2 Analisa Data	55
3.9. Tahapan Pelaksanaan Penelitian	56
3.9.1 Adapun Tahapan-tahapan tersebut	56
3.10 Pengujian Laboratorium	57
3.11 Analisa Data Dan Evaluasi	58
3.12 Bagan Alur Penelitian	60

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum	61
4.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah Kapur	62

4.2.1 Analisa Saringan	62
4.2.2 Pengujian Berat Jenis Tanah	65
4.2.3 Pengujian Kepadatan Tanah Kapur Tanpa Semen	66
4.3 Analisa Hasil Penelitian Pemadatan dan Nilai CBR	69
4.3.1 Perhitungan Kepadatan Campuran tanah + 3%	69
4.3.2 Perhitungan Kepadatan Campuran tanah + 5%	70
4.3.3 Perhitungan Kepadatan Campuran tanah + 6%	71
4.3.4 Perhitungan Kepadatan Campuran tanah + 7%	71
4.4 Analisa Hasil Penelitian Kuat Tekan Bebas (UCS)	73
4.4.1 Perhitungan Kuat Tekan Bebas semen 3%	73
4.4.2 Perhitungan Kuat Tekan Bebas semen 5%	75
4.4.3 Perhitungan Kuat Tekan Bebas semen 6%	76
4.4.4 Perhitungan Kuat Tekan Bebas semen 7%	78
4.5 Pembahasan Hasil penelitian	79
4.5.1 Karakteristik Tanah Asli (Tanpa Stabilisasi)	80
4.5.2 Pengaruh Stabilisasi Semen Terhadap CBR	81
4.5.3 Pengaruh Stabilisasi Semen Terhadap Nilai USC	82

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	85
1. Karakteristik Fisik.....	85
2. Karakteristik Mekanik	85
3. Layak Atau Tidak Dari Hasil Penelitian	86
5.2 Saran	87

Daftar Pustaka	.89
Lampiran Dokumentasi	xi
Lampiran Hasil Penelitian	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai konversi kesatuan mobil penumpang (smp)	19
Tabel 2. Hubungan antara level of service – waktu tunda kendaraan.....	30
Tabel 3. Review Hasil-Hasil Penelitian Terdahulu	40
Tabel 4. Volume lalu lintas Jalan Merdeka.....	59
Tabel 5. Volume Lalu Lintas Jalan Raya Bastiong	61
Tabel 6. Hambatan Samping Jalan Merdeka (Senin)	64
Tabel 7. Hambatan Samping Jalan Merdeka (Minggu).....	65
Tabel 8. Hambatan Samping Jalan Raya Bastiong (Senin)	66
Tabel 9. Hambatan Samping Jalan Raya Bastiong (Minggu)	67
Tabel 10. Faktor Penyesuaian Jalan Merdeka.....	68
Tabel 11. Faktor Penyesuaian Jalan Raya Bastiong.....	69
Tabel 12. Derajat Kejenuhan kedua Ruas.....	72
Tabel 13. Solusi Rekayasa Lalu Lintas.....	74
Tabel 14. Komparasi dengan Penelitian Terkait	76
Tabel 15. Posisioning Penelitian.....	78

DAFTAR NOTASI

NO	SIMBOL	KETERANGAN
1	CBR	California Bearing Ratio / Daya Dukung Tanah
2	UCS	Unconfined Compressive Strength / Uji Kuat Tekan Bebas
3	USCS	Unified Soil Classification System / Sistem klasifikasi tanah
4	AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials / Asosiasi Pejabat Jalan Raya dan Transportasi Negara Bagian Amerika
5	AC-WC	Asphalt Concrete - Wearing Course / Lapis Aspal Beton – Lapis Aus
6	HRS-WC	Hot Rolled Sheet - Wearing Course / Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus (campuran panas)
7	GI	Indeks Grup
8	PI	Plastisitas index
9	LL	(Liquid Limit) → Batas cair
10	PL	(Plastic Limit) → Batas plastis
11	NP	Non Plastisitas
12	MMD	Maximum Dry Density/ Kepadatan kering Maksimum
13	Wp	Berat tanah basah
14	Wk	Berat tanah kering
15	SL	Shrinkage Limit / Batas susut
16	W	Kadar air
17	Wo	Berat tanah kering
18	Vo	Volume tanah kering Oven
19	V	Volume tanah basah
20	γ_d	Gamma d / berat volume kering
21	OMC	Optimum Moisture Content / Kadar air optimum
22	ywet	Berat isi basah

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan salah satu elemen penting dalam mendukung peningkatan konektivitas wilayah, pertumbuhan ekonomi, serta pemerataan pembangunan di Indonesia, khususnya di daerah terpencil dan berkembang. Jalan yang memadai akan memperlancar distribusi barang dan jasa, meningkatkan akses masyarakat terhadap fasilitas pendidikan, kesehatan, dan pusat ekonomi, serta mempercepat mobilitas penduduk. Oleh sebab itu, keberadaan jaringan jalan yang berkualitas menjadi kebutuhan mendasar dalam pengembangan wilayah.

Kabupaten Sorong Selatan sebagai salah satu wilayah strategis di Provinsi Papua Barat Daya masih menghadapi tantangan dalam pembangunan prasarana transportasi, terutama pada ruas-ruas jalan penghubung antar distrik seperti di daerah Kambuaya. Kondisi geografis yang didominasi kawasan rawa, perbukitan, serta akses logistik yang terbatas menyebabkan pembangunan jalan memerlukan perencanaan teknis yang lebih spesifik dibandingkan wilayah lain. Selain itu, curah hujan yang tinggi juga memperbesar risiko terjadinya kerusakan dini pada perkerasan jalan apabila struktur pondasi tidak direncanakan dengan baik.

Pada konstruksi perkerasan jalan, lapisan pondasi memiliki fungsi utama untuk menyebarkan beban lalu lintas dari permukaan jalan ke tanah

dasar. Kualitas lapisan pondasi sangat menentukan umur layanan perkerasan. Material pondasi yang digunakan harus memenuhi persyaratan teknis tertentu, seperti stabilitas tinggi, daya dukung yang cukup, serta ketahanan terhadap pengaruh air. Namun, kenyataannya, pembangunan jalan di Sorong Selatan sering menghadapi kendala berupa keterbatasan material agregat berkualitas yang sesuai dengan ketentuan **Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2**.

Material pondasi standar seperti agregat kelas A atau batu pecah umumnya harus didatangkan dari lokasi yang jauh, sehingga menimbulkan biaya transportasi yang tinggi dan waktu pelaksanaan yang lebih lama. Kondisi ini menyebabkan biaya konstruksi jalan menjadi sangat mahal dan kurang efisien apabila hanya bergantung pada material konvensional dari luar daerah. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pemanfaatan sumber daya lokal yang tersedia melimpah di sekitar lokasi proyek sebagai solusi ekonomis dan berkelanjutan.

Salah satu material lokal yang banyak ditemukan di wilayah Sorong Selatan, khususnya daerah Kambuaya, adalah **tanah kapur (calcareous soil)**. Tanah kapur merupakan jenis tanah yang mengandung kadar kalsium karbonat (CaCO_3) tinggi dan berasal dari proses pelapukan batuan kapur. Material ini umumnya tersedia dalam jumlah besar dan mudah diperoleh di area sekitar lokasi pembangunan jalan. Pemanfaatan tanah kapur sebagai material lapisan pondasi jalan menjadi potensi yang sangat besar untuk mengurangi ketergantungan terhadap material impor dari luar daerah.

Namun demikian, penggunaan tanah kapur secara langsung sebagai material konstruksi jalan memiliki berbagai keterbatasan teknis. Tanah kapur umumnya memiliki struktur butiran rapuh, daya ikat antarpartikel rendah, serta sensitivitas tinggi terhadap perubahan kadar air. Dalam kondisi basah, tanah kapur mudah mengalami penurunan daya dukung dan disintegrasi, sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan pada lapisan pondasi maupun permukaan jalan. Nilai **California Bearing Ratio (CBR)** tanah kapur alami seringkali berada di bawah standar minimal sebagai material pondasi, sehingga diperlukan upaya perbaikan kualitas material sebelum digunakan.

Salah satu metode yang umum digunakan dalam peningkatan kualitas tanah adalah teknik stabilisasi. Stabilitas tanah dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan pengikat (binder) seperti semen, kapur, atau fly ash. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah **stabilisasi semen (soil-cement stabilization)**, yaitu pencampuran tanah dengan semen pada kadar tertentu sehingga terjadi reaksi hidrasi dan proses sementasi antar partikel tanah.

Stabilisasi menggunakan semen mampu meningkatkan kekuatan tanah secara signifikan melalui pembentukan ikatan yang lebih kuat antar butiran, memperbaiki kepadatan maksimum, menurunkan nilai plastisitas, serta meningkatkan daya dukung tanah. Dengan demikian, tanah kapur yang distabilisasi semen diharapkan dapat memenuhi persyaratan sebagai material lapisan pondasi jalan sesuai standar teknis yang berlaku, baik

berdasarkan ketentuan **SNI**, **AASHTO**, maupun **Spesifikasi Bina Marga**. Walaupun metode soil-cement telah banyak diterapkan pada berbagai jenis tanah, karakteristik material lokal sangat mempengaruhi hasil stabilisasi. Tanah kapur di Sorong Selatan memiliki sifat geologi dan mineralogi yang khas, sehingga responnya terhadap penambahan semen perlu dikaji lebih lanjut secara spesifik. Penelitian mengenai pemanfaatan tanah kapur lokal Sorong Selatan sebagai pondasi jalan masih terbatas, sehingga diperlukan kajian laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar semen terhadap parameter pemadatan serta nilai CBR tanah. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menjadi penting untuk menganalisis potensi tanah kapur lokal yang distabilisasi semen sebagai alternatif material pondasi jalan pada ruas jalan di wilayah Sorong Selatan – Kambuaya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam penyediaan material konstruksi jalan yang lebih ekonomis, efisien, dan sesuai dengan kondisi wilayah setempat, sekaligus mendukung pembangunan infrastruktur berkelanjutan di Papua Barat Daya.

Harapan dari penelitian ini adalah agar pekerjaan pembangunan jalan maupun preservasi jalan dan jembatan di Sorong Selatan - Kambuaya Provinsi Papua Barat Daya dapat menerapkan hal yang serupa, sehingga proses pembangunan dapat berjalan dengan ekonomis dan efisien.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik fisik dan mekanik material tanah kapur lokal dari wilayah Sorong Selatan – Kambuaya?
2. Bagaimana pengaruh penambahan semen dengan variasi kadar tertentu terhadap peningkatan daya dukung tanah kapur, seperti nilai CBR dan kuat tekan bebas (UCS), sebagai material lapisan pondasi jalan?
3. Apakah material tanah kapur lokal yang distabilisasi semen layak Digunakan sebagai alternatif material lapisan pondasi jalan di daerah Sorong Selatan – Kambuaya?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik sifat fisik dan mekanik tanah kapur lokal dari wilayah Sorong Selatan – Kambuaya.
2. Menganalisis pengaruh penambahan semen tipe PCC ((Portland Composite Cement) dengan variasi (3%, 5%,6% dan7%) terhadap peningkatan daya dukung tanah kapur, berdasarkan hasil pengujian CBR dan kuat tekan bebas (UCS).
3. Menilai kelayakan penggunaan tanah kapur lokal yang distabilisasi semen sebagai alternatif material lapisan pondasi jalan di daerah Sorong Selatan – Kambuaya sesuai persyaratan teknis (Spesifikasi Umum Bina Marga).

1.4. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teknis

Meningkatkan daya dukung tanah (CBR lebih tinggi): campuran

kapur + semen membentuk ikatan yang lebih kuat sehingga

Mengurangi plastisitas tanah: tanah tidak mudah mengembang atau menyusut akibat perubahan kadar air.

Meningkatkan kekuatan dan kekakuan lapisan pondasi: jalan lebih tahan terhadap beban lalu lintas.

Ketahanan terhadap erosi dan air: lapisan soil cement lebih resisten terhadap rembesan air sehingga mengurangi kerusakan dini.

Memberikan referensi nilai penambahan material tanah kapur, berapa kadar semen, berapa batas kadar air dan bagaimana kepadatan yang diperlukan untuk mencapai syarat minimal CBR untuk lapis fondasi tanah semen (soil cement) sebesar 20 % (sesuai dgn spesifikasi bina marga 2018 Rev 2 pada Devisi 5.4)

Menambah wawasan dan pengetahuan tentang pemanfaatan tanah kapur di daerah penelitian.

2. Manfaat Praktis

Menghemat biaya transportasi material: karena batu kapur berasal dari sumber lokal, biaya proyek lebih efisien.

Memanfaatkan sumber daya lokal: mendukung kemandirian daerah dan mengurangi ketergantungan material luar.

Pengerjaan relatif mudah: pencampuran tanah, kapur, dan semen dapat dilakukan di lokasi proyek dengan peralatan standar.

Meningkatkan umur rencana jalan: secara keseluruhan, jalan lebih awet sehingga biaya pemeliharaan berkurang.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan fokus, maka perlu ditetapkan batasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang diteliti dibatasi pada tanah kapur lokal yang berasal dari wilayah Sorong Selatan – Kambuaya, **tanpa** campuran material lain selain semen dan air.
2. Stabilisasi tanah hanya menggunakan semen Portland dengan variasi kadar tertentu (misalnya **3%, 5%, 6% dan 7%**), serta tidak membahas penggunaan bahan stabilisasi alternatif lainnya.
3. Evaluasi kelayakan material dibatasi pada pengujian laboratorium, yaitu sifat fisik tanah, pemadatan (Proctor), serta parameter daya dukung utama berupa nilai CBR dan kuat tekan bebas (UCS) sebagai material lapisan pondasi jalan.

1.6. Sistematika Penelitian

Agar lebih terarah tulisan ini, sistematika penulisan disertasi yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga produk yang dihasilkan lebih sistematis sehingga susunan disertasi ini dapat diurutkan yaitu :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini berisi tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian dan Sistematika Penelitian.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang Landasan Teori, Tinjauan Teori dan konsep, Klasifikasi Tanah, Stabilisasi Tanah, Pengujian Sifat-sifat Fisik Tanah, Penelitian Terdahulu, Kerangka Pemikiran,

BAB III : Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang Jenis dan Pendekatan Penelitian, Lokasi dan Waktu Penelitian, Teknik Pengumpulan data, Bahan dan Alat Penelitian, Variabel Penelitian, Prosedur Penelitian, Metode Analisis Data, Bagan Alur Penelitian, Rencana Jadwal Penelitian

BAB IV : Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini berisi penyajian hasil penelitian dan pembahasan teknis berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian laboratorium dan menguraikan hal-hal seperti gambaran singkat tujuan analisis, Pengujian fisik dan mekanik tanah kapur, Analisa dan pembahasan hasil pengujian dan rekapitulasi hasil pengujian.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Bab ini menyimpulkan apakah material lokal tanah kapur + semen diwilayah Sorong Selatan - Kambuaya dapat di jadikan

sebagai Siol semen untuk lapis pindasi jalan sesuai dengan kadar semen tertentu, apakahkah memenuhi spesifikasi teknik atau tidak, dan memuat tentang saran teknik penerapan dilapangan dan saran untuk penelitian berkelanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan dan pekerjaan jalan. Jadi seorang ahli teknik sipil harus juga mempelajari sifat-sifat dasar dari tanah, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (compressibility), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban, dan lain-lain. Ilmu mekanika tanah (soil mechanics) adalah cabang dari ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat-sifat fisik dari tanah dan kerja massa tanah tersebut bila menerima bermacam-macam gaya. Ilmu rekayasa tanah (soil engineering) merupakan aplikasi dari prinsip-prinsip mekanika tanah dalam problema-problema praktisnya (Brajis M. Das, "Mekanika Tanah Jilid 1")

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang terbentuk dari pelapukan batuan dan bahan organik, yang memiliki sifat fisik, mekanis, dan kimia tertentu. Dalam teknik sipil, tanah dipandang sebagai material

konstruksi yang berfungsi sebagai tanah dasar (subgrade) maupun sebagai bahan untuk timbunan pada pondasi.

Beberapa sifat penting tanah dalam teknik jalan adalah:

Kadar air (moisture content) : memengaruhi kekuatan dan kepadatan tanah.

Berat isi (density): menentukan kemampuan tanah menahan beban.

Batas Atterberg (Atterberg limits): menunjukkan sifat plastisitas tanah.

Daya dukung (CBR – California Bearing Ratio): parameter penting untuk menentukan ketebalan perkerasan jalan.

Menurut Bowles (1991), klasifikasi tanah dalam bidang teknik sipil umumnya menggunakan USCS (Unified Soil Classification System) atau AASHTO Classification System, untuk mengetahui jenis tanah dan kelayakannya sebagai material konstruksi.

Tanah kapur adalah hasil campuran tanah dengan kapur (CaO atau Ca(OH)_2) yang berfungsi sebagai stabilisator. Penggunaan kapur sebagai bahan tambahan bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang kurang baik, terutama tanah liat yang plastis. Manfaat stabilisasi tanah dengan kapur antara lain:

1. Menurunkan plastisitas tanah → tanah menjadi lebih kaku dan tidak mudah berubah bentuk akibat kadar air.
2. Meningkatkan kekuatan geser tanah → struktur tanah lebih stabil.
3. Memperbaiki daya dukung (CBR meningkat) → cocok sebagai lapisan pondasi jalan.

4. Mengurangi kembang-susut tanah → stabil terhadap perubahan kadar air.

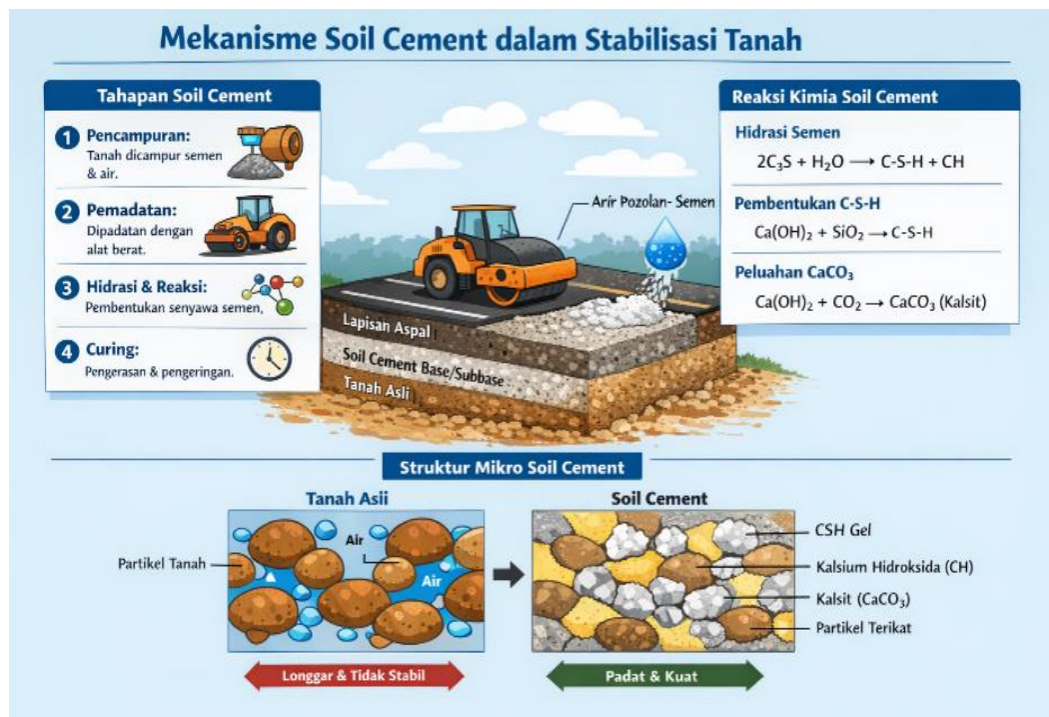
Menurut Sherwood (1993), reaksi kapur dengan tanah terjadi dalam dua tahap:

1. Reaksi awal (ion exchange & flocculation): kapur bereaksi dengan mineral tanah, mengurangi plastisitas.
2. Reaksi jangka panjang (pozzolanic reaction): kapur bereaksi dengan Silika dan alumina dalam tanah, menghasilkan senyawa semen alami (CSH dan CAH) yang meningkatkan kekuatan.

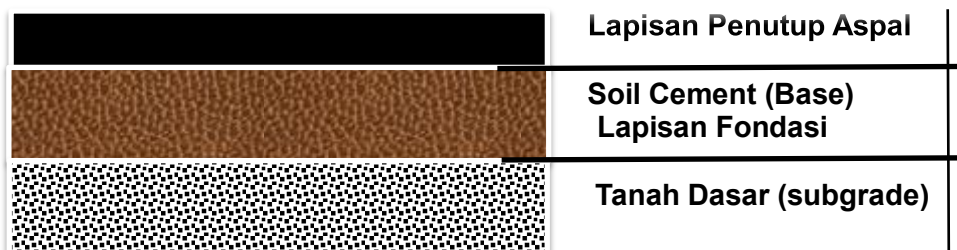
Menurut Hardiyatmo (2012), sifat tanah yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan jalan adalah kadar air, kepadatan maksimum, plastisitas, Serta kuat dukung yang umumnya dinyatakan melalui nilai California Bearing Ratio (CBR).

Tanah yang kurang memenuhi persyaratan teknis dapat diperbaiki melalui metode stabilisasi, salah satunya stabilisasi menggunakan semen.

2.2 Struktur Lapisan Perkerasan Jalan



Gambar 2.1 Mekanisme Stabilisasi Tanah Dengan Semen



Gambar 2.2 Struktur Lapisan Jalan dan Fungsinya

2.2.1 Tanah Dasar (Subgrade)

Merupakan lapisan tanah asli atau tanah galian yang telah dipadatkan, harus disiapkan dan dipadatkan sesuai spesifikasi sebelum pemasangan lapis-lapis di atasnya. Jika kualitas tanah dasar buruk, perlu

stabilisasi tanah (soil stabilization) yang juga diatur di spesifikasi. Setelah pemadatan, harus diperiksa bahwa permukaan formasi sesuai dengan elevasi dan kemiringan rancangan.

Perkerasan jalan merupakan konstruksi yang berfungsi menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar (subgrade) agar tidak terjadi kerusakan.

Adapun fungsi lapisan tanah dasar adalah sebagai berikut :

1. Menjadi fondasi alami dari seluruh lapisan perkerasan di atasnya.
2. Menyediakan daya dukung terhadap beban lalu lintas.
3. Menentukan ketebalan lapisan perkerasan yang diperlukan (jika tanah dasar lemah → perlu perkuatan tambahan).

2.2.2 Lapisan Pondasi (Base) Soil Cement

Perkerasan **soil-cement** adalah lapisan perkerasan jalan yang dibuat dari campuran tanah setempat, semen Portland, dan air dengan proporsi tertentu, kemudian dipadatkan dan diperam (curing) hingga terjadi reaksi hidrasi semen yang meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan daya tahan lapisan.

Lapis pondasi **soil-cement** adalah lapisan perkerasan jalan yang dibentuk dari tanah lokal (tanah kapur), semen Portland, air pada kadar optimum, yang kemudian dicampur, dipadatkan, dan dirawat (curing) sehingga menjadi lapisan yang stabil, padat, dan memiliki kekuatan tinggi. Lapisan ini umumnya digunakan sebagai lapis pondasi atas (base course) atau lapis pondasi bawah (subbase), dan pada kondisi tertentu sebagai tanah dasar yang diperbaiki.

Menurut pedoman umum perkerasan jalan (termasuk Bina Marga dan AASHTO), soil cement adalah campuran tanah lokal, semen portland, dan air yang dipadatkan sehingga membentuk lapisan dasar (base) atau lapisan fondasi (subbase) yang kaku dan kuat.

Secara umum lapis pondasi dari soil semen memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Menyebarkan beban dari lapisan pondasi atas ke tanah dasar.
2. Menjadi lapisan peresapan air agar tidak langsung ke tanah dasar.
3. Memberikan stabilitas tambahan agar tanah dasar tidak mudah rusak akibat beban lalu lintas.
4. Mengurangi plastisitas tanah kapur dan meningkatkan kekuatan tekan serta nilai CBR.

2.2.3 Metode Pelaksanaan Di Lapangan

1. Metode In-Place Mixing (Pencampuran di Tempat)

Pengertian Metode In-Place Mixing adalah metode pelaksanaan soil–cement dengan mencampur tanah asli di lokasi langsung dengan semen dan air, tanpa memindahkan material ke pabrik pencampur.

1.1 Tahapan Pelaksanaan Teknis :

- a. Persiapan Lokasi, Pembersihan: pengukuran elevasi, dan penentuan tebal lapisan.
- b. Penggemburan Tanah (Scarifying) : tanah digemburkan hingga kedalaman rencana ($\pm 15\text{--}30$ cm).
- c. Penaburan Semen : semen ditabur merata sesuai kadar rencana (%)

berat kering tanah).

- d. Pencampuran Kering : tanah dan semen dicampur hingga warna seragam.
- e. Penambahan Air : Air disemprotkan bertahap sampai OMC tercapai.
- f. Pencampuran Basah: campuran diaduk ulang hingga homogen.
- g. Pembentukan & Perataan : Campuran diratakan sesuai tebal dan profil rencana.
- h. Pemadatan : dipadatkan segera ($\geq 95\%$ γ_d maks).
- i. Perawatan (Curing) : Dijaga lembab minimal 7 hari.

1.2 Karakteristik Teknis

- a. menggunakan alat: grader, reclaimer, roller
- b. sangat tergantung kondisi cuaca
- c. kontrol mutu dilakukan langsung di lapangan

1.3 Kelebihan & Kekurangan

Kelebihan : ekonomis, cepat, tidak perlu batching plan

Kekurangan : homogenitas campuran lebih sulit dikontrol, risiko kehilangan semen (debu/angin),

2. Metode Plant Mixing (Pencampuran di Pabrik)

Pengertian Metode Plant Mixing adalah metode pelaksanaan soil-cement dengan mencampur tanah, semen, dan air di batching plant atau pugmill, kemudian diangkut ke lokasi untuk dipadatkan.

2.1 Tahapan Pelaksanaan Teknis

- a. Persiapan Material : tanah digali, disaring bila perlu, dan dibawa ke

plant.

- b. Penimbangan Material : tanah, semen, dan air ditimbang sesuai komposisi rencana.
- c. Pencampuran di Plant : material dicampur hingga homogen di mixer/pugmill.
- d. Pengangkutan ke Lokasi : campuran diangkut menggunakan dump truck.
- e. Penghamparan : campuran dihampar sesuai tebal rencana.
- f. Pemadatan : dipadatkan segera sebelum ikatan awal semen.
- g. Perawatan (Curing) : dilakukan seperti pada metode in-place.

2.2 Karakteristik Teknis

- a. Kontrol mutu lebih ketat
- b. Waktu pengangkutan harus dibatasi
- c. Cocok untuk proyek besar

2.3 Kelebihan & Kekurangan

Kelebihan : homogenitas tinggi, kualitas lebih konsisten, kontrol kadar semen & air lebih akurat

Kekurangan : biaya lebih tinggi, membutuhkan plant & logistik, Risiko setting awal saat pengangkutan,

3. Perbandingan Teknis Singkat

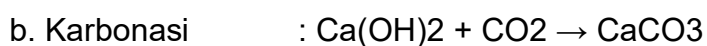
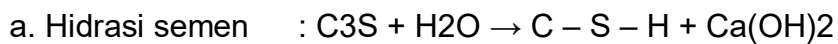
Tabel 2.3 Perbandingan Metode In-Place Mixing Metode Plant Mixing

Aspek	In-Place Mixing	Plant Mixing
Lokasi pencampuran	Di lapangan	Di batching plant
Homogenitas	Sedang	Tinggi
Kontrol mutu	Lapangan	Plant + lapangan
Biaya	Lebih murah	Lebih mahal
Skala proyek	Kecil–menengah	Menengah–besar

4. Mekanisme Teknis Penguatan Soil Cement Tanah Kapur

Pada tanah kapur, ikatan semen lebih efektif karena kandungan CaCO_3 tinggi.

Reaksi utama:



Hasilnya : pori tanah terisi, matriks menjadi kaku seperti beton tanah

2.2.4 LAPISAN PERMUKAAN (SURFACE / LAPISAN AUS)

Lapis aus adalah lapisan perkerasan beraspal paling atas yang langsung menerima beban lalu lintas dan kontak dengan cuaca (air hujan, panas, oksidasi). (Divisi 6 – Pekerjaan Perkerasan Beraspal, Spesifikasi Bina Marga 2018 Rev.2) Umumnya berupa campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt).

Fungsi dari lapisan permukaan jalan adalah :

1. Sebagai lapisan aus/penutup yang melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan akibat air dan beban lalu lintas.
2. Memberikan permukaan rata, halus, dan nyaman untuk kendaraan.
3. Memberikan daya lekat dan gesekan (skid resistance) agar kendaraan tidak mudah tergelincir.
4. Menahan kedap air sehingga air tidak meresap ke lapisan pondasi.

Beberapa tipe lapisan aus yang diatur antara lain :

1. Laston (Lapis Aspal Beton) – AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) → paling umum digunakan.
2. HRS-WC (Hot Rolled Sheet – Wearing Course) → alternatif campuran beraspal dengan tekstur lebih kasar.
3. Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton) → untuk lalu lintas ringan atau pekerjaan overlay tipis.

Bahan / Material :

1. Aspal : menggunakan Aspal keras penetrasi 60/70 atau aspal modifikasi (jika disyaratkan).
2. Agregat: batu pecah keras, awet, dengan gradasi sesuai tabel spesifikasi.
3. Filler : semen Portland, abu batu, atau bahan mineral halus lainnya.
4. Campuran dirancang dengan metode Marshall atau Superpave agar memenuhi stabilitas, kelelehan, dan durabilitas.

2.3. SISTEM KLASIFIKASI TANAH

2.3.1 Metode USCS

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara mudah sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar system klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butir dan plastisitas.

Pada Sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan no. 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau atau lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan no. 200. Tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok yang. Simbol-simbol yang digunakan dalam Sistem *Unified* adalah sebagai berikut.

G = Kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic sily or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = gradasi baik (*well-graded*)

P = gradasi buruk (*poorly-graded*)

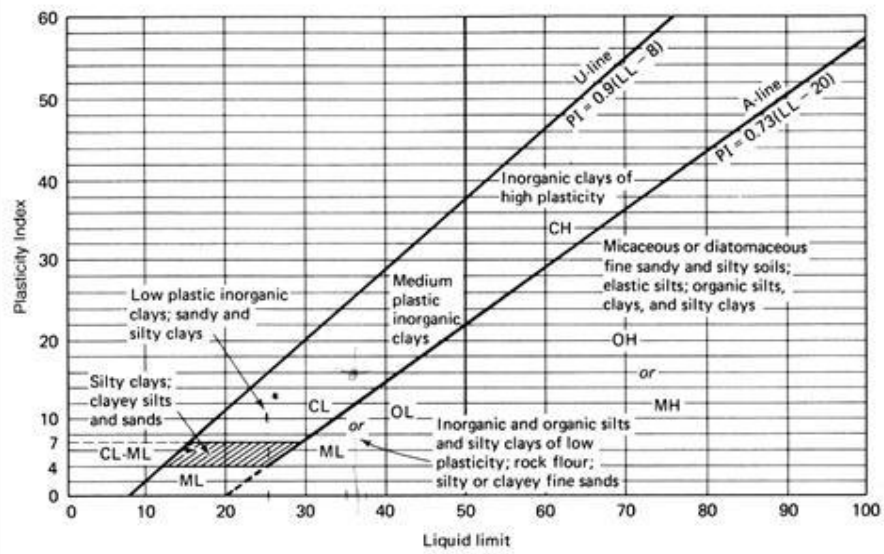
H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Saat ini sistem *USCS* banyak dipakai oleh para ahli Rekayasa Teknik Sipil. Sistem *Unified* membagi tanah dalam 2 kelompok, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. (Arthur Casagrande pada tahun 1940-an)

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained – soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total, contoh tanah lolos saringan no. 200. Simbol kelompok ini adalah G (untuk tanah berkerikil), dan S (untuk tanah berpasir). Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W (untuk tanah bergradasi baik) dan P (untuk tanah bergradasi buruk).
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained – soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan no. 200. Simbol kelompok ini adalah C (untuk tanah berlempung anorganik), M (untuk tanah berlanau anorganik), dan O (untuk lanau atau lempung organik). Selain itu plastisitas dinyatakan dengan simbol H (plastisitas tinggi) dan L (plastisitas rendah).

Untuk dapat mengklasifikasikan tanah berbutir halus yang lebih spesifik, maka grafik plastisitas dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut :



Gambar 2.4 Grafik Klasifikasi Tanah Metode USCS

Tabel 2.5 Sistem Klasifikasi Tanah Metode USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama jenis			
tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran terahan saringan no. 200 (0,075 mm)	kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil Gradasi baik dan campuran pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}} > 4, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3		
			GP	Kerikil Gradasi buruk dan campuran pasir kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI \leq 4$	bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		
	pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir Gradasi baik, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3		
			SP	Pasir Gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW		
		Pasir dengan butiran halus	SM	pasir berlanau, campuran pasir lanau	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI \leq 4$	bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung	batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		

klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, Aung dari 5% lolos saringan no. 200 :
GW, GP, SW, SP lebih dari 12% lolos saringan no. 200, GM, GC, SM, SC, 5%-12% lolos saringan no. 200, batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GW, GP, SW, SP, lebih dari 12% lolos saringan no. 200 GM, GC, SM, SC, 5%-12% lolos saringan no. 200, batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

tanah berbutir halus > 50% lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar air dan plastisitas lempung yang mengandung dalam tanah berbutir halus dan pasir halus berbutiran kasar. Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diidentifikasi dengan simbol.
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elasis.	
		CH	lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fatclays")	
		OH	lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
	Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

2.3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi tanah ini dikembangkan dalam tahun 1929 oleh Public Road Administration Classification System. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan: versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh Committee on Classification of Material for Subgrade and

Granular Type Road of the Highway Research Board dalam tahun 1945 (ASTM Standart no D-3282, AASHTO metode M145)

Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar. yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan kedalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria dibawah ini :

1. Ukuran Butiran Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2 mm), Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan no.10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).
2. Plastisitas Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas [plasticity index, PI] sebesar 10 atau kurang.

Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan didalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Untuk mengevaluasi mutu (quality) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (subgrade) dari suatu jalan, suatu angka yang dinamakan indeks grup (group indeks, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti dibawah ini :

$$GI = \underbrace{(F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)]}_{\text{Suku Pertama}} + \underbrace{0,01 (F - 15) (PI - 10)}_{\text{Suku Kedua}} \dots \dots (\text{pers.2.1})$$

dimana : F = Persentase butiran yang lolos ayakan No.200

LL = Batas cair (liquid limit)

PI = Indeks plastisitas

Suku pertama persamaan 2.1 adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari indeks plastisitas (PI). Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup :

1. Apabila Persamaan 2.1 menghasilkan nilai GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
2. Indeks grup yang dihitung menggunakan persamaan 2.1 dibulatkan ke angka yang paling dekat
3. Tidak ada batas untuk indeks grup
4. Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5 dan A-3 selalu sama dengan nol.

5. Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan.

Tabel 2.6 Klasifikasi AASHTO (Fokus Analisa Saringan)

Kelompok Tanah	Lolos No.10 (%)	Lolos No.40 (%)	Lolos No.200 (%)	Karakter Umum Tanah	Kualitas Tanah Dasar
A-1-a	≤ 50	≤ 30	≤ 15	Kerikil–pasir kasar	Sangat baik
A-1-b	≤ 50	≤ 50	≤ 25	Pasir kasar	Sangat baik
A-3	≥ 50	≥ 50	≤ 10	Pasir halus	Baik
A-2-4	≤ 50	≤ 50	≤ 35	Pasir berlanau	Baik–sedang
A-2-5	≤ 50	≤ 50	≤ 35	Pasir berlanau plastis	Baik–sedang
A-2-6	≤ 50	≤ 50	≤ 35	Pasir berlempung	Sedang
A-2-7	≤ 50	≤ 50	≤ 35	Pasir berlempung plastis	Sedang
A-4	> 50	> 50	≤ 35	Lanau	Buruk
A-5	> 50	> 50	≤ 35	Lanau plastis	Buruk
A-6	> 50	> 50	> 35	Lempung	Buruk
A-7-5	> 50	> 50	> 35	Lempung plastis sedang	Sangat buruk
A-7-6	> 50	> 50	> 35	Lempung plastis tinggi	Sangat buruk

2.3.3 Menurut Bina Marga Pengertian Soil Cement

Soil cement atau stabilisasi tanah semen adalah suatu metode perbaikan material tanah dengan menambahkan sejumlah semen dan air, kemudian dipadatkan sehingga menghasilkan lapisan yang kuat dan stabil untuk konstruksi jalan, Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 5, soil cement digunakan sebagai :

1. Lapis Pondasi Jalan (Base/Subbase Stabilized)
2. Material perbaikan tanah dasar (subgrade improvement)

Tanah kapur yang distabilisasi semen berfungsi sebagai material pondasi alternatif terutama di daerah yang memiliki keterbatasan agregat batuan.

2.3.4 Persyaratan Material Tanah Kapur untuk Soil Cement

Dalam Seksi 5.4 Stabilisasi Tanah, tanah yang dapat digunakan harus memenuhi syarat teknis tertentu.

1 Plastisitas Tanah

Tanah untuk soil cement sebaiknya bersifat:

1. Non plastis (NP) atau plastisitas rendah
2. Indeks Plastisitas (PI) umumnya $\leq 10\%$

Tanah plastis tinggi tidak disarankan karena dapat menghambat proses hidrasi semen dan menurunkan kekuatan lapisan.

2 Gradasi Tanah

Tanah yang baik untuk campuran soil cement adalah tanah granular halus dengan kadar lolos saringan No.200 tidak terlalu tinggi.

Material tanah kapur umumnya sesuai karena memiliki butiran halus lanauan dan mudah dipadatkan.

3 Ketentuan Kadar Semen Menurut BM 2018 Rev.2

Bina Marga menetapkan bahwa kadar semen untuk stabilisasi tanah semen harus berada pada rentang 3% – 8% dari berat tanah kering oven, penentuan kadar semen akhir dilakukan berdasarkan hasil uji laboratorium seperti Proctor dan UCS.

4 Persyaratan Kuat Tekan Bebas (UCS)

Parameter utama dalam soil cement adalah nilai kuat tekan

bebas (Unconfined Compressive Strength UCS). Syarat UCS menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR) tentang *stabilisasi tanah* (soil stabilization) khususnya lapis fondasi tanah-semen (*soil cement base*), nilai Unconfined Compressive Strength (UCS) yang disyaratkan adalah sebagai berikut:

Nilai UCS (Kuat Tekan Bebas) untuk Soil Cement (Lapis Fondasi Tanah Semen):

1. **Minimum:** 20 kg/cm²
2. **Nilai target:** 24 kg/cm²
3. **Maksimum:** 35 kg/cm²

(UCS diukur setelah perawatan 7 hari berdasarkan SNI 03-6887-2002)

Dengan kata lain, campuran tanah yang distabilisasi dengan semen harus menghasilkan **kekuatan tekan bebas ≥ 20 kg/cm²** setelah 7 hari perawatan untuk dapat diterima sebagai soil cement menurut Bina Marga. Nilai target yang dianjurkan umumnya **± 24 kg/cm²** dengan batas maksimum **35 kg/cm²**, campuran soil cement harus menghasilkan UCS minimum **≥ 20 kg/cm² (≈ 2000 kPa atau 2 MPa) pada umur 7 hari** UCS digunakan untuk memastikan lapisan pondasi cukup kuat terhadap beban lalu lintas. Jika kadar semen rendah (misalnya 3%) tidak mencapai nilai tersebut, maka kadar semen harus ditingkatkan.

4.

5 Persyaratan Kepadatan Lapangan

Selain UCS, pemadatan lapangan wajib memenuhi ketentuan :

Kepadatan tanah semen harus mencapai $\geq 97\%$ dari **Kepadatan Kering Maksimum (MDD)** hasil uji Proctor, Kepadatan yang kurang dari nilai tersebut dapat menyebabkan lapisan tidak stabil dan mudah rusak.

2.3.5 Stabilisasi Tanah dengan Semen (PC)

Stabilisasi tanah dengan semen diartikan sebagai pencampuran antara tanah yang telah dihancurkan, semen dan air, yang kemudian dipadatkan sehingga menghasilkan suatu material baru disebut tanah – semen yaitu pada kekuatan, karakteristik deformasi, daya tahan terhadap air, cuaca dan sebagainya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk perkerasan jalan, pondasi bangunan dan jalan, aliran sungai dan lain-lain.

Semen portland atau *portland cement* atau semen hidraulis merupakan bahan ikat yang banyak dipergunakan dalam pembangunan fisik. Terdapat empat unsur penting yang terkandung dalam *portland Cement* yaitu Trikalsium Silikat (C_3S atau $3CaO.SiO_2$), Dikalsium Silika (C_2S atau $2CaO.SiO_2$), Trikalsium Aluminat (C_3A atau $3CaO.AL_2O_3$) Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF atau $4CaO.AL_2O_3.Fe_2O_3$) tahap proses kimia pada stabilisasi tanah menggunakan semen adalah sebagai berikut.

1. Absorpsi air dan reaksi pertukaran ion

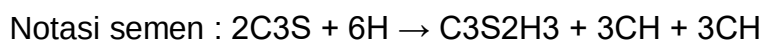
Bila *portland cement* ditambahkan pada tanah, ion kalsium dilepaskan melalui proses hidrolisa dan pertukaran ion berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung. Ion positif seperti reaksi-reaksi kimia tersebut diatas, maka reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan ialah hidrasi dari trikalsium silikat ($3CaO \cdot SiO_2$) dan Dikalsium Silikat ($2CaO.SiO_2$).

Dengan reaksi ini partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik.

2.3.6 Reaksi Kimia Hidrasi Utama

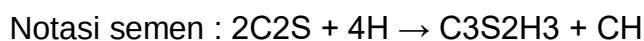
1. Hidrasi Trikalsium Silikat (C₃S)

Penyumbang utama **kekuatan awal** semen.



2. Hidrasi Dikalsium Silikat (C₂S)

Berlangsung lebih lambat, berperan pada **kekuatan jangka panjang**.



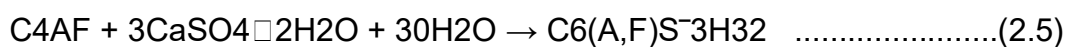
3. Hidrasi Trikalsium Aluminat (C₃A)

Reaksi sangat cepat dan dikendalikan oleh gipsum.



Produk utama: **Ettringite**

4. Hidrasi Tetrakalsium Aluminoferrit (C₄AF)



Reaksi anatar silika (Si) dan alumina (Al) halus yang terkandung dalam Tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, sehingga dapat bereaksi dengan kapur dan air.

Menurut Geomate Journal (2024) – Optimum Cement Content untuk Soil Cement Base Course

Fokus : Menentukan kadar semen optimum (3–10%) untuk tanah silty

sand.

Hasil utama :

1. Kadar semen optimum berada pada kisaran **8–10%**.
2. Nilai UCS meningkat seiring persen semen dan lama perendaman curing.

Kesimpulan : Soil cement dapat memenuhi spesifikasi lapis pondasi jalan jika semen optimum tercapai.

2.4 Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah

Percobaan pengujian sifat fisik tanah bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat fisik yang dimiliki oleh tanah yang meliputi pengujian fisik dan mekanis tanah. Sifat sifat tanah tergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Distribusi butiran merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Terdapat 2 cara untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu:

1. untuk tanah berbutir kasar digunakan pengujian analisa saringan
2. untuk tanah berbutir halus digunakan analisa hidrometer

2.4.1 Analisa Saringan

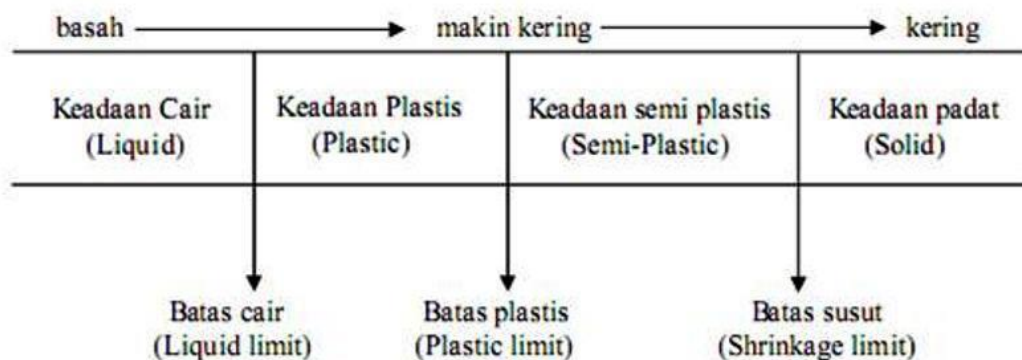
Untuk tanah berbutir kasar yang memiliki diameter butiran tanah yang lebih besar dari 0,075 mm atau yang tertahan saringan no. 200 dapat ditentukan dengan cara menyaringnya. Nomor-nomor saringan dan diameter lubang dari standar Amerika dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 2.7 Saringan Standar Amerika

Nomor Saringan	Diameter Lubang (mm)	Nomor Saringan	Diameter Lubang (mm)
3	6,35	40	0,42
4	4,75	50	0,30
6	3,35	60	0,25
8	2,36	70	0,21
10	2,00	100	0,15
16	1,18	140	0,106
20	0,85	200	0,075
30	0,60	270	0,053

2.4.2 Batas-Batas Atterberg

Seorang ahli tanah berkebangsaan Swedia, A. Atterberg yang bekerja dalam bidang keramik dan pertanian. Pada tahun 1911 Atterberg memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.2 (sumber L.D Wesley 1977)

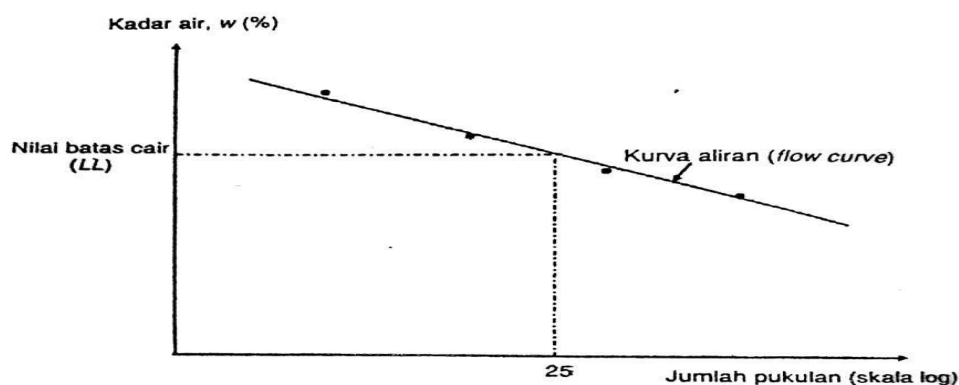


Gambar 2.8 Batas-Batas Atterberg

Batas-batas atterberg dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

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 uji Casagrande, yang dipisah selebar 3 mm dan menyatu kembali selebar 0,5 inchi pada pukulan ke 25. Percobaan ini dilakukan dengan sampel tanah yang berbeda dengan beberapa variasi kadar air.



Gambar 2.9 Kurva Penentuan Batas Cair Tanah Lempung

(Sumber : Hardiyatmo, 2006)

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (*PL*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Batas plastis dinyatakan dalam Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$PL = \frac{w_p - w_k}{w_p - w_k} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

W_r

Keterangan:

PL = batas plastis tanah (%)

W_p = berat tanah basah kondisi plastis (gr)

W_k = berat tanah kering (gr)

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan didalam oven. Batas susut dinyatakan dalam Persamaan 3.4 berikut ini.

$$SL = \frac{w - \{ V - V_o \}}{W_o} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

SL = batas susut tanah

W = kadar air

W_o = berat tanah kering (gr)

V_o = volume tanah kering oven (m^3)

V = volume tanah basah (m^3)

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis

$$PI = LL - PL \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

PI = Indeks Plastisitas

LL = Batas cair

PL = Batas plastis

Indeks plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai *PI* tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika *PI* rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg yang terdapat dalam Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 2.19 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

--	--	--	--

2.4.3 Pengujian Kepadatan Tanah (*Proctor Standar*)

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (). Berat volume kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air. Maksud dari pemadatan tanah, antara lain:

1. mempertinggi kuat geser tanah,
2. mengurangi sifat mudah mampat (*compresibilitas*),
3. mengurangi permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

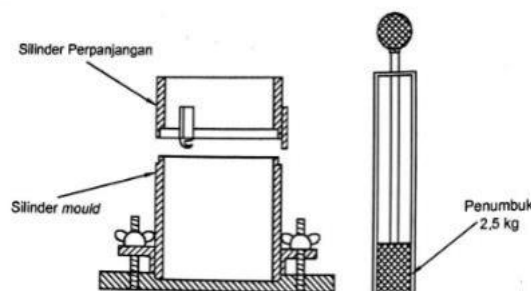
Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada 30 umunya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

Hubungan berat volume kering (Y_d) dengan berat volume basah (Y) dan kadar air (w), dinyatakan dalam Persamaan 3.7 sebagai berikut :

$$Y_d = \frac{Y}{1 + (w)} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

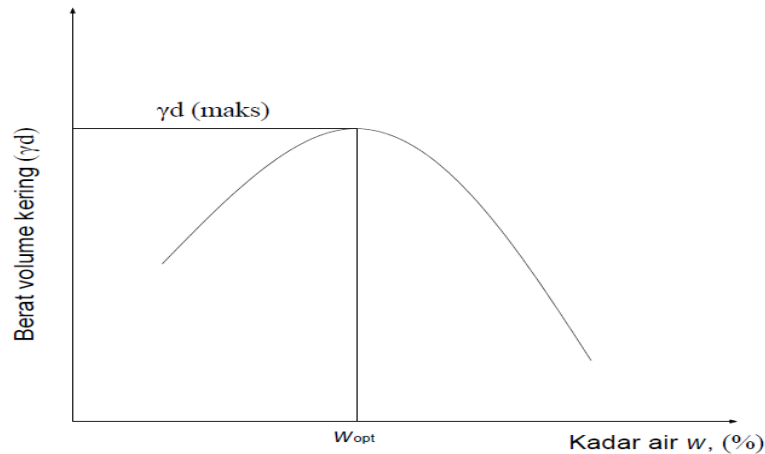
Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh lat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proctor. Prinsip pengujiannya diterangkan sebagai berikut.

Alat pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4}$. Tanah di dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm (1ft). Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan. Pada uji proctor dimodifikasi (*modified proctor*), *mould* yang digunakan masih tetap sama, hanya berat penumbuknya diganti dengan 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Pada pengujian ini, tanah di dalam *mould* ditumbuk dalam 5 lapisan. Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan dan kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (W_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum (*MDD*). Alat pengujian proctor standar dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan kurva hubungan kadar air dan berat volume dapat dilihat pada Gambar 3.4 (Hardiyatmo, 2006).



Gambar 2.10 Alat Uji Proctor Standar

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)



Gambar 2.11 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering pada Pengujian Proctor Standar

2.4.4. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

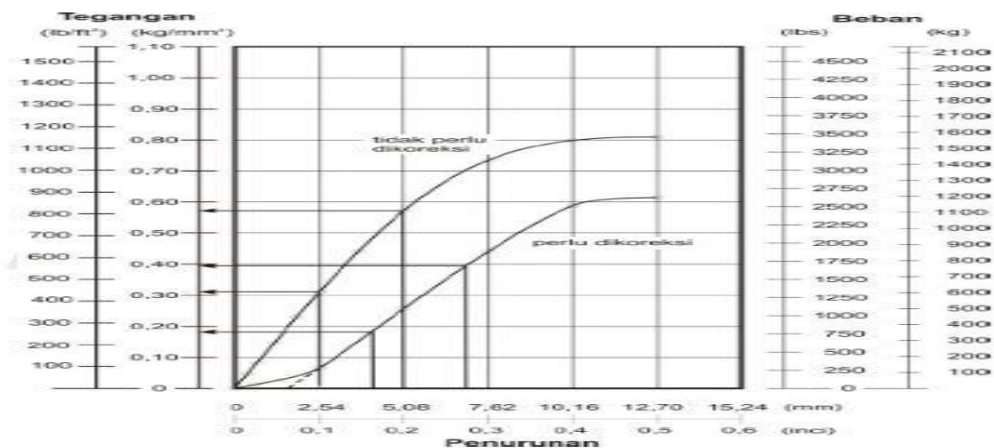
Pengujian CBR adalah pengujian yang dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. CBR (*California Bearing Ratio*) adalah dapat berupa tanah atau material perkerasan jalan) dengan bahan standar dengan kedalaman tertentu dan kecepatan penetrasi yang sama.

Pengujian CBR di laboratorium dilakukan dengan cara *soaked* dan *unsoaked* dan pemeraman sampel. Tujuan pengujian CBR dengan cara perendaman selama 4 hari dikarenakan disesuaikan dengan iklim cuaca di Indonesia yang sering terjadi hujan dan menyebabkan timbulnya genangan atau banjir, dengan menganalogikan kekuatan daya dukung tanah setelah tergenang banjir dengan waktu asumsi maksimal selama 4 hari. Sedangkan pengujian CBR dengan pemeraman sampel yaitu bertujuan untuk

memberikan waktu proses reaksi kimia yang terjadi antara tanah dengan bahan tambah. Prinsip pengujian CBR yaitu sampel tanah ditekan dalam cetakan silinder dengan alat tekan standar berupa piston dengan kecepatan penetrasi 1,27 mm/menit.

Sampel tanah yang digunakan untuk benda uji pada pengujian CBR adalah sampel tanah yang lolos saringan no. 4 dan yang di masukan ke dalam *mould* berbentuk silinder dengan diameter 152 mm dengan dipadatkan dalam 3 lapis, dengan masing-masing ditumbuk dengan penumbuk standar sebanyak 56 kali. Letakan benda uji beserta keping alas di atas mesin penetrasi dan letakan keping pemberat diatas permukaan benda uji seberat minimal 4,5 kg (10 pound). Arloji penunjuk penetrasi dan arloji penunjuk beban diatur sehingga menunjukkan angka nol. Berikan pembebanan secara teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit. Pembacaan pembebanan dilakukan pada interval penetrasi 0,025 inch (0,64 mm), hingga mencapai penetrasi 0,5 inch (12,7 mm).

Pada kejadian permulaan kurva beban cekung akibat kurang rataanya permukaan pada saat pepadatan benda uji atau sebab-sebab yang lain, dalam keadaan ini titik nolnya harus dikoreksi seperti pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 Kurva Hubungan Beban dan Penetrasi pada Pengujian CBR
(Sumber : SNI 1738 : 2011)

Menggunakan grafik yang telah dibuat, hitung harga CBR dengan cara membagi masing-masing beban dengan beban standar CBR pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/ atau 1000 psi dan penetrasi 0,2" atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/ atau 1500 psi dan dikalikan dengan 100%. Adapun cara untuk menentukan nilai CBR sebagai berikut :

1. CBR pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/ atau 1000 psi

P1

$$CBR_{0,1} = \frac{P1}{3 \times 1000} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

2. CBR pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/ atau 1500 psi

P2

$$CBR_{0,2} = \frac{P2}{3 \times 1000} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

3 x 1500

Pada umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/ atau 1000 psi, namun pada keadaan tertentu bila nilai CBR pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm lebih kecil dari pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm maka pengujian harus diulang dan apabila pada pengujian kedua ini nilai CBR pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm masih lebih besar dari CBR penetrasi 0,1" atau 2,54 mm, maka nilai CBR yang dipakai adalah nilai CBR terbesar atau pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm

2.4.5 Pengujian Kuat Tekan Bebas (UCS)

Tanah kapur memiliki sifat mudah hancur dan kekuatan yang relatif rendah sehingga perlu dilakukan stabilisasi untuk meningkatkan daya dukungnya. Salah satu metode stabilisasi yang umum digunakan adalah Penambahan semen (soil cement). Untuk mengetahui peningkatan Kekuatan tanah akibat penambahan semen, dilakukan pengujian kuat semen, dilakukan pengujian Kuat Tekan Bebas atau **Unconfined Compressive Strength (UCS)**.

Tujuan Pengujian :

1. Menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u).
2. Menentukan kuat geser tak terdrainase (c_u).
3. Menganalisis pengaruh variasi kadar semen terhadap peningkatan nilai UCS.

Pengujian UCS adalah pengujian tekan aksial terhadap benda uji silinder tanpa tekanan lateral ($\sigma_3 = 0$).

Rumus kuat tekan bebas :

$$q_u = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

q_u = kuat tekan bebas (kg/cm²)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang awal (cm²)

Untuk tanah kohesif jenuh :

$$c_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Bahan yang digunakan : Tanah kapur, Semen Portland (PPC), Air, Variasi Campuran 3% semen, 5% semen, 6% semen, 7% semen.

Peralatan : mesin uji tekan (Compression Machine), dial gauge, timbangan, jangka sorong, Cetakan silinder.

Prosedur Pengujian :

1. Tanah dicampur dengan semen sesuai variasi.
2. Campuran dipadatkan dalam cetakan silinder.
3. Benda uji diperam (curing) selama 7 hari.
4. Benda uji diuji dengan mesin tekan hingga runtuh.
5. Beban maksimum dicatat.

2.5. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terkait pemanfaatan tanah kapur dan soil cement sebagai bahan pondasi jalan antara lain:

Tabel 2.14. Penelitian Terdahulu

No	Nama	Tahun	Judul	Tujuan
1	Hardiyatmo	2002	Stabilisasi Tanah Dengan Kapur	Penambahan kapur dapat menurunkan indeks plastisitas, meningkatkan CBR dan mengurangi kembang susut tanah lempung
2	Sherwood	1993	Mengkaji reaksi kimia antara tanah dan kapur.	Menemukan bahwa reaksi pozzolanik antara Ca(OH)_2 dengan silika dan alumina dalam tanah membentuk senyawa semen alami (CSH & CAH) yang meningkatkan kekuatan tanah dalam jangka panjang.
3	Little	1995	Penelitian mengenai lime stabilization di Amerika Serikat.	kapur efektif untuk memperbaiki sifat mekanis tanah berplastisitas tinggi, memperkuat pondasi jalan, serta meningkatkan umur rencana perkerasan.
4	Rahardjo dkk.	2010	penggunaan soil cement (tanah + semen) untuk lapisan pondasi jalan di Indonesia.	penambahan semen pada tanah lokal meningkatkan kuat tekan bebas (UCS) dan CBR, sehingga lebih layak dijadikan base/subbase dibandingkan tanah asli.
5	Haryanto	2015	Studi pemanfaatan material lokal batu kapur yang dicampur semen untuk perkerasan jalan	campuran soil cement dari batu kapur meningkatkan nilai CBR secara signifikan dibandingkan tanah asli, serta menurunkan plastisitas tanah.

6	Ghorbani	2018	Hubungan kuat tekan bebas (UCS) dan CBR pada soil cement. Metode: AASHTO T193 (CBR) dan UCS test.	1. Nilai CBR naik signifikan seiring penambahan kadar semen. 2. Korelasi kuat antara UCS dan CBR untuk desain lapisan jalan.
7	Hanandeh dkk.	2022 - 2023	Terkait Resilient Modulus Soil Cemen	1. Stabilitas semen/lime pada subgrade meningkatkan modulus resilient secara besar. 2. Lapisan soil cement lebih kaku dan tahan deformasi dibanding tanah asli. 3. Parameter dominan: kadar semen, OMC, dan curing time. 4. Dalam desain AASHTO pavement, penggunaan cement-treated soil memperpanjang umur jalan dan mengurangi rutting.
8	Geomate Journal	2024	Menentukan kadar semen optimum (3–10%) untuk tanah silty sand	1. Kadar semen optimum berada pada kisaran 8–10%. 2. Nilai UCS meningkat seiring persen semen dan lama perendaman curing. 3. Kesimpulan: Soil cement dapat memenuhi spesifikasi lapis pondasi jalan jika semen optimum tercapai.
9	Suroso	2018	Penelitian lapangan pada jalan desa dengan pondasi soil cement.	soil cement mampu meningkatkan kekuatan lapisan pondasi dan menekan biaya konstruksi karena memanfaatkan material lokal.
10	Zhao	2025	Review Mekanisme Cement–Soil	1. Mekanisme utama: hidrasi semen

			dalam Teknik Geologi	membentuk matriks kaku. 2. Performa dipengaruhi oleh: jenis tanah, kadar semen, metode mixing, dan curing. 3. Kandungan organik dan garam dapat menghambat reaksi stabilisasi. 4. Kesimpulan: Soil cement merupakan metode stabilisasi efektif namun sensitif terhadap karakteristik tanah.
--	--	--	----------------------	--

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium, yaitu penelitian yang dilakukan dengan cara memberikan perlakuan tertentu terhadap sampel tanah kapur lokal dengan penambahan semen, kemudian dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanisnya, pendekatan yang digunakan adalah metode kuantitatif.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi Pengambilan Sampel tanah kapur di daerah Batas Sorong Selatan - Kambuaya, Provinsi Papua Barat Daya.

2. Tempat pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Bahan Konstruksi, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Papua Barat - Papua Barat Daya.
3. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 hingga selesai bulan Nopember 2025.



Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Material (Quary)

3.3 Gambaran Umum Lokasi Penelitian Tanah Kapur di Sorong Selatan

3.3.1 Letak Geografis Kabupaten Sorong Selatan

Kabupaten Sorong Selatan merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Papua Barat Daya yang berada pada bagian barat Pulau Papua. secara geografis wilayah ini terletak pada kisaran koordinat **Lintang** 1°–2° LS, **Bujur:** 131°–133° BT, Kabupaten ini berbatasan dengan Utara: Kabupaten Sorong dan Tambrau, Selatan : Laut Seram, Timur: Kabupaten Maybrat. Barat : Kabupaten Raja Ampat dan Distrik Salawati Ibu kota kabupaten adalah

Teminabuan, yang menjadi pusat aktivitas pemerintahan dan transportasi

darat.

3.3.2 Kondisi Topografi dan Morfologi Wilayah

Sorong Selatan memiliki variasi morfologi yang cukup kompleks, terdiri atas dataran rendah pesisir, kawasan rawa dan alluvia, perbukitan hingga daerah karst (kapur). Daerah karst atau tanah kapur umumnya dijumpai pada bagian tertentu wilayah perbukitan, yang dicirikan oleh singkapan batu gamping (limestone), tanah berwarna putih keabu-abuan, struktur tanah granular dan rapuh bila kering, Kondisi ini sangat mempengaruhi karakteristik tanah dasar untuk konstruksi jalan.

3.3.3 Kondisi Geologi Tanah Kapur di Sorong Selatan

Secara geologi regional, wilayah Sorong Selatan tersusun oleh beberapa formasi batuan, salah satunya adalah batuan sedimen karbonat (batu gamping/limestone), Tanah kapur berasal dari proses pelapukan batuan gamping yang kaya kandungan **CaCO₃ (kalsium karbonat)**.

Karakteristik umum tanah kapur hasil pelapukan adalah kadar plastisitas rendah sampai sedang, mudah mengalami disintegrasi saat terkena air, memiliki porositas relatif tinggi, daya dukung asli cenderung rendah jika belum distabilisasi. Tanah jenis ini memerlukan stabilisasi agar dapat digunakan sebagai material konstruksi perkerasan jalan.

3.3.4 Kondisi Iklim dan Curah Hujan

Sorong Selatan beriklim tropis basah dengan curah hujan tinggi sepanjang tahun. Kondisi ini menyebabkan tanah kapur berpotensi mengalami penurunan kekuatan saat jenuh air, erosi permukaan, perubahan volume dan struktur, Oleh karena itu, penggunaan soil cement

pada tanah kapur sangat relevan untuk meningkatkan stabilitas lapisan pondasi jalan.

3.4 Potensi Material Tanah Kapur Dilokasi Penelitian

Wilayah penelitian di Sorong Selatan memiliki ketersediaan deposit tanah kapur yang cukup melimpah dan tersebar merata pada beberapa titik quarry di daerah Kambuaya dengan jumlah potensi tanah kapur $\pm 19.200.000.000 \text{ m}^3$. Keberadaan material karbonat ini secara geologis berasal dari pelapukan batuan gamping (limestone) yang membentuk lapisan tanah berwarna putih keabu-abuan dengan ketebalan yang relatif signifikan. Kondisi ini menunjukkan potensi sumber daya lokal yang besar untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi jalan.

Dari aspek ketersediaan sumber daya, deposit tanah kapur yang melimpah memberikan keuntungan strategis dalam pembangunan infrastruktur jalan, khususnya di daerah yang mengalami keterbatasan agregat berkualitas. Pemanfaatan material lokal yang tersedia dalam jumlah besar dapat mengurangi biaya transportasi, meningkatkan efisiensi proyek, serta mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan.

Namun demikian, secara teknis tanah kapur alami umumnya memiliki daya dukung yang belum memenuhi persyaratan sebagai lapis pondasi jalan tanpa perlakuan khusus. Karakteristik granular non plastis dengan struktur berpori menyebabkan material ini memerlukan proses stabilisasi, seperti penambahan semen (soil-cement), untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitasnya.

Dengan demikian, keberadaan deposit tanah kapur yang melimpah di wilayah penelitian menjadi dasar penting dalam pengembangan alternatif material lapis pondasi jalan berbasis sumber daya lokal.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji/sample dari berbagai kondisi perlakuan yang diuji di laboratorium. Untuk beberapa hal pada pengujian bahan, digunakan data sekunder yang dikarenakan penggunaan bahan dan sumber yang sama. Adapun jenis data pada penelitian ini dikelompokkan menjadi 2, yaitu data primer dan data sekunder.

3.5.1 Data Primer

Data primer merupakan data utama yang diperoleh secara kegiatan penelitian lapangan dan pengujian langsung dari laboratorium. pada penelitian stabilisasi tanah kapur menggunakan semen. Data primer mencakup pengambilan sampel tanah, pembuatan campuran soil-cement, serta pengujian sifat fisik dan mekanik material.

Pengambilan Sampel Tanah Kapur (Sampling Lapangan), pengumpulan data primer diawali dengan kegiatan pengambilan material tanah kapur dari lokasi quarry di wilayah **Kabupaten Sorong Selatan - Kambuaya**. Tahapan teknisnya meliputi:

1. Survei lokasi quarry

Menentukan titik pengambilan sampel yang mewakili kondisi Tanah kapur setempat, Identifikasi kondisi geologi dan keseragaman material.

2. Pengambilan sampel tanah terganggu (disturbed sample)

Tanah diambil pada kedalaman tertentu ($\pm 0,5-1,0$ m) untuk menghindari lapisan organik permukaan, Pengambilan dilakukan menggunakan cangkul atau alat manual dan dimasukkan ke dalam karung/plastik kedap.

3. Pengemasan dan pelabelan

Sampel diberi kode lokasi, tanggal pengambilan, dan kondisi lapangan, Sampel dibawa ke laboratorium geoteknik untuk pengujian lebih lanjut.

3.5.2 Pengujian Karakteristik Tanah Kapur Asli

Sampel tanah kapur yang diperoleh kemudian diuji untuk mengetahui sifat dasar material sebelum distabilisasi. Pengujian primer meliputi analisis kadar air alami (water content), berat jenis tanah (specific gravity, G_s), analisis gradasi butiran (sieve), batas Atterberg (LL, PL, PI), Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO dan USCS.

Pengujian ini penting untuk menentukan apakah tanah kapur memenuhi syarat sebagai material pondasi jalan atau memerlukan stabilisasi.

3.5.3 Pembuatan Campuran Tanah Kapur + Semen (Soil-Cement Mix Design)

Setelah diketahui karakteristik tanah asli, dilakukan proses pencampuran tanah dengan semen Portland pada variasi kadar tertentu, misalnya 3% semen, 5% semen, 6% dan 7% semen

Tahapan teknis pencampuran :

1. Tanah dikeringkan udara dan diayak untuk memperoleh ukuran seragam.

2. Semen ditimbang sesuai prosentase campuran.
3. Pencampuran dilakukan secara merata pada kondisi kadar air optimum.
4. Campuran dipersiapkan untuk pengujian pemadatan dan CBR.

3.5.4 Pengujian Parameter Teknik Campuran Soil-Cement

Data primer utama dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian mekanik campuran tanah kapur + semen, meliputi:

1 Uji Pemadatan Proctor (Standard/Modified Proctor)

Tujuan Menentukan **kadar air optimum (OMC)**, Menentukan **berat isi kering maksimum (γ_d maks)**. Hasil pengujian ini digunakan sebagai dasar pemadatan campuran pada uji CBR.

2. Uji CBR Laboratorium

CBR dilakukan untuk mengukur peningkatan daya dukung tanah setelah distabilisasi semen. Prosedur meliputi :

1. Pemadatan sampel sesuai energi tumbukan standar (misalnya 10 x 3 Tumbukan, 35 x 3 Tumbukan, dan 65 x 3 Tumbukan)
2. Perendaman (soaked) selama 4 hari bila diperlukan
3. Pembebanan penetrasi piston pada kedalaman 2,5 mm dan 5 mm
4. Perhitungan nilai CBR (%)
5. Perhitungan kuat tekan Bebas (UCS)

Nilai CBR ini menjadi parameter utama penentuan kelayakan sebagai pondasi jalan.

3.5.5 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung (didapat dari penelitian lain), untuk bahan dan jenis yang sama dan masih berhubungan dengan penelitian. Adapun data sekunder didalam study kasus ini terdiri dari pemeriksaan bahan, pengujian analisa saringan, pengujian batas atterberg, pengujian kadar air, pengujian spesifik gravity, uji compaction, density test, dan pemadatan di lapangan.

1. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh tidak secara langsung dari eksperimen, tetapi berasal dari dokumen teknis, teknis, instansi terkait, dan literatur ilmiah.

2. Data Kondisi Lokasi Penelitian

Data sekunder diperoleh dari Dinas PUPR Kabupaten Sorong Selatan, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Papua Barat – papua Barat Daya, Dokumen perencanaan jalan.

3. Data Geologi dan Jenis Material Lokal

Data pendukung diperoleh dari peta geologi regional Sorong Selatan, Kajian sumber daya material quarry lokal, Data penelitian terdahulu tanah kapur. Tujuannya memastikan material kapur yang digunakan sesuai konteks geologi setempat.

4. Standar dan Spesifikasi Teknis

Penelitian ini menggunakan acuan sekunder berupa regulasi teknis, seperti Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, SNI terkait uji pemadatan dan CBR, AASHTO Standards untuk soil-cement, literatur jurnal nasional dan internasional tentang stabilisasi tanah.

3.5.6 Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan

1. Tanah kapur lokal dari lokasi penelitian.
2. Semen PCC (Portland Composite Cement).
3. Air bersih sesuai standar pengujian.

2. Alat

Semua peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari, saringan uji (sieve analysis), alat uji batas Atterberg (cawan Casagrande, alat jatuh, dll.), proctor test set (mold, hammer), alat uji CBR (California Bearing Ratio), alat uji UCS (Unconfined Compression Strength), peralatan curing (plastik, ruang perawatan).

3.6. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas: kadar semen yang dicampurkan ke tanah kapur (misalnya 3%, 5%, 6%, dan 7%).
2. Variabel terikat : nilai CBR dan UCS tanah setelah distabilisasi.
3. Variabel kontrol: kepadatan, kadar air optimum, dan waktu curing (misalnya 7 hari dan 28 hari).

3.7. Tahapan Penelitian

1 Persiapan Sampel

1. Pengambilan tanah kapur dari lapangan.
2. Pengeringan udara (air-dried) dan pengayakan.

2 Pengujian Sifat Fisik Awal

1. Analisis gradasi butiran.
2. Batas Atterberg (LL, PL, PI).

3. Proctor test untuk menentukan kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD).

3.8 Stabilisasi Tanah dengan Semen (Soil Cement)

1. Pencampuran tanah kapur dengan variasi kadar semen (misalnya 3%, 5%, 6% dan 7%).
2. Penambahan air sesuai kadar air optimum.
3. Pemadatan sampel dalam cetakan.
4. Curing pada kondisi lembab selama waktu tertentu (7 hari dan 28 hari).

3.8.1 Pengujian Mekanis.

1. Pengujian nilai CBR.
2. Pengujian UCS.

3.8.2 Analisis Data

Hasil pengujian dibandingkan dengan standar Bina Marga untuk menentukan kelayakan tanah kapur sebagai pondasi jalan.

3.8.3 Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium dianalisis dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menghitung parameter sifat fisik tanah (gradasi, batas Atterberg, OMC, MDD).
2. Membandingkan nilai CBR dan UCS dari sampel dengan variasi kadar semen.
3. Membandingkan hasil pengujian dengan standar teknis yang berlaku (Bina Marga, ASTM, AASHTO).
4. Menarik kesimpulan mengenai pengaruh penambahan semen

terhadap peningkatan daya dukung tanah kapur.

3.9 Tahapan Pelaksanaan Penelitian Tanah Kapur + Semen

Tahapan pelaksanaan penelitian dimulai dari pengambilan material lokal tanah kapur di quarry Kambuaya sampai menghasilkan kesimpulan kelayakan sebagai pondasi jalan.

3.9.1 Adapun Tahap-tahapan Tersebut Dapat Diuraikan Sebagai Berikut :

1. Survei Lokasi Quarry Sorong Selatan - Kambuaya :

1. Peneliti melakukan survei langsung di lokasi sumber tanah kapur.
2. Tujuannya untuk memastikan:
 - a. ketersediaan material lokal
 - b. kondisi lingkungan quarry
 - c. keseragaman deposit tanah kapur

2. Pengambilan Sampel Tanah Kapur :

1. Sampel tanah diambil dari beberapa titik quarry yang representatif.
2. Pengambilan dilakukan pada kedalaman $\pm 0,5-1$ m agar tidak tercampur lapisan organik, Jenis sampel terganggu (disturbed sample)

3. Metode Peniapan Sampel di Lakukan Dengan Cara Perempatan

1. Tanah kapur yang sudah diambil dikeringkan dan diayak.
2. Selanjutnya dicampur semen dengan variasi kadar tertentu (misalnya 3%, 5%, 6% dan 7%).
3. Campuran inilah yang menjadi bahan utama uji mekanik (Proctor dan CBR).

3.10 Pengujian Laboratorium

Tahap ini merupakan inti penelitian untuk mengetahui perubahan sifat tanah setelah distabilisasi semen.

1. Uji Karakteristik Tanah Awal

Pengujian awal dilakukan pada tanah kapur asli tanpa semen, meliputi Kadar air alami, analisis gradasi butiran, batas Atterberg (LL, PL, PI), klasifikasi tanah menurut AASHTO/USCS, tujuannya mengetahui kondisi dasar tanah kapur sebelum distabilisasi.

2. Uji Pemadatan Proctor

Pengujian Proctor dilakukan untuk memperoleh **OMC (Optimum Moisture Content)** kadar air optimum pemadatan, **γ_d maks (Maximum Dry Density)** berat isi kering maksimum. Hasil ini penting karena menjadi dasar pemadatan pada uji CBR.

3. Uji CBR Laboratorium

CBR adalah parameter utama untuk menilai daya dukung tanah pondasi.

Pengujian menghasilkan :

1. Nilai CBR campuran tanah kapur + semen
2. Perbandingan daya dukung sebelum dan sesudah stabilisasi

Nilai CBR digunakan untuk menentukan apakah material memenuhi spesifikasi pondasi jalan Bina Marga.

4. Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) – Opsional

UCS dilakukan untuk menilai kekuatan tekan soil-cement secara struktural, Mengukur kekuatan campuran setelah curing tertentu (7–28 hari), biasan digunakan dalam desain soil-cement modern (AASHTO).

3.11 Analisa Data dan Evaluasi

Tahap ini dilakukan setelah seluruh hasil laboratorium diperoleh.

1. Analisis Nilai CBR dan UCS

Peneliti menganalisis peningkatan kekuatan campuran akibat penambah penambahan semen, misalnya:

1. CBR meningkat signifikan dibanding tanah asli
2. UCS menunjukkan pembentukan ikatan semen antarpartikel

2. Penentuan Kadar Semen Optimum

Dari seluruh variasi semen, ditentukan kadar optimum berdasarkan :

1. Nilai CBR tertinggi dan ekonomis
2. Pemenuhan standar Bina Marga
3. Efektivitas stabilisasi

3. Evaluasi Kesesuaian Spesifikasi

Hasil pengujian dibandingkan dengan standar teknis seperti :

1. Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Rev.2
2. SNI Pemadatan dan CBR
3. Standar AASHTO Soil-Cement

Tujuannya memastikan kelayakan sebagai material lokal untuk lapis pondasi jalan.

4. Kesimpulan dan Rekomendasi

Tahap akhir penelitian menghasilkan keputusan teknis.

5. Kelayakan Tanah Kapur + Semen sebagai Pondasi Jalan

Disimpulkan apakah material tanah kapur lokal Sorong Selatan - Kambuaya dapat digunakan sebagai :

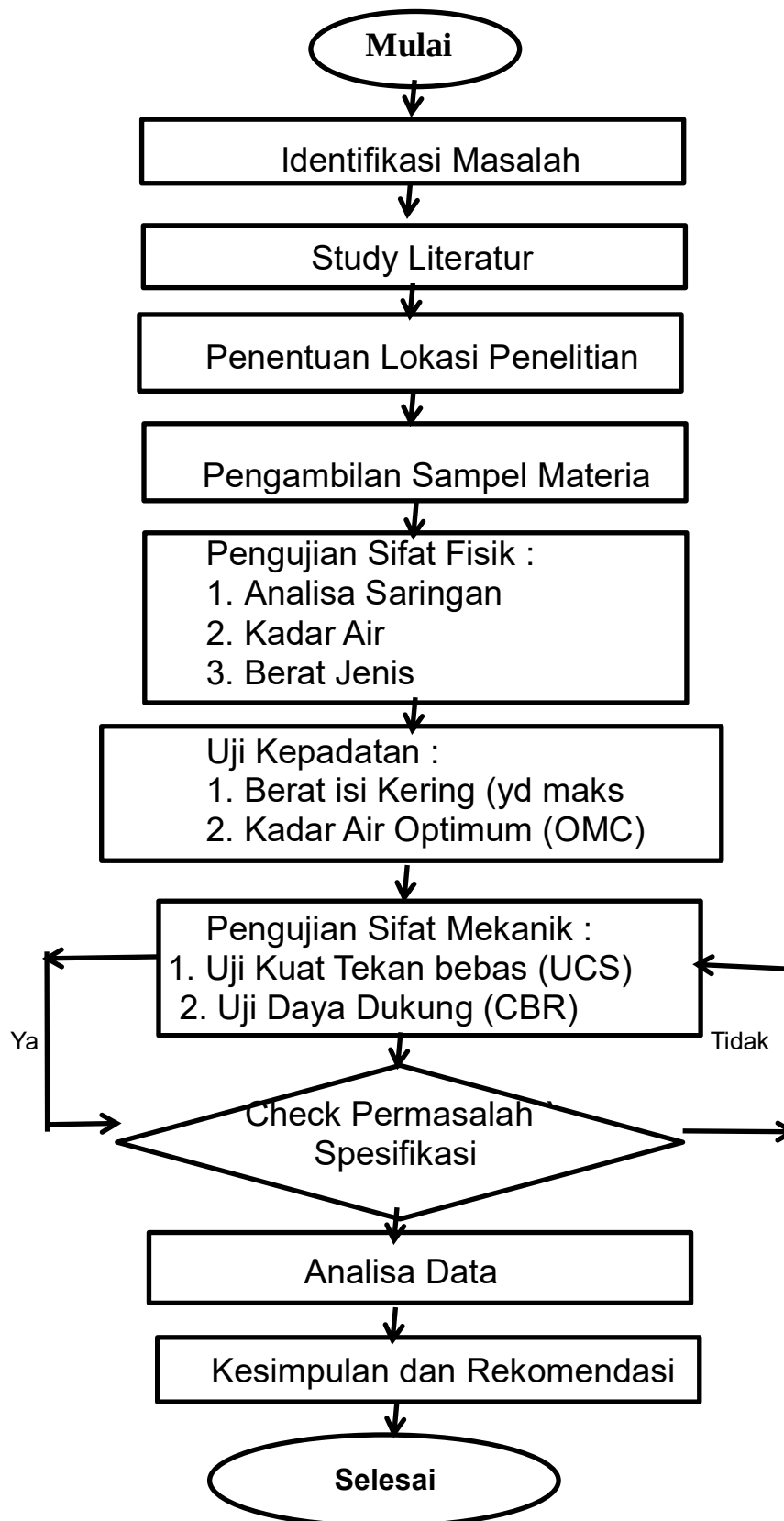
1. Tanah Dasar (Subgrade)

2. Lapis Pondasi Bawah (Subbase Course)

3. Lapis Pondasi Atas (Base Course)

Penelitian juga memberikan rekomendasi seperti kadar semen optimum untuk lapangan, prosedur pemadatan yang sesuai, perlunya curing atau kontrol kadar air, penerapan praktis untuk pelaksanaan dilapangan. Semua tahapan di atas disusun dalam laporan tesis yang Memuat data hasil uji, analisis kadar semen optimum, pemadatan USC dan CBR, analisis kadar semen optimum,

3.12 Bagan Alur Penelitian



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Bab ini membahas secara teknis hasil pengujian laboratorium Yang dilakukan pada tanah kapur lokal yang berasal dari wilayah **Sorong Selatan – Kambuaya**, baik dalam kondisi asli (tanpa stabilisasi) maupun Setelah distabilisasi menggunakan semen Portland dengan variasi kadar semen sebesar **3%, 5%, 6% dan 7%**.

Pengujian yang dilakukan mencakup:

1. Pengujian sifat fisik tanah (berat jenis).
2. Pengujian pemadatan (Standard Proctor).
3. Pengujian sifat mekanik tanah-semen:
 - a. Uji kuat tekan bebas (UCS).
 - b. Uji daya dukung California Bearing Ratio (CBR).

Hasil pengujian ini dianalisis untuk mengevaluasi kelayakan tanah kapur distabilisasi semen sebagai **lapisan pondasi jalan (soil cement)** sesuai ketentuan **Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 5**.

4.2 Pengujian Sifat Fisik Tanah Kapur

4.2.1 Analisa Saringan (*sieve analysis test*)

Pengujian analisa saringan dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah kapur, yaitu persentase material yang tertahan dan lolos pada setiap ukuran saringan standar, berikut hasil analisa saringan :

Tabel 4.1 Hasil Analisa Saringan (AASHTO T-27-24)
Sampel I : 2520.5 gram

Saringan	Berat Tertahan Komulatif (gram)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Lolos (%)
2"	0.0	0.00	100,00
1.5"	161.5	6.41	93,22
1"	352.0	13.97	84,70
3/8"	809.0	32.10	67,65
#4	1038.0	41.18	59,21
#10	1375.5	54.57	46,24
#40	2077.0	82.40	18,86
#200	2425.0	96.21	4,31

Tabel 4.2 Hasil Analisa Saringan (AASHTO T-27-24)

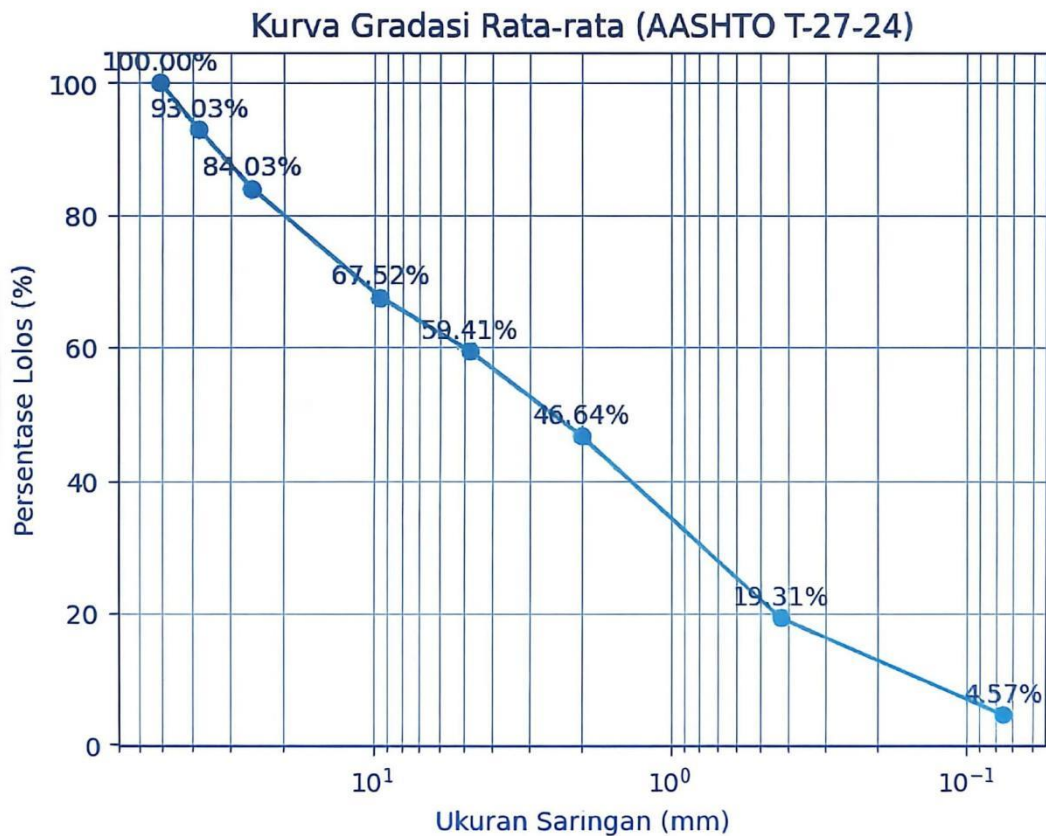
Sampel II : 2217 gram

No. Saringan	Berat Tertahan Komulatif (gram)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Lolos (%)
2"	0.0	0.00	100.00
1.5"	158.5	7.15	92.85
1"	369.0	16.64	83.36
3/8"	723.0	32.61	67.39
#4	895.5	40.39	59.61
#10	1174.0	52.95	47.05
#40	1779.0	80.24	19.76
#200	2110.0	95.17	4.83

Nilai rata-rata dari hasil analisa saringan dari sampel I dan sampel II adalah

Tabel 4.3 Hasil Analisa Saringan (AASHTO T-27-24)

No. Saringan	Persentasi Lolos		
	Sampel I	Sampel II	Rata-Rata
2"	100,00	100	100
1,5"	93,22	92,85	93,035
#1	84,70	83,36	84,03
#3/8	67,65	67,39	67,52
#4	59,21	59,61	59,41
#10	46,24	47,05	46,644
#40	18,86	19,76	19,31
#200	4,31	4,83	4,57



Gambar 4.4 Kurva Rata-Rata Hasil Analisa Saringan

Material Didominasi Butiran Kasar, dari hasil terlihat hampir seluruh material lolos saringan besar (2"–#4), persen lolos saringan #4 masih cukup tinggi yaitu **59,21%**, Ini menunjukkan bahwa material tanah kapur memiliki komposisi butiran pasir kasar–kerikil halus, Nilai persen lolos saringan #200 adalah $P_{200}=4,31\%$, artinya hanya sekitar 4% material berupa lanau/lempung halus, sebagian besar adalah material granular Menurut klasifikasi tanah : jika lolos #200 < 5% → material termasuk **granular bersih**, Tanah kapur ini termasuk material granular non plastis, Sehingga tanah kapur ini bersifat : tidak kohesif, dominan gesekan, Atterberg Limits hanya relevan jika tanah memiliki sifat plastis, tanah kapur umumnya terdiri dari butiran karbonat (CaCO_3), material granular rapuh. dominasi pasir–lanau, sedikit atau bahkan tidak ada kandungan lempung aktif sehingga tanah kapur sering diklasifikasikan sebagai **NP (Non Plastic)**.

Maka uji Atterberg menjadi tidak signifikan, atterberg Limits Berlaku untuk Tanah Lempung, Bukan Material Kapur Granular, Atterberg Limits dirancang untuk mengukur perubahan konsistensi tanah halus (<0,425 mm) yang plastis. Tanah kapur lokal Sorong Selatan lebih dominan berbutir kasar/rapuh, sehingga perilakunya tidak seperti clay soil, tidak mengalami perubahan plastisitas, lebih cocok diuji dengan pemadatan dan kekuatan mekanik.

4.2.2 Pengujian Berat Jenis Tanah (Specific Gravity, G_s)

Pengujian berat jenis tanah dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara berat partikel padat tanah dengan berat air pada volume yang sama. Berat jenis merupakan parameter dasar untuk analisis pemadatan, kekuatan, serta perhitungan rongga pori tanah.

Tabel 4.5 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Tanah Kapur

Nomor Contoh		
Nomor Picnometer + Contoh	(a)	(b)
Berat Picnometer + Contoh (w2)	93,00	86,00
Berat Picnometer (w1)	45,00	41,50
Berat Tanah wt = (w2 – w1)	48,00	44,50
Temperatur TC	25,00	25,00
Berat Pic + Air + Tanah pada 25" c (w3)	172,00	166,50
Berat Pic + Air pada suhu 25" c (w4)	144,50	140,50
W5 = w2 – w1 + w4	192,50	185,00
Isi Tanah (w5 – w3)	20,25	18,50
Berat jenis wt / (w5 – w3)	2,341	2,405
Rata – Rata	2,37	

Hasil pengujian menunjukkan **Berat Jenis Tanah Kapur 2,37**, Nilai berat jenis tanah sebesar **2,37** termasuk relatif rendah jika dibandingkan dengan tanah lempung normal (umumnya 2,60–2,75). Hal ini menunjukkan bahwa tanah kapur mengandung mineral ringan seperti, Kalsium karbonat (CaCO_3), Struktur berpori tinggi, Kandungan organik rendah. Tanah dengan berat jenis rendah biasanya memiliki karakteristik mudah rapuh, kekuatan alami rendah, membutuhkan stabilisasi untuk digunakan sebagai lapisan struktural.

Dengan demikian, stabilisasi menggunakan semen menjadi metode yang tepat untuk meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah kapur lokal ini.

4.2.3 Pengujian Pemadatan Tanah Kapur Tanpa Semen

1. Pengujian Standard Proctor

Pengujian pemadatan (Standard Proctor) tanah kapur tanpa Semen bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering (dry density) tanah. Pengujian ini mendapatkan nilai terdapat 5 titik pemadatan dengan kadar air berbeda :

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Pemadatan (SNI 1743-1989-F)

No	Uraian	Satuan	1	2	3	4	5
a	Berat Tanah Basah + Cetakan	gr	5309.0	5433.0	5528.0	5470.5	5308.0
b	Berat Cetakan	gr	3724.5	3724.5	3724.5	3724.5	3724.5
c	Berat Tanah Basah	gr	1584.5	1708.5	1803.5	1746.0	1644.5
d	Volume Cetakan	cm ³	943.0	943.0	943.0	943.0	943.0
e	Berat Isi Basah (g wet = c/d)	gr/cm ³	1.680	1.812	1.913	1.852	1.744
f	Berat Isi Kering (g dry)	gr/cm³	1.598	1.705	1.779	1.702	1.584
No	Uraian	Satuan	1	2	3	4	5
a	Berat Tanah Basah + Cawan	gr	76.0	77.0	88.0	73.4	81.7
b	Berat Tanah Kering + Cawan	gr	72.8	73.0	82.5	68.3	75.0
c	Berat Cawan	gr	9.25	9.25	9.0	9.5	9.25
d	Berat Air	gr	3.3	4.0	5.5	5.2	6.7
e	Berat Tanah Kering	gr	63.5	63.8	73.5	58.8	65.8
f	Kadar Air (w %)	%	5.12	6.27	7.48	8.77	10.11

Tabel tersebut diatas adalah mencari berat isi kering dan kadar air

Tabel 4. 7. Kadar air dan Berat isi kering

Percobaan	Kadar air(w) (%)	Berat isi kering / yd (gr/cm ³)
-----------	------------------	---

1	5,12	1,598
2	6,27	1,705
3	7,480	1,779
4	8,77	1,702
5	10,11	1,584

a. Kadar air optimum (OMC) : 7,480 %

b. Berat isi kering maksimum (MDD) : 1,779 gr/cm³

2. Menghitung Berat Isi Kering (γ_d)

Nilai γ_d pada tabel diperoleh dari rumus :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1+w}$$

Di Mana :

γ_{wet} = berat isi basah,

w = kadar air (desimal)

Data Percobaan 3:

$$\gamma_{wet} = 1,779 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{kadar air (w)} = 7,48\% = 0,0748$$

Maka:

$$\gamma_d = \frac{1,913}{1+0,0748} = 1,779 \text{ gr/cm}^3 \text{ (Sampel 3)}$$

Titik tertinggi data : $\gamma_d = 1,779 \text{ gr/cm}^3$ pada $w = 7,48\%$

Namun dalam metode Proctor : MDD dan OMC tidak diambil langsung dari satu titik data, tetapi dari puncak kurva parabola hasil interpolasi.

$$\gamma_d = aw^2 + bw + c$$

Dari tabel pada 7,48% γ_d naik, setelah 8,77% γ_d turun

Untuk perhitungan lain dapat dilihat pada tabel 4.6



Gambar 4.8 Kurva Kadar Kering Maksimum (γ_d Max) dan Kadar Air Optimum OMC)

Berdasarkan hasil percobaan pemadatan tanah kapur dengan metode Proctor sesuai SNI 1743-1989-F, diperoleh hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah. Berat isi kering meningkat seiring bertambahnya kadar air hingga mencapai nilai maksimum, kemudian menurun kembali. Dari kurva pemadatan yang dibentuk melalui interpolasi parabola, diperoleh Kepadatan Kering Maksimum (MDD) sebesar 1,779 gr/cm³ dan Kadar Air Optimum (OMC) sebesar 7,48%. Nilai ini menunjukkan kondisi kadar air terbaik untuk mencapai pemadatan maksimum di lapangan.

4.3 Analisis Hasil Penelitian Pemadatan dan Nilai CBR Campuran Tanah–Semen

Pengujian pemadatan dan CBR laboratorium dilakukan untuk mengetahui karakteristik kepadatan optimum serta daya dukung campuran tanah kapur dengan penambahan variasi semen sebesar 3%, 5%, 6%, dan 7%. Pengujian mengacu pada standar SNI 1743–1989–F untuk pemadatan dan AASHTO T-193–74, Beban standar dalam perhitungan CBR ditetapkan berdasarkan AASHTO T 193 dan ASTM D1883, yaitu pada penetrasi 0,1 inci sebesar 3000 lb dan pada penetrasi 0,2 inci sebesar 4500 lb.

Hasil pengujian meliputi percobaan pemadatan, nilai kadar air optimum, berat isi kering maksimum, serta nilai CBR pada variasi energi pemadatan (10×3, 35×3, dan 65×3 tumbukan). Contoh perhitungan pada variasi kadar semen 3%, 5%, 6% dan 7% dengan 65 x 3 tumbukan, untuk 10 x 3 dan 35 x 3 tumbukan dapat dilihat pada tabelrekap hasil pengujian CBR.

4.3.1 Perhitungan Pemadatan Campuran Tanah + 3% Semen (65 × 3 tumbukan)

1. Perhitungan CBR pada penetrasi 0,1 inci

Beban hasil uji = 2300 lb

Beban standar = 3000

$$\text{CBR}_{0,1} = \frac{2300}{3000} \times 100 = 76,67\%$$

2. Perhitungan CBR pada penetrasi 0,2 inci

Beban hasil uji = 3600 lb

Beban standar = 4500 lb

$$CBR_{0,2} = \frac{3600}{4500} \times 100 = 80\%$$

4.3.2 Perhitungan Pemadatan Campuran Tanah + 5% Semen (65 × 3 tumbukan)

1. Perhitungan CBR pada penetrasi 0,1 inci

Beban uji = 3600 lb

Beban standar = 3000 lb

$$CBR_{0,2} = \frac{3600}{3000} \times 100 = 120,00\%$$

2. Perhitungan CBR pada penetrasi 0,2 inci

Beban uji = 5630 lb

Beban standar = 4500 lb

$$CBR_{0,2} = \frac{5630}{4500} \times 100 = 125,11 \%$$

4.3.3 Perhitungan Pemadatan Campuran Tanah + 6% Semen (65 × 3 tumbukan)

1. Perhitungan CBR pada penetrasi 0,1 inch

Beban uji = 4300 lb

Beban standar = 3000 lb

$$CBR_{0,1} = \frac{4300}{3000} \times 100 = 143,33\%$$

2. Perhitungan CBR pada penetrasi 0,2 inch

Beban uji = 6975 lb

Beban standar = 4500 lb

$$CBR_{0,2} = \frac{6,975}{4.500} \times 100 = 155,00\%$$

4.3.4 Perhitungan Pemadatan Campuran Tanah + 7% Semen (65 × 3 tumbukan)

1. Perhitungan CBR pada penetrasi 0,1 inch

Beban hasil uji = **5000 lb**

Beban standar = **3000 lb**

$$CBR_{0,1} = \frac{5000}{3000} \times 100\% = 166,67\%$$

2. Perhitungan CBR pada penetrasi 0,2 inch

Beban hasil uji = **8330 lb**

Beban standar = **4500 lb**

$$CBR_{0,2} = \frac{8330}{4500} \times 100\% = 185,11\%$$

3. Interpretasi Teknis

Nilai CBR sangat tinggi, menunjukkan stabilisasi tanah kapur + semen 6% sangat efektif, material sangat layak sebagai pondasi jalan, Ketentuan nilai CBR 100% – 200% untuk pekerjaan soil-cement berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) Divisi 5 – Perkerasan Berbutir dan Distabilisasi

Kesimpulannya Nilai CBR tanah kapur yang distabilisasi dengan semen 6% sebesar 155,00% (penetrasi 0,2 inch), berdasarkan pengujian laboratorium metode 65 × 3 tumbukan masuk rentang CBR soil-cement.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan CBR Dengan Kadar Semen

NO	KADAR SEMEN	NILAI CBR (%)
1	3%	80 %
2	5%	125 %
3	6%	155 %
4	7%	185 %

4.4 Analisis Hasil Penelitian Kuat Tekan Bebas (Unconfine Compressive Strangt / USC)

4.4.1 Perhitungan Kuat Tekan Bebas (USC) Tanah Kapur + Kadar Semen 3% Sampel I

1. Data Pengujian Sampel I

Diameter contoh = 5,4 cm

Tinggi contoh = 10,9 cm

Luas awal = 22,89 cm²

Berat isi kering = 1,781 gr/cm³

Kadar air = 7,59%

2. Rumus yang Digunakan

a. Luas terkoreksi

$$A_c = A_0 \times (1 + \epsilon)$$

Keterangan :

A_0 : luas awal (19,23 cm² pada tabel)

ϵ : regangan (desimal)

.b. Tegangan (UCS)

$$\sigma = \frac{P}{A_c}$$

Keterangan :

P : beban (kg)

A_c : luas terkoreksi (cm²)

3. Perhitungan (Baris Regangan 0,5%)

Beban = 125,1 kg

Luas terkoreksi = 19,33 cm²

$$\sigma = \frac{125,1}{19,33} = 6,47 \text{ kg/cm}^2$$

4. Perhitungan (Baris Regangan 1%)

Beban = 241,8 kg

Luas terkoreksi = 19,42 cm²

$$\sigma = \frac{241,8}{19,42} = 12,24 \text{ kg/cm}^2$$

5. Perhitungan (Baris Regangan 2%)

Beban = 350,2 kg

Luas terkoreksi = 19,61 cm²

$$\sigma = \frac{350,2}{19,61} = 17,83 \text{ kg/cm}^2$$

6. Perhitungan (Baris Regangan 3%)

Beban = 316,8 kg

Luas terkoreksi = 19,83 cm²

$$\sigma = \frac{316,8}{19,83} = 15,98 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.2 Perhitungan Kuat Tekan Bebas (USC) Tanah Kapur + Kadar Semen 5% Sampel I

1. Data Pengujian Sampel I

Diameter contoh = 5,4 cm

Tinggi contoh = 10,9 cm

Luas awal = 22,89 cm²

Berat isi kering = 1,803 gr/cm³

Kadar air = 7,59%

1. Perhitungan (Baris Regangan 0,5%)

Beban = 145,9 kg

Luas terkoreksi = 19,33 cm²

$$\sigma = \frac{145,9}{19,33} = 7,55 \text{ kg/cm}^2$$

2. Perhitungan (Baris Regangan 1%)

Beban = 304,3 kg

Luas terkoreksi = 19,42 cm²

$$\sigma = \frac{304,3}{19,42} = 15,67 \text{ kg/cm}^2$$

3. Perhitungan (Baris Regangan 2%)

Beban = 437,7 kg

Luas terkoreksi = 19,61 cm²

$$\sigma = \frac{437,7 \text{ kg}}{19,61} = 22,32 \text{ kg/cm}^2$$

4. Perhitungan (Baris Regangan 3%)

$$\text{Beban} = 396,0 \text{ kg}$$

$$\text{Luas terkoreksi} = 19,83 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{396,0}{19,83} = 19,97 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.3 Perhitungan Kuat Tekan Bebas (USC) Tanah Kapur + Kadar Semen 6% Sampel I

1. Data Pengujian Sampel I

$$\text{Diameter contoh} = 5,4 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi contoh} = 11 \text{ cm}$$

$$\text{Luas awal} = 22,89 \text{ cm}^2$$

$$\text{Berat isi kering} = 1,803 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Kadar air} = 7,92\%$$

2. Perhitungan (Baris Regangan 0,5%)

$$\text{Beban} = 187,6 \text{ kg}$$

$$\text{Luas terkoreksi} = 19,33 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{187,6}{19,33} = 971 \text{ kg/cm}^2$$

3. Perhitungan (Baris Regangan 1%)

Beban = 341,8 kg

Luas terkoreksi = 19,42 cm²

$$\sigma = \frac{341,8}{19,42} = 17,60 \text{ kg/cm}^2$$

4. Perhitungan (Baris Regangan 2%)

Beban = 517,7 kg

Luas terkoreksi = 19,61 cm²

$$\sigma = \frac{517,7 \text{ kg}}{19,61} = 26,40 \text{ kg/cm}^2$$

5. Perhitungan (Baris Regangan 3%)

Beban = 466,0 kg

Luas terkoreksi = 19,83 cm²

$$\sigma = \frac{466,0}{19,83} = 24,11 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.4 Perhitungan Kuat Tekan Bebas (USC) Tanah Kapur + Kadar

Semen 7% Sampel I

1. Data Pengujian Sampel I

Diameter contoh = 5,4 cm

Tinggi contoh = 10,9 cm
 Luas awal = 22,89 cm²
 Berat isi kering = 1,823 gr/cm³
 Kadar air = 7,76%

2. Perhitungan (Baris Regangan 0,5%)

Beban = 208,4 kg
 Luas terkoreksi = 19,33 cm²

$$\sigma = \frac{208,4}{19,33} = 10,78 \text{ kg/cm}^2$$

3. Perhitungan (Baris Regangan 1%)

Beban = 408,5 kg
 Luas terkoreksi = 19,42 cm²

$$\sigma = \frac{408,5}{19,42} = 21,03 \text{ kg/cm}^2$$

4. Perhitungan (Baris Regangan 2%)

Beban = 633,6 kg
 Luas terkoreksi = 19,61 cm²

$$\sigma = \frac{633,6}{19,61} = 32,31 \text{ kg/cm}^2$$

5. Perhitungan (Baris Regangan 3%)

Beban = 608,6 kg

Luas terkoreksi = 19,83 cm²

$$\sigma = \frac{608,6}{19,83} = 30,70 \text{ kg/cm}^2$$

1. Makna Teknis Hasil (interpretasi)

Penambahan **semen 7%** meningkatkan ikatan antar butir tanah

Puncak tegangan di regangan kecil ($\pm 2\%$) → **perilaku getas soil-cement** Setelah puncak, tegangan menurun → retak struktur semen mulai berkembang.

Untuk perhitungan uji tekan bebas dari kadar semen 3% sampel II, sampel III, kadar semen 5% sampel II, sampel III dan kadar semen 7% sampel II dan sampel III dapat dilihat pada tabel 4.14

Pedoman Teknis Soil–Cement / Literatur (AASHTO, PCA, USACE, Bina Marga , memberikan rentang mutu soil–cement base :

4.5 Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada tanah kapur lokal Sorong Selatan – Kambuaya, baik dalam kondisi asli maupun setelah distabilisasi semen Portland dengan variasi 3%, 5%, 6%, dan 7%, maka dapat ditarik pembahasan kesimpulan sebagai berikut :

4..5.1 Karakteristik Tanah Asli (Tanpa Stabilisasi)

1. Analisa Saringan

Hasil analisa saringan menunjukkan nilai lolos saringan No. 200 (P200) sebesar $\pm 4,31\%$, sehingga tanah termasuk **material granular bersih (non plastis)**, artinya tanah didominasi butiran pasir kasar–kerikil halus, tidak bersifat kohesif, kekuatan bergantung pada gesekan antar butir, tidak memerlukan uji Atterberg karena bukan tanah plastis

Secara teknis, tanah kapur ini memiliki struktur rapuh dan daya ikat alami rendah sehingga kurang optimal jika digunakan langsung sebagai lapisan pondasi tanpa perbaikan.

2. Berat Jenis (Gs)

Nilai berat jenis rata-rata **2,37**, lebih rendah dibanding tanah lempung normal ($\pm 2,60$ – $2,75$). Hal ini menunjukkan struktur tanah berpori, mengandung mineral ringan (CaCO_3), Kekuatan alami relatif rendah sehingga tanah membutuhkan **stabilisasi** untuk meningkatkan performa strukturalnya.

3. Pemadatan (Standard Proctor – SNI 1743:1989-F)

Diperoleh **OMC (Optimum Moisture Content)** 7,48%, **MDD (Maximum Dry Density)** = $1,779 \text{ gr/cm}^3$. Nilai ini menunjukkan bahwa tanah kapur memiliki kepadatan maksimum pada kadar air relatif rendah, namun tetap memiliki keterbatasan daya dukung jika tidak distabilisasi.

4.5.2 Pengaruh Stabilisasi Semen terhadap Nilai CBR

Pengujian mengacu pada standar AASHTO T-193 dan ASTM D1883.

Hasil rekap nilai CBR (65×3 tumbukan):

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan CBR 65 x 3 Tumbukan

Kadar Semen	Nilai CBR (%)
3%	80%
5%	125%
6%	155%
7%	185%

Analisis Teknis :

1. Penambahan semen meningkatkan daya dukung secara signifikan.
2. Pada 3% semen, CBR sudah mencapai 80% (cukup untuk lapis pondasi bawah).
3. Pada Variasi Kadar 5%, 6% dan 7%, nilai CBR masuk kategori **soil-cement base berkualitas tinggi**, Kadar 6% menghasilkan CBR 155%, sudah memenuhi spesifikasi pondasi jalan menurut **Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 5**.

Kadar semen 6% sudah optimal secara teknis karena telah memenuhi standar dengan peningkatan signifikan, sementara 7% memberikan peningkatan tambahan tetapi secara ekonomis perlu dipertimbangkan.

4.5.3 Pengaruh Stabilisasi Semen terhadap Nilai UCS (Kuat Tekan Bebas)

Tabel 4.11 Hasil kuat tekan bebas maksimum

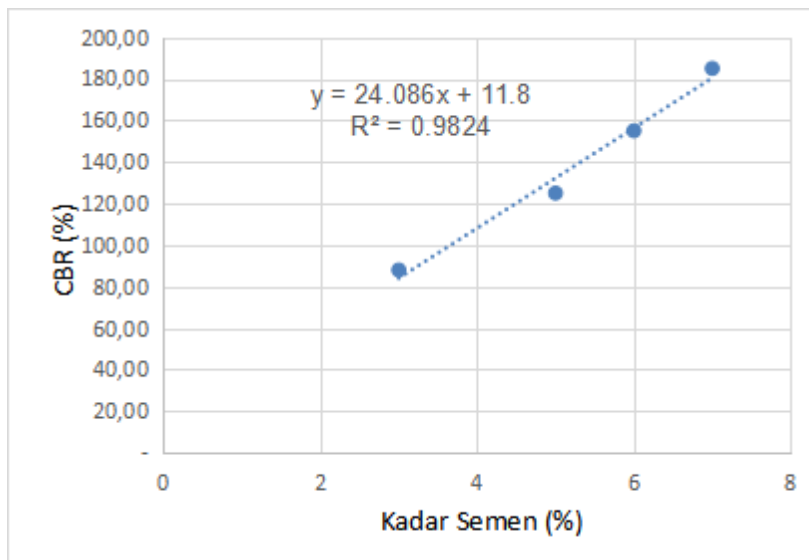
Kadar Semen	UCS Maksimum (kg/cm²)
3%	17,83
5%	22,32
6%	26,40
7%	32,31

Analisis Teknis :

1. Terjadi peningkatan kuat tekan seiring kenaikan kadar semen.
2. Pada kadar 6% dan 7%, struktur menjadi lebih kaku dan kuat.
3. Puncak tegangan terjadi pada regangan kecil ($\pm 2\%$), menunjukkan perilaku getas khas soil-cement.
4. Setelah tegangan puncak, terjadi penurunan akibat retak pada matriks semen.

Kesimpulan Teknis UCS :

Stabilisasi semen efektif meningkatkan kekuatan tekan tanah kapur. Kadar 6% sudah menghasilkan kekuatan tinggi dan stabil, sedangkan 7% memberikan peningkatan tambahan namun dengan potensi sifat lebih getas.



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Kadar Semen Dengan CBR

$$Y = a + bX$$

Dimana:

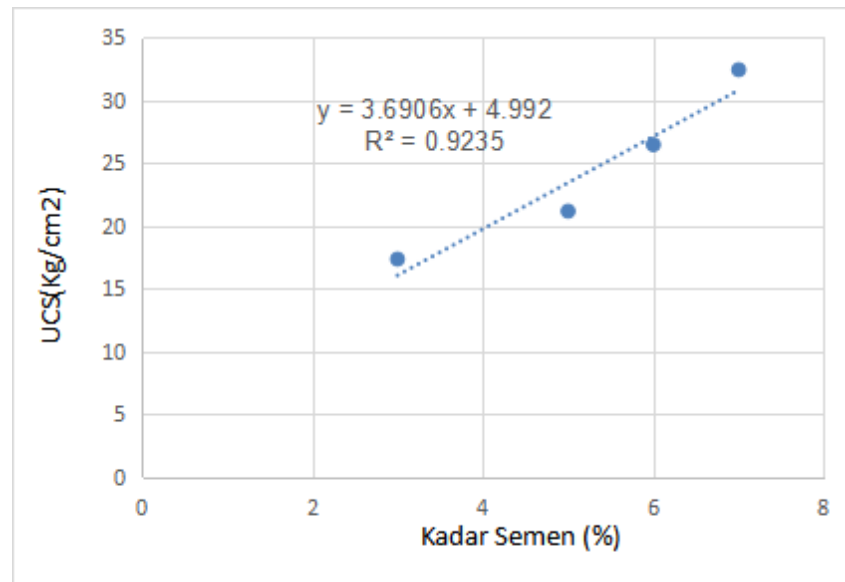
Y = Nilai CBR (%)

X = Kadar semen (%)

a = Intersep (konstanta)

b = Koefisien regresi (kemiringan garis)

"Hasil analisis regresi linier menunjukkan persamaan $Y = 24,086X + 11,8$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9824. Nilai ini menunjukkan bahwa 98,24% variasi nilai CBR dipengaruhi oleh kadar semen. Koefisien regresi sebesar 24,086 mengindikasikan bahwa setiap penambahan 1% semen mampu meningkatkan nilai CBR sebesar 24,086%. Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi semen memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap peningkatan daya dukung tanah kapur."



Gambar 4.3 .Grafik Hubungan Kadar Semen Dengan UCS

y = Nilai UCS dan X = %
Semen

$$y = 3,6906x + 4,992$$

Spesifikasi Lapis Pondasi
UCS = 20 kg/cm²

$$20 = 3,6906 \text{ \% semen} + 4,992$$

$$3,6906 \text{ \% semen} + 4,992 - 20$$

$$\begin{aligned} & 4,992 - 20 \\ & 4,99202 - 20 \quad 15,008 \\ \% \text{ semen} &= \frac{\quad}{-3,6906} = \frac{\quad}{-3,6906} \\ &= 4,06 \% \end{aligned}$$

BAB V.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Karakteristik Fisik dan Mekanik Material Tanah Kapur Lokal dari Wilayah Sorong Selatan – Kambuaya, berdasarkan hasil penelitian karakteristik tanah kapur lokal Sorong Selatan – Kambuaya dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Karakteristik Fisik

a. Hasil analisa saringan menunjukkan persen lolos saringan No.200 sebesar **4,31%**, nilai ini menunjukkan bahwa material tergolong **granular bersih (clean granular material)** karena fraksi halus < 5 , material didominasi butiran pasir kasar–kerikil halus, dengan persen lolos saringan #4 sebesar 59,21% , dengan demikian tanah kapur bersifat non plastis (NP), Tidak kohesif.

b. Karakteristik Pemadatan Tanah kapur tanpa semen memiliki **OMC = $\pm 7,50\%$** , **$\gamma_d \text{ max} = \pm 1,76 \text{ gr/cm}^3$** , nilai ini menunjukkan kepadatan maksimum masih tergolong sedang dan belum cukup tinggi untuk lapisan pondasi tanpa stabilisasi.

2. Karakteristik Mekanik

a. Uji Kuat Tekan Bebas (UCS)

Hasil pengujian UCS menunjukkan peningkatan kekuatan seiring penambahan semen :

1. 3% semen $\rightarrow 16,79 - 17,85 \text{ kg/cm}^2$

2. 5% semen → 21,18 kg/cm²

3. 6% semen → 26,40 kg/cm²

4. 7% semen → 32,45 kg/cm²

Pada kadar 6% semen dinyatakan sebagai kadar efektif karena sudah memenuhi kekuatan yang aman secara struktural dan masih dalam batas spesifikasi

b. Uji CBR (California Bearing Ratio)

Hasil CBR menunjukkan peningkatan signifikan dengan energi pemadatan:

Untuk campuran semen 6% (65 x 3 Tumbukan)

1. CBR Pada Penetrasi 0,1 inchi ±143,33 %

2. CBR Pada Penetrasi 0,2 inchi ±155,00 %

3. Layak atau Tidak Dari Hasil Penelitian

Pada Penelitian Tanah Kapur di wilayah Sorong Selatan - Kambuaya dengan Variasi Kadar semen 6% , kadar air optimum (OMC) 7,90 %, berat isi kering (γ_{dry} maks) 1,810 gr/cm³, nilai kuat tekan bebas (UCS) 26,40 kg/cm² dan nilai daya dukung tanah (CBR) 155 %.

Persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Rec-2 Nilai USC 20 - 30 kg/cm² dan nilai daya dukung tanah 100 - 200 %, sehingga pada campuran tanah kapur + kadar semen 6% sangat layak untuk dijadikan lapis pondasi soil cement .

5.2 Saran

1. Uji Coba Lapangan

Disarankan dilakukan trial section untuk memastikan hasil laboratorium dapat tercapai pada kondisi lapangan dengan mempertimbangkan:

1. Curing
2. kadar air actual
3. kualitas pemadatan

2. Pengujian UCS dan Durabilitas

Agar memenuhi desain soil cement secara lengkap, perlu pengujian lanjutan :

1. UCS umur 7–28 hari
2. wetting–drying durability
3. ketahanan retak shrinkage

3. Kajian Ekonomi

Walaupun 6% optimum secara teknis, perlu studi biaya agar penggunaan semen tetap efisien untuk proyek daerah.

4. Penyusunan Pedoman Material Lokal Papua Barat

Perlu dikembangkan standar lokal pemanfaatan tanah kapur agar dapat menjadi solusi konstruksi berkelanjutan di Sorong Selatan – Kambuaya Provinsi Papua Barat Daya.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM International. (2004). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (ASTM D1883)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
2. ASTM International. (2007). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil (ASTM D2166)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
3. ASTM International. (2010). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (ASTM D698)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
4. ASTM International. (2011). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System – ASTM D2487)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials. (2014). *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. Washington, DC: AASHTO.
6. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
7. Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1744:2008 – Metode Pengujian CBR Laboratorium*. Jakarta: BSN.
8. Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1964:2012 – Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah*. Jakarta: BSN.

9. Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (7th ed.). Stamford, CT: Cengage Learning.
10. Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
11. Hardiyatmo, H. C. (2014). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
12. Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Lampiran Dokumentas

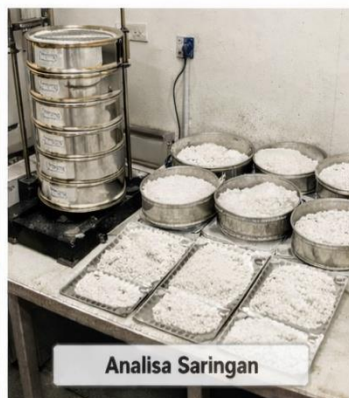
DOKUMENTASI PENGAMBILAN SAMPEL



Dokumentasi Pengujian



Sampel UCS



Pengujian USC dan CBR Material Tanah Kapur

