

TUGAS AKHIR

ANALISIS TANAH DASAR MELALUI PENGUJIAN DCP UNTUK PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR PERUMAHAN BERSUBSIDI DIDAEARAH SANDING MALANGBONG KAB. GARUT

Isi dan penulisan materi penelitian seluruhnya adalah Tanggung jawab penulis, Program studi dan Fakultas Teknik. Diajukan sebagai salah satu Syarat untuk memperoleh Gelar (Strata – 1) Teknik Sipil

Disusun Oleh : Jamaludin
NPM : 2112191212



PROGARAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANGGA BUANA (USB) - YPKP
BANDUNG
2024

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS TANAH DASAR MELALUI PENGUJIAN DCP UNTUK
PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR PERUMAHAN
BERSUBSIDI DIDAEARAH SANDING MALANGBONG KAB. GARUT**

Disusun Oleh:

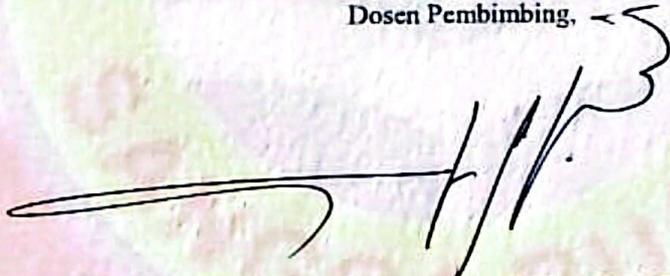
JAMALUDIN

NIM. 2112191212

Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan guna memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing,



Chandra Afriade Siregar, ST., MT., IPU, ASEAN Eng., APEC Eng.

NIK.432.200.167

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP



Muhammad Syukri, ST., MT

NIK.432.200.200

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
TUGAS AKHIR**

*Tugas Akhir ini telah diperbaiki sesuai dengan masukan Dewan Penguji Tugas Akhir Program
Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sangga Buana YPKP Bandung*

Disusun Oleh:

Jamaludin

NIM.2112191212

Menyetujui :

Dosen Penguji 1



Muhammad Syukri, ST., MT

NIK.432.200.200

Dosen Penguji 2



Dwi Haryono Aji Wibowo, ST., MT

NIK.432.200.159

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa tugas akhir berjudul “ANALISIS TANAH DASAR MELALUI PENGUJIAN DCP UNTUK PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR PERUMAHAN BERSUBSIDI DIDERAH SANDING MALANGBONG KAB. GARUT” ini sepenuhnya karya saya sendiri. Tidak ada bagian didalamnya yang merupakan plagiat dari karya orang lain dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko / sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

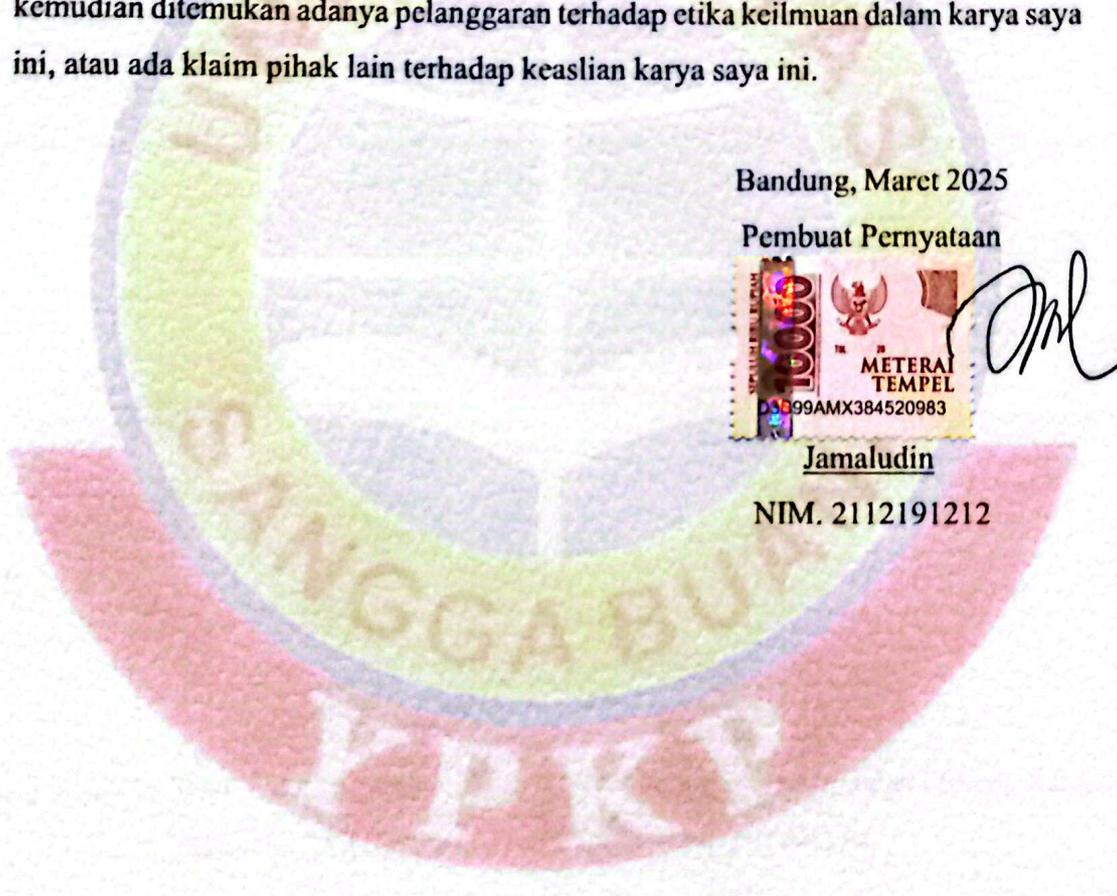
Bandung, Maret 2025

Pembuat Pernyataan



Jamaludin

NIM. 2112191212



HALAMAN HAK CIPTA

Mahasiswa SI

ANALISIS TANAH DASAR MELALUI PENGUJIAN DCP UNTUK PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR PERUMAHAN BERSUBSIDI DIDERAH SANDING MALANGBONG KAB. GARUT

Disusun Oleh:

JAMALUDIN

NIM. 2112191212

Naskah Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Teknik pada Fakultas Teknik

©Jamaludin 2025

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, fotocopy, dan atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

ABSTRAK

Semua bangunan sipil berdiri atau dibangun di atas tanah dasar, dan karena kestabilan dan keamanannya tergantung pada kestabilan daya dukung tanah dasarnya. Jadi, tanah itu mempunyai peranan yang sangat penting pada suatu konstruksi bangunan sipil, seperti konstruksi perkerasan jalan raya. Dengan pesatnya perkembangan di bidang transportasi, maka pengetahuan dibidang transportasi harus terus digali dan dikembangkan, begitu pula pengetahuan tentang perencanaan perkerasan jalan khususnya perkerasan lentur (Flexible Pavement) yang sampai saat ini masih memiliki nilai ekonomis yang lebih baik dan lebih umum digunakan. Dalam merencanakan perkerasan lentur, banyak metode yang bisa dipakai diantaranya, Metode AASHTO 1993, Metode Bina Marga dan standar-standar lain yang dikeluarkan oleh tiap Negara. Dalam Tugas Akhir ini akan ditinjau khusus Metode Bina Marga No. 01/PD/B/1983 untuk penentuan tebal lapisan perkerasan lentur jalan raya.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kekuatan tanah dasar dalam bentuk nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang digunakan untuk menentukan tebal perumahan bersubsidi di daerah sanding malambong kab. Garut, selain itu juga bertujuan untuk mendapatkan nilai berat isi tanah kering (γ_d) untuk menilai kepadatan di lapangan, apakah tanah dasar di lokasi penelitian tersebut sudah layak/sudah padat. Nilai CBR tersebut didapat dari data pengujian dengan menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).

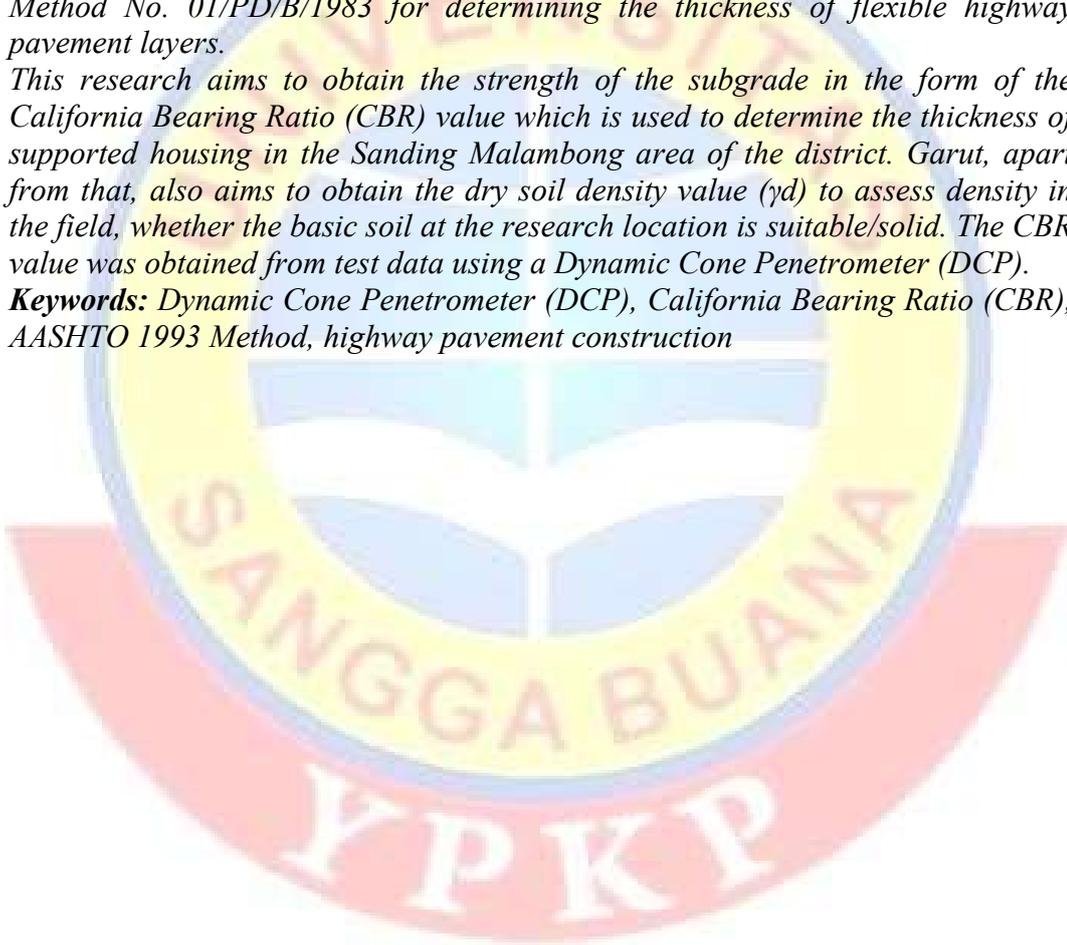
Kata kunci : *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), *California Bearing Ratio* (CBR), Metode AASHTO 1993, konstruksi perkerasan jalan raya

ABSTRACT

All civil buildings stand or are built on subgrade, and because their stability and safety depend on the stability of the bearing capacity of the subgrade. So, soil has a very important role in civil building construction, such as road pavement construction. With the rapid development in the field of transportation, knowledge in the field of transportation must continue to be explored and developed, as well as knowledge about road pavement planning, especially flexible pavement, which to this day still has better economic value and is more commonly used. In planning flexible pavement, many methods can be used, including the 1993 AASHTO Method, Bina Marga Method and other standards issued by each country. In this Final Assignment we will specifically review the Highways Method No. 01/PD/B/1983 for determining the thickness of flexible highway pavement layers.

This research aims to obtain the strength of the subgrade in the form of the California Bearing Ratio (CBR) value which is used to determine the thickness of supported housing in the Sanding Malambong area of the district. Garut, apart from that, also aims to obtain the dry soil density value (γ_d) to assess density in the field, whether the basic soil at the research location is suitable/solid. The CBR value was obtained from test data using a Dynamic Cone Penetrometer (DCP).

Keywords: *Dynamic Cone Penetrometer (DCP), California Bearing Ratio (CBR), AASHTO 1993 Method, highway pavement construction*



KATA PENGANTAR

Atas Rahmat serta Karunia Allah Swt, maka penulis dapat menyelesaikan dalam penulisan tugas akhir, oleh karena itu masih ada kekurangan, dengan dorongan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, dan penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada Yth:

1. Dr. Didin Saepudin,SE.,M.Si Selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP Bandung .
2. Dr.Teguh Nurhadi Suharsono,ST.,MT Selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana YPKP Bandung .
3. Bambang Susanto,SE.,M.Si Selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana YPKP Bandung .
4. Dr.Nuhaeni Sikki,S.Ap.,M.Ap, selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana YPKP
5. Slamet Risnanto,ST.,M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung
6. Dr.Djoko Pitoyo,ST.,M.Sc selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung;
7. Chandra Afriade Siregar,ST.,MT selaku pembimbing tugas akhir
8. Muhammad Syukri,ST.,MT selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung;
9. Segenap Dosen dan Karyawan Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung;
10. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir

Bandung, 2024

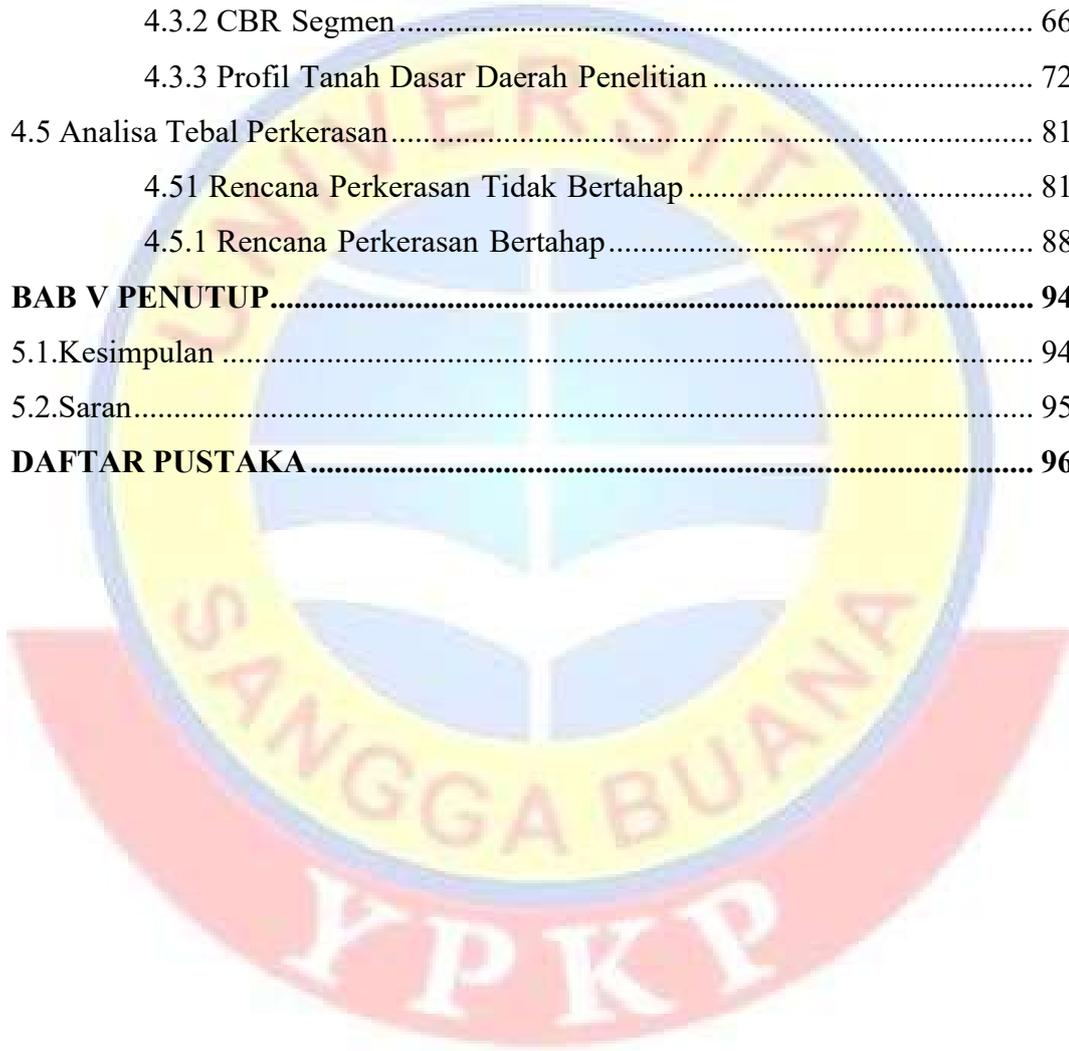
Jamaludin

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.3 Identifikasi Masalah	3
1.4 Ruang Lingkup Pembahasan	3
1.5 Metodologi Pembahasan	3
1.6 Waktu dan Lokasi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Parameter Geoteknik	5
2.1.1. Umum	5
2.1.2. Sifat-sifat Fisik Tanah	9
2.1.2.1. Hubungan Antara Jumlah Butir, Air dan Udara Dalam Tanah	9
2.1.2.3 Konsistensi Tanah	13
2.1.2.3 Berat Jenis Tanah (G_s)	17
2.1.2.4 Kadar Air Tanah (ω)	17
2.1.2.5 Berat Isi Tanah Kering (γ_d)	18
2.1.2.6 Ukuran Butir Tanah	18
2.1.3. Klasifikasi Tanah	19
2.1.3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO	19
2.1.3.2 Sistem Klasifikasi USCS	23

2.1.4. Sifat – sifat Mekanis Tanah.....	24
2.1.4.1 Pemadatan Tanah	24
2.1.4.2 Dynamic Cone Penetrometer (DCP)	28
2.1.4.3 California Bearing Ratio (CBR).....	30
2.2 Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya	38
2.2.1. Umum.....	38
2.2.2. Umur Rencana.....	39
2.2.3. Lalu Lintas	40
2.2.4. Konstruksi Jalan	40
2.2.5. Persyaratan Penggunaan.....	43
2.2.6. Penentuan Besaran Rencana.....	43
2.2.6.1 Persentase Kendaraan pada Jalur Rencana.....	43
2.2.6.2 Daya Dukung Tanah Dasar.....	44
2.2.6.3 Faktor Regional (FR)	46
2.2.6.4 Indeks Permukaan (IP).....	47
2.2.7. Penentuan Tebal Perkerasan.....	48
2.2.7.1 Indeks Tebal Perkerasan	48
2.2.7.2 Koefisien Kekuatan Relatif.....	49
2.2.7.3 Batas – Batas Minimum Tebal Lapisan	50
2.2.7.4 Pelapisan Tambahan.....	51
2.2.7.5 Konstruksi Bertahap.....	52
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	54
3.1. Umum	54
3.2. Persiapan penelitian.....	54
3.2.1 Persiapan Umum.....	55
3.2.2 Survey Lapangan	55
3.3. Pekerjaan Lapangan	56
3.3.1. Pengujian Dynamic Cone Penetrometer (DCP).....	56
3.4. Analisis Data dan Tebal Lapisan.....	56
3.5. Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	57
BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA.....	58

4.1 Hasil Penelitian	58
4.2 Hasil Pekerjaan Lapangan.....	58
4.2.1 Survey Lokasi	58
4.2.2 Uji Dynamic Cone Penetrometer (DCP).....	60
4.3.1 CBR Titik Uji.....	62
4.3.2 CBR Segmen.....	66
4.3.3 Profil Tanah Dasar Daerah Penelitian	72
4.5 Analisa Tebal Perkerasan.....	81
4.5.1 Rencana Perkerasan Tidak Bertahap.....	81
4.5.1 Rencana Perkerasan Bertahap.....	88
BAB V PENUTUP.....	94
5.1.Kesimpulan	94
5.2.Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....	96



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Susunan horison tanah yang disederhanakan untuk pemakaian geoteknik.....	7
Tabel 2.2 Deskripsi kualitas endapan tanah berbutir.	13
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO).....	21
Tabel 2.4 Sistem Klasifikasi USCS (<i>Unified Soils Classification System</i>)	24
Tabel 2.5 Elemen – elemen uji pemadatan standar.....	26
Tabel 2.6 Besarnya beban yang dibutuhkan untuk melakukan penetrasi bahan standar	31
Tabel 2.8 Jumlah jalur berdasarkan lebar perkerasan	44
Tabel 2.9 Koefisien distribusi kendaraan ke lajur rencana	44
Tabel 4.1. Pengujian <i>Dynamic Cone Penetrometer</i> nomor titik uji DCP-1 _{ka}	61
Tabel 4.2. Analisa Nilai CBR pada Jalan sanding	63
Tabel 4.3 Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 1 pada Jalan sanding.....	67
Tabel 4.4. Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 2 pada Jalan bunisari.	68
Tabel 4.5 Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 3 pada Jalan girimakmur.	69
Tabel 4.6 Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 4 pada Jalan sukajaya.	70
Tabel 4.7 Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 5 pada Jalan cibunar	71
Tabel 4.8 Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 1.....	72
Tabel 4.10. Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 3.	75
Tabel 4.11. Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 4.	76
Tabel 4.12. Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 5	77
Tabel 4.13. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 1.....	79
Tabel 4.14. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 2.....	79
Tabel 4.15. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 3.....	80
Tabel 4.16. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 4.....	80
Tabel 4.17. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 5.....	80
Tabel 4.18. Analisa rencana tebal perkerasan tidak bertahap.	83
Tabel 4.19. Analisa berdasarkan biaya setiap meter jalan dari data tebal lapis	

perkerasan secara tidak bertahap.....	84
Tabel 4.20. Analisa rencana tebal perkerasan secara bertahap.	91
Tabel 4.21. Analisa berdasarkan biaya setiap meter jalan dari data tebal lapis perkerasan secara bertahap.....	92



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tinjauan secara lebih terinci pada bagian-bagian deposit yang terbentuk oleh beberapa bahan pemindah.	9
Gambar 2.2 Penampang struktur tanah dalam sistem tiga tingkat.....	10
Gambar 2.3 Batas-batas atterberg/ <i>Atterberg's Limit</i>	14
Gambar 2.4 Rentang (<i>range</i>) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.	21
Gambar 2.5 Kurva pemadatan untuk menghitung nilai RC.....	28
Gambar 2.10 Hubungan jumlah pukulan dengankedalaman penetrasi.	35
Gambar 2.11 Korelasi antara DCP dan CBR lapangan.	36
Gambar 2.12 Titik uji pada beberapa lapisan tanah.....	36
Gambar 2.13 Susunan lapis konstruksi jalan.....	41
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian.....	59
Gambar 4.2 Keadaan jalan yang akan diteliti.	60
Gambar 4.2 Penempatan titik-titik uji pada jalan yang belum ada perkerasan.....	60
Gambar 4.3 Penempatan titik-titik uji pada jalan yang sudahada perkerasan.	61
Gambar 4.5 Grafik Jumlah Pukulan vs Kedalaman Penetrasi pada DCP-3ki.....	62
Gambar 4.7 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titikuji pada Segmen 1.....	67
Gambar 4.8 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titikuji pada Segmen 2.....	68
Gambar 4.9 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titikuji pada Segmen 3.....	69
Gambar 4.10 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titikuji pada Segmen 4.....	70
Gambar 4.11 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titikuji pada Segmen 5.....	71
Gambar 4.12 Profil tanah dasar Segmen 1.....	73
Gambar 4.13 Profil tanah dasar Segmen 2.....	74
Gambar 4.14 Profil tanah dasar Segmen 3.....	75
Gambar 4.15 Profil tanah dasar Segmen 4.....	76
Gambar 4.16 Profil tanah dasar Segmen 5.....	77
Gambar 4.32 Susunan tebal perkerasan Segmen 1.	86

Gambar 4.33 Susunan tebal perkerasan Segmen 2. 87
Gambar 4.34 Susunan tebal perkerasan Segmen 3. 87
Gambar 4.35 Susunan tebal perkerasan Segmen 4. 88
Gambar 4.36 Susunan tebal perkerasan Segmen 5. 88



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada intinya, aktivitas transportasi melibatkan tindakan yang memfasilitasi pergerakan produk dan individu dari satu lokasi ke lokasi lain. Salah satu metode transportasi yang memiliki peranan krusial adalah transportasi jalan raya.

Dewasa ini tuntutan akan adanya pembangunan sistem jaringan jalan raya adalah sudah demikian mendesak, ini diakibatkan oleh perubahan sikap alamiah masyarakat. Semua ini dimaksudkan untuk memperlancar distribusi arus barang dan jasa, baik dalam satu wilayah maupun antara wilayah, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan keamanan bagi suatu daerah.

Untuk memenuhi tuntutan tersebut, harus diimbangi dengan pembangunan prasarana transportasi yang mencakup semua persyaratan teknis dan ekonomis. Pada umumnya jaringan jalan di Indonesia menekankan pada segi efisiensi, pemahaman dan evaluasi dalam Perencanaan yang terjangkau harus disesuaikan dengan keadaan, situasi, kebutuhan yang ada, dan kemampuan untuk melaksanakannya. Semua ini dimaksudkan agar konstruksi yang direncanakan itu sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, banyak dibangun jalan-jalan di Indonesia yang berfungsi untuk menyalurkan hasil-hasil barang dan jasa, baik itu pertumbuhan volume lalu lintas maupun beban kendaraan yang harus dipikul oleh suatu perkerasan jalan raya.

Secara umum perkerasan jalan harus cukup kuat untuk memenuhi dua persyaratan, yaitu :

- (a) Secara keseluruhan, lapisan jalan harus kokoh untuk menopang beban kendaraan yang akan menggunakannya..
- (b) Permukaan jalan harus sanggup menahan gesekan dan ausnya roda kendaraan, serta dampak air dan hujan..

Jika permukaan jalan tidak memiliki kekuatan keseluruhan yang memadai

(artinya tidak memenuhi kriteria yang diperlukan), jalan akan mengalami penurunan dan pergeseran, baik di permukaan jalan maupun di tanah di bawahnya. Seiring berjalannya waktu, jalan akan menjadi sangat tidak rata dan penuh lubang, yang menyebabkan kerusakan total.

Jika permukaan jalan tidak memiliki lapisan pelindung yang kuat, yang berarti jalan tersebut tidak memenuhi kriteria b, jalan akan mengalami kerusakan yang awalnya tampak sebagai cekungan kecil. Seiring waktu, cekungan ini akan bertambah banyak dan meluas hingga perkerasan jalan rusak sepenuhnya.

Hal tersebut sering sekali menjadi kendala dan menyebabkan terjadinya kerusakan-kerusakan pada perkerasan jalan yang diletakkan di atas tanah dasar. Dalam hal ini, nilai daya dukung tanah dasar sangat menentukan tebal tiap-tiap lapisan perkerasan jalan karena dengan baiknya nilai daya dukung tanah dasar, maka semakin baik pula perkerasan jalan tersebut dan dalam menerima beban lalu lintas akan semakin baik. Sehingga hal ini bisa memperpanjang umur rencana jalan dan meningkatkan pelayanan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah melaksanakan pengujian dengan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) pada lokasi perumahan bersubsidi, di daerah sanding malambong kab. garut.

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan kekuatan tanah dasar dalam bentuk *California Bearing Ratio* (CBR) yang digunakan untuk menentukan tebal perkerasan lentur jalan raya.
2. Mendapatkan nilai berat isi tanah kering (γ_d) untuk menilai kepadatan di lapangan, apakah tanah di lokasi penelitian tersebut sudah layak/sudah padat.

1.3 Identifikasi Masalah

Dalam perencanaan perkerasan lentur jalan raya, tebal lapisan perkerasan sangat ditentukan oleh parameter-parameter perencanaan, seperti : *California Bearing Ratio* (CBR) dan Daya Dukung Tanah (DDT). Untuk dapat mengetahui nilai tersebut, penanganannya juga bisa dilakukan dengan metode yang berbeda-beda.

1. Bagaimanakan analisis nilai CBR dan besaran lainnya dalam perencanaan perkerasan lentur jalan raya?
2. Bagaimanakan hubungan nilai CBR dalam perencanaan perkerasan lentur jalan raya ?
3. Bagaimanakah sifat dan karakteristik tanah dasar tersebut terhadap rencanaperkerasan lentur jalan raya ?

1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

Pada penulisan ini membahas dan menganalisis nilai CBR dengan metoda dan jenis pengujian lapangan yang dikorelasikan terhadap nilai daya dukung tanah untuk perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya.

1.5 Metodologi Pembahasan

Penulisan ini dilakukan dengan kegiatan-kegiatan, antara lain :

1. Studi literatur, yaitu mengkaji dan memahami secara teoritis tentang perencanaan perkerasan lentur jalan raya.
2. Penelitian lapangan, yaitu melakukan pengujian dengan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) terhadap tanah dasar sebagai pondasi/perletakan perkerasan jalan raya.
3. Analisa data dan kesimpulan.

1.6 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian dan pengujian dilaksanakan pada perumahan bersubsidi didaerah Sanding Malangbong Kab. Garut

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Mengenai latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, identifikasi masalah, ruang lingkup masalah, metodologi penelitian, waktu dan lokasi penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Mengenai teori sifat-sifat fisik tanah, sifat-sifat mekanis tanah dan klasifikasi tanah. Selain itu juga membahas tentang teori penentuan tebal perkerasan lentur jalan raya.

BAB III Metodologi dan Rancangan Penelitian

Tentang pendekatan-pendekatan dalam pengujian untuk dapat mengetahui analisa nilai daya dukung tanah dasar dan besaran lainnya, serta bagan alir metodologi penelitian.

BAB IV Hasil dan Analisis Data

Yaitu menganalisis data-data dari hasil pekerjaan lapangan, menentukan nilai CBR dan mengkorelasikannya terhadap daya dukung tanah dasar serta menentukan tebal lapisan perkerasan lentur jalan raya.

BAB V Penutup

Berisi kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian, dan saran dalam memecahkan masalah-masalah dalam penelitian ini

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter Geoteknik

2.1.1. Umum

Secara umum, tanah adalah zat yang tersusun dari gugusan mineral padat yang tidak terikat oleh proses kimia apa pun, yang berasal dari bahan organik yang terurai bersama dengan cairan dan gas yang menempati celah di antara partikel padat tersebut. Mekanika Tanah adalah bidang ilmiah yang berfokus pada pemeriksaan karakteristik fisik tanah dan bagaimana massa tanah merespons berbagai gaya yang diberikan padanya. Rekayasa Tanah melibatkan pemanfaatan konsep-konsep yang ditemukan dalam mekanika tanah untuk mengatasi tantangan di dunia nyata.

Dalam bidang mekanika tanah, istilah tanah mencakup semua akumulasi alami yang berkaitan dengan teknik sipil, kecuali batuan yang tahan lama. Batuan yang tahan lama termasuk dalam disiplin ilmu yang dikenal sebagai mekanika batuan. Akumulasi alami ini mencakup berbagai material, dari tanah liat, yang sering disebut lempung, hingga bongkahan batu. Teknik tanah, yang juga disebut mekanika tanah atau geoteknik, merupakan salah satu disiplin ilmu terbaru dalam teknik sipil.

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, diperlukan penciptaan dan pelaksanaan struktur yang lebih baik dan lebih ekonomis yang sejalan dengan kemajuan ilmiah. Rekayasa Geoteknik mengacu pada bidang yang menangani aspek-aspek teknik sipil yang terkait dengan material alami bumi. Secara lebih luas, rekayasa geoteknik mencakup penggunaan konsep dasar mekanika tanah dan mekanika batuan untuk mengatasi tantangan desain pondasi.

Butir mineral yang membentuk bagian padat dari tanah adalah akibat pelapukan batuan. Ukuran setiap butir padat sangat bervariasi dan sifat fisik tanah sangat bergantung pada faktor-faktor seperti ukuran, bentuk, dan susunan kimia butiran. Gradasi ukuran butiran merupakan ciri penting tanah sisa, yaitu tanah yang terbentuk akibat akumulasi produk pelapukan hanya di lokasi aslinya. Secara

umum, ukuran butiran cenderung membesar seiring lapisan bertambah dalam, dengan permukaan sering kali memiliki butiran yang lebih halus.

Tanah dapat diklasifikasikan menurut metode pembentukannya depositnya sebagai tanah residu atau tanah yang dipindahkan. Tanah sisa mengacu pada tanah yang terbentuk di tempatnya saat ini sebagai akibat dari kerusakan batuan dasar. Jenis tanah ini lazim di daerah tropis, yang dikenal sebagai laterit, dan di daerah nontropis yang tidak mengalami hujan salju, seperti Amerika Serikat bagian tenggara dan barat daya, sebagian besar Australia, India, Afrika, dan Eropa selatan.

Lapisan tanah yang tersisa dapat bervariasi kedalamannya dari hanya beberapa sentimeter hingga lebih dari 100 meter atau lebih, dipengaruhi oleh usia bumi dan proses pelapukan.

Jenis tanah ini terbentuk melalui penguraian dan pencairan zat-zat yang larut dalam air dari permukaan ke bawah. Seiring bertambahnya kedalaman, proses pelarutan cenderung berhenti, sehingga tanah sisa ini mengalami perubahan minimal hingga bertemu dengan batu-batu yang lebih besar. Penggalan vertikal pada tanah sisa ini dapat memperlihatkan pita-pita horizontal, terutama di area yang baru digali. Irisan tanah vertikal disebut sebagai profil tanah, dan setiap lapisan yang berbeda dikenal sebagai horizon tanah.

Tabel 2.1 Susunan horison tanah yang disederhanakan untuk pemakaian geoteknik.

Horison	Keterangan
A	Zona atas terdiri dari lapisan tanah atas dan material organik dan di daerah lembap sangat mudah larut; di daerah kering, mungkin mengandung sejumlah besar garam yang larut dalam air, yang tetap berada di sana saat air menguap dari bagian yang lebih dalam. Biasanya material ini telah mengalami pelapukan dalam waktu lama dan berwarna gelap, meliputi berbagai corak. Dari warna hitam atau coklat, dengan ketebalan beberapa sentimeter hingga 1 atau 2 materialisme dialektis, dan mendekati cakrawala B.
B	Daerah di bawah horizon A mengandung sejumlah besar zat terlarut (garam yang larut dalam air seperti karbonat, sulfat, dan klorida) dan mineral lempung. Zona ini mungkin setebal setengah hingga beberapa meter, dan berada di sebelah horizon C.
C	Zona transisi berupa batuan dasar yang baru saja mengalami pelapukan, mungkin banyak mengandung fragmen batuan, atau sama sekali tidak mengandung fragmen batuan tetapi dengan kedalaman yang sangat dangkal, dan berbatasan dengan horison D.
D	Batu dasar.

Tanah dari horisontal B dianggap sebagai yang terbaik untuk tanah timbunan, karena banyak mengandung bahan-bahan pengikat. Horisontal A terlalu banyak mengandung organik dan terlalu sedikit bahan pengikat, sehingga kurang baik untuk bahan konstruksi. Horison C mungkin mempunyai gradasi batuan yang terlalu terbuka (sangat lepas), atau tidak mengandung bahan yang dapat melalui saringan No. 100 dan ukuran lempung untuk dapat digunakan sebagai bahan konstruksi, walaupun sebenarnya dapat dicampur dengan bahan dari horison B dan dapat berfungsi dengan baik.

Tanah residu cenderung mempunyai karakteristik-karakteristik sebagai berikut :

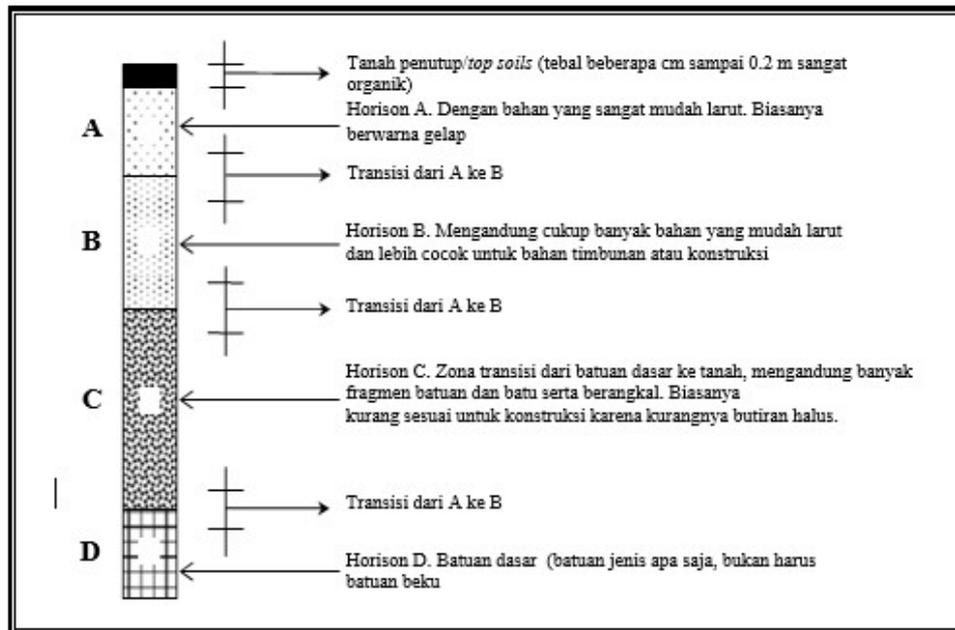
1. Mengandung mineral yang telah mengalami kerusakan dari batuan dasar
2. Partikelnya cenderung berbentuk kotak atau agak persegi.
3. Potongan batu yang persegi dan luas cenderung menyebar

Sisa-sisa yang signifikan biasanya ditemukan di dataran tinggi yang dikenal sebagai saprolit. Saprolit mengacu pada keadaan pemecahan batuan secara kimiawi di mana batuan terpecah-pecah tetapi tetap mempertahankan bentuk dan rasa awalnya. Kondisi iklim dengan curah hujan yang cukup lebat, seperti yang terdapat di pegunungan Appalachian, pegunungan Alps di Australia dan daerah-daerah di Australia Barat, India, Amerika Selatan dan Hawaii, menghasilkan jenis tanah ini. Bahan saprolitis dijumpai sampai kedalaman 100 m (Carrol, 1970).

Tanah yang diangkut terbentuk dari pelapukan batuan di satu tempat dan sekarang ditemukan di tempat lain. Material pengangkutnya meliputi :

1. Air (bahan pemindah utama)
2. Gletser
3. Angin
4. Gravitasi

Air, angin, dan massa es tidak ada habisnya di mana-mana. Biasanya, massa ini dinamai berdasarkan bahan yang mengangkutnya.



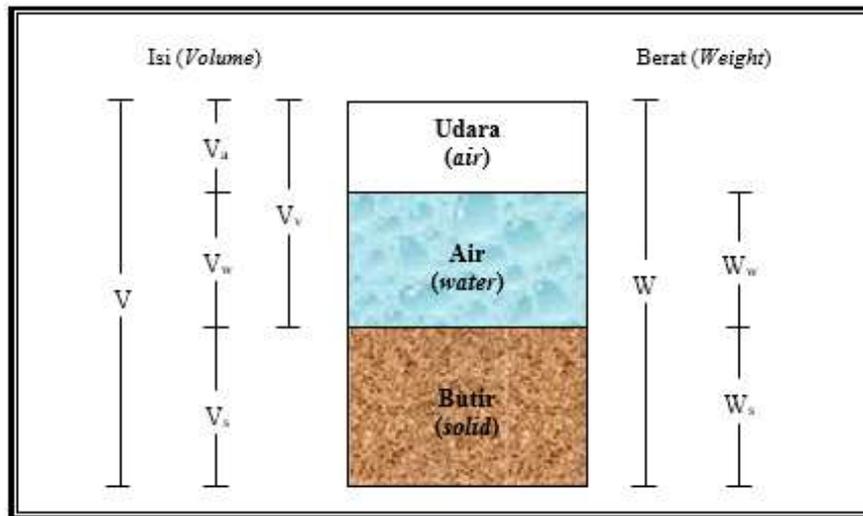
Gambar 2.1 Tinjauan secara lebih terinci pada bagian-bagian deposit yang terbentuk oleh beberapa bahan pemindah.

Dalam kondisi sekarang, tanah yang telah mengeras ini telah mengalami pelapukan yang baru dan menghasilkan tanah yang lebih merupakan tanah residu dari pada tanah yang dipindahkan. Untuk tanah seperti ini, konsep horison mungkin hanya mempunyai arti sedikit karena pelapisan sebelumnya telah terjadi, yang dapat meliputi lapisan pasir, batu gamping, lempung, lanau, atau serpih. Untuk tanah ini, nilai suatu lapisan untuk tujuan konstruksi akan tergantung pada sifat-sifat lapisan tersebut, dan sangat kecil ketergantungannya pada pelarutan dari atas atau pada sifat-sifat lapisan yang berdekatan.

2.1.2. Sifat – sifat Fisik Tanah

2.1.2.1. Hubungan Antara Jumlah Butir, Air dan Udara Dalam Tanah

Untuk menentukan hubungan antara berat satuan, kadar air, jumlah pori, dan faktor tambahan, kami menganggap massa tanah terdiri dari sistem tiga tingkat, khususnya: udara, air, dan partikel padat, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Penampang struktur tanah dalam sistem tiga tingkat.

dengan :

- V = Isi (volume)
- V_a = Isi udara (volume of air)
- V_w = Isi air (volume of water)
- V_s = Isi butir padat (volume of solid)
- V_v = Isi pori atau rongga (volume of void)
- W = Berat (weight)
- W_w = Berat air (weight of water)
- W_s = Berat butir padat (weight of solid)

Dari Gambar 2.2. tersebut dapat diperoleh rumus-rumus sebagai berikut :

1. Kadar air (*Moisture content* atau *water content*)

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \tag{2.1.1}$$

Kadar air dinyatakan dalam persen. Dalam persamaan ini, kadar air merupakan variabel bebas, karena W_s konstan untuk kondisi tanah lunak (*kondisi stabil*). Beberapa ahli telah menggunakan definisi berikut:

$$\omega = \frac{(e \cdot S_r)}{G} \text{ dan } \omega = \frac{(e \cdot S_r)}{W_s} \quad (2.1.2)$$

2. Angka pori (*Void ratio*)

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.1.3)$$

Di mana pada persamaan ini istilah-istilah yang dipakai angka pori e biasanya dinyatakan dalam desimal. Definisi ini banyak digunakan dalam ilmu geoteknik. Dari persamaan diatas menunjukkan bahwa batas-batas yang mungkin bagi e adalah : $0 < e < 8$.

Nilai-nilai tertentu untuk angka pori untuk pasir alam berkisar antara 0,5 hingga 0,8, sementara untuk tanah kohesif (lekat jika basah) berkisar dari 0,7 hingga 1,1.

$$e = \frac{\gamma_w \cdot G (1 + \omega)}{\gamma} \quad (2.1.4)$$

3. Porositas (*Porosity*)

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.1.5)$$

Porositas sering digunakan oleh insinyur pertanian, dan lebih sedikit digunakan oleh insinyur geoteknik. Porositas kerap dinyatakan dalam persentase, walau digunakan dalam perhitungan teknis sebagai desimal.

Porositas dinyatakan dalam persen.

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (2.1.6)$$

4. Derajat kejenuhan (*Degree of saturation*) S_r

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \% \quad (2.1.7)$$

Persamaan ini menyatakan perbandingan antara air yang terdapat di dalam pori-pori tersebut terisi air. Tingkat kejenuhan yaitu persentase dari volume rongga keseluruhan yang berisi air. Pemeriksaan persamaan memperlihatkan bahwa jika tanah dalam kondisi kering (tidak mengandung air), $S_r = 0$ persen, dan

jika pori-pori terisi penuh oleh air maka tanah sudah jenuh dan $S_r = 100$ persen.

5. **Berat isi tanah alami atau asli (*Natural density*)**

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2.1.8)$$

6. **Berat isi tanah kering (*Dry density*)**

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega} \quad (2.1.9)$$

ω = dalam persen

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} \quad (2.1.20)$$

7. **Berat isi tanah jenuh (*Saturated density*)**

$$\gamma_{sat} = \frac{W_w + W_s}{V} \quad (2.1.21)$$

8. **Berat isi tanah terendam (*Submerged*)**

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (2.1.22)$$

9. **Indeks kepadatan atau kepadatan relatif**

$$I_D = D_r = \frac{e_{maks} - e}{e_{maks} - e_{min}} \quad (2.1.23)$$

Biasanya I_D dinyatakan dalam persen.

dengan :

e = Bilangan pori alamiah endapan.

e_{maks} = Angka pori terbesar yang bisa diraih di laboratorium oleh sampel tanah itu (angka pori dalam kondisi paling tak padat)

e_{min} = Angka pori terkecil yang bisa diraih di laboratorium oleh contoh tanah itu (angka pori dalam kondisi paling padat)

Tabel 2.2 Deskripsi kualitas endapan tanah berbutir.

Kepadatan Relatif (%)	Deskripsi Endapan Tanah
0-15	Sangat Lepas
15-50	Lepas
50-70	Sedang
85-100	Padat
70-85	Sangat Padat

2.1.2.3 Konsistensi Tanah

Bila tanah bertekstur lunak mengandung mineral lempung, tanah tersebut dapat dibentuk atau dibentuk ulang tanpa retak. Kelengketan ini disebabkan oleh air yang diserap di sekitar partikel lempung. Pada awal abad ke-20, seorang ilmuwan Swedia, Atterberg, mengembangkan teknik untuk mengkarakterisasi konsistensi tanah bertekstur lunak berdasarkan tingkat kelembapan yang berbeda. Bila kelembapan sangat tinggi, kombinasi tanah dan air menjadi sangat fleksibel, menyerupai cairan. Jadi, tergantung pada jumlah air di dalam tanah, tanah dapat diklasifikasikan menjadi empat keadaan dasar: padat, semipadat, plastis, dan cair (Gambar 2.3).

Batas penyusutan mengacu pada proporsi kadar air di mana transisi terjadi dari keadaan padat ke keadaan setengah padat. Kadar air pada saat terjadi perubahan Dari kondisi semi-padat ke kondisi plastis dinamakan sebagai batas plastis, sementara peralihan dari kondisi plastis ke kondisi cair disebut sebagai batas cair. Batas-batas ini juga dikenal sebagai batas Atterberg.

Batas-Batas Kekentalan Atau Konsistensi Tanah.

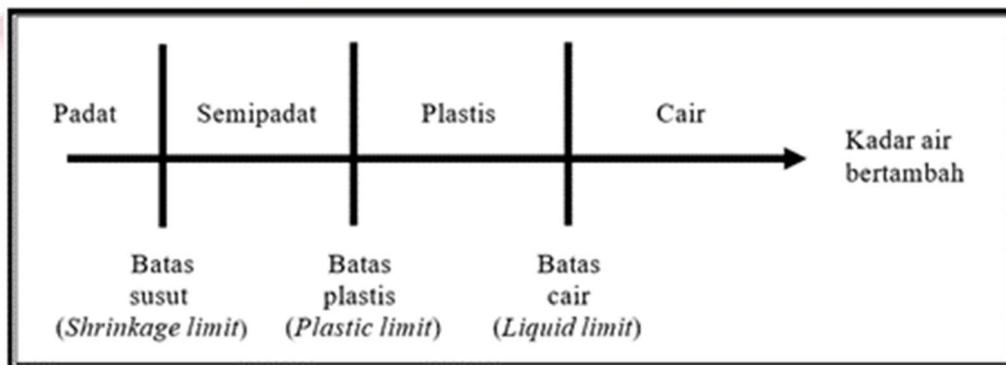
1. Batas cair (*Liquid Limit* = LL)
2. Batas plastis atau kenyal (*Plastic Limit* = PL)
3. Batas menyusut atau mengerut (*Shrinkage Limit* = SL)
4. Batas lekat (*Sticky point limit* = SpL)

Penerapan batas Atterberg ini berfungsi sebagai penjelasan umum tentang

karakteristik tanah masing-masing, karena batas cair dan batas plastis sendiri tidak menghasilkan nilai numerik yang sesuai untuk perhitungan perencanaan. Tanah yang menunjukkan batas cair yang signifikan biasanya memiliki sifat teknik yang tidak memuaskan, seperti kekuatan dan daya dukung yang berkurang, kompresibilitas yang tinggi, dan tantangan dalam pemadatan.

Untuk mengetahui tingkat keadaan batas tersebut butir-butir 1 s/d 3, Mari kita perhatikan kasus partikel yang sangat kecil di dalam tanah, seperti tanah liat atau lanau, yang dicampur dengan air hingga menjadi cair. Ketika campuran ini mengering secara bertahap (tanpa menggunakan oven atau pemanas), tanah akan mengalami beberapa fase transisi dari cair menjadi padat.

Dua hal yang paling penting adalah batas cair dan batas plastis, yang dikenal sebagai Batas Atterberg. Penilaian batas-batas ini dilakukan secara berkala dalam sebagian besar penelitian yang berkaitan dengan tanah berbutir halus. Karena batas-batas ini tidak mewakili karakteristik fisik yang jelas, teknik praktis digunakan untuk mengidentifikasinya. Evaluasi batas-batas Atterberg ini dilakukan hanya pada fraksi tanah yang melewati saringan nomor 40.



Gambar 2.3 Batas-batas atterberg/Atterberg's Limit.

a) Batas cair/Liquid Limit (LL/w_L)

Batas cair adalah kadar air dimana untuk nilai-nilai di atasnya tanah akan berperilaku sebagai cairan kental (campuran tanah-air tanpa kuat geser yang dapat diukur). Dalam teknik tanah, batas cair ini didefinisikan secara kasar sebagai kadar air di mana 25 kali pukulan oleh alat batas cair akan menutup celap (*groove*) standar yang dibuat pada lempengan tanah untuk panjang 12,7

cm. Casagrande (1958) dan yang lainnya telah memodifikasikan percobaan yang pada awalnya dibuat oleh Atterberg ini sehingga tidak terlalu tergantung pada penilaian operatornya, dan dapat diulang kembali. Dengan peralatan standar berbagai operator akan mampu menghasilkan kembali nilai- nilai batas cair dengan perbedaan sekitar 2 sampai 3 persen (yaitu, misalnya $w_L = 39 \pm 2$ persen, dan bukan $39 \times 0,02$).

b) Batas plastisitas/*Plastic limit* (PL/ w_P)

Batas plastis adalah kadar air dimana untuk nilai-nilai dibawahnya tanah tidak lagi berperilaku sebagai bahan yang plastis. Kadar air ini ditentukan dengan menggiling tanah pada plat kaca sehingga diameter dari batang tanah yang dibentuk demikian mencapai 1/8 inci. Bilamana tanah mulai menjadi pecah pada saat diameternya mencapai 1/8 inci maka kadar air tanah itu adalah batas plastis.

c) Indeks plastis/*Plasticity index* (PI/ I_p)

Indeks plastisitas merupakan selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah berada dalam keadaan plastis.

$$PI = LL - PL \quad (2.1.24)$$

atau

$$PI = w_L - w_P \quad (2.1.25)$$

d) Indeks kecairan/*Liquidity index* (LI/ I_L)

Kadar air tanah dalam keadaan asli biasanya terletak antara batas plastis dan cair. Suatu angka kadang-kadang dipakai sebagai petunjuk akan keadaan tanah ditempat aslinya yang disebut “indeks kecairan”. Indeks kecairan ialah perbandingan antara selisih kadar air tanah asli dan batasplastis dengan selisih batas cair dan batas plastis.

$$LI = \frac{\omega - PL}{LL - PL} = \frac{\omega - PL}{PI} \quad (2.1.26)$$

Atau

$$LI = \frac{\omega - Wp}{WL - Wp} = \frac{\omega - Wp}{PI} \quad (2.1.27)$$

Dalam hal ini :

ω = kadar air tanah asli

Nilai LI biasanya berkisar antara 0 (nol) hingga 1 (satu).

Jika LI kecil, mendekati nol, maka tanah tersebut kemungkinan agak kaku. Jika

LI besar, mendekati satu, kemungkinan tanah tersebut lunak.

e) Kekentalan Relatif/Relative consistency (R_c) atau Indeks Kekentalan /Consistency Index (I_c)

Viskositas relatif menunjukkan rasio antara perbedaan antara batas cair dan kadar air tanah awal terhadap indeks plastik.

$$R_c = \frac{LL - \omega}{PI} \quad (2.1.28)$$

Atau

$$R_c = \frac{w_L - \omega}{PI} \quad (2.1.29)$$

f) Indeks pengaliran/Flow index (I_f)

Indeks aliran menggambarkan gradien kurva aliran, yang menunjukkan hubungan antara variasi kadar air dan variasi nilai logaritma jumlah tumbukan selama uji batas cair.

$$I_f = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\log N_2 - \log N_1} \quad (2.1.30)$$

dengan :

ω_1 = Tingkat kelembapan untuk percobaan ketukan/pukulan 1

ω_2 = Tingkat kelembapan untuk percobaan ketukan/pukulan 2

N_1 = Total ketukan/pukulan pada percobaan 1

N_2 = Total ketukan/pukulan pada percobaan 2

g) Indeks kekasaran/ Toughness index (I_t)

Indeks kekasaran menyatakan perbandingan antara indeks plastis dengan indeks pengaliran.

$$I_s = \frac{PI}{I_f} \quad (2.1.31)$$

h) Batas susut/*Shrinkage limit* (SL)

Kadar air dicirikan oleh tingkat kejenuhan 100 persen, di bawah tingkat tersebut tidak akan terjadi perubahan ukuran tanah jika mengalami pengeringan terus-menerus. Ambang batas ini memiliki signifikansi substansial di wilayah kering dan untuk jenis tanah tertentu yang mengalami fluktuasi volume yang nyata dengan variasi tingkat kelembapan. Penting untuk diketahui bahwa batas penyusutan yang lebih rendah menunjukkan kecenderungan yang lebih besar bagi tanah untuk mengalami perubahan volume—secara khusus, w_s yang berkurang berarti lebih sedikit kelembapan yang diperlukan untuk mendorong perubahan volume. Jika batas cair berada pada 5 persen, maka setelah kadar air di lapangan melampaui ambang batas ini, tanah akan mulai mengembang. Posisi w_L , w_p , dan w_s pada skala kadar air saling terkait..

2.1.2.3 Berat Jenis Tanah (G_s)

Berat jenis partikel mineral dalam tanah (komponen padat) sering kali diperlukan untuk berbagai perhitungan dalam mekanika tanah. Pengukuran ini dapat diperoleh secara tepat di laboratorium. Berikut ini adalah angka berat jenis untuk berbagai mineral yang berada dalam kisaran 2,6 hingga 2,9. Untuk tanah berpasir berwarna terang, yang sebagian besar terdiri dari kuarsa, berat jenisnya sekitar 2,65, sedangkan untuk tanah liat atau tanah berlumpur, nilai ini bervariasi antara 2,6 dan 2,9.

Sebagai perbandingan antara berat jenis material dengan berat jenis air. Sebagian besar tanah (partikel yang terkumpul) memiliki jumlah kuarsa dan feldspar yang signifikan, di samping jumlah mika dan mineral yang mengandung besi yang lebih sedikit. Temuan dari pengukuran berat jenis sebagian besar tanah menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut biasanya berkisar antara 2,5 hingga 2,8, dengan nilai yang paling sering muncul berkisar antara 2,6 dan 2,75.

2.1.2.4 Kadar Air Tanah (ω)

Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kelembapan dalam tanah. Tingkat kelembapan tanah mengacu pada perbandingan antara massa air yang ada dalam tanah dan massa partikel tanah, yang dinyatakan dalam persentase.

Kelembapan tanah, atau jumlah air yang ada di dalam tanah, diidentifikasi sebagai proporsi berat air di pori-pori tanah dibandingkan dengan berat partikel tanah. Terdapat perbedaan antara penilaian kadar air yang dilakukan di laboratorium menggunakan berbagai sampel tanah dan kadar air yang mencerminkan nilai tertentu yang diamati pada saat tertentu di lapangan. Kadar air tertinggi dipengaruhi oleh rasio pori. Kadar air (ω) dinyatakan oleh persamaan (2.1.1).

Jumlah air dalam tanah biasanya ditunjukkan dalam persentase, dengan nilai bervariasi dari 0% hingga 200 atau bahkan 300%. Pada tanah yang tidak terganggu, kadar air biasanya berkisar antara 15% dan 100%.

2.1.2.5 Berat Isi Tanah Kering (γ_d)

Kepadatan tanah kering (γ_d) merupakan proporsi massa partikel tanah kering terhadap keseluruhan campuran tanah.

$$e \cdot S_r = \omega \cdot G_s \Rightarrow S_r = 100\% = 1$$

(2.1.32)

$$e = \omega \cdot G_s$$

2.1.2.6 Ukuran Butir Tanah

Gradasi, merujuk pada susunan partikel tanah, bertujuan untuk menunjukkan bagaimana partikel-partikel yang berbeda dalam suatu lapisan tanah bercampur, yang dinyatakan sebagai persentase beratnya.

Pemeriksaan saringan dapat dilakukan dengan dua metode: analisis kering dan basah. Metode kering mengikuti pedoman AASHTO T27-82, sedangkan metode basah mengikuti pedoman AASHTO T11-82. Analisis basah biasanya digunakan ketika tanah yang akan diuji memiliki partikel halus, sehingga memungkinkan deteksi efektif terhadap bagian butiran halus. Jika tanah kasar bebas dari kontaminan dan memiliki partikel halus minimal, analisis kering

merupakan metode yang tepat.

Gradasi dapat dibedakan atas :

1. Gradasi buruk (*poorly graded soil*) adalah tipe tanah dimana sebagian besar dari butirannya mempunyai ukuran yang sama.
2. Tanah bergradasi baik dicirikan oleh distribusi ukuran partikel yang konsisten dalam spektrum yang luas. Jenis tanah ini akan menunjukkan koefisien keseragaman yang melebihi 4 untuk kerikil dan melampaui 6 untuk pasir, dengan koefisien gradasi antara 1 dan 3 untuk kerikil dan pasir.
3. Gradasi senjang (*gap graded*) adalah suatu tanah yang mempunyai kombinasi dari dua atau lebih fraksi dengan gradasi yang sama.

Gradasi tanah ditentukan melalui hasil analisis saringan yang menggunakan satu set saringan, dengan saringan terbesar ditempatkan di atas dan saringan terkecil ditempatkan di bawah. Satu set saringan dimulai dengan wadah dan diakhiri dengan tutup.

2.1.3. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah mengorganisasikan berbagai jenis tanah dengan karakteristik yang sebanding ke dalam kategori dan subkategori sesuai dengan aplikasinya. Kerangka klasifikasi menawarkan terminologi yang lugas untuk menyampaikan secara ringkas sifat-sifat tanah secara keseluruhan, yang dapat berbeda secara signifikan tanpa memerlukan perincian yang ekstensif. Banyak sistem klasifikasi tanah yang dibuat untuk penggunaan teknik bergantung pada atribut indeks dasar seperti distribusi ukuran partikel dan plastisitas. Meskipun terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tidak ada yang memberikan penjelasan menyeluruh tentang semua aplikasi potensial. Keterbatasan ini muncul dari variabilitas yang signifikan dalam sifat-sifat tanah.

2.1.3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Kerangka kategorisasi ini ditetapkan pada tahun 1929 dan dikenal sebagai Sistem Klasifikasi Administrasi Jalan Umum. Selama bertahun-tahun, sistem ini telah disempurnakan beberapa kali, dengan iterasi terbaru yang diperkenalkan

oleh Komite Klasifikasi Material untuk Jalan Jenis Subgrade dan Granular di bawah Dewan Penelitian Jalan Raya pada tahun 1945 (Standar ASTM No. D - 3282, metode AASHTO M145).

Sistem klasifikasi yang digunakan oleh AASHTO diuraikan dalam Tabel 2.3. Kerangka kerja ini mengkategorikan tanah ke dalam tujuh kelompok utama yang diidentifikasi sebagai A-1 hingga A-7. Tanah granular termasuk dalam kategori A-1, A-2, dan A-3, di mana tidak lebih dari 35% partikel tanah dapat melewati saringan No. 200. Jika lebih dari 35% partikel melewati saringan No. 200, tanah tersebut dimasukkan ke dalam A-4, A-5, A-6, atau A-7. Komposisi partikel dalam kelompok A-4 hingga A-7 sebagian besar berupa lanau dan lempung. Klasifikasi ditentukan oleh kriteria tertentu :

- a. Ukuran butir :
 - Kerikil: segmen tanah yang melewati saringan berukuran 75 mm (3 in) dan tertahan oleh saringan No. 10 (2 mm).
 - Pasir: segmen tanah yang melewati saringan No. 10 (2 mm) dan tertahan oleh saringan No. 200 (0,075 mm).
 - Lanau dan lempung: segmen tanah yang lolos saringan No. 200.
- b. Plastisitas :
 - Istilah lanau mengacu pada tanah yang memiliki partikel halus dengan indeks plastisitas (PI) 10 atau lebih rendah.
 - Istilah lempung berlaku untuk tanah dengan partikel halus yang memiliki indeks plastisitas 11 atau lebih tinggi..
- c. Jika ditemukan batu berukuran lebih besar dari 75 mm dalam sampel tanah yang memerlukan klasifikasi, batu tersebut harus disingkirkan terlebih dahulu. Meskipun demikian, penting untuk mendokumentasikan proporsi batu yang telah diekstraksi..

Jika kerangka klasifikasi AASHTO diterapkan untuk mengkategorikan tanah, data hasil pengujian akan diselaraskan dengan angka-angka yang disajikan dalam Tabel 2.3. Proses ini berlanjut dari kolom kiri ke kolom

kanan hingga angka-angka yang cocok diidentifikasi..

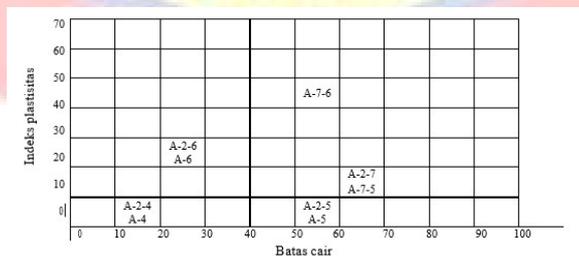
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau – lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Min 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi melalui No.40 Batas cair Indeks plastisitas	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 10	Maks 41 Maks 11
Indeks kelompok	0		0	0		Maks 4		Maks 6	Maks 12	Maks 16	Maks 20
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkat umum sebagian tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

*Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Gambar 2.4. menunjukkan suatu gambar dari senjang batas cair (*liquid limit, LL*) dan *indeks plastisitas (PI)* untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Sumber: *Mekanika Tanah jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Braja M. Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar.

Gambar 2.4 Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Untuk menilai kesesuaian tanah sebagai bahan pondasi jalan raya, penting untuk menggunakan pengukuran yang disebut indeks kelompok (IG), beserta

kelompok dan subkelompok tanah yang ditentukan. Angka IG ditempatkan dalam tanda kurung setelah identifikasi kelompok dan subkelompok tanah. Perhitungan untuk indeks kelompok dapat dilakukan dengan rumus berikut :

$$GI = (F - 35) [(0,2 + 0,0059 LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (2.1.33)$$

dengan :

F= persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

LL = batas cair (*liquid limit*)

PI = indeks plastisitas (*plasticity index*)

Komponen awal persamaan (2.1.31), khususnya $(F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)]$, memberikan kontribusi pada indeks grup yang berasal dari batas cair (LL). Komponen berikutnya, khususnya $0,01 (F - 15)(PI - 10)$, memberikan kontribusi pada indeks grup berdasarkan indeks plastisitas (PI). Berikut ini adalah pedoman untuk menghitung nilai indeks grup, yaitu :

- Tentu saja! Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Jika Persamaan (2.1.31) menghasilkan nilai GI negatif, nilai GI dianggap nol.
- Tentu! Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Indeks kelompok yang ditentukan oleh Persamaan (2.1.31) disesuaikan ke bilangan bulat terdekat (misalnya: GI = 3,4 menjadi 3,0; GI = 3,5 menjadi 4,0).
- Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Indeks kelompok tidak memiliki batas maksimum.
- Tentu! Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Indeks kelompok untuk tanah yang dikategorikan sebagai A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 secara konsisten nol.
- Tentu, harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Untuk tanah yang diklasifikasikan sebagai kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya sebagian dari indeks kelompok untuk PI yang diterapkan, khususnya: $GI = 0,001 (F - 15) (PI - 10)$.

Biasanya, kualitas tanah yang digunakan sebagai bahan tanah dasar dapat direpresentasikan sebagai kebalikan dari biaya indeks kelompok.

2.1.3.2 Sistem Klasifikasi USCS

Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk membantu Korps Zeni Angkatan Darat dalam membangun lapangan terbang selama Perang Dunia II. Metode ini disempurnakan melalui kerja sama dengan Biro Reklamasi Amerika Serikat pada tahun 1952.

Saat ini, metode kategorisasi ini umumnya digunakan oleh para insinyur. Sistem Klasifikasi Terpadu (Tabel 2.4.) mengorganisasikan tanah ke dalam dua kategori utama, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar mengacu pada material seperti kerikil dan pasir, yang mana kurang dari setengah berat keseluruhan sampel tanah melewati saringan No. 200. Sebutan untuk kategori ini dimulai dengan huruf G atau S. G melambangkan kerikil atau tanah yang didominasi kerikil, sedangkan S melambangkan pasir atau tanah yang kaya pasir.
2. Tanah berbutir halus tergolong tanah yang lebih dari setengah massa keseluruhan sampel tanahnya dapat melewati saringan No. 200. Notasi untuk kategori ini dimulai dengan M yang mewakili lanau anorganik, C untuk lempung anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Singkatan PT merujuk pada gambut, lumpur, dan berbagai jenis tanah yang kaya akan bahan organik.

Material kasar diidentifikasi dengan pengidentifikasi kelompok termasuk: GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Untuk memastikan kategorisasi yang akurat, elemen-elemen berikut digunakan 25

Tabel 2.4 Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soils Classification System*)

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Test ^A				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name ^B
Coarse – Grained Soils More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction	Clean Gravels Less than 5% fines ^C	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3^E$	GW	Well-graded gravel ^F
		Gravels with Fines More than 12% fines ^C	$Cu < 4$ and/or $1 > Cc > 3^E$	GP	Poorly graded gravel ^F
			Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel ^{F,G,H}
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands Less than 5% fines ^D	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3^E$	SW	Well-graded sand ^I
		Sands with Fines More than 12% fines ^D	$Cu < 6$ and/or $1 > Cc > 3^E$	SP	Poorly graded sand ^I
			Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand ^{J,G,H,I}
Fine – Grained Soils 50% or more passes the No. 200 sieve	Sils and Clays Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^J	CL	Lean clay ^{K,L,M}
		Organic	Liquid limit - oven dried < 0.75 Liquid limit - not dried	OL	Organic clay ^{K,L,M,N} Organic silt ^{K,L,M,O}
	Sils and Clays Liquid limit 50 or more	Inorganic	PI plots on or above "A" line PI plots below "A" line	CH MH	Fat clay ^{K,L,M} Elastic silt ^{K,L,M}
		organic	Liquid limit - oven dried < 0.75 Liquid limit - not dried	OH	Organic clay ^{K,L,M,P} Organic silt ^{K,L,M,Q}
	Highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor		PT	Peat

2.1.4. Sifat – sifat Mekanis Tanah

2.1.4.1 Pemadatan Tanah

Pemadatan mengacu pada proses peningkatan kepadatan tanah melalui penerapan energi mekanis untuk mencapai kompresi partikel. Awalnya, tanah dapat diolah dengan metode seperti mengeringkannya, menambahkan air, menggabungkan agregat (butiran), atau menggunakan zat stabilisasi seperti semen, kapur, abu batu bara, atau bahan alternatif. Pengolahan lebih lanjut dapat melibatkan kegiatan seperti penggaruan, pembajakan, atau penggunaan mesin pencampur, yang dapat bervariasi berdasarkan karakteristik khusus tanah yang ditangani.

Pemadatan mengacu pada teknik di mana udara yang terperangkap dalam pori-pori tanah dikeluarkan menggunakan metode mekanis. Prosedur pemadatan ini jelas terpisah dari proses "Konsolidasi," dan keduanya tidak boleh disamakan. Teknik yang digunakan untuk mencapai pemadatan tanah dapat berbeda secara signifikan. Biasanya, teknik penggulungan diterapkan di lapangan, sedangkan metode pemukulan digunakan dalam kondisi laboratorium. Kepadatan yang

dihasilkan dari tingkat upaya pemadatan tertentu (Upaya Pemadatan Tertentu) dipengaruhi oleh kadar air yang ada di dalam tanah.

Tujuan pemadatan tanah adalah untuk meningkatkan karakteristik tekniknya. Di antara keuntungan yang diperoleh dari proses ini adalah :

- a. Tampaknya Anda telah mengecualikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Harap berikan teks spesifik yang ingin Anda parafrasekan, dan saya akan membantu Anda. Penurunan penurunan tanah, terjadi karena pergeseran vertikal dalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya jumlah pori.
- b. Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Peningkatan stabilitas tanah.
- c. Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan, dan saya akan dengan senang hati membantu! Penurunan penyusutan – berkurangnya volume akibat kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai referensi selama pengeringan..

Kelemahan utamanya adalah pertumbuhan (peningkatan kadar air dari nilai dasarnya) dan kemungkinan pembekuan tanah akan meningkat.

Spesifikasi kontrol untuk pemadatan tanah kohesif ditetapkan oleh R. R. Proctor selama pembangunan bendungan untuk Distrik Air Los Angeles pada akhir tahun 1920-an. Teknik awal dirinci dalam serangkaian makalah yang diterbitkan dalam Engineering New Record (Proctor, 1933). Proctor mengidentifikasi empat variabel yang terkait dengan pemadatan tanah, khususnya :

1. Tentu! Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Energi pemadatan (atau upaya pemadatan).
2. Tentu! Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Jenis tanah (gradasi, sifat kohesif atau non-kohesif, ukuran partikel, dll.).
3. Tentu! Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Tingkat kelembapan.
4. Harap berikan teks yang ingin Anda parafrasekan. Berat satuan kering

(Proctor menggunakan rasio rongga)).

Upaya pemadatan dan energi (CE) merupakan energi mekanis yang diterapkan pada suatu badan tanah. Dalam pengaturan laboratorium, CE dicapai melalui metode seperti tumbukan, yang paling banyak digunakan, pengadukan, atau penerapan tekanan statis. Uji standar yang ditetapkan oleh ASTM dan AASHTO menetapkan aspek-aspek seperti dimensi dan bentuk palu, jumlah total tetesan, lapisan yang terlibat, dan kapasitas cetakan. Rincian ini dirangkum dalam Tabel 2.5.

Tingkat pemadatan tanah dinilai berdasarkan berat kering per volume tanah yang mengalami pemadatan. Memasukkan air ke dalam tanah yang dipadatkan berfungsi sebagai agen pembasah, atau pelumas, bagi partikel-partikel di dalam tanah. Dengan adanya air, partikel-partikel tanah dapat bergeser dan meluncur satu sama lain dengan lebih mudah, sehingga menghasilkan susunan yang lebih padat. Ketika kadar air dalam tanah meningkat selama pemadatan, berat kering per volume tanah akan meningkat seiring dengan upaya pemadatan yang sama..

Tabel 2.5 Elemen – elemen uji pemadatan standar

	Standar (ASTM D 698)	Modifikasi (ASTM D 1557)
Palu	24.5 N (5.5 lb)	44.5 N (10 lb)
Tinggi jatuh palu	305 mm (12 in)	457 mm (18 in)
Jumlah lapisan	3	5
Jumlah tumbukan/lapisan	25	25
Volume cetakan tanah	0,000.942.2 m (1/30 ft ³ * saringan (-) No. 4)	
Energi pemadatan (CE)	595 kJ/m ³ (12.400)	2698 kJ/m ³ (56.250 lb ft/ft ³)

* Menggunakan cetakan berdiameter 102 mm (4 inci)
 catatan : cetakan yang lebih besar digunakan apabila tanah dengan partikel (+) No. 4 dipakai. Riset pengarang dengan menggunakan cetakan 1000 cm³ dengan diameter = 10,3 cm dan tinggi 12 cm menyaratkan 3 lapisan dengan 26 tumbukan per lapisan untuk memberikan hasil yang sama dengan uji pemadatan standar.

Apabila diketahui berat tanah basah di dalam cetakan yang volumenya diketahui, maka berat isi basah (γ basah) adalah :

$$\frac{\text{Berat tanah basah di dalam cetakan}}{\text{Volume cetakan}}$$

Penting untuk digarisbawahi bahwa ketika kadar air ω sama dengan 0, berat volume basah tanah (γ) identik dengan berat volume keringnya (γ_d), dengan

demikian $\gamma = \gamma_d (\omega = 0) = \gamma_1$.

Bila kadar air terus meningkat dengan tingkat upaya pemadatan yang sama, massa partikel padat yang ada di dalam tanah per satuan volume juga meningkat secara konsisten. Misalnya, bila kadar air berada pada $\omega = \omega_1$, massa jenis tanah dinyatakan sebagai $\gamma = \gamma_2$.

Kepadatan tanah kering pada tingkat kelembaban ini dapat direpresentasikan sebagai $\gamma_d (\omega = \omega_1) = \gamma_d (\omega = 0) + \Delta\gamma_d$.

Setelah mencapai tingkat kelembaban tertentu $\omega = \omega_2$, penambahan air umumnya menyebabkan penurunan berat tanah kering per volume. Hal ini terjadi karena air menempati ruang-ruang dalam tanah yang biasanya ditempati oleh partikel-partikel tanah padat. Kadar air yang ideal adalah tingkat kelembaban di mana berat volume kering tanah maksimum tercapai.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemadatan yaitu :

- Tingkat kelembaban memainkan peran penting dalam menentukan kepadatan tanah yang dapat dicapai..
- Selain tingkat kelembaban, berbagai elemen yang memengaruhi pemadatan meliputi jenis tanah dan upaya yang dilakukan selama pemadatan..

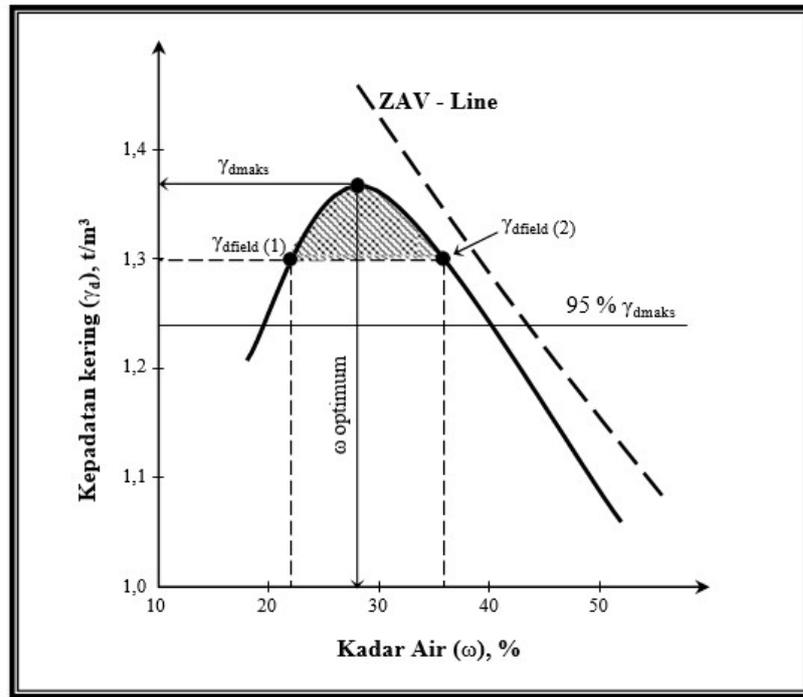
Energi yang dibutuhkan untuk pemadatan (E) selama pemeriksaan pengawas standar dapat dinyatakan dengan cara berikut.:

$$E = \frac{(\text{jumlah tubukan pelapisan}) \times (\text{jumlah lapisan}) \times (\text{berat penumbuk}) \times (\text{tinggi jatuh penumbuk})}{\text{volume cetakan}}$$

Sebelum melakukan pemadatan, sebaiknya diperiksa terlebih dahulu kepadatan relatif/*relative compaction* (RC) dilapangan. RC ini berfungsi untuk menyimpulkan kepadatan tanah di lapangan dan nantinya apakah diperlukan pemadatan.

RC dinyatakan dalam persen (%) dan syarat kepadatan tanah dilapangan minimum 95% kepadatan maksimum (γ_{dmaks}). Jika kepadatan tanah tersebut diatas 95 % γ_{dmaks} , maka tidak perlu dilakukan pemadatan, dan sebaliknya.

Untuk mencari nilai RC dapat digunakan kurva pemadatan tanah residual (HUM, '99, '04, '06, '07) yang belum dipublikasikan.



Gambar 2.5 Kurva pemadatan untuk menghitung nilai RC.

Gambar 2.5 menggambarkan nilai RC yang merupakan perbandingan antara kepadatan lapangan (γ_{dfield}) dan kepadatan maksimum (γ_{dmaks}) dari hasil pengujian laboratorium, yang digunakan untuk menilai mutu kepadatan lapangan ($\gamma_{dfield} \geq 95\% \gamma_{dmaks}$)

2.1.4.2 Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

Dynamic Cone Penetrometer (DCP) adalah suatu peralatan yang dirancang untuk pengukuran ditempat dengan lebih cepat sifat – sifat struktural perkerasan yang terdiri dari bahan yang tidak beraspal. Pengukuran menerus dapat dilakukan sampai kedalaman 80 sampai 120 cm. Peralatan ini sekarang banyak

digunakan di Australia dan Afrika. Keuntungan menggunakan alat ini adalah dapat diketahui dengan cepat kekuatan dari perkerasan yang dapat dikorelasikan dengan *California Bearing Ratio* (CBR).

Mekanisme kerja alat ini melibatkan pelepasan massa 8 kg ke bawah batang yang tingginya 575 mm, di mana di bagian bawahnya terdapat kerucut yang diarahkan pada sudut 60 derajat. Selanjutnya, kedalaman penetrasi kerucut ke dalam tanah atau perkerasan jalan dicatat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas dan penerapan alat ini untuk berbagai jenis tanah yang terdapat di Indonesia.

Menentukan kekuatan bahan (tanah) dengan memasukkan (menembus) suatu batang kedalamnya adalah merupakan filosofi yang sudah lama dikenal. Berdasarkan filosofi ini maka Collin dari Perancis (1846) mengukur kohesi tanah lempung dengan menggunakan jarum vical yang mempunyai diameter 1 (satu) mm dengan beban 1 (satu) kg. Schmertmann (1977) menyebutkan bahwa ada 2 (dua) jenis Cone Penetrometer yaitu yang statis dan dinamis. Scala (1956) dari Australia mengembangkan suatu Dynamic Cone yang portable dan membuat studi hubungan antara CBR dan DCP dan juga hubungan antara CBR dan Static Cone Penetrometer. DCP yang dibuat oleh Scala kemudian dikembangkan oleh Vn Vuuren (1959) di Zimbabwe.

Country Road of Boards of Vicoria (CBR, 1969) telah membuat korelasi antara DCP dan CBR dan cocok untuk *claylie materials*. Di Belgia, suatu alat Dynamic Cone Penetrometer telah dikembangkan dengan beban 10 kg dan tinggi jatuh 50 cm (*Centre de Recherches Routieres*, 1980). Para pekerja Belgia menyebutkan bahwa peralatan hanya cocok untuk tanah lanau (*silt*) sampai tanah kepasiran halus. Menurut mereka hubungan antara CBR dan DCP (ARR 13 (4) Desember 1983, p.p 285-94) adalah sebagai berikut :

$$\text{Log CBR} = -1,31 \log (\text{DCP}) + 2,58 \quad (2.1.34)$$

Tahun 1975 *Transvaal Road Dept.* mengembangkan pemakaian alat DCP untuk evaluasi perkerasan di Transvaal Afrika Selatan (Kleyn & Savage, 1982 dan Kleyn : Van Herde, 1983). Data CBR dan DCP untuk bermacam –macam tanah (*sub grade*) termasuk data yang dilakukan oleh Scala (1956) diprogram

dengan komputer sehingga menghasilkan hubungan sebagai berikut (ARR 13 (4) Desember 1983, p.p 285-94) :

$$\text{Log CBR} = -1,145 \log (\text{DCP}) + 2,555 \quad (2.1.35)$$

Dalam percobaan pembebanan kepadatan untuk mencari nilai CBR dan besaran lainnya dengan menggunakan alat DCP ini terdapat beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode penelitian bawah permukaan lainnya, antara lain :

1. Mudah menggunakannya dan mudah merawatnya.
2. Ringan, sehingga mudah dipindah dan bergerak.
3. Cepat pelaksanaannya.
4. Dapat menyajikan data bawah permukaan secara menerus.
5. Tidak memerlukan operator yang ahli.
6. Dapat menggambarkan kekuatan bahan jalan sampai *subgrade*.
7. Untuk jalan yang baru, tidak mengganggu pekerjaan yang sedang berlangsung.
8. Untuk jalan lama, tidak mengganggu lalu lintas pengguna jalan.
9. Mudah dilakukan korelasi dengan besaran lainnya, seperti : CBR, kepadatan, kadar air dan lain – lain.

2.1.4.3 California Bearing Ratio (CBR)

CBR merupakan rasio yang membandingkan beban yang diberikan selama pengujian dengan beban standar yang telah ditentukan sebelumnya, yang dinyatakan dalam persentase.

Harga CBR merupakan suatu ukuran yang menunjukkan seberapa baik kualitas tanah pondasi dibandingkan dengan bahan standar seperti batu pecah, yang memiliki nilai CBR sebesar 100% saat menahan beban lalu lintas.

Perangkat yang digunakan untuk menilai dimensi CBR terdiri dari piston dengan luas permukaan 3 inci². Piston ini turun dengan kecepatan 0,05 inci per menit dalam arah vertikal. Cincin pembuktian digunakan untuk mengukur gaya yang dibutuhkan untuk tingkat penetrasi tertentu, yang ditunjukkan oleh dial pengukur. Gaya yang digunakan untuk menembus material standar diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2.6 Besarnya beban yang dibutuhkan untuk melakukan penetrasi bahan standar

<u>Penetrasi</u> inch	<u>Beban Standar</u> lbs	<u>Beban Standar</u> Lbs/inch ²
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	6000

a) Jenis-jenis CBR Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya.

1. CBR lapangan disebut juga CBR_{inplace} atau *field CBR*

Fungsinya untuk :

- Acquire the initial CBR measurement on-site, reflecting the state of the subgrade at that specific moment. It is typically applied for determining the required thickness of the surface layer when the subgrade will cease to be compacted. The assessment occurs during periods of elevated groundwater levels, such as during the rainy season, or under the most adverse circumstances.
- Untuk mengatur apakah kepadatan yang dicapai sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Jenis pemeriksaan ini tidak sering dilakukan; sebagai gantinya, pengujian lain seperti kerucut pasir biasanya digunakan.

Evaluasi dilakukan dengan memposisikan piston pada kedalaman di mana nilai California Bearing Ratio perlu dinilai, diikuti dengan penerapan tekanan melalui beban yang dikirimkan oleh poros truk.

2. CBR lapangan rendaman disebut juga *Undisturb soaked CBR*

Tujuannya adalah untuk menentukan angka CBR awal dalam lingkungan air jenuh, saat tanah mengalami pemuaian (swell) terbesar. Penilaian dilakukan dalam keadaan tanah pondasi tetap tidak jenuh air.

Metode ini sering digunakan untuk menilai kemampuan tanah

menahan beban di lokasi yang tanah dasarnya tidak dapat dipadatkan lebih lanjut. Daerah ini biasanya mengalami banjir selama musim hujan dan menjadi gersang di musim kemarau. Pemeriksaan dilakukan saat kondisi kering.

Evaluasi dilakukan dengan mengumpulkan sampel tanah dengan cetakan yang ditempatkan ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman yang ditentukan. Setelah cetakan berisi contoh tanah dikeluarkan, cetakan direndam dalam air selama kurang lebih empat hari sambil memantau pembengkakan. Setelah proses pembengkakan berhenti, ukuran CBR dievaluasi.

3. CBR rencana titik disebut juga CBR laboratorium atau *design CBR* Pemeriksaan ini bertujuan untuk menilai CBR (California Bearing Ratio) tanah dan campuran agregat tanah yang telah dipadatkan di laboratorium di bawah tingkat kelembaban tertentu. Dalam pengembangan jalan baru, tanah pondasi biasanya adalah tanah lokal, timbunan tanggul, atau material galian yang telah mencapai tingkat pemadatan 95% dari kepadatan puncaknya. Akibatnya, kapasitas menahan beban lapisan pondasi ini menandakan sejauh mana tanah yang dipadatkan ini dapat menopang beban. Oleh karena itu, nilai CBR mencerminkan tingkat yang ditentukan dari sampel tanah yang mensimulasikan kondisi tanah pasca-pemadatan. CBR spesifik ini dikenal sebagai CBR desain titik, dan karena diproduksi dalam lingkungan yang terkendali, ia juga disebut sebagai CBR laboratorium. Ada dua kategori berbeda dari CBR laboratorium: CBR laboratorium yang direndam (*soaked design CBR*) dan CBR laboratorium yang tidak direndam (*unsoaked design CBR*).

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam penyiapan contoh tanah adalah sebagai berikut :

- Klasifikasi tanah dasar, baik berupa partikel halus dengan plastisitas minimal, partikel halus dengan plastisitas signifikan, maupun partikel yang lebih besar. Hal ini terkait dengan bagaimana tanah menahan kelembapan dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan konstruksi.
- Ketinggian tanah pondasi yang dimaksud, terlepas dari apakah tanah tersebut berasal dari tanah galian, tanah timbunan, atau sejajar dengan medan yang ada. Sampel tanah diambil dari bagian yang ditetapkan sebagai lapisan tanah pondasi, yang menunjukkan bahwa sampel tersebut bersumber dari lapisan tanah paling atas jika tanah pondasi berasal dari tanah yang ada.
- Zat yang selanjutnya akan berfungsi sebagai bahan pengisi apabila tanah pondasi lebih tinggi dari tanah timbunan
- Berasal dari lubang bor atau lubang eksplorasi yang mencapai ketinggian yang diinginkan jika tanah dasar berada lebih tinggi dari material timbunan. Pada penggalian yang cukup dalam di mana spesimen tanah dikumpulkan melalui pengeboran, nilai CBR disimpulkan melalui metode empiris.
- Ketinggian air tanah dinilai berdasarkan ketinggian tanah di bawahnya. Penilaian ini terkait dengan jenis pemeriksaan yang akan dilakukan.
- Sistem drainase harus dibangun dengan mempertimbangkan tingkat muka air tanah sepanjang musim hujan.
- Mesin untuk pemadatan yang akan digunakan setelahnya berkaitan dengan pengeluaran energi yang terkait dengan persiapan sampel tanah pondasi.
- Curah hujan di lokasi memengaruhi tingkat air tanah dan sistem drainase, dan ini selanjutnya memengaruhi sifat inspeksi yang dilakukan.

b) Beberapa Cara Menaksir atau Menentukan nilai CBR

1. Menaksir nilai CBR secara empiris.

Pada tanah dasar yang ditentukan, yang melibatkan penggalian relatif dalam, memperoleh sampel tanah yang cukup untuk pengujian CBR terbukti menjadi tantangan.

Sampel tanah biasanya diambil dengan menggunakan bor. Oleh karena itu, penentuan nilai CBR yang diinginkan dapat dilakukan melalui pendekatan empiris yang hanya mengandalkan analisis butiran dan karakteristik plastisitas tanah. Meskipun demikian, data CBR ini hanyalah perkiraan yang harus terus dipantau selama fase implementasi.

2. CBR rencana rendaman.

Dengan menggunakan hasil analisis butiran dan karakteristik plastisitas tanah, CBR desain terendam dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang diberikan oleh NAASRA (46) seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

$$\log C_s = 1,7 - 0,005.P_{0,425} + 0,002.P_{0,0075} - L (0,02 + 0,0004.P_{0,075})$$

$$\log C_s = 1,9 - 0,004.P_{2,36} - 0,005.P_{0,425} + P_{0,075} / P_{0,425} (5,2 - 0, P_{0,075} / P_{0,425}) \cdot 10^3 - 0,01I$$

dengan :

C_s = CBR rendaman

$P_{2,36}$ = Persen lolos saringan 2,36 mm

$P_{0,425}$ = Persen lolos saringan 0,425 mm

$P_{0,075}$ = Persen lolos saringan 0,075 mm

L = Batas susut (*shrinkage limit*),

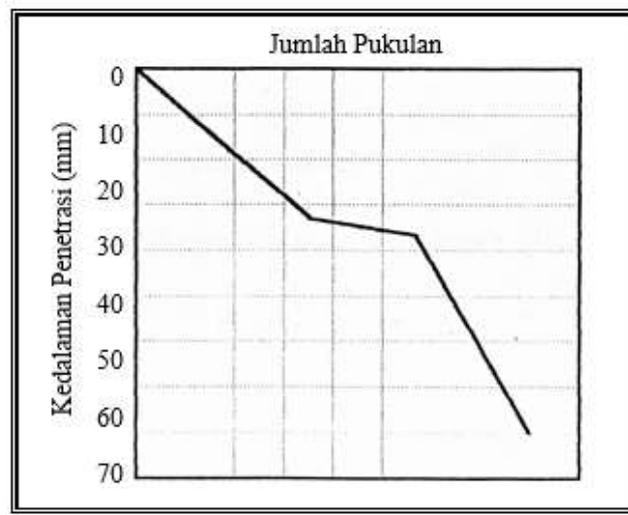
%I = Indeks plastisitas, %

Dari dua persamaan yang disebutkan sebelumnya, kita dapat memperoleh CBR tanah dasar yang akan digunakan untuk perencanaan melalui rumus:

$$C_{SS} = (3 C_s \text{ min} + C_s \text{ maks}). 0,25$$

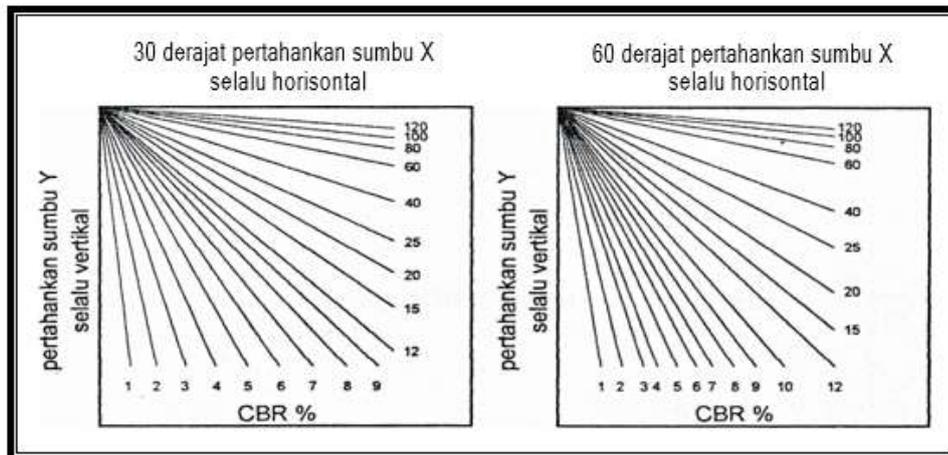
3. Menentukan nilai CBR lapangan dengan menggunakan data DCP(Dynamic Cone Penetrometer).

Dari data pengujian DCP, dibuat grafik hubungan antara jumlah pukulan dengan kedalaman penetrasi, dan dari grafik ditarik garis-garis yang sejajar, misalnya yang diperlihatkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Hubungan jumlah pukulan dengan kedalaman penetrasi.

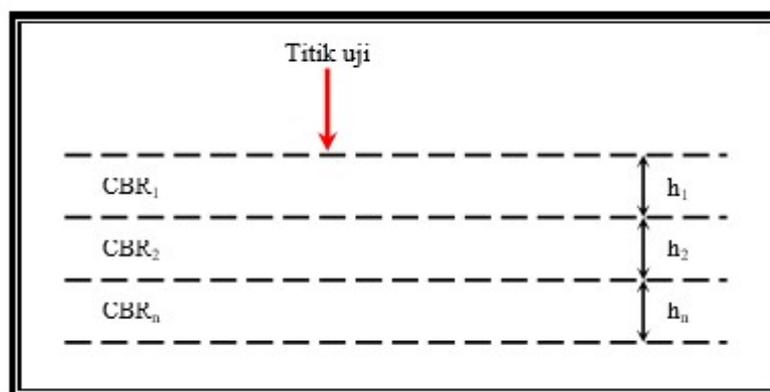
Untuk menentukan nilai CBR, hubungan harus dibuat antara pembacaan DCP dan CBR in-situ (lihat Gambar 2.11). Bagan dibuat pada kertas bening dan disesuaikan sambil menjaga sumbu kurva dalam kesejajaran paralel yang sama, sehingga garis tumbukan kumulatif sejajar dengan salah satu garis yang digambar pada kertas bening. Angka yang diidentifikasi pada garis tersebut sesuai dengan CBR lapangan pada kedalaman yang ditentukan. Meskipun demikian, korelasi ini harus divalidasi terhadap data yang diperoleh dari uji CBR dan pembacaan DCP yang diambil dari lokasi terdekat tempat uji CBR dilakukan.



Gambar 2.11 Korelasi antara DCP dan CBR lapangan.

4. Nilai CBR pada satu titik uji

Seringkali, jenis tanah dasar berubah tergantung pada kedalaman pengujian. Oleh karena itu, penting untuk memastikan nilai CBR yang secara akurat mencerminkan lokasi spesifik tersebut.



Gambar 2.12 Titik uji pada beberapa lapisan tanah

5. CBR segmen jalan

Jalan longitudinal membentang jauh lebih luas jika dibandingkan dengan jalan melintang. Jalan ini dapat melewati berbagai jenis tanah dan medan yang bervariasi. Kualitas tanah pondasi dapat berfluktuasi, menunjukkan karakteristik positif atau negatif. Oleh karena itu, tidak hemat biaya untuk menentukan ketebalan lapisan perkerasan jalan hanya dengan mengandalkan skenario terburuk, juga tidak dapat dibenarkan untuk mendasarkannya hanya pada skenario terbaik.

Disarankan untuk membagi panjang jalan menjadi beberapa bagian, di mana setiap bagian mempertahankan daya dukung yang hampir seragam. Dengan demikian, bagian jalan mengacu pada sebagian dari total panjang jalan yang menunjukkan daya dukung tanah yang relatif konsisten, bersama dengan karakteristik tanah dan faktor lingkungan yang serupa. Setiap bagian diberi nilai CBR tertentu yang mencerminkan daya dukung tanahnya, yang kemudian digunakan untuk menghitung ketebalan perkerasan untuk bagian tersebut.



2.2 Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya

2.2.1. Umum

Pertumbuhan rute transportasi di Indonesia memperlihatkan ciri khasnya, yaitu fokus pada upaya memaksimalkan efisiensi. Efisiensi mengacu pada pemanfaatan sumber daya yang tersedia dan terbatas sebaik mungkin.

Penilaian ketebalan permukaan jalan yang akan diuraikan dalam bagian ini berfungsi sebagai dasar untuk memperkirakan ketebalan perkerasan jalan raya yang diperlukan. Analisis, penilaian, dan pemikiran akhir yang diperoleh dari penilaian ini juga harus mempertimbangkan implikasi keuangannya sesuai dengan keadaan regional, tingkat permintaan, potensi pelaksanaan, dan berbagai ketentuan teknis untuk memastikan pembangunan jalan raya yang dimaksud efisien.

Umumnya, upaya transportasi melibatkan pemindahan produk dan layanan antar berbagai lokasi. Jalan raya merupakan komponen penting dari infrastruktur transportasi darat, yang memberikan kontribusi signifikan terhadap sektor transportasi darat, khususnya dalam memastikan kelancaran arus barang dan jasa.

Keberadaan jalan raya sangat krusial dalam memperlancar perluasan ekonomi sekaligus memenuhi permintaan infrastruktur transportasi yang semakin meningkat untuk menghubungkan daerah-daerah terpencil, yang sering kali menjadi pusat produksi pertanian, atau meringankan permasalahan yang terkait dengan operasional angkutan umum di daerah perkotaan.

Pertumbuhan jumlah dan kemampuan kendaraan yang menghubungkan kota-kota lintas provinsi, dikombinasikan dengan terbatasnya sumber daya keuangan untuk pembangunan jalan dan fungsi infrastruktur transportasi saat ini yang kurang memadai, menghadirkan tantangan yang signifikan di Indonesia dan negara-negara berkembang lainnya.

Untuk menciptakan ruas jalan baru atau meningkatkan jalan yang sudah ada sehubungan dengan peningkatan kapasitas jalan raya, penerapan strategi yang efisien dalam desain dan perencanaan sangatlah penting. Pendekatan ini bertujuan untuk mencapai hasil yang optimal dan hemat biaya dengan tetap memastikan keselamatan dan kenyamanan pengemudi serta menjaga ekosistem lingkungan.

Untuk memastikan bahwa pengguna jalan merasa aman dan nyaman, desain dan perencanaan perlu menetapkan struktur perkerasan jalan sebaik mungkin sehingga tujuan utama dapat tercapai.

Struktur permukaan jalan tersusun atas berbagai komponen, meliputi lapisan dasar, lapisan pondasi, pondasi atas dan bawah, serta lapisan permukaan yang diletakkan di atas tanah dasar, yang berfungsi menahan beban lalu lintas dan mentransfer beban tersebut ke tanah dasar.

Proses pembangunan permukaan jalan berlangsung dalam beberapa lapisan, dengan lapisan paling atas tersusun dari material berkualitas lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan di bawahnya. Setiap lapisan perkerasan jalan harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban lalu lintas dan secara efektif menyebarkan beban dari roda kendaraan ke area yang lebih luas di dalam tanah di bawahnya. Kekuatan geser yang substansial—yang berarti hambatan setiap partikel untuk bergerak relatif terhadap yang lain—akan disalurkan ke ruang yang lebih luas. Oleh karena itu, lapisan perkerasan jalan yang lebih tebal atau lebih padat akan menyebabkan benturan yang dialaminya terdistribusi ke tanah dasar sebagai tekanan yang lebih rendah untuk setiap satuan luas.

Kesimpulan persyaratan perkerasan jalan secara garis besarnya, antara lain adalah :

1. Konstruktif (kuat,awet dan kedap air).
2. Kenyamanan (rata,dan tidak licin).
3. Ekonomis.

2.2.2. Umur Rencana

Umur permukaan jalan mengacu pada durasi, diukur dalam tahun, sejak jalan tersebut dapat diakses oleh kendaraan hingga pekerjaan pemeliharaan diperlukan (sampai lapisan permukaan menjadi penting).

Umur pakai permukaan jalan yang diharapkan ditetapkan dengan menilai klasifikasi operasional jalan raya, tren lalu lintas, dan signifikansi ekonomi jalan tersebut, yang dapat dievaluasi melalui berbagai teknik seperti pendekatan Rasio BC, Tingkat Pengembalian Internal, gabungan dari pendekatan ini, atau metode

alternatif. Pertimbangan ini secara intrinsik terkait dengan pola pembangunan wilayah tersebut.

Dalam skenario ini, eksekusi progresif harus dianggap sebagai rangkaian berkesinambungan, yang memastikan hasil yang diharapkan dapat terwujud.

2.2.3. Lalu Lintas

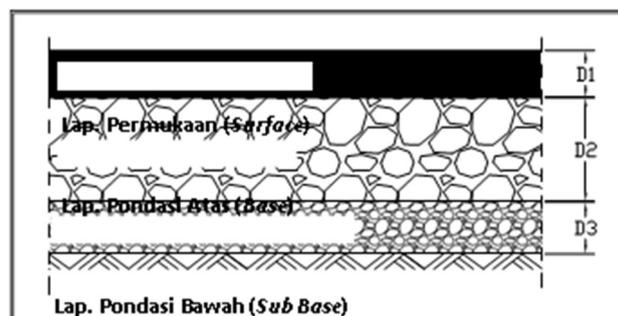
Lalu lintas harus dianalisa berdasarkan atas :

- a. Hasil penilaian kuantitas lalu lintas dan distribusi berat gandar didasarkan pada statistik terbaru (dalam dua tahun terakhir) dari sumber resmi regional.
- b. Potensi pertumbuhan lalu lintas harus selaras dengan keadaan dan kemampuan ekonomi wilayah terkait, beserta daerah-daerah sekitar yang memengaruhi jalan yang diusulkan, sehingga memungkinkan dilakukannya penilaian tingkat pertumbuhan lalu lintas dan fitur-fitur khususnya.

2.2.4. Konstruksi Jalan

Pembangunan jalan melibatkan tanah dan lapisan permukaan. Perhitungan dimensi yang diinginkan untuk tanah pondasi dan komponen untuk lapisan permukaan harus bergantung pada evaluasi temuan dari studi lapangan dan analisis laboratorium yang dilakukan oleh seorang profesional.

Bagian perkerasan jalan umumnya meliputi : lapis pondasi bawah (*sub base course*), lapis pondasi atas (*base course*), dan lapis permukaan (*surface course*).



Gambar 2.13 Susunan lapis konstruksi jalan.

a) Tanah Dasar

Kekokohan dan keawetan konstruksi permukaan jalan sangat bergantung pada karakteristik dan kemampuan menahan beban tanah di bawahnya.

Di antara berbagai teknik untuk menilai kekuatan tanah dasar, pendekatan CBR adalah yang paling sering digunakan. Dalam skenario ini, nomogram digunakan untuk menentukan ketebalan perkerasan yang dibutuhkan, sehingga memungkinkan korelasi nilai CBR dengan Daya Dukung Tanah Dasar (DDT).

Menentukan kemampuan menahan beban tanah di bawahnya melalui evaluasi uji laboratorium tidak sepenuhnya membahas karakteristik khusus dan kapasitas menahan beban tanah pondasi di sepanjang bentangan jalan. Penyesuaian harus dilakukan selama fase perencanaan terperinci dan pelaksanaan agar sesuai dengan keadaan setempat. Modifikasi ini akan tercermin dalam gambar perencanaan atau pedoman pelaksanaan.

Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut :

1. Perubahan yang bertahan lama pada jenis tanah tertentu akibat tekanan kendaraan.
2. Karakteristik tanah tertentu yang membengkak dan menyusut akibat variasi tingkat kelembaban.
3. Kemampuan tanah untuk menahan beban sangat bervariasi dan sulit untuk dinilai secara akurat di wilayah-wilayah yang memiliki karakteristik dan lokasi tanah yang beragam, atau karena pelaksanaan pekerjaan konstruksi..
4. Lendutan dan pemulihan lendutan selama dan setelah pembebanan lalu lintas pada jenis tanah tertentu.
5. Kompresi ekstra yang disebabkan oleh beban lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya, terutama pada tanah berbutir kasar (tanah granular) yang tidak dipadatkan secara memadai selama proses tersebut.

b) Lapis Pondasi Bawah (Sub base)

Fungsi lapis pondasi bawah, antara lain:

1. Sebagai komponen pengembangan perkerasan untuk menopang dan menyebarkan beban roda.
2. Mencapai efektivitas dalam memanfaatkan material murah untuk memungkinkan pengurangan ketebalan lapisan yang tersisa, sehingga menghasilkan penghematan biaya konstruksi.
3. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapisan pondasi.
4. Sebagai lapisan awal yang memastikan pelaksanaan yang lancar. Hal ini berkaitan dengan kekuatan menahan beban yang tidak memadai dari lapisan tanah di bawah roda mesin berat atau karena kondisi lokasi yang mengharuskan lapisan tanah segera dilindungi dari pengaruh cuaca.

Berbagai jenis tanah lokal ($CBR \geq 20\%$, $PI \leq 10\%$) yang memiliki kinerja lebih baik daripada tanah dasar dapat digunakan sebagai material yang sesuai untuk pondasi. Dalam situasi tertentu, menggabungkan tanah lokal dengan kapur atau semen portland sangat disarankan untuk meningkatkan stabilitas struktur perkerasan.

c) Lapis Pondasi Atas (Base)

Fungsi lapis pondasi atas, antara lain :

1. Menjadi elemen keras yang mendukung berat kendaraan.
2. Berfungsi sebagai dasar untuk lapisan permukaan.

Bahan yang digunakan untuk lapisan dasar biasanya harus kuat dan tahan terhadap tekanan dari roda. Sebelum memilih bahan yang akan digunakan sebagai bahan dasar, penelitian dan evaluasi menyeluruh harus dilakukan terkait spesifikasi teknis yang diperlukan.

Berbagai material lokal ($CBR \geq 50\%$, $PI \leq 4\%$) dapat berfungsi sebagai material lapisan pondasi, seperti: batu pecah, kerikil pecah, dan tanah yang diolah dengan semen atau kapur.

d) Lapis Permukaan (Surface)

Fungsi lapis permukaan, antara lain:

1. Sebagai bagian perkerasan untuk menahan beban roda.
2. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
3. Sebagai lapisan aus (*wearing course*).

Komponen yang digunakan untuk lapisan atas biasanya sama dengan komponen lapisan dasar, dengan standar yang lebih ketat. Pemanfaatan material aspal sangat penting untuk memastikan lapisan tersebut kedap air; selain itu, aspal memberikan kontribusi terhadap kekuatan tarik, sehingga meningkatkan kemampuan lapisan untuk menahan beban dari roda lalu lintas. Saat memilih material untuk lapisan atas, penting untuk mempertimbangkan penggunaan, masa pakai yang diharapkan, dan fase konstruksi untuk memaksimalkan keuntungan yang relatif terhadap biaya yang dikeluarkan.

2.2.5. Persyaratan Penggunaan

Metode yang diuraikan dalam bab ini untuk menentukan ketebalan perkerasan jalan hanya berlaku untuk perkerasan yang terbuat dari bahan granular (seperti batu pecah) dan tidak sesuai untuk konstruksi yang memanfaatkan batu yang lebih besar (seperti yang terlihat pada metode Telford atau Paaklag).

Cara-cara penetapan tebal perkerasan jalan, selain dari yang disebut dalam pedoman ini dapat juga digunakan asal cukup dapat dipertanggung jawabkan, terutama harus berlandaskan pada hasil-hasil tes yang telah dilakukan oleh seorang ahli.

Penetapan perkerasan jalan ini disusun berdasarkan pada interpretasi hasil tes di luar negeri terutama dari AASHTO *Road Test*, dimana sejauh mungkin disesuaikan dengan kondisi di Indonesia.

2.2.6. Penentuan Besaran Rencana

2.2.6.1 Persentase Kendaraan pada Jalur Rencana

Lajur rancangan merupakan salah satu lajur lalu lintas yang ditetapkan pada

segmen jalan raya yang menangani volume kendaraan terbanyak. Dalam kasus di mana tidak ada marka lajur pada jalan, jumlah total lajur dinilai berdasarkan lebar perkerasan, seperti yang dirujuk dalam Tabel 2.8 di bawah ini.

Tabel 2.8 Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan

LEBAR PERKERASAN, L (m)	JUMLAH JALUR
$L < 5,50$	1 Lajur
$5,50 \leq L < 8,25$	2 Lajur
$8,25 \leq L < 11,25$	3 Lajur
$11,25 \leq L < 15,00$	4 Lajur
$15,00 \leq L < 18,75$	5 Lajur
$18,75 \leq L < 22,00$	6 Lajur

Proporsi mobil pada lajur yang ditentukan dapat ditentukan dengan menerapkan faktor distribusi kendaraan (C). Hal ini berlaku untuk kendaraan ringan dan berat yang melaju pada lajur yang ditentukan.

Tabel 2.9 Koefisien distribusi kendaraan ke lajur rencana

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan *		Kendaraan Berat**	
	1 Arah	2 Arah	1 Arah	2 Arah
1 Lajur	1.00	1.00	1.00	1.00
2 Lajur	0.60	0.50	0.70	0.50
3 Lajur	0.40	0.40	0.50	0.475
4 Lajur		0.30		0.45
5 Lajur		0.25		0.425
6 Lajur		0.20		0.40

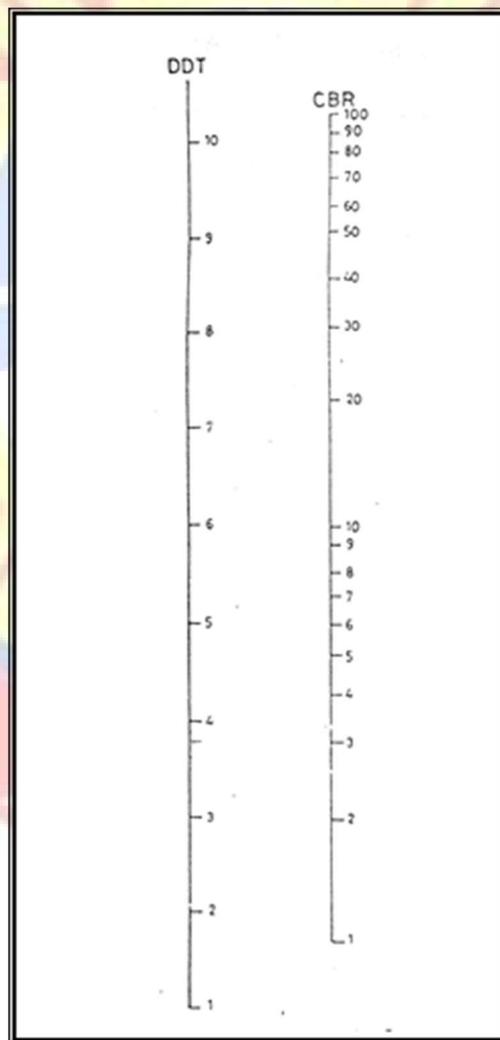
Catatan : * Berat total < 5 ton, misalnya sedan, pick up dan mobil hantaran.

** Berat total \geq 5 ton, misalnya bus, tractor, truck, semi trailer, trailer dan lain-lain.

2.2.6.2 Daya Dukung Tanah Dasar

Kemampuan menahan beban tanah dasar (DDT) dinilai melalui bagan korelasi. Kapasitas menahan beban tanah dasar diperoleh dari nilai CBR atau pengujian seperti Uji Kapasitas Dukung Pelat, DCP, dll. Di sini, istilah harga CBR mengacu pada nilai yang diperoleh dari lapangan atau dari analisis laboratorium. Saat menggunakan CBR lapangan, sampel tanah dasar

diekstraksi dengan tabung yang tidak terganggu, direndam, dan selanjutnya nilai CBR dievaluasi. Ini juga dapat dinilai langsung di lokasi, terutama selama musim hujan atau saat terendam. Nilai CBR lapangan biasanya dipertimbangkan untuk lapisan tambahan (overlay). Dalam kasus di mana CBR laboratorium digunakan, proses pemadatan dapat mengikuti pedoman PB-0111-76 (Standar) untuk tanah dasar kohesif atau PB-0112-76 (Modifikasi) untuk tanah dasar non-kohesif. Nilai CBR laboratorium umumnya digunakan selama fase perencanaan pembangunan jalan baru.



Gambar 2.14 Korelasi DDT dan CBR

Saat ini, disarankan untuk menentukan kemampuan menahan beban tanah dasar hanya berdasarkan penilaian nilai CBR. Teknik alternatif hanya boleh digunakan jika ada data tambahan yang dapat disertakan. Teknik alternatif

tersebut dapat mencakup: Indeks Grup, Uji Daya Tampung Pelat, atau Nilai-R.

Nilai CBR rancangan, yang merupakan nilai CBR rata-rata untuk lintasan tertentu, ditentukan dari nilai CBR yang diperoleh. Pendekatan untuk memastikannya diuraikan sebagai berikut:

- a. Tentukan harga CBR terendah
- b. Identifikasi jumlah harga CBR yang sama dengan atau melebihi setiap nilai CBR, lalu atur data ini dalam tabel yang diurutkan dari yang paling kecil hingga yang paling signifikan.
- c. The highest value is expressed as 100%, while the remaining figures are percentages in relation to 100%.
- d. A chart illustrates the connection between the CBR cost and the percentage of an equal or higher value.
- e. The indicative CBR figure is derived from the percentage value of 90%.

Untuk memperoleh CBR tipikal yang cukup baik, disarankan agar saat merancang perkerasan suatu ruas jalan, segmen-segmen ditetapkan, yang memastikan bahwa perbedaan atau fluktuasi CBR antara setiap segmen tetap minimal.

2.2.6.3 Faktor Regional (FR)

Faktor Regional (FR) berfungsi sebagai metrik penyesuaian yang membahas variasi dalam skenario eksperimen tertentu atau kondisi lapangan dibandingkan dengan Uji Jalan AASHTO, yang dirancang khusus untuk Indonesia. Kondisi yang relevan mencakup karakteristik lapangan dan faktor iklim, yang semuanya dapat memengaruhi skenario pembebanan, serta kemampuan menahan beban dari tanah pondasi dan permukaan perkerasan. Aspek kondisi lapangan mencakup kemampuan drainase tanah, jenis sistem drainase yang ada, konfigurasi alinyemen jalan, dan proporsi kendaraan dengan berat 13 ton, selain frekuensi penghentian kendaraan. Kondisi iklim berkaitan dengan tingkat curah hujan rata-rata tahunan yang dialami. Akibatnya, Faktor Regional terutama dibentuk oleh konfigurasi alinyemen jalan, persentase berat dan kendaraan yang berhenti, bersama dengan

elemen iklim seperti curah hujan rata-rata tahunan.

Tabel 2.11 Faktor Regional (FR)

Curah Hujan	Kelandaian I (< 6%)		Kelandaian II (6 - 10%)		Kelandaian III (> 10%)	
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklim I < 900 mm/th	0,5	1,0 - 1,5	1,0	1,5 - 2,0	1,5	2,0 - 2,5
Iklim II ≥ 900 mm/th	1,5	2,0 - 2,5	2,0	2,5 - 3,0	2,5	3,0 - 3,5

Catatan : Pada bagian-bagian jalan tertentu, seperti persimpangan, pemberhentian, atau tikungan tajam (jari-jari 30 m) FR ditambah dengan 0,5. Pada daerah rawa-rawa FR ditambah 1,0

2.2.6.4 Indeks Permukaan (IP)

Indeks permukaan ini menyatakan nilai dari pada. kerataan/ kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat.

Tabel 2.12 Nilai Indeks Permukaan (IP) beserta artinya.

Nilai IP	Keterangan
IP = 1,0	Menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.
IP = 1,5	Adalah tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus).
IP = 2,0	Adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap.
IP = 2,5	Menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.

Saat menilai Indeks Permukaan (IP) setelah selesainya umur desain, penting untuk memperhitungkan elemen klasifikasi fungsional jalan beserta jumlah Penyeberangan Setara yang Direncanakan (LER).

Tabel 2.13 Indeks Permukaan (IP) pada akhir Umur Rencana (UR)

Lintas Ekuivalen Rencana (LER) *)	Kalsifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 - 1,5	1,5	1,5 - 2,0	-
10 - 100	1,5	1,5 - 2,0	2,0	-
100 - 1000	1,5 - 2,0	2,0	2,0 - 2,5	-
> 1000	-	2,0 - 2,5	2,5	2,5

*) LER dalam satuan angka ekuivalen 8,16 ton beban sumbu tunggal

Catatan : pada proyek-proyek penunjang jalan, JAPAT/Jalan murah, atau jalan darurat, maka IP dapat diambil 1,0.

Saat menentukan indeks permukaan awal (IPo) di awal masa pakai desain, penting untuk mempertimbangkan karakteristik lapisan permukaan jalan, seperti kerataan atau kehalusannya dan ketahanannya. Informasi ini dirinci dalam tabel berikut:

Tabel 2.14 Indeks Permukaan (IP) pada awal Umur Rencana (UR)

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roughness*) (mm/km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000
	3,9 – 3,5	> 1000
Asbuton/HRA	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
BURDA	3,9 – 3,5	≤ 2000
BURTU	3,4 – 3,0	> 2000
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3000
	2,9 – 2,5	> 3000
Japis Pelindung	2,9 – 2,5	
Jalan Tanah	$\leq 2,4$	
Jalan Kerikil	$\leq 2,4$	

*) Alat pengukur Roughness yang dipakai adalah rouhgometer NAASRA, yang dipasang pada kendaraan standar Datsun 1500 Station Wagon, dengan kecepatan kendaraan ± 32 km/jam. Gerakan sumbu belakang dalam arah vertikal dipindahkan pada alas rouhgometer melalui kabel yang dipasang ditengah- tengah sumbu belakang kendaraan, yang selanjutnya dipindahkan kepada counter melalui "flexible drive". Setiap putaran counter adalah sama dengan 15,2 mm gerakan vertikal antara sumbu belakang dan bodi kendaraan.

Alat pengukur roughness tipe lain dapat digunakan dengan mengkalibrasikan hasil yang diperoleh terhadap roughometer NAASRA

2.2.7. Penentuan Tebal Perkerasan

2.2.7.1 Indeks Tebal Perkerasan

Indeks tebal perkerasan (ITP) dinyatakan dalam rumus :

$$ITP = (a_1 \cdot D_1) + (a_2 \cdot D_2) + (a_3 \cdot D_3)$$

dengan :

a_1 =Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasanpada lapispermukaan

(*surface*).

a_2 = Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan pada lapis pondasi atas (*base*).

a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan pada lapis pondasi bawah (*sub base*).

D_1 = Tebal lapis permukaan (cm).

D_2 = Tebal lapis pondasi atas (cm).

D_3 = Tebal lapis pondasi bawah (cm).

2.2.7.2 Koefisien Kekuatan Relatif

Koefisien kekuatan relatif (a) untuk setiap material, serta penerapannya sebagai lapisan permukaan, pondasi, dan sub-pondasi, ditetapkan dengan mengorelasikannya dengan nilai Uji Marshall (untuk material yang mengandung aspal), kuat tekan (untuk material yang diikat dengan semen atau kapur), atau CBR (untuk material yang dirancang untuk pondasi atas atau sub-pondasi).

Tabel 2.15 Nilai koefisien kekuatan relatif

Koefisien kekuatan relatif			Kekuatan bahan			Jenis bahan
a_1	a_2	a_3	MS (kg)	Kt (kg/cm ²)	CBR (%)	
0,40			744			LASTON
0,35			590			
0,32			454			
0,30			340			
0,35			744			Asbuton
0,31			590			
0,28			454			
0,26			340			
0,30			340			Hot Rolled Asphalt
0,26			340			Aspal Macadam
0,25						LAPEN (mekanis)
0,20						LAPEN (manual)
	0,28		590			LASTON ATAS
	0,26		454			
	0,24		340			
	0,23					LAPEN (mekanis)
	0,19					LAPEN (manual)
	0,15		22			Sta. Tanah dengan semen
	0,13		18			
	0,15		22			Sta. Tanah dengan kapur
	0,13		18			
	0,14				100	Pondasi macadam (basah)
	0,12				60	Pondasi macadam (kering)

	0,14			100	Batu pecah (kelas A)
	0,13			80	Batu pecah (kelas B)
	0,12			60	Batu pecah (kelas C)
		0,13		70	Sirtu/pitrun (kelas A)
		0,12		50	Sirtu/pitrun (kelas B)
		0,11		30	Sirtu/pitrun (kelas C)
		0,10		20	Tanah/lempung kepasiran

Catatan : Kuat tekan stabilisasi tanah dengan semen diperiksa pada hari ke 7 (tujuh). Kuat tekan stabilisasi tanah dengan kapur diperiksa pada hari ke 21.

2.2.7.3 Batas – Batas Minimum Tebal Lapisan

Tabel 2.16 Batas minimum tebal lapis permukaan

ITP	Tabel Minimum (cm)	Bahan
<3,00		Lapis pelindung, BURAS/BURTU/BURDA
3,00-6,70	5	LAPEN/aspal macadam, HRA, asbuton LASTON
6,71-7,49	7,5	LAPEN/aspal macadam, HRA, asbuton LASTON
7,50-9,99	7,5	Asbuton, LASTON
≥10,00	10	LASTON

Tabel 2.17 Batas minimum tebal lapis pondasi

ITP	Tabel Minimum (cm)	Bahan
<3,00	15	Batu pecah, Stab. Tanah dengan semen, Stab. Tanah dengan kapur
3,00-7,49	20*)	Batu pecah, Stab. Tanah dengan semen, Stab. Tanah dengan kapur
	10	LASTON ATAS

7,50-9,99	20	Batu pecah, Stab. Tanah dengan semen, Stab.Tanah dengan kapur, pondasi macadam
15		LASTON ATAS
10,00-12,24	20	Batu pecah, Stab. Tanah dengan semen, Stab.Tanah dengan kapur, pondasi macadam
		LAPEN, LASTON ATAS
$\geq 12,25$	25	Batu pecah, Stab. Tanah dengan semen, Stab.Tanah dengan kapur, pondasi macadam
		LAPEN, LASTON ATAS

*) Batas 20cm tersebut dapat diturunkan menjadi 15 cm bila untuk pondasi bawah digunakan material berbutir kasar.

Untuk setiap Indeks Tebal Perkerasan (ITP) bila digunakan pondasi bawah tebal minimum adalah 10 cm.

2.2.7.4 Pelapisan Tambahan

Untuk perhitungan pelapisan tambahan (*overlay*), kondisi perkerasan jalan lama (*existing pavement*) dinilai sesuai tabel berikut ini :

Tabel 2.18 Nilai kondisi perkerasan jalan pada lapis permukaan

No	Keterangan	Kondisi Perkerasan Jalan (%)
1	Umumnya tidak <i>crack</i> , hanya sedikit deformasi pada jalur roda.	90% - 100%
2	Terlihat <i>crack</i> halus, sedikit deformasi pada jalur roda namun masih tetap stabil	70% - 90%
3	<i>Crack</i> sedang, beberapa deformasi pada jalur roda, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50% - 70%
4	<i>Crack</i> banyak, demikian juga deformasi	30% - 50%

	pada jalur roda, menunjukkan gejala ketidakstabilan.	
--	--	--

Tabel 2.19 Nilai kondisi perkerasan jalan pada lapis pondasi

No	Keterangan	Kondisi Perkerasan Jalan (%)
a	Pondasi aspal beton atau penetrasi	
1	macam : Umumnya tidak <i>crack</i>	90% - 100%
2	Terlihat <i>crack</i> halus, namun masih tetap stabil	70% - 90%
3	<i>Crack</i> sedang, pada dasarnya masih menunjukkan kestabilan	50% - 70%
4	<i>Crack</i> banyak, menunjukkan gejala ketidakstabilan.	30% - 50%
b	Stabilisasi tanah dengan semen atau kapur : Plastisitas Indeks (PI) ≤ 10	70% - 100%
c	Pondasi macam atau batu pecah : Plastisitas Indeks (PI) ≤ 6	80% - 100%

Tabel 2.20 Nilai kondisi perkerasan jalan pada lapis pondasi bawah

No	Keterangan	Kondisi perkerasan jalan (%)
1	Plastisitas Indeks (PI) ≤ 6	90% - 100%
2	Plastisitas Indeks (PI) > 6	70% - 90%

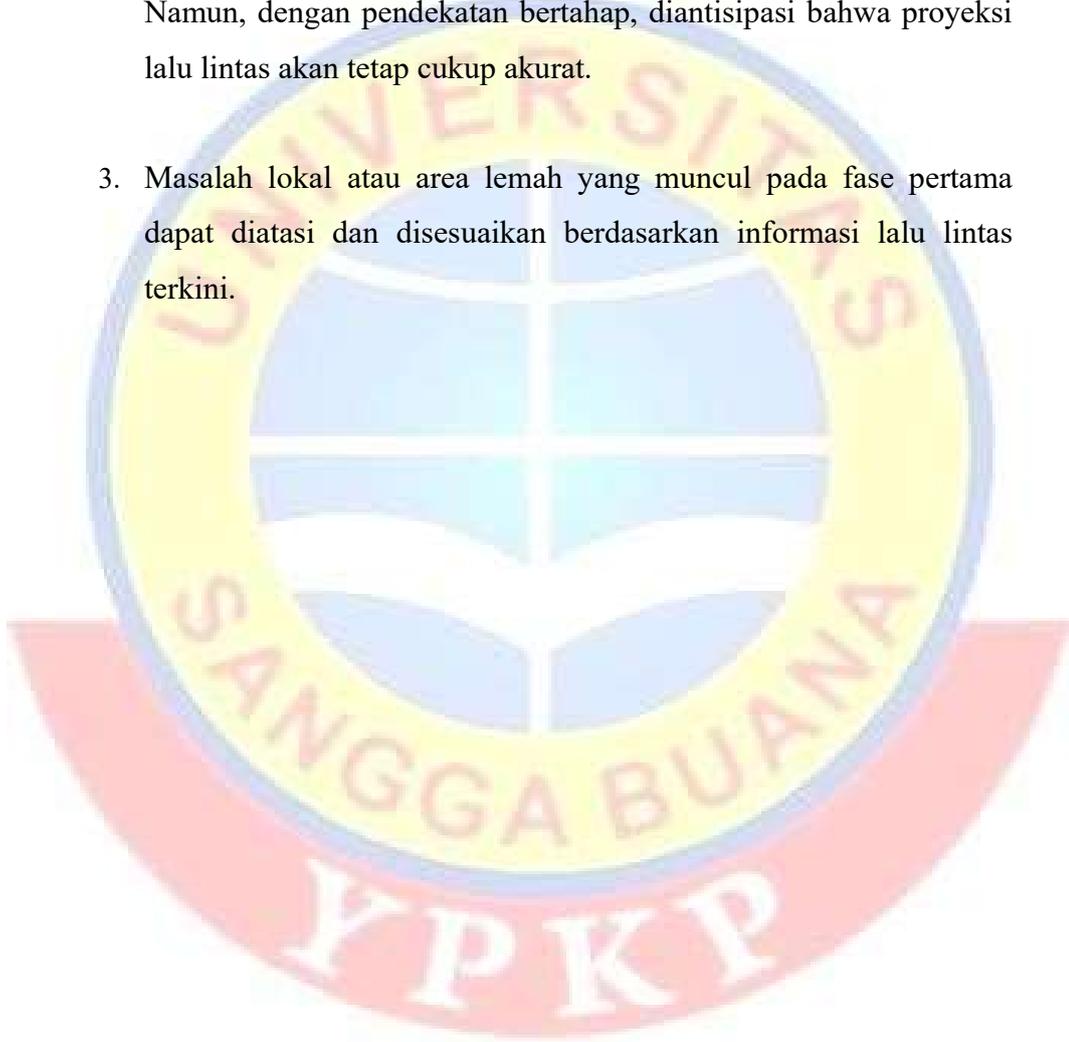
2.2.7.5 Konstruksi Bertahap

Konstruksi bertahap digunakan pada keadaan tertentu, antara lain :

1. Biaya minimal diperlukan untuk menetapkan ketebalan perkerasan jalan sesuai jadwal, seperti dalam jangka waktu 20 tahun. Pembangunan perkerasan jalan dapat dibagi menjadi dua fase,

misalnya, fase awal berlangsung selama 5 tahun, diikuti oleh fase lain yang berlangsung selama 15 tahun.

2. Ada tantangan besar dalam memprediksi pertumbuhan lalu lintas dalam jangka waktu yang panjang, seperti 20 hingga 25 tahun. Namun, dengan pendekatan bertahap, diantisipasi bahwa proyeksi lalu lintas akan tetap cukup akurat.
3. Masalah lokal atau area lemah yang muncul pada fase pertama dapat diatasi dan disesuaikan berdasarkan informasi lalu lintas terkini.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Metodologi yang digunakan dalam menganalisis daya dukung tanah berdasarkan nilai CBR segmen merupakan pekerjaan hasil pengujian di lapangan dimana studi kasus ini dilakukan terhadap tanah asli yang belum ada perkerasannya. Tetapi, nilai kondisi permukaan yang ada sudah waktunya untuk ditingkatkan.

Hal ini dilakukan untuk memberikan gambaran tanah dasar daerah penelitian dan memberikan keterangan atau data-data yang cukup, teliti, dan akurat di dalam merencanakan tebal lapisan perkerasan jalan.

3.2. Persiapan penelitian

Persiapan penelitian ini dimulai dengan mencari dan mengkaji studi literatur yang mendukung penelitian, dimana identifikasi masalah, studi lapangan dan maksud tujuan merupakan dasar penelitian.

Kerja lapangan dapat diatur lebih efektif jika data lokasi pendukung saat ini dianalisis sebelumnya sebagai bagian dari proses persiapan.

Persiapan penelitian ini dapat dibagi dalam 2 (dua) tahap, yaitu:

- Persiapan yang bersifat umum
- Survey lapangan



Gambar 3.1. Alur persiapan penelitian

3.2.1 Persiapan Umum

Pada tahap ini, terdapat beberapa langkah yang perlu diambil sebagai langkah awal, antara lain :

- Penelitian dilakukan untuk perkerasan jalan baru atau untuk perkerasan jalan yang sudah ada, tujuannya adalah untuk menentukan lokasi penelitian.
- Penelitian perencanaan awal, rencana awal ini tergantung pada parameter-parameter yang lain. Tetapi jika perencanaan awal sudah ada, akan lebih mudah lagi dalam menganalisis, karena akan mendapatkan gambaran tentang konstruksi rencana.
- Jenis pekerjaan lapangan yang akan dilaksanakan.
- Menentukan jarak titik pengamatan pada lokasi penelitian.
- Mengidentifikasi keadaan daerah, seperti jenis tanah, batuan, muka air tanah, jenis tanaman dan kerapatannya yang biasanya bisa menggambarkan kelembaban bawah permukaan dan lain sebagainya.

3.2.2 Survey Lapangan

Berdasarkan evaluasi informasi yang terkumpul, disarankan untuk melakukan penilaian awal terhadap lokasi yang ditentukan melalui survei lapangan. Hal ini harus dilakukan sebelum memulai kerja lapangan untuk memastikan bahwa tantangan apa pun dapat diminimalkan selama pelaksanaan. Alasan dilakukannya survei ini adalah sebagai berikut :

- Mengadakan penelitian dan mencatat keadaan-keadaan yang mungkin akan mengganggu perencanaan atau pelaksanaan pekerjaan lapangan.
- Mengumpulkan keterangan atau data-data yang kelak dan mungkin diperlukan didalam pekerjaan lapangan maupun pengujian di laboratorium.

3.3. Pekerjaan Lapangan

3.3.1. Pengujian Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

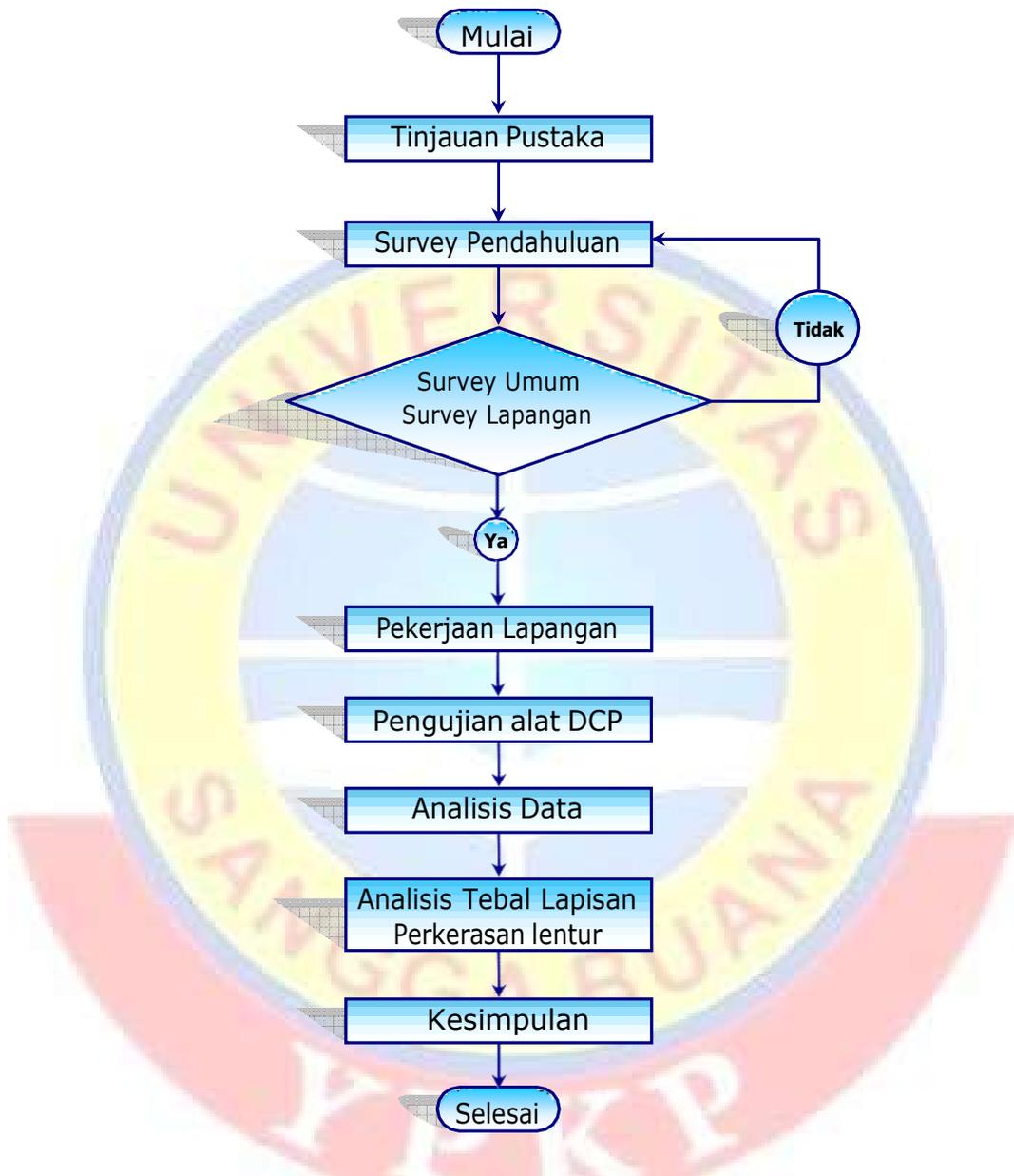
Pengujian penetrasi yang dilakukan menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetration*) dan dilaksanakan pada arah memanjang di daerah penelitian.

Pekerjaan ini dimaksudkan untuk mendapatkan data angka kecepatan penetrasi, nilai CBR dan kepadatan tanah dasar, dan pelaksanaannya dilakukan secara manual dengan tenaga manusia. Untuk pengujian penetrasi dengan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) ini dilaksanakan sebanyak 72 titik pengamatan dan jenis konus yang dipakai adalah bersudut 30°.

3.4. Analisis Data dan Tebal Lapisan

Tahap ini merupakan tahap inti dari hasil akhir pekerjaan lapangan, dimana data hasil pekerjaan lapangan, maupun data sekunder lainnya, yang diperoleh dilakukan evaluasi dan dianalisis untuk menentukan tebal lapisan perkerasan lentur jalan raya pada daerah penelitian.

3.5. Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3.2. Diagram alir metodologi penelitian

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS DATA

4.1 Hasil Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah hasil pekerjaan lapangan yaitu dengan pengujian alat DCP, dimana penelitian ini dilakukan terhadap tanah dasar untuk merencanakan perkerasan jalan raya. Hal ini dilakukan untuk memberikan gambaran tentang kekuatan dan kepadatan tanah dasar daerah penelitian tersebut guna memenuhi perencanaan perkerasan jalan.

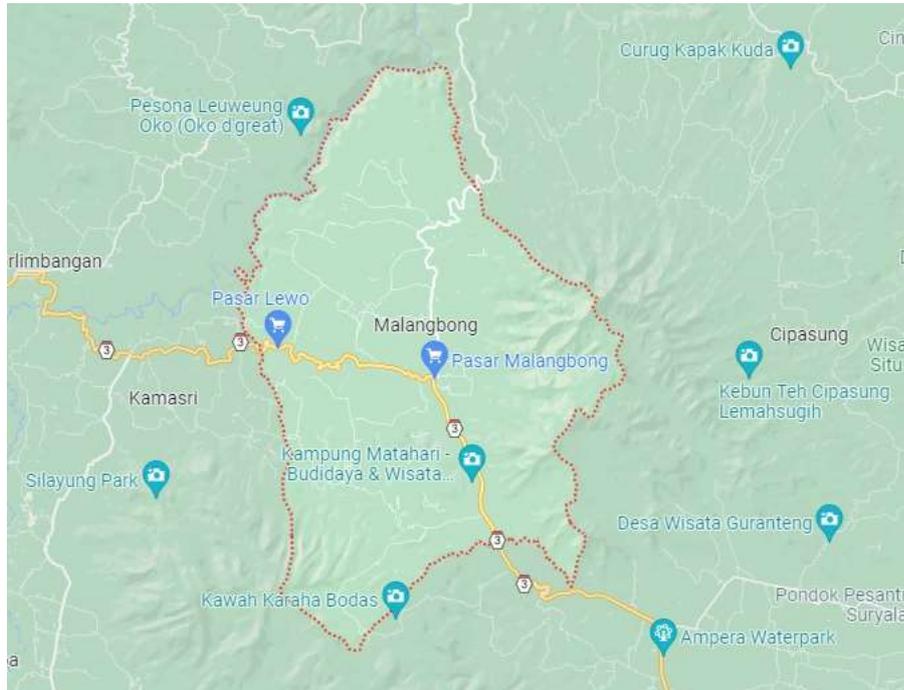
Hasil penelitian ini dituangkan dalam bentuk tabel, gambar dan grafik, antara lain :

1. Pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).
2. Hubungan jumlah pukulan dengan kedalaman penetrasi.
3. Analisa Nilai CBR titik uji dan CBR segmen.
4. Hasil analisa Kepadatan Relatif/*Relative Compaction* (RC).
5. Hasil analisa penentuan tebal perkerasan lentur jalan raya.

4.2 Hasil Pekerjaan Lapangan

4.2.1 Survey Lokasi

Sebelum dilaksanakan pekerjaan lapangan, perlu dilakukan dulu survey lokasi. Survey lokasi ini bertujuan untuk mengumpulkan keterangan atau data-data yang mungkin akan diperlukan didalam pekerjaan lapangan nantinya, sehingga diharapkan tidak akan terjadi hambatan-hambatan didalam pelaksanaannya.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

Survey lokasi yang dilakukan pada perumahan bersubsidi di daerah Sanding Malangbong Kab. Garut ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi keadaan daerah ataupun keadaan jalan.
2. Mengukur panjang jalan yang akan diteliti
3. Menentukan jarak titik uji.

Untuk pelaksanaan penelitian ditentukan pada jalan :

- a. Sanding, dengan panjang jalan 120 meter.
- b. Bunisari, dengan panjang jalan 225 meter.
- c. Giri Makmur, dengan panjang jalan 43 meter.
- d. Sukajaya, dengan panjang jalan 72 meter.
- e. Cibunar, dengan panjang jalan 100 meter.

Setelah didapat panjang jalan yang akan diuji, dengan total panjang jalan yaitu 560 meter, maka ditentukan patok-patok untuk melaksanakan pengujian nantinya.



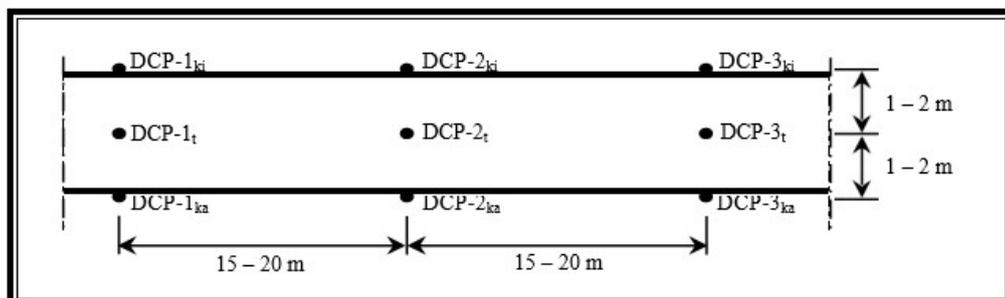
Gambar 4.2 Keadaan jalan yang akan diteliti.

4.2.2 Uji Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

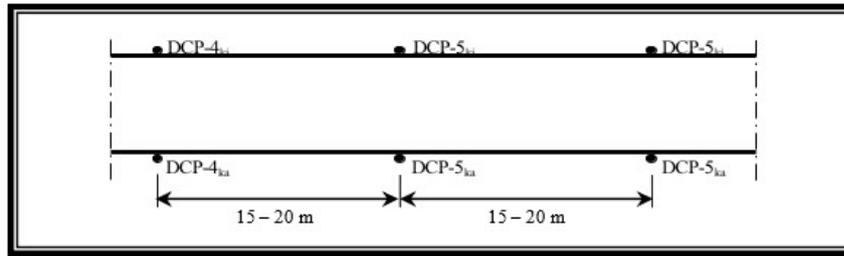
Pekerjaan lapangan ini dilakukan dengan menggunakan alat DCP, yang mana alat tersebut membutuhkan 3 (tiga) operator yaitu untuk mengangkat beban, memegang alat dan mencatat hasil bacaan mistar penetrasi. Dan pengujiannya mengambil 72 titik pada daerah penelitian.

Cara penempatan untuk titik uji ini, pada jalan yang belum ada perkerasannya yaitu ditengah, kiri dan kanan jalan, sedangkan untuk jalan yang sudah ada perkerasannya pengujian dengan DCP dilakukan pada pinggir-pinggir jalan.

Titik uji tersebut dimulai dengan nomor titik uji DCP-1_t (t berarti titik tersebut berada di tengah-tengah jalan) dan berjarak sekitar 1 sampai 2 m kekiri (DCP-1_{ki}) dan kekanannya (DCP-1_{ka}). Dan antara titik uji yang ditengah berjarak antara 15 m sampai dengan 20 m.



Gambar 4.2 Penempatan titik-titik uji pada jalan yang belum ada perkerasan



Gambar 4.3 Penempatan titik-titik uji pada jalan yang sudah ada perkerasan.

Pada uji DCP ini, data yang diperoleh disusun secara tabelaris yang dapat dilihat secara lengkap pada Lampiran 2. Pada Tabel 4.1 merupakan Pengujian DCP nomor titik uji DCP-1_{ka} yang terletak pada Jalan sanding.

Tabel 4.1. Pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* nomor titik uji DCP-1_{ka}.

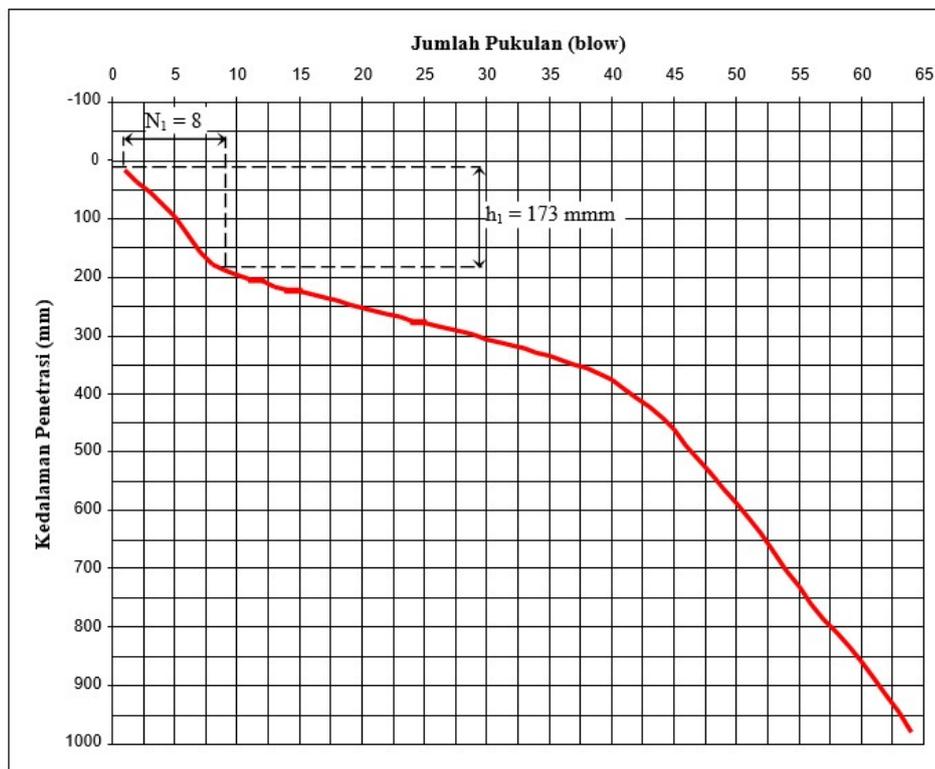
No.	Jumlah Pukulan	Bacaan Mistar Penetrasi	No. of Blow	Penetrasi	N – DCP
Simbol	N	Pen	-	-	-
Satuan	blow	mm	blow	mm	(mm/blow)
1	2	3	4	5	(5/4)
1	0	-20	1	32	32
2	1	12	1	18	18
3	2	30	1	17	17
4	3	47	1	18	18
5	4	65	1	18	18
6	5	83	1	20	20
7	6	103	1	17	17
8	7	120	1	14	14
9	8	134	1	17	17
10	9	151	1	12	12
11	10	163	1	11	11
12	11	174	1	19	19
13	12	193	1	17	17
14	13	210	1	17	17
15	14	227	1	23	23
16	15	250	1	54	54
17	16	304	1	61	61
18	17	365	1	52.5	52.5
19	18	417.5	1	51.5	51.5
20	19	469	1	55.5	55.5
21	20	524.5	1	26.5	26.5
22	21	551	1	24	24
23	22	575	1	33	33
24	23	608	1	37	37
25	24	645	1	34.5	34.5
26	25	679.5	1	32	32
27	26	711.5	1	34	34
28	27	745.5	1	39.5	39.5
29	28	785	1	41.5	41.5
30	29	826.5	1	49	49
31	30	875.5	1	52.5	52.5
32	31	928	1	51	51
33	32	979			

4.3 Analisa Nilai California Bearing Ratio (CBR)

4.3.1 CBR Titik Uji

Sebelum mencari CBR titik uji, perlu dianalisis dahulu nilai CBR pada titik uji, yang mana terdapat beberapa nilai CBR. Hal ini disebabkan karena jenis dan kepadatan lapisan tanah yang beranekaragam.

Nilai CBR ini dianalisis berdasarkan grafik hubungan antara jumlah pukulan dengan kedalaman penetrasi, dan dari Gambar 4.6 ditarik garis-garis sejajar yang kemudian garis tersebut diplot ke grafik korelasi antara DCP dan CBR lapangan (Gambar 2.11.), sehingga diperoleh nilai CBRnya.



Gambar 4.5 Grafik Jumlah Pukulan vs Kedalaman Penetrasi pada DCP-3ki.

Sebagai perbandingan untuk mencari nilai CBR dari Gambar 4.6. (disebut dengan CBR_g) juga dapat menggunakan formula, yaitu persamaan (2.1.36) yang disebut CBR_f . Nilai CBR lapangan yang digunakan adalah nilai CBR_f .

Hasil pemeriksaan pada satu titik uji mendapatkan nilai CBR yang berbeda-

beda. Hal ini terjadi karena kepadatan dan jenis tanah yang berbeda sehubungan dengan perubahan kedalaman. Untuk mendapatkan nilai CBR titik uji, maka nilai-nilai CBR tanah dasar tersebut dibuat menjadi satu nilai CBR untuk mewakili satu titik uji, dengan menggunakan rumus dari *Japan Road Assosiation* .

Tabel 4.2. Analisa Nilai CBR pada Jalan sanding

No.	Penetrasi		Kedalaman Penetrasi	Jumlah Pukulan	SPP	Nilai CBR		CBR titik uji	
	awal	akhir				Grafik	Formula	Grafik	Formula
Simbol	h ₁	h ₂	h	N	N-DCP	CBR _g	CBR _f		
Satuan	(mm)	(mm)	(mm)	(blow)	(mm/blow)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	2	3	4 = 3 - 2	5	6 = 4/5	7	8	11	12
1). DCP 1 ki									
1	165	215	50	3	16.67	20	13.8	4.1	3.1
2	215	375	160	4	40.00	6	4.7		
3	375	760	385	3	128.33	1.5	1.1		
4	760	900	140	4	35.00	7	5.5		
5	900	979.5	79.5	3	26.50	10	7.8		
2). DCP 1 ka									
1	-20	250	270	15	18.00	20	12.5	8.3	5.9
2	250	500	250	4.5	55.56	4	3.1		
3	500	815	315	9	35.00	8	5.5		
4	815	979	164	3.5	46.86	4	3.9		
3). DCP 2 t									
1	-8	87.5	95.5	10	9.55	41	27.3	23.5	20.5
2	126	193	67	4	16.75	20	13.7		
3	193	250	57	5.5	10.36	40	24.7		
4	250	335	85	4.5	18.89	15	11.8		
5	335	436	101	12	8.42	50	31.9		
6	458.5	532	73.5	12	6.13	50	47.2		
7	532	566	34	1	34.00	4.5	5.7		
8	620	680	60	15.5	3.87	46	82.9		
9	680	802	122	11.5	10.61	19	24.0		
10	802	959	157	4	39.25	6	4.8		
4). DCP 2 ki									
1	2	220	218	9.5	22.95	12.2	9.3	8.4	5.0
2	220	289.5	69.5	1.5	46.33	7	3.9		
3	289.5	460	170.5	15.5	11.00	35	22.9		
4	460	675	215	5	43.00	5.5	4.3		
5	675	901	226	0.5	452.00	1.5	0.2		

5). DCP 2 ka										
1	52	134	82	1	82.00	1.5	1.9		17.1	12.0
2	134	344	210	5	42.00	5.7	4.4			
3	344	540	196	12.5	15.68	21	14.8			
4	540	587	47	5.5	8.55	50	31.3			
5	587	644.5	57.5	4	14.38	25	16.5			
6	644.5	687	42.5	6	7.08	70	39.4			
7	687	792	105	9	11.67	35	21.3			
8	792	867	75	4	18.75	13	11.9			
9	867	955	88	7	12.57	32	19.5			
6). DCP 3 t										
1	17	115	98	10.5	9.33	41	28.1		35.8	22.1
2	160	185	25	2	12.50	30	19.6			
3	250	330	80	1.5	53.33	5.7	3.3			
4	360	410	50	3	16.67	25	13.8			
5	410	480	70	11	6.36	80	45.0			
6	480	610	130	11.5	11.30	32.5	22.2			
7	610	654	44	7	6.29	90	45.7			
8	654	785	131	13.5	9.70	42	26.8			
9	785	942	157	13.5	11.63	35	21.4			
7). DCP 3 ki										
1	15	188	173	8	21.63	12.5	10.0		20.2	12.8
2	188	350	162	29.5	5.49	92	53.9			
3	350	390	40	2.5	16.00	46	14.5			
4	390	470	80	5.5	14.55	20	16.3			
5	470	980.5	510.5	17.5	29.17	11	6.9			
8). DCP 3 ka										
1	4	110	106	11	9.64	45	27.0		26.6	17.1
2	140	251.5	111.5	10.5	10.62	40	24.0			
3	251.5	317	65.5	9	7.28	80	38.1			
4	317	359	42	1	42.00	6.5	4.4			
5	359	448.5	89.5	10	8.95	47	29.6			
6	448.5	500	51.5	2.5	20.60	13	10.6			
7	500	585	85	7	12.14	34	20.3			
8	585	942	357	17.5	20.40	14.5	10.7			
9). DCP 4 t										
1	-15	50	65	8.5	7.65	80	35.9		9.8	6.7
2	96	144	48	5	9.60	40	27.1			
3	207	250	43	5.5	7.82	48	34.9			
4	272	379	107	5	21.40	13	10.1			
5	379	746	367	9	40.78	6.5	4.6			
6	746	986	240	3	80.00	2.5	2.0			
10). DCP 4 ki										
1	17	225	208	10.5	19.81	13	11.1		4.4	3.0
2	225	456	231	2.5	92.40	4	1.7			
3	456	960	504	6	84.00	2.5	1.9			

11). DCP 4 ka									
1	16	129	113	3	37.67	7	5.0	19.2	12.3
2	129	190	61	5.5	11.09	36	22.7		
3	190	320	130	15	8.67	46	30.8		
4	358	417.5	59.5	10	5.95	110	48.9		
5	417.5	612	194.5	10	19.45	18	11.4		
6	612	943	331	11	30.09	9.5	6.7		
12). DCP 5 t									
1	22.5	132.5	110	6	18.33	17	12.2	12.4	8.3
2	132.5	196	63.5	15	4.23	120	74.3		
3	273.5	300.5	27	4	6.75	50	41.8		
4	300.5	377	76.5	15	5.10	110	59.1		
5	377	425	48	4.5	10.67	35	23.8		
6	425	517	92	3.5	26.29	12	7.9		
7	517	882	365	3	121.67	1.5	1.2		
8	882	972.5	90.5	2	45.25	7	4.0		
13). DCP 5 ki									
1	33	108.5	75.5	2	37.75	6.5	5.0	47.9	31.0
2	108.5	227	118.5	5	23.70	13	8.9		
3	227	332	105	4	26.25	8	7.9		
4	332	395.5	63.5	8	7.94	65	34.3		
5	395.5	455.5	60	5	12.00	29	20.6		
6	455.5	572	116.5	19	6.13	95	47.1		
7	572	640	68	6.5	10.46	30	24.4		
8	640	971	331	12.5	26.48	12.3	7.8		
14). DCP 5 ka									
1	6.5	43.5	37	6	6.17	120	46.8	17.3	11.1
2	43.5	199.5	156	11	14.18	23.5	16.8		
3	199.5	336	136.5	24	5.69	100	51.7		
4	336	432	96	7	13.71	25	17.5		
5	432	561.5	129.5	5	25.90	10.5	8.0		
6	561.5	982	420.5	8	52.56	4.5	3.4		
15). DCP 6 ki									
1	18	72	54	6	9.00	40	29.4	9.4	6.5
2	72	200	128	22.5	5.69	80	51.6		
3	200	433	233	5.5	42.36	8	4.4		
4	433	980	547	9	60.78	3.5	2.8		
16). DCP 6 ka									
1	-12	61.5	73.5	2	36.75	7.5	5.2	36.3	23.6
2	61.5	138.5	77	10	7.70	50	35.6		
3	138.5	365	226.5	17.5	12.94	30	18.8		
4	429	463.5	34.5	10	3.45	120	95.5		
5	463.5	604	140.5	14	10.04	40	25.7		
6	604	655	51	2.5	20.40	16.5	10.7		
7	655	712	57	11.5	4.96	110	61.2		

4.3.2 CBR Segmen

Apabila dibandingkan dengan jalan arah melintang, jalan dalam arah memanjang pada daerah penelitian adalah cukup panjang dan melintasi jenis tanah, nilai CBR, dan medan yang berbeda. Untuk memenuhi syarat perencanaan tebal perkerasan, maka nilai-nilai CBR dari satu titik uji dibuat per segmen, dimana setiap segmen mempunyai daya dukung tanah dasar dan sifat tanah yang relatif sama.

Dari hasil analisa nilai CBR titik uji sepanjang jalan daerah penelitian diperoleh nilai-nilai CBR segmen untuk perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan cara grafis.

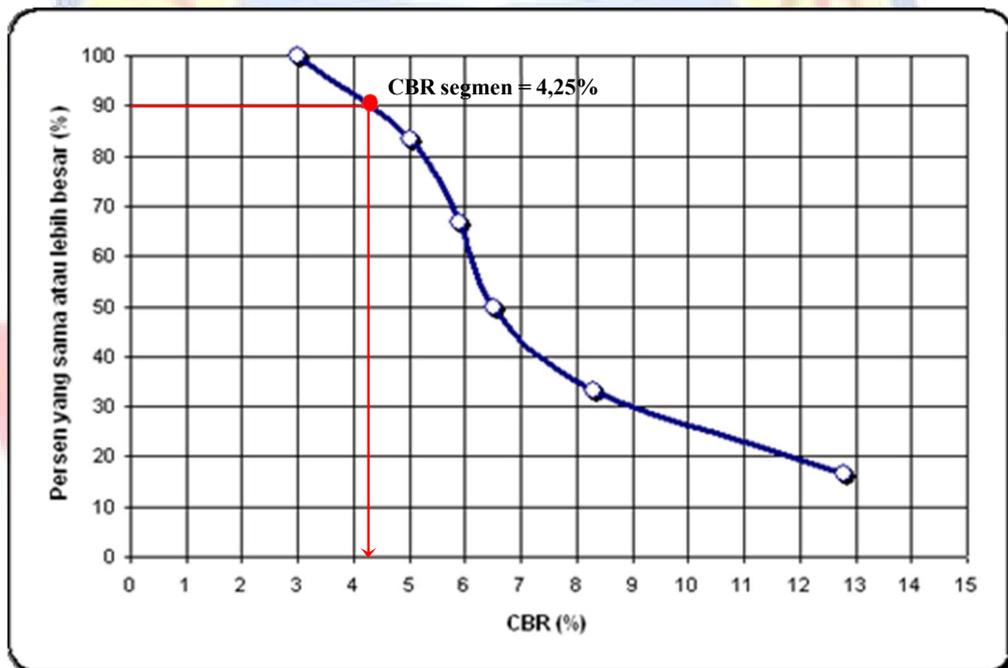
Adapun langkah-langkah untuk memperoleh nilai CBR segmen adalah sebagai berikut :

- 1) 1) Identifikasi nilai CBR minimum.
- 2) 2) Identifikasi jumlah nilai CBR yang sama dengan atau melebihi setiap nilai CBR dan kemudian susun dalam tabel mulai dari nilai CBR terkecil hingga terbesar.
- 3) 3) Angka terbesar menerima nilai 100%, sedangkan angka yang tersisa direpresentasikan sebagai persentase dari 100% tersebut.
- 4) 4) Buat bagan yang menggambarkan hubungan antara harga CBR dan persentase jumlah total.
- 5) Nilai CBR untuk segmen adalah nilai saat berada pada keadaan 90%.

Tabel 4.3 Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 1 pada Jalan sanding.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	CBR titik uji (setelah diurutkan)	Jumlah yang sama atau lebih besar	Persen yang sama atau lebih besar	CBR segmen
Simbol	(-)	(-)	(%)	(-)	(%)	CBRs
Satuan	(-)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 1 _{ka}	5.9	3	6	100	4.25
2	DCP 2 _{ki}	5	5	5	83	
3	DCP 3 _{ki}	12.8	5.9	4	67	
4	DCP 4 _{ki}	3	6.5	3	50	
5	DCP 5 _t	8.3	8.3	2	33	
6	DCP 6 _{ki}	6.5	12.8	1	17	

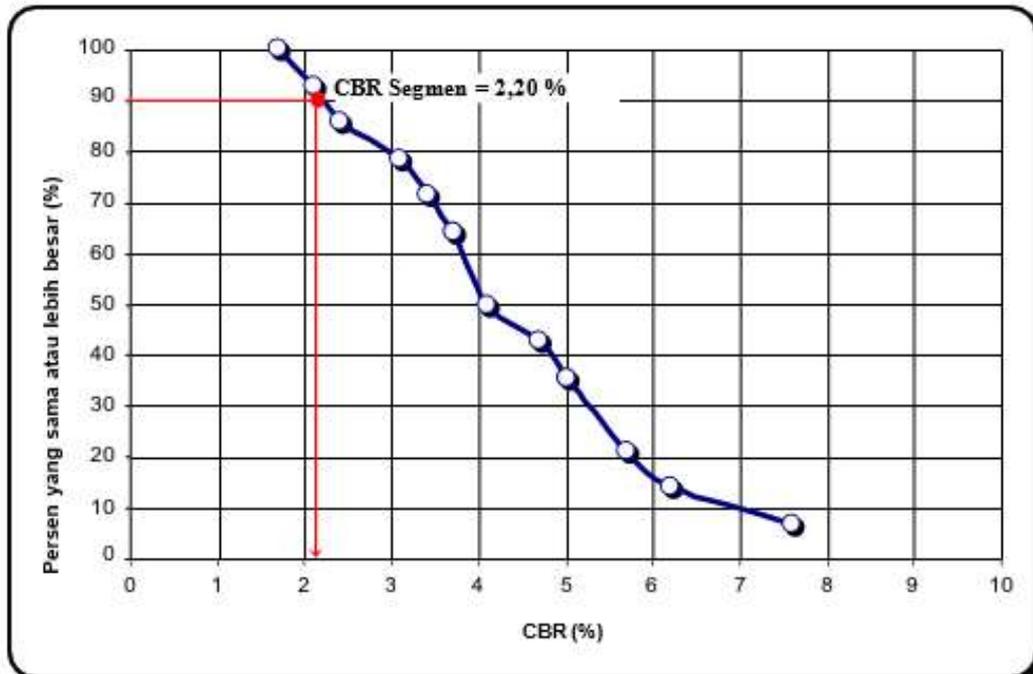
Catatan : Persen yang sama atau lebih besar = (Jumlah yang sama atau lebih besar/Jumlah titik uji) x 100 %



Gambar 4.7 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titikuji pada Segmen 1.

Tabel 4.4. Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 2 pada Jalan bunisari.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	CBR titik uji (setelah diurutkan)	Jumlah yang sama atau lebih besar	Persen yang sama atau lebih besar	CBR segmen
Simbol	(-)	(-)	(%)	(-)	(%)	CBRs
Satuan	(-)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 7 _{ki}	3.4	1.7	14	100.0	2.20
2	DCP 7 _{ka}	3.1	2.1	13	92.9	
3	DCP 8 _t	2.4	2.4	12	85.7	
4	DCP 9 _{ka}	1.7	3.1	11	78.6	
5	DCP 10 _{ki}	5	3.4	10	71.4	
6	DCP 10 _{ka}	5.7	3.7	9	64.3	
7	DCP 11 _{ka}	3.7	3.7	9	64.3	
8	DCP 12 _{ka}	6.2	4.1	7	50.0	
9	DCP 13 _{ka}	5	4.7	6	42.9	
10	DCP 14 _{ka}	7.6	5	5	35.7	
11	DCP 15 _{ka}	3.7	5	5	35.7	
12	DCP16 _{ka}	4.7	5.7	3	21.4	
13	DCP 17 _{ka}	4.1	6.2	2	14.3	
14	DCP 18 _{ka}	2.1	7.6	1	7.1	

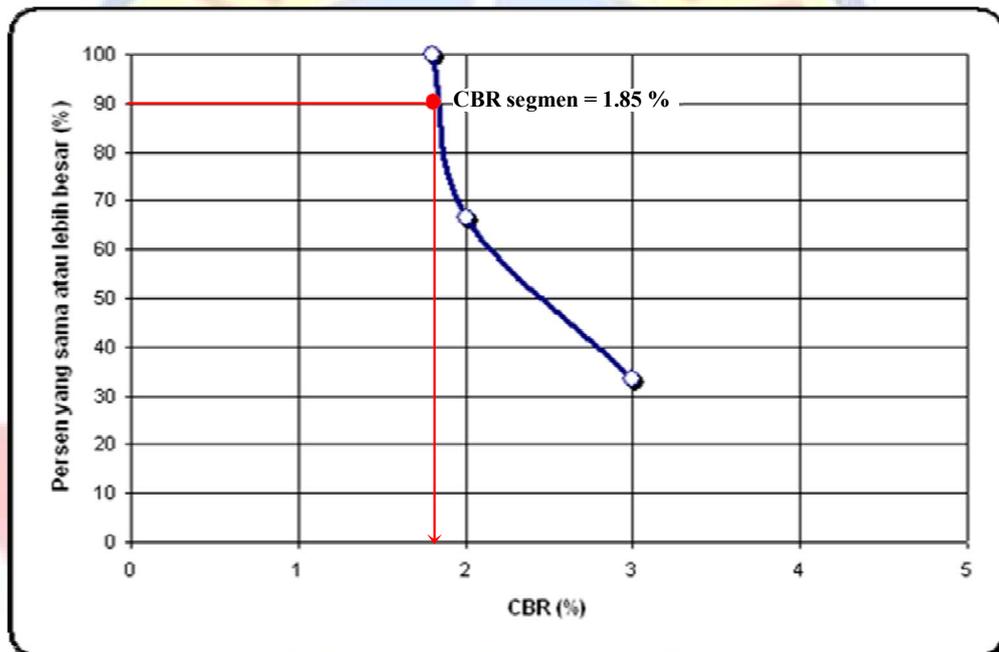


Gambar 4.8 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titikuji pada Segmen 2.

Tabel 4.5 Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 3 pada Jalan girimakmur.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	CBR titik uji (setelah diurutkan)	Jumlah yang sama atau lebih besar	Persen yang sama atau lebih besar	CBR segmen
Simbol	(-)	(-)	(%)	(-)	(%)	CBRs
Satuan	(-)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 19 _{ki}	3	1.8	3	100.0	1.85
2	DCP 20 _{ki}	1.8	2	2	66.7	
3	DCP 21 _{ki}	2	3	1	33.3	

Catatan : Persen yang sama atau lebih besar = (Jumlah yang sama atau lebih besar/Jumlah titikuji) x 100 %

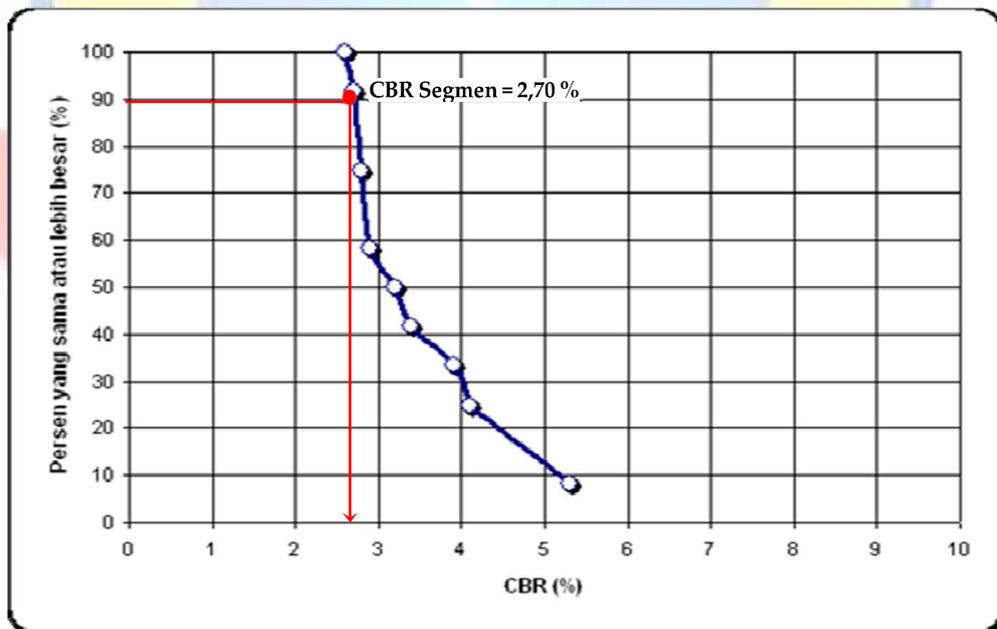


Gambar 4.9 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titikuji pada Segmen 3.

Tabel 4.6 Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 4 pada Jalan sukajaya.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	CBR titik uji (setelah diurutkan)	Jumlah yang sama atau lebih besar	Persen yang sama atau lebih besar	CBR segmen
Simbol	(-)	(-)	(%)	(-)	(%)	CBRs
Satuan	(-)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 23 _{ki}	5.3	2.6	12	100.0	2.70
2	DCP 23 _{ka}	2.7	2.7	11	91.7	
3	DCP 24 _t	4.1	2.7	11	91.7	
4	DCP 24 _{ki}	4.1	2.8	9	75.0	
5	DCP 25 _t	2.6	2.8	9	75.0	
6	DCP 25 _{ka}	3.2	2.9	7	58.3	
7	DCP 26 _t	2.8	3.2	6	50.0	
8	DCP 26 _{ki}	2.8	3.4	5	41.7	
9	DCP 27 _t	2.9	3.9	4	33.3	
10	DCP 27 _{ka}	2.7	4.1	3	25.0	
11	DCP 28 _t	3.4	4.1	3	25.0	
12	DCP 28 _{ka}	3.9	5.3	1	8.3	

Catatan : Persen yang sama atau lebih besar = (Jumlah yang sama atau lebih besar/Jumlah titik uji) x 100 %

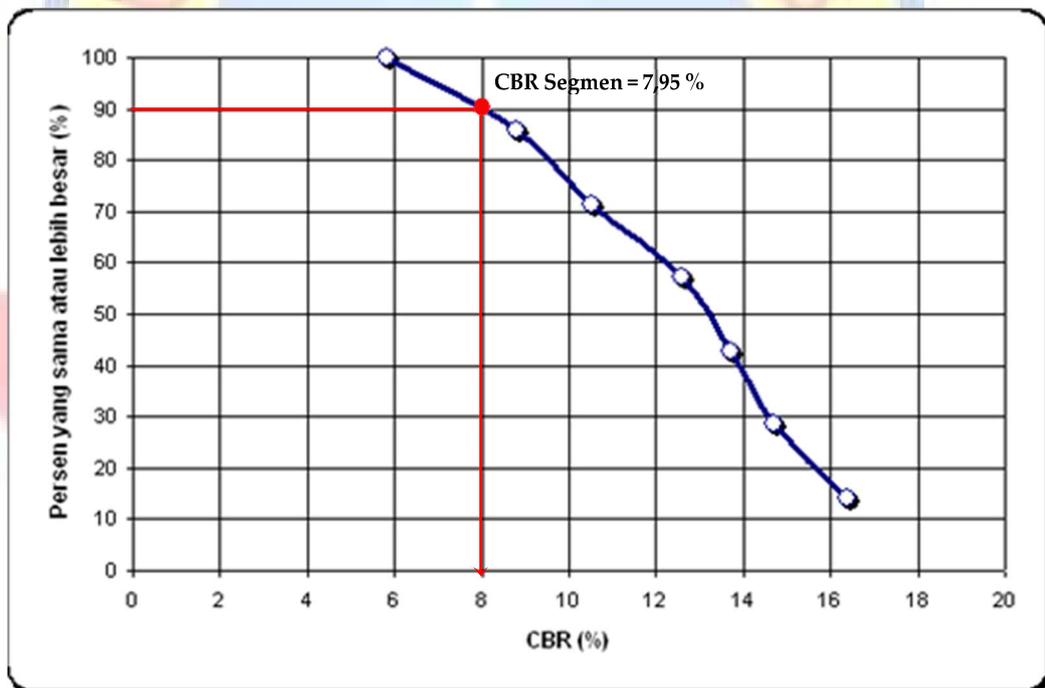


Gambar 4.10 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titik uji pada Segmen 4.

Tabel 4.7 Analisa Nilai CBR Segmen (Disain) 5 pada Jalan cibunar

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	CBR titik uji (setelah diurutkan)	Jumlah yang sama atau lebih besar	Persen yang sama atau lebih besar	CBR segmen
Simbol	(-)	(-)	(%)	(-)	(%)	CBRs
Satuan	(-)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 29 _t	14.7	5.8	7	100.00	7.95
2	DCP 29 _{ka}	5.8	8.8	6	85.71	
3	DCP 30 _{ki}	16.4	10.5	5	71.43	
4	DCP 30 _{ka}	12.6	12.6	4	57.14	
5	DCP 31 _t	10.5	13.7	3	42.86	
6	DCP 31 _{ki}	8.8	14.7	2	28.57	
7	DCP 32 _{ka}	13.7	16.4	1	14.29	

Catatan : Persen yang sama atau lebih besar = (Jumlah yang sama atau lebih besar/Jumlah titik uji) x 100 %



Gambar 4.11 Hubungan persen yang sama atau lebih besar dengan CBR titik uji pada Segmen 5.

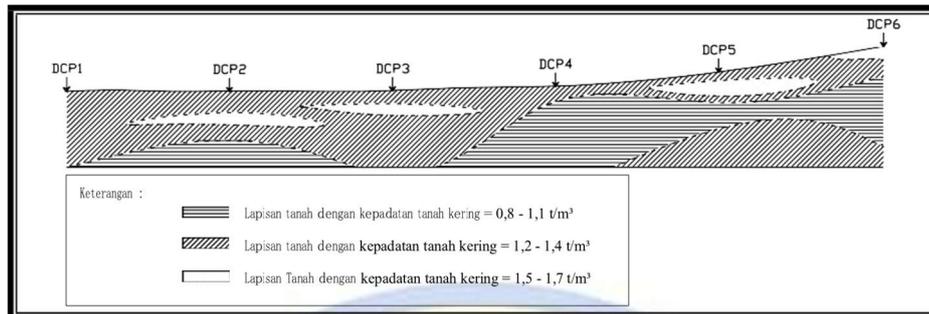
4.3.3 Profil Tanah Dasar Daerah Penelitian

Gambar profil tanah dasar pada penelitian ini didapat dari hasil pengujian penetrasi dengan mempergunakan alat DCP yang dilakukan sebanyak 72 titik. Dan dianalisis berdasarkan data kedalaman penetrasi dan kepadatan kering (γ_d).

a. Segmen 1 (jalan sanding)

Tabel 4.8 Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 1.

No.	Penetrasi		Kedalaman Penetrasi	Jumlah Pukulan	SPP	Kepadatan Kering
	awal	akhir				
Simbol	h_1	h_2	h	N	N-DCP	γ_d
Satuan	(mm)	(mm)	(mm)	(blow)	(mm/blow)	(t/m)
1	2	3	$4 = 3 - 2$	5	$6 = 4/5$	7
1). DCP 1 ki						
1	165	215	50	3	16.67	1.4
2	215	375	160	4	40.00	1.2
3	375	760	385	3	128.33	1.0
4	760	900	140	4	35.00	1.2
5	900	979.5	79.5	3	26.50	1.3
2). DCP 2 ki						
1	2	220	218	9.5	22.95	1.3
2	220	289.5	69.5	1.5	46.33	1.2
3	289.5	460	170.5	15.5	11.00	1.5
4	460	675	215	5	43.00	1.2
5	675	901	226	0.5	452.00	0.8
3). DCP 3 ki						
1	15	188	173	8	21.63	1.3
2	188	350	162	29.5	5.49	1.6
3	350	390	40	2.5	16.00	1.4
4	390	470	80	5.5	14.55	1.4
5	470	980.5	510.5	17.5	29.17	1.3
4). DCP 4 ki						
1	17	225	208	10.5	19.81	1.4
2	225	456	231	2.5	92.40	1.1
3	456	960	504	6	84.00	1.1
5). DCP 5 t						
1	22.5	132.5	110	6	18.33	1.4
2	132.5	196	63.5	15	4.23	1.7
3	273.5	300.5	27	4	6.75	1.6
4	300.5	377	76.5	15	5.10	1.7
5	377	425	48	4.5	10.67	1.5
6	425	517	92	3.5	26.29	1.3
7	517	882	365	3	121.67	1.0
8	882	972.5	90.5	2	45.25	1.2
6). DCP 6 ki						
1	18	72	54	6	9.00	1.5
2	72	200	128	22.5	5.69	1.6
3	200	433	233	5.5	42.36	1.2
4	433	980	547	9	60.78	1.1



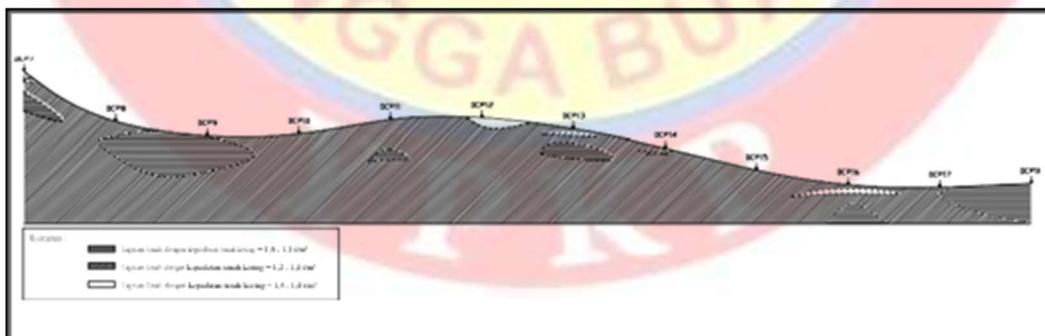
Gambar 4.12 Profil tanah dasar Segmen 1.

b. Segmen 2 (jalan bunisari)

Tabel 4.9. Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 2.

No.	Penetrasi		Kedalaman Penetrasi	Jumlah Pukulan	SPP	Kepadatan Kering
	awal	akhir				
Simbol	h_1	h_2	h	N	$N-DCP$	γ_d
Satuan	(mm)	(mm)	(mm)	(blow)	(mm/blow)	(t/m)
1	2	3	$4 = 3 - 2$	5	$6 = 4/5$	7
1). DCP 7 ki						
1	11.5	106	94.5	2	47.25	1.2
2	106	214.5	108.5	1	108.50	1.0
3	214.5	250	35.5	3.5	10.14	1.5
4	250	484	234	7.5	31.20	1.3
5	484	980	496	7	70.86	1.1
2). DCP 8 t						
1	-4	347.5	351.5	6	58.58	1.2
2	347.5	654	306.5	2	153.25	1.0
3	654	848	194	3	64.67	1.1
4	848	996	148	5	29.60	1.3
3). DCP 9 ka						
1	45	748.5	703.5	7	100.50	1.1
2	748.5	920	171.5	1.5	114.33	1.0
3	920	983.5	63.5	2.5	25.40	1.3
4). DCP 10 ka						
1	16	393	377	9	41.89	1.2
2	393	723.5	330.5	10	33.05	1.3
3	723.5	992	268.5	10	26.85	1.3
5). DCP 11 ka						
1	10	38	28	1	28.00	1.3
2	38	67.5	29.5	2	14.75	1.4
3	67.5	461	393.5	9	43.72	1.2
4	461	736	275	5	55.00	1.2
5	736	988.5	252.5	4	63.13	1.1
6). DCP 12 ka						
1	12	90	78	12.5	6.24	1.6
2	130	236.5	106.5	8.5	12.53	1.5
3	236.5	630	393.5	7.5	52.47	1.2
4	630	978.5	348.5	7.5	46.47	1.2

7). DCP 13 ka						
1	0	82.5	82.5	2	41.25	1.2
2	82.5	115	32.5	7.5	4.33	1.7
3	115	155	40	4	10.00	1.5
4	155	345	190	6	31.67	1.3
5	345	730	385	6	64.17	1.1
6	730	972	242	5.5	44.00	1.2
8). DCP 14 ka						
1	43.5	96	52.5	1	52.50	1.2
2	96	128	32	4	8.00	1.6
3	128	176	48	3	16.00	1.4
4	217	229	12	4	3.00	1.8
5	287	343	56	3	18.67	1.4
6	343	520.5	177.5	6	29.58	1.3
7	520.5	725	204.5	5	40.90	1.2
8	725	963	238	8	29.75	1.3
9). DCP 15 ka						
1	75	735	660	11.5	57.39	1.2
2	735	978	243	7.5	32.40	1.3
10). DCP 16 ka						
1	29	132.5	103.5	3	34.50	1.2
2	132.5	240	107.5	9.5	11.32	1.5
3	240	535	295	8	36.88	1.2
4	535	940	405	5.5	73.64	1.1
11). DCP 17 ka						
1	14	157	143	4	35.75	1.2
2	157	235	78	0.5	156.00	1.0
3	235	375	140	4.5	31.11	1.3
4	375	792	417	10	41.70	1.2
5	792	965	173	3	57.67	1.2
12). DCP 18 ka						
1	68	575.5	507.5	8	63.44	1.1
2	575.5	983	407.5	4	101.88	1.1

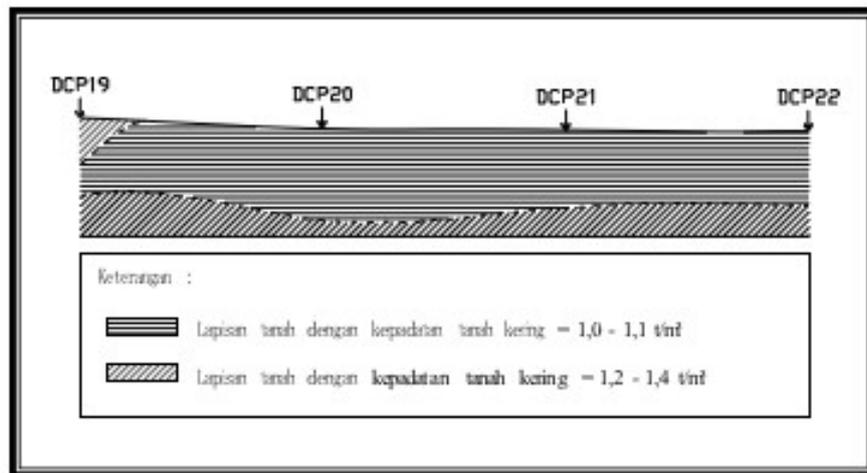


Gambar 4.13 Profil tanah dasar Segmen 2

c. Segmen 3 (jalan girimakmur)

Tabel 4.10. Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 3.

No.	Penetrasi		Kedalaman Penetrasi	Jumlah Pukulan	SPP	Kepadatan Kering
	awal	akhir				
Simbol	h_1	h_2	h	N	N-DCP	γ_d
Satuan	(mm)	(mm)	(mm)	(blow)	(mm/blow)	(t/m)
1	2	3	$4 = 3 - 2$	5	$6 = 4/5$	7
1). DCP 19 ki						
1	46.5	130	83.5	1.5	55.67	1.2
2	130	964	834	14.5	57.52	1.2
3). DCP 20 ki						
1	145.5	590	444.5	4	111.13	1.0
2	590	993	403	6	67.17	1.1
4). DCP 21 ki						
1	7	470	463	3.5	132.29	1.0
2	470	720	250	3.5	71.43	1.1
3	720	996	276	6	46.00	1.2
5). DCP 22 ki						
1	50	400	350	1.5	233.33	0.9
2	400	735	335	4	83.75	1.1
3	735	980.5	245.5	5.5	44.64	1.2

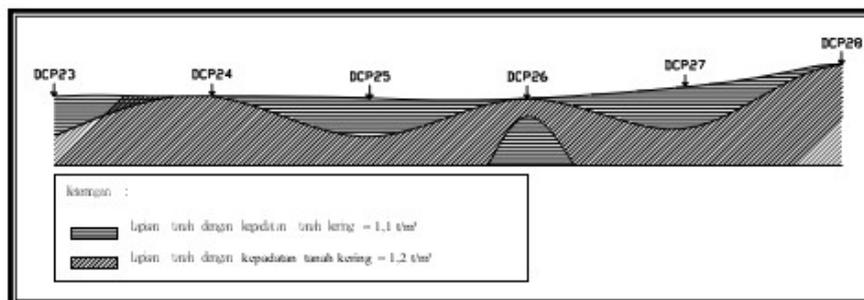


Gambar 4.14 Profil tanah dasar Segmen 3.

d. Segmen 4 (jalan sukajaya)

Tabel 4.11. Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 4.

No.	Penetrasi		Kedalaman Penetrasi	Jumlah Pukulan	SPP	Kepadatan Kering
	awal	akhir				
Simbol	h_1	h_2	h	N	N-DCP	γ_d
Satuan	(mm)	(mm)	(mm)	(blow)	(mm/blow)	(t/m)
1	2	3	$4 = 3 - 2$	5	$6 = 4/5$	7
1). DCP 23 ka						
1	34.5	602.5	568	8	71.00	1.1
2	602.5	968	365.5	7	52.21	1.2
2). DCP 24 t						
1	8	651	643	13	49.46	1.2
2	651	990	339	9	37.67	1.2
3). DCP 25 t						
1	5.5	554.5	549	7	78.43	1.1
2	554.5	961.5	407	8	50.88	1.2
4). DCP 26 ki						
1	-6	250	256	5.5	46.55	1.2
2	250	996	746	10.5	71.05	1.1
5). DCP 27 ka						
1	-5	590	595	6	99.17	1.1
2	590	988	398	11	36.18	1.2
6). DCP 28 t						
1	95	615	520	9	57.78	1.2
2	615	984	369	8	46.13	1.2

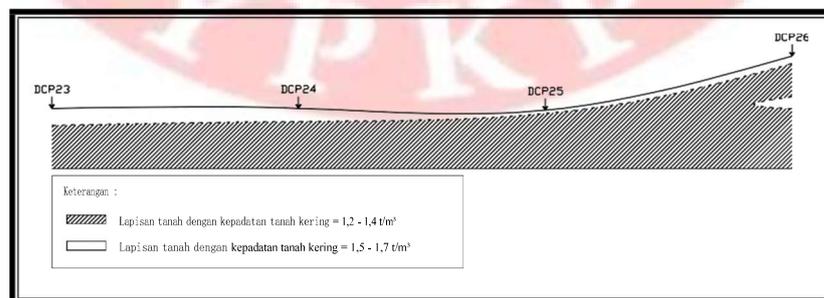


Gambar 4.15 Profil tanah dasar Segmen 4.

e. Segmen 5 (jalan cibunar)

Tabel 4.12. Hubungan DCP dengan kepadatan kering (γ_d) pada Segmen 5

No.	Penetrasi		Kedalaman Penetrasi	Jumlah Pukulan	SPP	Kepadatan Kering
	awal	akhir				
Simbol	h_1	h_2	h	N	N-DCP	γ_d
Satuan	(mm)	(mm)	(mm)	(blow)	(mm/blow)	(t/m)
1	2	3	$4 = 3 - 2$	5	$6 = 4/5$	7
1). DCP 29 t						
1	-8	140	148	19	7.79	1.6
2	171	302.5	131.5	26	5.06	1.7
3	302.5	725	422.5	14.5	29.14	1.3
4	725	997	272	12.5	21.76	1.3
2). DCP 30 ka						
1	-3	157.5	160.5	27	5.94	1.6
2	183.5	240	56.5	12	4.71	1.7
3	240	468.5	228.5	10	22.85	1.3
4	468.5	983.5	515	16	32.19	1.3
3). DCP 31 t						
1	48	101	53	9	5.89	1.6
2	192.5	265	72.5	5.5	13.18	1.4
3	265	450	185	4.5	41.11	1.2
4	450	742	292	11	26.55	1.3
5	742	993	251	15	16.73	1.4
4). DCP 32 ka						
1	23	145	122	11.5	10.61	1.5
2	240	423	183	4.5	40.67	1.2
3	423	560	137	5.5	24.91	1.3
4	560	790	230	15	15.33	1.4
5	790	992	202	19.5	10.36	1.5



Gambar 4.16 Profil tanah dasar Segmen 5.

4.3 Kepadatan Lapangan Tanah Dasar (*In-situ Test*)

In-situ test berfungsi untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan atau kepadatan tanah sudah layak/padat. Pemeriksaan untuk tujuan ini tidak umum digunakan, lebih sering menggunakan pemeriksaan yang lain seperti sand cone dan lain-lain.

Untuk mendapatkan kepadatan lapangan tanah dasar, terlebih dahulu menganalisis parameter-parameter tanah sebagai berikut : kepadatan kering (γ_d) dan kadar air tanah (ω) pada setiap titik uji, yang mana parameter-parameter tersebut didapat dari penggunaan persamaan (2.1.37) dan persamaan (2.1.38). Pada satu titik uji didapatkan beberapa nilai γ_d dan ω , maka agar setiap titik uji hanya memiliki satu nilai, γ_d dan ω tersebut dirata-ratakan. Angka-angka yang didapat dari persamaan tersebut diplot ke dalam kurva pemadatan tanah residual, sehingga kepadatan kering (γ_d) dan kadar air tanah (ω) tertentu akan mengenai bagian kurva, sehingga didapat γ_{dmaks} . Dimana γ_d disini adalah γ_{dfield} .

Untuk menganalisis kepadatan relatif/*relative compaction* (RC) dilapangan dapat digunakan persamaan (2.1.33). Hasil analisis RC tersebut nantinya dapat menyimpulkan kepadatan di lokasi penelitian, apakah sudah layak atau sudah padat. RC dinyatakan dalam persen (%) dan syarat kepadatan tanah dilapangan minimal 95% kepadatan maksimum. Jika kepadatan tanah tersebut lebih besar sama dengan 95 % γ_d , maka tidak perlu dilakukan pemadatan, dan sebaliknya.

Data yang diperoleh disusun secara tabelaris yang dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 4.8 sampai dengan Tabel 4.12.

Tabel 4.13. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 1.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	Kepadatan Kering	Kadar Air	Kepadatan Kering Maksimum	Kepadatan Relatif
Simbol	(-)	(-)	γ_d	ω	$\gamma_{d \text{ maks}}$	RC
Satuan	(-)	(%)	(t/m)	(%)	(t/m)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 1 ki	3.14	1.23	38.4	1.250	98
2	DCP 1 ka	5.92	1.20	37.8	1.210	99
3	DCP 2 t	20.51	1.50	26.8	1.510	99
4	DCP 2 ki	5.04	1.21	40.6	1.245	97
5	DCP 2 ka	11.99	1.40	30.1	1.415	99
6	DCP 3 t	22.12	1.50	26.4	1.505	100
7	DCP 3 ki	12.78	1.41	28.8	1.415	100
8	DCP 3 ka	17.08	1.40	28.0	1.415	99
9	DCP 4 t	6.73	1.40	30.9	1.405	100
10	DCP 4 ki	3.01	1.20	42.0	1.255	96
11	DCP 4 ka	12.29	1.40	28.9	1.415	99
12	DCP 5 t	8.27	1.40	29.3	1.405	100
13	DCP 5 ki	31.01	1.40	29.3	1.405	100
14	DCP 5 ka	11.14	1.40	28.4	1.415	99
15	DCP 6 ki	6.5	1.40	31.2	1.410	99
16	DCP 6 ka	23.56	1.50	24.9	1.505	100

Tabel 4.14. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 2.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	Kepadatan Kering	Kadar Air	Kepadatan Kering Maksimum	Kepadatan Relatif
Simbol	(-)	(-)	γ_d	ω	$\gamma_{d \text{ maks}}$	RC
Satuan	(-)	(%)	(t/m)	(%)	(t/m)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 7 t	2.29	1.20	41.2	1.255	96
2	DCP 7 ki	3.45	1.22	39.2	1.245	98
3	DCP 7 ka	3.08	1.20	39.8	1.230	98
4	DCP 8 t	2.44	1.10	43.9	1.110	99
5	DCP 8 ki	8.04	1.37	31.6	1.380	99
6	DCP 9 t	1.99	1.10	44.6	1.120	98
7	DCP 9 ki	3.36	1.20	39.9	1.200	100
8	DCP 9 ka	1.71	1.10	44.2	1.110	99
9	DCP 10 t	4.58	1.20	40.5	1.240	97
10	DCP 10 ki	5.04	1.20	38.6	1.205	100
11	DCP 10 ka	5.73	1.30	37.1	1.360	96
12	DCP 11 ka	3.73	1.24	37.9	1.245	100
13	DCP 12 ka	6.23	1.40	32.2	1.425	98
14	DCP 13 ka	4.98	1.30	33.3	1.305	100
15	DCP 14 ka	7.56	1.40	30.9	1.405	100
16	DCP 15 ka	3.7	1.20	39.7	1.200	100
17	DCP16 ka	4.68	1.30	36.7	1.360	96
18	DCP17 ki	2.28	1.20	40.4	1.200	100
19	DCP 17 ka	4.09	1.17	41.9	1.190	98
20	DCP 18 ka	2.08	1.10	46.2	1.135	97

Tabel 4.15. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 3.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	Kepadatan Kering	Kadar Air	Kepadatan Kering Maksimum	Kepadatan Relatif
Simbol	(-)	(-)	γ_d	ω	$\gamma_{d \text{ maks}}$	RC
Satuan	(-)	(%)	(t/m)	(%)	(t/m)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 19 ki	3.01	1.20	42.6	1.265	95
2	DCP 19 ka	3.49	1.20	40.7	1.250	96
3	DCP 20 ki	1.82	1.10	47.0	1.160	95
4	DCP 21 ki	1.97	1.10	45.6	1.135	97
5	DCP22 ki	1.61	1.10	48.0	1.155	95

Tabel 4.16. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 4.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	Kepadatan Kering	Kadar Air	Kepadatan Kering Maksimum	Kepadatan Relatif
Simbol	(-)	(-)	γ_d	ω	$\gamma_{d \text{ maks}}$	RC
Satuan	(-)	(%)	(t/m)	(%)	(t/m)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 23 ki	5.29	1.31	34.1	1.310	100
2	DCP 23 ka	2.7	1.10	43.3	1.105	100
3	DCP 24 t	4.07	1.20	39.7	1.240	97
4	DCP 24 ki	4.07	1.20	38.6	1.240	97
5	DCP 24 ka	3.31	1.17	41.8	1.190	98
6	DCP 25 t	2.6	1.10	43.7	1.110	99
7	DCP 25 ki	5.2	1.20	38.7	1.240	97
8	DCP 25 ka	3.22	1.20	41.9	1.265	95
9	DCP 26 t	2.79	1.20	42.8	1.265	95
10	DCP 26 ki	2.67	1.20	42.7	1.265	95
11	DCP 26 ka	3.48	1.20	40.5	1.245	96
12	DCP 27 t	2.87	1.30	35.2	1.315	99
13	DCP 27 ki	2.3	1.10	45.0	1.125	98
14	DCP 27 ka	2.69	1.20	43.2	1.265	95
15	DCP 28 t	3.36	1.20	41.6	1.265	95
16	DCP 28 ki	4.33	1.20	39.5	1.240	97
17	DCP 28 ka	3.95	1.20	42.0	1.265	95

Tabel 4.17. Analisa Perhitungan Kepadatan Relatif (RC) pada segmen 5.

No.	Nama Titik Uji	CBR titik uji	Kepadatan Kering	Kadar Air	Kepadatan Kering Maksimum	Kepadatan Relatif
Simbol	(-)	(-)	γ_d	ω	$\gamma_{d \text{ maks}}$	RC
Satuan	(-)	(%)	(t/m)	(%)	(t/m)	(%)
1	2	3	4	5	6	7
1	DCP 29 t	14.74	1.50	26.9	1.505	100
2	DCP 29 ka	5.84	1.30	33.2	1.315	99
3	DCP 30 ki	16.42	1.40	28.4	1.415	99
4	DCP 30 ka	12.65	1.50	26.4	1.500	100
5	DCP 31 t	10.53	1.39	30.0	1.390	100
6	DCP 31 ki	8.83	1.35	32.2	1.355	100
7	DCP 32 ka	13.74	1.38	30.4	1.380	100

Berdasarkan Tabel 4.8. sampai dengan Tabel 4.12. dapat disimpulkan nilai kepadatan relatif rata-rata dari setiap segmen, yaitu :

Segmen 1 (jalan sanding) $RC_{rata-rata} = 98,9 \%$

Segmen 2 (jalan bunisari) $RC_{rata-rata} = 98,3 \%$

Segmen 1 (jalan girimakmur) $RC_{rata-rata} = 95,6 \%$

Segmen 1 (jalan sukajaya) $RC_{rata-rata} = 96,8 \%$

Segmen 1 (jalan cibunar) $RC_{rata-rata} = 99,6 \%$

4.4 Analisa Tebal Perkerasan

4.51 Rencana Perkerasan Tidak Bertahap

a. Data :

- ✓ Lalu lintas rendah
- ✓ Lebar jalan (L) = 3 meter, dari tabel 2.8. didapat $L < 5,5$ m, maka jumlah jalur jalan tersebut adalah 1 (satu) jalur.
- ✓ Besarnya curah hujan di kota Bandung berkisar antara 1.500 – 2.000 mm/tahun. (Sumber : Dinas Pertanian Tanaman Pangan Propinsi Jawa Barat tahun 1991 – 2000)
- ✓ Kelandaian $< 6\%$, dengan persen (%) kendaraan berat yang melalui jalan tersebut $\leq 30\%$.
- ✓ Umur Rencana (UR) = 20 tahun
- ✓ Perkembangan lalu lintas (i) = 8%
- ✓ Klasifikasi jalan adalah jalan lokal
- ✓ Jenis lapis perkerasan :
 - Lapis permukaan (*surface*) : LAPEN Mekanis
 - Lapis pondasi atas (*base*) : Batu pecah (CBR 50)
 - Lapis pondasi bawah (*sub base*) : Sirtu kelas C (CBR 30)

b. Perhitungan :

- 1) Nilai DDT setiap segmen dengan menggunakan Gambar 2.14 didapat :
 - Segmen 1 (Jalan sanding) = 4,4
 - Segmen 2 (Jalan bunisari) = 3,15

- Segmen 3 (Jalan girimakmur) = 2,75
- Segmen 4 (Jalan sukajaya) = 3,55
- Segmen 5 (Jalan cibunar) = 5,5

2) Daerah penelitian termasuk pada Iklim II ≥ 900 mm/th dan memiliki kelandaian $< 6\%$, dengan persen (%) kendaraan berat yang melalui jalan tersebut adalah $\leq 30\%$, maka dari Tabel 2.11 didapat Faktor Regional (FR) adalah 1,5.

3) Koefisien distribusi kendaraan ke lajur rencana (C) dengan jumlah 1 (satu) lajur dan 1 (satu) arah untuk kendaraan ringan dan kendaraan berat adalah 1,00 (Tabel 2.9.).

4) Menentukan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)

$$\begin{aligned} \text{Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1)} &= 90 \text{ kendaraan} \\ \text{Bus 8 ton (3 + 5)} &= 3 \text{ kendaraan} \\ \text{Truck 2 as 10 ton (4 + 6)} &= 2 \text{ kendaraan} \end{aligned}$$

5) Menentukan angka Ekuivalen (E) masing-masing kendaraan (Tabel 2.10), maka didapat :

$$\begin{aligned} > E_{\text{kendaraan ringan}} &= 0,0002 + 0,0002 = 0,0004 \\ > E_{\text{bus}} &= 0,0183 + 0,1410 = 0,1593 \\ > E_{\text{truck}} &= 0,0577 + 0,2923 = 0,3500 \end{aligned}$$

6) Menentukan Lintas Ekuivalen.

> Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP).

Dari persamaan (2.2.17), didapat :

$$\begin{array}{rclcl} \text{Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1)} & = & 90 \times 1 \times 0,0004 & = & 0,0360 \\ \text{Bus 8 ton (3 + 5)} & = & 3 \times 1 \times 0,1593 & = & 0,4779 \\ \text{Truck 2 as 10 ton (4 + 6)} & = & 2 \times 1 \times 0,3500 & = & 0,7000 \\ & & & & \hline \text{LEP} & = & & & 1,214 \end{array}$$

> Lintas Ekuivalen Akhir (LEA).

Dari persamaan (2.2.18), didapat :

Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1)	=	90 x (1+0.08) ²⁰ x 1 x 0,0004	=	0,1678
Bus 8 ton (3 + 5)	=	3 x (1+0.08) ²⁰ x 1 x 0,1593	=	2,2275
Truck 2 as 10 ton (4 + 6)	=	2 x (1+0.08) ²⁰ x 1 x 0,3500	=	3,2627
			LEA =	<u>5,658</u>

➤ Lintas Ekivalen Tengah (LET).

Dari persamaan (2.2.19), didapat :

$$LET = \frac{1,214 + 5,658}{2} = 3,436$$

➤ Lintas Ekivalen Rencana (LER).

Dari persamaan (2.2.21), didapat Faktor Penyesuaian (FP) = 2. Dari persamaan (2.2.20), didapat :

$$LER = 3,436 \times 2 = 6,872$$

- 7) Untuk klasifikasi jalan lokal dengan LER = 6,872 (berarti < 10), maka IPt = 1,0 (Tabel 2.13)
- 8) Untuk jenis lapis permukaan digunakan LAPEN mekanis, maka nilai indeks permukaan pada awal umur rencana (IPo) adalah 2,9 – 2,5 (Tabel 2.14).
- 9) Menetapkan tebal lapis perkerasan.

Koefisien kekuatan relatif (Tabel 2.15)

- Lapis permukaan (*surface*) : LAPEN Mekanis : a₁ = 0,25
 - Lapis pondasi atas (*base*) : Batu pecah (CBR 50) : a₂ = 0,12
 - Lapis pondasi bawah (*sub base*) : Sirtu kelas C (CBR 30) : a₃ = 0,11
- Batas minimum tebal lapisan (Tabel 2.16 dan Tabel 2.17)
- Tebal lapis permukaan (*surface*) : D₁ = 5 cm
 - Tebal lapis pondasi atas (*base*) : D₂ = 20 cm
 - Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : D₃ = 10 cm

Analisis perencanaan tebal perkerasan secara tidak bertahap ini dapat ditabelkan, sehingga lebih memudahkan untuk melihat hasil perhitungannya.

Tabel 4.18. Analisa rencana tebal perkerasan tidak bertahap.

No	Nama Segmen	CBR	DDT	FR	LHR			E			C	LEP	LEA
					1	2	3	1	2	3			
1	Segmen 1	4.25	4.4	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500	1	1.214	5.658
2	Segmen 2	2.20	3.15	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500	1	1.214	5.658
3	Segmen 3	1.85	2.75	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500	1	1.214	5.658
4	Segmen 4	2.70	3.55	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500	1	1.214	5.658
5	Segmen 5	7.95	5.5	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500	1	1.214	5.658

No.	Nama Segmen	LET	FP	LER	IPt	IPo	ITP	koefisien kekuatan relatif			D minimum (cm)		
								a ₁	a ₂	a ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	Segmen 1	3.436	2	6.872	1	2.9 - 2.5	4.65	0.25	0.12	0.11	5	20	10
2	Segmen 2	3.436	2	6.872	1	2.9 - 2.5	5.7	0.25	0.12	0.11	5	20	10
3	Segmen 3	3.436	2	6.872	1	2.9 - 2.5	6	0.25	0.12	0.11	5	20	10
4	Segmen 4	3.436	2	6.872	1	2.9 - 2.5	5.3	0.25	0.12	0.11	5	20	10
5	Segmen 5	3.436	2	6.872	1	2.9 - 2.5	3.85	0.25	0.12	0.11	5	20	10

No.	Nama Segmen	Asumsi untuk menentukan			Asumsi 1			Asumsi 2			Asumsi 3		
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	Segmen 1	4.6	19.2	9.1	5	20	10	5	20	10	5	20	10
2	Segmen 2	8.8	27.9	18.6	9	20	10	5	28	10	5	20	19
3	Segmen 3	10.0	30.4	21.4	10	20	10	5	31	10	5	20	22
4	Segmen 4	7.2	24.6	15.0	8	20	10	5	25	10	5	20	15
5	Segmen 5	1.4	12.5	1.8	5	20	10	5	20	10	5	20	10

Dari analisis ini terdapat beberapa asumsi-asumsi rencana tebal lapis perkerasan yang bisa digunakan pada setiap segmen, dan untuk memilih rencana tebal perkerasan tergantung dari apa menilainya, bisa berdasarkan biaya/harga dan berdasarkan tebal bahan (kekuatan dan keawetan jalan).

Tabel 4.19. Analisa berdasarkan biaya setiap meter jalan dari data tebal lapis perkerasan secara tidak bertahap.

No.	Lapisan Perkerasan	Tebal (m)	Lebar (m)	Panjang (m)	Volume (m ³)	Harga/m ³ Rp.	Harga Total Rp.
1	2	3	4	5	6 = 3 x 4 x 5	7	8 = 6 x 7
A. SEGMENT 1 (JALAN SANDING)							
Asumsi 1							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	3	1	0.15	3,045,000.00	456,750.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3		0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00
Total Harga per meter =							528,750.00
Untuk Segmen 1 ini tebal lapisan perkerasan asumsi 2 dan asumsi 3 sama dengan tebal lapisan perkerasan pada asumsi 1.							
B. SEGMENT 2 (JALAN BUNISARI)							
Asumsi 1							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.09	3		0.27	3,045,000.00	822,150.00

2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3	1	0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00
Total Harga per meter =							894,150.00
Asumsi 2							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	3	1	0.15	3,045,000.00	456,750.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.28	3		0.84	95,000.00	79,800.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00
Total Harga per meter =							551,550.00
Asumsi 3							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	3	1	0.15	3,045,000.00	456,750.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3		0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.19	3		0.57	50,000.00	28,500.00
Total Harga per meter =							542,250.00
C. SEGMENT 3 (JALAN GIRIMAKMUR)							
Asumsi 1							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.1	2.5	1	0.25	3,045,000.00	761,250.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	2.5		0.5	95,000.00	47,500.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	2.5		0.25	50,000.00	12,500.00
Total Harga per meter =							821,250.00
Asumsi 2							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	2.5	1	0.125	3,045,000.00	380,625.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.31	2.5		0.775	95,000.00	73,625.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	2.5		0.25	50,000.00	12,500.00
Total Harga per meter =							466,750.00
Asumsi 3							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	2.5	1	0.125	3,045,000.00	380,625.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	2.5		0.5	95,000.00	47,500.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.22	2.5		0.55	50,000.00	27,500.00
Total Harga per meter =							455,625.00
D. SEGMENT 4 (JALAN SUKAJAYA)							
Asumsi 1							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.08	2.5	1	0.2	3,045,000.00	609,000.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	2.5		0.5	95,000.00	47,500.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	2.5		0.25	50,000.00	12,500.00
Total Harga per meter =							669,000.00
Asumsi 2							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	2.5	1	0.125	3,045,000.00	380,625.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.25	2.5		0.625	95,000.00	59,375.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	2.5		0.25	50,000.00	12,500.00
Total Harga per meter =							452,500.00
Asumsi 3							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	2.5	1	0.125	3,045,000.00	380,625.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	2.5		0.5	95,000.00	47,500.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.15	2.5		0.375	50,000.00	18,750.00
Total Harga per meter =							446,875.00
E. SEGMENT 5 (JALAN CIBUNAR)							
Asumsi 1							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	3	1	0.15	3,045,000.00	456,750.00
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3		0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00

Total Harga per meter = 528,750.00

Untuk Segmen 5 ini tebal lapisan perkerasan asumsi 2 dan asumsi 3 sama dengan tebal lapisan perkerasan pada asumsi 1.

Catatan : Biaya setiap bahan lapisan perkerasan didapat dari daftar harga bahan sebuah kontraktor tahun 2008.

Harga per meter kubik (m^3) bahan setiap lapisan perkerasan ini tidak bisa menjadi patokan, sebab harga bahan-bahan tersebut sewaktu – waktu bisa mengalami perubahan. Tabel 4.19 hanya memberikan gambaran harga per meter kubik untuk setiap asumsi-asumsi perencanaan tebal perkerasan tidak bertahap, sehingga dapat memilih asumsi mana yang akan digunakan berdasarkan biaya/harga yang ekonomis.

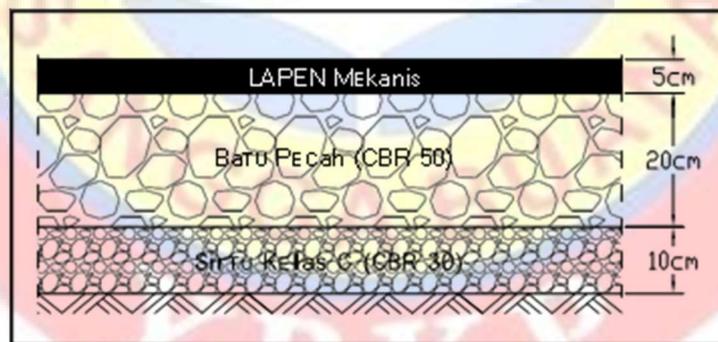
Maka, dari Tabel 4.18 dan Tabel 4.19 rencana tebal perkerasan secara tidak bertahap yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

➤ Segmen 1 (Jalan sanding), yang akan digunakan adalah asumsi 1.

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = 5 \text{ cm}$

Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20 \text{ cm}$

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10 \text{ cm}$



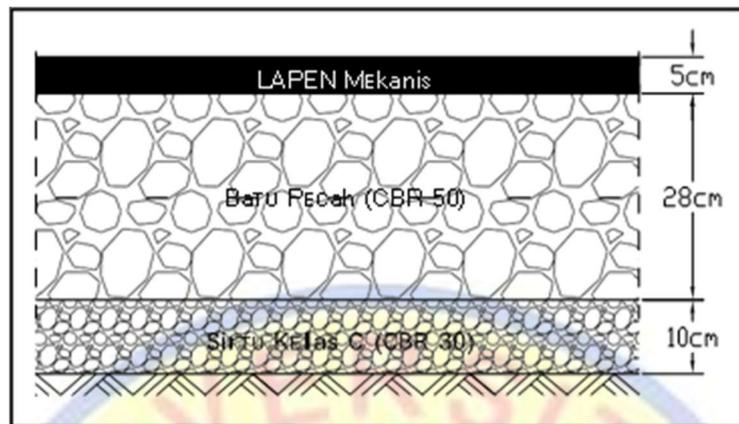
Gambar 4.32 Susunan tebal perkerasan Segmen 1.

➤ Segmen 2 (Jalan bunisari), yang akan digunakan adalah asumsi 2.

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = 5 \text{ cm}$

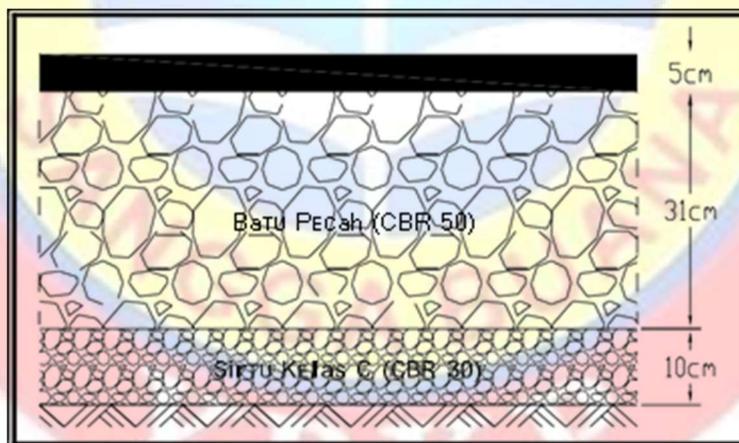
Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 28 \text{ cm}$

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10 \text{ cm}$



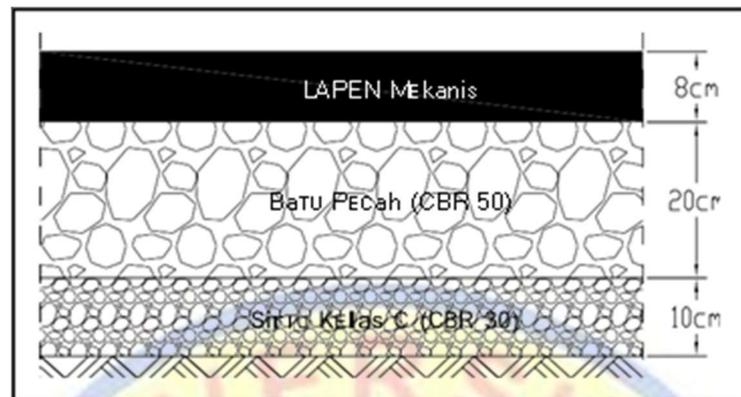
Gambar 4.33 Susunan tebal perkerasan Segmen 2.

- Segmen 3 (Jalan girimakmur), yang akan digunakan adalah asumsi 2.
 - Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = 5 \text{ cm}$
 - Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 31 \text{ cm}$
 - Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10 \text{ cm}$



Gambar 4.34 Susunan tebal perkerasan Segmen 3.

- Segmen 4 (Jalan sukajaya), yang akan digunakan adalah asumsi 1.
 - Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = 8 \text{ cm}$
 - Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20 \text{ cm}$
 - Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10 \text{ cm}$



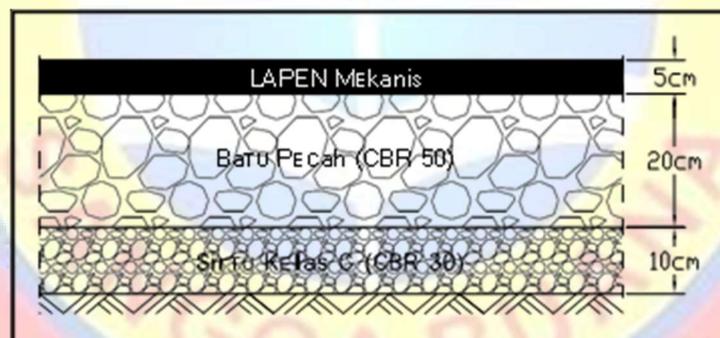
Gambar 4.35 Susunan tebal perkerasan Segmen 4.

- Segmen 5 (Jalan cibunar), yang akan digunakan adalah asumsi 1.

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = 5 \text{ cm}$

Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20 \text{ cm}$

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10 \text{ cm}$



Gambar 4.36 Susunan tebal perkerasan Segmen 5.

4.5.1 Rencana Perkerasan Bertahap

a. **Data :**

- ✓ Lalu lintas rendah
- ✓ Lebar jalan (L) = 3 meter, dari tabel 2.8. didapat $L < 5,5 \text{ m}$, maka jumlah jalur jalan tersebut adalah 1 (satu) jalur.
- ✓ Besarnya curah hujan di kota Bandung berkisar antara 1.500 – 2.000 mm/tahun. (Sumber : Dinas Pertanian Tanaman Pangan Propinsi Jawa Barat tahun 1991 – 2000)
- ✓ Kelandaian $< 6\%$, dengan persen (%) kendaraan berat yang melalui

jalan tersebut $\leq 30\%$.

- ✓ Umur Rencana (UR) = 20 tahun

Dilakukan secara bertahap, yaitu (7 + 13) tahun

- ✓ Perkembangan lalu lintas (i) = 8%

- ✓ Klasifikasi jalan adalah jalan lokal

- ✓ Jenis lapis perkerasan :

- Lapis permukaan (*surface*) : LAPEN Mekanis
- Lapis pondasi atas (*base*) : Batu pecah (CBR 50)
- Lapis pondasi bawah (*sub base*) : Sirtu kelas C (CBR 30)

- ✓ Nilai CBR tanah dasar setiap segmen, yaitu :

- Segmen 1 (Jalan sanding) = 4,25 %
- Segmen 2 (Jalan bunisari) = 2,20 %
- Segmen 3 (Jalan girimakmur) = 1,85 %
- Segmen 4 (Jalan sukajaya) = 2,70 %
- Segmen 5 (Jalan cibunar) = 7,95 %

b. Perhitungan :

- 1) Nilai DDT setiap segmen dengan menggunakan Gambar 2.14, didapat :

- Segmen 1 (Jalan sanding) = 4,4
- Segmen 2 (Jalan bunisari) = 3,15
- Segmen 3 (Jalan girimakmur) = 2,75
- Segmen 4 (Jalan sukajaya) = 3,55
- Segmen 5 (Jalan cibunar) = 5,5

- 2) Daerah penelitian termasuk pada Iklim II ≥ 900 mm/th dan memiliki kelandaian $< 6\%$, dengan persen (%) kendaraan berat yang melalui jalan tersebut adalah $\leq 30\%$, maka dari Tabel 2.11 didapat Faktor Regional (FR) adalah 1,5.

- 3) Koefisien distribusi kendaraan ke lajur rencana (C) dengan jumlah 1 (satu) lajur dan 1 (satu) arah untuk kendaraan ringan dan kendaraan berat adalah 1,00 (Tabel 2.9).

- 4) Menentukan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)

$$\text{Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1)} = 90 \text{ kendaraan}$$

$$\begin{aligned} \text{Bus 8 ton (3 + 5)} &= 3 \text{ kendaraan} \\ \text{Truck 2 as 10 ton (4 + 6)} &= 2 \text{ kendaraan} \end{aligned}$$

5) Menentukan angka Ekuivalen (E) masing-masing kendaraan (Tabel 2.10), maka didapat :

$$\begin{aligned} > E_{\text{kendaraan ringan}} &= 0,0002 + 0,0002 = 0,0004 \\ > E_{\text{bus}} &= 0,0183 + 0,1410 = 0,1593 \\ > E_{\text{truck}} &= 0,0577 + 0,2923 = 0,3500 \end{aligned}$$

6) Menentukan Lintas Ekuivalen.

> Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP).

Dari persamaan (2.2.17), didapat :

$$\begin{aligned} \text{Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1)} &= 90 \times 1 \times 0,0004 &= 0,0360 \\ \text{Bus 8 ton (3 + 5)} &= 3 \times 1 \times 0,1593 &= 0,4779 \\ \text{Truck 2 as 10 ton (4 + 6)} &= 2 \times 1 \times 0,3500 &= 0,7000 \\ \text{LEP} &= &= 1,214 \end{aligned}$$

> Lintas Ekuivalen Akhir (LEA).

Dari persamaan (2.2.18), didapat :

Umur rencana (UR) = 7 tahun

$$\text{Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1)} = 90 \times (1+0.08)^7 \times 1 \times 0,0004 = 0,0617$$

$$\text{Bus 8 ton (3 + 5)} = 3 \times (1+0.08)^7 \times 1 \times 0,1593 = 0,8190$$

$$\text{Truck 2 as 10 ton (4 + 6)} = 2 \times (1+0.08)^7 \times 1 \times 0,3500 = 1,1997$$

$$\text{LEA}_7 = 2,080$$

Umur rencana (UR) = 20 tahun

$$\text{Kendaraan ringan 2 ton (1 + 1)} = 90 \times (1+0.08)^{20} \times 1 \times 0,0004 = 0,1678$$

$$\text{Bus 8 ton (3 + 5)} = 3 \times (1+0.08)^{20} \times 1 \times 0,1593 = 2,2275$$

$$\text{Truck 2 as 10 ton (4 + 6)} = 2 \times (1+0.08)^{20} \times 1 \times 0,3500 = 3,267$$

$$\text{LEA}_{20} = 5,658$$

7) Untuk klasifikasi jalan lokal, maka nilai IPt (Tabel 2.13) adalah

$$\text{LER}_7 = 1,9256 \quad (\text{berarti} < 10) \quad \rightarrow \text{IPt} = 1,5$$

$$\text{LER}_{13} = 12,575 \quad (\text{berarti} 10 - 100) \quad \rightarrow \text{IPt} = 1,5$$

- 8) Untuk jenis lapis permukaan digunakan LAPEN mekanis, maka nilai indeks permukaan pada awal umur rencana (IPo) adalah 2,9 – 2,5 (Tabel 2.14).
- 9) Dari Nomogram $IPt = 1,5$ dan $IPo = 2,9 - 2,5$. dengan $FR = 1,5$, maka didapat nilai ITP masing – masing segmen.
- 10) Menetapkan tebal lapis perkerasan.

Koefisien kekuatan relatif

- Lapis permukaan (*surface*) : LAPEN Mekanis : $a_1 = 0,25$
- Lapis pondasi atas (*base*) : Batu pecah (CBR 50) : $a_2 = 0,12$
- Lapis pondasi bawah (*sub base*) : Sirtu kelas C (CBR 30) : $a_3 = 0,11$
- Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = 5$ cm
- Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20$ cm
- Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10$ cm

Didapat tebal perkerasan, yaitu :

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = (5+3)$ cm

Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20$ cm

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*): $D_3 = 10$ cm

Analisis perencanaan tebal perkerasan secara bertahap ini dapat ditabelkan, sehingga lebih memudahkan untuk melihat hasil perhitungannya.

Tabel 4.20. Analisa rencana tebal perkerasan secara bertahap.

No.	Nama Segmen	CBR	DDT	FR	LHR			E		
					1	2	3	1	2	3
1	Segmen 1	4.25	4.4	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500
2	Segmen 2	2.20	3.15	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500
3	Segmen 3	1.85	2.75	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500
4	Segmen 4	2.70	3.55	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500
5	Segmen 5	7.95	5.5	1.5	90	3	2	0.0004	0.1593	0.3500

No.	Nama Segmen	C	LEP	LEA		LET		FP		IPt
				LEA ₇	LEA ₂₀	LET ₇	LET ₁₃	FP ₇	FP ₁₃	
1	Segmen 1	1	1.214	2.080	5.658	1.647	3.869	0.7	1.3	1.5
2	Segmen 2	1	1.214	2.080	5.658	1.647	3.869	0.7	1.3	1.5
3	Segmen 3	1	1.214	2.080	5.658	1.647	3.869	0.7	1.3	1.5
4	Segmen 4	1	1.214	2.080	5.658	1.647	3.869	0.7	1.3	1.5
5	Segmen 5	1	1.214	2.080	5.658	1.647	3.869	0.7	1.3	1.5

No.	Nama Segmen	LER		IPo	ITP		koefisien kekuatan relatif			
		LER ₇	LER ₁₃		ITP ₇	ITP ₁₃	a ₁	a ₂	a ₃	
1	Segmen 1	1.926	12.575	2.9 - 2.5	3.6	5.2	0.25	0.12	0.11	
2	Segmen 2	1.926	12.575	2.9 - 2.5	4.45	6.25	0.25	0.12	0.11	
3	Segmen 3	1.926	12.575	2.9 - 2.5	4.75	6.65	0.25	0.12	0.11	
4	Segmen 4	1.926	12.575	2.9 - 2.5	4.1	5.9	0.25	0.12	0.11	
5	Segmen 5	1.926	12.575	2.9 - 2.5	2.8	4.35	0.25	0.12	0.11	
No.	Nama Segmen	D minimum (cm)			Menentukan D ₁		Tebal Perkerasan UR = (7+13) thn			
		D ₁	D ₂	D ₃	UR=7	UR=13	D ₁	D ₁	D ₂	D ₃
1	Segmen 1	5	20	10	0.4	6.8	5	7	20	10
2	Segmen 2	5	20	10	3.8	11.0	5	11	20	10
3	Segmen 3	5	20	10	5.0	12.6	5	13	20	10
4	Segmen 4	5	20	10	2.4	9.6	5	10	20	10
5	Segmen 5	5	20	10	-2.8	3.4	0	5	20	10

Tabel 4.21. Analisa berdasarkan biaya setiap meter jalan dari data tebal lapis perkerasan secara bertahap

No.	Lapisan Perkerasan	Tebal (m)	Lebar (m)	Panjang (m)	Volume (m ³)	Harga/m ³ Rp.	Harga Total Rp.
1	2	3	4	5	6 = 3 x 4 x 5	7	8 = 6 x 7
A. SEGMENT 1 (JALAN SANDING)							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.08	3	1	0.24	3,045,001.00	730,800.24
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3		0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00
Total Harga per meter =							802,800.24
B. SEGMENT 2 (JALAN BUNISARI)							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.12	3	1	0.36	3,045,001.00	1,096,200.36
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3		0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00
Total Harga per meter =							1,168,200.36
C. SEGMENT 3 (JALAN GIRIMAKMUR)							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.14	3	1	0.42	3,045,001.00	1,278,900.42
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3		0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00
Total Harga per meter =							1,350,900.42
D. SEGMENT 4 (JALAN SUKAJAYA)							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.11	3	1	0.33	3,045,001.00	1,004,850.33
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3		0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00
Total Harga per meter =							1,076,850.33
E. SEGMENT 5 (JALAN CIBUNAR)							
1	Lap. Permukaan (D ₁)	0.05	3	1	0.15	3,045,001.00	456,750.15
2	Lap. Pondasi Atas (D ₂)	0.2	3		0.6	95,000.00	57,000.00
3	Lap. Pondasi Bawah (D ₃)	0.1	3		0.3	50,000.00	15,000.00
Total Harga per meter =							528,750.15

Maka, rencana tebal perkerasan jalan secara bertahap adalah sebagai berikut :

➤ Segmen 1 (Jalan sanding)

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = (5+8)$ cm

Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20$ cm

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10$ cm

➤ Segmen 2 (Jalan bunisari)

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = (5+12)$ cm

Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20$ cm

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10$ cm

➤ Segmen 3 (Jalan girimakmur)

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = (6+14)$ cm

Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20$ cm

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10$ cm

➤ Segmen 4 (Jalan sukajaya)

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = (5+11)$ cm

Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20$ cm

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10$ cm

➤ Segmen 5 (Jalan cibunar)

Tebal lapis permukaan (*surface*) : $D_1 = 5$ cm

Tebal lapis pondasi atas (*base*) : $D_2 = 20$ cm

Tebal lapis pondasi bawah (*sub base*) : $D_3 = 10$ cm

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan mengenai analisis tanah dasar melalui pengujian dengan alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk perencanaan tebal perkerasan lentur pada jalan kompleks perumahan sanding. Maka, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam pengujian pembebanan kepadatan tanah dasar untuk mencari nilai CBR dan besaran lainnya dengan menggunakan alat DCP, terdapat beberapa keunggulan dibandingkan dengan metoda penelitian bawah permukaan lainnya, antara lain :
 - a. Mudah menggunakannya dan mudah merawatnya.
 - b. Ringan, sehingga mudah dipindah dan bergerak.
 - c. Cepat pelaksanaanya.
 - d. Dapat menyajikan data bawah permukaan secara menerus.
 - e. Tidak memerlukan operator yang ahli.
 - f. Dapat menggambarkan kekuatan bahan jalan sampai *subgrade*.
 - g. Untuk jalan yang baru, tidak mengganggu pekerjaan yang sedang berlangsung.
 - h. Untuk jalan lama, tidak mengganggu lalu lintas pengguna jalan.
 - i. Mudah dilakukan korelasi dengan besaran lainnya, seperti : CBR, kepadatan kering (γ_d), kadar air (ω) dan lain – lain.

2. Cara analisis yang dituangkan untuk menentukan tebal perkerasan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metoda Bina Marga, Indonesia, yang merupakan modifikasi dari metoda AASHTO 1972 revisi 1981. Modifikasi ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi alam, lingkungan, sifat tanah dasar, dan jenis lapis perkerasan yang umum dipergunakan di Indonesia.

3. Berdasarkan nilai kepadatan relatif/*relative compaction* (RC) dapat ditarik kesimpulan bahwa kepadatan tanah di lokasi penelitian sudah layak/sudah padat. Hal ini terbukti dari hasil analisis yang mendapatkan nilai RC rata-rata adalah 98,9 % untuk jalan sanding, jalan bunisari 98,3 %, jalan girimakmur 95,6 %, jalan sukajaya 96,8 %, dan 99,6 % untuk jalan cibunar. Yang mana syarat kepadatan lapangan (γ_{dfield}) adalah minimum 95 % dari kepadatan maksimum (γ_{dmaks}).
4. Pemeriksaan CBR sangat berguna untuk mengetahui daya dukung tanah sebagai dasar perhitungan dan pertimbangan dalam merencanakan tebal perkerasan jalan.

5.2. Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat dikemukakan dari hasil penelitian, yaitu sebagai berikut :

1. Dalam melakukan penelitian bawah permukaan untuk mencari nilai CBR, bisa menggunakan metoda dan jenis penelitian bawah permukaan lainnya.
2. *Geotechnical Engineer* mutlak mengetahui prosedur pelaksanaan pengujian di lapangan, sehingga dapat mengevaluasi hasil penelitian dengan matang dan baik.
3. Ketelitian menggunakan alat pengujian sangat diperlukan, karena sangat berpengaruh besar terhadap hasil yang didapatkan.
4. Supaya mendapatkan hasil yang baik dan teliti dalam pengujian DCP disarankan untuk penelitian selanjutnya contoh pengujian diusahakan lebih dari 1 (satu) contoh.
5. Untuk mendapatkan hasil perencanaan tebal perkerasan yang lebih optimal bisa menggunakan metoda perencanaan yang lain sebagai perbandingan hasil.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., *“Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah”*. Alih bahasa Ir. Johan Kelanaputra Hainim. Penerbit Erlangga. Jakarta, 1984.
- Das, Braja M., *“Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)”*. Penerbit Erlangga. Jakarta, cetakan ketiga. 1993.
- Das, Braja M., *“Mekanika Tanah Jilid 2 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)”*. Penerbit Erlangga. Jakarta, cetakan ketiga. 1993.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, *“Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya No. 01/PD/B/1983”*. Jakarta. 1983.
- Djarmiko Soedarmo, G., Ir., dan Ir. S. J. Edi Purnomo, *“Mekanika Tanah I”*. Penerbit Kanisius. Malang, 1993.
- Djarmiko Soedarmo, G., Ir., dan Ir. S. J. Edi Purnomo, *“Mekanika Tanah 2”*. Penerbit Kanisius. Malang, 1993.
- Kaslam, *“Analisis Hasil Uji Kuat Tekan Bebas dan DCP pada Tanah Lempung dengan Variasi komposisi Pasir yang Dipadatkan (Untuk Tanah Lempung dari Cianjur)”*. Tugas Akhir S-1 Teknik Sipil USB – YPKP. Bandung, 2007.
- K. H., Sunggono, Ir., *“Mekanika Tanah”*. Penerbit Nova. Bandung, 1995.
- Saifullah, *“Analisis Tanah Dasar Melalui Pengujian DCP-N Untuk Perencanaan Tebal Perkerasan Pada Jalan Cimuncang – Kotamadya Bandung”*. Tugas Akhir S-1 Teknik Sipil STT – YPKP. Bandung, 2003.
- Salgado, R. & S. Yoon, *“Dynamic Cone Penetration Test (DCPT) for Subgrade Assessment”*. Final Report School of Civil Engineering Purdue University. Indiana. 2003.
- Shirley LH., *“Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya”*. Polban. Bandung. 2000.
- Silvia Sukirman, *“Perkerasan Lentur Jalan Raya”*. Penerbit Nova. Bandung, 1999.
- Solihin, Sobar, *“Analisis Hasil Uji Kuat Tekan Bebas dan Dynamic Cone*

Penetrometer pada Tanah Lempung dengan Variasi Campuran Pasir yang Dipadatkan (Untuk Tanah Lempung Di Daerah Sungapan, Soreang)".

Tugas Akhir S-1 Teknik Sipil USB – YPKP. Bandung. 2007.

Sumarna, Yudi, "*Analisis Hasil Uji Kuat Tekan Bebas dan DCP pada Tanah Lempung dengan Variasi komposisi Pasir yang Dipadatkan (Untuk Tanah Lempung Di Daerah Cihideung, Lembang)*". Tugas Akhir S-1 Teknik Sipil USB – YPKP. Bandung. 2007.

Utoyo, H.M., "*Assessment of Compaction Characteristics of Residual Tropical Soil on Padalarang – Cileunyi Toll Road Project*". Thesis S-2 STJR-ITB. Bandung. 1989.

