

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan sebagai prasarana transportasi sangat memegang peranan penting dalam tercapainya target-target dalam pembangunan. Selain ketersediaan jalan, keberlangsungan jalan tersebut juga sangat penting. Dalam artian bahwa jalan tersebut mampu menampung volume kendaraan dan kekuatannya cukup memadai. (Azwarman, 2015).

Seperti yang diketahui, konstruksi jalan menjadi suatu konstruksi yang vital karena menjadi aksesibilitas penghubung antara satu tempat ketempat lainnya, seperti akses masuk dari jalan kesuatu lokasi gedung. Ditambah lagi dengan padatnya aktivitas keluar masuk tempat tersebut tentunya membutuhkan perkerasan jalan yang baik. (Mardianus, 2018).

Kelancaran dan keselamatan transportasi sangat dipengaruhi oleh kondisijalan. Oleh karenaitu, perkerasan jalan yang direncanakan harus benar-benar sesuai dengan fungsinya. Secara jalanraya, terdiri atas lapis permukaan, lapis pondasi agregat, dan tanah dasar. Dalam perencanaan dan pelaksanaannya harus sesuai syarat yang ditentukan.

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Kekuatan dan keawetan mau pun tebal dari lapisan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar ini. Proses pekerjaan konstruksi teknik sipil selalu didasari pada data-data penyelidikan lapangan, misalnya konstruksi jalan raya dimana dalam perencanaannya sangat bergantung pada data CBR (*California Bearing Ratio*) tanah. (Richard, 2019).

Semakin tinggi nilai CBR, menunjukkan kondisi tanah dasar semakin baik. Jika tanah asli mempunyai daya dukung (kepadatan kering, CBR) rendah, maka konstruksi jalanakan cepat mengalami kerusakan. (Edi Barnas, 2019).

Nilai CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. (Leni, 2016).

Pengujian dengan CBR ini menggunakan proving ring dan truk standar dengan beban 8 ton sebagai landasan beban saat penetrasi dilakukan. Berbeda dengan CBR In-Place, DCP Test dilakukan dengan cara yang lebih sederhana menggunakan instrument tanpa melibatkan kendaraan truk sebagai beban. Data DCP Test yang diolahakan menghasilkan nilai CBR. Nilai CBR ini dikorelasikan dengan nilai CBR yang diperoleh dengan CBR In-Place Test. Pada penelitian ini digunakan alat DCP untuk menentukan nilai CBR, cara uji ini merupakan suatu prosedur yang cepat untuk melaksanakan evaluasi kekuatan tanah dasar dan lapis fondasi jalan atau lapangan terbang, dengan menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer*, (DCP). Cara uji ini juga merupakan cara pengujian CBR lapangan tidak dilakukan. Pada pengujian DCP ini sistem kerjanya yaitu dengan cara dipukul, pengujian tersebut memberikan sebuah dari kekuatan lapisan bahan sampai kedalaman 80 cm di bawah permukaan yang ada dengan tidak melakukan penggalian sampai kedalaman pada pembacaan yang diinginkan. (Leni, 2016).

Uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) sudah banyak dilakukan di Indonesia dalam bidang geoteknik dan transportasi, untuk mengevaluasi sifat-sifat tanah dasar atau pun perkerasan lentur. (Priska, 2013).

Penelitian ini mengambil data berdasarkan hasil percobaan di lapangan yang meliputi pengujian alat DCP di beberapa titik STA di ruas jalan Saba Dolok Kecamatan Kota Nopan Kabupaten Mandailing Natal Sumatera Utara yang kondisi ruas jalan yang sudah rusak, dan pengambilan sampel tanah dilakukan di lokasi yang sama untuk selanjutnya dilakukan analisa hasil di ruasjalan Saba Dolok Kecamatan Kota Nopan Kabupaten Mandailing Natal Sumatera Utara.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisa kepadatan tanah pada ruas jalan Saba Dolok Kecamatan Kota Nopan Kabupaten Mandailing Natal Sumatera Utara dengan menggunakan DCP (*Dinamic Cone Penetrometer*).

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kepadatan tanah pada ruas jalan Saba Dolok Kecamatan Kota Nopan Kabupaten Mandailing Natal Sumatera Utara dengan menggunakan DCP (*Dinamic Cone Penetrometer*).

1.3 Permasalahan

Hasil identifikasi masalah yang ada pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah nilai CBR lapangan berdasarkan uji DCP.
2. Berapakah struktur tebal perkerasan jalan dari nilai CBR.

1.4 Batasan Masalah

Agar penulisan skripsi tidak melebar dari topik utama maka batasan masalah sangat diperlukan. Batasan masalah dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi ruas Jalan Saba Dolok Kecamatan Kota Nopan Kabupaten Mandailing Natal.
2. Pengujian menggunakan alat DCP.

1.5 Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan yang dilakukan pada Analisa Kepadatan Tanah Menggunakan DCP Pada Pembangunan Ruas Jalan Saba Dolok Kecamatan Kota Nopan Kabupaten Mandailing Natal Provinsi Sumatera Utara adalah sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau dilakukan dengan merangkum dari beberapa sumber seperti *text book*, jurnal-jurnal ilmiah yang berkaitan dengan judul

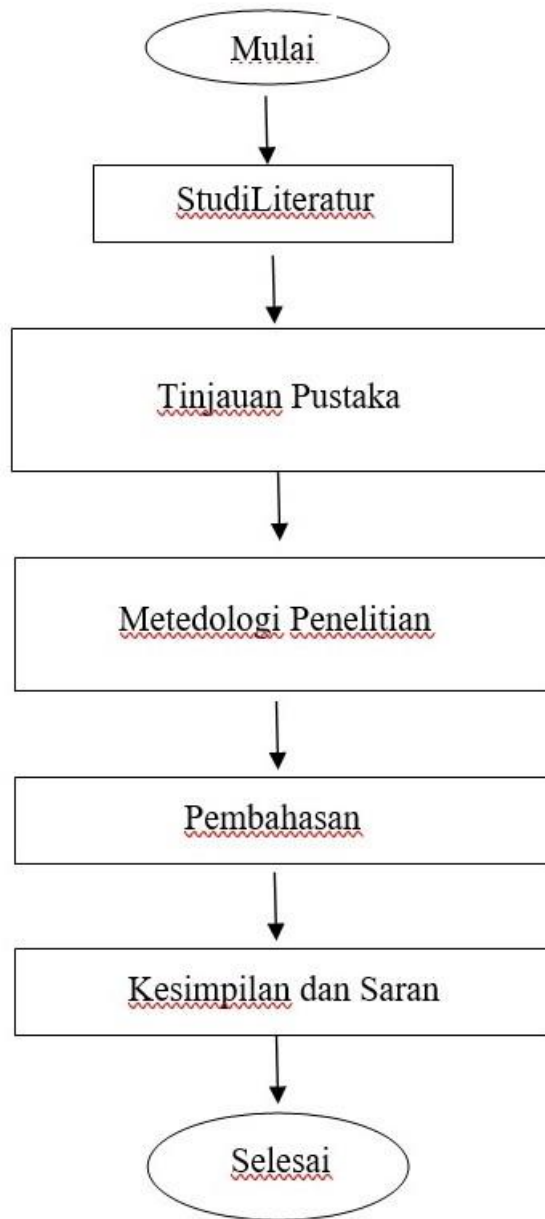
b. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengumpulkan data sekunder yang berkaitan dengan nilai CBR menggunakan alat DCP pada lokasi seperti yang tertera pada judul tulisan ini.

c. Penetapan dan perhitungan nilai CBR menggunakan alat DCP.

d. Kesimpulan dan saran

Sebagai gambaran dapat dilihat pada gambar 1.1 Bagan Alir Penyusunan sebagai berikut :



Gambar 1.1 Bagan Alir Penyusunan Skripsi

(Sumber: Dokumen Pribadi)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Tanah merupakan komponen dasar yang memiliki peranan penting, tanah berfungsi sebagai penerima beban struktur di atasnya. Tanah yang baik adalah tanah yang memiliki daya dukung tanah yang tinggi, akan tetapi tidak semua jenis tanah memiliki daya dukung tanah yang tinggi, hal ini dikarenakan letak geografis yang berbeda dan tidak semua tanah mendapatkan treatment yang sama (Woelandari Fathonah, 2018)

2.1.1 Definisi Tanah

Tanah merupakan himpunan mineral bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar. Ikatan antar partikel tanah lemah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang bersenyawa, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya.

Tanah umumnya terdiri dari 3 komponen utama, yaitu udara, air, dan butiran padat. Udara memberi pengaruh sedikit, sehingga tidak memiliki pengaruh teknis. Sedangkan air sangat mempengaruhi sifat teknis tanah. Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan.

Tanah dapat digolongkan menjadi tiga jenis atau kategori, yaitu tanah non kohesif, tanah kohesif, dan tanah organik. Pada tanah non kohesif, antar butirannya saling lepas (tidak ada ikatan), pada tanah kohesif butirannya sangat halus dan saling mengikat, sedangkan tanah organik memiliki ciri tanahnya remah

dan mudah ditekan (*compressible*). Tanah organik tidak baik untuk dasar bangunan.

2.1.2. Sifat-sifat Tanah

Sifat-sifat tanah sangat penting artinya dalam perencanaan suatu proyek bangunan, tetapi tingkat kepentingannya sangat tergantung dari maksud dan tujuan bangunan itu sendiri.

Adapun sifat-sifat penting pada tanah antara lain:

1. Permeabilitas (*Permeability*)

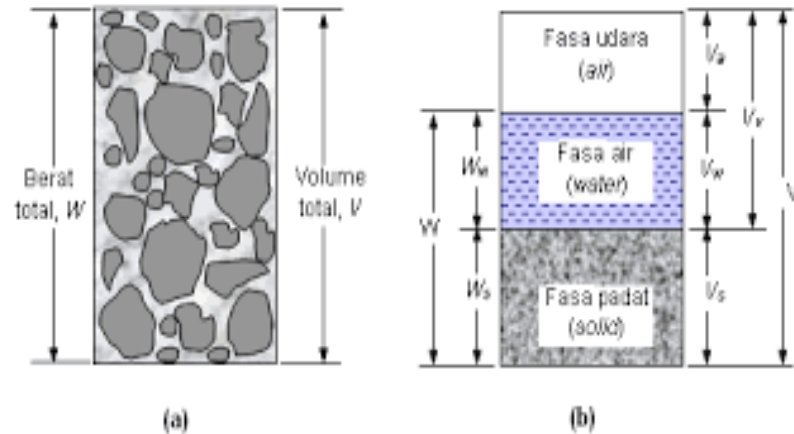
Sifat ini untuk mengukur atau menentukan kemampuan tanah dilewati air melalui pori-porinya. Sifat ini penting dalam konstruksi bendung tanah urugan (*earth dam*) dan persoalan drainase.

2. Konsolidasi (*Consolidation*)

Pada konsolidasi dihitung dari perubahan isi pori tanah akibat beban. Sifat ini dipergunakan untuk menghitung penurunan (*settlement*) bangunan.

3. Tegangan geser (*Shear Strength*)

Untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan-tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Sifat ini dibutuhkan dalam perhitungan stabilitas pondasi atau dasar yang dibebani, stabilitas tanah isian atau timbunan dibelakang bangunan penahan tanah dan stabilitas timbunan tanah. Sifat-sifat fisik lainnya adalah batas-batas *atterberg*, kadar air, kadar pori, kepadatan relatif, pembagian butir, dan sebagainya.



Gambar 2.1 Elemen-elemen tanah : (a) Elemen tanah dalam keadaan asli (b) Tiga fase elemen tanah.

(Sumber : Das, 1995)

Menurut Bowles dkk , tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau didekat garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif

2.1.3. Sistem Klasifikasi Tanah

Adapun sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan dalam teknik jalan raya adalah sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) yang dikelompokkan dalam dua kelompok :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol untuk kelompok ini adalah G untuk tanah berkerikil dan S untuk tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol kelompok ini adalah C untuk lempung anorganik dan O untuk lanau organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (peat), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. (Nina Fahriana, 2019)

2.2. CBR (California Bearing Ratio)

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah suatu perbandingan antara beban percobaan dengan beban standar dan dinyatakan dalam persentase (Nurhanuddin, 2018).

2.2.1. Kegunaan CBR

Metode perencanaan perkerasan jalan yang digunakan sekarang yaitu dengan metode empiris, yang biasa dikenal CBR (*California Bearing Ratio*). Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*sub grade*). Nilai CBR akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan.

2.2.2. Jenis CBR

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi atas:

a. CBR Lapangan CBR lapangan disebut juga CBR in place atau field

CBR dengan kegunaan sebagai berikut:

1. Mendapatkan CBR tanah asli dilapangan sesuai dengan kondisi tanah dasar. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi.

Untuk mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan ini tidak umum digunakan.

2. Metode pemeriksaannya dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

b. CBR Laboratorium CBR Laboratorium dapat juga disebut CBR Rencana Titik. CBR laboratorium dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Pengujian basah (*Soaked*)
2. Pengujian kering (*Unsoaked*)

2.2.3. Pengujian Kekuatan dengan CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, *Proving Ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*). Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2”, yaitu dengan rumus sebagai berikut:

Nilai CBR pada penetrasi 0,1” = *Ax Faktor kalibarsi provin gring 30*

Nilai CBR pada penetrasi 0,2” = *Bx Faktor kalibarsi provin gring 45*

Dengan,

A = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1”

B = Pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2”

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terbesar diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR diatas. (Leni, 2016).

Peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian CBR di lapangan (*in place*)

diantaranya

adalah :

1. Dongkrak CBR mekanis dengan kapasitas 10 ton, dilengkapi dengan “*swivel head*”.
2. Cincin penguji (*proving ring*) dengan kapasitas : 1,5 ton (3000 lbs), 3 ton (6000 lbs), 5 ton (10.000 lbs), atau sesuai dengan kebutuhan.
3. Torak (Piston) penetrasi dan pipa-pipa penyambung.
4. Arloji penunjuk (dial penetrasi) untuk mengukur penetrasi dengan ketelitian 0,01 mm. (0,001”) dilengkapi dengan balok penyokong dari besi propil sepanjang lebih kurang 2,5 meter.
5. Keping beban (plat besi) yang bergaris tengah 25 cm (10”) berlubang di tengah dengan berat +/- 5 Kg (10 *Pound*) dan beban-beban tambahan seberat 2,5 Kg (5 *Pound*) yang dapat ditambahkan bilamana perlu.
6. Sebuah truck yang dibebani sesuai dengan kebutuhan atau alat-alat berat lainnya (*vibro, Excavator, bulldozer, dll*) dan dibawahnya dapat dipasang sebuah dongkrak CBR mekanis.

7. Dua dongkrak truk, alat-alat penggali, alat-alat penumbuk, alat-alat perata, waterpas dan lain-lain (Azwarman, 2015)

2.3. Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

Dynamic Cone Penetrometer Test (DCPT) adalah suatu instrument alat yang didesain untuk mendapatkan kekuatan tanah di lapangan dengan cara menumbukkan besi seberat 9.07 kg melalui *slider* pada konus sehingga terjadi penetrasi pada perkerasan yang akan diuji. (Azwarman, 2015)

Pengujian cara dinamis ini dikembangkan oleh TRL (*Transport and Road Research Laboratory*), Crowthorne, Inggris dan mulai diperkenalkan di Indonesia sejak tahun 1985-1986. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) tanah dasar, timbunan, dan atau suatu sistem perkerasan. Pengujian ini akan memberikan data kekuatan tanah sampai kedalaman kurang lebih 70 cm di bawah permukaan lapisan tanah yang ada atau permukaan tanah dasar. Pengujian ini dilakukan dengan mencatat data masuknya konus yang tertentu dimensi dan sudutnya, ke dalam tanah untuk setiap pukulan dari palu/hammer yang berat dan tinggi jatuh tertentu pula.

Pengujian dengan alat DCP ini pada dasarnya sama dengan *Cone Penetrometer* (CP) yaitu sama-sama mencari nilai CBR dari suatu lapisan tanah langsung di lapangan. Hanya saja pada alat CP dilengkapi dengan *proving ring* dan arloji pembacaan, sedangkan pada DCP adalah melalui ukuran (satuan) dengan menggunakan mistar percobaan dengan alat CP digunakan untuk mengetahui CBR tanah asli, sedangkan percobaan dengan alat DCP ini hanya untuk mendapat kekuatan tanah timbunan pada pembuatan badan jalan, alat ini dipakai pada pekerjaan tanah karena mudah dipindahkan ke semua titik yang

diperlukan tetapi letak lapisan yang diperiksa tidak sedalam pemeriksaan tanah dengan alat sondir.

Pengujian dilaksanakan dengan mencatat jumlah pukulan (*blow*) dan penetrasi dari konus (kerucut logam) yang tertanam pada tanah/lapisan pondasi karena pengaruh penumbuk kemudian dengan menggunakan grafik dan rumus, pembacaan penetrometer diubah menjadi pembacaan yang setara dengan nilai CBR.

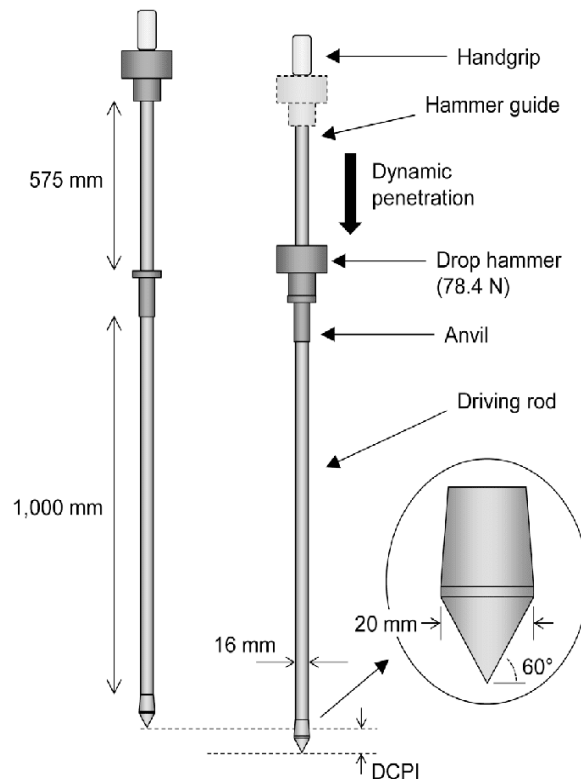
Transport Road Research (TRL, 1993), mengembangkan prosedur pengujian lapis perkerasan dengan DCP, menggunakan hubungan sebagai berikut:

- Van Buuren, 1969, (Konus 60°), $\text{Log CBR} = 2,632 - 1,28 (\text{Log DCP})$
- Kleyn & Harden, 1983, (Konus 30°), $\text{Log CBR} = 2,555 - 1,145 (\text{Log DCP})$
- Smith & Pratt, 1983, (Konus 30°), $\text{Log CBR} = 2,503 - 1,15 (\text{Log DCP})$
- TRL, Road Note 8, 1990, (Konus 60°), $\text{Log CBR} = 2,48 - 1,057 (\text{Log DCP})$

Sampai saat ini alat DCP yang sudah banyak dikenal dan digunakan adalah DCP yang diperkenalkan oleh TRL yang dilaporkan pada *Overseas Road Note 31*, grafik hubungan yang digunakan adalah perumusan dari Smith & Pratt, 1983 untuk konus 30° dengan persamaan $\text{Log CBR} = 2,503 - 1,15 (\text{Log DCP})$ dan TRL, 1990, untuk konus 60° dengan persamaan $\text{Log CBR} = 2,48 - 1,057 (\text{Log DCP})$. Pada umumnya setiap rangkaian pengujian perkerasan (*test pits*) di beberapa tempat yang dianggap mewakili suatu segmen jalan yang diuji.

2.3.1. Alat Dynamic Cone Penetrometer

Alat penetrometer konus dinamis (DCP) terdiri dari tiga bagian utama yang satu sama lain harus disambung sehingga cukup kaku, seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2.2 Alat *Dynamic Cone Penetrometer*

(Sumber : ASTM D 6951 - 03)

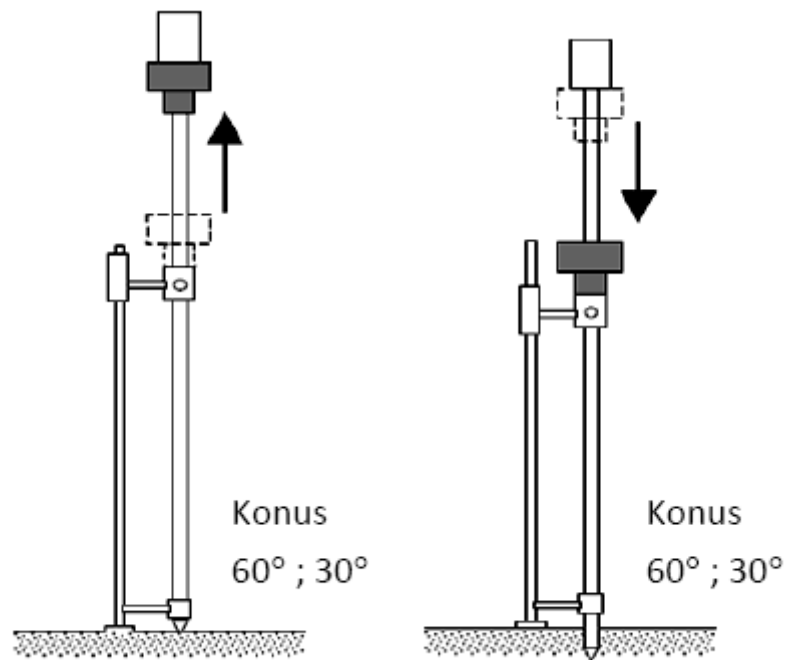
Keterangan:

1. Bagian atas
 - a. Pemegang
 - b. Batang bagian atas diameter 16 mm, tinggi-jatuh setinggi 575 mm;
 - c. Penumbuk berbentuk silinder berlubang, berat 8 kg.
2. Bagian tengah
 - a. Landasan penahan penumbuk terbuat dari baja;
 - b. Cincin peredam kejut;
 - c. Pegangan untuk pelindung mistar penunjuk kedalaman.
3. Bagian bawah
 - a. Batang bagian bawah, panjang 90 cm, diameter 16 mm;
 - b. Batang penyambung, panjang antara 40 cm sampai dengan 50 cm, diameter 16 mm dengan ulir dalam di bagian ujung yang satu dan ulir luar di ujung lainnya;
 - c. Mistar berskala, panjang 1 meter, terbuat dari plat baja;
 - d. Konus terbuat dari baja keras berbentuk kerucut di bagian ujung, diameter 20 mm, sudut 60° atau 30° ;
 - e. Cincin pengaku.

Dalam rangka untuk mengoperasikan alat DCP, dua operator diperlukan. Satu orang menjatuhkan penumbuk dan yang lain mencatat pengukuran. Langkah pertama dari pengujian ini adalah untuk menempatkan ujung kerucut pada permukaan pengujian. Poros bawah menahan kerucut bergerak secara bebas dari batang dan di setiap tumbukan pengukuran dibaca pada mistar berskala.

Pembacaan awal biasanya tidak sama dengan 0 karena keadaan terganggu dari permukaan tanah dan berat sendiri dari peralatan pengujian. Nilai pembacaan awal dihitung sebagai penetrasi awal yang sesuai untuk 0 tumbukan. Pengujian dilaksanakan dengan mencatat jumlah pukulan (*blow*) dan penetrasi dari konus (kerucut logam) yang tertanam pada tanah/lapisan fondasi karena pengaruh penumbuk kemudian dengan menggunakan grafik dan rumus, pembacaan penetrometer diubah menjadi pembacaan yang setara dengan nilai CBR. Pengujian tersebut memberikan sebuah dari kekuatan lapisan bahan sampai kedalaman 90 cm di bawah permukaan yang ada dengan tidak melakukan penggalian sampai kedalaman pada pembacaan yang diinginkan

Gambar 2.3 menunjukkan hasil penetrasi dari drop pertama dari palu. Pukulan palu yang berulang dan kedalaman penetrasi diukur untuk setiap penurunan palu. Proses ini dilanjutkan sampai kedalaman penetrasi yang diinginkan tercapai.



Gambar 2.3 Cara Kerja DCP
(Sumber : ASTM D 6951 - 03)

Hasil DCPT terdiri dari jumlah pukulan terhadap kedalaman penetrasi. Karena jumlah pukulan yang direkam adalah nilai-nilai kumulatif, hasil DCPT pada umumnya diberikan sebagai nilai inkremental yang didefinisikan sebagai berikut,

$$PI = \frac{\Delta D_p}{\Delta BC}$$

(2.1)

Keterangan:

PI = indeks penetrasi DCP dalam satuan panjang dibagi dengan jumlah pukulan

ΔD_p = kedalaman penetrasi;

ΔBC = jumlah pukulan sampai dengan ΔD_p kedalaman penetrasi.

Akibatnya, nilai indeks penetrasi (PI) merupakan karakteristik pengujian DCP pada kedalaman tertentu. (Priska, 2013)

2.3.2. Bentuk Hubungan (Korelasi) Nilai CBR–DCP

Dari data, didapat nilai DCP yang diambil adalah jumlah rata-rata dari penetrasi per pukulan (mm/blow). Dari nilai DCP yang ada, dapat dicari nilai CBR. Semakin kecil nilai penetrasi DCP (mm/blow), maka makin besar nilai CBR yang terjadi, dan sebaliknya semakin besar nilai penetrasi DCP (mm/blow), maka makin kecil nilai CBR yang terjadi. Nilai korelasi yang terjadi didapat dari beberapa percobaan yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti.

Penelitian yang sangat intensif telah dilakukan untuk menghasilkan hubungan empiris antara DCP dan CBR. Pada literatur yang berjudul *Potential Application of Dynamic and Static Cone Penetrometers in MDOT Pavement*

Design and Construction. US Departement of Transportation Federal Highway Administration dijelaskan beberapa penelitian yang telah dilakukan dan menghasilkan korelasi antara DCP dan CBR, contohnya, Kleyn, 1975; Harrison, 1987; Livneh 1987; Livneh and Ishai, 1988; Chua, 1988; Harrison, 1983; Van Vuuren, 1969; Livneh, et. Al., 1992; Livneh and Livneh, 1994; Ese et. Al., 1994; and Coonse, 1999. Berdasarkan buku karangan Silvia Sukirman mengenai Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur, hubungan DCP dan CBR dari satu titik pengamatan digambarkan pada rumus berikut ini:

DCP konus 60⁰ :

$$\text{Log}_{10}(\text{CBR}) = 2,8135 - 1,313 \text{ Log}_{10} \text{ DCP}$$

(2.2)

Keterangan:

DCP = nilai DCP (mm/tumbukan).

$$\text{CBR}_{\text{ttk pengamatan}} = \left(\frac{h_1 \sqrt[3]{\text{CBR}_1} + \dots + h_n \sqrt[3]{\text{CBR}_n}}{h} \right)^3$$

(2.3)

Keterangan :

h = tebal tiap lapisan tanah ke n (cm)

CBR = nilai CBR pada lapisan ke n

Adapun perhitungan nilai CBR rencana ada prosedur-prosedur yang harus diperhatikan. prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Tentukan Nilai CBR terendah.
2. Nilai CBR yang sama atau lebih besar dari masing-masing nilai CBR disusun secara tabel mulai dari nilai CBR terkecil sampai terbesar,

3. Angka terbanyak diberi nilai 100%, angka yang lain merupakan persentase dari 100%
4. Dibuat grafik hubungan antara harga CBR dan persentase jumlah tadi 5. Nilai CBR rencana adalah nilai pada keadaan 90%

2.3.3. Cara Pengujian DCP

Cara Pengujian DCP adalah sebagai berikut :

- a. Sambungkan seluruh bagian peralatan dan pastikan bahwa sambungan tangkai atas dengan landasan serta tangkai bawah dan kerucut baja sudah tersambung dengan kokoh;
- b. Pegang alat yang sudah terpasang pada posisi tegak di atas dasar yang rata dan stabil, kemudian catat pembacaan nol sebagai pembacaan awal pada mistar
- c. Cara mengangkat dan menjatuhkan palu serta jumlah pukulan
 1. Angkat palu pada tangkai bagian atas dengan hati-hati sehingga menyentuh batas handel.
 2. Lepaskan palu sehingga jatuh bebas dan tertahan pada landasan.
 3. Lakukan langkah-langkah pada Butir 1) dan 2) di atas sesuai ketentuan ketentuan sebagai berikut.
- d. Untuk lapisan perkerasan yang normal, pencatatan dilakukan pada setiap kedalaman 10 mm; walaupun demikian, masih memungkinkan mengubah jumlah pukulan antara pembacaan bila kekuatan lapisan yang diuji berubah lebih keras;

- e. Untuk pondasi yang terbuat dari bahan berbutir yang cukup keras, maka harus dilakukan pembacaan kedalaman pada setiap 5 sampai 10 pukulan;
- f. Untuk pondasi bawah atau tanah dasar yang terbuat dari bahan yang tidak keras maka pembacaan kedalaman pada sudah cukup untuk setiap 1 atau 2 pukulan.
 - 1. Apabila kecepatan penetrasi kurang dari 0,5 mm/pukulan, pembacaan masih dibenarkan tetapi bila setelah 20 pukulan tidak menunjukkan adanya penurunan, maka pengujian harus dihentikan. Selanjutnya lakukan pengeboran atau penggalian pada bagian tersebut sampai mencapai bagian yang dapat diuji kembali.
- g. Cara mengangkat tangkai dan peralatan DCP
 - 1. Siapkan bahwa peralatan akan diangkat atau dicabut ke atas;
 - 2. Angkat palu dan pukulkan beberapa kali dengan arah ke atas sehingga menyentuh handel dan tangkai bawah terangkat ke atas permukaan tanah.

2.3.4. Menentukan Nilai CBR

- a. Pencatatan hasil pengujian dilakukan menggunakan Formulir 1-DCP.
- b. Periksa hasil pengujian lapangan yang terdapat pada formulir dan hitung akumulasi jumlah pukulan dan akumulasi penetrasi setelah dikurangi pembacaan awal pada Formulir-2 DCP; (dalam Tabel 2 disajikan analisis pengujian DCP)

- c. Gunakan Formulir 3-DCP, berbentuk sumbu tegak dan sumbu datar, di mana pada bagian tegak menunjukkan kedalaman penetrasi dan arah horizontal menunjukkan jumlah pukulan; (dalam Gambar 2 disajikan tipikal plotting data DCP dan CBR)
- d. Plotkan hasil pengujian lapangan pada salib sumbu di atas;
- e. Tarik garis yang mewakili titik-titik koordinat tertentu yang menunjukkan lapisan yang relatif seragam;
- f. Hitung kedalaman lapisan yang mewakili titik-titik tersebut, yaitu selisih antara perpotongan garis-garis yang dibuat pada Butir 4), dalam satuan mm;
- g. Hitung kecepatan penetrasi untuk setiap pukulan (mm/pukulan);
- h. Gunakan gambar grafik pada Formulir-4 DCP (Gambar 3) dengan cara menarik nilai kecepatan penetrasi pada sumbu horizontal ke atas sehingga memotong garis tebal untuk sudut konus 60^0 atau garis patah-patah untuk sudut konus 30^0 .
- i. Tarik garis dari titik potong tersebut ke arah kiri sehingga nilai CBR dapat diketahui. (Tatang, 2005).

2.4. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode SNI 1732-1989-F

Pada saat ini telah ada metode Pt T-01-2002-B yang mengacu kepada AASHTO 1993, walaupun demikian Metode SNI 1732-1989-F dapat tetap digunakan terutama untuk lalu lintas rendah atau jika data perencanaan yang tersedia kurang lengkap. Oleh karena itu dalam Bab 2.4 ini diuraikan langkah perencanaan tebal perkerasan lentur dengan menggunakan Metode SNI 1732-1989-F. Metode SNI 1732-1989-F yang dikenal dengan nama metode analisis komponen dan dimodifikasi sesuai kondisi jalan di Indonesia.

2.4.1. Beban Lalu lintas Berdasarkan SNI 1732-1989-F

Beban lalu lintas berdasarkan SNI 1732-1989-F dinyatakan dalam Lintas Ekuivalen Rencana (LER) yang langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Angka ekuivalen dihitung untuk setiap jenis kendaraan dengan terlebih dahulu dihitung angka ekuivalen masing-masing sumbu. Rumus untuk menghitung angka ekuivalen sumbu tunggal dan sumbu ganda seperti pada Rumus 2.4 dan Rumus 2.5.

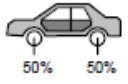
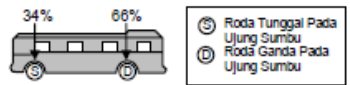
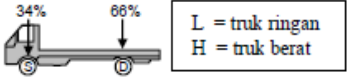
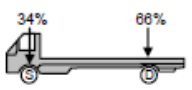
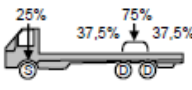
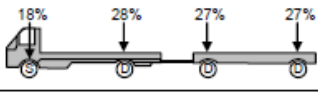
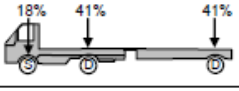
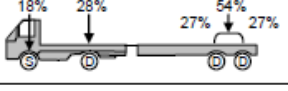
$$E_{\text{sumbu tunggal}} = \left(\frac{\text{beban sumbu tunggal, kg}}{8.160} \right)^4$$

(2.4)

$$E_{\text{sumbu ganda}} = 0,086 \left(\frac{\text{beban sumbu ganda, kg}}{8.160} \right)^4$$

(2.5)

Tabel 2.1 – Distribusi Beban Sumbu Untuk Berbagai Jenis Kendaraan

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (ton)	Beban Muatan Maksimum (ton)	Berat Total Maksimum (ton)	
1.1 Mobil Penumpang	1,5	0,5	2,0	
1.2 Bus	3	6	9	
1.2L Truk	2,3	6	8,3	
1.2H Truk	4,2	14	18,2	
1.22 Truk	5	20	25	
1.2 + 2.2 Trailer	6,4	25	31,4	
1.2+ 2 Trailer	6,2	20	26,2	
1.2+ 22 Trailer	10	32	42	

(Sumber : Bina Marga, No. 01/MN/BM/83)

2. LHR dihitung di awal umur rencana dengan menggunakan Rumus 2.6 untuk masing-masing kelompok jenis kendaraan

$$\text{LHR awal umur rencana} = (1+a)^n \cdot \text{LHRs}$$

(2.6)

dengan:

LHRs = LHR hasil pengumpulan data

a = faktor pertumbuhan lalu lintas dari saat pengumpulan data

sampai

awal umur rencana, persen/tahun

n = lama waktu dari saat pengumpulan data sampai awal umur rencana, tahun.

3. Faktor distribusi kendaraan pada lajur rencana ditentukan berdasarkan jumlah lajur perkerasan jalan. Jika ruas jalan tidak memiliki batas lajur, atau hanya diketahui lebar jalur saja, maka Tabel 2.2 dapat dipergunakan sebagai acuan.

Tabel 2.2 – Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Jalur

Lebar jalur (L) ,m	Jumlah lajur
$L < 5,5$ m	1 lajur
$5,5m < L < 8,25$ m	2 lajur
$8,25m < L < 11,25$ m	3 lajur
$11,25m < L < 15,00$ m	4 lajur
$15,00m < L < 18,75$ m	5 lajur
$18,75m < L < 22,00$ m	6 lajur

(Sumber : SNI -1732 -1989)

Faktor distribusi kendaraan ke lajur rencana dapat ditentukan melalui analisis hasil pengumpulan data volume lalulintas. Jika tak dimiliki data tentang distribusi kendaraan ke lajur rencana dari hasil pengumpulan data, maka koefisien distribusi kendaraan (C) pada Tabel 2.3 dapat digunakan sebagai acuan. Namun demikian, Tabel 2.3 tidak sesuai jika dipergunakan untuk jalan tol. Distribusi kendaraan pada jalan tol antar kota berbeda dengan jalan tol dalam kota, karena kendaraan di jalan tol antar kota pada umumnya menggunakan lajur kiri, kecuali untuk posisi menyalip kendaraan lain. Oleh karena itu khusus untuk jalan tol sebaiknya menggunakan data yang diperoleh dari survei di jalan tol sejenis.

Tabel 2.3 – Koefisien Distribusi 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

* berat total < 5 ton, misalnya sedan, pick up
 ** berat total > 5 ton, misalnya bus, truk, traktor, trailer, dan lain-lain

(Sumber : SNI -1732 -1989)

4. **Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP)** sebagai lintas ekuivalen di awal umur rencana dihitung dengan menggunakan Rumus 2.7.

$$LEP = \sum_{i=1}^{i=n} LHR_i \times E_i \times C_i$$

(2.7)

$$LEP = \sum_{i=1}^{i=n} LHRT_i \times E_i \times C_i$$

(2.8)

dengan :

LEP = Lintas ekuivalen di awal umur rencana, lss/hari/lajur rencana

LHR_i = LHR jenis kendaraan i di awal umur rencana, ditentukan dengan menggunakan Rumus 2.6.

LHRT_i = LHRT jenis kendaraan i di awal umur rencana

E_i = angka ekuivalen untuk jenis kendaraan i

C_i = koefisien distribusi jenis kendaraan i

5. Menghitung **Lintas Ekivalen Akhir (LEA)** sebagai lintas ekivalen di akhir umur rencana dengan menggunakan Rumus 2.9.

$$LEA = LEP (1+i)^{UR}$$

(2.9)

dengan:

LEA = Lintas ekivalen di akhir umur rencana, lss/hari/lajur rencana

LEP = Lintas Ekivalen di awal umur rencana

i = faktor pertumbuhan lalu lintas,

6. Menghitung **Lintas Ekivalen Rencana (LER)** sebagai lintas ekivalen rencana dengan menggunakan Rumus 2.10.

$$LER = \left(\frac{LEP + LEA}{2} \right) \times FP .$$

(2.10)

dengan:

LER = Lintas Ekivalen Rencana

FP = Faktor Penyesuaian Untuk Umur Rencana

= UR/10

UR = Umur Rencana, tahun

2.4.2 Daya Dukung Tanah Dasar Berdasarkan SNI 1732-1989-F

Daya dukung tanah dasar dinyatakan dengan parameter Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) yang merupakan korelasi dari nilai CBR. Nilai CBR yang dipergunakan untuk menentukan DDT adalah CBR yang merupakan nilai wakil untuk satu segmen jalan. DDT dapat diperoleh dengan menggunakan Gambar 2.4, Rumus 2.11 atau Tabel 2.4.

Rumus korelasi antara nilai CBR dengan DDT adalah:

$$DDT = 4,3 \log CBR + 1,7$$

(2.11)

dengan:

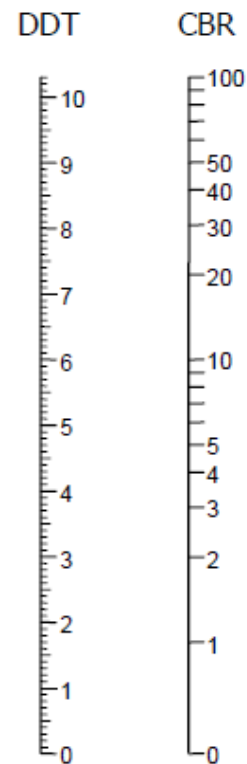
DDT = Daya Dukung Tanah Dasar

CBR = CBR

Skala DDT pada Gambar 5.1 adalah skala linier, sedangkan skala CBR menggunakan skala logaritma.

Tabel 2.4 – Korelasi antar CBR dan DDT

CBR	DDT
3	3,75
4	4,29
5	4,71
6	5,05
7	5,33
8	5,58
9	5,80
10	6,00
20	7,29
30	8,05
40	8,59
50	9,01
60	9,35
70	9,63
80	9,88
90	10,10
100	10,30



(Sumber : Silvia Sukirman, Perencanaan Jalan Lentur)
DDT

Gambar 2.4 Penentuan Nilai

2.4.3. Parameter Penunjuk Kondisi Lingkungan Sesuai SNI 1732-1989-F

Kondisi lingkungan di lokasi ruas jalan mempengaruhi kinerja struktur perkerasan selama masa pelayanan jalan. Parameter penunjuk kondisi lingkungan sesuai metode SNI 1732-1989-F adalah Faktor Regional (FR). Kondisi lingkungan yang mempengaruhi kinerja perkerasan jalan seperti curah hujan dan iklim tropis, elevasi muka air tanah, kelandaian muka jalan, fasilitas dan kondisi drainase, dan banyaknya kendaraan berat. Nilai FR memiliki rentang antara 0,5 dan 4 seperti pada Tabel 2.5. Berdasarkan pertimbangan teknis perencana dapat menambah nilai FR, sesuai catatan kaki pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 – Faktor Regional

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/thn	0,5	1,0 – 1,5	1,0	1,5 – 2,0	1,5	2,0 – 2,5
Iklim II ≥ 900 mm/thn	1,5	2,0 – 2,5	2,0	2,5 – 3,0	2,5	3,0 – 3,5
Catatan: pada bagian jalan tertentu, seperti persimpangan, pemberhentian atau tikungan tajam (jari-jari 30 m), FR ditambah dengan 0,5. Pada daerah rawa, FR ditambah dengan 1,0						

(Sumber : SNI 1732-1989-F)

2.4.4 Indeks Permukaan Sesuai SNI 1732-1989-F

Tebal perkerasan yang dibutuhkan dipengaruhi oleh nilai kinerja struktur perkerasan yang diharapkan pada saat jalan dibuka untuk melayani arus lalu lintas selama umur rencana, dan kondisi kinerja perkerasan diakhir umur rencana. IP di awal umur rencana atau awal masa pelayanan jalan (IP_0) ditentukan dari jenis perkerasan yang dipergunakan untuk lapis permukaan seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 – Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IP₀)

Jenis Lapis Permukaan	IP ₀	Roughness* (mm/km)
Laston	≥ 4	≤ 1000
	3,9 – 3,5	> 1000
Lasbutag	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
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
Latasbum	2,9 – 2,5	
Buras	2,9 – 2,5	
Latasir	2,9 – 2,5	
Jalan tanah	≤ 2,4	
Jalan kerikil	≤ 2,4	
* Alat roughometer yang digunakan adalah roughometer NAASRA, yang dipasang pada kendaraan standar Datsun 1500 Station Wagen, dengan kecepatan kendaraan ± 32 km/jam		

(Sumber : SNI 1732-1989-F)

IP di akhir umur rencana yang diharapkan (IP_t) ditentukan berdasarkan fungsi jalan dan LER seperti pada Tabel 2.7. Kinerja perkerasan jalan diakhir umur rencana seperti pada Tabel 2.7 digambarkan sebagai kondisi seperti pada Tabel 2.8.

Tabel 2.7 – Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP_t)

LER lss/hari/lajur rencana	Fungsi 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

(Sumber : SNI 1732-1989-F)

Tabel 2.8 – Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Di Akhir Umur Rencana

IP _t	Kinerja struktur perkerasan
1,0	Permukaan jalan dalam keadaan rusak berat, sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.
1,5	Tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak putus)
2,0	Tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap
2,5	Permukaan jalan masih cukup stabil dan baik
> 2,5	Permukaan jalan masih stabil dan baik

(Sumber : CER : 04)

2.4.5 Indeks Tebal Perkerasan (\overline{ITP})

\overline{ITP} adalah angka yang menunjukkan nilai struktural perkerasan jalan yang terdiri dari beberapa lapisan dengan mutu yang berbeda. Oleh karena itu untuk menentukan \overline{ITP} diperlukan koefisien relatif sehingga tebal perkerasan setiap lapisan setelah dikalikan dengan koefisien relatif dapat dijumlahkan. Jadi ITP dihitung seperti pada Rumus 2.12.

$$\overline{ITP} = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

(2.12)

dengan:

\overline{ITP} = Indeks Tebal Perkerasan

a_1 = koefisien kekuatan relatif lapis permukaan

a_2 = koefisien kekuatan relatif lapis pondasi

a_3 = koefisien kekuatan relatif lapis pondasi bawah

D_1 = tebal lapis permukaan

D_2 = tebal lapis pondasi

D_3 = tebal lapis pondasi bawah

Tabel 2.9 – Koefisien Kekuatan Relatif

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan bahan			Jenis perkerasan
a ₁	a ₂	a ₃	MS (kg)	Kt (kg/cm ³)	CBR (%)	
0,40			744			Laston
0,35			590			
0,32			454			
0,30			340			
0,35			744			Lasbutag
0,31			590			
0,28			454			
0,26			340			
0,30			340			HRA
0,26			340			Penetrasi makadam
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		Stabilisasi dengan semen
	0,13			18		
	0,15			22		Stabilisasi dengan kapur
	0,13			18		
	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.
Kuat tekan stabilisasi tanah dengan kapur diperiksa pada hari ke 21.

(Sumber : SNI-1732-1989)

Tabel 2.10 – Tebal Minimum Lapis Perkerasan

\overline{ITP}	Tebal minimum (cm)	Jenis perkerasan
Lapis Permukaan		
< 3,00		Lapis pelindung: Buras, Burtu/Burda
3,00 – 6,70	5	Lapen/penetrasi makadam, HRA, lasbutag, laston
6,71 – 7,49	7,5	Lapen/penetrasi makadam, HRA, lasbutag, laston
7,50 – 9,99	7,5	lasbutag, laston
>> 10,00	10	Laston
Lapis Pondasi		
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen. Stabilitas tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen. Stabilitas tanah dengan kapur. Laston atas
	10	
7,50 – 9,99	20*	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen. Stabilitas tanah dengan kapur, pondasi makadam. Laston atas
	15	
10,00 – 12,24	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen. Stabilitas tanah dengan kapur, pondasi makadam, lapen, laston atas.
>> 12,25	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen. Stabilitas tanah dengan kapur, pondasi makadam, lapen, laston atas.
Lapis Pondasi Bawah		
Tebal minimal adalah 10 cm		
* batas 20 cm tersebut dapat diturunkan menjadi 15 cm, jika untuk pondasi bawah digunakan material berbutir kasar.		

(Sumber : SNI-1732-1989)