Pengaruh Daya Dukung Tanah Dasar (Subgrade) Terhadap Tebal Perkerasan Flexible Pavement

Bambang Supranoto[a*], Hariyanto[b],

[a,b] Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu
[*] Bambang Supranoto, Alamat Email: bambangsupranoto@gmail.com

Diterima : 19 Desember 2022 - Direview : 21 Desember 2022 - Diterbitkan : 31 Desember 2022

Intisari

Tanah dasar merupakan bagian pertama yang perlu diperhatikan dalam perencanaan jalan raya.Daya dukung tanah dasar yang baik ikut mempengaruhi lapisan perkerasan di atasnya baik lapisan pondasi bawah (sub base), lapisan pondasi atas (base) dan lapisan permukaan . Kualitas tanah dasar yang akan menjadi tempat jalan raya di letakkan diukur dengan besarnya nilai CBR (*California Bearing Ratio*).

Apabila kualitas daya dukung tanah dasar kurang memadai maka dilakukan perbaikan agar bisa tercapai kondisi yang memenuhi syarat minimumnya. Nilai minimum anka CBR yang disyaratkan harus lebih besar dari 6%. Perbaikan bisa dilakukan dengan cara mekanis maupun kimiawi. Secara mekanis yang umum dilakukan adalah pemadatan tanah, mencampur dengan tanah lain yang bergradasi berbeda atau menggantinya dengan tanah lain yang lebih baik. Perbaikan kimiawi bisa dilakukan dengan penambahan bahan tambah seperti kapur, semen, atau bahan kimia lain yang akan meningkatkan nilai CBR aslinya.

Dalam analisa komponen Bina Marga untuk merencanakan perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), untuk merencanakan lapisan perkerasannya masih memerlukan faktor yang berkaitan dengan jumlah lalu lintas, kondisi lingkungan (faktor regional) dan jenis bahan-bahan untuk membuat jalan yang bersangkutan. Dari data-data tersebut bisa dihitung indeks tebal perkerasan (ITP) yang menentukan nanti dimensi dari ketebalan masing-masing lapisan. Untuk mendapatkan ITP telah disediakan nomogram di dalam petunjuknya.

Kata Kunci : analisa komponen, subgrade, indeks tebal perkerasan, tebal perkerasan.

Abstract

Subgrade soil is the first part that needs to be considered in highway planning. The carrying capacity of a good subgrade affects the pavement layer above it, both the sub base layer, the base layer and the surface layer. The quality of the subgrade soil where the highway will be laid is measured by the CBR (California Bearing Ratio) value.

If the quality of subgrade bearing capacity is inadequate, improvements are made so minimum requirements can be achieved. The minimum value of the CBR number required must be bigger than 6%. Improvement can be done by mechanical or chemical ways. Mechanically what is usually done are soil compaction, mixing with other soils with different grades or replacing them with other better soils. Chemical improvements can be made by adding additives such as calcium, cement, or other chemicals that will increase the original CBR value.

In the analysis of the Bina Marga components for planning flexible pavements, to plan the pavement layer, factors related to the amount of traffic, environmental conditions (regional factors) and the types of materials to make the road. From these data a pavement thickness index (ITP) can be calculated which will later determine the dimensions of the thickness of each layer. To get ITP, a nomogram has been provided in the instructions.

Keywords : *component analysis, subgrade, pavement thickness index, pavement thickness.*

1. Pendahuluan

1.1 Kerangka Teori

Dalam teori perkerasan jalan dikenal tiga jenis perkerasan jalan yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigide pavement*) dan komposit (*composite pavement*). Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang untuk mengikat agregatnya dipakai bahan aspal (bitument). Jenis perkerasan ini untuk melayani lalu lintas ringan sampai sedang. Beban kendaraan biasanya ringan, pembiayaan lebih murah. Kelebihan lain dari perkerasan ini akan lebih mudah diperbaiki apabila terjadi kerusakan dan tidak menimbulkan silau ketika dilewati. Pelaksanaan pembangunannya juga bisa dilakukan bertahap. Tetapi kerugian yang harus diperhitungkan antara lain tidak tahan terhadap air, cenderung lebih kebal dimensinya dan membutuhkan perawatan yang lebih banyak.

Perkerasan kaku (*rigide pavemant*) memakai semen portland sebagai pengikat agregatnya. Berbeda dengan flexible pavement perkerasan jenis ini dibangun untuk menerima volume lalu lintas berat dengan kendaraan yang bebannya tinggi. Keuntungannya umur rencananya bisa lebih besar, tahan terhadap air dan bisa mengatasi kondisi banjir. Tetapi kekurangannya antara lain biaya pembangunannya besar, kurang nyaman bila dilalui kendaraan, apabila terjadi kerusakan perlu perbaikan per segmen.

Perkerasan komposit (*composite pavement*) adalah kombinasi dari dua jenis perkerasan di atas biasanya plat beton yang sudah ada bagian atasnya akan dilapisi oleh lapisan aspal.

Christady Hardiyatmo dalam bukunya Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah menerangkan bahwa perancangan perkerasan lentur memperhitungkan kombinasi antara teori elastis dan pengalaman.

Perkerasan lentur akan mempunyai kinerja yang baik bila seluruh komponen utama dalam sistem perkerasan berfungsi dengan bai. Peranan perkerasan-perkerasan lentur adalah :

1.2. Jumlah Jalur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lapisan aus (*Wearing Course)* memberikan cukup kekesatan, tahanan gesek dan penutup kedap air (drainase air permukaan).

1. Lapis permukaan memberi daya dukung yang cukup dan penghalang air yang meresap di lapisan di bawahnya.
2. Lapisan pondasi atas (base course) dan lapisan pondasi bawa (sub base course) memberi tambahan kekuatan perkerasan terhadap pengaruh air yang merusak struktur perkerasan.
3. Tanah dasar (sub grade) merupakan landasan yang stabil bagi material perkerasan di atasnya.
4. Sistem drainase dapat mengalirkan air dengan cepat sebelum menurunkan kualitas material granuler dan tanah dasar.

Sementara Hamirhan Saodang dalam buku Konstruksi Jalan Raya menjelaskan bahwa perkerasan jalan adalah lapisan kontruksi yang dipasang langsung di atas tanah dasar berupa badan jalan pada jalur lalu lintas yang bertujuan untuk menerima beban langsung dari lalu lintas.

Perkerasan lentur (flexible pavement) diadakan bilamana bahan perkerasan terdiri dari agregat dan aspal. Lapisan perkerasan lentur terdiri dari tanah dasar (sub grade) berupa tanah asli atau tidak asli yang akan dipakai untuk meletakkan lapisan perkerasan di atasnya. Lapis pondasi bawh (sub base course) adalah bagian struktur perkerasan yang terletak di atas tanah dasar yang biasanya bahannya terdiri dari batu pecah, stabilisasi semen, stabilisasi kapur atau bahan lainnya. Lapis pondasi atas (base course) adalah lapisan di atas lapis pondasi bawah berupa agredat atau campuran agregat dan aspal. Lapis permukaan (surface course) adalah lapis paling atas dari perkerasan jalan lentur yang merupakan campuran agregat dengan bahan pengikat aspal.

1.3 Nilai CBR Berbagai Jenis Tanah

Pengukuran daya dukung tanah sebagai tanah dasar bisa dilakukan di laboratorim maupun di lapangan secara

Tabel 1. Nilai CBR Material Beragam Jenis Tanah

Material	CBR %
Agregat pecah padat-bergradasi biasanya digunakan untuk pondasi perkerasan	100
Agregat alami padat-bergradasi biasanya digunakan untuk pondasi perkerasan	80
Batu Kapur	80
Pasir campuran	50-80
Pasir berbutir kasar	20-50
Pasir berbutir halus	10-20
Tanah Lempung	<3

langsung. Dengan alat DCP nilai CBR tanah juga bisa diketahui. Beragam tabel di bawah ini menunjukkan bernagai jenis kondisi tanah dengan besarnya nilai CBR yang dimiliki.Untuk perencanaan perkerasan jalam raya angka-angka CBR tanah tersebut bisa dimanfaatkan untuk memperkirakan lapisan perkerasan yang harus direncanakan secara teoritis.

Penelitian empiris dari tanah dasar yang akan dipakai untuk peletakan lapisan pondasi yang nanti diletakkan di atasnya perlu dilakukan secara nyata.

Tabel 2. Nilai CBR Bersesuaian dengan Susunan Lapisan Jalan

	CBR in Base	CBR in Subbase	CBR in Subgrade
Excellent	100	50	-
Good	80	40	12+
Fair	-	30	9-12
Poor	50	-	4-8
Very poor	-	-	<4

Sukirman {1999} menjelaskan tentang fungsi roda kendaraan sebagai penerus beban yang akan dilimpahkan ke[ada lapisan perkerasan yang selanjutnya menyebarkan beban tersebut ke lapisan di bawahnya menuju lapisan tanah dasar. Sehingga terjadinya kerusakan jalan selama masa pelayanan saat umur rencana masih berlangsung dipengaruhi faktor kekuatan lapisan perkerasan dan kekuatan tanah dasar.

Daya dukung tanah dasar dipengaruhi oleh faktor-faktor perbedaan jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air dan kondisi lingkungan sekitarnya.

Tabel 3. Standar Lapisan Perkerasan Jalan

Section	Material	Nilai CBR (%)
Subgrade	Sangat Baik	20 -30
	Baik	10-20
	Sedang	5-10
	Buruk	< 5

Dalam Analisa komponen Bina Marga sebagai salah satu metode untuk merencanakan perkerasan lentur jalan raya daya dukung tanah dasar (DDT) salah satu unsur yang akan dipakai dalam penggunaan monogram untuk menetapkn tebal indeks perkerasan (ITP). Korelasi antara CBR dan DDT sebagaimana grafiknya disediakan dalam analisa komponen menjadi unsur penting untuk menghitung indeks tebal perkerasan (ITP).

DDT = 4,3 Log CBR + 1,7

di mana :

DDT = daya dukung tanah dasar

CBR = Nilai CBR tanah dasar

Daya dukung tanah dasar pada perkerasan tanah lentur ditunjukkan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) berupa besarnya persentasi. Makin besar angka persentasi angka CBR nya makin kuat kekuatan tanah dasar tersebut.

Tanah dasar bisa berupa tanah asli, tanah galian atau tanah urugan yang untuk pemanfaatannya dipadatkan terlebih dahulu. Di atas lapisan tanah dasar itulah lapisan-lapisan perkerasan lainnya diletakkan. Dengan demikian mutu kekuatan tanah dasar sangat mempengaruhi mutu jalan secara keseluruhan.

Sebenarnya banya parameter yang dipakai untuk menunjukkan kualitas tanah dasar selain nilai CBR, modulus reaksi tanah dasar modulus resilient bisa juga dinilai dari penetrometer konus dinamis (*dinamic cone penetrometer*).

Tabel 4. Kriteria CBR untuk Tanah Dasar Jalan (subgrade) (Turnbul, 1968 dalam Raharjo,1985)

CBR	General Rating	Uses
0-3	Very poor	Sub-grade
3-7	Poor to fair	Sub-grade
7-20	Fair	Sub-base
20-50	Good	Base of sub-base
>50	Excellent	Base

Ukuran mana yang dipilih tergantung dari kondisi tanah yang akan dipakai dan metode perencanaan yang digunakan.

1.4 Analisa Komponen Bina Marga

Dalam penggunaan analisa komponen Bina Marga saat merencanakan perkerasan lentur jalan raya ada beberapa data angka yng perlu diketahui terlbih dahulu.

1. LER (Lintas Ekuivalen Rencana)

LER merupakan hasil perhitungan setelah mendapatkan data lalu lintas berupa lau lintas harian rata-rata (LHR). Lintas harian rata-rata merupakan jumlah kendaraan dengan beragam jenisnya yang diperhitungkan akan melewati jalur jalan tesebut selama penggunaannya.

LER merupakan perhitungan angka LHR setelah angka ekuivalen masing-masing kendaraan diperhitungkan sebagaimana yang ditunjukkan dalam tabel.

Tabel 5. Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER= Lintas Ekivalen Rencana *)	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Total
<10	1,0-1,5	1,5	1,5-2,0	-
10-100	1,5	1,5-2,0	2	-
100-1000	1,5-2,0	2	2,0-2,5	-
>1000	-	2,0-2,5	2,5	2,5

Tabel 6. Angka Ekivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Beban Sumbu		Angka Ekivalen	
Kg	**Lb**	**Sumbu tunggal**	**Sumbu ganda**
1000	2205	0,0002	1-0
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15432	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3022	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,5745
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35276	14,7815	1,2712

Tabel 7. Faktor Regional (FR)

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

2. Faktor Regional (FR)

Faktor ini merupakan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh kondisi alam, keadaan lapangan dan iklim. Kondisi lapangan berupa permeabilitas kelengkapan drainase serta bentuk alinyemen, persentasi kendaraan berat yang kemungkinan akan berhenti. Sedangkan kondisi iklim menyangkut tinggi curah hujan rata-rata per tahun. Dalam pedoman analisa komponen juga disediakan tabel yang berhubungan dengan nilai indeks permukaan (IP) atau seevice ability indeks yaitu besaran nilai sebagai ukuran dasar untuk menentukan kepentingan lalu lintas dari jalan tersebut sebagaimana ditunjukkan dalam tabel.

Indeks permukaan merupakan keratakan (kehalusan) serta kekokohan permukaan yang berhubungan dengan pelayanan lalu lintas yang akan lewat.

Untuk menentukan daya dukung tanah dasar yang ditunjukkan dengan nilai CBR nya bisa dilakukan dengan penelitian baik di laboratorium atau di lapangannya . Besarnya nilai CBR di suatu ruas jalan bisa berupa nilai CBR titik maupun nilai CBR segmen. Asumsi besarnya CBR yang ditentukan kemudian akan dikorelasi dalam grafik hubungan antara nilai daya dukung tanah dengan nilai CBR sebagaimana yang sudah disediakan dalam buku pedoman analisa komponen bina marga.

Setelah daya dukung tanah ditentukan faktor regional doasumsikan dan lintas ekuivalen rencana dihitung maka digunakan nomogram untuk mendapatkan niai trbal perkerasan. Dari beberapa nomogram yang ada ditentukan salah satu nomogram yang digunakan setelah indeks permukaan awal pada umur rencana (IPo) sebagaimana dalam tabel.

Tabel 8. Indeks Permukaan pada Awal Umur Rencana (IPo)

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roghness *) (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

Dari nomogram yang dipilih akan didapatkan indeks tebal perkerasan (ITP) dari hasil nomogram yang dipilih. Berdasarkan indeks perkerasan itulah bisa dihitung masing-masing tebal lapisan perkerasan baik lapisan ondasi bawah, lapisan pondasi atas maupun lapisan permukaan setelah masing-masing lapisan itu dibaca persyaratan dan koefisiennya berdasarkan tabel.

Tabel 7. Batas-Batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapis pelindung: Buras/Burtu/Burda
3,00-6,70	5	Lapen/ Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
6,71-7,49	7,5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
7,50-9,99	7,5	Lasbutag, Laston
≥10,00	10	Laston
< 3,00	15	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
3,00-7,49	20 *)	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur
	10	Laston atas
7,50-9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam
	15	Laston atas
10-12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston atas
≥12,25	25	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston atas

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

Tabel 10. Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Lajur (n)	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat **)	
	1 arah	2 arah	3 arah	4 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	0,48
4 lajur	-	0,30	-	0,45
5 lajur	-	0,25	-	0,43
6 lajur	-	0,20	-	0,40

Tabel persyaratan dan koefisien perkerasan itulah yang kemudian menunjukkan bahwa faktor daya dukung tanah menentukan dimensi dari setiap jenis perkerasan yang harus diletakkan.

2. Metodologi Penelitian

Metode penetuan daya dukungtanah sebagai dasar konstruksi jalan menjadi prioritas utama dengan mengunakan uji CBR menentukan kekuatan dan karakteristik tanah tersebut, perhitungan nilai CBR terdiri dari hal berikut ini:

1. Tentukan dahulu berapa beban yang bekerja pada torak/piston.
2. Lalu hitung tegangan pada setiap kenaikan penetrasinya.
3. Setelah itu plotkan hasilnya di setiap grafik kemudian buat kurvanya.
4. Cek kembali apakah kurvanya harus dikoreksi lagi atau tidak, kurva penetrasi ini bisa berbentuk lengkung ke atas sehingga biasanya harus dikoreksi lagi. Titik inisialnya pun bergeser dari titik sebelumnya yaitu titik nol.
5. Selanjutnya pakai hasil tegangan yang sudah terkoreksi untuk analisa perhitungan yang berikutnya.
6. Lalu ambil tegangan yang ada pada penetrasi dengan ukuran sekitar 0,2 inchi/5,08 mm serta 0,1inchi/2,54 mm.
7. Perhitungan CBR yang dilakukan dengan pembagian pada tegangan standar yang ada yaitu 0,71 kg/mm^2 (1000 Psi) untuk penetrasi 0,1 inch atau 2,54 mm dan 1,06 kg/mm^2 (1500 Psi) untuk penetrasi 0,2 inch atau 5,08 mm.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini akan dibahas bagaimana kondisi tanah dasar akan mempengaruhi dimensi material lapisan perkerasan di atasnya yang bisa dilihat dari nomogram perhitungan Indeks Tebal Perkerasan (ITP). Simulasi akan dilakukan dengan penerapan metode analisa komponen dengan menetapkan lintas ekuivalen rencana (LER) ditetapkan sebesar 1000. Faktor regional dan ketetapan-ketetapan lapisan perkerasan sebagaimana dalam tabel yang terdapat dalam Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen 1987

Lapisan tanah dasar yang akan dipilih berupa pasir campuran halus dan batu kapur yang masing-masing nilai CBR nya sebesar 20% (pasir berbutir halus) dan 50%. (pasir kasar), Sementara faktor regionalnya ditetapkan sebesar 2.

Dengan variabel tanah dasar yang berbeda maka untuk membaca nomogram analisa komponen perencanaan jalannya ditetapkan berupa indeks permukaan pada awal umur rencana (Ip0) 3,9 karena ditetapkan jenis lapis perkerasannya berupa aspal beton.

Tabel 11. Koefisien Kekuatan Relatif

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
0,40	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
-	0,28	-	590	-	-	
-	0,26	-	454	-	-	Laston Atas
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
	0,15	-	-	22	-	Stab. tanah dengan semen
	0,13	-	-	18	-	

Indeks permukaan akhit (IPt) sebesar 2 faktor regional ditetapkan 2 .Kemudian lapisan permukaan diambil dalam syarat yang paling minimum.

Dari data-data tersebut maka nomogram dalam analisa yang akan dipakai adalah nomogram nomor 3

Analisa komponen bina marga memberikan rumus

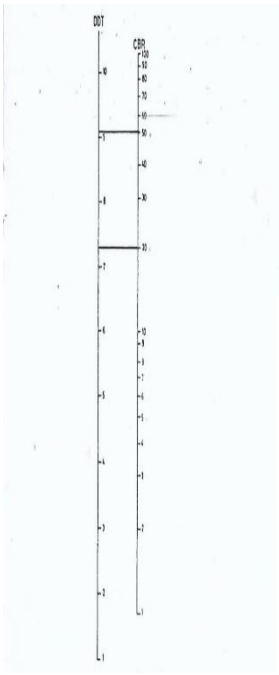
$ITP = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$

A_1,a_2,a_3 = koefisien kekuatan realtif bahan perkerasan

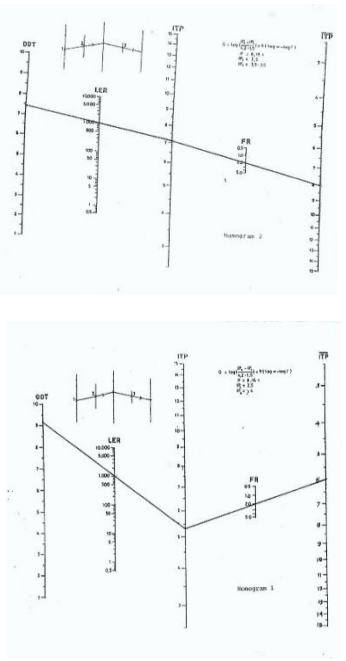
D_1,D_2,D_3 = tebal masing-masinglapis perkerasan

Angka 1, 2 dan 3 masing-masing untuk lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah

Dari perhitungan yang didapat setelah menggunakan nomogram yang ada didapatkan bahwa nilai CBR tanah dasar yang makin besar akan mempengaruhi ketebalan lapisan permukaan yang berbeda. Untuk nilai CBR yang makin besar lapisan pondasi atasnya makin tipis. Dari simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa lapisan pondasi sangat dipengaruhi oleh kualitas lapisan tanah dasarnya.



Gambar 2 Korelasi CBR DDT



Gambar 2 Nomogram DDT - ITP

Dari pembacaan nomogram untuk DDT 20 maka nilai ITP-nya 8. DDT 50 nilai ITP-nya 6.

4. Kesimpulan

Untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan lentur atau flexible pavement yang perlu diperhatikan lebih dulu adalah daya dukung tanah dasarnya. Peningkatan daya ukung tanah dasar yaitu dengan menaikkan nilai CBR tanah bisa dilakukan dengan pemadatan maupun penambahan dengan bahan lain. Tanah dasar yang akan dimanfaatkan untuk meletakkan lapis perkerasan jalan bisa berupa galian, timbunan atau tanah asli.

4. Saran

1. Untuk penggunaan nomogram yang disediakan dalam analisa komponen perlu menghindari kesalahan pembacaan karena hasilnya akan mempengaruhi perhitungan dimensi perkerasan jalan.
2. Untuk menghasilkan perhitungan yang lebih baik lagi sebaiknya data-data dari pengalaman empiris bisa dipakai sebagai pembanding.

Daftar Pustaka

Departemen Pekerjaan Umum. 1987. Petunjuk Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta

Hardiyatmo, Hary Christadi. 2011. Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, Hary Christadi. 2007. Pemeliharaan Jalan Raya. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Saodang, Hamirhan. 2004. Perancangan Perkerasan Jalan Raya. Nova. Bandung.

Sukirman, Silfia. 1992. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Nova. Bandung.

Suryadharma, Hendra. 1999. Rekayasa Jalan Raya. Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.