

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Stabilitas Tanah

Dalam konstruksi perkerasan jalan, sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah yang sangat berpengaruh pada berbagai tahapan dalam konstruksi jalan, seperti tahap perencanaan (*design*), tahap pelaksanaan (*perform*), serta tahap operasional dan pemeliharaan (*operational and maintenance*). Tanah yang memiliki daya dukung rendah sangat dipengaruhi oleh minerologi tanah tersebut, dimana minerologi tanah terbentuk dari proses pelapukan material batuan (anorganik) dan/atau material organik. Hasil pelapukan material tersebut akan membentuk lapisan tanah di suatu tempat, bisa berupa material lapukan setempat (*residual soil*) atau hasil lapukan yang terangkut dari tempat lain (*transported soil*). Dalam proses pembentukan lapisan tanah, keberadaan kedua jenis material lapukan tersebut akan sangat berpengaruh pada sifat-sifat tanah di suatu tempat, baik sifat fisis maupun sifat mekanisnya. Bila tanah memiliki kondisi yang tidak memenuhi kualitas persyaratan yang dibutuhkan oleh suatu konstruksi jalan, maka diperlukan suatu usaha untuk memperbaiki sifat-sifat dari tanah tersebut.

Menurut Darwis (2017: 5-6), semua tindakan mengubah sifat-sifat asli daripada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Secara khusus pengertian stabilisasi tanah dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, antara lain:

- a) Lambe (dikutip dalam Darwis, 2017), mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai perubahan dari setiap properti tanah untuk memperbaiki kinerja teknisnya (*soil stabilization as "the alteration of any property of a soil to improve it's engineering performance"*). Dalam pengertian ini Lambe

- memaknai sifat-sifat tanah (*soil property*) mencakup sifat mikroskopis dan makroskopis dari massa tanah.
- b) Jon A. Epps et al. (dikutip dalam Darwis, 2017), mengartikan stabilisasi tanah adalah tindakan untuk memperbaiki sifat rekayasa tanah (*soil properties*).
 - c) Ingles & Metcalf (dikutip dalam Darwis, 2017), mengatakan bahwa perubahan sifat tanah untuk memenuhi persyaratan teknis tertentu, dikenal sebagai stabilisasi tanah.
 - d) Punmia (dikutip dalam Darwis, 2017), menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengertian luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah untuk memperbaiki kinerja teknisnya. Dalam hal ini menurut Punmia bahwa tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan atau stabilitas tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal.
 - e) Winterkorn (dikutip dalam Darwis, 2017), menyatakan bahwa stabilisasi tanah adalah istilah kolektif untuk metode fisik, kimia, atau biologi, atau kombinasi metode semacam itu, yang digunakan untuk memperbaiki sifat tertentu dari tanah alami agar sesuai dengan tujuan rekayasa yang tepat.
 - f) *Ruston Paving Company Inc.* (dikutip dalam Darwis, 2017), mengartikan bahwa “stabilisasi tanah adalah perubahan fisik dan kimia permanen dari tanah dan agregat untuk meningkatkan sifat teknisnya sehingga meningkatkan daya dukung dan beban *subgrade* atau *subbase* untuk mendukung perkerasan dan pondasi”.

Selain pengertian atau definisi yang dikutip dari beberapa ahli di atas, masih banyak pengertian yang dikemukakan oleh beberapa ahli lain. Namun secara umum dapat diartikan bahwa stabilisasi tanah adalah proses pencampuran tanah dengan bahan tertentu untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah (*engineering properties*). Stabilisasi tanah juga berarti usaha untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah (*engineering properties*) agar memenuhi syarat teknis tertentu. Menurut Darwis (2017: 7), pengertian lebih luas dari stabilisasi tanah adalah “suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan”.

Secara umum, ditinjau dari mekanisme yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas 2 macam, yaitu:

- a) Perbaikan tanah (*soil improvement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan tambah atau *additive* (kimiawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik).
- b) Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.

Dari kedua pengklasifikasian di atas, terlihat korelasi antara keduanya, bahwa perbaikan tanah (*soil improvement*), relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik, sedangkan perkuatan tanah (*soil reinforcement*), relevan dengan stabilisasi mekanis. Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaannya, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan menjadi 3 macam, sebagai berikut:

- a) Stabilisasi kimia, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu (*additive*) dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknik yang lebih baik. Misalnya penambahan abu sekam padi dan serbuk *gypsum*.

- b) Stabilisasi fisik, yaitu mengaplikasikan energi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah yang akan memperbaiki karakteristik lapisan tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
- c) Stabilisasi mekanis yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknik dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang dicapai. Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah, sehingga stabilisasi mekanis disebut juga sebagai perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Misalnya stabilisasi dengan *metal strip*, *geotextile*, *geomembrane*, *geogrid*, *vertical drain*, dan lain sebagainya.

2.1.1. Serbuk Gypsum

Gypsum merupakan salah satu mineral yang didominasi oleh kadar kalsium pada mineralnya. Jenis *gypsum* yang paling umum ditemukan adalah jenis kalsium sulfat dihidrat dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Gypsum* banyak digunakan dalam pekerjaan konstruksi, seperti sebagai hiasan bangunan, bahan dasar pembuat semen, pengisi (*filler*) cat, dan berbagai macam keperluan lainnya.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia yang Terkandung dalam Serbuk *Gypsum*

No	Senyawa	Kandungan (%)
1	SiO_2	18,48
2	CaO	45,66
3	Bi_2O_3	35,86

Sumber : Permana, 2017

Menurut Wardhana (2014), keuntungan penggunaan serbuk *gypsum* dalam pekerjaan Teknik Sipil adalah:

- a) Serbuk *gypsum* yang dicampur lempung dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah tergantikan oleh kalsium pada *gypsum* sehingga pengembangannya lebih kecil.

- b) Serbuk *gypsum* dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah.
- c) Serbuk *gypsum* meningkatkan kecepatan rembesan air, dikarenakan serbuk *gypsum* lebih menyerap banyak air.

Berdasarkan hal tersebut, maka serbuk *gypsum* akan digunakan dalam penelitian ini dengan sebanyak 4% dari berat kering tanah untuk semua variasi. Angka 4% diambil berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dan disamakan untuk semua variasi karena serbuk *gypsum* ini mengandung kadar CaO (kapur) yang tinggi.

2.1.2. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan sisa pembakaran dari sekam padi. Prinsipnya abu sekam padi adalah limbah sisa pembakaran. Namun berdasarkan berbagai penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki kandungan kimia yang bisa dimanfaatkan untuk keperluan stabilisasi tanah dikarenakan sifat *pozzolan* dari bahan kimia tersebut. *Pozzolan* mengandung sifat sementasi bila bercampur dengan air. Hasil analisa lanjutan pada abu sekam padi menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ mencapai 80 – 90%, yang memiliki sifat perekat, sehingga bisa dimanfaatkan dalam dunia konstruksi.

Widhiarto dkk (dikutip dalam Abdurrozak, 2017), menyatakan bahwa abu sekam padi banyak mengandung silika dan material *pozzolan* karena mengandung unsur kapur bebas yang dapat mengeras dengan sendirinya, disamping mengandung unsur aluminium oksida yang keduanya merupakan unsur-unsur yang mudah bereaksi dengan kapur. Menurut Balai Besar Institut Kimia (1982, dalam Widhiarto dkk, 2015), unsur-unsur kimia yang terkandung pada abu sekam padi disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia yang Terkandung dalam Abu Sekam Padi

No	Senyawa	Kandungan (%)
1	SiO ₂	21,6
2	Al ₂ O ₃	4,6
3	Fe ₂ O ₃	2,8
4	CaO	62,8

No	Senyawa	Kandungan (%)
5	MgO	3,2
6	SO ₄	2,1
7	CaO bebas	1,2
8	Na ₂ O	0,41
9	K ₂ O	0,24

Sumber : Abdurrozak dan Mufti, 2017

Berdasarkan hal tersebut, maka abu sekam padi yang akan digunakan dalam penelitian ini akan divariasikan dengan variasi 3%, 5%, dan 7% dari berat kering tanah. Angka tersebut diambil berdasarkan kandungan yang terdapat dalam abu sekam padi, yaitu SiO₂ (silikon dioksida) dan Al₂O₃ (aluminium oksida) yang mudah bereaksi dengan kapur yang terdapat pada serbuk *gypsum*. Hal inilah yang menyebabkan angkanya divariasikan.

2.2. Tanah

Tanah merupakan material yang jumlahnya sangat melimpah di Bumi dan memiliki jenis yang sangat beragam. Oleh karena itu, tanah banyak digunakan dalam berbagai macam pekerjaan Teknik Sipil.

Menurut Hardiyatmo (2012: 1, 59), dalam pandangan Teknik Sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis. Terdapat 2 sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

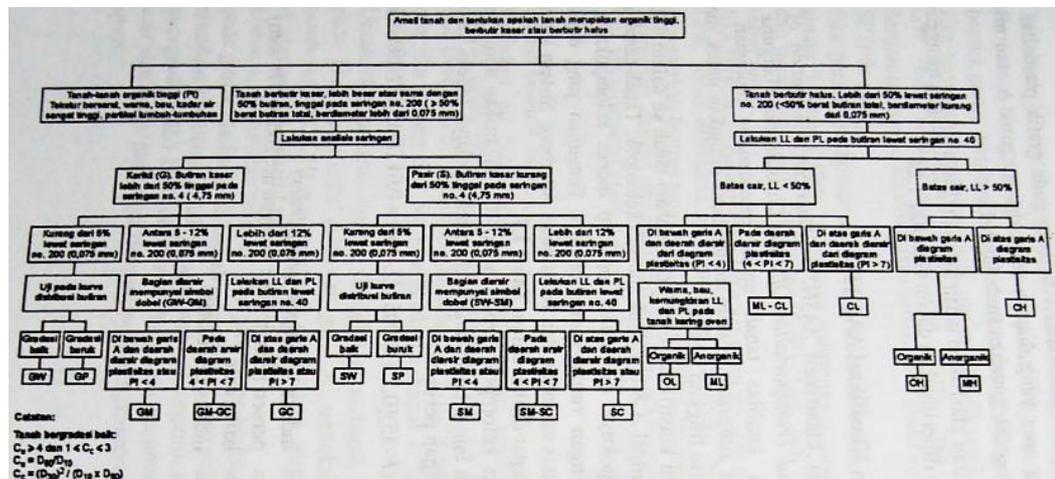
Ada 2 jenis sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan, Sistem USCS dan Sistem AASHTO. Terdapat beberapa perbedaan dalam sistem

pengklasifikasian tanah antara keduanya, salahsatunya adalah jumlah lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Pada Sistem USCS, tanah harus lolos $\geq 50\%$ agar dikategorikan sebagai tanah berbutir halus, apabila tanah lolos saringan No 200 (0,075 mm) $< 50\%$ maka tanah dikategorikan tanah berbutir kasar. Sedangkan pada Sistem AASHTO tanah berbutir halus adalah tanah yang lolos saringan No 200 (0,075 mm) sebanyak $> 35\%$, bila jumlah tanah lolos hanya $\leq 35\%$ maka itu termasuk tanah berbutir kasar. Berikut adalah Sistem Klasifikasi USCS dan AASHTO serta perbandingan antara keduanya:

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% butiran lebih besar dari 0,075 mm	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung
	Pasir lebih dari 50% butiran lebih besar dari 0,075 mm	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
Pasir lebih dari 50% butiran lebih besar dari 0,075 mm	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (lean clays)
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (fat clays)
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut (peat) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Gambar 2.1 Sistem Klasifikasi USCS

Sumber : Hardiyatmo, 2002



Gambar 2.2 Sistem Klasifikasi USCS

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Klasifikasi Umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50 maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	51 min 10 maks	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- 6 maks	- -	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (G)	0	0	0	0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk				

Catatan:
Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)
Untuk PL > 30, Klasifikasinya A-7-5;
Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.
Np = nonplastis

Gambar 2.3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Kelompok tanah AASHTO	Kelompok tanah yang sebanding dalam sistem Unified		
	Sangat mungkin	Mungkin	Kemungkinan kecil
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	-
A-3	SP	-	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	-	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	-	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	-	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

Gambar 2.4 Perbandingan Antara Sistem USCS dan AASHTO

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Suatu tanah dapat dicari sifat-sifat fisis atau *index properties*-nya yang meliputi kadar air tanah (*water content*), berat isi (*unit weight*), berat jenis (*specific gravity*). Selain itu, bisa juga dilakukan pengujian batas-batas konsistensi (*Atterberg limits*) untuk mengetahui indeks plastisitas dari tanah, terutama bagi tanah berbutir halus (*fine-grained soil*).

2.2.1. Tanah Lempung

Lempung (*Clay*) diklasifikasikan sebagai jenis tanah berbutir halus atau *fine-grained soil*. Tanah ini sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopik dan submikroskopik (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya menggunakan mikroskop biasa) yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan. Dalam keadaan kering, tanah lempung sangat keras dan tak mudah terkelupas oleh tangan. Selain itu, permeabilitas tanah ini sangat rendah.

Menurut Hardiyatmo (2012: 24), pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,02 mm, yang disebut mineral lempung. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat banyak mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung. Di antaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Terdapat pula kelompok yang lain, misalnya: *chlorite*, *vermiculite*, dan *hallosyte*.

Tanah lempung merupakan tanah yang memiliki sifat kohesif atau tanah yang memiliki gaya tarik menarik antara partikel-partikelnya. Salah satu hal yang mempengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga bila kerapatan semakin besar maka kohesi yang dimiliki akan semakin besar. Selain itu tanah lempung juga memiliki sifat plastis dikarenakan mineral lempung di dalamnya. Sifat plastis ini memungkinkan tanah lempung untuk mengubah bentuknya tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya tanpa terjadi retakan atau pecah-pecah. Tanah lempung bisa memiliki plastisitas rendah atau plastisitas tinggi. Hal ini bisa diketahui dengan menguji batas-batas konsistensi (*Atterberg limits*) dari tanah lempung.

Air biasanya tidak terlalu mempengaruhi kelakuan dari tanah non-kohefif. Sebaliknya bagi tanah berbutir halus, khususnya tanah lempung, air akan sangat berpengaruh. Karena pada tanah berbutir halus variasi kadar air akan mempengaruhi nilai plastisitas tanah. Tanah lempung memiliki potensi kembang susut yang tinggi apabila terjadi perubahan kadar air. Pada keadaan kering, tanah lempung akan menyusut dengan sifat yang kuat dan keras, tetapi pada kondisi basah tanah lempung akan mengembang dengan daya dukung yang lemah. Sifat kembang susut yang tinggi ini dapat menimbulkan kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan di atasnya.

2.2.2. Analisis Ukuran Butiran

Sifat dari tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran akan menjadi dasar acuan pemberian nama dan klasifikasi tanah itu sendiri. Oleh karena itu, analisis ukuran butiran tanah merupakan pengujian yang sering dilakukan. Analisis ukuran butiran merupakan penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan diameter lubang tertentu.

a. Tanah Berbutir Kasar

Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Tanah benda uji akan disaring melewati satu unit saringan standar. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan akan ditimbang, lalu persentasenya terhadap berat kumulatif tanah akan dihitung.

Tabel 2.3 Saringan Standar Amerika

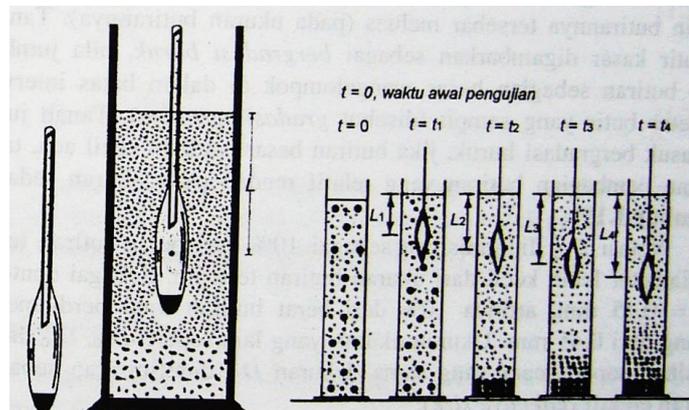
No. Saringan	Diameter Lubang (mm)	No. Saringan	Diameter Lubang (mm)
3	6,35	40	0,42
4	4,75	50	0,3
6	3,35	60	0,25
8	2,36	70	0,21
10	2,00	100	0,15

No. Saringan	Diameter Lubang (mm)	No. Saringan	Diameter Lubang (mm)
16	1,18	140	0,106
20	0,85	200	0,075
30	0,60	270	0,053

Sumber : Hardiyatmo, 2012

b. Tanah Berbutir Halus

Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah bebutir kasar dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes yang berkaitan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi.



Gambar 2.5 Analisis Tanah Berbutir Halus dengan Hidrometer

Sumber : Hardiyatmo, 2012

Kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi butiran digambarkan oleh koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*), C_u , dan koefisien gradasi (*coefficient of gradation*), C_c , yang diberikan menurut persamaan:

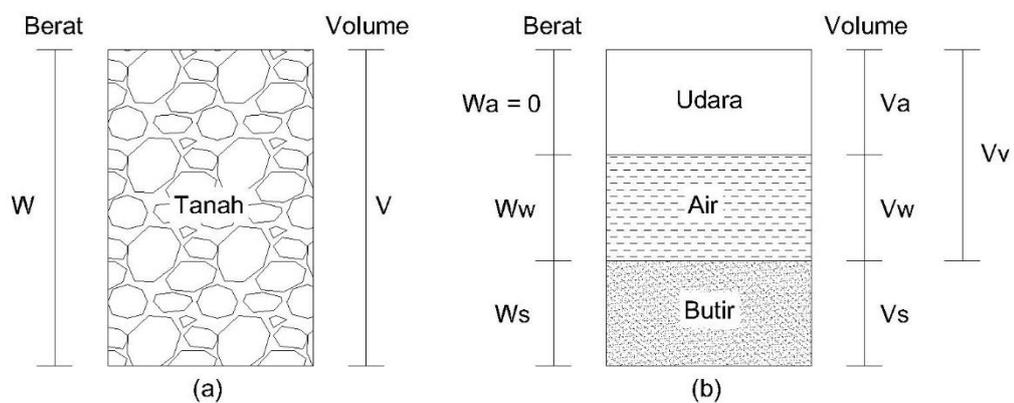
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.1)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (2.2)$$

Tanah bergradasi baik jika mempunyai koefisien gradasi $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 4$ untuk kerikil, dan $C_u > 6$ untuk pasir. Tanah disebut bergradasi sangat baik bila $C_u > 15$.

2.2.3. Sifat-sifat Fisis Tanah

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian yakni bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah tersebut dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase seperti berikut:



Gambar 2.6 Diagram Fase Tanah

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Gambar 2.6a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat total W , sedangkan Gambar 2.6b menunjukkan hubungan berat dengan volumenya. Dengan memperhatikan gambar tersebut di atas maka dapat dibentuk persamaan:

$$W = W_s + W_w \quad (2.3)$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (2.4)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (2.5)$$

dengan:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air
 V_a = volume udara
 V_v = volume *void*

Tanah memiliki berbagai macam sifat fisis (*index properties*), namun pada penelitian ini hanya dicari kadar air (*water content*), berat isi (*unit weight*), berat jenis (*specific gravity*) dan batas-batas konsistensi (*Atterberg limits*).

a. Kadar Air Tanah (*Water Content*) w

Kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam massa tanah (W_w) terhadap berat butiran padat atau tanah kering (W_s) dan dinyatakan dalam persen.

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (2.6)$$

dengan:

w = kadar air (%)
 W_w = berat air (g)
 W_s = berat tanah kering (g)

atau

$$w (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100 \quad (2.7)$$

dengan:

W_1 = berat cawan dan tanah basah (g)
 W_2 = berat cawan dan tanah kering (g)
 W_3 = berat cawan (g)

b. Berat Isi Tanah (*Unit Weight*) γ

Berat isi tanah mencakup berat isi basah (γ_b), berat isi kering (γ_d) dan berat isi butiran padat (γ_s). Berat isi basah (γ_b) adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (2.8)$$

dengan:

γ_b = berat isi tanah atau berat isi tanah basah (g/cm^3)

W = berat total tanah (g)
 V = volume total tanah (cm³)

Dengan $W = W_w + W_s + W_a$ (dengan $W_a = 0$). Bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ($V_a = 0$), maka tanah menjadi jenuh. Berat isi kering (γ_d) adalah perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total (V).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.9)$$

dengan:

γ_d = berat isi kering (g/cm³)
 W_s = berat butir tanah (g)
 V = volume total tanah (cm³)

Berat isi butiran padat (γ_s) adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (2.10)$$

dengan:

γ_s = berat isi butir tanah (g/cm³)
 W_s = berat butir tanah (g)
 V_s = volume butir tanah (cm³)

c. Berat Jenis Tanah (Specific Gravity) G_s

Berat jenis adalah perbandingan antara berat isi butiran tanah (γ_s) dengan berat isi air (γ_w) pada suhu tertentu. Berat jenis tanah diperlukan untuk menghitung *index properties* tanah lainnya seperti angka pori (e), derajat kejenuhan (S), dan sifat-sifat penting tanah lainnya.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.11)$$

dengan:

G_s = berat jenis tanah
 γ_s = berat isi butir tanah (g/cm³)
 γ_w = berat isi air (g/cm³)
 $G_s < 2,6$ = tanah organik
 $G_s = 2,6 - 2,8$ = tanah anorganik

Tabel 2.4 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

No	Jenis Tanah	Berat Jenis (G_s)
1	Kerikil	2,65 – 2,68
2	Pasir	2,65 – 2,68
3	Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
4	Lempung Organik	2,58 – 2,65
5	Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
6	Humus	1,37
7	Gambut	1,25 – 1,80

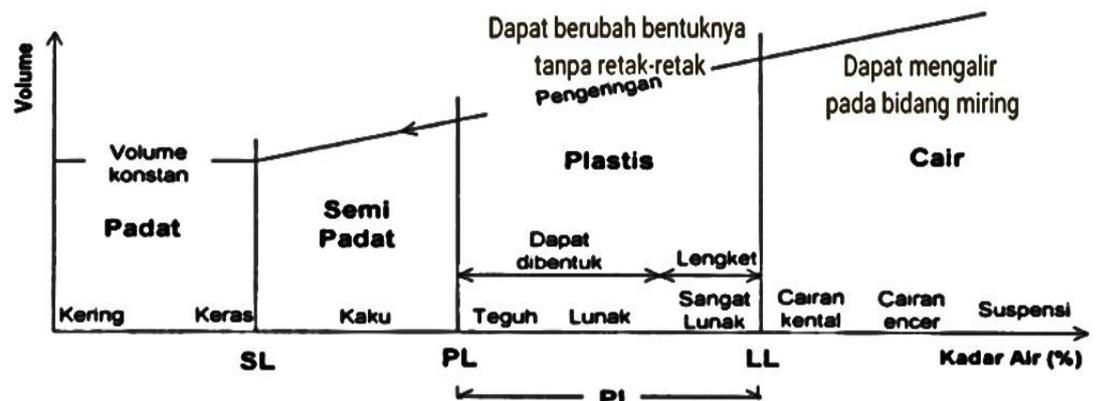
Sumber : Hardiyatmo, 2012

Jadi tanah yang terdiri dari campuran bahan organik maupun anorganik memiliki nilai G_s yang bergantung pada komposisi campuran kandungan-kandungan dalam tanah tersebut.

d. Batas-batas Konsistensi (*Atterberg Limits*)

Tanah berbutir halus memiliki sifat plastis yang membuat tanah tersebut memiliki kemampuan untuk menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa terjadi retak-retak atau remuk. Sifat plastis ini disebabkan oleh mineral lempung yang ada pada tanah tersebut. Tanah berbutir halus memiliki 4 kondisi tergantung dari jumlah kadar air yang ada pada tanah tersebut, yaitu kondisi cair, plastis, semi-padat, dan padat. *Atterberg* (dikutip dalam Hardiyatmo, 2012), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Batas-batas konsistensi (*Atterberg limits*) dapat dilihat pada Gambar 2.7.

Digunakan cara empiris untuk menentukannya



Gambar 2.7 Batas-batas Konsistensi Atterberg

Sumber : <https://www.youtube.com/watch?v=JF5270r-k58>

a) Batas Cair (*Liquid Limit*) LL

Batas cair (LL) merupakan batas yang membatasi kondisi tanah cair dan kondisi tanah plastis. Kadar air tanah berada pada kedudukan antara keadaan cair dan keadaan plastis. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.7 untuk mengetahui nilai batas cair dari tanah berbutir halus dapat dilakukan pengujian di laboratorium dengan menggunakan alat uji *Casagrande*.

Menurut Hardiyatmo (2012: 49), batas cair biasanya ditentukan dari uji *Casagrande*. Contoh tanah dimasukkan dalam cawan. Tinggi contoh dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat di tengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan diketuk-ketukkan pada landasan dengan tinggi jatuh 1 cm. Persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan, sesudah 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dengan jumlah pukulan yang berkisar antara 15 sampai 35. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.7. Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*), dan dinyatakan dalam persamaan:

$$I_F = \frac{w_1 - w_2}{\log\left(\frac{N_2}{N_1}\right)} \quad (2.12)$$

dengan:

I_F = indeks aliran

w_1 = kadar air (%) pada N_1 pukulan

w_2 = kadar air (%) pada N_2 pukulan

Perhatikan bahwa nilai w_1 dan w_2 dapat ditukarkan untuk memperoleh nilai positifnya, walaupun kemiringan kurva sebenarnya negatif. Dari banyak uji batas cair, Waterways Experiment Station di Vicksburg, Mississippi mengusulkan persamaan batas cair:

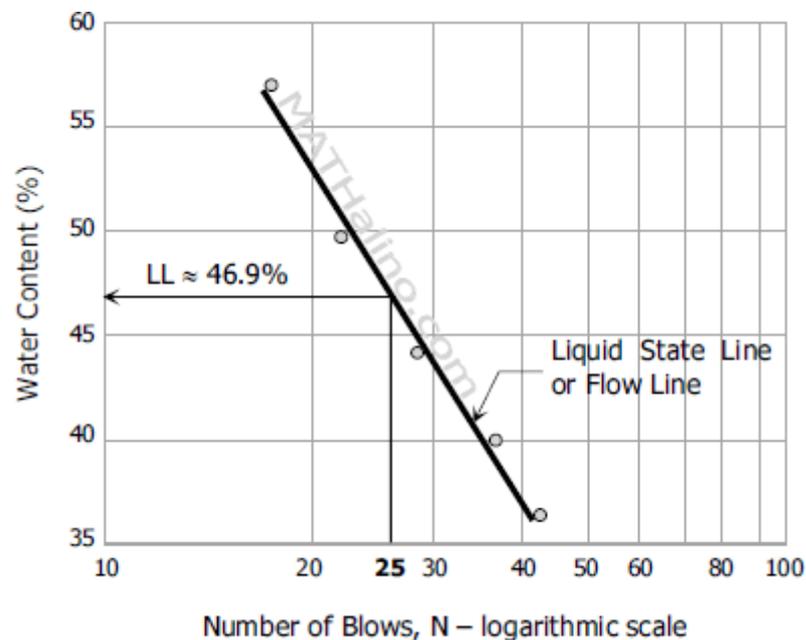
$$LL = w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{tg \beta} \quad (2.13)$$

dengan:

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

w_N = kadar air

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



Gambar 2.8 Kurva untuk Penentuan Batas Cair Lempung

Sumber : <https://mathalino.com/reviewer/geotechnical-engineering/consistency-soil-atterberg-limits>

b) Batas Plastis (*Plastic Limit*) PL

Batas plastis (PL) merupakan batas yang membatasi tanah dalam kondisi plastis dengan tanah dalam kondisi semi-padat. Lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.7. PL didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara kedua daerah tersebut, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 1/8" atau 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Nilai PL akan dikurangi oleh

nilai LL untuk membentuk indeks plastisitas (*plasticity index*) atau biasa disingkat sebagai PI. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis, dinyatakan dalam persamaan:

$$PI = LL - PL \quad (2.14)$$

dengan:

PI = indeks plastisitas

LL = batas cair

PL = batas plastis

PI merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Oleh karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh *Atterberg* pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

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

Sumber : Hardiyatmo, 2012

c) Batas Susut (*Shrinkage Limit*) SL

Batas susut (PL) merupakan batas yang membatasi tanah dalam kondisi semi-padat dengan tanah dalam kondisi padat. Lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.7. Tanah akan mengalami penyusutan bila air yang dikandungnya secara perlahan hilang dari dalam tanah. Dengan hilangnya air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak akan menyebabkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin

diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dengan air raksa. Batas susut dinyatakan dalam persamaan:

$$SL = \left\{ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right\} \times 100\% \quad (2.15)$$

dengan:

- m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (g)
- m_2 = berat tanah kering oven (g)
- v_1 = volume tanah basah dalam cawan (cm³)
- v_2 = volume tanah kering oven (cm³)
- γ_w = berat volume air (g/cm³)

2.2.4. Sifat-sifat Mekanis Tanah

Tanah memiliki berbagai macam sifat mekanis (*engineering properties*), namun pada penelitian ini hanya dicari nilai kadar air optimum (*optimum moisture content*)/OMC dan berat isi kering maksimum (*maximum dry density*)/MDD dengan uji pemadatan standar proktor. Selain itu, pada penelitian ini juga akan dicari nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dengan uji CBR laboratorium.

a. Pemadatan Tanah

Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat isi keringnya (γ_d). Berat isi kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air. Oleh karena itu, tanah yang sudah dipadatkan di lapangan kemudian terkena hujan sehingga kadar airnya meningkat tidak akan mengalami perubahan berat isi kering selama volume total tanah tetap. Hal ini disebabkan oleh berat isi kering yang memiliki rumus:

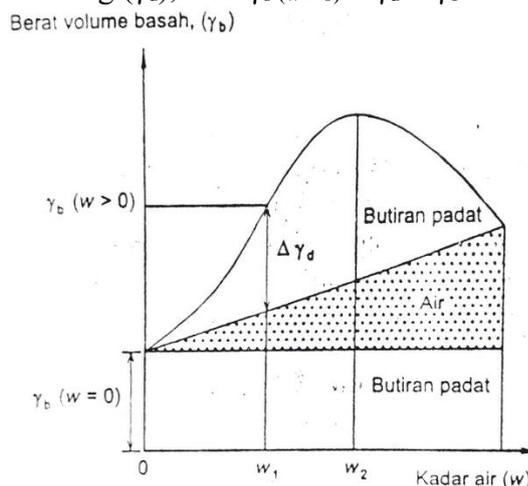
$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.16)$$

dengan:

- γ_d = berat isi kering (g/cm³)
- W_s = berat butiran (g)
- V = volume total tanah (cm³)

Bila berat butiran (W_s) dan volume total (V) tetap maka nilai berat isi kering (γ_d) tidak akan berubah. Pada pemadatan dengan beban dinamis, proses bertambahnya berat isi kering tanah (γ_d) sebagai akibat pemadatan partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan volume air tetap tidak berubah. Saat air ditambahkan pada pemadatan, air ini melunakkan partikel-partikel tanah. Partikel-partikel tanah menggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat.

Menurut Hardiyatmo (2012: 80), prinsip-prinsip pemadatan tanah, saat dilakukan uji pemadatan di laboratorium, diterangkan dalam Gambar 2.9 (Johnson dan Sallberg, 1960). Pada awal pemadatan, berat isi kering (γ_d) bertambah dengan ditambahkan kadar air. Pada kadar air nol ($w = 0$), berat isi tanah basah (γ_b) sama dengan berat isi tanah kering (γ_d), atau $\gamma_b(w=0) = \gamma_d = \gamma_1$.



Gambar 2.9 Prinsip-prinsip Pemadatan (Johnson dan Sallberg, 1960)

Sumber : Hardiyatmo, 2012

Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan (γ_d) juga bertambah. Misalnya, pada saat kadar air sama dengan w_1 , maka berat isi basah (γ_b) menjadi $\gamma_b = \gamma_2$. Berat isi kering (γ_d) pada kadar air tersebut $\gamma_d(w = w_1) = \gamma_d(w = 0) + \Delta \gamma_d$. Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu $w = w_2$ (saat kadar air optimum), kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air saat berat volume kering mencapai maksimum (γ_{dmax}) disebut kadar air optimum (w_{opt}).

Dari penjelasan di atas dapat diartikan bahwa berat isi kering tanah (γ_d) akan terus mengalami kenaikan bila ditambah kadar airnya hingga mencapai

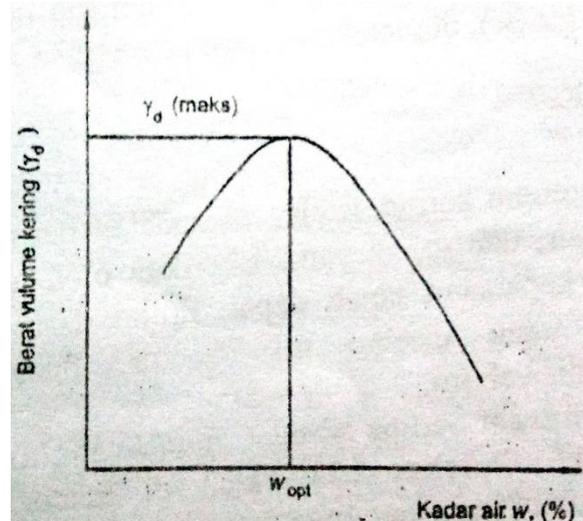
kadar air optimum (*optimum moisture content*) atau OMC. Pada kondisi OMC akan didapat berat isi kering maksimum (*maximum dry density*) atau MDD. Bila kadar air yang ditambahkan melebihi OMC maka akan terjadi penurunan nilai berat isi kering (γ_d) dikarenakan air akan mengisi rongga yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Untuk menentukan hubungan kadar air (w) dengan berat isi (γ), serta untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Ada hubungan yang pasti antara kadar air (w) dan berat isi kering tanah padat (γ_d). Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya terdapat satu nilai kadar air optimum (w_{opt}) tertentu untuk mencapai berat isi kering maksimumnya (γ_{dmax}). Hubungan antara berat isi kering (γ_d) dengan berat isi tanah basah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (2.17)$$

dengan:

- γ_d = berat isi kering (g/cm^3)
- γ_b = berat isi basah (g/cm^3)
- w = kadar air (%)

Berat isi kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proktor. Pada uji pemadatan proktor, percobaan diulang minimal 5 kali dengan kadar air tiap percobaan yang divariasikan. Setelah itu, gambarkan grafik hubungan antara kadar air (w) dengan berat isi keringnya (γ_d). Kurva yang dihasilkan dari pengujian ini akan memperlihatkan nilai kadar air optimum (w_{opt}) untuk mencapai berat isi kering maksimum (γ_{dmax}). Contoh kurva dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.10 Kurva Hubungan Kadar Air (w) dan Berat Isi Kering (γ_d)

Sumber : Hardiyatmo, 2012

Kemungkinan berat isi kering maksimum (γ_d) dinyatakan sebagai berat isi kering dengan tanpa rongga udara (*zero air void*) atau berat isi kering saat tanah menjadi jenuh (γ_{zav}), dapat dihitung dengan persamaan:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_S \gamma_w}{1 + w G_S} \quad (2.18)$$

dengan:

- γ_{zav} = berat isi kering saat tanah menjadi jenuh (g/cm^3)
- G_S = berat jenis tanah
- γ_w = berat isi air (g/cm^3)
- w = kadar air (%)

Karena pada saat tanah jenuh ($S = 1$) dan $e = w G_S$, maka:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_S \gamma_w}{1 + e} \quad (2.19)$$

dengan:

- γ_{zav} = berat isi kering saat tanah menjadi jenuh (g/cm^3)
- G_S = berat jenis tanah
- γ_w = berat isi air (g/cm^3)
- e = angka pori

b. Pemeriksaan CBR Laboratorium

California Bearing Ratio atau disingkat CBR merupakan sebuah perbandingan antara beban penetrasi dari suatu lapisan tanah atau perkerasan

terhadap bahan standar (batu pecah) yang dilakukan dengan kedalaman serta kecepatan penetraasi yang juga sama. Pengujian CBR digunakan dalam perencanaan jalan. Pelaksanaan pengujian CBR diatur langsung dalam SNI. Ada dua metode pengujian CBR, yaitu pengujian CBR langsung di lapangan dan pengujian CBR di laboratorium.

Pengujian nilai CBR (*California Bearing Ratio*) di laboratorium dimaksudkan untuk menentukan CBR tanah dasar (*subgrade*) dan campuran agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Percobaan ini bersifat empiris, yaitu mengukur tahanan geser tanah pada kondisi kadar air dan kepadatan tertentu, untuk menentukan nilai kekuatan (daya dukung) relatif tanah dasar (*subgrade*) atau bahan-bahan lain yang dipakai untuk perkerasan yang dinyatakan dalam nilai CBR. Nilai CBR dinyatakan dalam persen.

Menurut Budi (2011: 63), prinsip dasar dari pengujian CBR adalah membandingkan besarnya beban (gaya) yang diperlukan untuk menekan torak dengan luas penampang 3 in2 ke dalam lapisan perkerasan sedalam 0,1” (2,54 mm) atau 0,2” (5,08 mm) dengan beban standar. Oleh karena itu, kekokohan lapisan perkerasan dinyatakan dalam “kekokohan relatif” atau persen kekokohan. Besarnya beban standar untuk penetrasi 0,1” adalah 3000 lbs (*pounds*) atau sekitar 1350 kg, sedangkan besarnya beban standar untuk penetrasi 0,2” adalah 4500 lbs atau sekitar 2025 kg. Satu hal yang perlu diingat bahwa pengujian CBR hanya mengukur kekokohan relatif dari lapisan permukaan tanah, karena diameter penampang torak yang dipergunakan hanya sekitar 4,96 cm, sehingga daerah (volume) lapisan tanah di bawah torak yang terpengaruh tekanan (stress bulb) hanya di permukaan.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian CBR laboratorium ini meliputi CBR *test set*, cetakan logam, piringan pemisah dari logam (*spacer disk*), alat penumbuk, torak penetrasi dari logam, alat timbang, dan *stopwatch*. Pelaksanaannya sendiri dilakukan dengan meletakkan keping pemberat di atas permukaan benda uji sesuai aturan, kemudian atur torak penetrasi pada permukaan benda uji sehingga arloji beban menunjuk beban permulaan sebesar 5 kg, lalu

berikan pembebanan dengan teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati 0,05” permenit, catat pembacaan pembebanan sesuai peraturan, terakhir keluarkan benda uji dari cetakan.

Nilai beban terkoreksi harus ditentukan untuk setiap benda uji pada penetrasi 0,1” (2,54 mm) dan 0,2” (5,08 mm). Nilai CBR, dinyatakan dalam persen, diperoleh dengan membagi nilai beban terkoreksi pada penetrasi 0,1” (2,54 mm) dan 0,2” (5,08 mm) dengan beban standar secara berurutan sebesar 13 kN (3000 lbs) dan 20 kN (4500 lbs) dan kalikan dengan 100, lihat persamaan:

$$CBR = \frac{\text{Beban terkoreksi}}{\text{Beban standar}} \times 100 \quad (2.20)$$

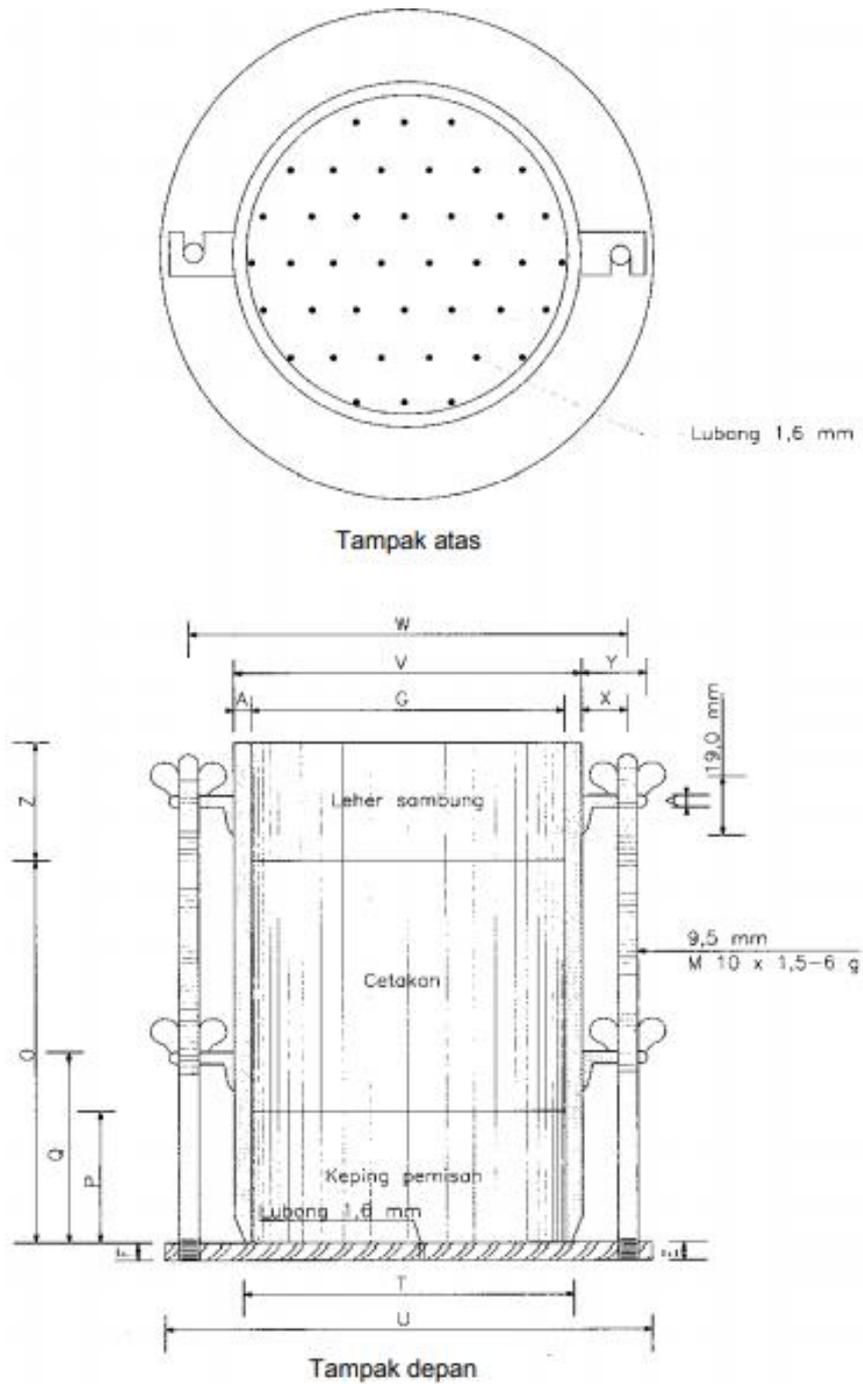
CBR umumnya dipilih pada penetrasi 0,1” (2,54 mm). Jika CBR pada penetrasi 0,2” (5,08 mm) lebih besar dari CBR pada penetrasi 0,1” (2,54 mm), pengujian CBR harus diulang. Bila setelah diulang tetap memberikan hasil yang serupa, maka CBR pada penetrasi 0,2” (5,08 mm) harus digunakan. Kualitas CBR *subgrade* menurut AASHTO dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.6 Daya Dukung Tanah Dari Nilai CBR

No	CBR	Daya Dukung Tanah
	(%)	
1	2 – 5	Jelek
2	6 – 9	Sedang
3	> 9	Baik

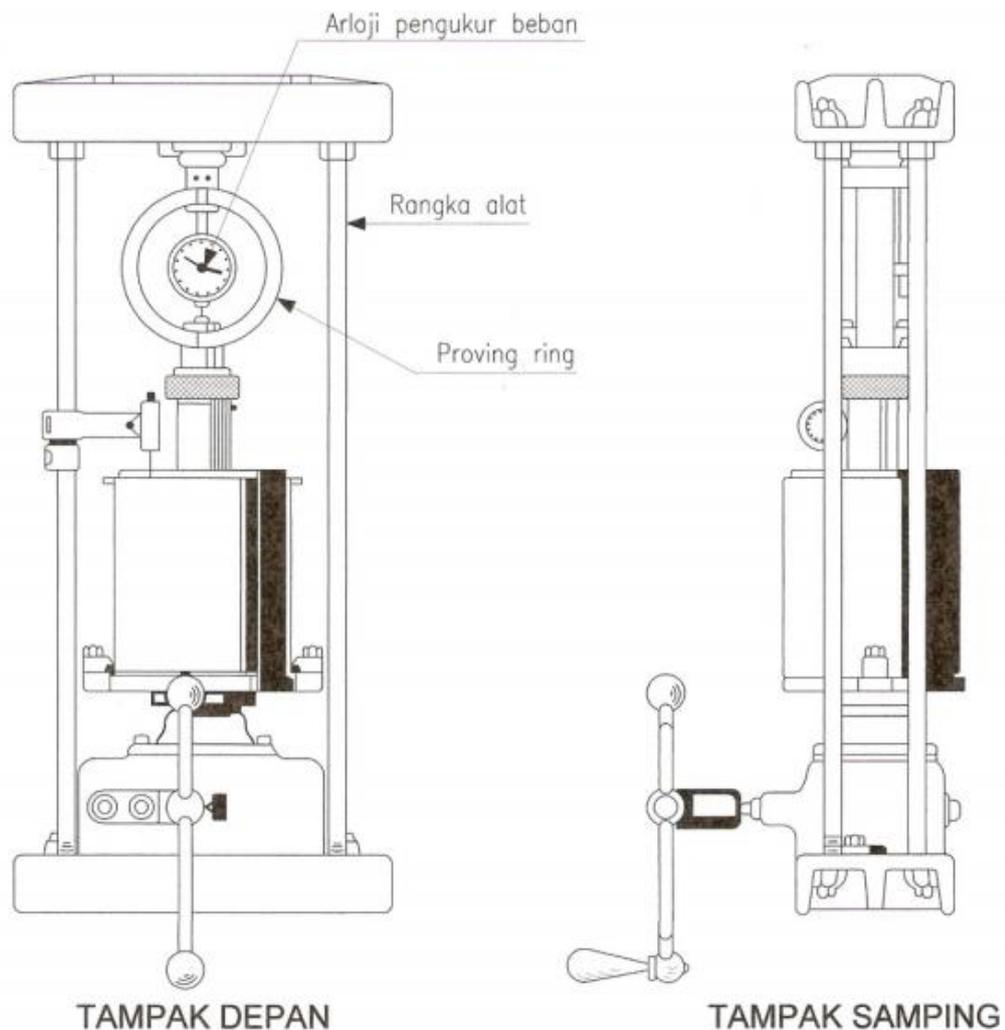
Sumber : <https://engineeringsawit.blogspot.com/2017/05/pengujian-material-tanah-laterite-cbr.html>

Berdasarkan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa bila nilai CBR tanah dasar mencapai 9% dari angka standar batu pecah, yaitu 100%, maka tanah dasar tersebut dikategorikan sebagai tanah yang baik untuk digunakan sebagai *subgrade*.



Gambar 2.11 Cetakan Uji CBR Laboratorium

Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2012



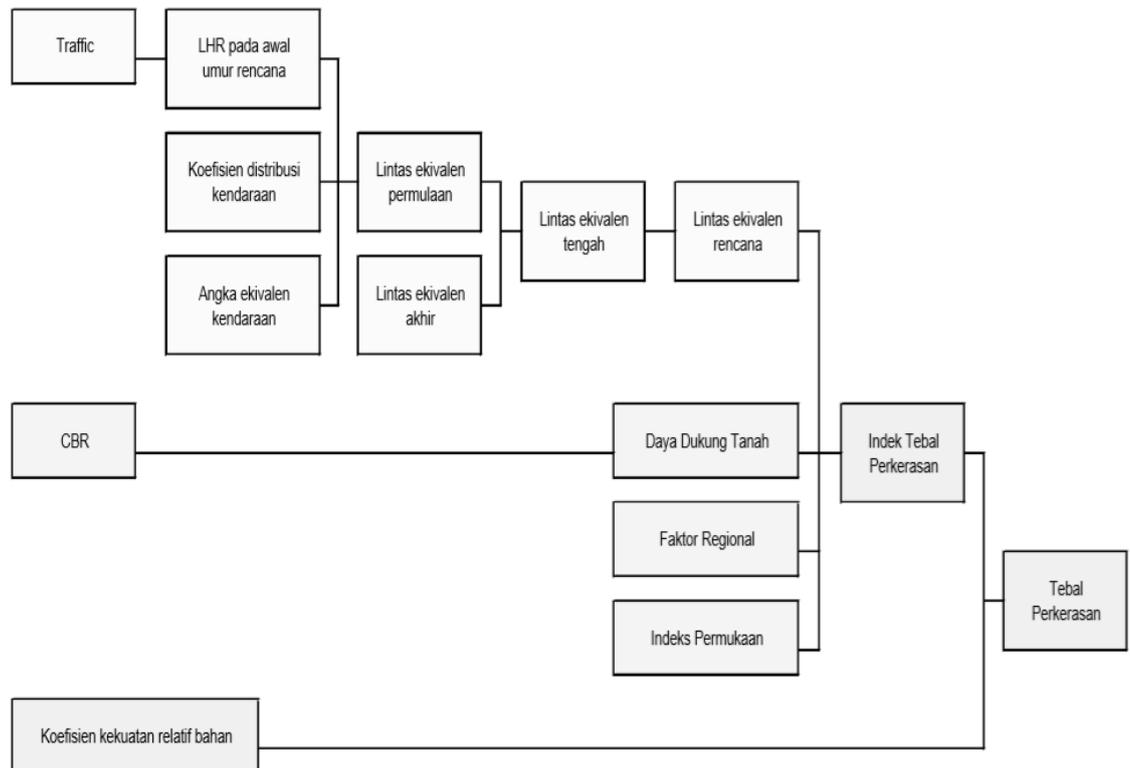
Gambar 2.12 Alat Uji Penetrasi CBR Laboratorium

Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2012

2.3. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Analisa

Komponen

Jenis perkerasan yang akan direncanakan dalam penelitian ini adalah perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan lentur adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Berikut adalah bagan perencanaan *flexible pavement* dengan menggunakan Metode Analisa Komponen.



Gambar 2.13 Bagan Alir Prosedur Perencanaan Perkerasan Lentur Dengan Metode Analisa Komponen

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

2.3.1. Lalu Lintas (*Traffic*)

a. Jumlah Jalur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jalur rencana merupakan salah satu jalur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas jalur, maka jumlah jalur ditentukan dari lebar perkerasan menurut daftar di bawah:

Tabel 2.7 Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur (n)
$L < 5,5$ m	1
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25$ m	2
$8,25 \text{ m} \leq L < 11,25$ m	3
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00$ m	4
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75$ m	5
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,00$ m	6

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan menurut daftar di bawah ini:

Tabel 2.8 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan *)		Kendaraan Berat (**)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1	1,00	1,00	1,00	1,000
2	0,60	0,50	0,70	0,500
3	0,40	0,40	0,50	0,475
4	-	0,30	-	0,450
5	-	0,25	-	0,425
6	-	0,20	-	0,400

*) berat total < 5 ton, misalnya mobil penumpang, *pick up*, mobil hantaran

***) berat total > 5 ton, misalnya bus, truk, traktor, *semi-trailer*, *trailer*.

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

b. Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Angka Ekuivalen (E) beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal/ganda kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal sebesar 8,16 ton (18000 lbs). E masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus di bawah ini:

$$E = k \left(\frac{L}{8,16} \right)^4 \quad (2.21)$$

dengan:

L = beban sumbu kendaraan (ton)

k = 1 (untuk sumbu tunggal)

= 0,086 (untuk sumbu tandem)

= 0,021 (untuk sumbu *triple*)

Berdasarkan rumus tersebut maka nilai E dapat diketahui. Untuk lebih jelasnya ada pada Tabel 2.8.

Tabel 2.9 Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Beban Sumbu		Angka Ekuivalen	
kg	lbs	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121

Beban Sumbu		Angka Ekuivalen	
kg	lbs	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
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	0,7452
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35276	14,7815	1,2712

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

c. Lalu Lintas Harian Rata-rata dan Rumus-rumus Lintas Ekuivalen

a) Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR) setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana, yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median atau masing-masing arah pada jalan dengan median.

b) Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j \quad (2.22)$$

Catatan: j = jenis kendaraan.

c) Lintas Ekuivalen Akhir (LEA) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR_j (1 + i)^{UR} \times C_j \times E_j \quad (2.23)$$

Catatan: i = perkembangan lalu lintas
j = jenis kendaraan.

d) Lintas Ekuivalen Tengah (LET) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$LET = \frac{1}{2} \times (LEP + LEA) \quad (2.24)$$

e) Lintas Ekuivalen Rencana (LER) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$LER = LET \times FP \quad (2.25)$$

Faktor Penyesuaian (FP) tersebut ditentukan dengan rumus:

$$FP = \frac{\text{Umur Rencana}}{10} \quad (2.26)$$

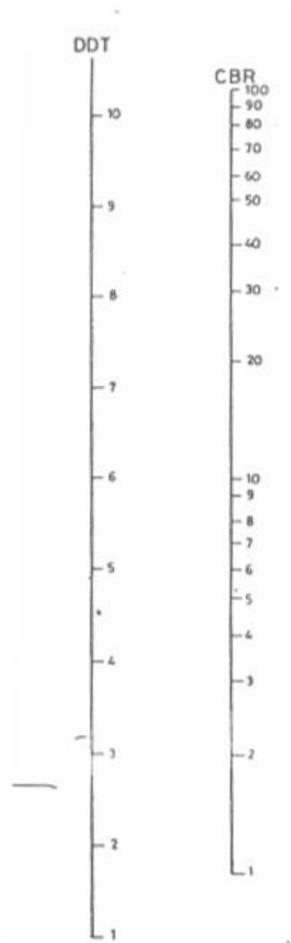
2.3.2. CBR (California Bearing Ratio)

a. Daya Dukung Tanah (DDT) dan CBR

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi (Gambar 2.13.). Yang dimaksud dengan harga CBR disini adalah harga CBR lapangan atau CBR laboratorium. Jika digunakan CBR lapangan maka pengambilan contoh tanah dasar dilakukan dengan tabung (*undisturbed*), kemudian direndam dan diperiksa harga CBR-nya. Dapat juga mengukur langsung di lapangan pada musim hujan atau dengan direndam. CBR lapangan biasanya digunakan untuk perencanaan lapis tambahan (*overlay*). Jika dilakukan menurut Pengujian Kepadatan Ringan (SKBI 3.3. 30.1987/UDC 624.131.43 (02) atau Pengujian Kepadatan Berat (SKBI 3.3. 30.1987/UDC 624.131.53 (02) sesuai dengan kebutuhan. CBR laboratorium biasanya digunakan untuk perencanaan pembangunan jalan baru. Sementara ini dianjurkan untuk mendasarkan daya dukung tanah dasar hanya kepada pengukuran nilai CBR. Cara-cara lain hanya digunakan bila telah disertai data-data yang dapat dipertanggungjawabkan. Cara-cara lain tersebut dapat berupa: *Group Index*, *Plate Bearing Test* atau *R-value*. Harga yang mewakili dari sejumlah harga CBR yang dilaporkan, ditentukan sebagai berikut:

- a) Tentukan harga CBR terendah.
- b) Tentukan berapa banyak harga dari masing-masing nilai CBR yang sama dan lebih besar dari masing-masing nilai CBR.
- c) Angka jumlah terbanyak dinyatakan sebagai 100%. Jmlah lainnya merupakan persentase dari 100%.

- d) Dibuat grafik hubungan antara harga CBR dan persentase jumlah tadi.
- e) Nilai CBR yang mewakili adalah yang didapat dari angka persentase 90%.



Gambar 2.14 Korelasi DDT dan CBR

Catatan: Hubungan nilai CBR dengan garis mendatar sebelah kiri diperoleh nilai DDT.

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

b. Faktor Regional (FR)

Keadaan lapangan mencakup permeabilitas tanah, perlengkapan drainase, bentuk alinyemen serta persentase kendaraan dengan berat 13 ton, dan kendaraan yang berhenti, sedangkan keadaan iklim mencakup curah hujan rata-rata per tahun. Mengingat persyaratan penggunaan disesuaikan dengan “Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jalan Raya” edisi terakhir, maka pengaruh keadaan lapangan yang menyangkut permeabilitas tanah dan perlengkapan drainase dapat

dianggap sama. Dengan demikian dalam penentuan tebal perkerasan ini, FR hanya dipengaruhi oleh bentuk alinyemen (kelandaian dan tikungan), persentase kendaraan berat yang berhenti serta iklim (curah hujan) sebagai berikut:

Tabel 2.10 Faktor Regional (FR)

	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 dengan 1,0

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

c. Indeks Permukaan (IP)

Indeks Permukaan ini menyatakan nilai daripada kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan yang berkaitan dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat. Adapun beberapa nilai IP beserta artinya adalah seperti yang tersebut di bawah ini:

IP = 1,0 adalah 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 adalah menyatakan permukaan jalan yang masih cukup stabil dan baik.

Dalam menentukan indeks permukaan (IP) pada akhir umur rencana, perlu dipertimbangkan faktor-faktor klasifikasi fungsional jalan dan jumlah Lintas Ekuivalen Rencana (LER), menurut daftar di bawah ini:

Tabel 2.11 Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER = Lintas Ekivalen Recana *)	Klasifikasi 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 ekivalen 8,16 ton beban sumbu tunggal

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

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

Dalam menentukan indeks permukaan awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan/kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana, menurut daftar di bawah ini:

Tabel 2.12 Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (IPo)

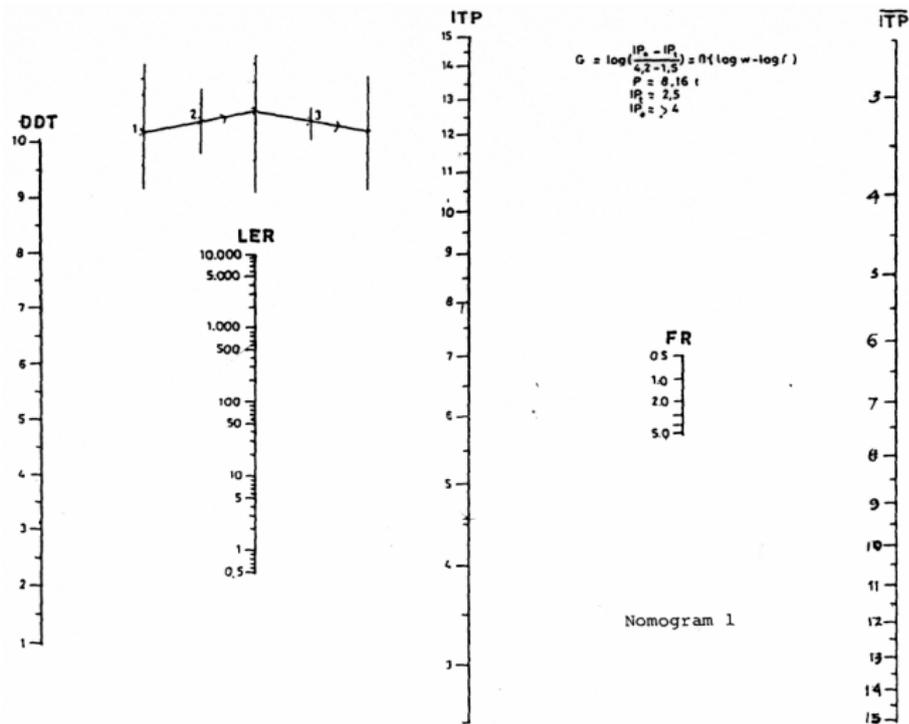
Jenis Permukaan	IPo	Roughness *) (mm/km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000
	3,9-3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9-3,5	≤ 2000
	3,4-3,0	> 2000
HRA	3,9-3,5	≤ 2000
	3,4-3,0	> 2000
BURDA	3,9-3,5	< 2000
BURTU	3,4-3,0	< 2000
LAPEN	3,4-3,0	≤ 3000
	2,9-2,5	> 3000
LATASBUM	2,9-2,5	
BURAS	2,9-2,5	
LATASIR	2,9-2,5	
JALAN TANAH	$\leq 2,4$	
JALAN KERIKIL	$\leq 2,4$	

*) Alat pengukur roughness yang dipakai adalah *roughometer* NAASRA, yang dipasang pada kendaraan standar Datsun 1500 *station wagon*, dengan kecepatan kendaraan ± 32 km per jam. Gerakan sumbu belakang dalam arah vertikal dipindahkan pada alat *roughometer* melalui kabel yang dipasang di tengah-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 *body* kendaraan. Alat pengukur *roughness* tipe lain dapat digunakan dengan mengkalibrasikan hasil yang diperoleh terhadap *roughometer* NAASRA.

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

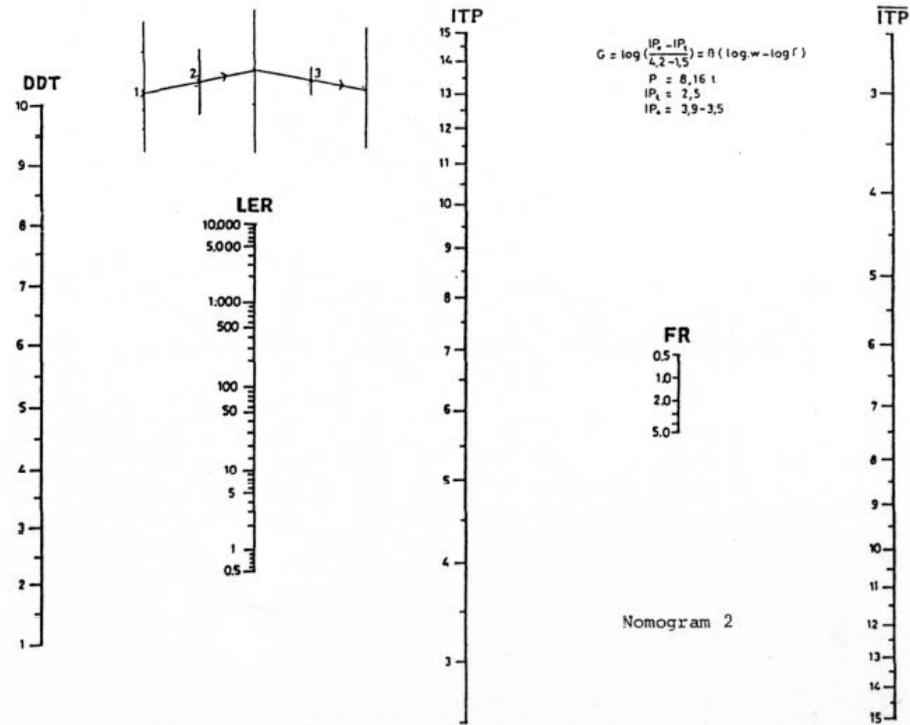
d. Nomogram

Nomogram digunakan untuk mencari nilai ITP berdasarkan nilai IP, IPO, DDT, LER dan FR yang sudah diketahui. Penentuan nilai ITP dilakukan dengan cara menarik garis lurus antar titik dari nilai-nilai tersebut. Nomogram-nomogram yang digunakan adalah sebagai berikut:



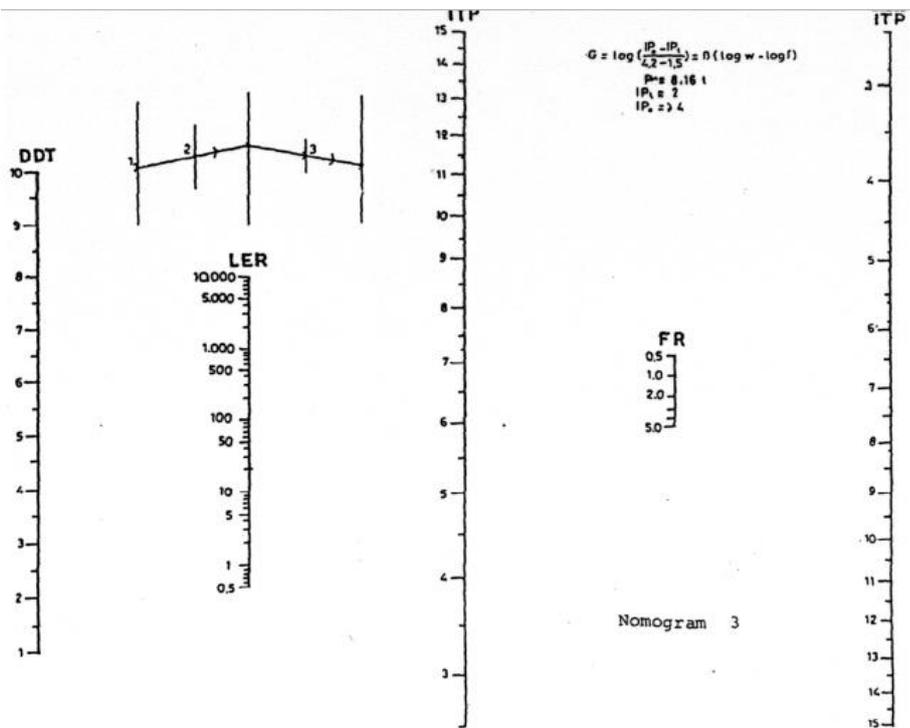
Gambar 2.15 Nomogram 1

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987



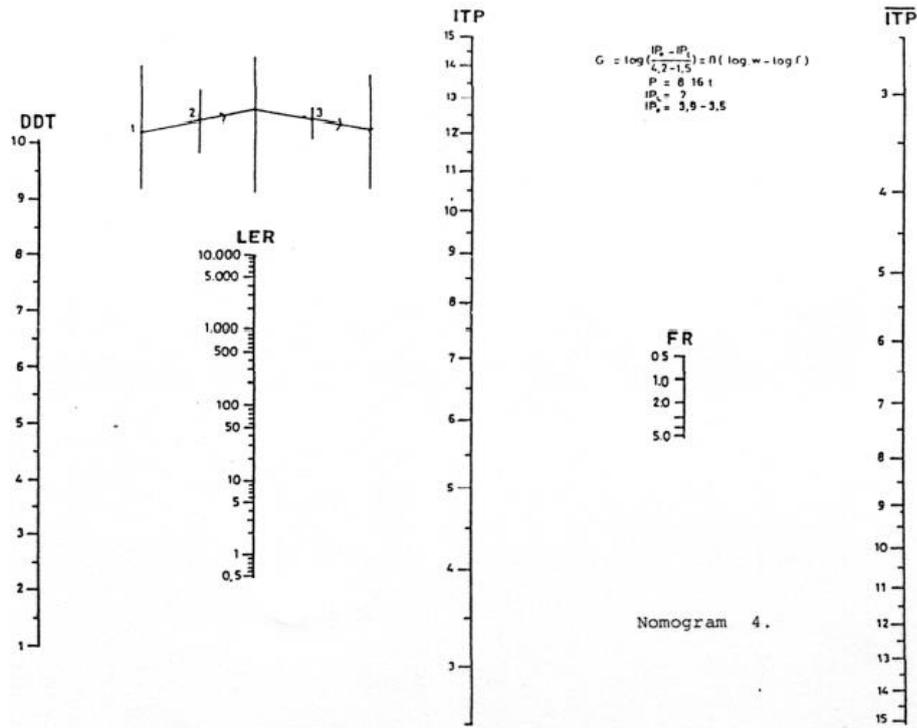
Gambar 2.16 Nomogram 2

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987



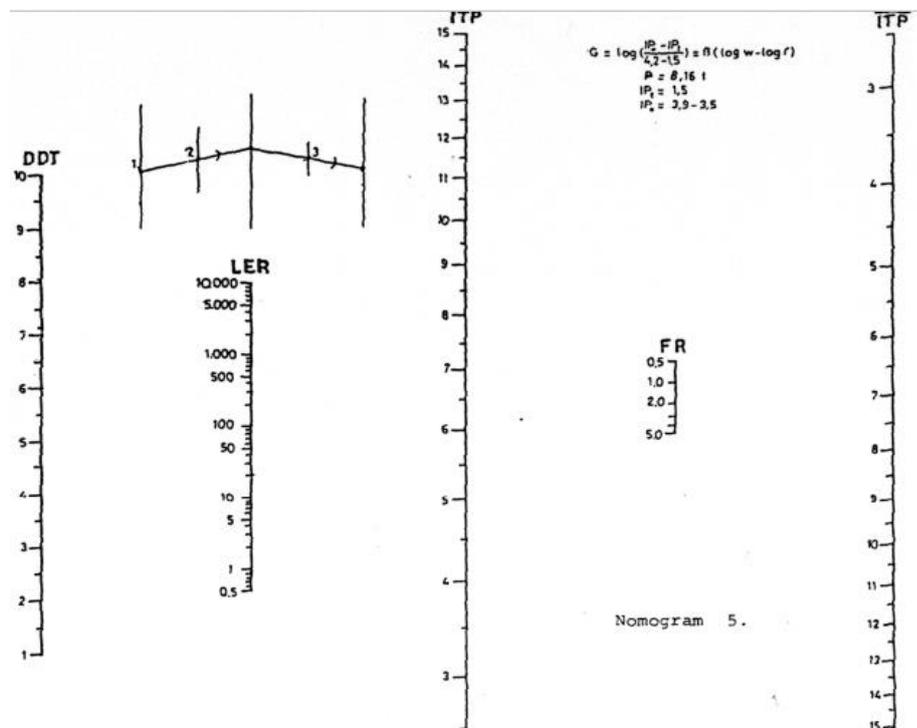
Gambar 2.17 Nomogram 3

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987



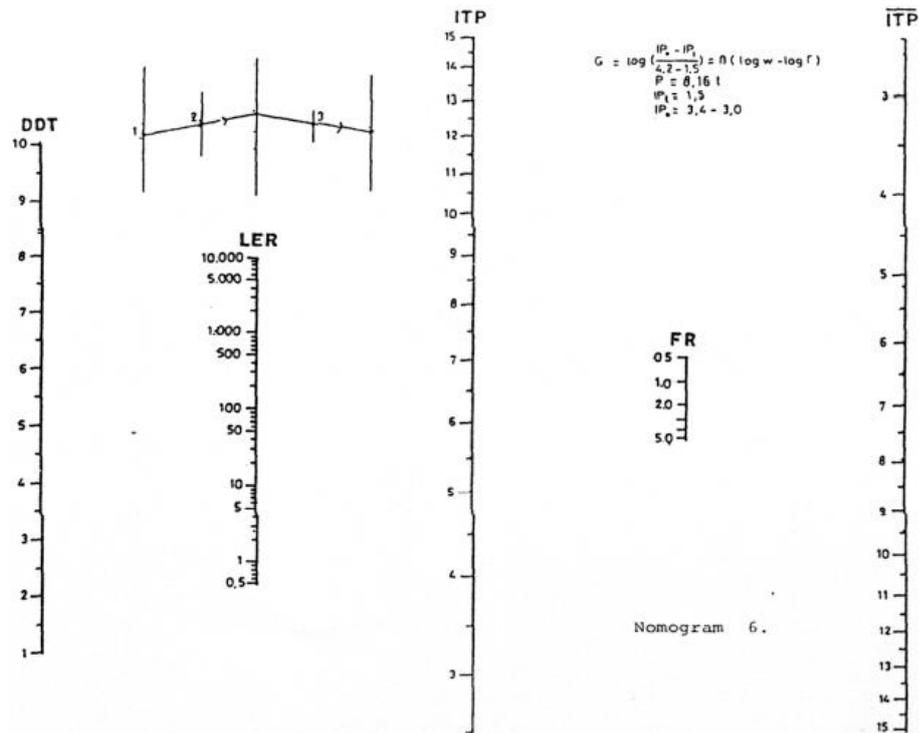
Gambar 2.18 Nomogram 4

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987



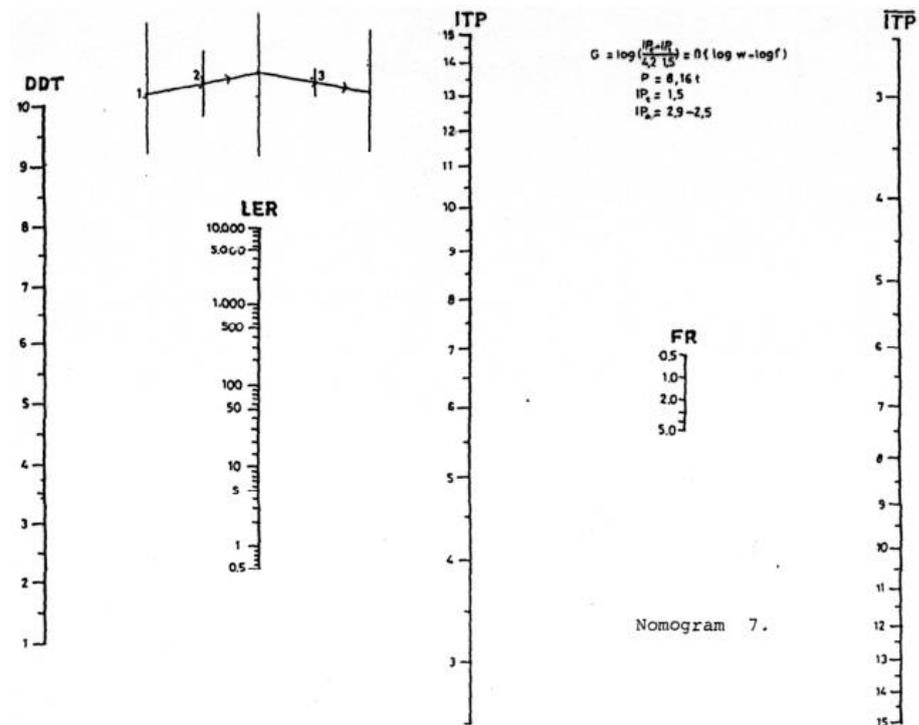
Gambar 2.19 Nomogram 5

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987



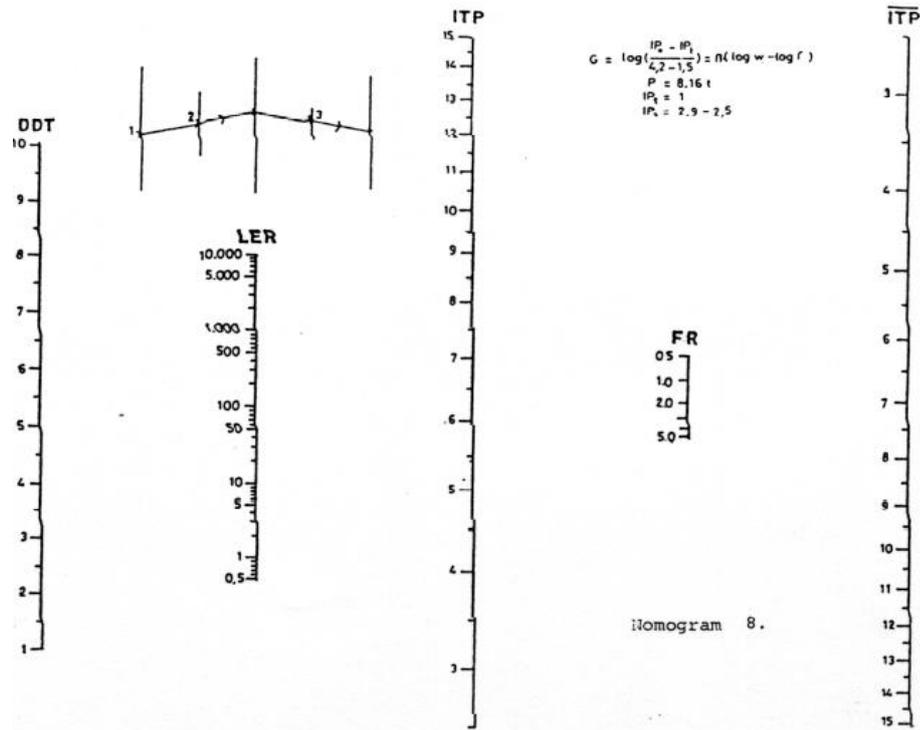
Gambar 2.20 Nomogram 6

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987



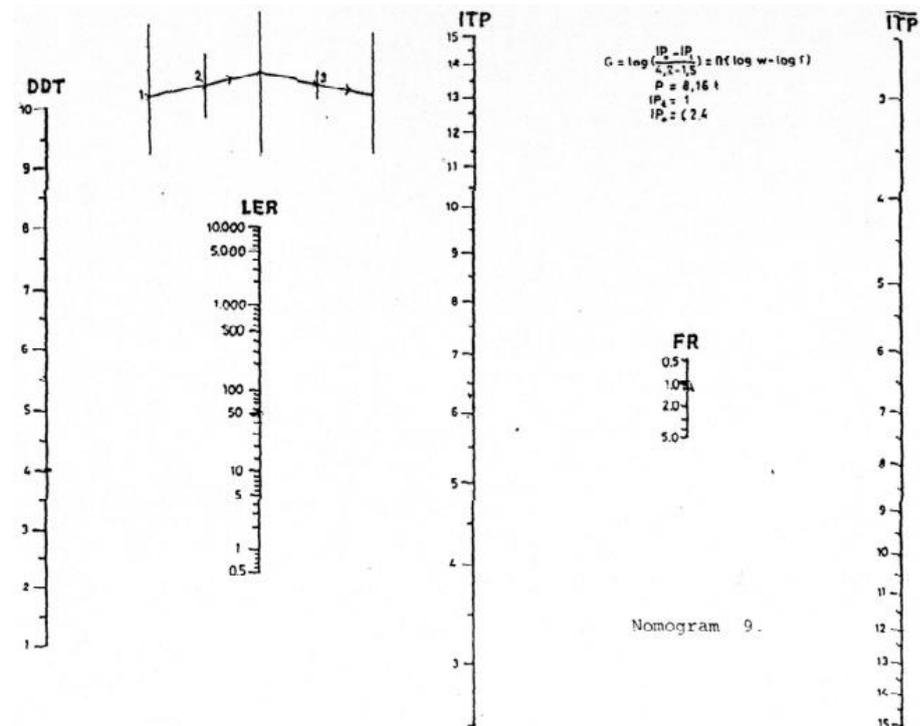
Gambar 2.21 Nomogram 7

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987



Gambar 2.22 Nomogram 8

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987



Gambar 2.23 Nomogram 9

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

2.3.3. Koefisien Kekuatan Relatif Bahan (a)

Koefisien kekuatan relatif (a) masing-masing bahan dan kegunaannya sebagai lapis permukaan, pondasi, pondasi bawah, ditentukan secara korelasi sesuai nilai *Marshall Test* (untuk bahan dengan aspal), kuat tekan (untuk bahan yang distabilisasi dengan semen atau kapur), atau CBR (untuk bahan lapis pondasi bawah). Jika alat *Marshall Test* tidak tersedia, maka kekuatan (stabilitas) bahan beraspal bisa diukur dengan cara lain seperti *Hveem Test*, *Hubbard Field*, dan *Smith Triaxial*. Lapis permukaan terdiri dari berbagai macam bahan seperti:

a. Lapis Aspal Beton (LASTON)

Lapis Aspal Beton (LASTON) adalah merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

b. Lapis Penetrasi Makadam (LAPEN)

Lapis Penetrasi Macadam (LAPEN) adalah merupakan suatu lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dengan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal keras dengan cara disemprotkan diatasnya dan dipadatkan lapis demi lapis dan apabila akan digunakan sebagai lapis permukaan perlu diberi laburan aspal dengan batu penutup.

c. Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG)

Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG) adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, asbuton, bahan peremaja dan filler (bila diperlukan) yang dicampur, dihampar dan dipadatkan secara dingin.

d. Hot Rolled Asphalt (HRA)

Hot Rolled Asphalt (HRA) merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

e. Laburan Aspal (BURAS)

Laburan Aspal (BURAS) adalah merupakan lapis penutup terdiri dengan ukuran butir maksimum dari lapisan aspal taburan pasir 9,6 mm atau 3/8 inch.

f. Laburan Batu Satu Lapis (BURTU)

Laburan Batu Satu Lapis (BURTU) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam. Tebal maksimum 20 mm.

g. Laburan Batu Dua Lapis (BURDA)

Laburan Batu Dua Lapis (BURDA) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi agregat yang dikerjakan dua kali secara berurutan. Tebal maksimum 35 mm.

h. Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (LASTON ATAS)

Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (LASTON ATAS) adalah merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu, dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.

i. Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah (LASTON BAWAH)

Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah (LASTON BAWAH) adalah pada umumnya merupakan lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan

tanah dasar jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan pada temperatur tertentu.

j. Lapis Tipis Aspal Beton

Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Tebal padat antara 25 sampai 30 mm.

k. Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR)

Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran pasir dan aspal keras yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

l. Aspal Makadam

Aspal Makadam adalah merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan/atau agregat pengunci bergradasi terbuka atau seragam yang dicampur dengan aspal cair, diperam dan dipadatkan secara dingin.

Tabel 2.13 Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
0,40	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,35	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal Macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (manual)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
-	0,28	-	590	-	-	Laston Atas
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah 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 stabilitas tanah dengan semen diperiksa pada hari ke-7. Kuat tekan stabilitas tanah dengan kapur diperiksa pada hari ke-21.

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

2.3.4. Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan

Tebal minimum lapisan perkerasan bergantung pada nilai ITP dan bahan yang digunakan, sebagai berikut:

a. Lapis Permukaan

Tabel 2.14 Tebal Minimum Lapis Permukaan

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

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

b. Lapis Pondasi

Tabel 2.15 Tebal Minimum Lapis Pondasi

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen,

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
	10	stabilitas tanah dengan kapur Laston Atas
7,50 – 9,99	20 15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam Laston Atas
10,00 – 12,14	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas
$\geq 12,25$	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

c. Lapis Pondasi Bawah

Tabel 2.16 Tebal Minimum Lapis Pondasi Bawah

Untuk setiap nilai ITP digunakan pondasi bawah, tebal minimum adalah 10 cm
--

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

2.3.5. Contoh Perhitungan Perencanaan Tebal Perkerasan Menggunakan

Metode Analisa Komponen

Contoh Perencanaan Perkerasan Jalan Baru untuk Lalu Lintas Tinggi

1. Rencanakan:

Tebal perkerasan untuk jalan 2 jalur, data lalu lintas tahun 1981 seperti di bawah ini, dan umur rencana : a). 10 tahun ; b). 20 tahun.

Jalan dibuka tahun 1985 (i selama pelaksanaan = 5 % per tahun)

2. Data-data:

Kendaraan ringan 2 ton 1000 kendaraan

Bus 8 ton 300 kendaraan

Truk 2 as 13 ton 50 kendaraan

Truk 3 as 20 ton 30 kendaraan

Truk 5 as 30 ton 10 kendaraan

LHR 1981 = 1390 kendaraan/hari/2 jalur

Perkembangan lalu lintas (i) : untuk 10 tahun = 8%

..... untuk 20 tahun = 6%

Bahan-bahan perkerasan:

- Asbuton (MS 744) $a_1 = 0,35$
- Batu pecah (CBR 100) $a_2 = 0,14$
- Sirtu (CBR 50) $a_3 = 0,12$

3. Penyelesaian

LHR pada tahun 1985 (awal umur rencana), dengan rumus : $(1 + i)^n$

Kendaraan ringan 2 ton	1215,5 kendaraan
Bus 8 ton.....	364,7 kendaraan
Truk 2 as 13 ton	60,8 kendaraan
Truk 3 as 20 ton	36,5 kendaraan
Truk 5 as 30 ton	12,2 kendaraan

LHR pada tahun ke-10 atau ke-20 (akhir umur rencana), Rumus $(1 + i)^n$

	10 tahun	20 tahun
Kendaraan ringan 2 ton	2624,2 kendaraan	3898,3 kendaraan
Bus 8 ton	787,4 kendaraan	1169,6 kendaraan
Truk 2 as 13 ton	131,3 kendaraan	195,0 kendaraan
Truk 3 as 20 ton	78,8 kendaraan	117,1 kendaraan
Truk 5 as 30 ton	26,3 kendaraan	39,1 kendaraan

Setelah dihitung angka Ekuivalen (E) masing-masing kendaraan sebagai berikut:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,0002 + 0,0002 = 0,0004$
Bus 8 ton	$0,0183 + 0,1410 = 0,1593$
Truk 2 as 13 ton	$0,1410 + 0,9238 = 1,0648$
Truk 3 as 20 ton	$0,2923 + 0,7452 = 1,0375$
Truk 5 as 30 ton	$1,0375 + 2(0,1410) = 1,3195$

Menghitung LEP:

Kendaraan ringan 2 ton	$0,50 \times 1215,5 \times 0,0004 = 0,243$
Bus 8 ton	$0,50 \times 364,7 \times 0,1593 = 29,046$
Truk 2 as 13 ton	$0,50 \times 60,8 \times 1,0648 = 32,370$
Truk 3 as 20 ton	$0,50 \times 36,5 \times 1,0375 = 18,934$
Truk 5 as 30 ton	$0,50 \times 12,2 \times 1,3195 = 8,048$

LEP = 88,643

Menghitung LEA

• 10 tahun:

$$\text{Kendaraan ringan 2 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 2524,2 \times 0,0004 = 0,525$$

$$\text{Bus 8 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 787,4 \times 0,1593 = 62,717$$

$$\text{Truk 2 as 13 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 131,3 \times 1,0648 = 69,904$$

$$\text{Truk 3 as 20 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 78,8 \times 1,0375 = 40,878$$

$$\text{Truk 5 as 30 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 26,3 \times 1,3195 = 17,350$$

$$\text{LEA}_{10} = 191,373$$

• 20 tahun:

$$\text{Kendaraan ringan 2 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 3898,3 \times 0,0004 = 0,780$$

$$\text{Bus 8 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 1169,6 \times 0,1593 = 93,159$$

$$\text{Truk 2 as 13 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 131,3 \times 1,0648 = 103,818$$

$$\text{Truk 3 as 20 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 117,1 \times 1,0375 = 60,746$$

$$\text{Truk 5 as 30 ton} \dots\dots\dots 0,50 \times 39,1 \times 1,3195 = 25,794$$

$$\text{LEA}_{20} = 248,297$$

Menghitung LET:

$$\text{LET}_{10} = \frac{1}{2} (\text{LEP} + \text{LEA}_{10}) \dots\dots\dots \frac{1}{2}(88,643 + 191,373) = 140$$

$$\text{LET}_{20} = \frac{1}{2} (\text{LEP} + \text{LEA}_{20}) \dots\dots\dots \frac{1}{2}(88,643 + 248,297) = 186$$

Menghitung LER:

$$\text{LER}_{10} = \text{LET}_{10} \times \text{UR}/10 \dots\dots\dots 140 \times 10/10 = 140$$

$$\text{LER}_{20} = \text{LET}_{20} \times \text{UR}/10 \dots\dots\dots 186 \times 10/10 = 372$$

Mencari ITP:

$$\text{CBR tanah dasar} = 3,4\% ; \text{DDT} = 4 ; \text{IP} = 2,0 ; \text{FR} = 1,0$$

$$\text{LER}_{10} = 140 \dots\dots\dots \text{ITP}_{10} = 7,7 (\text{IP}_0 = 3,9 - 3,5)$$

$$\text{LER}_{20} = 372 \dots\dots\dots \text{ITP}_{20} = 8,8 (\text{IP}_0 = 3,9 - 3,5)$$

Menetapkan tebal perkerasan:

• UR = 10 tahun

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$7,7 = 0,35 D_1 + 0,14 \cdot 20 + 0,12 \cdot 10 = 0,35 D_1 + 4$$

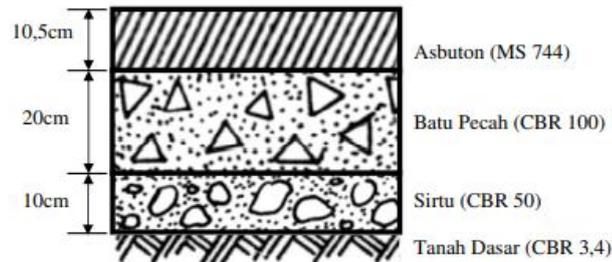
$$D_1 = 10,5 \text{ cm}$$

- Susunan Perkerasan:

Asbuton (MS 744) = 10,5 cm

Batu pecah (CBR 100) = 20 cm

Sirtu (CBR 50) = 10 cm



Gambar 2.24 Gambar Susunan Perkerasan UR 10 tahun

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987

- UR = 20 tahun

$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$8,8 = 0,35 D_1 + 0,14 \cdot 20 + 0,12 \cdot 10 = 0,35 D_1 + 4$$

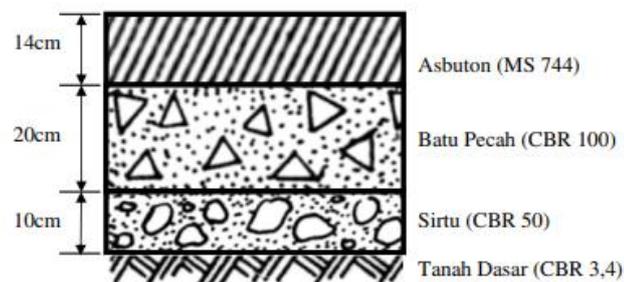
$$D_1 = 13,7 \approx 14 \text{ cm}$$

- Susunan Perkerasan:

Asbuton (MS 744) = 14 cm

Batu pecah (CBR 100) = 20 cm

Sirtu (CBR 50) = 10 cm



Gambar 2.25 Gambar Susunan Perkerasan UR 20 tahun

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 1987