

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan dibawahnya (DPU, 1987:1).

Perkerasan lentur jalan dibangun dengan susunan sebagai berikut:

1. Lapis permukaan, berfungsi untuk (DPU, 1987:5):
 - a. Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda
 - b. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca
 - c. Sebagai lapisan aus (*wearing course*)
2. Lapis pondasi atas, berfungsi untuk (DPU, 1987:5):
 - a. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda
 - b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan
3. Lapis pondasi bawah, berfungsi untuk (DPU, 1987:5):
 - a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
 - b. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (*penghematan biaya konstruksi*).
 - c. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi
 - d. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar

2.1.1 Metode Analisis Komponen Bina Marga

Parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan perkerasan lentur jalan adalah:

- 1) 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 ini (DPU, 2005b:4):

Tabel 2.1 Koefisien Distribusi Arah Kendaraan

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

Sumber: DPU (2005b:4)

* berat total < 5 Ton, misalnya : mobil penumpang, mobil barang, mobil hantaran

** berat total \geq 5 Ton, misalnya : bus, truck, traktor, semi triler, trailer

2) Nilai ekuivalen sumbu kendaraan (E)

Angka ekuivalen masing-masing golongan beban sumbu untuk setiap kendaraan ditentukan dengan rumus (DPU, 2005b:4-5):

a. Untuk sumbu tunggal

$$E = \left[\frac{P(\text{kg})}{8.160} \right]^4 \quad (2.1)$$

b. Untuk sumbu ganda

$$E = 0,086 \times \left[\frac{P(\text{kg})}{8.160} \right]^4 \quad (2.2)$$

c. Untuk sumbu tripel

$$E = 0,053 \times \left[\frac{P(\text{kg})}{8.160} \right]^4 \quad (2.3)$$

3) volume lalu lintas harian rata-rata (DPU, 1987:8)

a. Pada langkah perencanaan dilakukan, jumlah lalu lintas harian rata-rata untuk setiap jenis kendaraan dihitung untuk kedua arah pada jalan tanpa pembatas median.

b. Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP) secara analitis :

$$LEP = \sum_{j=1}^n \text{LHR}_{\text{awal } j} \times C_j \times E_j \quad (2.4)$$

di mana :

C_j = koefisien distribusi arah

j = masing-masing jenis kendaraan

c. Lintas Ekuivalen Akhir (LEA) secara analitis:

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR_{akhir_j} \times C_j \times E_j \text{ atau } LEA = LHR_{UR} \times C \times E \quad (2.5)$$

di mana :

j : jenis kendaraan

C_j : koefisien setiap jenis kendaraan

Kendaraan ringan $C = 0,2$

Kendaraan berat $C = 0,4$

E_j : Nilai ekivalen setiap jenis kendaraan

UR : Tahun Umur Rencana

d. Lintas Ekuivalen Tengah (LET), secara analitis :

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2} \quad (2.6)$$

e. Lintas Ekuivalen Rencana, secara analitis :

$$LER = LET \times FP \quad (2.7)$$

di mana :

FP = Faktor Penyesuaian

$$FP = \frac{UR}{10}$$

4) Umur Rencana (Deperpraswil, 2002:2)

Umur rencana adalah periode tahunan yang dimulai sejak pembukaan jalan hingga saat dianggap diperlukan perbaikan besar atau lapis permukaan yang baru.

5) Daya Dukung Tanah (DDT) (Bina Marga, 1987)

CBR (California Bearing Ratio) adalah tes untuk mengukur kekuatan tanah dasar dan material dasar jalan raya terhadap penetrasi.

- a. CBR lapangan, atau *field* CBR, atau $CBR_{inplace}$

Merupakan pengujian kekuatan tanah langsung untuk menilai kemampuan tanah dasar mendukung beban.

- b. CBR lapangan rendaman / *Undistrub soaked* CBR

Pengujian kekuatan tanah di Lokasi konstruksi yang dilakukan Ketika tanah direndam air selama periode tertentu.

- c. CBR rencana titik / desain CBR / CBR laboratorium

CBR rencana titik adalah nilai yang ditentukan dari hasil uji CBR lapangan atau laboratorium untuk merencanakan desain tebal lapisan perkerasan jalan. Nilai ini menggambarkan kekuatan tanah pada titik tertentu.

$$1. \text{ Secara analitis } CBR_{\text{segmen}} = CBR_{\text{rata-rata}} - (CBR_{\text{maks}} - CBR_{\text{min}}) / R$$

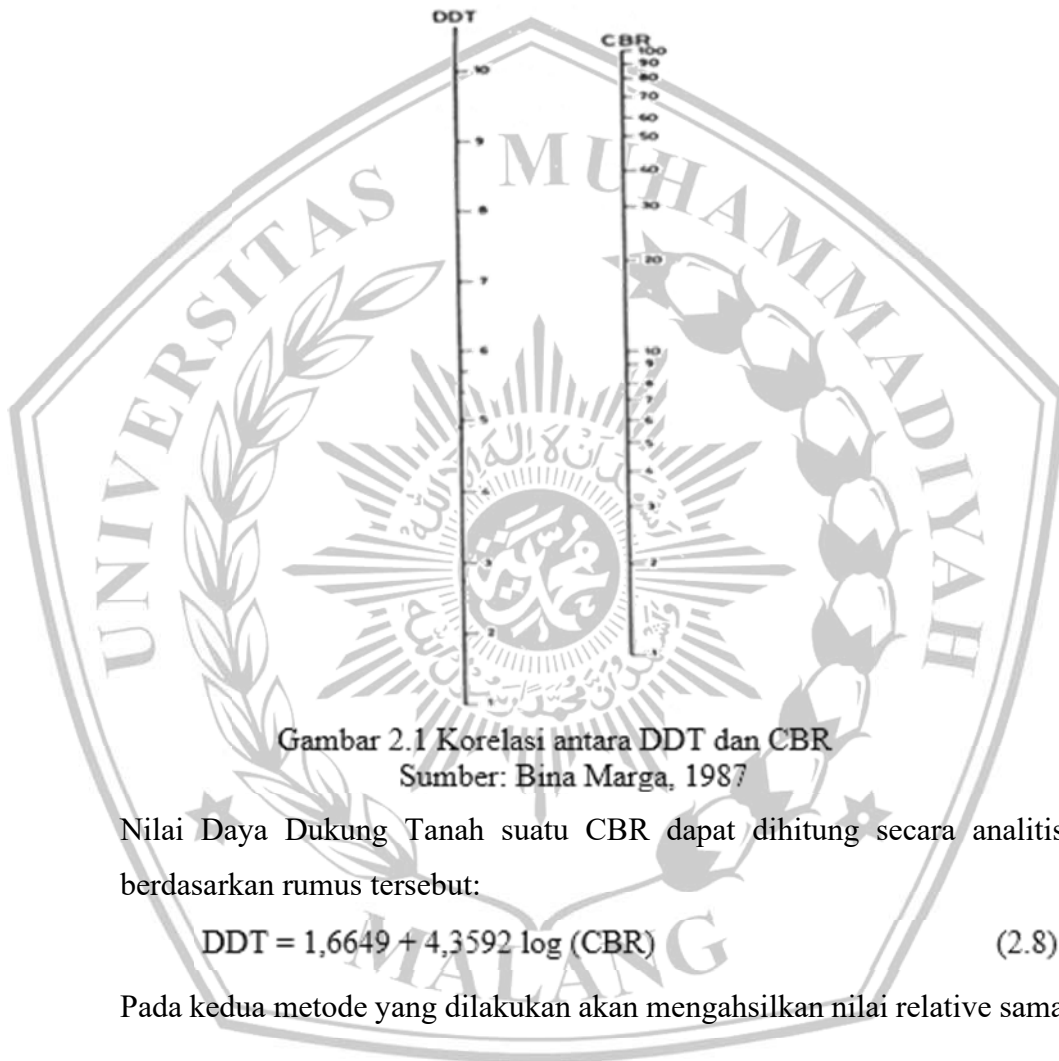
Dimana harga R tergantung dari jumlah data yang terdapat dalam satu segmen.

Tabel 2.2 Nilai R Untuk Perhitungan CBR Segmen

Jumlah Titik Pengamatan	Nilai R
2	1,41
3	1,91
4	2,24
5	2,48
6	2,67
7	2,83
8	2,96
9	3,08
>10	3,18

Sumber: Bina Marga 1987

2. berdasarkan nilai CBR_{segmen} diketahui maka nilai Daya Dukung Tanah dari hubungan grafik DDT dan CBR



Gambar 2.1 Korelasi antara DDT dan CBR
Sumber: Bina Marga, 1987

Nilai Daya Dukung Tanah suatu CBR dapat dihitung secara analitis berdasarkan rumus tersebut:

$$DDT = 1,6649 + 4,3592 \log (CBR) \quad (2.8)$$

Pada kedua metode yang dilakukan akan menghasilkan nilai relative sama

6) FR (Faktor Regional) (Bina Marga, 1987)

Faktor Regional termasuk bentuk alinyemen, permeabilitas tanah, system drainase, presentase kendaraan berat dengan MST lebih dari 13 ton.

Tabel 2.3 Faktor Regional (FR)

	Kelandaian I (< 6%)		Kelandaian II (6-10%)		Kelandaian III (> 10%)	
	% 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

Sumber: Bina Marga, 1987

7) Indeks Permukaan (IP) (Bina Marga, 1987)

Indeks permukaan menunjukkan Tingkat agregat dan kekuatan permukaan yang terkait dengan tingkat layanan yang diberikan kepada lalu lintas yang melintas. Nilai Indeks permukaan awal (IPo) dan indeks permukaan akhir (IPt) masing-masing ditentukan oleh jenis lapis permukaan dan Nilai LER. Nilai IPo dan IPt disajikan dalam table berikut:

Tabel 2.4 IP_o terhadap Jenis Lapis Permukaan

Jenis Lapis 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
Latasbum	2,9 - 2,5	> 3000
Buras	2,9 - 2,5	
Latasir	2,9 - 2,5	
Jalan Tanah	≤ 2,4	
Jalan Kerikil	≤ 2,4	

Sumber: (Bina Marga, 1987)

Tabel 2.5 Indeks Permukaan Akhir Umur Rencana (IPt)

LER	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 - 1.000	1,5 - 2,0	2,0	2,0 - 2,5	-
> 1.000	-	2,0 - 2,5	2,5	2,5

Sumber: Bina Marga, 1987

8) Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

Nilai ITP merupakan angka yang menunjukkan kekuatan struktural perkerasan jalan yang terdiri dari berbagai lapisan dengan kualitas berbeda. Nilai ini dihitung menggunakan nomogram dengan memasukkan data yang telah diketahui, seperti LER, nilai DDT, umur rencana, dan Faktor Regional yang didapat. (Bina marga,1987).

9) Koefisien Keuatan Bahan Relatif (a) (Bina Marga, 1987)

Tabel berikut menunjukkan koefisien kekuatan relative dari material yang dipilih sebagai lapis permukaan, lapisan atas, dan lapisan bawah:

Tabel 2.6 Koefisien Kekuatan Relatif

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (Kg)	Kt (kg/cm ²)	CBR (%)	
0,40			744			Laston
0,35			590			
0,32			454			
0,30			340			
0,35			744			Labustag
0,31			590			
0,28			454			
0,26			340			
0,30			340			HRA
0,26			340			Aspal 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		Stabilitas Tanah
	0,13			18		dengan semen
	0,15			22		Stabilitas Tanah
	0,13			18		dengan kapur
	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 Kelas A
		0,12			50	Sirtu Kelas B
		0,11			30	Sirtu Kelas C
		0,10			20	Tanah Lempung /
						Kepasiran

Sumber: Bina Marga, 1987

10) Tebal Minimal Lapis Perkerasan

Batas minimal lapis permukaan dan lapis pondasi menunjukkan ketebalan minimal lapis perkerasan. Untuk nilai ITP, batas minimal lapis pondasi bawah adalah 10 cm

Tabel 2.7 Tebal Minimum Lapis Permukaan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapis pelindung (Buras/Burtu/Burda)
3,00 - 6,70	5	Laston / 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: Bina Marga, 1987

Tabel 2.8 Batas Minimum Tebal Lapis Pondasi

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 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
7,50 - 9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam
10,00 - 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

Sumber: Bina Marga, 1987

Dihitung dari parameter-parameter tersebut. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung nilai berikut:

$$ITP = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \quad (2.9)$$

di mana :

ITP = Indeks Tebal Perkerasan

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan untuk masing-masing lapisan

D_1, D_2, D_3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan

2.1.2 Metode AASHTO

Siegfreid (2007) menyatakan bahwa método AASHTO adalah salah satu método perencanaan tebal perkerasan yang paling umum di seluruh Dunia. Banyak negara telah menetapkan metode ini sebagai estándar perencanaan.

1) *Structural Number*

Structural Number merupakan indeks numerik yang akan menggambarkan kekuatan struktural lapisan pekerjaan jalan berdasarkan ketebalan dan sifat material setiap lapisan pekerjaan

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (2.10)$$

di mana :

a_i = koefisien relatif lapis ke-i

D_i = tebal masing-masing lapis perkerasan ke-i (cm)

m_i = koefisien drainase lapis ke-i

SN = *structural number*

2) Lalu lintas pada Lajur Rencana

Laluan lajur rencana (W18) diberikan beban gandar estándar kumulatif. Lalu lintas pada lajur rencana ini diperoleh melalui perhitungan berikut:

$$W_{18} = D_D \times D_L \times \hat{w}_{18} \quad (2.11)$$

dimana:

D_D = faktor distribusi arah.

D_L = faktor distribusi lajur.

\hat{w}_{18} = beban gandar standar kumulatif untuk dua arah.

Tabel 2.9 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah lajur per arah	% beban gandar standar dalam lajur rencana
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Sumber: Departemen Permukiman & Prasarana Wilayah Pt T-01-2002-B, 2002

Pertumbuhan digunakan rumus lalu-lintas kumulatif secara rumus dapat dihitung dengan:

$$W_t = w_{1s} \times \frac{(1+g)^n - 1}{g} \quad (2.12)$$

dimana:

W_t = jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif

w_{1s} = beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun

n = umur pelayanan (tahun)

g = perkembangan lalu lintas (%)

Reliabilitas (reliability)

Menurut Bina Marga 1987 Reliabilitas adalah ukuran kemungkinan bahwa perkerasan jalan akan berfungsi sesuai perencanaan dan tidak mengalami kegagalan selama umur perencanaan yang sudah ditetapkan. Ini mencakup factor keamanan agar performa jalan bisa konsisten dan tahan lama.

Tabel 2.10 Rekomendasi Tingkat Reliabilitas Untuk Berbagai Klasifikasi Jalan

Klasifikasi Jalan	Rekomendasi Tingkat Reliabilitas	
	Perkotaan	Antar Kota
Bebas Hambatan	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

Sumber: Departemen Permukiman & Prasarana Wilayah Pt T-01-2002-B, 2002

Untuk nilai standard normal deviate, Z_R akan berhubungan dengan nilai reliabilitas (R) dalam persamaan desain perkerasan lentur.

Tabel 2.11 Nilai Penyimpangan Normal Standar Untuk Tingkat Reliabilitas Tertentu

Reliabilitas, R (%)	Standar Normal Deviate, Z_R
50	0,000
60	- 0,253
70	- 0,524
75	- 0,674
80	- 0,841
85	- 1,037
90	- 1,282
91	- 1,340
92	- 1,405
93	- 1,476
94	- 1,555
95	- 1,645
96	- 1,751
97	- 1,881
98	- 2,054
99	- 2,327
99,9	- 3,090
99,99	- 3,750

Sumber : Departemen Permukiman & Prasarana Wilayah Pt T-01-2002-B, 2002

4) Faktor Drainase

Faktor drainase menurut AASHTO adalah koefisien yang menggambarkan pengaruh kondisi drainase pada kinerja perkerasan jalan, mencakup efektivitas pembuangan air dan tingkat kelembaban tanah dasar.

Tabel 2.12 Koefisien Drainase (m)

Kualitas Drainase	(% Waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	<1%	1% – 5%	5% – 25%	>25%
Baik sekali	1,40–1,30	1,35–1,30	1,30–1,20	1,20
Baik	1,35–1,25	1,25–1,15	1,15–1,00	1,00
Sedang	1,25–1,15	1,15–1,05	1,00–0,80	0,80
Jelek sekali	1,05–0,95	0,08–0,75	0,60–0,40	0,40

Sumber: AASHTO 1993

5) Indeks Perkerasan (*serviceability*)

Menurut Siegfried (2007) adalah tingkat pelayanan diberikan oleh sistem perkerasan jalan kepada pengguna jalan, yang menentukan tingkat pelayanan fungsionalnya. Present Serviceability Index (PSI) berfungsi sebagai indikator kualitas layanan

6) Modulus Resilien

Pedoman seperti ini memperkenalkan modulus ketahanan (MR) adalah parameter perencanaan tanah dasar. Selain nilai CBR standar, nilai tes atau hasil indeks tanah dapat digunakan untuk menghitung modulus tahan tanah (MR) tanah dasar. Tanah berbutir halus dengan nilai CBR terendah sepuluh atau lebih kecil, korelasi modulus tahan tanah dengan nilai dapat dihitung menggunakan rumus

$$MR \text{ (psi)} = 1.500 \times CBR \quad (2.13)$$

dimana:

CBR = Nilai CBR (%)

MR = Modulus Resilien

8) Persamaan AASHTO

Setelah melakukan pengujian dan penelitian lapangan di Ottawa, Illinois, AS, dari Oktober 1958 hingga November 1960, metode AASHTO untuk merencanakan tebal perkerasan lentur berkembang. Faktor-faktor yang dipertimbangkan meliputi waktu, beban lalu lintas dan tingkat pertumbuhan, reliabilitas dan simpangan baku, kondisi lingkungan, kriteria kinerja jalan, nilai modulus ketahanan tanah dasar (MR), faktor drainase (m), Indeks Tebal Perkerasan (ITP=PSI), dan jenis perkerasan yang digunakan.

Menurut metode AASHTO 1993, daya dukung tanah (DDT) diwakili oleh modulus ketahanan (MR) atau bisa juga dikorelasikan dengan nilai CBR. Faktor regional (FR) mencakup koefisien drainase, penurunan tingkat pelayanan, dan simpangan baku keseluruhan.

Rumus persamaan lapisan perkerasan yaitu :

$$\log W_{18} = Z_R \times S_o + 9,36 \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \log MR - 8,07 \quad (2.14)$$

di mana:

W_{18} = kumulatif beban gandar standar selama umur rencana (ESAL)

= lintas ekivalen selama umur rencana

Z_R = standar normal deviasi

S_o = *combined standard error* dari prediksi lalu lintas dan kinerja.

SN = *structural number*

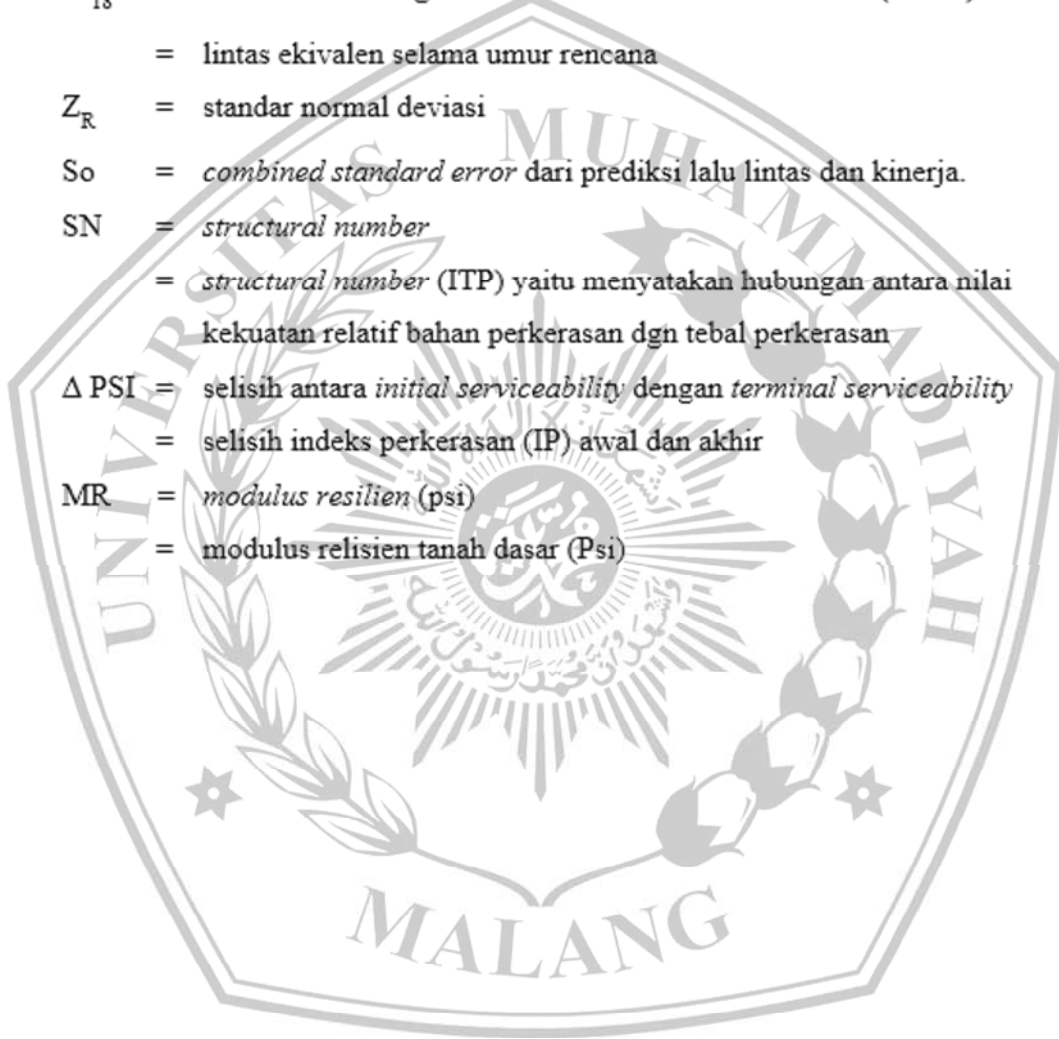
= *structural number* (ITP) yaitu menyatakan hubungan antara nilai kekuatan relatif bahan perkerasan dgn tebal perkerasan

ΔPSI = selisih antara *initial serviceability* dengan *terminal serviceability*

= selisih indeks perkerasan (IP) awal dan akhir

MR = *modulus resilien* (psi)

= modulus relisien tanah dasar (Psi)



Tahapan dalam Perencanaan metode AASHTO

1. Analisis lalu lintas

- a) Umur rencana 20 – 40 tahun
- b) Dalam factor distribusi arah (DD), nilai umumnya adalah 0,5 dalam beberapa situasi, nilai factor dapat berkisar antara 0,3 sampai 0,7. Kendaraan berat yang biasanya bergerak ke satu arah tertentu mengalami pengecualian ini
- c) Penentuan factor distribusi lajur (DL)
- d) Lalu lintas harian rata-rata (LHR).
- e) Menghitung nilai lalu lintas (W_{18})

$$W_{18} = D_D \times D_L \times \hat{w}_{18}$$

dimana:

D_D = faktor distribusi arah.

D_L = faktor distribusi lajur.

\hat{w}_{18} = beban gandar standar kumulatif untuk dua arah.

- f) Menghitung lalu lintas

$$W_t = w_{18} \times \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

dimana:

W_t = jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif

w_{18} = beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun

n = umur pelayanan (tahun)

g = perkembangan lalu lintas (%)

2. Perhitungan *Modulus Resilient* (MR)

$$MR \text{ (psi)} = 1.500 \times CBR$$

dimana:

CBR = Nilai CBR (%)

MR = *Modulus Resilient*

3. Menentukan *serviceability*

Terminal Serviceability Index (Pt). $P_o = 4,0$ (AASHTO 1993 halaman II-10)

- 1) Indeks pelayanan awal (P_o), untuk perkerasan lentur menggunakan nilai $P_o = 4,0$
- 2) Indeks kemampuan akhir (Pt) bisa dilihat pada Tabel 2.13

Tabel 2.13 Indeks Kemampuan Pelayanan Akhir (Pt)

Pt	Persentase Orang Berpendapat Tidak Setuju
3,0	12%
2,5	55%
2,0	85%

Sumber: AASHTO 1993

- 3) Kehilangan kemampuan pelayanan (Δ PSI)

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t = 4,2 - 2,0 = 2,$$

- 4) Menentukan *reliability* (R) dan standar deviasi normal (ZR)

Reliabilitas (R) merujuk pada Tabel 2.10 dari AASHTO 1993 (halaman II-9), sedangkan (ZR) dapat ditemukan di Tabel 2.11 AASHTO 1993 (halaman 62).

Untuk perkerasan lentur, simpangan baku (S_o) adalah 0,40 – 0,50 sesuai AASHTO 1993 (halaman 62).

- 5) Deviasi standar keseluruhan (S_o) dapat memilih dengan nilai berikut:

Tabel 2.14 Nilai S_o

Jenis Perkerasan	Nilai S_o
Perkerasan Lentur	0,4 – 0,5
Perkerasan Kaku	0,3 – 0,4

Sumber: AASHTO 1993

- 6) Penentuan koefisien drainase

Penentuan variabel pertama mengacu pada Tabel 2.12, Tabel 2.15 (AASHTO 199:2) dan Tabel 2.16 (AASHTO 1993:22):

Tabel 2.15 Waktu untuk Drain Lapis Pondasi untuk 50 % Saturation (Hari)

Permeability K (ft/hari)	Porosity n	Slope S	H - 1		H - 2	
			L - 12	L - 24	L - 12	L - 24
0,1	0,015	0,01	10	36	6	20
		0,02	9	29	5	18
1	0,027	0,01	2	6	5	18
		0,02	2	5	1	3
10	0,048	0,01	0,3	1	0,2	0,6
		0,02	0,3	1	0,2	0,6
100	0,08	0,01	0,05	0,2	0,03	0,1
		0,02	0,05	0,2	0,03	0,1

Sumber: AASHTO 1993

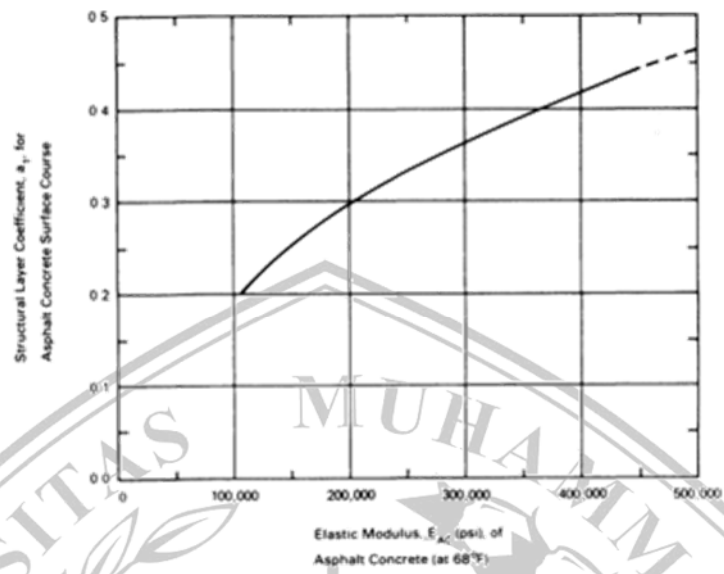
Tabel 2.16 Definisi Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Air hilang dalam
Baik sekali	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Jelek	1 bulan
Jelek sekali	Air tidak mengalir

Sumber: AASHTO 1993

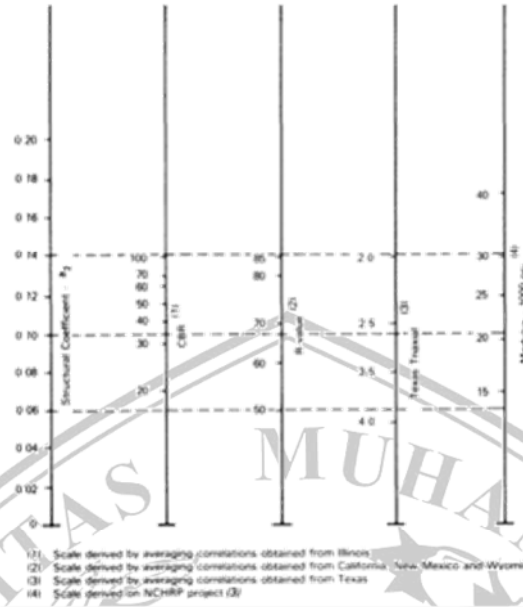
Contoh pendekatan: Pada perkerasan fleksibel, material untuk base course sebaiknya memiliki Plasticity Index (PI) di bawah 6%. Permeabilitasnya harus mencapai $k = 100$ kaki per hari, dengan kemiringan 0,02, lebar lintasan drainase L sebesar 24 kaki, dan ketebalan lapisan drainase H sebesar 1 kaki. Dengan kondisi ini, waktu pematasan adalah 0,2 hari, yang termasuk dalam kategori baik.

7) Untuk memilih bahan yang akan digunakan, koefisien lapisan (a_1) (koefisien kekuatan relatif) dikategorikan ke dalam lima jenis material: beton aspal (asphalt concrete), lapis pondasi granular (granular base), lapis pondasi bawah granular (granular sub-base), beton yang diobati dengan semen (CTB), dan beton yang diobati dengan aspal (ATB).



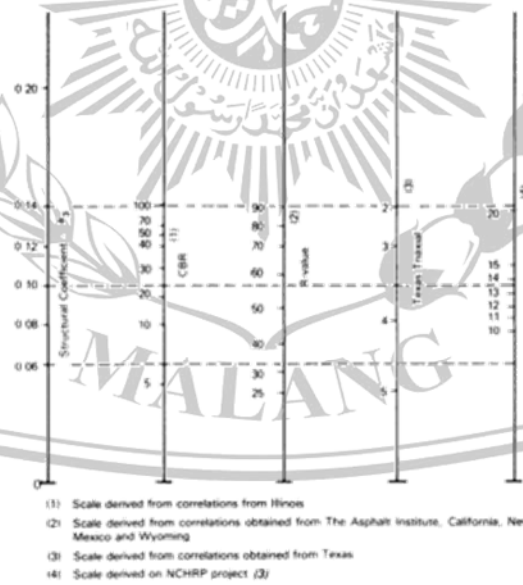
Gambar 2.2 Grafik Perkiraan Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Permukaan Beton Aspal a_1
Sumber: AASHTO 1993





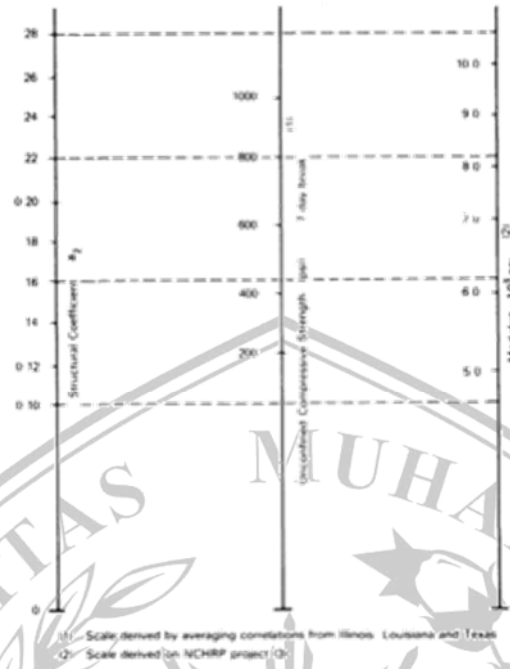
Gambar 2.3 Grafik Perkiraan Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Pondasi Atas a_2
 Sumber: AASHTO 1993

Pada a_2 , koefisien kekuatan relatif dapat digunakan Gambar 2.3 atau dengan rumus berikut: $a_2 = 0,249 (\log_{10} EBS) - 0,977$



Gambar 2.4 Grafik Perkiraan Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Pondasi Bawah a_3
 Sumber: AASHTO 1993

Pada a_3 dapat menggunakan Gambar 2.4 atau dengan rumus berikut:
 $a_3 = 0,227 (\log_{10} EBS) - 0,839$



Gambar 2.5 Grafik Variasi Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Pondasi Bersemen (CTB)
 Sumber: AASHTO 1993



Gambar 2.6 Grafik Variasi Koefisien Kekuatan Relatif Lapis Pondasi Beraspal
 Sumber: AASHTO 1993

8) Untuk menghitung Structural Number (SN), Anda bisa menggunakan nomogram yang terdapat pada Gambar 2.7 atau menerapkan rumus berikut:

NOMOGRAPHI SOLVES:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

di mana:

W_{18} = kumulatif beban gandar standar selama umur rencana (ESAL)

= lintas ekivalen selama umur rencana

Z_R = standar normal deviasi

S_o = *combined standard error* dari prediksi lalu lintas dan kinerja.

SN = *structural number*

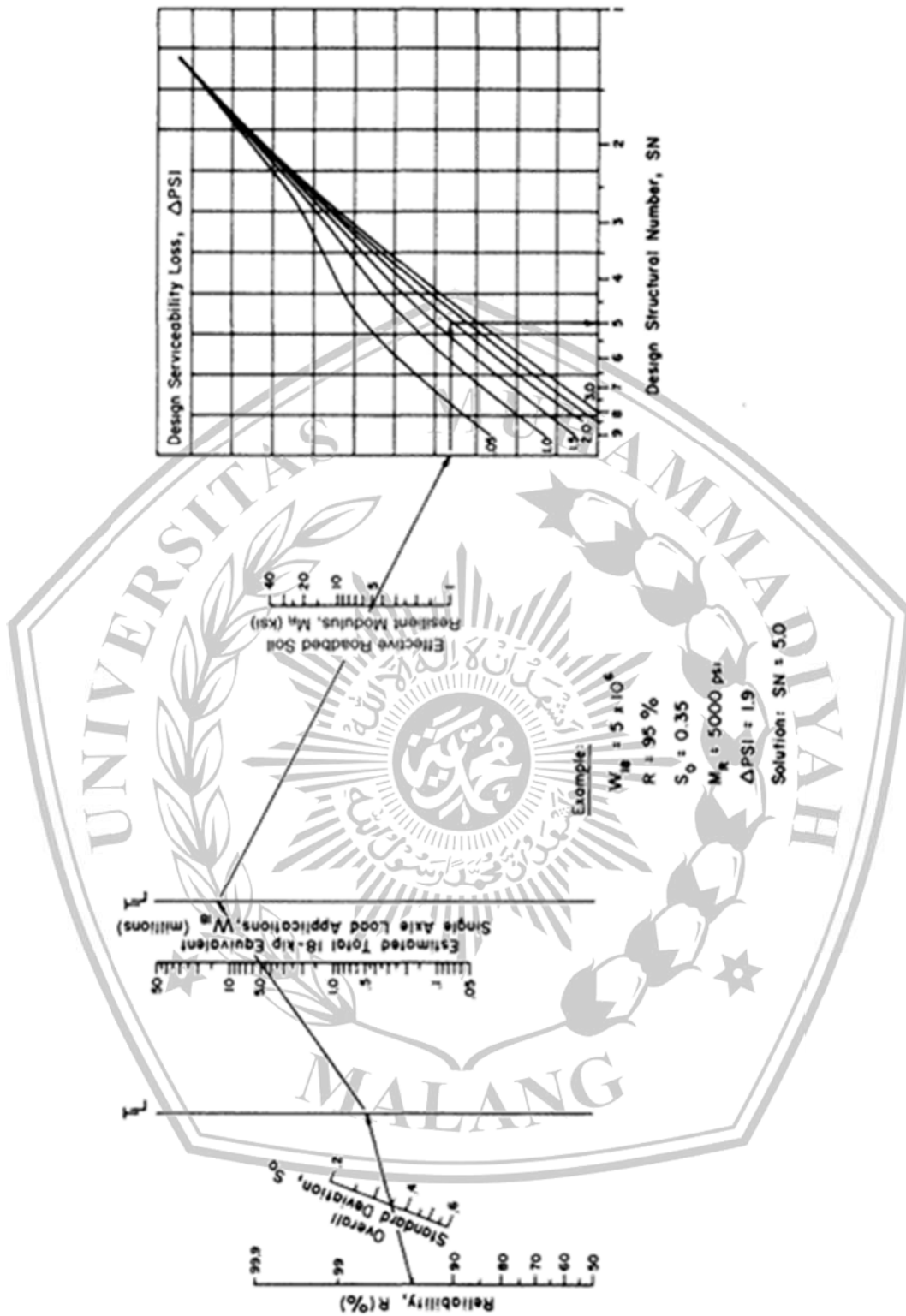
= *structural number* (ITP) yaitu menyatakan hubungan antara nilai kekuatan relatif bahan perkerasan dgn tebal perkerasan

ΔPSI = selisih antara *initial serviceability* dengan *terminal serviceability*

= selisih indeks perkerasan (IP) awal dan akhir

MR = *modulus resilien* (psi)

= modulus relisien tanah dasar (Psi)



Gambar 2.7 Grafik Nomogram Perkerasan Lentur
Sumber: AASHTO 1993

SN (structural number) juga dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

di mana :

a_i = koefisien relatif lapis ke-i

D_i = tebal masing-masing lapis perkerasan ke-i (cm)

m_i = koefisien drainase lapis ke-i

SN = *structural number*

Untuk menentukan tebal lapis perkerasan dapat menggunakan persamaan berikut, menurut AASHTO 1993:

1. Lapis permukaan (*surface course*)

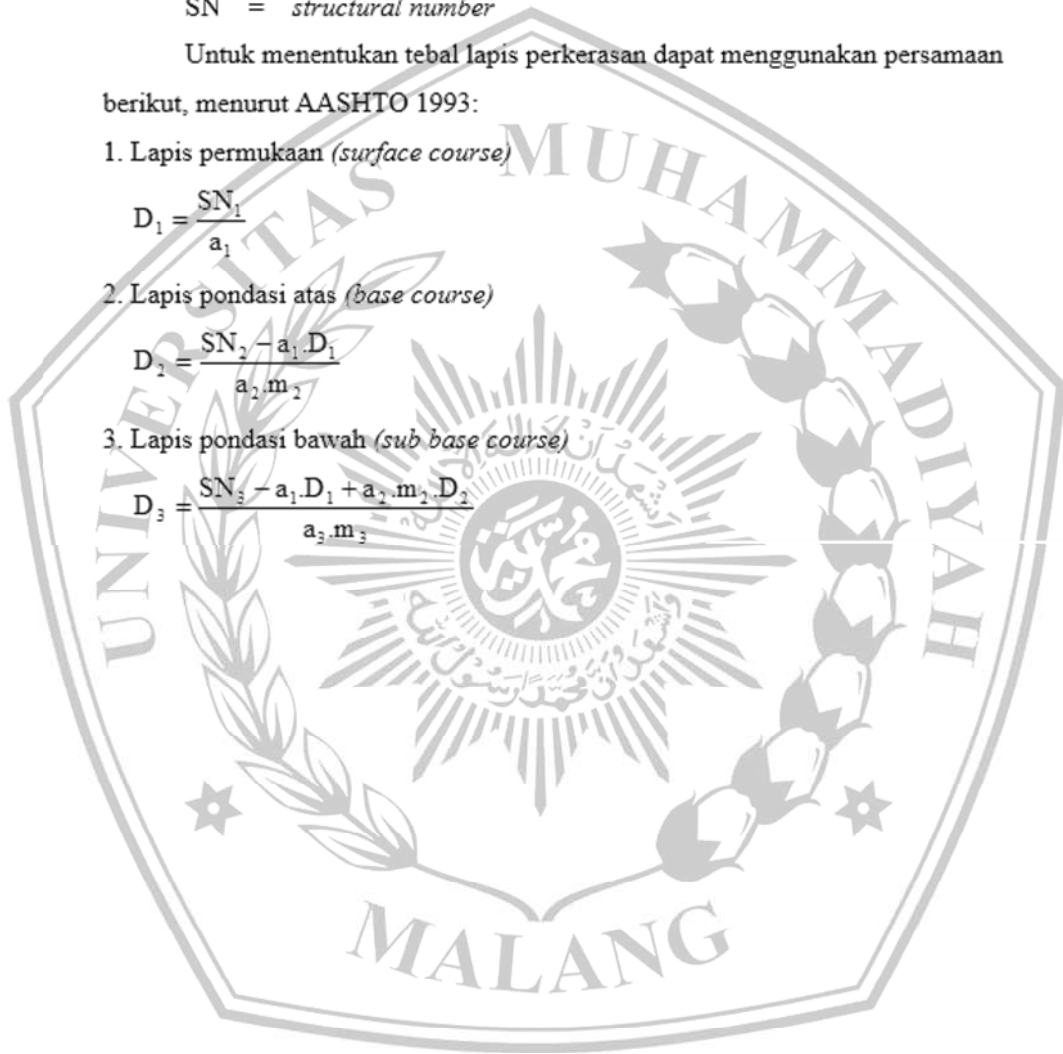
$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

2. Lapis pondasi atas (*base course*)

$$D_2 = \frac{SN_2 - a_1 \cdot D_1}{a_2 \cdot m_2}$$

3. Lapis pondasi bawah (*sub base course*)

$$D_3 = \frac{SN_3 - a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2}{a_3 \cdot m_3}$$



2.2 Rencana Anggaran Biaya Proyek

Perkiraan atau perhitungan pembangunan adalah tahap penting dalam pelaksanaan konstruksi. Pemilik bangunan mempertimbangkan biaya ini saat memilih metode pembangunan yang efisien. Komponen upah, harga bahan, tenaga kerja, dan metode pelaksanaan sangat memengaruhi biaya pembangunan, jangka waktu pelaksanaan juga sangat penting. yaitu perencana, pengawas, pelaksana, kontraktor, dan pemilik bangunan. Dalam disiplin manajemen konstruksi, pengendalian pelaksanaan jenis ini telah berkembang menjadi istilah tersendiri.

Perencanaan anggaran untuk kegiatan proyek

Pada konstruksi proyek, ada tahap dan urutan tindakan yang berulang dikenal sebagai siklus proyek. Perhitungan rencana anggaran pembangunan, atau RAB (Rencana Anggaran Biaya) merupakan bagian dari kelompok kegiatan perencanaan dalam hal ini yang perencanaan sangat penting dalam siklus proyek karena kualitas perencanaan akan menentukan keberhasilan proyek. Perencanaan yang buruk menyebabkan pemborosan dan perubahan dalam pelaksanaan. Perencanaan juga menentukan besar kecilnya tujuan proyek dan sasarannya.

Penyusunan dokumen persyaratan untuk proses lelang, juga disebut dokumen tender yang terdiri dari beberapa syarat pelaksanaan pekerjaan yang disebut RKS (Rencana Kerja dan Syarat-syarat) di Indonesia. Kegiatan perencanaan ini juga termasuk dalam pekerjaan ini. Dokumen ini, yang sebelumnya dikenal sebagai *bestek en voorwarden* atau dokumen tender, mencakup spesifikasi, petunjuk, dan syarat pelaksanaan. Selanjutnya, Proses penetapan pelaksana pekerjaan umumnya dimulai dengan melalui tender atau pelelangan. Pelelangan biasanya dianggap sebagai metode yang paling tepat, objektif, dan adil untuk memilih kontraktor pelaksana karena memungkinkan Anda memilih kontraktor yang kredibel dan berkualitas tinggi serta biaya pembangunan terendah. Namun, ada kemungkinan bahwa dalam situasi tertentu, pekerjaan secara langsung atau penunjukan akan diberikan.

Lingkup dan Peranan Anggaran Konstruksi

RAB, atau Rencana Anggaran Biaya, adalah estimasi yang dibuat sebelum proyek atau pembangunan dimulai. Ini diperlukan oleh kontraktor dan pemilik proyek. Dalam pelaksanaan, RAB, yang juga dikenal sebagai anggaran konstruksi, berfungsi sebagai pedoman dan acuan sementara. Biaya konstruksi yang sebenarnya baru dapat dihitung setelah proyek selesai. Ada dua jenis estimasi biaya konstruksi: estimasi kasaran (*preliminary estimates*) dan estimasi detail. Estimasi kasaran umumnya digunakan untuk pengajuan anggaran kepada instansi yang lebih tinggi, seperti dalam usulan Daftar Isian Proyek (DIP) pada proyek pemerintah, dan pada tahap studi kelayakan. Sebaliknya, estimasi detail adalah RAB lengkap yang digunakan untuk mengevaluasi penawaran dalam pelelangan dan sebagai panduan selama pelaksanaan pembangunan.

Menurut Smith (1987) estimasi RAB dapat dibagi menjadi tujuh tahap dalam proyek atau pekerjaan Teknik sipil secara keseluruhan

- a. *Preliminary estimate*, merupakan hitungan kasar sebagai estimasi awal
- b. *Appraisal estimate*, atau estimasi kelayakan diperlukan untuk membandingkan berbagai estimasi alternatif dan rencana tertentu.
- c. *Proposal estimate*, merupakan estimasi dari rencana yang dipilih, umumnya dibentuk setelah menilai konsep desain dan spesifikasi, yang menghasilkan perkiraan anggaran supaya bisa menggambarkan garis besar desain.
- d. *Approved estimate*, atau bisa disebut dengan estimasi yang dapat disetujui, diubah, dan diusulkan untuk kepentingan klien.
- e. *Pre-tender estimate*, merupakan estimasi sebelum lelang, yang dibuat dan disetujui desain pekerjaan definitive berdasarkan informasi yang tersedia RKS, dan disiapkan untuk evaluasi penawaran;
- f. *Post-contract estimate*, yang merupakan tambahan yang menunjukkan besarnya biaya yang tercantum dalam kontrak setelah pelulusan, mencakup detail biaya untuk tiap-tiap pekerjaan (*Bill of Quality*) biaya lainnya

g. *Achieved cost*, ialah anggaran yang telah dicapai, yang merupakan jumlah biaya yang sebenarnya yang dikumpulkan setelah proyek selesai, digunakan sebagai data atau informasi berikutnya.

1. Dasar dan Peraturan

Biaya proyek dapat dihitung atau diperkirakan dengan berbagai metode. Menurut Iman Soeharto (1987), teknik estimasi biaya yang sering digunakan dalam proyek adalah

- 1) Metode Parametrik, menggunakan metode matematis untuk menentukan hubungan antara biaya atau jam kerja dengan atribut fisik tertentu seperti luas, panjang, berat, dan volume.
- 2) Metode Indeks menggunakan daftar indeks dan informasi harga dari proyek-proyek sebelumnya. Indeks harga adalah angka yang menggambarkan perbandingan antara harga pada tahun tertentu dengan harga pada tahun referensi.
- 3) Metode Analisis Unsur membagi lingkup pekerjaan menjadi komponen-komponen berdasarkan fungsinya, kemudian membandingkan berbagai material bangunan untuk memperkirakan biaya tiap komponen. Selanjutnya, metode ini memilih estimasi biaya yang paling efisien.
- 4) Metode Faktor, asumsi bahwa ada kolerasi atau factor antara peralatan dan komponennya, biaya komponen dihitung dengan menggunakan factor perkalian terhadap peralatan.
- 5) Metode Quantity take-off, metode ini melibatkan perhitungan jumlah komponen proyek berdasarkan gambar dan spesifikasi, lalu menghitung kebutuhan jam kerja dan biaya.
- 6) Metode harga satuan ialah menghitung biaya berdasarkan harga satuan untuk setiap jenis komponen (m^3 , m^2 , m, Ls)

Sejak masa kolonial, analisis pekerjaan telah banyak digunakan untuk perhitungan RAB pekerjaan sipil di Indonesia. Metode ini telah diterapkan sejak 1921 dan merupakan pengembangan dari Analisis BOW (Burgelijke van Openbare Werken). Salah satu metode perhitungan yang umum digunakan pada waktu itu adalah metode quantity take-off. Saat ini, analisis ini telah disesuaikan

dan diperbarui untuk memenuhi kebutuhan dan perkembangan terbaru. Metode perhitungan ini bergantung pada nilai harga satuan pekerjaan, yang mencakup biaya upah dan material untuk menyelesaikan satu unit pekerjaan tertentu, seperti per meter kubik, meter persegi, atau meter linier. Dalam konteks ini, rencana biaya dihitung sebagai total harga satuan dikalikan dengan volume total untuk setiap jenis pekerjaan.

Tahap-Tahap Persiapan

Untuk mendapatkan angka yang tepat atau akurat, upaya persiapan harus dilakukan sebelum perhitungan RAB (Peurifoy dan Oberlender, 1989). Pada tahap persiapan, kegiatan yang harus dilakukan termasuk sebagai berikut.

- a. a. Penilaian ruang lingkup proyek harus mempertimbangkan dampak lingkungan lokasi terhadap biaya, dengan memperhatikan aspek-aspek seperti tenaga kerja, keamanan, akses jalan, ruang penyimpanan, dan faktor-faktor lainnya.
- b. Menentukan jumlah pekerjaan dan pembuatan bangunan atau proyek;
- c. Harga pekerja (tukang dan pekerja)
- d. Harga Peralatan (sewa atau kerja)
- e. Daftar Harga Penawaran
- f. Daftar harga satuan di daerah tertentu
- g. Perkiraan harga pajak dan overhead;
- h. Biaya tidak terduga dan pembulatan

Secara dasar, pemahaman menyeluruh tentang semua aspek proyek dan lingkungannya sangat membantu dalam membuat perhitungan RAB yang akurat dan realistis. Selain itu, penting untuk diingat bahwa setiap proyek memiliki karakteristiknya sendiri dan tidak akan pernah sama persis.

Pengamatan atau survei lapangan sangat krusial dalam perhitungan biaya yang didasarkan pada gambar desain, karena hal ini membantu dalam menyusun rencana biaya yang akurat. Menurut Barrie dan Paulson (1992), pedoman pengamatan lapangan, atau pedoman penyelidikan area, akan mencakup:

- a. Deskripsi lokasi, Informasi lapangan meliputi vegetasi, kondisi permukaan tanah, sistem drainase, kedalaman lapisan tanah atas atau humus, serta keberadaan bangunan dan fasilitas.
- b. Lokasi pelayanan fasilitas meliputi akses seperti Listrik, air, gas, jalan raya dan fasilitas lainnya
- c. Data Gedung termasuk informasi tentang hubungan dan jasa bangunan gedung
- d. Serikat pekerja menyediakan informasi mengenai keanggotaan, ketenagakerjaan, peraturan terkait, dan aspek lain yang lebih relevan
- e. Kontraktor yang direkomendasikan, yaitu daftar kontraktor umum, spesialis, serta pemasok atau vendor.
- f. Material dan Metode, daftar harga material lokal/setempat, seperti: batu pasir, batu bata, beton cetak, bambu, kayu, dsb;
- g. Sewa alat, yang mencakup daftar harga sewa peralatan di lokasi proyek setempat.
- h. Data klimatologi, yang meliputi informasi tentang suhu maksimum atau minimum, curah hujan, bulan-bulan dengan curah hujan tinggi, dan sebagainya.
- i. Proyek lain, yaitu kunjungan ke proyek-proyek sekitarnya untuk mempelajari kualitas pekerjaan, prosedur pelaksanaan, subkontraktor, material lokal, keamanan, dan aspek lainnya.
- j. Taksiran umum, yang mencakup pembuatan kesimpulan serta rekomendasi terkait pekerjaan.

2. Dasar Perhitungan

Pada dasarnya, perhitungan RAB dilakukan dengan mengalikan total volume pekerjaan dengan harga satuan untuk setiap jenis pekerjaan. Volume pekerjaan ditentukan berdasarkan gambar bestek atau desain. Biaya konstruksi mencakup biaya bahan, tenaga kerja, dan peralatan yang digunakan. Harga satuan dihitung untuk setiap jenis pekerjaan, dan analisis BOW, yang telah diterapkan sejak era penjajahan Belanda, seperti Ketetapan Direktur BOW tanggal 28 Februari 1921 Nomor 5372 A, dapat digunakan sebagai referensi. Secara umum, proses perhitungan RAB melibatkan lima komponen harga utama sebagai berikut:

Bahan-bahan atau material bangunan:

Menghitung volume, ukuran, berat, tipe, dan aspek lainnya dari setiap jenis bahan yang digunakan. Selain itu, biaya transportasi untuk setiap jenis bahan ke lokasi proyek, pemeriksaan kualitas, serta penyediaan gudang dan tempat penyimpanan juga mungkin perlu diperhitungkan.

a. Upah Tenaga Kerja

Jumlah jam kerja yang dibutuhkan serta total biaya atau upah dihitung, biasanya berdasarkan unit waktu harian atau per hari, dan volume pekerjaan yang dapat diselesaikan dalam periode tersebut. Perlu dicatat bahwa kemampuan setiap tenaga kerja bervariasi, tergantung pada keterampilan, pengalaman, dan tingkat upah yang diterima.

b. Peralatan

Dihitung jumlah dan jenis peralatan yang dibutuhkan, dan harga serta biaya untuk membeli atau menyewa peralatan tersebut. Biaya peralatan termasuk biaya transportasi dan mobilisasi, biaya operator mesin, biaya bahan bakar, dan biaya lainnya. Kemampuannya dalam satuan waktu harus diketahui.

c. Overhead

Biaya tak terduga atau biaya tidak langsung dibagi menjadi dua kategori utama: biaya umum dan biaya terkait dengan pekerjaan di lapangan. Overhead umum mencakup biaya yang tidak dapat langsung dialokasikan ke harga bahan, upah tenaga kerja, atau biaya peralatan, seperti biaya telepon proyek, pengamanan, izin, dan sejenisnya. Sebaliknya, overhead lapangan mencakup biaya seperti sewa kantor, peralatan kantor, listrik, telepon, perjalanan, asuransi, Jamsostek, serta gaji atau kompensasi untuk staf kantor yang terlibat dalam kegiatan proyek. Biasanya, biaya overhead umum berkisar antara 12 hingga 30% dari harga bahan.

d. Keuangan dan pajak

Ukuran proyek, tingkat risiko, dan tingkat kesulitan pekerjaan berpengaruh besar terhadap besarnya keuntungan yang diharapkan. Umumnya, keuntungan proyek berkisar antara 8 hingga 15% dari total biaya konstruksi (bouwsom), sementara pajak biasanya berada dalam rentang 10 hingga 18%, tergantung pada peraturan pemerintah yang berlaku. Seorang penyusun RAB atau estimator perlu memiliki pemahaman mendalam tentang kondisi lapangan dan metode pelaksanaan proyek. Tanpa pengetahuan yang memadai, akan sulit untuk mencapai hasil RAB yang akurat dan ekonomis sesuai dengan ekspektasi. Selain itu, pemahaman yang baik tentang faktor-faktor ini membantu dalam merencanakan anggaran yang realistis dan mengelola risiko dengan lebih efektif.