

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

##### **2.2.1. Penelitian Terdahulu Tentang Tebal Perkerasan Lentur**

Fadhlan dan Muis (2013) melakukan penelitian tentang perencanaan tebal perkerasan lentur Metode Bina Marga Pt T-01-2002-B dengan menggunakan Program *Kenpave*. Dari hasil penelitian tersebut direncanakan tebal perkerasan yang menggunakan struktur empat lapis dan dua lapis dengan variasi beban lalu lintas dan CBR tanah dasar. Diperoleh repetisi beban yang lebih kecil dari repetisi beban rencana untuk struktur empat lapis dan struktur dua lapis menghasilkan repetisi beban lebih besar. Ketebalan lapisan mempengaruhi jumlah repetisi beban. Untuk perbedaan dengan penelitian ini adalah metode yang digunakan dalam analisis tebal perkerasan menggunakan Metode Bina Marga yang telah direvisi tahun 2013 dan menggunakan Metode AASHTO 1993.

Aji dkk. (2015) melakukan penelitian tentang evaluasi struktural perkerasan lentur menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Metode Bina Marga 2013. Penelitian ini melakukan analisis perkerasan lentur dengan menggunakan dua metode untuk membandingkan tebal lapis tambah. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa tebal lapis tambah (*overlay*) perhitungan metode AASHTO 1993 lebih tebal dibandingkan metode Bina Marga 2013 berdasarkan hasil diperlukan lapis tambah yang bervariasi setiap segmen. Dikarenakan perbedaan kapasitas struktural setiap, sedangkan untuk perbedaan dalam penelitian ini adalah dalam penggunaan program *Kenpave* untuk mengevaluasi tebal perkerasan yang telah dihitung.

Aris dan Simbolan (2015) melakukan penelitian tentang analisis perbandingan perencanaan tebal perkerasan jalan lentur menggunakan beberapa Metode Bina Marga pada ruas jalan Piringsurat – Batas Kedu Timur. Hasil penelitian ini adalah peraturan Bina Marga pedoman Pd T-01-2002-B beberapa parameter perencanaan tidak memiliki acuan yang jelas

sehingga membingungkan, MDP No. 02/M/BM/2013 memiliki parameter desain yang tersedia namun kurang memberikan kebebasan perencana dalam mendesain, Desain perkerasan No 001/BT/2010 merupakan penyederhanaan Pd T-01-2002-B yang dikombinasikan *Road Note 31*. Untuk perbedaan dalam penelitian ini adalah digunakannya program *Kenpave* dalam evaluasi perhitungan.

Pradani dkk. (2017) melakukan penelitian tentang perancangan tebal perkerasan lentur menggunakan Metode Pd T-01-2002-B, Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) dan Metode NOTTINGHAM Pada Ruas Jalan I Gusti Ngurah Rai Palu. Dari hasil penelitian hasil perhitungan Metode Bina Marga Pd T-01-2002-B dan Manual Desain Perkerasan dipengaruhi oleh LHR sedangkan Metode Nottingham dipengaruhi oleh LHR dan temperature untuk lapisan perkerasan paling tipis menggunakan Metode Pd T-01-2002-B. Untuk perbedaan penelitian ini adalah penggunaan Metode AASHTO 1993 dan program *Kenpave* untuk evaluasi tebal perkerasan yang telah dihitung.

Dinata dkk. (2017) melakukan penelitian tentang tebal perkerasan lentur dengan Metode Analisa Komponen dari Bina Marga 1987 dan AASHTO 1993 dengan Program *Kenpave*. Dari hasil penelitian tebal perkerasan menggunakan Metode AASHTO 1993 lebih tebal dibandingkan Metode Bina Marga 1987, hal ini dikarenakan Metode AASHTO mempertimbangkan faktor *Reliability*, Simpangan Baku, Tingkat pelayanan dan Faktor Drainase. Hasil evaluasi dengan Program *Kenpave* tebal perkerasan lentur yang direncanakan memnunjukkan jumlah repetisi beban lalu lintas rencana lebih besar dari repetisi beban rencana, sehingga kemungkinan jalan akan mengalami retak dan alur sebelum umur rencana. Perbedaan dengan penelitian ini adalah metode yang digunakan yaitu metode Bina Marga yang telah direvisi tahun 2013.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan digunakan menggunakan lapisan bahan konstruksi tertentu yang mempunyai kekuatan, ketebalan, dan kekakuan juga kestabilan agar dapat menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar sebagai bagian jalan yang diperkeras. Pengetahuan tentang pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun diperlukan agar perkerasan jalan yang direncanakan dapat sesuai dengan mutu yang diharapkan (Sukirman, 1999).

Pangemanan dkk. (2014) menyatakan fungsi dari lapis perkerasan aspal adalah sebagai lapisan penutup bagi perkerasan dibawahnya terhadap air, karena adanya air akan mengakibatkan penurunan terhadap perkerasan dan menurunnya daya dukung tanahnya. Tujuan perkerasan jalan menyebarkan beban diatas permukaan sehingga mereduksi tegangan maksimum pada tanah dasar sehingga memberikan pelayanan lalu lintas yang nyaman dan aman.

Konstruksi perkerasan terdiri dari beberapa jenis bahan ikat yang merupakan komposisi dari suatu komponen. Berdasarkan bahan pengikat konstruksi perkerasan terbagi menjadi:

1. Konstruksi Perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan perkerasannya memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Pada umumnya kerusakan yang terjadi akibat repetisi beban yang berlebihan, sehingga mengakibatkan lendutan pada jalur roda atau *rutting*.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikatnya. Lapis utama bersifat memikul sebagian besar beban yang terdiri dari campuran beton dengan tulangan diletakkan di atas tanah dasar. Daya tahan beban dan lingkungan perkerasan kaku lebih besar dari perkerasan lentur namun memiliki biaya konstruksi yang lebih tinggi tetapi minim perawatan (Prahara dan Sunarsa, 2012). Pada umumnya kerusakan akibat repetisi beban adalah timbul retak pada permukaan jalan.

3. Konstruksi perkerasan komposit (*composit pavement*) yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau sebaliknya.

### 2.2.2. Metode Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan

Simanjutak dan Muis (2014) menyatakan konstruksi perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan berguna menerima beban diatasnya kemudian disebarkan ke lapisan bawahnya. Semakin kebawah suatu lapisan maka sifat penyebaran gayannya semakin kecil. Perencanaan desain perkerasan juga mengalami berbagai kemajuan. Teknologi komputer digunakan dalam memodelkan sifat dan bahan struktur, sehingga analisis desain struktur yaitu regangan, tegangan dan lendutan mulai banyak digunakan. Jadi secara umum ada tiga metode dalam perencanaan perkerasan lentur, yaitu:

1. Metode Empiris

Metode empiris adalah perencanaan berdasarkan pengalaman dan percobaan yang sudah ada. Pengamatan digunakan untuk membuktikan antara input data yang dimasukkan dan hasil dari proses misalnya perencanaan perkerasan dan kemampuannya. Pendekatan secara empiris sering digunakan sebagai jalan keluar ketika untuk menetapkan atau mendefinisikan secara teori hubungan yang tepat akibat sebuah kejadian.

Beberapa metode yang digunakan berbagai negara seperti *AASHTO* Amerika Serikat, *NAASRA* Australia, *Road Note* Inggris. Metode empiris pertama yang digunakan di Indonesia yaitu metode Bina Marga tahun 1987.

2. Metode Mekanistik

Metode yang mengembangkan kaidah teori dari karakteristik material perkerasan, beserta perhitungan respon struktur perkerasan terhadap beban sumbu kendaraan. Metode ini memiliki keuntungan peningkatan reliabilitas dari desain, bisa memprediksi jenis kerusakan jalan.

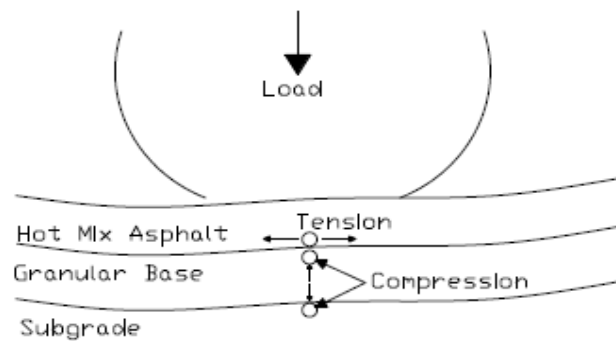
Metode mekanistik mengasumsikan perkerasan jalan menjadi struktur *multi-layer (elastic) structure* untuk perkerasan lentur dan *beam on elastic* untuk perkerasan kaku. Akibat beban kendaraan yang bekerja

diatasnya secara beban statis merata, sehingga menimbulkan tegangan (*stress*), regangan (*strain*) pada struktur tersebut.

### 3. Metode Mekanistik-Empiris

Metode yang didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan seperti tegangan dan regangan. Hasil dari nilai ini digunakan untuk memprediksi tekanan dari tes laboratorium dan hasil di lapangan.

Kerkhoven dan Dormon dalam Huang (2004) pertama kali merekomendasikan penggunaan regangan vertikal di tanah dasar sebagai kriteria kegagalan dalam mengurangi deformasi permanen. Saal dan Pell dalam Huang (2004) menyarankan penggunaan dalam tarik horizontal di bawah lapisan aspal dengan tujuan meminimalkan kelelahan retak seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Desain Pertama Perkerasan Mekanistik Empiris  
(Huang, 2004)

Untuk pendekatan metode mekanistik- empiris salah satunya dengan program *kenpave*. Memiliki sub KENLAYER merupakan konsep sistem lapis banyak yang setiap lapisan mempunyai karakteristik berbeda - beda. Program ini membutuhkan input data dari suatu struktur perkerasan berupa tebal lapis suatu perkerasan, modulus elastisitas, dan *poisson ratio*.

### 2.2.3. Kegagalan Perkerasan Lentur

Alaamri dkk. (2017) menyatakan perkerasan yang memburuk adalah proses oleh tekanan (cacat) mengembang di bawah perkerasan efek kombinasi dari beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Salah satu pertimbangan penting dalam mendesain perkerasan adalah mengetahui perkiraan kerusakan yang akan terjadi. Dalam metode mekanistik empiris, setiap kriteria kegagalan harus dikembangkan secara terpisah untuk menangani setiap tekanan tertentu. Evaluasi kerusakan perkerasan merupakan bagian penting dari *pavement management system* dimana strategi yang paling efektif untuk pemeliharaan dan rehabilitasi dapat dikembangkan (Huang, 2004).

Adapun kegagalan perkerasan lentur yang mungkin terjadi:

#### 1. Alur (*Rutting*)

Alur adalah deformasi permukaan perkerasan aspal berbentuk turunnya perkerasan ke arah memanjang. Penyebab kerusakan yaitu:

- a) Kurangnya pemadatan dilapis permukaan, beban berlebih lapis tersebut memadat lagi.
- b) Gerakan lateral dari beberapa pembentuk lapis perkerasan kurang padat.
- c) Kualitas campuran aspal rendah, sehingga ada gerakan arah lateral dan kebawah dari campuran aspal dibawah beban roda.
- d) Tanah dasar lemah.

Untuk mengatasi pengaruh lemahnya tanah dasar atau pondasi, maka dilakukan perkerasan ulang secara total, termasuk peningkatan drainase apabila air menjadi faktor penyebabnya.

#### 2. Retak (*Cracking*)

Retak adalah suatu gejala kerusakan permukaan perkerasan sehingga akan menyebabkan air pada permukaan perkerasan masuk ke lapisan dibawahnya dan merupakan salah satu faktor yang parah suatu kerusakan. Retak terjadi akibat tegangan yang terjadi pada lapisan aspal melebihi tegangan tarik maksimum yang ditahan oleh perkerasan jalan.

Retak struktural disebut juga retak lelah (*fatigue cracking*) adalah retakan memanjang dan saling berhubungan pada permukaan jalan yang

disebabkan pembebanan berulang dari roda kendaraan. Retakan ini dimulai retak longitudinal pendek dan berkembang menjadi retak berpola kulit buaya yang saling berhubungan. Jenis kerusakan seperti ini mengakibatkan hilangnya integritas struktural dari sistem perkerasan.

### 3. Lubang (*Potholes*)

Kerusakan jalan berupa lubang akibat retakan yang dibiarkan tanpa ada perbaikan, membuat air dapat meresap masuk menyebabkan rusaknya lapisan perkerasan. Untuk kerusakan jenis ini dapat diperbaiki dengan membersihkan lubang serta air maupun material yang lepas. Kemudian dilakukan pembongkaran dan pemasangan pondasi sampai lapisan keras ditambahkan lapisan pengikat selanjutnya dapat dilakukan pelapisan ulang.

### 4. Deformasi Permanen (*Permanent Deformation*)

Kerusakan deformasi merupakan kerusakan penting dari perencanaan perkerasan jalan yang merupakan perubahan permukaan jalan dari profil aslinya (sesudah pembangunan), karena mempengaruhi kualitas kenyamanan lalu lintas (kekasaran, genangan air yang mengurangi kekesatan permukaan) dan dapat mencerminkan kerusakan struktur perkerasan (Hardiyatmo, 2015).

Adapun penyebab deformasi pada perkerasan:

- a) Pemadatan yang tidak sesuai dengan standar.
- b) Beban lalu lintas.
- c) Pengaruh kondisi lingkungan, seperti penurunan tanah pondasi berlebih.

Deformasi dapat diatasi dengan mengganti perkerasan yang tidak bagus kemudian dilakukan galian dan merubah area tanah dengan menambalnya.

#### 2.2.4. Metode Bina Marga 2013

Desain perkerasan jalan di Indonesia terus berkembang yang disesuaikan kondisi lingkungannya dimulai dari Metode Analisa Komponen pada tahun 1987 yang merupakan modifikasi AASHTO 1972. Metode Bina Marga 2013 adalah metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2013 salah satu metode yang dikeluarkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga. Metode ini digunakan sebagai rekonstruksi perkerasan jalan lentur dan kaku, perencanaan perkerasan jalan, dan pelebaran jalan. Perencanaan menggunakan perhitungan berdasarkan bagan desain yang dijelaskan juga faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan struktur perkerasan.

##### Desain Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2013

1. Umur rencana adalah jumlah waktu dalam tahun dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan baru. Untuk menentukan umur rencana perkerasan jalan baru dapat dilihat dengan Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Umur Rencana Perkerasan Jalan (Bina Marga, 2013)

Jenis Perkerasan	Elemen perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
Perkerasan Lentur	Lapis aspal dan lapisan berbutir dan CTB	20
Perkerasan Lentur	<p>Pondasi jalan</p> <p>Semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan sering ditinggikan akibat pelapisan, misal : jalan perkotaan, <i>underpass</i>,</p>	40
	Jembatan, terowongan.	
	<i>Cemen tretreated Based</i>	
Perkerasan Kaku	Lapis pondasi, lapis pondasi bawah, lapis pondasi semen	
Jalan Tanpa Penutup	Semua elemen	Minimal 10



2. Analisis lalu lintas didasarkan pada survey faktual untuk mendapatkan LHRT (Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan). Untuk keperluan desain volume lalu lintas dapat diperoleh dari :
  - a. Survey lalu lintas aktual, dengan durasi minimal 7x24 jam untuk mengetahui kondisi malam hari sehingga diperoleh nilai CESA yang lebih akurat (Romauli dkk., 2016). Pelaksanaan mengacu pada Pedoman Survey Pencacahan Lalu Lintas dengan cara Manual Pd T-19-2004-B atau dapat menggunakan peralatan dengan pendekatan yang sama.
  - b. Hasil survey lalu lintas sebelumnya.
  - c. Untuk jalan dengan lalu lintas rendah dapat menggunakan nilai perkiraan.
3. Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data yang diperoleh sebelumnya atau korelasi formulasi hubungan faktor pertumbuhan lain dapat juga menggunakan Tabel 2.2 digunakan sebagai nilai minimum.

Tabel 2.2 Perkiraan Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (Bina Marga, 2013)

	2011 - 2020	>2021 – 2030
Arteri dan Perkotaan (%)	5	4
Rural	3.5	2.5

Untuk menghitung pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana (R),

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas.

I = Tingkat pertumbuhan tahunan (%), dan

UR = Umur rencana (tahun).

4. Faktor distribusi dan kapasitas lajur untuk kendaraan niaga (truk dan bus) dalam desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur selama umur rencana. Kapasitas lajur mengacu pada Permen PU No.19/PRT/M/2011 mengenai Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan berkaitan Rasio Volume Kapasitas (RVK) yang harus dipenuhi. Dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Distribusi Lajur ( $D_L$ ) (Bina Marga, 2013)

Jumlah Lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

5. Perkiraan faktor ekuivalen beban (VDF) adalah perkiraan ekuivalen beban. Perhitungan beban lalu lintas harus akurat. Beban lalu lintas tersebut diperoleh dari :

- Studi jembatan timbang statis lainnya khusus untuk ruas jalan yang didesain.
- Studi jembatan timbang yang pernah dilakukan sebelumnya dan dianggap cukup representatif untuk ruas jalan yang didesain.
- Data Wim regional yang oleh Direktorat Bina Marga.
- Klasifikasi kendaraan dan nilai VDF.

6. Beban sumbu standar dan beban sumbu standar kumulatif atau cumulative equivalent single axle load (CESA) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas lajur desain rencana selama umur rencana, yang ditentukan sebagai berikut:

$$ESA = (\sum LHRT_{\text{jenis kendaraan}} \times VDF) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

ESA = Lintas sumbu standar ekuivalen untuk 1 hari.

LHRT = Lintas harian rata-rata tahunan untuk jenis kendaraan tertentu.

CESA = Kumulatif beban standart ekuivalen selama umur rencana.

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas.

7. Menghitung *Traffic Multiplier* (TM), untuk perkerasan lentur kerusakan akibat lalu lintas dinyatakan dalam ekuivalen sumbu standart 80 kN.

Tidak semua faktor pengaruh kinerja perkerasan lentur tercakup misal faktor kelelahan . Hubungan kekelahan lapisan aspal (*Asphalt Fatigue*) untuk lapis beraspal tebal berkaitan dengan regangan (*Strain*). Nilai TM untuk kondisi pembebanan yang berlebih di Indonesia adalah berkisar 1,8 – 2. Nilai yang akurat berbeda – beda tergantung beban berlebih pada kendaraan. Menghitung CESA<sub>5</sub> desain perkerasan dapat dengan mengalikan nilai CESA tertentu (pangkat 4) dikalikan nilai TM. Kerusakan perkerasan secara umum.

$$ESA_4 = \left( \frac{L_{ij}}{SL} \right) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$L_{ij}$  = Beban pada sumbu atau kelompok sumbu.

SL = Beban standar untuk sumbu atau kelompok sumbu, nilai SL

mengikuti ketentuan dalam pedoman desain (Bina Marga, 2005).

8. Menghitung CESA<sub>5</sub>

$$CESA_5 = (TM \times CESA_4) \dots\dots\dots(2.5)$$

9. Material bahan yang digunakan dari jenis material yang digunakan sebelumnya.

10. Menentukan daya dukung tanah dasar, untuk besaran tanah dasar yang umum berada di Indonesia berkisar 4% - 6%. Penentuan segmen seragam.

$$CBR \text{ karakteristik} = CBR \text{ rata-rata} - 1,3 \times \text{standar deviasi} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$CBR \text{ ekivalen} = \left\{ \frac{\sum h CBR^{0,333}}{\sum h} \right\}^3 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

h = Tinggi lapisan.

Tabel 2.4 Desain perkiraan nilai CBR tanah dasar (Bina Marga, 2013)

		LHRT <2000			LHRT >2000		
Zona Iklim dan Posisi	Zona iklim II,III dan IV galian, dan timbunan dengan FSL<1000 mm diatas muka tanah asli	Galian di Zona iklim I semua timbunan dengan FSL > 1000mm diatas tanah asli kecuali konstruksi kotak	Zona iklim II,II dan IV galian dan timbunan kotak dan timbunan dengan FSL < 1000 mm diatas tanah asli	Galian di Zona iklim I semua timbunan dengan FSL > 1000mm diatas tanah asli kecuali konstruksi kotak			
Posisi Muka air tanah rencana	Dibawah standar desain minimum	Standar desain minimum	>1200 mm dibawah formasi	Dibawah standar desain minimum	Satandar desain minimum		
Jenis Tanah	PI	CBR perkiraan (%)					
Lempung gemuk	50 -70	2	2	2	2	2	2
Lempung lanauan	40	2.5	2.7	3	2.5	2.6	3
	30	3	3.3	4	3.5	3.6	4
Lempung pasir	20	4	4.3	5	4.5	4.8	5.5
	10	3	3.5	4.5	4.5	5	6
Lanau		1	1.3	2	1	1.3	2
Tanah berbutir	Gunakan CBR Laboratorium (%)						

## 11. Menentukan struktur pondasi jalan

Tabel 2.5 Desain solusi pondasi jalan minimum (Bina Marga, 2013)

CBR tanah dasar I atau Tanah dasar 100% MDD, dipadatkan rendaman 4 hari	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur desain pondasi	Deskripsi struktur pondasi	Lalu lintas lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA <sub>5</sub> )		
				<2	2 - 4	>4
				Tebal peningkatan tambah dasar minimum (mm)		
>6	SG6	A	Perbaikan tanah	Tidak perlu		
5	SG5		dasar meliputi	100		
4	SG4		bahan stabilitas			
3	SG3		kapur atau	100	150	200
2.5	SG2.5		timbunan	150	200	300
			pilihan(pemadatan	175	250	350
			berlapis ≤200 mm	400	500	600
			tebal lapis)			
Tanah ekspansif (potential swell >5%)		AE				
<2.5 (DCP insitu)	SG1 aluvial	B	Lapis penopang	1000	1100	1200
	jenuh		capping			
	Tipikal CBR		Atau lapis	650	750	850
	awal ≤1.5 %		penopang dan			
	dibawah		geogrid			
	lapis					
	permukaan					
	keras					
Perkerasan lentur alluvial kering		C1	Perbaikan tanah	400	500	600
			dasar atau			
			timbunan dengan			
			rendaman CBR ≥			
			5 dalam 3 lapis			
Perkerasan kaku pada tanah alluvial kepadatan rendah kering		C2	Perbaikan tanah	1000	1100	1200
			dasar atau			
			timbunan dengan			
			rendaman CBR ≥			
			5 dengan per lapis			
			<300mm			
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan DBST		D	Lapis penopang berbutir	1000	1250	1500

## 12. Pemilihan struktur perkerasan

Pemilihan struktur perkerasan akan bervariasi sesuai estimasi lalu lintas, umur rencana, dan kondisi jalan.

Tabel 2.6 Pemilihan Struktur Perkerasan (Bina Marga, 2013)

Struktur Perkerasan	Desain	ESA 20 tahun (juta) (pangkat 4 kecuali disebutkan lain)				
		0 – 0.5	0.1 – 4	4 - 10	10 - 30	>30
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	4			2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (desa dan daerah perkotaan)	4A		1.2			
AC WC modifikasi atau SMA dengan CTB (pangkat 5)	3				2	
AC dengan CTB (pangkat 5)				2		
AC tebal $\geq 100$ m dengan lapis pondasi berbutir (pangkat 5)	3A			1.2		
AC tipis atau HRS diatas lapis pondasi berbutir	3		1.2			
Burda atu Burtu dengan LPA Kelas A atau Kerikil Alam	Tabel	3	3			
Lapis Pondasi Tanah Semen ( <i>Soil Cement</i> )	Tabel	1	1			
Perkerasan tanpa penutup	Tabel	1				

## 13. Desain Tebal Perkerasan

Tabel 2.7 Desain bagan 3 Perkerasan Lentur opsi biaya minimum termasuk CTB (Bina Marga, 2013)

	Struktur Perkerasan								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	
	Lihat Desain 5 dan 6				Lihat Bagan Desain 4 untuk opsi lebih murah				
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun di lajur rencana (pangkat5)( $10^6$ CESA <sup>5</sup> )	< 0.5	0.5-2	2 - 4	4-30	30-50	50 - 100	100 - 200	200-500	
Jenis permukaan berpegikat	HRS SS atau penmac	HRS (6)		AC <sub>c</sub> atau AC <sub>f</sub>	AC <sub>c</sub>				
Jenis Lapis pondasi atas dan pondasi bawah	Lapis pondasi berbutir A				Cemen Treated Base (CTB)				
Ketebalan Lapis Perkerasan (mm)									
	HRS WC	30	30	30					
	HRS Base	35	35	35					
	AC WC				40	40	40	50	50
Lapis beraspal	AC BC				135	155	185	220	280
CTB	CTB				150	150	150	150	150
atau LPA kelas A	LPA kelas A	150	250	250	150	150	150	150	150
LPA kelas A, LPA kelas B atau kerikil alam atau lapis distaabilisasi dengan CBR > 10%		150	125	125					

Tabel 2.8 Desain bagan 3A Perkerasan Lentur Alternatif (Bina Marga, 2013)

	Struktur Perkerasan			
	FF1	FF2	FF3	FF4
	ESA <sub>5</sub> (juta) untuk UR 20 th dilajur desain			
	0.8	1	2	5
	TEBAL LAPIS PERKERASAN			
AC WC	50	40	40	40
AC BC Lapis 1	0	60	60	60
AC BC Lapis2 AC base	0	0	80	60
AC BC Lapis 3/AC base	0	0	0	75
LPA Kelas A lapis 1	150	150	150	150
LPA Kelas A lapis 2/LPA Kelas B	150	150	150	150
LPA Kelas A, LPA kelas batu kerikil alam atau lapis distabilitas dengan CBR > 10%	150	150	0	0



Tabel 2.9 Desain bagan 3A Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis pondasi berbutir (Bina Marga, 2013)

	Struktur Perkerasan								
	FF1	FF	FF3	FF4	FF5	FF6	Ff7	FF8	FF9
	2								
	Solusi yang dipilih			Lihat catatan 3			Lihat catatan 3		
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun di lajur rencana (pangkat 5)( $10^6$ CESA <sup>5</sup> )	1 -2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50 - 100	100 - 200
	Ketebalan lapis perkerasan (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC binder	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA	400	300	300	300	300	300	300	300	300

### 2.2.5. Metode AASHTO 1993

Care dkk. (2012) menyatakan metoda AASHTO 1993 dapat digunakan pada evaluasi struktural pada ruas jalan yang memiliki volume lalu lintas tinggi dengan bantuan data lendutan FWD. Metode AASTHO merupakan metode perancangan tebal perkerasan yang berkembang di Amerika serikat. Metode ini pertama kali dikenal pada tahun 1972 kemudian berkembang dan dipakai secara umum untuk perencanaan serta sebagai standar perencanaan diberbagai negara. Metode ini merupakan perencanaan yang berdasarkan pada metode empiris. Parameter yang terdapat pada metode AASHTO 1993 : *Structural Number* (SN), Lalu lintas, *Reliability*, Faktor lingkungan, dan *Serviceability*.

#### 1. Periode Analisa (*Analysis Period*)

Penentuan umur rencana meliputi pemeliharaan dan kinerja jalan. Umur rencana dapat sama atau lebih dari umur kinerja jalan tersebut, bisa 10 – 50 tahun. Besarnya periode analisa didasarkan pada klasifikasi fungsi jalan dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Klasifikasi fungsi jalan (AASHTO,1993)

<i>Highway Condition</i>	<i>Analysis Period</i>
<i>High Volume Urban</i>	30 – 50
<i>High Volume Rural</i>	20 – 50
<i>Low Volume Paved</i>	15 – 25
<i>Low Volume Agregate Surface</i>	10 - 20

## 2. Lalu lintas (*Traffic*)

Perencanaan didasarkan pada nilai kumulatif 18 – kip beban sumbu tunggal ekuivalen. Untuk beberapa kondisi perencanaan dengan konstruksi perkerasan hingga akhir masa layanan tanpa peningkatan dan *overlay* diperlukan lalu lintas secara keseluruhan selama masa analisa. Tetapi jika dipertimbangkan untuk konstruksi bertahap, maka harus diantisipasi pengaruh dari pengembangan tanah, pembekuan, dan dana yang tersedia. Untuk menghitung beban lalulintas 18 – kip – ESAL selama periode analisa sebagai berikut:

$$W_{18} = D_D \times D_L \times w_{18}^{\wedge} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:  $D_D$  = Faktor distribusi berdasarkan arah.

$D_L$  = Faktor distribusi berdasarkan lajur.

$w_{18}^{\wedge}$  = Nilai Kumulatif prediksi ESAL 18 – kips.

Koefisien distribusi kendaraan (C), dinyatakan dalam faktor distribusi arah ( $D_D$ ) dan distribusi lajur ( $D_L$ ) dengan Persamaan sebagai berikut.

$$C = D_D \times D_L \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:  $D_D$  = Faktor distribusi arah.

$D_L$  = Faktor distribusi lajur.

Pada umumnya nilai  $D_D$  digunakan sebesar 0,5. Berdasar penelitian dimana arah mana yang ‘berat’ dan ‘kosong’ maka nilai  $D_D$  bervariasi dari 0,3 – 0,7 ,sedangkan  $D_L$  nilai diambil dari Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Faktor Distribusi Lajur ( $D_L$ ) (AASHTO,1993)

Jumlah lajur tiap arah	% 18 – kip ESAL <i>design</i>
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
$\geq 4$	50 – 75

### 3. Angka Ekuivalen (E)

Menurut Bina Marga 2005, angka perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan satu beban sumbu standar. Angka ekuivalen dapat dihitung dengan Persamaan 2.10.

a) Sumbu tunggal roda tunggal (STRT)

$$STRT = \left( \frac{\text{Beban sumbu dalam ton}}{5,40} \right)^4 \dots\dots\dots(2.10)$$

b) Sumbu tunggal roda ganda (STRG)

$$STRG = \left( \frac{\text{Beban sumbu dalam ton}}{8,16} \right)^4 \dots\dots\dots(2.11)$$

c) Sumbu ganda roda ganda (SGRG)

$$SGRG = \left( \frac{\text{Beban sumbu dalam ton}}{13,76} \right)^4 \dots\dots\dots(2.12)$$

d) Sumbu triple roda ganda (STrRG)

$$STrRG = \left( \frac{\text{Beban sumbu dalam ton}}{18,45} \right)^4 \dots\dots\dots(2.13)$$

### 4. Kinerja Jalan

Perencanaan perkerasan didasarkan pada total volume lalu lintas yang spesifik dengan tingkat pelayanan minimum yang terjadi pada akhir umur rencana. Kinerja perkerasan jalan dinyatakan dengan Indeks Pelayanan (*Serviceability index*) pada awal ( $P_o$ ) dan akhir ( $P_t$ ) umur rencana meliputi : keamanan, struktur perkerasan, fungsi pelayanan.

Nilai PSI didapatkan berdasar kekasaran (*Roughness*), pengukuran kerusakan (*Distress*). Nilai  $P_o$  untuk perkerasan kaku menggunakan nilai  $P_o$  4,5 dan nilai  $P_o$  perkerasan lentur yang direkomendasikan AASHTO 4,2 atau dipilih sesuai kondisi setempat. Angka PSI pada umur rencana ( $P_t$ ) adalah angka yang masih dapat diterima sebelum dilakukan pelapisan ulang (*Overlay*) atau peningkatan.

Untuk perencanaan jalan kelas tinggi digunakan angka antara 2,5 – 3,0, sedangkan untuk kelas rendah 2,0. Jika mempertimbangkan ekonomi dapat 1,5. Indeks pelayanan akhir (Pt) dapat menggunakan Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Indeks Pelayanan Akhir (Pt) (AASHTO, 1993)

Indeks Pelayanan Akhir (Pt)	% Masyarakat yang tidak menerima
3.0	12
2.0	55
1.0	85

Faktor yang menyebabkan penurunan angka PSI adalah : lalu lintas, umur perkerasan, faktor lingkungan. Faktor lingkungan adalah pengaruh dari kondisi awal *swell* dan *forst heave* dipertimbangkan, maka penurunan diperhitungkan selama analisis yang berpengaruh pada umur rencana perkerasan.

#### 5. Modulus *resilient* tanah dasar (MR)

Modulus *resilient* adalah suatu ukuran kemampuan tanah atau lapis pondasi granuler dalam menahan deformasi akibat beban berulang. Nilai modulus *resilient* tanah dasar dapat diperoleh dari pemeriksaan AASHTO atau korelasi dengan nilai CBR (Hardiyatmo, 2015). Modulus *resilient* tanah dasar juga sering dikorelasikan dengan nilai CBR dengan Persamaan 2.14.

$$MR (\text{Psi}) = 1500 \times \text{CBR} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan : CBR = Nilai CBR (%)

#### 6. Reliabilitas (R) dan Simpangan baku (So)

Tingkat kemungkinan bahwa perkerasan yang dirancang akan tetap memuaskan selama masa pelayanan dari pengguna jalan. Nilai reliabilitas dapat dilihat dalam Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Nilai Reliabilitas (R)(AASHTO, 1993)

Fungsi Jalan	Tingkat Reliabilitas	
	Perkotaan	Antar kota
Jalan Tol	85 – 99.9	85 – 99.9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 - 80	50 - 80

Berdasarkan tingkat Reliabilitas AASHTO memberikan nilai simpangan baku normal ( $Z_R$ ). Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Nilai Simpangan Baku Normal ( $Z_R$ )(AASHTO, 1993)

Reliabilitas,R (%)	Simpangan Baku Normal, $Z_R$	Reliabilitas,R (%)	Simpangan Baku Normal, $Z_R$
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

Simpangan baku keseluruhan ( $S_o$ ) merupakan gabungan simpangan baku dari perkiraan lalu lintas dan perkiraan kinerja lalu lintas. Perkiraan untuk simpangan baku perkerasan lentur adalah 0,44 dan perkerasan kaku 0,49. Nilai Simpangan Baku Keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Nilai Simpangan Baku Keseluruhan ( $S_o$ )(AASHTO, 1993)

Jenis Perkerasan	Nilai ( $S_o$ )
Perkerasan Lentur	0.40 – 0.50
Perkerasan Kaku	0.30 – 0.40

7. Lintas Ekivalen Lajur Rencana (W18)

Lintas Lintas ekivalen pada saat jalan mulai dibuka dihitung dengan Persamaan 2.15.

$$W18 = LHRo \times E \times D_D \times D_L \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan : LHRo = Lalu lintas harian diawal umur rencana.

E = Angka ekivalen untuk satu jenis kendaraan.

D<sub>D</sub> = Faktor distribusi arah.

D<sub>L</sub> = Faktor distribusi lajur.

8. Lintas Ekivalen Selama Umur Rencana (W18t)

$$W18t = W18 \times 365 \times N \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan : 365 = Jumlah hari dalam setahun.

N = Faktor umur rencana yang sesuai perkembangan lalu lintas.

Besarnya nilai N dari:

$$N = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan : i = Faktor pertumbuhan lalu lintas selama UR.

UR = Umur rencana.

9. Faktor Drainase (M)

Tingkat kecepatan mengeluarkan air yang terdapat pada konstruksi jalan bersama dengan beban lalu lintas dan kondisi permukaan jalan sangat mempengaruhi umur pelayanan jalan. Kualitas drainase pada AASHTO dapat dilihat Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Kualitas Drainase (AASHTO, 1993)

Kualitas Drainase	Waktu air hilang
Baik sekali	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1minggu
Buruk	1 bulan
Buruk sekali	Air tidak mengalir

Berdasarkan kualitas drainase, maka dapat ditentukan koefisien drainase dari lapisan perkerasan. Daftar koefisien drainase pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Koefisien Drainase (AASHTO, 1993)

Kualitas Drainase	% Waktu struktur perkerasan dalam keadaan lembab basah			
	< 1	1 - 5	5 - 25	>25
Baik sekali	1.40 – 1.35	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
Buruk	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Buruk Sekali	1.05 – 0.95	0.80 – 0.75	0.60 – 0.40	0.40

#### 10. *Structural Number* (SN)

SN untuk struktur perkerasan awal perlu ditentukan dahulu, merupakan fungsi dari ketebalan lapisan, koefisien relatif lapisan (*layer coefficient*), dan koefisien drainase (*drainage coefficient*). Persamaan tebal lapis perkerasan berdasarkan SN dapat dilihat sebagai berikut:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan:  $a_i$  = Koefisien relatif lapis ke  $i$ .

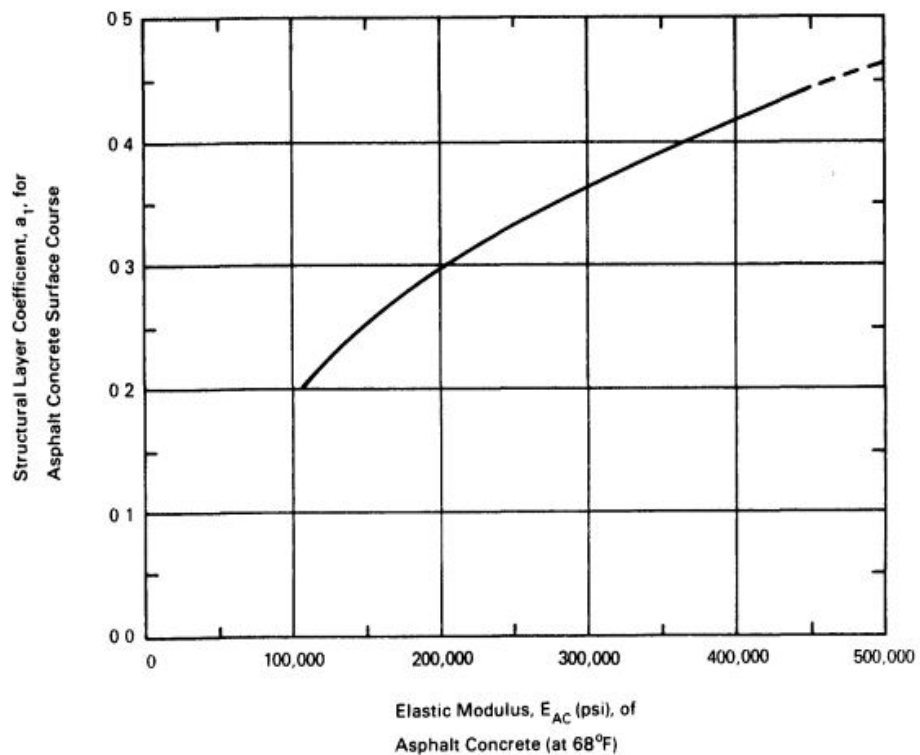
$D_i$  = Tebal lapis ke  $i$ .

$M_i$  = Koefisien drainase lapis ke  $i$ .

##### a. Koefisien relatif lapisan (a)

Koefisien relatif lapisan (a) merupakan kekuatan masing – masing jenis bahan pada metode AASHTO 1993 agar berfungsi sebagai satu komponen struktural dari perkerasannya. Angka koefisien relatif lapisan (a) diperoleh dari korelasi modulus elastis (*resilien*), CBR atau *R – value*. Untuk mendapatkan nilai modulus material AASHTO menganjurkan pengujian dengan metode AASHTO T274 (untuk lapisan pondasi bawah dan material tanpa bahan perekat) dan ASTM D4123 (untuk beton aspal dan material yang distabilisasi) untuk pentuan nilai koefisien berdasar material dapat dilihat pada SNI-1732-1989-F. Nilai koefisien lapisan beton aspal ( $a_1$ ) dapat digunakan Gambar 2.2 untuk lapis permukaan

berdasarkan modulus elastisitas (*resilien*),  $E_{AC}$  pada suhu 68° F. Dianjurkan untuk berhati – hati mengambil nilai diatas 450.000 psi. meskipun modulus beton aspal lebih tinggi mengindikasikan bahan lebih kaku, tahan terhadap lentur namun rentan terhadap panas dan retak akibat kelelahan.



Gambar 2.2 Grafik untuk memperkirakan koefisien lapisan dari tingkat kepadatan beton aspal ( $a_1$ ) berdasarkan modulus resilien (AASHTO, 1993)

Untuk memperkirakan nilai koefisien lapisan ( $a_2$ ) dapat dilihat pada Gambar 2.3. Selain itu dapat diperkirakan dari persamaan 2.19.

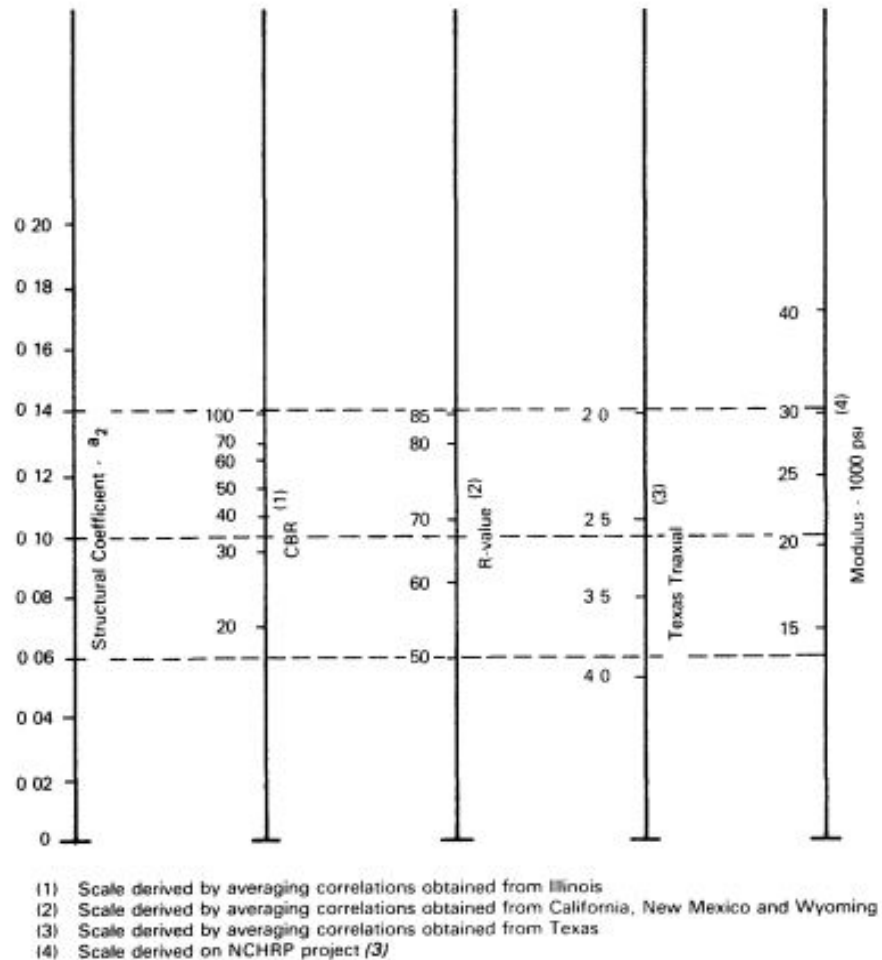
$$A_2 = 0,249 (\log E_{BS}) - 0,977 \dots\dots\dots(2.19)$$

Untuk lapis berbutir,  $E_{BS}$  merupakan fungsi tegangan ( $\sigma$ ) yang dapat dituliskan dengan persamaan 2.20.

$$E_{BS} = K_1 \times E_{BS}^{K_2} \dots\dots\dots(2.20)$$



Dengan :  $\sigma$  = Jumlah tegangan pokok (Psi).  
 $K_1, K_2$  = Regresi konstan (tipe material).

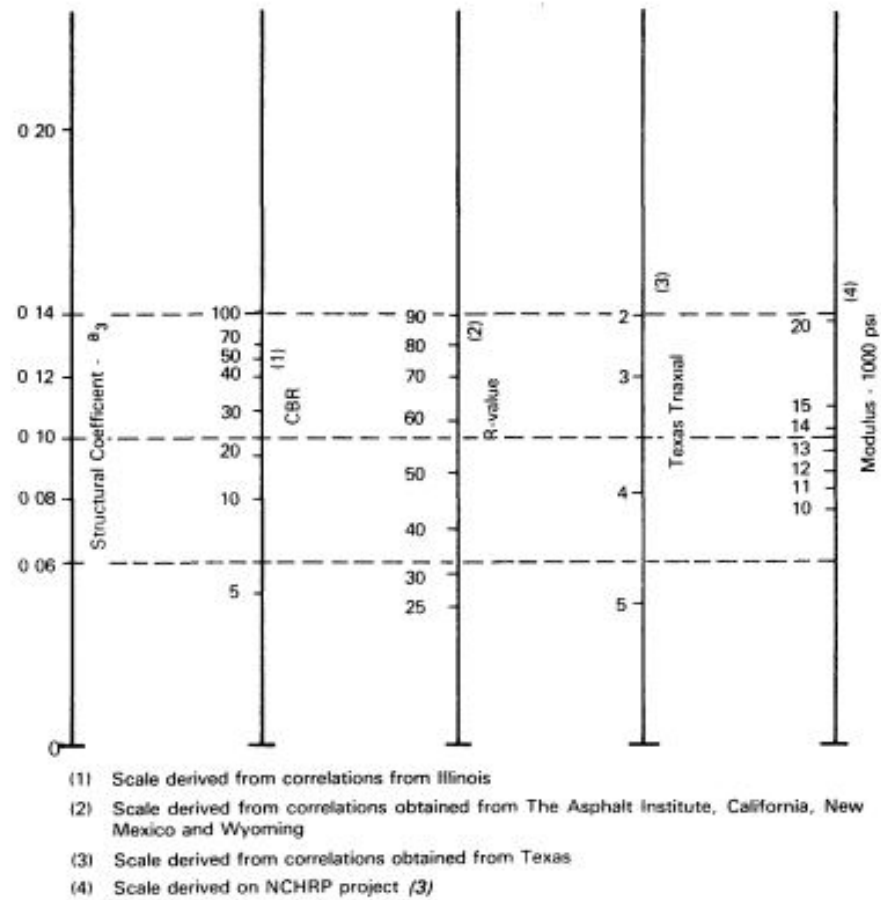


Gambar 2.3 Variasi koefisien lapisan pondasi dengan material berbutir ( $a_2$ ) untuk bermacam parameter kekuatan (AASHTO, 1993)

Untuk memperkirakan nilai koefisien lapisan ( $a_3$ ) dapat dilihat pada Gambar 2.3. Selain itu  $a_3$  juga dapat diperkirakan dari Persamaan 2.21.

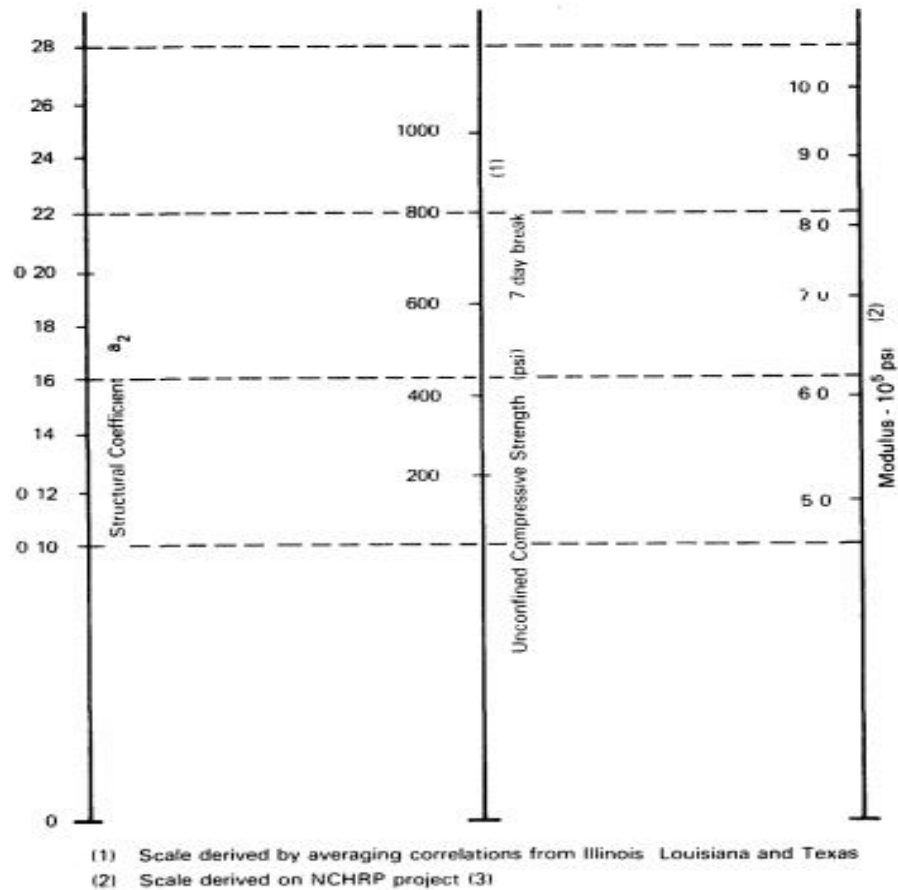
$$a_3 = 0,227 ( \log E_{BS} ) - 0,839 \dots \dots \dots (2.21)$$

Untuk lapisan pondasi bawah,  $E_{BS}$  dipengaruhi oleh tegangan, adapun caranya sama dengan lapisan pondasi atas. Nilai material pondasi bawah sesuai dengan grafik Gambar 2.4.

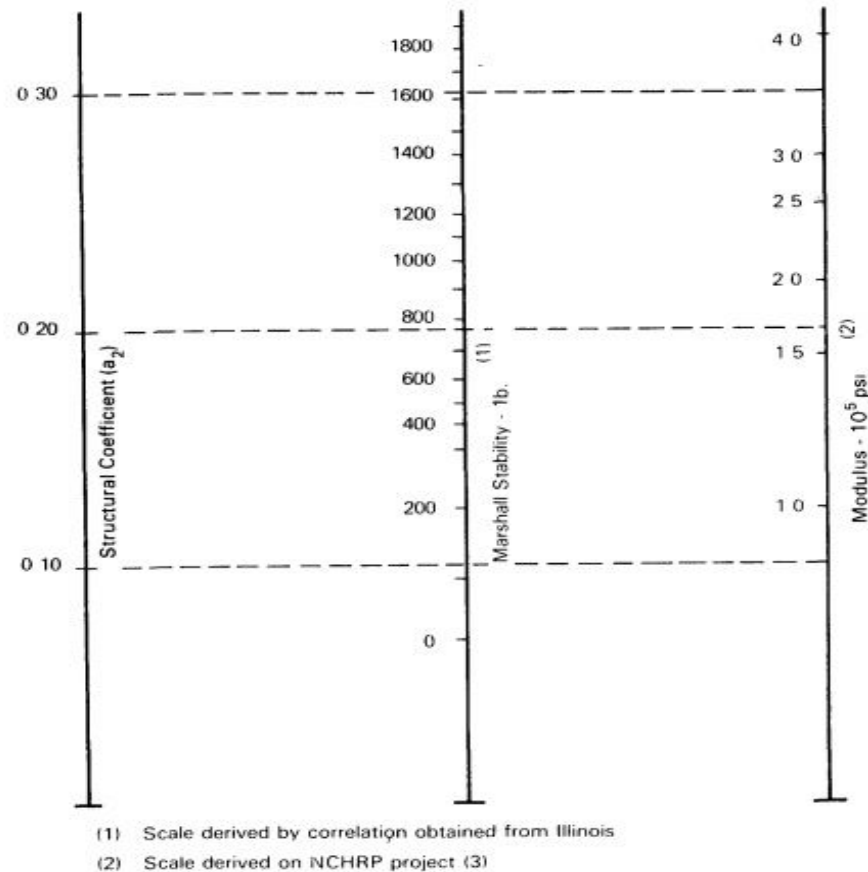


Gambar 2.4 Variasi koefisien lapisan pondasi bawah dengan material berbutir ( $a_3$ ) untuk bermacam – macam pondasi (AASHTO, 1993)

Grafik untuk memperkirakan nilai koefisien pada lapisan struktural a2 dengan menggunakan material bahan lapis pondasi bersemen (CTB) dan lapis pondasi beraspal (ATB) seperti terlihat pada Gambar 2.5 dan 2.6.



Gambar 2.5 Variasi koefisien kekuatan relatif lapis pondasi bersemen (CTB) (AASHTO, 1993)



Gambar 2.6 Variasi koefisien kekuatan relatif lapis pondasi beraspal  
 (AASHTO, 1993)

b. Batas minimum tebal lapis perkerasan (Di)

Nilai – nilai tebal lapisan minimum campuran aspal dan lapis pondasi. AASHTO memberikan batasan minimum untuk tebal perkerasan sesuai Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Nilai tebal perkerasan minimum (*inch*)  
 (AASHTO,1993)

Volume Lalu lintas ESAL	Beton Aspal	Pondasi Agregat
< 50.000	1.0	4
50.000 – 150.000	2.0	4
150.000 – 500.000	2.5	4
500.001 – 2.000.000	3.0	6
2.000.000 – 7.000.000	3.5	6
> 7.000.000	4.0	6

Menentukan tebal lapis perkerasan datar menggunakan persamaan berikut:

- a. Angka struktural 1 (SN1)

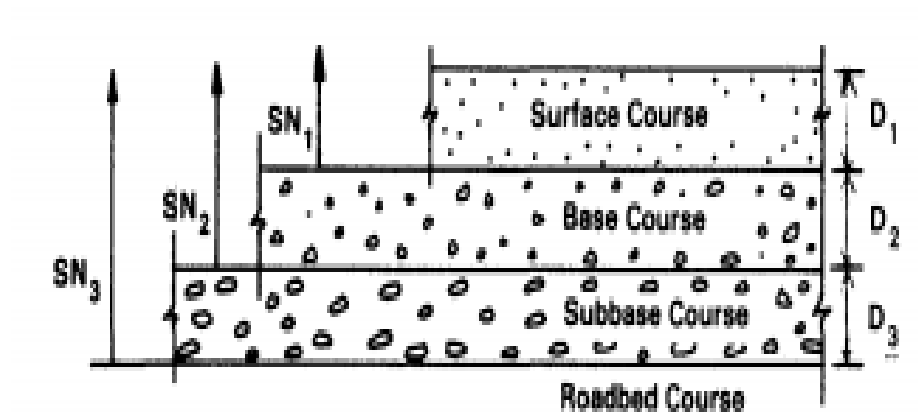
$$D1 = \frac{SN^1}{a_1} \dots \dots \dots (2.22)$$

- b. Angka Struktural 2 (SN2)

$$D2 = \frac{SN_2 - (a_1 D_1)}{a_2 m_2} \dots \dots \dots (2.23)$$

- c. Angka structural 3 (SN3)

$$D3 = \frac{SN_3 - a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2}{a_3 m_3} \dots \dots \dots (2.24)$$



Gambar 2.7 Diagram tebal lapis perkerasan (AASHTO, 1993)

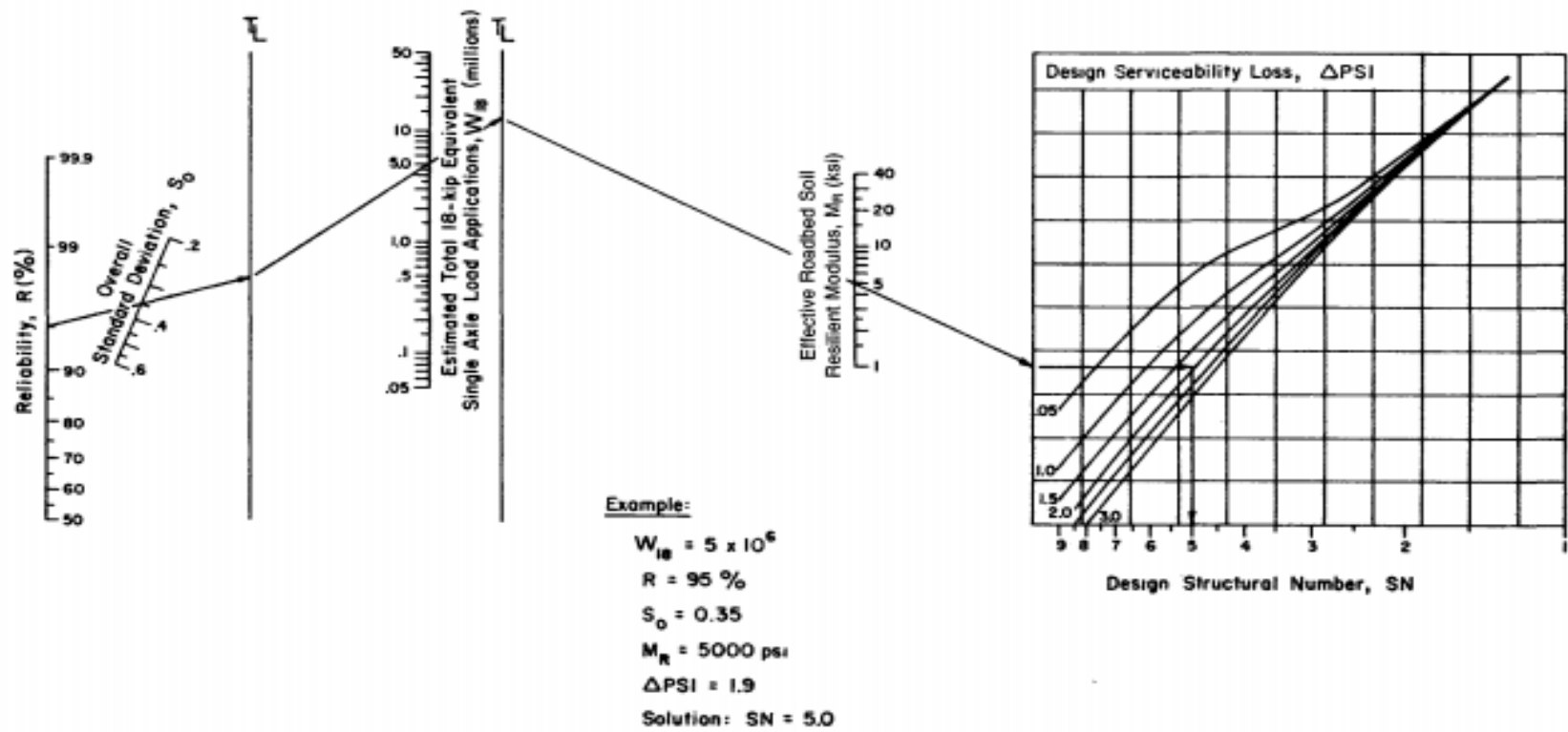


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

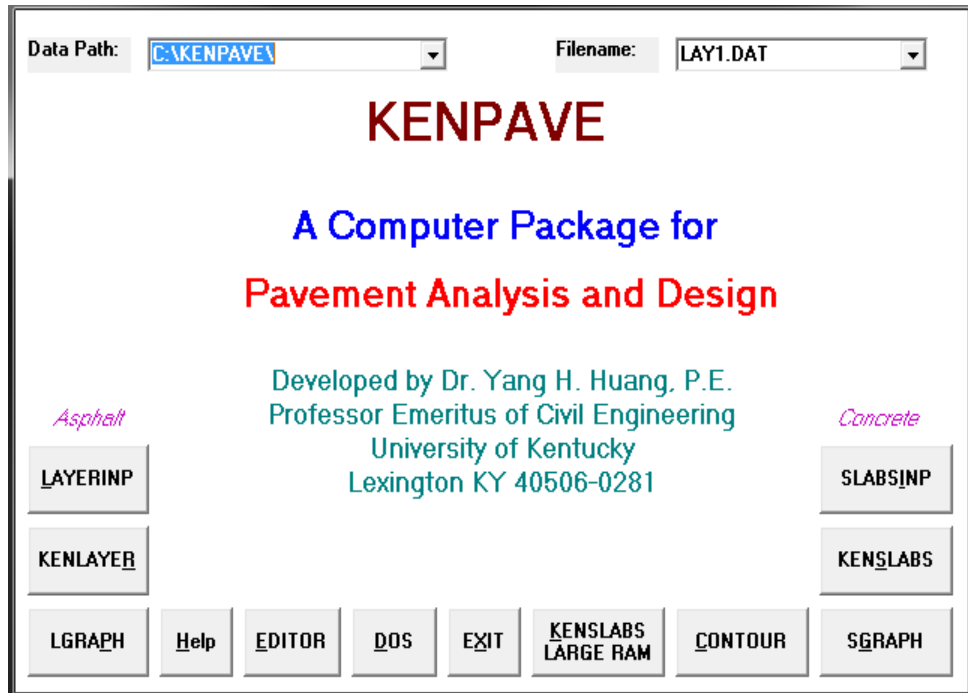
Gambar 2.8 Nomogram perhitungan perkerasan lentur AASHTO 1993

### 2.2.6. Program *Kenpave*

Program *Kenpave* merupakan program desain perencanaan dari tanah dasar, lapis pondasi hingga lapis permukaan jalan dan dapat menganalisis perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan fleksibel dan lebih mudah dari program lain dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E. *Professor Emeritus of Civil Engineering of Kentucky*. Untuk menjalankan program *Kenpave* membutuhkan data karakteristik dan material seperti modulus elastisitas, *poisson ratio*, beban roda, tekanan ban, dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang diperlukan. Program *Kenpave* terbagi 4 (empat) pilihan utama ditambah beberapa program untuk menunjukkan grafis, keempat program tersebut yaitu LAYERINP, KENLAYER, SLABSINP, dan KENSLABS. Untuk menganalisa perkerasan lentur menu menggunakan yaitu LAYERINP dan KENLAYER sedang untuk perkerasan kaku menggunakan menu SLABSINP dan KENSLABS.

#### 1. Menu Utama Program *Kenpave*

Program *Kenpave* memiliki beberapa menu yang digunakan dalam menganalisis dan mendesain perkerasan. Menu pada program *kenpave* dapat dilihat pada Gambar 2.9 sebagai berikut.



Gambar 2.9 Menu utama program *Kenpave*

a. Data Path

Merupakan direktori tempat penyimpanan data. Umumnya pada direktori adalah default C:\KENPAVE\ dikarenakan lokasi penginstalan.

b. Filename

Pada menu filename akan ditampilkan nama *file* baru digunakan dalam menganalisa LAYERINP atau SLABSINP, tidak perlu mengisi nama dikotak *filename* karena file akan dibuat otomatis pada menu *filename*. Semua file data harus memiliki ekstensi DAT. Nama *File* ditampilkan dalam kotak juga akan digunakan dalam *file* lain yang dihasilkan selama pelaksanaan KENLAYER atau KENS LABS. Untuk *file* yang ada untuk di edit, dapat mengetik nama file atau menggunakan daftar *drop-down box* untuk menemukan nama file.

c. Help

Pada menu *Help* yaitu bantuan yang menjelaskan parameter input dan penggunaan yang tepat dari program. Beberapa menu memiliki menu *help* atau tombol yang harus diklik jika ingin membacanya.



d. Editor

Menu *editor* untuk memeriksa, mengedit, dan cetak data *file*. Untuk penggunaan pemula dengan pengaturan *file* data, penggunaan LAYERINP atau SLABINP sebagai *editor* sangat dianjurkan. Setelah semua analisis yang diinginkan selesai, klik exit untuk menutup *Kenpave*.

e. LAYERINP dan SLABINP

LAYERINP dan SLABINP digunakan untuk membuat data *file* sebelum KENLAYER atau KENSLABS dapat dijalankan.

f. KENLAYER dan KENSLABS

Menu ini merupakan program utama untuk analisis perkerasan dan dapat dijalankan hanya setelah *file* data telah diisi. Program ini akan membaca dari *file* data yang telah diisi. Selama analisis beberapa hasil akan muncul dilayar.

g. LGRAPH dan SGRAPH

Menu ini dapat digunakan untuk menampilkan grafik rencana dan bentuk lapisan perkerasan dengan beberapa informasi tentang *input* dan *output*.

h. *Contour*

Menu ini berguna untuk plot kontur tekanan atau momen dalam arah x atau y. Namun plot *contour* untuk perkerasan kaku.

2. Program KENLAYER

Program ini digunakan pada jenis perkerasan lentur. Program KENLAYER digunakan untuk menentukan rasio kerusakan menggunakan model tekanan (*distress model*). *Distress model* adalah retak dan deformasi. *Output* regangan yang dianalisa menggunakan KENLAYER menghasilkan retak dan deformasi dalam perancangan. Salah satunya adalah regangan tarik horizontal pada bawah lapisan perkerasan yang menyebabkan retak lelah atau *fatigue cracking* dan regangan tekan vertikal pada permukaan tanah dasar yang menyebabkan retak alur atau *rutting*. *Distress model* dapat untuk memprediksi umur perencanaan baru dengan asumsi konfigurasi perkerasan.

Jika kemampuan untuk *distress* tertentu lebih kecil dari tingkat minimum yang dibutuhkan, konfigurasi perkerasan yang diasumsikan harus diubah.

Program ini menganalisa perkerasan jalan dengan tipe perkerasan berbeda seperti *linier*, *non linier*, *viscoesitas* dan kombinasi ketiganya dimulai input menu LAYERINP. LAYERINP mempunyai 10 menu yang perlu diisi data perencanaan. Berikut ini akan dijelaskan tentang menu-menu yang ada di LAYERINP.



Gambar 2.10 Menu utama pada LAYERINP

a. File

Menu Menu file terdiri dari (*new*) membuat file baru dan (*old*) membuka file yang sudah ada.

b. General

Menu ini terdapat beberapa menu dapat dilihat pada gambar 2.11 dengan keterangan sebagai berikut.

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE |

Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)	1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA)	0
Number of periods per year	(NPY)	1
Number of load groups	(NLG)	1
Tolerance for numerical integration	(DEL)	0.001
Number of layers	(NL)	3
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)	0
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0=if some are frictionless)	(NBOND)	1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)	1
Number of layers for top compression	(NLTC)	1
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)	0

OK

(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage that you don't have to delete the default before typing in the data you want. If you want to read the remaining text, you can use the scrollbar. You can also use the PgDn key after clicking this textbox to make it active.

(2) TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No comma should be used in TITLE. Use colon or semicolon instead.

(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

Gambar 2.11 Tampilan menu *General*

- 1) Title : Judul dari analisa perkerasan.
- 2) MATL : Tipe dari material.
  - (1) Jika seluruh material lapisan linier elastis.
  - (2) Material lapisan non linier elastis.
  - (3) Lapisan material viskoelastis.
  - (4) Jika material lapisan kombinasi dari ketiga diatas.
- 3) NDAMA : Memilih analisa kerusakan.
  - (0) Jika tidak ada analisis kerusakan.
  - (1) Terdapat kerusakan dan ada hasil printout.
  - (2) Terdapat kerusakan pada analisis dan hasil printout lebih detail.
- 4) DEL : Nilai akurasi hasil analisa, standar akurasi 0.001.
- 5) NL : Jumlah lapisan, maksimal 19 lapisan.
- 6) NZ : Letak koordinat arah z yang akan dianalisa. Jika

NDAMA = 1 atau 2, maka NZ = 0 karena program akan menganalisa dikoordinat yang mengalami kerusakan.

- 7) NSTD : (1) Untuk vertical *displacement*.  
 (5) Untuk vertical *displacement* dan nilai tegangan.  
 (9) Untuk vertical *displacement*, nilai tegangan dan regangan.
- 8) NBOND : (1) Jika antar lapisan saling terikat.  
 (2) Jika antar lapisan tidak terikat atau gaya geser diabaikan.
- 9) NUNIT : Satuan yang digunakan.  
 (0) *English*.  
 (1) Satuan Internasional.

Tabel 2.19 Keterangan satuan yang digunakan

Satuan	Satuan <i>English</i>	Satuan Internasional
Panjang	Inch	Cm
Tekanan	Psi	kPa
Modulus	Psi	kPa

c. *Zcoord*

Menu yang melakukan analisis pada koordinat Z. Jumlah poin pada menu ini sama dengan jumlah NZ pada menu general. ZC adalah jarak vertikal atau jarak dalam arah Z yang akan di analisa. Menu *Zcoord* dapat dilihat pada Gambar 2.12 sebagai berikut.

Point No.	ZC
1	0
2	7.5
3	22.5
4	42.5
5	45

(1) This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. You should not click the other cell before pressing the Enter key, otherwise the data you have typed will move to the cell you click.

(2) ZC (vertical distance, or z coordinate, of each response point): When the point is located exactly at the interface between two layers, the results are at the bottom of upper layer. If the results at the top of lower layer are desired, a slightly larger z coordinate, say 0.0001 larger, should be used.

(3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

Use <Ctrl>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> to clear a cell.

OK

Gambar 2.12 Menu *Zcoord*

- 1) Unit = Nomor titik sesuai dengan jumlah titik yang dianalisa.
  - 2) ZC = Jarak dalam arah Z yang akan dianalisa program.
- d. Layer

Menu layer digunakan untuk memasukan data berisi jumlah lapis perkerasan sama dengan NL pada menu general. Menu *layer* dapat dilihat pada Gambar 2.13 dengan keterangan sebagai berikut.

Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight for Data Set No. 1

After typing the value in a cell, be sure to press the Enter key to make it effective.

Unit                      cm                      kN/m<sup>3</sup>

Layer No.	TH	PR
1	7.5	.35
2	15	.4
3	0	.4
4	XXXXXXXXXX	.45

Use <Ctrl>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> to clear a cell.

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. Note that the dotted rectangle is now in the upper left cell, so you can type in the data right away. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you

OK

Gambar 2.13 Tampilan menu *layer*

- 1) Unit           : Nomor titik sesuai jumlah lapisan.
- 2) TH            : Tebal tiap lapisan.
- 3) PR            : *Poisson ratio* tiap *layer*.

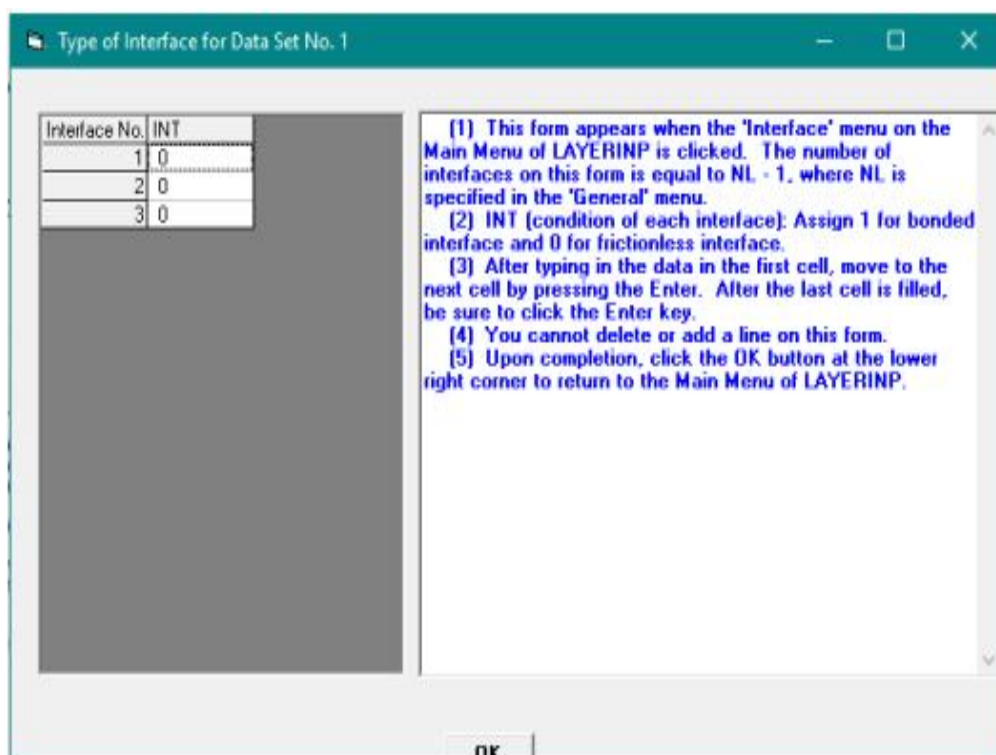
Tabel 2.20 Nilai *Poisson ratio*

Material	<i>Poisson Ratio</i>
<i>Portland Cement Concrete</i>	0,15 – 0,20
<i>Hot mix Ashpal</i>	0,30 – 0,40
<i>Untreated Granular Materials</i>	0,30 – 0,40
<i>Cement Treated Granular Materials</i>	0,10 – 0,20
<i>Cement Treated Fine Grained Soils</i>	0,15 – 0,35
<i>Lime Stabilized Materials</i>	0,10 – 0,25
<i>Lime Flyash Mixture</i>	0,10 – 0,15
<i>Loose Sand or Silt Sand</i>	0,20 – 0,40
<i>Dense Sand</i>	0,30 – 0,45
<i>Fine Grained Soils</i>	0,30 – 0,50
<i>Saturated Sof Clays</i>	0,40 – 0,50

Sumber : Huang H. Yang, 2004

e. *Interface*

Menu ini berkaitan dengan NBOND yang ada dalam menu general. Jika NBOND = 1 maka menu *interface* akan *default* / tidak dapat dibuka, jika NBOND = 2 maka akan keluar seperti dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Tampilan layar *Interface*

f. *Moduli*

Jumlah periode dalam menu *moduli* sama dengan jumlah NPY dalam menu *general*. Maksimal periode dalam menu ini adalah 12. Menu *moduli* dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan tampilan layar *moduli for period* pada Gambar 2.16, dengan keterangan sebagai berikut.

Layer Modulus of each period for Data Set No. 1

Period1 done	Period2 input	Period3 input	Period4 input	Period5 input	Period6 input
Period7 input	Period8 input	Period9 input	Period10 input		

(1) This form appears when the 'Moduli' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of periods on this form is equal to NPY, as specified in the 'General' menu. The 12 buttons on the form indicates that a maximum of 12 periods may be used. However, only the periods being actually specified are marked with the period number on the button.

(2) Below the period button is a label showing 'input' in red, indicating that there are no defaults and you must enter the elastic modulus for each layer. After the data are entered, the letter 'input' will be changed to 'done'.

(3) Now you can click the Period1 button to enter the data. After the data for all periods are entered, as indicated by 'done' under each period button, click OK to return to the Main Menu of LAYERINP.

OK

Gambar 2.15 Tampilan layar *Moduli*

Layer Moduli for Period No. 1 and Data Set No. 1

Unit	kPa
Layer No.	E
1	2800000
2	140000
3	280000
4	35000

(1) This form appears when the period button on the Layer Modulus of Each Period is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu.

(2) E (elastic modulus of each layer): Use as the assumed modulus for the first iteration when the layer is nonlinear. If more convenient, you can enter the modulus in exponential form such as 1.234E5. Assign 0 or any value for viscoelastic layer.

(3) After typing the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key. After the last cell is filled, be sure to click the Enter key.

(4) You can delete a line, or one layer, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>-<Del> keys. The NL in the 'general' menu will be reduced automatically by 1.

(5) You can add a new line, or one more layer, above any given line by first clicking the cell in the given line to make it active and then press the <Ctrl>-<Ins>. A blank line will appear for you to enter the necessary data. The NL in the 'General' menu will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NL in the 'General' menu by adding 1 and a blank line will appear as the last line. Remember that always use the <Ctrl>-<Ins>

Use <Ctrl>-<Del> to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and <Del> to clear a cell.

OK

Gambar 2.16 Tampilan layar *Moduli for period*

- 1) Unit : Nomor titik sesuai jumlah lapisan.
- 2) E : Modulus elastisitas tiap layer.

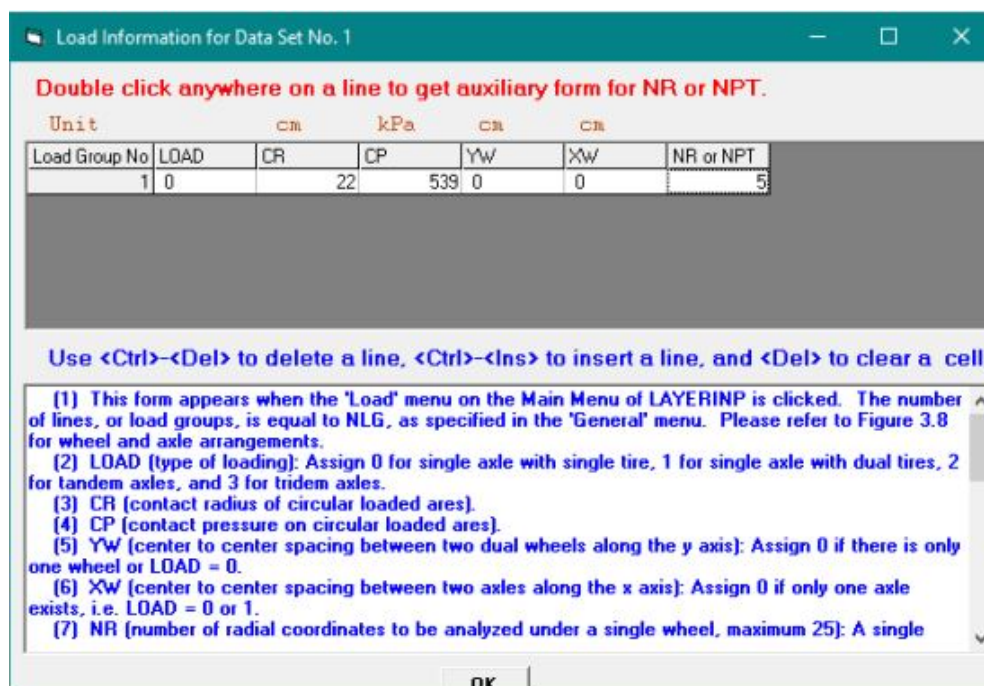


Tabel 2.21 Modulus Elastisitas (Bina Marga, 2013)

Material	Modulus Elastisitas (Mpa)
HRS WC	800 Mpa
HRS BC	900 Mpa
AC WC	1100 Mpa
AC BC (lapis atas)	1200 Mpa
AC Base atau AC BC (Sebagai base)	1600 Mpa
Bahan bersemen (CTB)	500 Mpa retak ( <i>Post Cracking</i> )
Tanah dasar (disesuaikan musim)	10 x CBR (Mpa)

## g. Load

Jumlah unit yang ada dalam menu Load sama dengan jumlah NLG dalam menu *general*. Untuk kolom *load* (0) untuk sumbu tunggal, (1) untuk roda ganda sumbu tunggal, sedangkan (2) untuk sumbu tandem, (3) untuk sumbu triple. Menu *Load* dapat dilihat pada Gambar 2.17 dengan keterangan sebagai berikut.

Gambar 2.17 Data input pada menu *Load*

- 1) CR : Radius kontak pembebanan.
- 2) CP : Nilai beban.
- 3) YW : Jarak antar roda arah y.
- 4) XW : Jarak antar arah x.

Jika kolom *load* = 0, maka YW dan XW = 0

5) NR atau PT : Jumlah pengulangan beban berdasar jumlah *tire spacing*.

6) Tire Spacing : Jarak tinjauan ban.

h. Parameter lain seperti *Nonlinier, Viscoelastic, Damage, dan Mohr-Coulomb* akan mengikuti nilai dengan sendirinya sesuai input nilai yang dimasukkan sebelum data ini.

### 3. Input Data ke Program *Kenpave*

Data input untuk program *kenpave* data adalah data struktur perkerasan jalan yang berkaitan dengan perencanaan tebal perkerasan jalan. Data tersebut antara lain : tebal perkerasan jalan, modulus elastisitas, *poisson ratio* dan kondisi beban.

Hasil perhitungan tebal perkerasan jalan dengan menggunakan Metode Bina Marga 2013 dan Metode AASHTO 1993 sebagai nilai tebal perkerasan.

### 4. Output Data ke Program *Kenpave*

Data hasil output dari program ini berupa *vertical displacement, vertical stress, major principal stress, minor principal stress, intermediate principal stress, vertical strain, major principal strain, minor principal strain dan horizontal principal strain*.

#### 2.2.7. Analisis Kerusakan

Analisa kerusakan perkerasan yang akan dibahas adalah retak fatik (*fatigue cracking*) dan retak alur (*rutting*). Kerusakan jalan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, salah satu faktor terpenting adalah muatan berlebih yang menyebabkan beban masing – masing gandar kendaraan melebihi standar yang ditetapkan (Hadiwardoyo dkk., 2012). Jenis kerusakan *fatigue cracking* dilihat berdasarkan nilai regangan tarik horizontal pada lapis permukaan aspal bagian bawah akibat beban pada permukaan perkerasan. Dan jenis kerusakan *rutting* dilihat dari nilai regangan tekan dibagian atas lapis tanah dasar atau dibawah lapis pondasi bawah. Dari nilai kerusakan retak *rutting* dan kerusakan retak *Fatigue cracking* didapatkan jumlah repetisi beban (Nf) dan (Nd) berdasarkan nilai regangan tarik horizontal dibawah lapis permukaan dan tekan dibawah lapis pondasi bawah atau di atas tanah dasar. Salah satunya dengan persamaan Metode *Asphalt Institute* (Simanjuntak, 2014).

### 1. Retak Lelah (*Fatigue Cracking*)

Kerusakan retak lelah meliputi bentuk perkembangan dari retak dibawah beban bertulang dan kegagalan ini ditemukan pada saat permukaan perkerasan tertutup oleh retakan dengan presentase tinggi. Pembebanan ulang yang terjadi terus menerus dapat menyebabkan material menjadi lelah dan dapat menimbulkan *cracking* walaupun tegangan yang terjadi masih dibawah batas ultimate. Untuk material perkerasan, beban berulang berasal dari lintasan beban (as) kendaraan yang terjadi secara terus menerus, dengan intensitas yang berbeda dan tergantung pada jenis kendaraan yang terjadi acak.

Persamaan retak lelah perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan tarik di bawah lapis permukaan sebagai berikut.

$$N_f = 0,0796 \times (\epsilon_t)^{-3,291} \times (E^*)^{-0,854} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan :

$N_f$  = Jumlah repetisi beban *fatigue cracking*.

$\epsilon_t$  = Regangan tarik horizontal pada bagian bawah lapis permukaan.

$E^*$  = Modulus elastisitas pada lapis permukaan.

### 2. Retak Alur (*Rutting*)

Retak alur pada permukaan perkerasan merupakan akumulasi dari semua deformasi plastis yang terjadi, baik dari lapis beraspal, lapis pondasi, dan lapis tanah dasar. Kriteria retak alur merupakan kriteria kedua untuk menyatakan keruntuhan struktur perkerasan akibat beban berulang. Nilai *Rutting* maksimum harus dibatasi agar tidak membahayakan bagi pengendara saat melalui lokasi *rutting* tersebut, terutama saat kecepatan tinggi.

Deformasi permanen dapat diketahui tiap lapisan dari struktur, membuat retak alur lebih sulit diprediksi. Ukuran-ukuran kegagalan yang ada dimaksudkan untuk alur bahwa dapat ditunjukkan kebanyakan pada suatu struktur perkerasan yang lemah. Pada umumnya dinyatakan dengan istilah regangan vertikal ( $\epsilon_v$ ) yang berada diatas lapisan tanah dasar.

Persamaan retak alur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tekan vertikal di atas permukaan tanah dasar adalah sebagai berikut.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times (\epsilon_c)^{-4,477} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan:

$N_d$  = Jumlah repetisi beban *rutting*.

$\epsilon_c$  = Regangan tekan vertikal diatas lapisan tanah dasar.