

BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

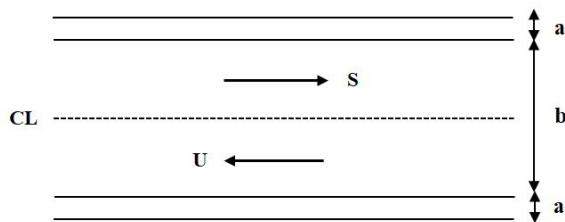
4.1 Data Kondisi Umum

4.1.1 Data Kondisi Ruas Jalan Kapas – Sampang

Ruas Jalan Kapas – Sampang di Kabupaten Bojonegoro merupakan salah satu jalan poros kecamatan dengan lalu lintas tertinggi. Dengan panjang jalan 13.240 Km dan lebar 5 mdimana terdiri dari dua arah dan dua lajur dengan kondisi bahu jalan lebar 1.5 m pada arah samping kiri dan kanan jalan. Berdasarkan survey kondisi jalan DinasBina Marga dan Penataan Ruang Kabupaten Bojonegoro 2019 jalan dalam kondisi mantap 8.40 Km dan Tidak mantap 4.84 Km dengan tipe perkerasan jalan berupa aspal, beton dan paving. Kondisi yang cukup baik ini tentunya berbeda jauh dengan kondisi pada tahun 2018, dimana hampir sepanjang ruas jalan mengalami kerusakan. Kondisi jalan tersebut dicurigai karena sifat tanah ekspansif pada subgrade jalan.

Lapisan subgrade jalan merupakan lapisan tanah dasar dengan jenis tanah lempung, hal ini dapat kita lihat dari hasil tes pit ruas jalan Kapas – Sampang dimana untuk pengambilan sample sampai kedalaman 1m kondisi yang ada lempung (abu-abu).

Sketsa memanjang dari ruas jalan Kapas – Sampang ditunjukkan sesuai gambar 4.1. Tampak atas Ruas Jalan Kapas – Sampang , sebagai berikut :



Gambar 4.1. Tampak atas Ruas Jalan Kapas - Sampang

Keterangan Notasi :

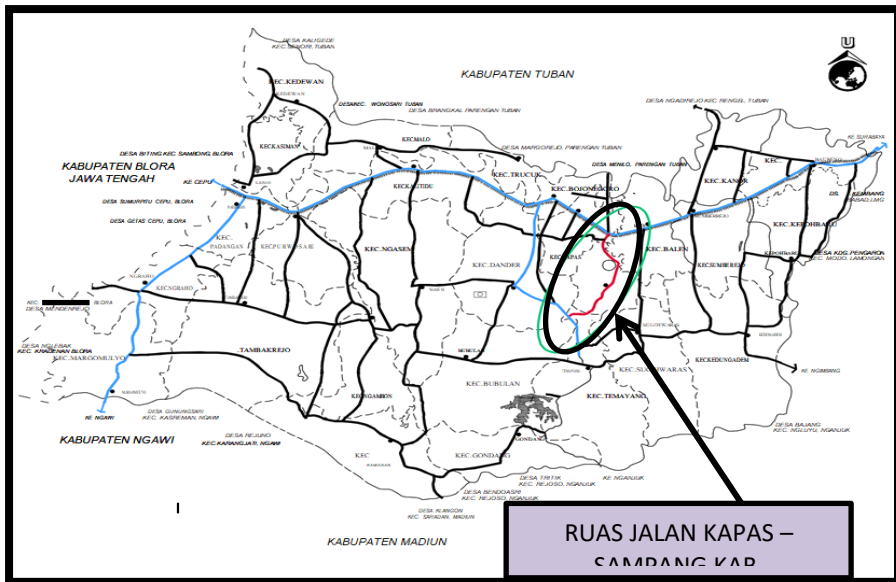
A = bahu jalan efektif 1.5 m U = Utara

B = jalur jalan 5 m

S = Selatan

CL = Center Line (As Jalan)

Ruas jalan kearah selatan menuju ke kecamatan Sukosewu dan arah jalan ke utara menuju ke Jalan Nasional Bojonegoro – Babat. Ruas jalan ini merupakan jalan penghubung antar kecamatan yang menghubungkan kecamatan sukosewu dan kecamatan Kapas sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2. Peta Lokasi Ruas Jalan Kapas - Sampang

Dari hasil survey lapangan didapatkan kondisi eksisting perkerasan jalan dapat dilihat pada gambar 4.3 Kondisi eksisting Perkerasan Jalan Ruas Kapas – Sampang seperti dibawah ini :



Kondisi Ruas STA 4+500



Kondisi Ruas STA 13+100



Kondisi Ruas STA 13+200

Gambar 4.3 Kondisi eksisting perkerasan ruas Kapas - Sampang

4.1.2 Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Kepadatan lalu lintas di ruas jalan Kapas – Sampang apa kita lihat dari data LHR yang ada. Berbagai macam kendaraan yang melintas meliputi kendaraan tidak bermotor, sepeda motor, mobil penumpang, bus kecil, truk ringan 2sumbu dan truk sedang 2 sumbu.

Volume kendaraan rata-rata tiap hari pada tahun 2019 sebesar 7.828 kendaraan. Rincian data volume lalu lintas harian rata-rata dapat dilihat di tabel 4.1. Data lalu lintas harian rata-rata sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data lalu lintas harian rata-rata

GOLONGAN	1	2	3	4	5 a	5 b	6 a	6 b	7 a	7 b	7 c	8
J A M	SEPEDA MOTOR SEKUTER SEPEDA KUMBANG DAN RODA 3	SEDAN, JEEP DAN STATION WAGON	OPLET, PICK UP, OPLET, SUBURBAN, KOMBI DAN MINIBUS	PICK UP, MICRO TRUCK DAN MOBIL HANTARA	BUS KECIL	BUS BESAR	TRUK/TRUK TANGK 2 SUMBU 3/4 *	TRUK/TRUK TANGK 2 SUMBU	TRUK/TRUK TANGK 3 SUMBU	TRUK/TRUK TANGK GANDENG	TRUK SEMI TRAILER DAN TRUK TRAILER	KENDARAAN TIDAK BERMOTOR DAN GEROBAG
06 - 07	804	21	2	8	1	-	4	1	-	-	-	58
07 - 08	994	4	4	10	-	-	-	2	-	-	-	54
08 - 09	861	2	2	20	-	-	9	10	-	-	-	44
09 - 10	739	1	1	15	-	-	5	14	-	-	-	44
10 - 11	570	19	1	9	-	-	6	10	-	-	-	33
11 - 12	466	21	1	12	-	-	7	14	-	-	-	12
12 - 13	545	32	2	9	-	-	6	13	-	-	-	14
13 - 14	569	28	2	13	-	-	5	9	-	-	-	12
14 - 15	648	38	-	17	2	-	4	27	-	-	-	16
15 - 16	795	51	-	17	-	-	3	18	-	-	-	18
16 - 17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 - 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18 - 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 - 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 - 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JUMLAH	6.991	217	15	130	3	-	49	118	-	-	-	305

4.2 Karakteristik Tanah Dasar (*Subgrade*) Jalan

4.2.1 Karakteristik Tanah Dasar Ruas Jalan Kapas – Sampang

Dari pengumpulan data tanah yang kami peroleh di Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Kabupaten Bojonegoro didapat bahwa dinas melakukan tes pit, DCPT dan uji CBR pada ruas Kapas – Sampang. Adapun karakteristik tanah dasar (subgrade) pada ruas jalan Kapas – Sampang setelah diolah dengan cara menetapkan nilai terendah dan nilai tertinggi dari masing-masing parameter tanah untuk range data pada parameter desain. Hasil pengolahan data tersebut diatas dapat dilihat pada tabel 4.5 karakteristik tanah dasar (subgrade) Ruas Kapas – Sampang , seperti dibawah ini :

Tabel 4.2 Karakteristik Tanah Dasar (*Subgrade*) Ruas Jalan Kapas - Sampang

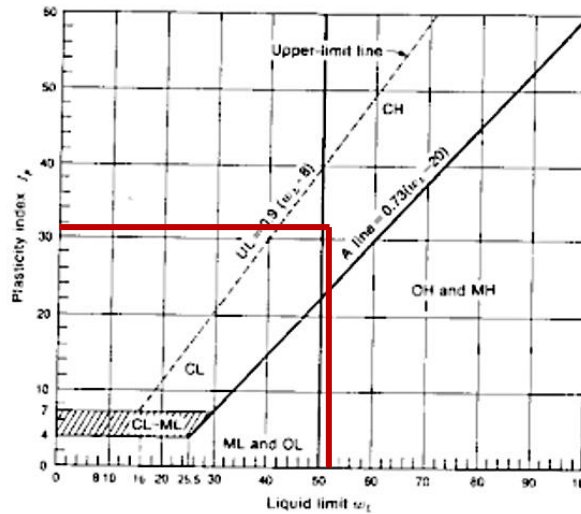
No	Parameter Tanah	Satuan	Ruas Jalan Kapas - Sampang	
			Range	Rata-Rata
1	Berat Isi (γ)	gr/cm ³	1.798 – 1,920	1,84
2	Batas Cair (LL)	%	60,38 – 63,17	61,93
3	Indeks Plastisitas (PI)	%	30,32 – 32,79	31,90
4	Kadar Air (W)	%	22,43 – 24,19	23.23
5	Tekanan Mengembang	Kg/cm ²	0,0484	0,0484
6	Specific gravity (Gs)	gr/cm ³	2,608 – 2,703	2,64
7	CBR Rendaman	%	2,22 – 5,67	3,53
8	CBR Lapangan	%	2 - 8	3,92

4.2.2 Analisis dan Evaluasi Tanah Dasar Ruas Jalan Kapas – Sampang

4.2.2.1 Klasifikasi Tanah

Untuk keperluan klasifikasi tanah dapat dilakukan cara klasifikasi USCS (Unified soil classification system) yang didasarkan pada hasil pembagian butir dari persentase tanah yang lolos saringan no. 200 dan persentase kadar lempungnya. Sedangkan untuk menentukan sifat plastisitasnya dapat dilakukan dengan grafik Casagrande yaitu dari besaran nilai indeks plastisitasnya (PI) dan nilai batas cair (LL). Dari data karakteristik tanah pada ruas jalan Kapas – Sampang diketahui bahwa nilai PI rata-rata sebesar 31,90% dan LL rata-rata sebesar 61,25%. Nilai-nilai tersebut jika diplotkan pada grafik Casagrande maka hasil klasifikasi tanahnya dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Gambar 4.4 Grafik Casagrade untuk menentukan klasifikasi tanah ruas jalan Kapas – Sampang



Berdasarkan Gambar 4.4 diketahui bahwa hasil plotting nilai PI dan LL terletak diatas “A Line” sehingga menurut klasifikasi USCS, klasifikasi tanah dasar jalan termasuk pada kelompok CH (lempung plastisitas tinggi).

Tabel 4.3 Analisis Klasifikasi Tanah Ruas Jalan Kapas – Smapang

No.	Lokasi	Nilai batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (IP)	Plot pada grafik plastisitas casagrande	Klasifikasi Tanah
	Kapas - Sampang	LL = 61,25 PI = 31,90	Di atas garis A Line	Lempung Lanauan (CH)

4.2.2.2 Potensi Pengembangan (*Swelling Potential*)

Identifikasi potensi pengembangan tanah dasar pada ruas jalan Kapas – Sampang dapat dilakukan dengan beberapa cara agar validasi potensi pengembangan tanah dasarnya dapat diketahui dengan baik. Dari kajian pustaka yang ada, identifikasi potensi pengembangan tanah dapat dilakukan menurut cara Chen, cara Seed et al dan cara USBR.

A. Cara Chen

Menurut Chen (1975),identifikasi potensi pengembangan tanah bias dilakukan dengan menggunakan indeks tunggal berdasarkan indeks plastisitas dari data uji atterberg. Pada ruas jalan Kapas-Sampang didapat hasil identifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.4 Analisis tingkat pengembangan tanah dasar ruas Kapas – Sampang menggunakan cara chen

Potensi Pengambangan Cara Chen		Ruas Kapas - Sampang	
Nilai PI (%)	Potensi Pengembangan	Nilai PI (%)	Potensi Pengembangan
0 – 15	Rendah	39,32	Tinggi
10 – 35	Sedang		
20 – 55	Tinggi		
>55	Sangat Tinggi		

B. Cara Seed et al

Sama dengan cara Chen menurut Seed et al (1962), identifikasi potensi pengembangan tanah bisa dilakukan dengan menggunakan indeks tunggal berdasarkan indeks plastisitas dari data uji atterberg. Pada ruas jalan Kapas-Sampang didapat hasil identifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.5 Analisis tingkat pengembangan tanah dasar ruas Kapas – Sampang menggunakan cara Seed at al

Potensi Pengembangan Seed el al		Ruas Kapas - Sampang	
Nilai PI (%)	Potensi Pengembangan	Nilai PI (%)	Potensi Pengembangan
0 – 15	Rendah	39,32	Tinggi
10 – 15	Sedang		
20 – 35	Tinggi		
>35	Sangat Tinggi		

C. Cara USBR

Menurut cara USBR yang dikembangkan oleh Holtz dan Gibbs identifikasi potensi pengembangan tanah sebagai fungsi dari indeks plastisitas (PI), dan nilai persentase kemungkinan pengembangan tanahnya. Pada ruas jalan Kapas-Sampang didapat hasil identifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.6 Analisis tingkat pengembangan tanah dasar ruas Kapas – Sampang menggunakan cara USBR

Potensi Pengembangan Cara USBR			Ruas Jalan Kapas - Sampang		
PI (%)	Kemungkinan Mengembang (%)	Potensi Pengembangan	PI (%)	Kemungkinan Mengembang (%)	Potensi Pengembangan
< 18	< 10	Rendah	44,25	22,41%	Tinggi s/d Sangat Tinggi
15 - 28	10 - 20	Sedang			
25 - 41	20 - 30	Tinggi			
> 35	> 30	Sangat Tinggi			

4.2.2.3 Tingkat keaktifan (Activity)

Tingkat keaktifan tanah dasarnya dapat diketahui melalui beberapa pendekatan, salah satunya memakai cara skempton. Menurut Skempton besarnya nilai tingkat keaktifan jika dikolerasikan dengan potensi pengembangan tanah maka tanah lempung dibagi menjadi tiga kelas yaitu tidak aktif nilainya kurang dari 0,75; normal nilainya 0,75 – 1,25 dan aktifnya nilainya lebih dari 1,25. Dari analisis data tanah diketahui bahwa pada ruas jalan Kapas – Sampang mempunyai nilai Fraksi lempung rata-rata 31,629% dan nilai PI rata-rata 44,25%. Berdasarkan data itu, maka nilai tingkat aktifitas dapat dihitung sebagai berikut :

$$Ac = \frac{PI}{CF} = \frac{44,25}{31,629} = 1,39$$

Hasil analisis tingkat keaktifan tanah pada ruas jalan Kapas – Sampang menurut Skempton selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.7 Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan Tanah Dasar ruas Jalan Kapas – Sampang, dibawah ini :

Tabel 4.7 Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan Tanah Dasar ruas Jalan Kapas – Sampang berdasarkan Cara Skempton

Tingkat Keaktifan Cara Skempton		Ruas Jalan Kapas - Sampang	
Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan	Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
< 0,75	Tidak Aktif	Rata-rata 1,39	Aktif
0,75 – 1,25	Normal		
> 1,25	Aktif		

Berdasarkan analisis seperti pada Tabel 4.7, dapat dinyatakan bahwa tingkat keaktifan tanah dasar pada ruas jalan Kapas – Sampang masuk kategori aktif sehingga berpengaruh terhadap terjadinya potensi pengembangan tanah dasarnya.

4.3 Desain Perbaikan Struktur Perkerasan pada Pelaksanaan Rehabilitasi Ruas Jalan Kapas – Sampang

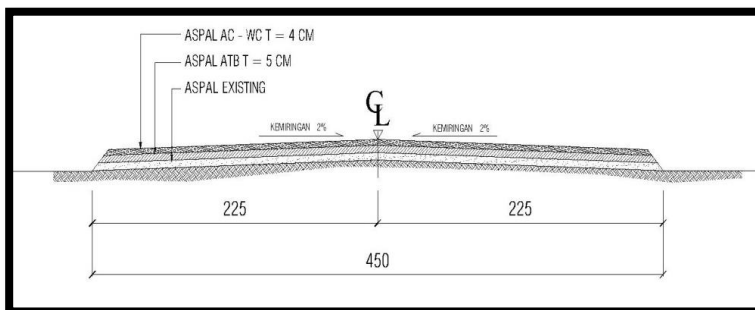
Berdasarkan data yang di dapat dari Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Penataan Ruang Kabupaten Bojonegoro diketahui bahwa kegiatan perbaikan perkerasan jalan pada ruas jalan Kapas – Sampang telah dilakukan setiap tahun melalui kegiatan pemeliharaan berkala jalan dan peningkatan jalan yang dibiayai dengan dana APBD Kabupaten Bojonegoro Tahun anggaran 2019.

Desain struktur perkerasan yang dipakai untuk pelaksanaan pemeliharaan berkala jalan dan peningkatan jalan pada ruas jalan Kapas – Sampang pada tahun 2019 adalah memakai struktur perkerasan lentur berupa lapis ulang AC dan struktur perkerasan kaku berupa perkerasan beton semen. Desain tersebut dilakukan dalam rangka menangani kerusakan jalan pada ruas jalan Kapas – Sampang yang berada diatas tanah subgrade jalan berupa tanah ekspansif

4.3.1 Desain Perbaikan Perkerasan Jalan dengan Perkerasan Lentur (*Flexible Pavemnet*)

Desain perbaikan perkerasan jalan dengan perkerasan lentur yang dipakai untuk menangani kerusakan jalan di ruas Kapas – Sampang berupa *overlay* (lapis tambahan) memakai *Aspal Concrete (AC)*. Pekerjaan lapis ulang dengan AC ini terdiri dari lapisan ACBC tebal 6 cm dan ACWC tebal 4 cm. Perbaikan struktur perkerasan dengan *overlay* ini dilakukan disatu titik ruas jalan yang terletak pada ruas jalan Kapas – Sampang yang mengalami kerusakan yang parah. Adapun perbaikan struktur perkerasan jalan dengan overlay yang ada pada ruas jalan Kapas – Sampang dilaksanakan pada segmen ruas jalan Sta. 2+792 s/d 3+130 lebar 4,5 x 338 meter.

Gambar desain tipikal struktur perkerasan lentur dengan overlay yang dilaksanakan pada ruas jalan Kapas – Sampang secara utuh dapat dilihat pada Gambar 4.5 Tipikal Potongan Melintang Desain Overlay Ruas Jalan Kapas – Sampang sebagai berikut :



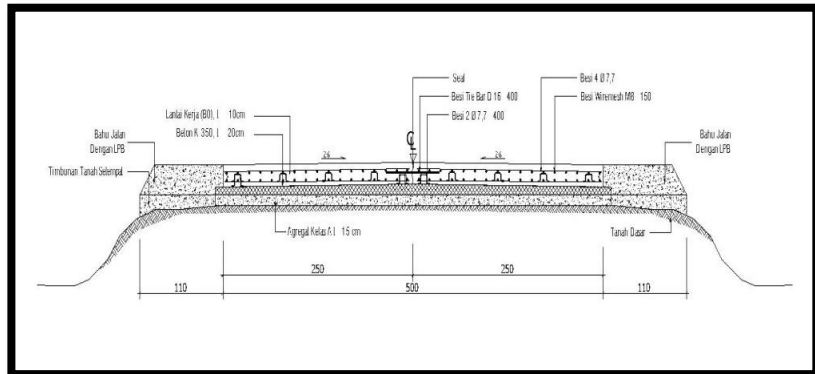
Gambar 4.5 Potongan melintang desain perkerasan lentur ruas Kapas - Sampang

4.3.2 Desain Perbaikan Perkerasan Jalan dengan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavemnet*)

Desain perbaikan perkerasan jalan dengan perkerasan kaku yang dipakai untuk menangani kerusakan jalan di ruas Kapas – Sampang berupa perkerasan beton semen bertulang. Pekerjaan desain perbaikan jalan ini terdiri dari lapisan perkerasan beton bertulang tebal 20 cm dan lapisan beton kurus tebal 10 cm. Spesifikasi dari perkerasan jalan beton yang dipakai adalah beton K.350 dan memakai tulangan baja tulangan yang dipakai adalah U32 untuk tulangan ulir dan U24 untuk tulangan polos.

Perbaikan struktur perkerasan dengan perkerasan dengan perkerasan jalan beton ini dilakukan di beberapa titik ruas jalan yang terletak pada ruas jalan Kapas – Sampang yang mengalami kerusakan yang parah. Adapun perbaikan struktur perkerasan jalan dengan perkerasan jalan beton yang ada pada ruas jalan Kapas – Sampang di laksanakan pada segmen ruas jalan Sta. 1 + 480 – Sta. 2 + 180 lebar 5 x 690 meter.

Gambar desain tipikal struktur perkerasan kaku dengan perkerasan jalan beton yang dilaksanakan pada ruas jalan Kapas – Sampang secara utuh dapat dilihat pada Gambar 4.6 Tipikal Potongan Melintang Desain Perkerasan Jalan Beton Ruas Jalan Kapas – Sampang, sebagai berikut :



Gambar 4.6 Potongan melintang desain perkerasan jalan beton ruas Kapas - Sampang

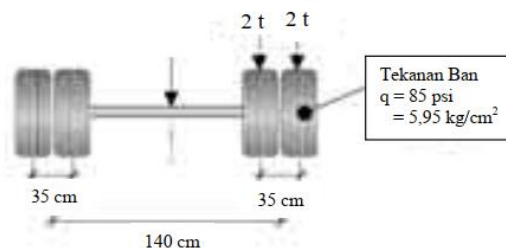
4.4 Analisis Struktur Perkerasan pada Pelaksanaan Rehabilitasi Ruas Jalan Kapas - Sampang

4.4.1 Pembebanan Beban Gandar Rencana

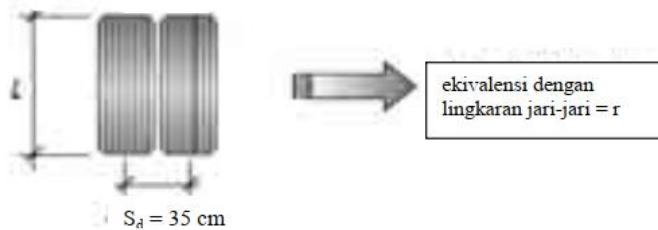
Beban gandar (*axle load*) yang digunakan untuk perancangan perkerasan jalan mengacu pada peraturan Bina Marga (1987) mengenai beban gandar tunggal standar (*Standart Single Axle Load*) = 8,16 ton.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 43 Tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalulintas Jalan menyatakan bahwa Muatan Sumbu Terberat (MST) yang diijinkan untuk jalan kelas III adalah sebesar 8 Ton.

Didalam analisis struktur perkerasan ditentukan MST = 8 ton sebagai beban statis. Untuk analisis beban MST = 8 ton, *Design Axle Load Standart Axle Load* = 80 KN = 8,16 ton; dan Gambar 4.10 Eki akivalensi luas bidang kontak lingkaran, seperti terlihat seperti dibawah ini :



Gambar 4.7 Desain axle load standart axle load = 80 KN = 8,16 ton



Gambar 4.8 Ekivalensi luas bidang kontak lingkaran

Tire contact area disederhanakan berbentuk lingkaran dengan jari-jari r adalah :

$$L = \sqrt{\frac{Pd}{0,5227 \cdot q}} = \frac{2000}{0,5227 \times 5,95} = 25,36 \text{ cm}$$

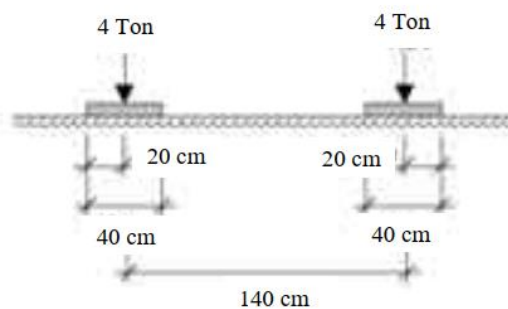
$$\pi \cdot r = (2 \times 0,5227 \times L^2) + ((S_d - 0,6) \times L)$$

$$= (0,4454 \times 25,36^2) + (34,4 \times 25,36)$$

$$\pi \cdot r^2 = 1158,83$$

$$r = \frac{\sqrt{1158,83}}{\pi} = 19,21 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Dengan demikian Bidang kontak beban roda dapat dilihat pada gambar 4.9 Bidang kontak beban roda seperti terlihat dibawah ini :



Gambar 4.9 Bidang kontak beban roda

4.4.2 Parameter Analisis Struktur *Subgrade* Jalan

4.4.2.1 Berat Jenis (G_s) Tanah

Menurut Bowles (1998), besarnya nilai berat jenis tanah yang didasarkan menurut jenis tanahnya disajikan pada Tabel 4.8 Berat Jenis Tanah (G_s), sebagai berikut :

Tabel 4.8 Berat Jenis Tanah (G_s)

Jenis Tanah	G_s (gr/cm ³)
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Organik	2,65 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lampung Anorganik	2,68 - 2,75

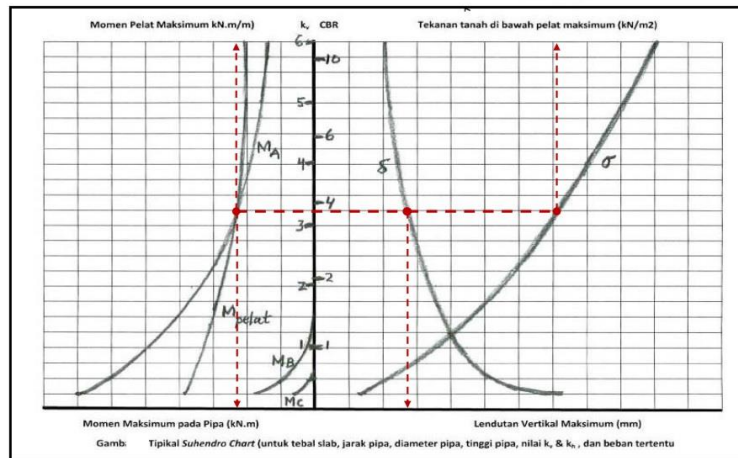
Sumber : *Bowles, 1998*

Menurut *Bowles (1998)*, umumnya untuk tanah tak berkohesi nilai G_s adalah 2,67 gr/cm³ sedangkan untuk tanah lempung anorganik besarnya nilai G_s adalah 2,70 gr/cm³. Dari data karakteristik tanah ruas jalan Kapas – Sampang diketahui bahwa jenis tanah dasarnya berupa lempung lanauan CH dengan nilai G_s antara range 2,453 – 2,738 gr/cm³. Jika nilai tersebut diplotkan pada tabel diatas maka jenis tanah dasarnya berupa lempung anorganik.

4.4.2.2 Modulus Reaksi Tanah Dasar (K_s)

Koefisien Modulus of Subgrade Reaktion (K_s) yang digunakan untuk analisis struktur perkerasan dapat dihitung berdasarkan nilai CBR tanah dasarnya.

Menurut Suhendro, nilai K_s dapat ditentukan berdasarkan data CBR tanah karena antara K_s dan CBR terdapat korelasi nonlinier pada tipikal *Suhendro Charts* yang disajikan pada Gambar 4.10 Tipikal *Suhendro Charts* dibawah ini :



Gambar 4.10 Tipikal Suhendro Charts (Suhendro, 2008)

Dari data karakteristik tanah ruas jalan Kapas – Sampang diketahui bahwa nilai data CBR adalah 3,92% sehingga jika nilai itu diplotkan ke Suhendro Charts maka didapat ksv (Modulus reaksi tanah dasar vertikal) sebesar $3,25 \text{ Kg/cm}^3 = 3,25 \times 8,4 \text{ N/cm}^3 = 27,3 \text{ N/cm}^3 = 27,3 \times 10^6 \text{ N/m}^3 = 27.300 \text{ KN/m}^3$

Dari data diatas maka besarnya nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (Ks) yang akan dipakai sebagai konstanta pegas (spiring) tanah dalam analisis struktur perkerasan jalan sebesar $3,25 \text{ Kg/cm}^3$ setara dengan 27.300 KN/m^3 .

4.4.2.3 Modulus Elastisitas Tanah (Es)

Nilai modulus elastisitas tanah dapat diukur dari korelasi antara modulus resilient tanah dasar dengan CBR yaitu sebagai berikut :

$$\text{MR tanah dasar (MPa)} = 10 \times \text{CBR (\%)} = 10 \times 3,92 = 39,2 \text{ MPa.}$$

Sehingga besarnya nilai modulus elastisitas tanahnya adalah $39,2 \text{ MPa}$ atau setara dengan $39,2 / 0,084 = 466,67 \text{ Kg / cm}^2$.

4.4.2.4 Angka Poisson's Ratio (ν)

Menurut Bowles (1998), besarnya nilai Poisson's Ratio (ν) berdasarkan jenis tanahnya disajikan pada Tabel 4.9 Jangkauan Nilai Banding Poisson Ratio, sebagai berikut :

Tabel 4.9 Jangkauan Nilai Banding Poisson Ratio, sebagai berikut :

Jenis Tanah	Gs (gr/cm ³)
Lempung Jenuh	0,40 – 0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10 – 0,30
Lempung Berpasir	0,2 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir (padat) Pasir berkerikil	0,10 – 1,00
Biasa dipakai	0,30 – 0,40
Batuan	0,10 – 0,40
Tanah Lus	0,10 – 0,30
Es	0,36
Beton	0,15

Sumber : *Bowles, 1998*

Dari data karakteristik tanah ruas jalan Kapas – Sampang diketahui bahwa jenis tanah dasarnya berupa lempung lanauan CH. Sehingga nilai ν berdasarkan pada tabel diatas terletak pada range nilai 0,10 – 0,50. Untuk analisis struktur perkerasan ditentukan besarnya nilai ν diambil rata-rata sebesar 0,30.

4.4.2.5 Daya Dukung Tanah Ultimit (q_u)

Daya dukung tanah ultimate dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan yang diberikan oleh J.E. Bowles dengan rumus sebagai berikut:

Dari data K_s diketahui bahwa nilai K_s adalah 27.300 kN.m³, sehingga nilai daya dukung tanahnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 K_s &= 40 \times q_u \\
 q_u &= \frac{K_s}{40} \\
 q_u &= \frac{27300}{40} \\
 q_u &= 682,5 \text{ kN} / \text{m}^2
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa besarnya Daya Dukung Tanah adalah $682,5 \text{ KN/m}^2 = 68,25 \text{ N/cm}^2$ atau setara dengan $68,25 / 8,4 = 8,125 \text{ Kg/cm}^2$.

4.4.2.6 Lendutan Ijin (δ)

Lendutan maksimal yang diijinkan terjadi pada struktur perkerasan yang berada diatas subgrade dapat dihitung dengan rumus :

Dari data K_s adalah 27.300 KN/m^3 , sehingga nilai lendutan yang diijinkan terjadi adalah :

$$\delta = \frac{q_u}{K_s} = \frac{682,5}{27.300} = 0,025 \text{ m} = 2,5 \text{ cm}$$

Jadi lendutan yang diijinkan terjadi pada struktur perkerasan yang terletak diatas tanah dasar adalah maksimal 2,5 cm.

4.4.2.7 Tekanan Mengembang Tanah Dasar

Dari data seperti pada Tabel 4.2 diketahui bahwa nilai tekanan mengembang (*swelling pressure*) tanah dasarnya adalah $0,0484 \text{ Kg/cm}^2$.

4.4.3 Data Umum Analisis Struktur dengan Program SAP-2000

Analisis struktur dengan program SAP-2000 dapat dipakai menganalisis stuktur perkerasan jalan. Program SAP-2000 dapat menghitung besaran tegangan dan lendutan yang terjadi pada struktur perkerasan. Hasil keluaran analisis SAP-2000 dapat dipakai sebagai dasar untuk menentukan kelayakan dari desain perbaikan struktur perkerasan berdasarkan nilai-nilai tegangan dan lendutan yang dihasilkan dari suatu struktur perkerasan.

Data masukan yang harus disiapkan untuk program SAP-2000 adalah berat jenis struktur, massa jenis struktur, modulus elastisitas, poisons ratio, dimensi struktur dan pembebanan. Data keluaran yang dihasilkan dari program SAP-2000 tidak hanya menghitung besaran fisik menghitung besaran tegangan dan deformasi saja seperti yang dihasilkan besaran-besaran momen, geser, gaya aksial, torsi dan gambaran mengenai bentuk deformasi struktur. Analisis struktur dengan SAP-2000 akan memberikan hasil keluaran yang lengkap mengenai perilaku struktur yang dianalisis berupa momen, geser, deformasi, gaya aksial, torsi, tegangan dan gambar model struktur.

4.4.4 Analisa Struktur Perkerasan dengan SAP-2000

4.4.4.1 Struktur Perkerasan Lentur (*Fleixible Pavement*)

A. Data Properti Material Struktur Perkerasan

Hasil perhitungan data property material struktur perkerasan lentur selengkapnya disajikan pada *Lampiran LD-7*. Data-data yang diperlukan untuk analisis struktur perkerasan lentur adalah sebagai berikut :

LAPISAN LASTON AC-WC

1. Berat jenis = $2,325 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$
2. Modulus elastisitas = $26.785,71 \text{ Kg/cm}^2$
3. Angka *Poisson's ratio* = 0,
4. Modulus Geser = $9.920,633 \text{ Kg/cm}^2$

LAPISAN LASTON AC-BC

1. Berat jenis = $2,325 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$
2. Modulus elastisitas = $36.376,96 \text{ Kg/Cm}^2$
3. Angka *Poisson's ratio* = 0,35
4. Modulus Geser = $13.472,95 \text{ Kg/Cm}^2$

LAPISAN BASE COURSE

1. Berat jenis lapisan = $2,325 \times 10^{-3} \text{ Kg}$
2. Modulus elastisitas = $2.261,90 \text{ Kg/cm}^2$
3. Angka *Poisson's ratio* = 0,35
4. Modulus Geser lapisan = $837,74 \text{ Kg/cm}^2$

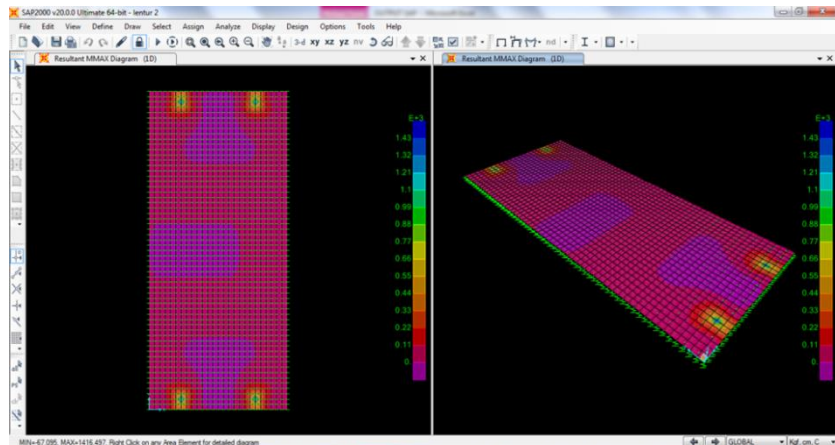
Berdasarkan data-data tersebut diatas maka nilai-nilai dari kekakuan pegas k_1, k_2, k_3 dapat dihitung sebagai berikut:

- $k_1 = 5,00 \times 5,00 \times 3,25 = 81,25 \text{ Kg/cm}^2$
- $k_2 = 5,00 \times 10,00 \times 3,25 = 162,50 \text{ Kg/cm}^2$
- $k_3 = 10,00 \times 10,00 \times 3,25 = 325,00 \text{ Kg/cm}^2$

C. Hasil Analisa Struktur Perkerasan Lentur dengan SAP-2000

1. Momen Maksimal

Besaran nilai-nilai momen maksimal yang terjadi pada lapisan perkerasan lentur ditampilkan pada Gambar 4.12 Diagram Momen Lapisan Perkerasan Lentur dengan SAP-2000 seperti dibawah ini:



Gambar 4.12 Diagram momen perkerasan lentur dengan SAP 2000

Berdasarkan Gambar 4.12 diketahui bahwa momen maksimal plat yang terjadi di lapisan perkerasan lentur mulai pada lapisan yang paling atas yaitu lapisan ACWC sampai lapisan perkerasan lentur yang paling bawah yaitu lapisan *base course*, nilai-nilai momen maksimalnya mengalami kenaikan besaran momen plat. Besarnya momen maksimal plat yang terjadi sangat bervariasi yaitu antara minus 22 Kg.cm hingga plus 589 Kg.cm.

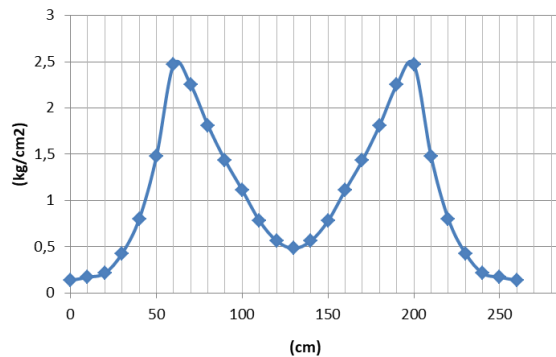
2. Tegangan Tanah *Subgrade*

Besarnya nilai tegangan tanah *subgrade* diambil pada *joint-joint* yang mempunyai nilai tegangan maksimal yaitu pada arah bentang memendek plat yang terletak dibawah beban sumbu roda belakang. Besarnya nilai tegangan pada *joint-joint* tersebut disajikan pada Tabel 4.10 Tabel Nilai Tegangan Tanah *Subgrade* Perkerasan Lentur dengan SAP-2000, sebagai berikut:

Tabel 4.10 Tabel nilai tegangan tanah subgrade perkerasan lentur

Lapisan Perkerasan Lentur			
Joint	Jarak (cm)	Reaksi Tumpuan Pegas (kg)	Tegangan Tanah <i>Subgrade</i> (kg/cm ²)
6240	0	13,71	0,137
6241	10	17,05	0,171
6242	20	21,42	0,214
6243	30	42,76	0,428
6244	40	80,21	0,802
6245	50	147,5	1,475
6246	60	246,77	2,468
6247	70	224,87	2,249
6248	60	181,2	1,812
6249	70	143,4	1,434
6250	80	111,2	1,112
6251	90	78,1	0,781
6252	100	56,4	0,564
6253	110	48,2	0,482
6254	120	56,4	0,564
6255	130	78,1	0,781
6256	140	111,2	1,112
6257	150	143,4	1,434
6258	200	181,2	1,812
6259	190	224,87	2,249
6260	200	246,77	2,468
6261	210	147,5	1,475
6262	220	80,21	0,802
6263	230	42,76	0,428
6264	240	21,42	0,214
6265	250	17,05	0,171

Berdasarkan tabel 4.10 diketahui nilai tegangan tanah dasar perkerasan lentur Bervariasi mulai dari $0,171 \text{ Kg/cm}^3$ sampai dengan $2,468 \text{ Kg/cm}^2$. Nilai tegangan Maksimumnya adalah $2,468 \text{ Kg/cm}^2$. Besarnya tegangan maksimal tanah dasar pada tiap jarak x (m) arah bentang memendek disajikan pada Gambar 4.21 Tegangan Tanah Dasar Perkerasan lentur, seperti dibawah ini :



Gambar 4.13 Tegangan tanah dasar perkerasan lentur

Berdasarkan gambar 4.13 diketahui bahwa pola tegangan maksimal terjadi pada jarak 60cm dan jarak 200 cm sedangkan tegangan minimal terjadi pada jarak 0 cmdan 250 cm. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan maksimal terjadi di pusat beban maksimal yang bekerja di atas struktur perkerasan lentur dan tegangan minimal terjadi di daerah yang tidak mengalami pembebanan

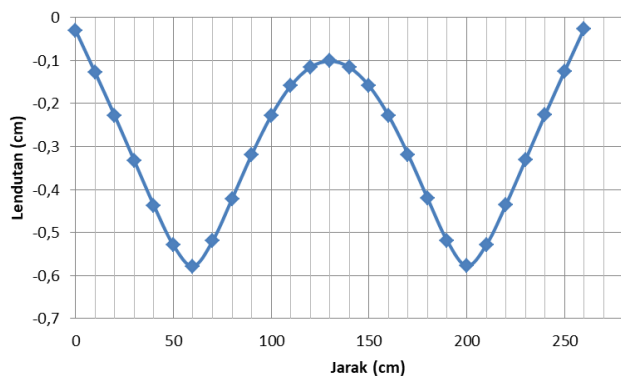
3. Lendutan Maksimal

Besarnya nilai lendutan maksimal perkerasan lentur diambil pada *joint-joint* yang mempunyai nilai lendutan maksimal yang terletak pada arah bentang memendek dari perkerasan kaku.. Besarnya nilai lendutan pada *joint-joint* tersebut disajikan pada Tabel 4.11 Tabel Nilai Lendutan *Subgrade* Perkerasan Lentur dengan SAP-2000, sebagai berikut :

Tabel 4.11 Tabel nilai lendutan perkerasan lentur

Lendutan Perkerasan Lentur		
Joint	Jarak	Lendutan (U3)
	cm	cm
6240	0	-0,030
6241	10	-0,128
6242	20	-0,229
6243	30	-0,333
6244	40	-0,437
6245	50	-0,529
6246	60	-0,578
6247	70	-0,520
6248	80	-0,421
6249	90	-0,319
6250	100	-0,228
6251	110	-0,159
6252	120	-0,116
6253	130	-0,101
6254	140	-0,116
6255	150	-0,159
6256	160	-0,228
6257	170	-0,319
6258	180	-0,421
6259	190	-0,519
6260	200	-0,578
6261	210	-0,528
6262	220	-0,436
6263	230	-0,331
6264	240	-0,226
6265	250	-0,125

Berdasarkan Tabel Berdasarkan tabel 4.11 diketahui nilai lendutan maksimal yang terjadi pada perkerasan lentur sangat bervariasi mulai dari 0,030 cm sampai 0,578 cm. Nilai lendutan maksimal yang paling besar adalah 0,578 cm. Pola jangkauan lendutan yang terjadi nilainya relatif merata. Pola lendutan yang terjadi pada *joint-joint* diatas dapat dilihat pada Gambar 4.14 Pola Diagram Lendutan Perkerasan Lentur dengan SAP-2000, sebagai berikut :



Gambar 4.14 Pola diagram lendutan Perkerasan lentur

Berdasarkan Gambar 4.14 diketahui bahwa pola lendutan maksimal terjadi pada jarak 60 cm dan jarak 200 cm. Sedangkan lendutan minimal terjadi pada jarak 0 cm dan 250 cm. Hal itu menunjukkan bahwa lendutan maksimal terjadi di pusat beban maksimal yang bekerja diatas struktur perkerasan lentur dan lendutan minimal terjadi didaerah yang tidak mengalami pembebanan.

4.4.4.2 Struktur Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

A. Data Properti Material Struktur Perkerasan

Data-data yang diperlukan untuk analisis struktur perkerasan lentur adalah sebagai berikut :

LAPISAN PERKERASAN BETON

1. Berat jenis = $2,4 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$
2. Massa Jenis = $2,448 \times 10^{-6} \text{ Kg/cm}^2$
3. Modulus elastisitas = $303.383,7 \text{ Kg/cm}^2$
4. Angka *Poisson's ratio* = 0,2
5. Modulus Geser = $126.409,87 \text{ Kg/cm}^2$
6. Koefisien thermal expansion = $9,9 \times 10^{-6} \text{ Kg/cm}^2$

LAPISAN BETON TIPIS

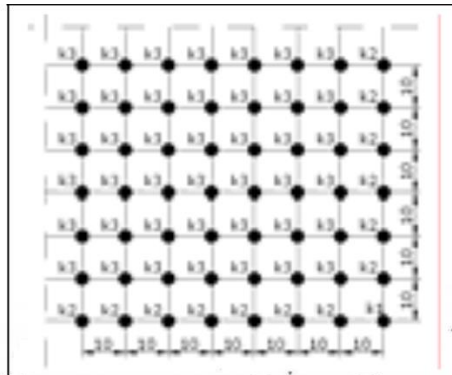
1. Berat jenis = $2,4 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$
2. Massa Jenis = $2,448 \times 10^{-6} \text{ Kg/cm}^2$
3. Modulus elastisitas = $181.306,44 \text{ Kg/cm}^2$
4. Angka *Poisson's ratio* = 0,2
5. Modulus Geser = $75.544,35 \text{ Kg/cm}^2$
6. Koefisien thermal expansion = $9,9 \times 10^{-6} \text{ Kg/cm}^2$

LAPISAN BASE COURSE

1. Berat jenis lapisan = $2,325 \times 10^{-3} \text{ Kg}$
2. Modulus elastisitas = $2.261,90 \text{ Kg/cm}^2$
3. Angka *Poisson's ratio* = 0,35
4. Modulus Geser lapisan = $837,74 \text{ Kg/cm}^2$

LAPISAN TANAH DASAR

Tanah dasar (subgrade) yang dipakai sebagai tumpuan lapisan perkerasan jalan diasumsikan sebagai elastis yang dimodelkan sebagai tumpuan pegas. Nilai kekakuan pegas dihitung berdasarkan model tumpuan pegas seperti disajikan pada Gambar 4.13 model tumpuan pegas pada perkerasan kaku, berikut :



Gambar 4.15 Model tumpuan pegas pada perkerasan kaku

B. Pemodelan Struktur

Data dimensi struktur perkerasan kaku yang ditinjau adalah :

- Panjang perkerasan lentur = 6 m
- Lebar perkerasan lentur = 2,5 m
- Tebal perkerasan beton = 20 cm
- Tebal beton tipis = 10 cm
- Tebal base course = 15 cm
- Jumlah tumpuan pegas = 1891 bh
- Jarak antar tumpuan pegas = *Arah memanjang = 10 cm
= *Arah melebar = 10 cm
- Modulus reaksi tanah dasar (k) = 3,25 Kg/cm³

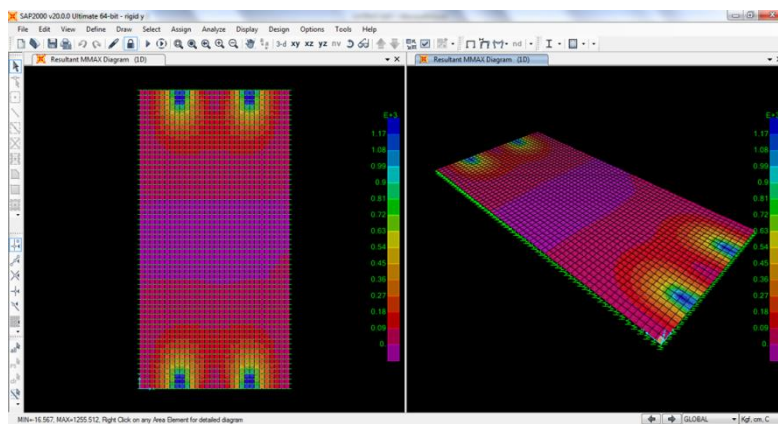
Bersadarkan data-data tersebut diatas maka nilai-nilai dari kekakuan pegas k1, k2, k3 dapat dihitung sebagai berikut:

- $k_1 = 5,00 \times 5,00 \times 3,25 = 81,25 \text{ Kg/cm}^3$
- $k_2 = 5,00 \times 10,00 \times 3,25 = 162,50 \text{ Kg/cm}^3$
- $k_3 = 10,00 \times 10,00 \times 3,25 = 325,00 \text{ Kg/cm}^3$

C. Hasil Analisa Struktur Perkerasan Kaku dengan SAP-2000

1. Momen Maksimal

Besaran nilai-nilai momen maksimal yang terjadi pada lapisan perkerasan lentur ditampilkan pada Gambar 4.16 Diagram Momen Lapisan Perkerasan Lentur dengan SAP-2000 seperti dibawah ini:



Gambar 4.16 Diagram momen perkerasan kaku dengan SAP 2000

Berdasarkan Gambar 4.16 diketahui bahwa momen maksimal plat yang terjadi di lapisan perkerasan kaku mulai pada lapisan yang paling atas yaitu lapisan beton semen sampai lapisan perkerasan kaku yang paling bawah yaitu lapisan *base course*, nilai-nilai momen maksimalnya mengalami penurunan besaran momen plat.

Besarnya momen maksimal plat yang terjadi pada lapisan bawa perkerasan (lapisan *base course*) sangat bervariasi yaitu antara minus minus 1 Kg.cm hingga plus 475 Kg.cm.

2. Tegangan Tanah *Subgrade*

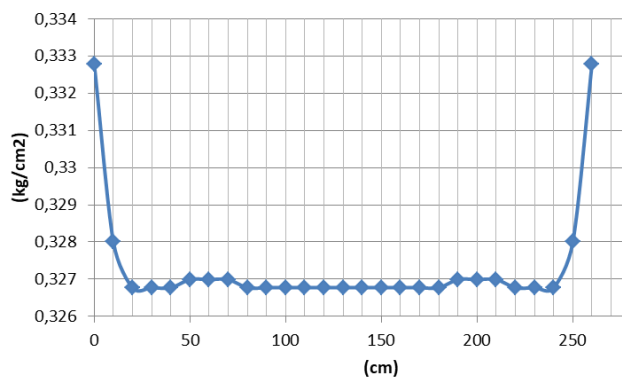
Besarnya nilai tegangan tanah *subgrade* diambil pada *joint-joint* yang mempunyai nilai tegangan maksimal yaitu pada arah bentang memendek plat yang terletak dibawah beban sumbu roda belakang. Besarnya nilai tegangan pada *joint-joint* tersebut

disajikan pada Tabel 4.12 Tabel Nilai Tegangan Tanah *Subgrade* Perkerasan Lentur dengan SAP-2000, sebagai berikut:

Tabel 4.12 Tabel nilai tegangan tanah subgrade perkerasan lentur

Lapisan Perkerasan Kaku			
Joint	Jarak	Reaksi Tumpuan Pegas	Tegangan Tanah <i>Subgrade</i>
	(cm)	(kg)	(kg/cm ²)
6240	0	33,28	0,333
6241	10	32,80	0,328
6242	20	32,68	0,327
6243	30	32,68	0,327
6244	40	32,68	0,327
6245	50	32,70	0,327
6246	60	32,70	0,327
6247	70	32,70	0,327
6248	80	32,68	0,327
6249	90	32,68	0,327
6250	100	32,68	0,327
6251	110	32,68	0,327
6252	120	32,68	0,327
6253	130	32,68	0,327
6254	140	32,68	0,327
6255	150	32,68	0,327
6256	160	32,68	0,327
6257	170	32,68	0,327
6258	180	32,68	0,327
6259	190	32,70	0,327
6260	200	32,70	0,327
6261	210	32,70	0,327
6262	220	32,68	0,327
6263	230	32,68	0,327
6264	240	32,68	0,327
6265	250	32,80	0,328

Berdasarkan tabel 4.12 diketahui nilai tegangan tanah dasar perkerasan lentur Bervariasi mulai dari $0,327 \text{ Kg/cm}^2$ sampai dengan $0,328 \text{ Kg/cm}^2$. Nilai tegangan Maksimumnya adalah $0,328 \text{ Kg/cm}^2$. Besarnya tegangan maksimal tanah dasar pada tiap jarak x (m) arah bentang memendek disajikan pada Gambar 4.17 Tegangan Tanah Dasar Perkerasan kaku, seperti dibawah ini :



Gambar 4.17 Tegangan tanah dasar perkerasan kaku

Berdasarkan Gambar 4.17 diketahui bahwa pola tegangan maksimal terjadi pada jarak 0 cm dan jarak 250 cm. Hal itu menunjukkan bahwa tegangan maksimal terjadi di daerah yang memiliki nilai kekuatan pegas paling kecil sedangkan tegangan minimal terjadi di daerah yang memiliki nilai kekuatan yang terletak diantara beban roda yang bekerja pada struktur perkerasan kaku. Nilai kekuatan pegas merepresikan *massa* tanah dasar yang berfungsi sebagai tumpuan yang bersifat elastis dari struktur perkerasan kaku.

3. Lendutan Maksimal

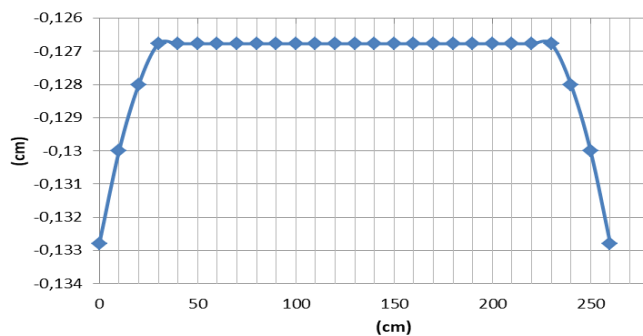
Besarnya nilai lendutan maksimal perkerasan kaku diambil pada *joint-joint* yang mempunyai nilai lendutan maksimal yang terletak pada arah bentang memendek dari perkerasan kaku. Besarnya nilai lendutan pada *joint-joint* tersebut

disajikan pada Tabel 4.13 Tabel Nilai Lendutan *Subgrade* Perkerasan Kaku dengan SAP-2000, sebagai berikut:

Tabel 4.13 Tabel nilai lendutan subgrade Perkerasan kaku

Lendutan Perkerasan kaku		
Joint	Jarak	Lendutan (U3)
	(cm)	(cm)
6240	0	-0,133
6241	10	-0,130
6242	20	-0,128
6243	30	-0,127
6244	40	-0,127
6245	50	-0,127
6246	60	-0,127
6247	70	-0,127
6248	80	-0,127
6249	90	-0,127
6250	100	-0,127
6251	110	-0,127
6252	120	-0,127
6253	130	-0,127
6254	140	-0,127
6255	150	-0,127
6256	160	-0,127
6257	170	-0,127
6258	180	-0,127
6259	190	-0,127
6260	200	-0,127
6261	210	-0,127
6262	220	-0,127
6263	230	-0,127
6264	240	-0,128
6265	250	-0,130
6266	260	-0,133

Berdasarkan Tabel 4.13 diketahui bahwa nilai lendutan maksimal yang terjadi pada perkerasan kaku relative merata mulai dari 0,127 cm sampai 0,133 cm. Nilai lendutan maksimal paling besar adalah 0,133 cm. Pola jangkauan lendutan yang terjadi nilainya relative merata. Pola lendutan yang terjadi pada *point-point* diatas dapat dilihat pada Gambar 4.18 Pola Diagram Lendutan Perkerasan Kaku dengan SAP-2000, sebagai berikut:



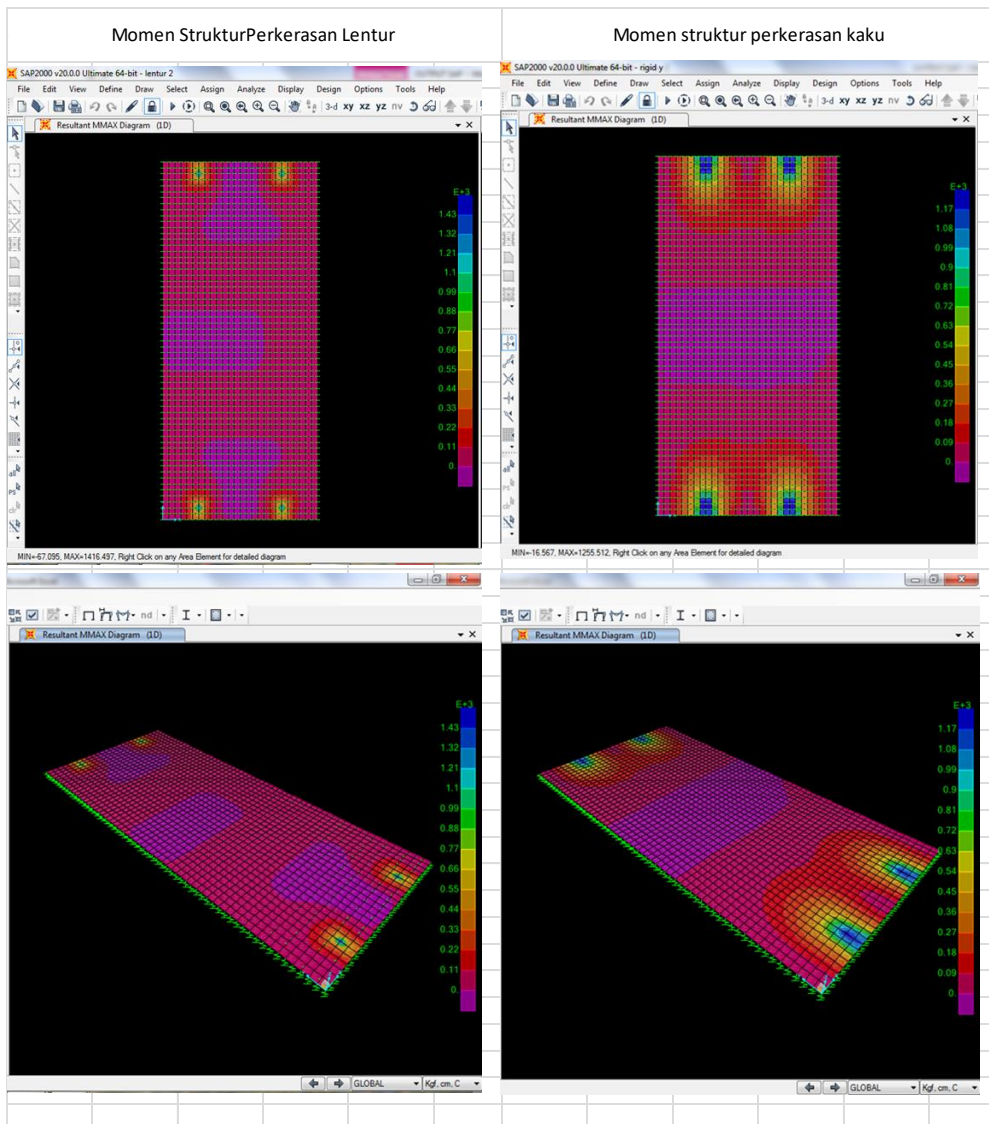
Gambar 4.18 Pola diagram lendutan perkerasan kaku

Berdasarkan Gambar 4.18 diketahui bahwa pola lendutan maksimal terjadi pada jarak 0 cm dan jarak 250 cm. Hal itu menunjukkan bahwa lendutan maksimal terjadi di daerah yang memiliki nilai kekuatan pegas paling kecil diantara nilai kekakuan pegas lainnya bahwa lendutan minimal cenderung terjadi di daerah yang memiliki nilai kekakuan pegas besar.

4.4.5 Evaluasi Momen Struktur Perkerasan Lentur dan Struktur Perkerasan Kaku

Momen merupakan besaran gaya dalam yang dihasilkan dari beban kerja yang bekerja diatas struktur tersebut. Momen yang terjadi pada struktur perkerasan memberikan kita gambaran tentang besaran nilai-nilai momen yang terjadi pada tiap lapis perkerasan yang bisa berpengaruh terhadap kekuatan dari struktur perkerasan itu sendiri.

Gambaran nilai besaran momen yang terjadi pada struktur perkerasan lentur dan struktur perkerasan kaku yang dianalisis ditunjukkan pada Gambar 4.19 Perbandingan Momen Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku dengan SAP-2000, sebagai berikut:



Gambar 4.19 Perbandingan Momen perkerasan lentur dan perkerasan kaku

Berdasarkan Gambar 4.19, hasil evaluasi perbandingan struktur perkerasan lentur dan struktur perkerasan kaku disajikan pada Tabel. 4.14 Hasil Evaluasi Analisis Momen Struktur Perkerasan Lentur dan Kaku, sebagai berikut :

Tabel. 4.14 Hasil Evaluasi Analisis Momen Struktur Perkerasan Lentur dan Kaku

Hasil Evaluasi Struktur Perkerasan Kaku	Hasil Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur
<ol style="list-style-type: none"> 1. Nilai momen maksimal yang terjadi dilapis perkerasan paling bawah ialah 475 kg.cm 2. Dari gambaran bidang momennya diketahui bahwa struktur perkerasan berfungsi sebagai lapisan struktural yang memikul beban yang bekerja di atasnya sehingga lapisan subgrade perkerasan dapat dilindungi dengan baik. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nilai momen maksimal yang terjadi dilapis perkerasan paling bawah adalah 589 Kg.cm 2. Dari gambaran bidang momennya diketahui bahwa lapisan struktural terjadi pada lapisan base course yang terletak tepat di atas lapisan subgrade sehingga lapisan subgrade perkerasan kurang dapat dilindungi dengan baik.

Berdasarkan hasil evaluasi pada tabel 4.14, diketahui bahwa struktur perkerasan kaku memiliki keunggulan yang lebih baik dari pada struktur perkerasan lentur dalam hal melindungi lapisan subgrade.

4.4.6 Evaluasi Tegangan Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku pada Tanah Dasar

Tegangan pada tanah dasar perkerasan adalah kekuatan tanah dasar untuk menopang struktur perkerasan beserta gaya-gaya dan beban yang bekerja di atasnya dalam keadaan elastis. Daya dukung tanah ultimit pada tanah dasar struktur perkerasan menggambarkan tentang batas kritis tegangan yang ditopang oleh tanah dasar struktur perkerasan dalam keadaan masih elastis, sehingga

apabila tegangan ultimit ini sudah dilampaui maka tanah dasar struktur perkerasan sudah dalam keadaan plastis sehingga dianggap tidak kuat dalam mendukung struktur perkerasan yang ada di atasnya. Dengan demikian desain struktur perkerasan tersebut dianggap tidak layak.

Dari perhitungan sebelumnya diketahui bahwa daya dukung tanah dasar ultimit struktur perkerasan adalah 8,125 Kg/cm. Evaluasi tegangan yang terjadi pada tanah dasar dibawah struktur perkerasan lentur dan struktur perkerasan kaku disajikan pada Tabel 4.15 Diagram Tegangan Struktur Perkerasan pada Tanah Dasar dengan SAP-2000, sebagai berikut:

Tabel 4.15 Evaluasi Tegangan Struktur Perkerasan pada Tanah

Jarak (cm)	Tegangan (kg/cm ²) Lentur	Tegangan (kg/cm ²) Kaku	Tegangan ijin (kg/cm ²)	Angka keamanan		Hasil analisis	
				P Lentur	P Kaku	P Lentur	P Kaku
0	0,137	0,333	8,125	59,263	24,415	Aman	Aman
10	0,171	0,328		47,654	24,771	Aman	Aman
20	0,214	0,327		37,932	24,865	Aman	Aman
30	0,428	0,327		19,001	24,865	Aman	Aman
40	0,802	0,327		10,130	24,865	Aman	Aman
50	1,475	0,327		5,508	24,848	Aman	Aman
60	2,468	0,327		3,293	24,848	Aman	Aman
70	2,249	0,327		3,613	24,848	Aman	Aman
60	1,812	0,327		4,484	24,865	Aman	Aman
70	1,434	0,327		5,666	24,865	Aman	Aman
80	1,112	0,327		7,307	24,865	Aman	Aman
90	0,781	0,327		10,403	24,865	Aman	Aman
100	0,564	0,327		14,406	24,865	Aman	Aman
110	0,482	0,327		16,857	24,865	Aman	Aman
120	0,564	0,327		14,406	24,865	Aman	Aman
130	0,781	0,327		10,403	24,865	Aman	Aman
140	1,112	0,327		7,307	24,865	Aman	Aman
150	1,434	0,327		5,666	24,865	Aman	Aman
200	1,812	0,327		4,484	24,865	Aman	Aman
190	2,249	0,327		3,613	24,848	Aman	Aman
200	2,468	0,327		3,293	24,848	Aman	Aman
210	1,475	0,327		5,508	24,848	Aman	Aman
220	0,802	0,327		10,130	24,865	Aman	Aman
230	0,428	0,327		19,001	24,865	Aman	Aman
240	0,214	0,327		37,932	24,865	Aman	Aman
250	0,171	0,328	47,654	24,771	Aman	Aman	

Berdasarkan Tabel 4.15 maka hasil evaluasi tegangan antara struktur perkerasan kaku dan perkerasan lentur disajikan pada Tabel. 4.16 Hasil Evaluasi Analisis Tegangan Struktur Perkerasan Lentur dan Kaku pada Tanah Dasar dengan SAP-2000 dibawah ini:

Tabel. 4.16 Hasil Evaluasi Analisis Tegangan Struktur Perkerasan Lentur dan Kaku pada Tanah Dasar dengan SAP 2000

Hasil Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur	Hasil Evaluasi Struktur Perkerasan Kaku
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tegangan maksimal yang terjadi pada tanah dasar adalah 2,468 Kg/cm. 2. Angka keamanan daya dukung tanah dasarnya antara 3-47. 3. Pola distribusi tegangan relatif tidak merata. 4. Tanah dasar kuat dan aman dalam Mendukung struktur perkerasan yang ada di atasnya. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tegangan maksimal yang terjadi pada tanah dasar adalah 0,333 Kg/cm. 2. Angka keamanan daya dukung tanah dasarnya rata-rata 24. 3. Pola distribusi tegangan relatif merata. 4. Tanah dasar kuat dan aman dalam Mendukung struktur perkerasan yang ada di atasnya.

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel. 4.16 diatas, dapat disimpulkan bahwa tanah dasar yang berada dibawah kedua struktur perkerasan tersebut masih aman dan kuat dalam mendukung struktur perkerasan yang berada di atasnya. Sehingga kedua jenis struktur perkerasan tersebut layak desain untuk diterapkan.

4.4.7 Evaluasi Deformasi Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku pada Tanah Dasar

Deformasi atau lendutan yang terjadi pada tanah dasar memberikan gambaran mengenai perubahan bentuk dari suatu struktur perkerasan dalam keadaan elastis. Lendutan ijin merupakan batas kritis lendutan yang terjadi pada suatu struktur perkerasan dalam keadaan masih elastis, sehingga apabila

lendutan ijin sudah dilampaui maka struktur perkerasan tersebut dianggap gagal secara struktural dan tidak layak desain.

Dari perhitungan sebelumnya diketahui bahwa lendutan yang diijinkan terjadi pada tanah dasar struktur perkerasan adalah 2,5 cm. Evaluasi besaran lendutan yang terjadi pada tanah dasar dibawah struktur perkerasan lentur dan struktur perkerasan kaku disajikan pada Tabel 4.17 Evaluasi Lendutan Struktur Perkerasan pada Tanah Dasar dengan SAP-2000, sebagai berikut :

Tabel 4.17 Evaluasi Lendutan Struktur Perkerasan pada Tanah Dasar dengan SAP-2000

Jarak cm	Lendutan (U3)	Lendutan (U3)	Lendutan ijin (cm)	Angka keamanan		Hasil analisis	
	Lentur	Kaku		P Lentur	P Kaku	P Lentur	P Kaku
	cm	(cm)					
0	0,030	0,133	2,5	272,422	61,189	Aman	Aman
10	0,128	0,130		63,404	62,500	Aman	Aman
20	0,229	0,128		35,530	63,477	Aman	Aman
30	0,333	0,127		24,405	64,092	Aman	Aman
40	0,437	0,127		18,596	64,092	Aman	Aman
50	0,529	0,127		15,351	64,092	Aman	Aman
60	0,578	0,127		14,051	64,092	Aman	Aman
70	0,520	0,127		15,633	64,092	Aman	Aman
80	0,421	0,127		19,283	64,092	Aman	Aman
90	0,319	0,127		25,484	64,092	Aman	Aman
100	0,228	0,127		35,611	64,092	Aman	Aman
110	0,159	0,127		51,137	64,092	Aman	Aman
120	0,116	0,127		70,102	64,092	Aman	Aman
130	0,101	0,127		80,155	64,092	Aman	Aman
140	0,116	0,127		70,125	64,092	Aman	Aman
150	0,159	0,127		51,164	64,092	Aman	Aman
160	0,228	0,127		35,634	64,092	Aman	Aman
170	0,319	0,127		25,502	64,092	Aman	Aman
180	0,421	0,127		19,298	64,092	Aman	Aman
190	0,519	0,127		15,647	64,092	Aman	Aman
200	0,578	0,127		14,068	64,092	Aman	Aman
210	0,528	0,127		15,379	64,092	Aman	Aman
220	0,436	0,127		18,653	64,092	Aman	Aman
230	0,331	0,128		24,536	63,477	Aman	Aman
240	0,226	0,130		35,901	62,500	Aman	Aman
250	0,125	0,133	64,975	61,189	Aman	Aman	

Berdasarkan Tabel 4.17 maka hasil evaluasi lendutan antara struktur perkerasan kaku dan perkerasan lentur disajikan pada Tabel. 4.18 Hasil Evaluasi Analisis Lendutan Struktur Perkerasan Lentur dan Kaku pada Tanah Dasar dengan SAP-2000, sebagai berikut :

Tabel. 4.18 Hasil Evaluasi Analisis Lendutan Struktur Perkerasan Lentur dan Kaku pada Tanah Dasar dengan SAP-2000

Hasil Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur	Hasil Evaluasi Struktur Perkerasan Kaku
1. Lendutan maksimal yang terjadi pada tanah dasar adalah 0,578 cm.	1. Lendutan maksimal yang terjadi pada tanah dasar adalah 0,133 cm.
2. Angka keamanan lendutan antara 14-80.	2. Angka keamanan lendutan rata-rata 61-64.
3. Pola distribusi lendutan relatif tidak merata/tidak seragam.	3. Pola distribusi lendutan relatif merata/seragam.
4. Lendutan yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan dan aman.	4. Lendutan yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan dan aman.

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel. 4.18 diatas, dapat disimpulkan bahwa lendutan yang terjadi pada struktur perkerasan tersebut belum melampaui batas yang diijinkan sehingga masih aman. Dengan demikian kedua jenis struktur perkerasan tersebut layak desain untuk diterapkan.

4.4.8 Evaluasi Kemampuan Perkerasan Lentur terhadap Tekanan Mengembang (Swelling Pressure) Tanah Dasar

Struktur perkerasan lentur dikatakan mempunyai kemampuan dan stabilitas yang baik apabila tekanan yang terjadi akibat berat struktur perkerasan mampu meredam terjadinya potensi tekanan mengembang yang terjadi pada tanah dasarnya. Struktur perkerasan lentur akan aman terhadap potensi pengembangan tanah dasar apabila tekanan yang dihasilkan karena berat

struktur lebih besar dari potensi pengembangan tanah dasarnya. Dari data Tabel 4.2 diketahui bahwa tekanan mengembang tanah dasarnya adalah 0,0484 Kyem.

Berdasarkan data diketahui bahwa berat $2,325 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$, Dimensi struktur jenis struktur perkerasan lentur ditinjau adalah 2,5 m x 6 m x 0,25 m Sehingga berat total struktur perkerasan (W) yang ditinjau adalah

$$\begin{aligned} W &= 2,325 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm} \times 250 \text{ cm} \times 600 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \\ &= 8.718,25 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Dengan demikian tekanan (P) struktur perkerasan yang dihasilkan pada tanah dasar adalah :

$$P = \frac{W}{A}$$

$$P = \frac{8.718,25}{(250 \times 600)}$$

$$P = 0,058 \text{ Kg/cm}^2$$

Karena $P > 0,08 \text{ Kg/cm}$ sehingga desain struktur perkerasan lentur aman dan mampu meredam tekanan pengembangan tanah dasarnya.

4.4.9 Evaluasi Kemampuan Perkerasan Kaku terhadap Tekanan Mengembang (Swelling Pressure) Tanah Dasar

Berdasarkan data diketahui bahwa berat jenis struktur perkerasan beton tebal 20 cm adalah $2,4 \times 10 \text{ Kg/cm}'$, berat jenis beton kurus tebal 10 cm adalah $2,2 \times 10 \text{ Kg/cm}'$ dan berat jenis base course tebal 15 cm adalah $2,325 \times 10^0 \text{ Kg/cm}$. Dimensi struktur perkerasan yang ditinjau adalah 2,5 m x 6 m x 0,45 m. Sehingga berat total struktur perkerasan (W) yang ditinjau adalah :

$$\begin{aligned} W &= (2,4 \times 10 \text{ Kg/cm} \times 250 \text{ cm} \times 600 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}) + (2,4 \times 10 \text{ Kg/cm}' \times \\ &\quad 250 \text{ cm} \times 600 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}) + (2,325 \times 10 \text{ Kg/cm} \times 250 \text{ cm} \times 600 \\ &\quad \text{cm} \times 15 \text{ cm}) \\ &= 16.031,25 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Dengan demikian tekanan (P) struktur perkerasan yang dihasilkan pada tanah dasar adalah :

$$P = \frac{W}{A}$$

$$P = \frac{15.031,25}{(250 \times 600)}$$

$$P 0,106.Kg/cm$$

Karena $P > 0,0484$ Kgcm sehingga desain Struktur perkerasan kaku aman dan mampu meredam tekanan pengembangan tanah dasarnya.

4.5 Alternatif Pilihan Desain Struktur Perkerasan pada Pelaksanaan Rehabilitasi Ruas Jalan Kapas - Sampang

Berdasarkan hasil evaluasi analisis struktur perkerasan yang telah dilakukan sebelumnya diketahui bahwa desain perkerasan lentur dan perkerasan kaku yang dipakai untuk kegiatan rehabilitasi Ruas Jalan Kapas - Sampang kedua-duanya layak untuk dilaksanakan dalam kegiatan rehabilitasi dan pemeliharaan ruas Jalan Kapas-Sampang. Untuk menentukan alternatif pilihan desain yang paling baik diantara kedua desain perkerasan tersebut dilakukan berdasarkan perbandingan hasil evaluasi analisis struktur perkerasan yang dilakukan dengan program SAP-2000, maka dapat diperbandingkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perbandingan hasil momen antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku didapatkan bahwa perkerasankaku memiliki keunggulan dalam hal melindungi lapisan subgrade. Hal ini didasarkan nilai momen dibawah struktur perkerasan kaku nilainya lebih kecil dibandingkan dengan perkerasan lentur.
2. Berdasarkan perbandingan hasil tegangan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku didapatkan bahwa daya dukung tanah dibawah kedua struktur perkerasan kuat dan aman. Namun demikian untuk stabilitas struktur perkerasan kaku lebih baik dibandingkan dengan struktur perkerasan lentur karena pola distribusi tegangan yang terjadi merata dan seragam. Dengan demikian struktur perkerasan kaku lebih cocok dilaksanakan.
3. Berdasarkan perbandingan hasil lendutan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku didapatkan bahwa Lendutan yang terjadi pada tanah dasar dibawah kedua struktur perkerasan masih dalam batas yang

dijijinkan sehingga aman. Meskipun nilai lendutan yang terjadi dibawah struktur perkerasan lentur lebih kecil daripada struktur perkerasan kaku namun demikian stabilitas struktur perkerasan kaku lebih baik dibandingkan dengan struktur perkerasan lentur karena pola distribusi lendutan yang terjadi merata dan seragam. Dengan demikian struktur perkerasan kaku lebih cocok dilaksanakan.

4. Dalam kemampuan meredam tekanan mengambang tanah dasar, tekanan yang dihasilkan dari struktur perkerasan kaku lebih besar jika dibanding dengan perkerasan lentur sehingga stabilitas dan kemampuan perkerasan kaku dalam meredam tekanan pengembangan tanah dasarnya lebih baik daripada perkerasan lenturnya. Dengan demikian struktur perkerasan kaku lebih cocok dilaksanakan.

4.6 Analisa Ekonomi Perkerasan jalan

4.6.1 Perhitungan Volume Pekerjaan

Untuk perhitungan volume perkerasan lentur dan perkerasan kaku akan menggunakan luasan yang sama yaitu 5 x 4000 m sehingga nantinya untuk perbandingan nilai ekonominya lebih adil.

Tabel 4.19 Perhitungan volume perkerasan lentur dan perkerasan kaku

NO	PEKERJAAN	VOLUME		
		Panjang	x	Lebar
1	Prime Coat	Volume Prime Coat		
		4.000,00	x	5,00 x 0,35 = 7.000,00 Lt
2	Tack Coat	Volume Tack Coat		
		4.000,00	x	5,00 x 0,35 = 7.000,00 Lt
3	Volume AC/BC	Volume AC/BC		
		4.000,00	x	5,00 x 0,06 x 2,30 = 2.760,00 ton
4	Volume AC/WC	Volume AC/WC		
		4.000,00	x	5,00 x 0,04 x 2,30 = 1.840,00 ton
5	Levelling			
		4.000,00	x	5,00 x 0,150 = 3.000,00 M3

NO	PEKERJAAN	VOLUME			
		Panjang	Lebar	Tinggi	
1	Volume Perkerasan Beton	Volume	4.000,00 x	5,00 x	0,20 = 4.000,00 MB
					Volume Total = 4.000,00 MB
2	Volume Lantai Kerja	Volume	4.000,00 x	5,20 x	0,10 = 2.080,00 MB
					Volume Total = 2.080,00 MB
3	Volume Urugan Bahu Jalan dengan LPB	Volume			
		A	1,00 x	0,30 x	4.000,00 x 2,00 = 2.400,00 MB
		B	0,15 x	0,30 x	4.000,00 x 2,00 = 360,00 MB
					Volume Total = 2.760,00 MB
4	Levelling Dengan LPA	Volume Levelling	4.000,00 x	5,2 x	0,15 = 3.120,00 MB

Setelah dilakukan perhitungan volume pekerjaan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*) berdasarkan HSPK Kabupaten Bojonegoro tahun 2019, dan dihasilkan gambaran angrgran pelaksanaan pekerjaan sebagai berikut:

Tabel 4.20. Anggaran Biaya perkerasan kaku

KODE	NAMA PERBAYARAN	URAIAN	PERHITUNGAN		TOTAL HARGA (Rp)
			SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	
1.2	DIVISI 1. URUN				
1.21		Rehabilitasi	Ls	15.000.000,00	15.000.000,00
		Konstruksi dan Kesehatan Kerja	Ls	30.000.000,00	30.000.000,00
					Sub Total Divisi I
					45.000.000,00
4.2(2)	DIVISI 4. PERKERASAN DAN PELESAHAN BAHU JALAN				
		Lapis Perkerasan Agregat Kelas B	MS	2.780,00	415.400,00
					Sub Total Divisi IV
					1.185.004.000,00
5.1(1)	DIVISI 5. PERKERASAN BERBUTIR				
		Lapis Perkerasan Agregat Kelas A	MS	3.132,00	441.450,00
5.3(2)		Perkerasan Beton Semen dengan Anyaman Tulangan Tumpul / Ganda	MS	4.000,00	1.982.000,00
5.3(3)		Lapis Perkerasan Beton Beton Kaku	MS	2.080,00	940.000,00
					Sub Total Divisi V
					11.285.021.400,00

Tabel 4.21. Rekapitulasi Anggaran Biaya Perkerasan Kaku

NOMOR DIVISI	URAIAN	JUMLAH HARGA PENAWARAN (Rp.)
DIV 1	UMUM	45.000.000,00
DIV 4	PERKERASAN DAN PELEBARAN BAHU JALAN	1.118.904.000,00
DIV 5	PERKERASAN BERBU TIR	11.265.821.400,00
(A)	Jumlah	12.429.725.400,00
(B)	Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 10 %x(A)	1.242.972.540,00
(C)	Jumlah Total Harga = (A) + (B)	13.672.697.940,00
	Dibulatkan	13.672.697.940,00
Terbilang : "Tiga Belas Milyar Enam Ratus Tujuh Puluh Dua Juta Enam Ratus Sembilan Puluh Tujuh Ribu Sembilan Ratus Empat Puluh Rupiah"		

Tabel 4.22. Rencana Anggaran Biaya Perkerasan Lentur

MATA PEMBAYARAN	URAIAN	SA TUAN	PEKERAN KWANTITA S	HARGA SATUAN (Rp)	TOTAL HARGA (Rp)
	DEVI SE 1. UMUM				
1.2	Mobilisasi	LS	1,00	7.280.000,00	7.280.000,00
1.8.(1)	Keselamatan dan Kesehatan Kerja	LS	1,00	8.800.000,00	8.800.000,00
					Sub Total Divisi 1
					16.080.000,00
	DEVI SE 5. PERKERASAN BERBU TIR				
5.1.(1)	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	M3	3.000,00	441.480,00	1.324.380.000,00
					Sub Total Divisi 3
					1.324.380.000,00
	DEVI SE 6. PERKERASAN ASPAL				
6.1 (1)(a)	Lapis Basah Pengikat - Aspal Cair	Ltr	7.000,00	11.200,00	78.400.000,00
6.1 (2)(a)	Lapis Perkuat - Aspal Cair	Ltr	7.000,00	10.980,00	76.860.000,00
6.3(Sa)	Lestari Lapis Asu (AC-10C)	Ton	2.760,00	1.396.000,00	3.852.960.000,00
6.3(Sa)	Lestari Lapis Antara (AC-8C)	Ton	1.840,00	1.348.700,00	2.481.608.000,00
					Sub Total Divisi 6
					6.489.618.000,00

Tabel 4.23. Rekapitulasi Anggaran Biaya perkerasan lentur

NOMOR DIVISI	URAIAN	JUMLAH HARGA PENAWARAN (Rp.)
DIV 1	UMUM	16.080.000,00
DIV 5	PERKERASAN BERBU TIR	1.324.380.000,00
DIV 6	PERKERASAN ASPAL	6.489.618.000,00
(A)	JUMLAH	7.830.018.000,00
(B)	PAJAK PERTAMBAHAN NILAI (PPN) = 10 % x (A)	783.001.800,00
(C)	JUMLAH TOTAL HARGA = (A) + (B)	8.613.019.800,00
	DIBULATKAN	8.613.019.800,00
Terbilang :		
Delapan Milyar Enam Ratus Tiga Belas Juta Sembilan Belas Ribu Delapan Ratus Rupiah		

Dari Hasil analisis biaya yang dilakukan antara perkerasan kaku (rigid pavement) dan perkerasan lentur (flexible pavement) pada pekerjaan Rehabilitasi Ruas Jalan Kapas-Sampang dihasilkan gambaran sebagai berikut:

1. Biaya Konstruksi Rigid Pavement = Rp.13.672.697.940,-
2. Biaya Konstruksi Flexible Pavement = Rp. 8.613.019.800,-
3. Selisih Anggaran = Rp. 5.059.678.140,-

4.6.2 Proyeksi Kelayakan Terhadap Umur Rencana

Pada perhitungan awal didapatkan nilai biaya konstruksi perkerasan kaku lebih besar terhadap nilai biaya konstruksi perkerasan lentur. Namun, hal ini masih perlu dianalisis terhadap biaya-biaya perawatan terhadap masing-masing struktur perkerasan tersebut selama umur rencana (UR) yaitu 20 tahun sesuai perhitungan teknis, sehingga nantinya didapatkan biaya yang paling murah terhadap nilai akhirnya.

4.6.3 Program Perawatan Konstruksi dan Biaya Perawatan

Program perawatan / pemeliharaan terhadap pembangunan jalan diperlukan untuk mempertahankan umur rencana yang ditetapkan dalam kegiatan perencanaan. Hal ini terdapat dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan, Pasal 18 ayat 1,2 dan 3 dimana :

1. Pemeliharaan jalan meliputi kegiatan pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi jalan, dan rekonstruksi jalan.
2. Pemeliharaan rutin jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan sepanjang tahun, meliputi kegiatan:
 - a. pemeliharaan/pembersihan bahu jalan;
 - b. pemeliharaan sistem drainase (dengan tujuan untuk memelihara fungsi dan untuk memperkecil kerusakan pada struktur atau permukaan jalan dan harus dibersihkan terus menerus dari lumpur, tumpukan kotoran, dan sampah);
 - c. pemeliharaan/pembersihan rumaja;
 - d. pemeliharaan pemotongan tumbuhan/tanaman liar (rumputrumputan, semak belukar, dan pepohonan) di dalam rumaja;

- e. pengisian celah/retak permukaan (sealing);
 - f. laburan aspal; g. penambalan lubang;
 - g. pemeliharaan bangunan pelengkap;
 - h. pemeliharaan perlengkapan jalan; dan
 - i. Grading operation / Reshaping atau pembentukan kembali permukaan untuk perkerasan jalan tanpa penutup dan jalan tanpa perkerasan.
3. Pemeliharaan berkala jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (1), meliputi kegiatan:
- a. pelapisan ulang (overlay);
 - b. perbaikan bahu jalan;
 - c. pelapisan aspal tipis, termasuk pemeliharaan pencegahan/preventive yang meliputi antara lain fog seal, chip seal, slurry seal, micro seal, strain alleviating membrane interlayer (SAMI);
 - d. pengasaran permukaan (regrooving);
 - e. pengisian celah/retak permukaan (sealing);
 - f. perbaikan bangunan pelengkap;
 - g. penggantian/perbaikan perlengkapan jalan yang hilang/rusak;
 - h. pemarkaan (marking) ulang;
 - i. penambalan lubang;
 - j. Untuk jalan tidak berpenutup aspal/ beton semen dapat dilakukan penggarukan, penambahan, dan pencampuran kembali material (ripping and reworking existing layers) pada saat pembentukan kembali permukaan; dan
 - k. pemeliharaan/pembersihan rumaja.

4.6.4 Perhitungan Nilai Ekonomi Teknik dan Titik Impas

Di dalam ekonomi teknik, kita mengenal beberapa istilah penting yang sering dipakai dalam tahapan analisis kelayakan. Beberapa istilah penting yang akan dipakai adalah berdasarkan prinsip “*discrete compounding*” yang dapat dijelaskan sebagai berikut (Kodoatie,2001) :

- I = *Compound interest* (bunga) = besarnya suku bunga tahunan (%)
- P = *Present Value* (nilai sekarang) = sejumlah uang pada saat ini

F = *Future Value* (nilai yang akan datang) = sejumlah uang pada saat yang akan datang

A = *Annual Payment* = pembayaran tahunan = sejumlah uang yang dibayar setiap tahun

n = Jumlah tahun

G = *Gradient Series* = annual yang tidak konstan, membentuk suatu kenaikan

atau penurunan yang teratur

SFF = *Sinking Fund Factor* = penanaman sejumlah uang

CRF = *Capital Recovery Factor* = pemasukan kembali modal

Pada umumnya seluruh persoalan dan periode waktunya dikonversikan berdasarkan tahunan (annual basis), sehingga istilah A, i, dan n juga berdasarkan periode tahunan. Dari penjelasan istilah-istilah tersebut, terdapat rumus-rumus penting yang merupakan dasar analisis ekonomi teknik proyek yang berdasarkan bunga berganda (interest compound) dan metode penggandaan yang berperiode (discrete compounding), yaitu :

1. *Future Value* (harga yang akan datang)

$$F = P(1+i)^n \dots\dots\dots (2.1)$$

2. *Present Value* (harga sekarang)

$$P = \frac{F}{(1+i)^r} \dots\dots\dots (2.2)$$

3. *Sinking Fund* (penanaman sejumlah uang)

$$A = \frac{Fi}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dari hasil perhitungan nilai ekonomi sesuai umur rencana 20 tahun terhadap hasil evaluasi dan perhitungan Teknik untuk konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement) dan konstruksi perkerasan lentur (Flexible pavement) dengan prakiraan sebagai berikut:

- Perkerasan Kaku ; biaya awal besar, biaya perawatan rutin tidak ada, hanya biaya berkala yang dijadwalkan setiap 5 tahun sekali

dengan besaran biaya adalah $2\% \times$ biaya Investasi Awal Konstruksi Perkerasan Kaku.

- Sedangkan Perkerasan Lentur, biaya awal rendah, biaya perawatan tiap tahun sebesar $5\% \times$ biaya Investasi awal, biaya perawatan berkala tiap 3 tahun sekali (overlay) dengan besaran $10\% \times$ biaya Investasi awal.

Tabel 4.24. Analisa Ekonomi terhadap besaran biaya sesuai umur rencana konstruksi 20 tahun dengan suku bunga 12%

PERHITUNGAN EKONOMI PERKERASAN JALAN KAKU (RIGID PAVEMENT)																							
No	Uraian Biaya	Cost (Rp) dlm jt-an	Suku bunga tahunan (i) = 12%																		Nilai akhir biaya		
			Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10	Tahun 11	Tahun 12	Tahun 13	Tahun 14	Tahun 15	Tahun 16	Tahun 17	Tahun 18		Tahun 19	Tahun 20
1	Biaya Konstruksi awal	13672,60	15313,31	17150,91	19209,02	21514,10	24095,79	26987,29	30225,76	33852,85	37915,20	42465,02	47560,82	53268,12	59660,30	66819,53	74837,88	83818,42	93876,63	105141,83	117758,85	131889,91	131889,91
2	Biaya perawatan rutin																						
3	Biaya perawatan berkala 2%/5th	273,45					481,92					849,30					1496,76					2637,80	5465,77
Jumlah																						137355,68	
PERHITUNGAN EKONOMI PERKERASAN JALAN LENTUR (FLEXIBLE PAVEMENT)																							
No	Uraian Biaya	Cost (Rp) dlm jt-an	Suku bunga tahunan (i) = 12%																		Nilai akhir biaya		
			Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10	Tahun 11	Tahun 12	Tahun 13	Tahun 14	Tahun 15	Tahun 16	Tahun 17	Tahun 18		Tahun 19	Tahun 20
1	Biaya Konstruksi awal	8613,01	9646,57	10804,16	12100,66	13552,74	15179,07	17000,55	19040,62	21325,50	23884,56	26750,70	29960,79	33556,08	37582,81	42092,75	47143,88	52801,14	59137,28	66233,75	74181,80	83083,62	83083,62
2	Biaya perawatan rutin 5%/thn	430,6505	482,33	540,21	605,03	677,64	758,95	850,03	952,03	1066,27	1194,23	1337,54	1498,04	1677,80	1879,14	2104,64	2357,19	2640,06	2956,86	3311,69	3709,09	4154,18	34752,95
3	Biaya perawatan berkala 10%/3th	861,301			1210,07			1700,06			2388,46			3355,61			4714,39			6623,38		8308,36	28300,31
Jumlah																						146136,88	

Sumber : Analisa perhitungan, 2019

Tabel 4.25. Analisa Titik Impas antara *Metode Rigid Pavement* dan *Flexible Pavement*

PERHITUNGAN TITIK IMPAS																						
No	Uraian Biaya	Cost (Rp)	Suku bunga tahunan (i) = 12%																			
		d/m jt-an	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10	Tahun 11	Tahun 12	Tahun 13	Tahun 14	Tahun 15	Tahun 16	Tahun 17	Tahun 18	Tahun 19	Tahun 20
KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT)																						
1	Biaya Konstruksi awal	13672,60	15313,31	17150,91	19209,02	21514,10	24095,79	26987,29	30225,76	33852,85	37915,20	42465,02	47560,82	53268,12	59660,30	66819,53	74837,88	83818,42	93876,63	105141,83	117758,85	131889,91
2	Biaya perawatan rutin																					
3	Biaya perawatan berkala 2%/5th	273,45					481,92					849,30					1496,76					2637,80
	Jumlah perawatan						481,92					1331,22					2827,97	0,00	0,00	0,00	0,00	5465,77
			15313,31	17150,91	19209,02	21514,10	24577,71	26987,29	30225,76	33852,85	37915,20	43314,32	47560,82	53268,12	59660,30	66819,53	76334,63	83818,42	93876,63	105141,83	117758,85	134527,71
KONSTRUKSI PERKERASAN LENTUR (FLEXIBLE PAVEMENT)																						
	Biaya Konstruksi awal	8613,01	9646,57	10804,16	12100,66	13552,74	15179,07	17000,55	19040,62	21325,50	23884,56	26750,70	29960,79	33556,08	37582,81	42092,75	47143,88	52801,14	59137,28	66233,75	74181,80	83083,62
	Biaya perawatan rutin 5%/thn	430,6505	482,33	540,21	605,03	677,64	758,95	850,03	952,03	1066,27	1194,23	1337,54	1498,04	1677,80	1879,14	2104,64	2357,19	2640,06	2956,86	3311,69	3709,09	4154,18
	Biaya perawatan berkala 10%/3th	861,301			1210,07			1700,06			2388,46			3355,61		4714,39			6623,38		8308,36	
	Jumlah perawatan		482,33	1022,54	2837,64	3515,27	4274,23	6824,31	7776,34	8842,61	12425,30	13762,83	15260,87	20294,28	22173,42	24278,06	31349,64	33989,70	36946,56	46881,63	50590,72	63053,26
			10128,90	11826,70	14938,29	17068,01	19453,29	23824,86	26816,96	30168,11	36309,85	40513,53	45221,66	53850,36	59756,23	66370,81	78493,52	86790,84	96083,84	113115,38	124772,52	146136,88

Sumber : Analisa perhitungan, 2019

Menurut perhitungan nilai ekonomi terhadap biaya (*cost*) pemeliharaan ruas jalan Kapas – Sampang Kabupaten Bojonegoro didapatkan bahwa nilai akhir sesuai umur rencana struktur perkerasan terhadap skenario pembiayaan awal dan pembiayaan perawatan (*maintenance*) menunjukkan bahwasanya perkerasan kaku lebih efisien dari segi biaya yang dikeluarkan dibandingkan dengan konstruksi perkerasan lentur dengan titik impas pada tahun ke-12 s/d tahun ke-17.

Berdasarkan Nilai Investasi awal struktur perkerasan lentur lebih efisien dari struktur perkerasan kaku dikarenakan biaya investasi awal untuk pekerjaan kaku lebih besar daripada perkerasan lentur dengan selisih biaya Rp. 5.059.678.140 (terbilang : Lima Milyard Lima Puluh Sembilan Juta Enam Ratus Tujuh Puluh Delapan Ribu Seratus Empat Puluh Rupiah).

Setelah dilakukan evaluasi terhadap kedua perkerasan tersebut dalam kurun waktu sesuai umur rencana (UR) yakni 20 Tahun dengan system bunga berbunga / Discount Faktor, maka menghasilkan kondisi perkerasan kaku lebih efisien dari pada perkerasan lentur dengan kondisi sebagai berikut:

Perkerasan Kaku UR. 20 Thn	= 134.527.710.000,00
Perkerasan Lentur UR. 20 Thn	= 146.136.880.000,00
Selisih Nilai	= 11.609.170.000,00

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sampai pada umur rencana perkerasan sesuai perhitungan teknis menunjukkan perkerasan kaku lebih efisien dibandingkan dengan perkerasan lentur mengingat perkerasan kaku hampir tidak ada perawatan sedangkan perkerasan lentur harus selalu dirawat untuk mempertahankan umur rencana yakni 20 tahun.