

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisa Data Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam analisis perencanaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada penelitian ini yaitu data lalu lintas, data *subgrade* (tanah dasar), dan data pendukung perencanaan lainnya mengenai dengan perencanaan ulang perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada pendekatan timur simpang UPN – Jalan Raya Padjajaran, Sleman. Data tersebut diperoleh dari instansi terkait yang didapat dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Yogyakarta dan sumber lainnya.

5.1.1 Data Lalu Lintas

Data lalu-lintas yang digunakan yaitu data LHR (lalu lintas harian rata-rata) diruas Jalan Arteri (*Ring Road*) Utara Yogyakarta. Data LHR (lalu lintas harian rata-rata) ini adalah data sekunder yang didapat dari laporan satuan kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Yogyakarta tahun anggaran 2017. Data LHR 2017 Jalan Arteri (*Ring Road*) Utara Yogyakarta dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Data LHR 2017 Ruas Jalan Arteri (*Ring Road*) Utara Yogyakarta

No	Golongan	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (Kend/hari)
1	Veh 1	Sepeda Motor, Skuter dan Kendaraan Roda 3	156.129
2	Veh 2	Sedan, Jeep, Station Wagon (MP)	69.291
3	Veh 3	Oplet, Pick Up Oplet, Combi, Minibus	3.883
4	Veh 4	Mikro Truck, Mobil Hantaran, Pick Up Box	7.147
5	Veh 5a	Bus Kecil	1.363
6	Veh 5b	Bus Besar	592
7	Veh 6a	Truk Kecil 2 Gandar	812
8	Veh 6b	Truk Sedang 2 Gandar	2.971
9	Veh 7a	Truk 3 Gandar	779

Tabel 5.1 Data LHR 2017 Ruas Jalan Arteri (*Ring Road*) Utara Yogyakarta (Lanjutan)

No	Golongan	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (Kend/hari)
10	Veh 7b	Truck 4 Gandar (Truck Gandengan)	144
11	Veh 7c	Truck 5 Gandar (Truck Semi Trailer)	202
12	Veh 8	Kendaraan Tidak Bermotor	521

(Sumber: Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Yogyakarta, 2017)

5.1.2 Data Nilai CBR *Subgrade* (Tanah Dasar)

Data rangkuman Tes CBR Timbunan Pilihan adalah data sekunder yang didapat dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Yogyakarta. Nilai CBR tanah dasar (timbunan pilihan) laboratorium adalah 23,50% dan 26,70%. Namun sebagai kriteria dasar dalam perencanaan tebal *rigid pavement* persyaratan CBR yang dikehendaki dipakai nilai CBR *subgrade* (tanah dasar) lapangan minimum 6%.

CBR yang umum digunakan di Indonesia berdasar besaran 6% untuk lapis tanah dasar, mengacu pada spesifikasi (versi Departemen Pekerjaan Umum edisi 2005 dan versi Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta edisi 2004). Akan tetapi tanah dasar dengan nilai CBR 5% dan atau 4% pun dapat digunakan setelah melalui kajian geoteknik, dengan CBR kurang dari 6% ini jika digunakan sebagai dasar perencanaan tebal perkerasan, masalah yang terpengaruh adalah fungsi tebal perkerasan yang akan bertambah, atau masalah penanganan khusus lapis tanah dasar tersebut.

5.1.3 Data Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Data pendukung lainnya yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah sebagai berikut:

1. Umur rencana yang ditentukan untuk perencanaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu 20 tahun,
2. Fungsi jalan yaitu arteri atau jalan bebas hambatan (*freeway*), menghubungkan antar kota atau daerah yang menghendaki waktu dan jarak tempuh dengan efektif,

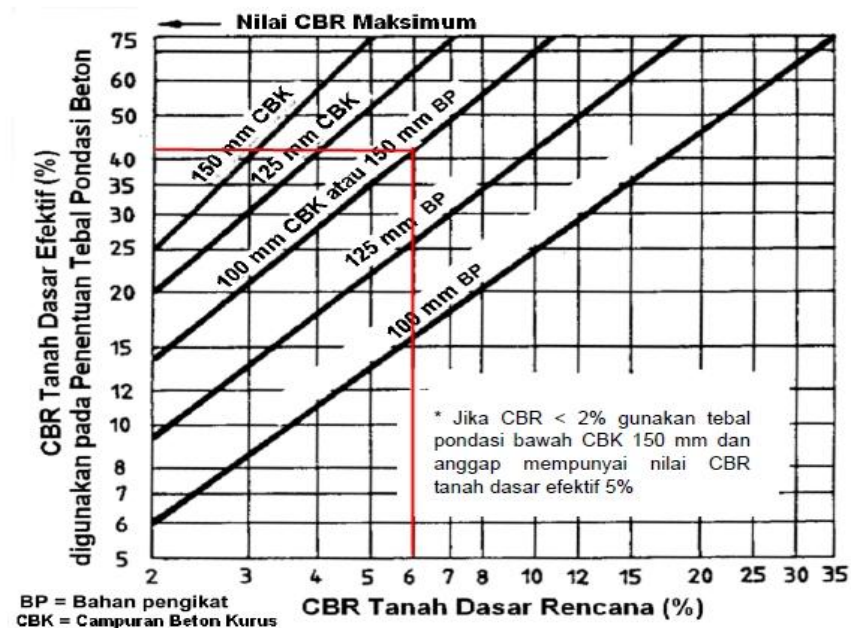
3. Panjang jalan yang direncanakan 100 m – 200 m sesuai panjang antrian yang sering terjadi,
4. Terdiri dari 6 lajur, 2 arah dengan tanpa menggunakan bahu jalan, dan
5. Material yang akan digunakan dalam perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu:
 - a. *Subbase* menggunakan *lean-mix concrete* dengan beton mutu K125, dan
 - b. Perkerasan Kaku (*rigid pavement*) dengan tipe Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) menggunakan mutu beton K400.

5.2 Metode Departemen Kimpraswil (Pd T-14-2003)

Dalam metode ini untuk menentukan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) digunakan beberapa parameter yaitu nilai CBR tanah dasar, jenis dan tebal *subbase*, mutu beton, lalu lintas, dan jenis bahu beton. Adapun data yang diperlukan dalam menentukan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) menggunakan metode Departemen Kimpraswil (Pd T-14-2003) akan diuraikan di bawah ini.

5.2.1 Tanah Dasar (*Subgrade*)

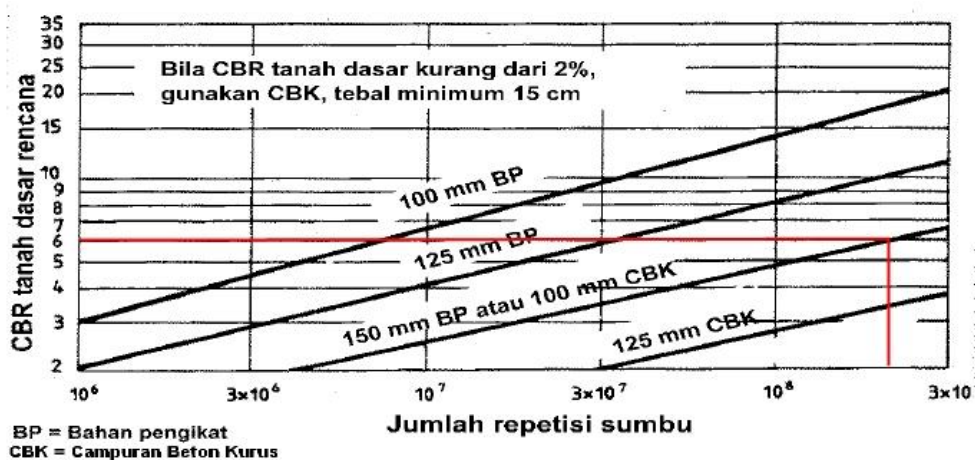
Nilai daya dukung tanah yang digunakan adalah nilai CBR *subgrade* (tanah dasar) lapangan minimum 6%. Untuk mendapatkan nilai CBR tanah dasar efektif sebesar 42% didapatkan dari Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 CBR Tanah Dasar Efektif Dan Tebal Pondasi Bawah
(Sumber: Departemen Permukiman dan Perencanaan Wilayah Indonesia, 2003)

5.2.2 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase*)

Berdasarkan Gambar 5.2 didapatkan hubungan nilai CBR tanah dasar (*subgrade*) dengan tebal lapisan pondasi bawah (*subbase*) menggunakan *lean mix concrete* (LMC) atau campuran beton kuras (CBK). Dari gambar tersebut didapat tebal 100 mm atau 10 cm. Adapun dalam perencanaan ini, jenis dan spesifikasi material pondasi bawah (*subbase*) menggunakan *lean mix concrete* (LMC) atau campuran beton kuras (CBK) mutu beton K125 dengan tebal 10 cm.



Gambar 5.2 Tebal Pondasi Bawah Minimum untuk Perkerasan Beton Semen
(Sumber: Departemen Permukiman dan Perencanaan Wilayah Indonesia, 2003)

5.2.3 Mutu Beton

Berdasarkan Pd T-14-2003 kekuatan beton dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari ialah sekitar 3-5 MPa (30-50 kg/cm²). Perencanaan ulang perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada pendekat timur simpang UPN – Jalan Raya Padjajaran digunakan beton semen karakteristik yaitu mutu beton K400 yang memiliki kuat tekan karakteristik 400 kg/cm². Mutu K400 apabila dikonversi menjadi kuat tekan benda uji silinder maka harus dikalikan dengan 0,83. Mutu K400 apabila dikonversi menjadi kuat tekan benda uji silinder setara dengan 33,2 MPa.

Adapun untuk mengetahui kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm²) menggunakan persamaan 3.4. Maka kuat tarik lentur beton dengan mutu K400 sebagai berikut.

$$f_{cf} = 0,75 \sqrt{33,2} = 4,321 \text{ Mpa}$$

Kuat tarik lentur beton (*flexural strength*) umur 28 hari pada pendekat timur simpang UPN – Jalan Raya Padjajaran diperoleh 4,321 MPa memenuhi persyaratan Pd T-14-2003 untuk kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari sekitar 3-5 MPa (30-50 kg/cm²)

5.2.4 Faktor Keamanan Beban (F_{KB})

Faktor keamanan beban digunakan sebagai pengali untuk penentuan beban rencana. Berdasarkan Tabel 3.4 dengan peranan jalan sebagai jalan bebas hambatan (*freeway*) dan jalan arteri, maka keamanan beban sebesar 1,1.

5.2.5 Lalu Lintas

Dalam analisis perencanaan perkerasan diperlukan data lalu lintas pada ruas jalan pendekat timur simpang UPN – Jalan Raya Padjajaran, Sleman. Data yang digunakan adalah data LHR tahun 2017. Penggolongan jenis kendaraan dan konfigurasi beban mengacu pada Bina Marga MST-10. Berdasarkan data lalu lintas harian rata-rata (LHR), maka dapat diketahui jumlah sumbu dan beban sumbu setiap jenis kendaraan niaga. Data perhitungan analisa untuk jumlah sumbu kendaraan niaga harian (JSKNH) diperlihatkan pada Tabel 5.2 berikut.

Umur rencana ditetapkan selama 20 tahun. Data LHR tahun 2017 tersebut kemudian dijadikan dasar perhitungan jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN) yang melintas selama umur rencana. Nilai koefisien distribusi (C) ditetapkan dengan mengacu pada Tabel 3.2 sebesar 0,4. Nilai R dihitung menggunakan persamaan 3.5 dan nilai JSKN selama umur rencana dihitung menggunakan persamaan 3.7. Perhitungan nilai JSKN selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.3 dibawah ini.

Tabel 5.2 Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya

Jenis Kendaraan	Berat Total (ton)	Konfigurasi Beban Sumbu (ton)				Jumlah Kendaraan (bh)	Jumlah Sumbu Per Kendaraan (bh)	Jumlah Sumbu Kendaraan (bh)	STRT		STRG		STdRG	
		RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)
1	2	3	4	5	6	7	8	9 = 7 x 8	10 = 3	11	12	13	14	15
Sedan, Jeep, Station Wagon (MP)	2,0	1,00	1,00	-	-	69.291	-	-	-	-	-	-	-	-
Oplet, Pick Up Oplet, Combi, Minibus	8,3	2,82	5,48			3.883	2	7.766	2,82	3.883	5,48	3.883		
Mikro Truck, Mobil Hantaran, Pick Up Box	8,3	2,82	5,48			7.147	2	14.294	2,82	7.147	5,48	7.147		
Bus Kecil	8,3	2,82	5,48			1.363	2	2.726	2,82	1.363	5,48	1.363		
Bus Besar	9,0	3,06	5,94			592	2	1.184	3,06	592	5,94	592		
Truk Kecil 2 Gandar	8,3	2,82	5,48			812	2	1.624	2,82	812	5,48	812		
Truk Sedang 2 Gandar	15,15	5,15	10,00			2.971	2	5.942	5,15	2.971	10,00	2.971		
Truk 3 Gandar	25,0	6,25	18,75			779	2	1.558	6,25	779			18,75	779
Truk 4 Gandar (Truck Gandengan)	31,4	5,65	8,79	8,48	8,48	144	4	576	5,65	144	8,79	144		
											8,48	144		
											8,48	144		
Truk 5 Gandar (Truck Semi Trailer)	40,13	5,88	20,00	7,00	7,25	202	3	606	5,88	202			20,00	202
													14,25	202
Total						87.184		36.276		17.893		17.200		1.183

Keterangan:

RD : Roda Depan	RGB : Roda Gandeng Belakang	STRT : Sumbu Tunggal Roda Tunggal
RB : Roda Belakang	BS : Beban Sumbu	STRG : Sumbu Tunggal Roda Ganda
RGD : Roda Gandeng Depan	JS : Jumlah Sumbu	STdRG : Sumbu Tandem Roda Ganda

Tabel 5.3 Perhitungan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) Selama Umur Rencana

Jenis Kendaraan	Jumlah Sumbu Kendaraan (bh)	Pertumbuhan Lalu lintas (i) (%)	Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (R) (Persamaan 3.5)	Nilai Koefisien Distribusi (C) (Tabel 3.2)	Hari Dalam Tahun	JSKN Rencana (Persamaan 3.7)
1	2	3	4	5	6	$7 = 2 \times 4 \times 5 \times 6$
Sedan, Jeep, Station Wagon (MP)	-	-	-	-	-	-
Oplet, Pick Up Oplet, Combi, Minibus	7.766	4,8	32,38	0,4	365	36.708.602
Mikro Truck, Mobil Hantaran, Pick Up Box	14.294	4,8	32,38	0,4	365	67.565.382
Bus Kecil	2.726	4,8	32,38	0,4	365	12.885.353
Bus Besar	1.184	4,8	32,38	0,4	365	5.596.573
Truk Kecil 2 Gandar	1.624	4,8	32,38	0,4	365	7.676.380
Truk Sedang 2 Gandar	5.942	4,8	32,38	0,4	365	28.086.854
Truk 3 Gandar	1.558	4,8	32,38	0,4	365	7.364.409
Truk 4 Gandar (Truck Gandengan)	576	4,8	32,38	0,4	365	2.722.657
Truk 5 Gandar (Truck Semi Trailer)	606	4,8	32,38	0,4	365	2.864.462
Total	36.276					171.470.672

Tahap berikutnya dilakukan perhitungan repetisi beban sumbu tiap jenis sumbu kendaraan selama umur rencana untuk dianalisa apakah mengalami kegagalan fatik atau kegagalan erosi dalam melayani JSKN selama umur rencana. Repetisi yang terjadi merupakan hasil kali antara proporsi beban, proporsi sumbu dan lalu lintas rencana. Perhitungan repetisi sumbu rencana didapat dari Persamaan 3.8, perhitungan proporsi beban didapat dari Persamaan 3.9 dan proporsi sumbu didapat dari Persamaan 3.10. Hasil perhitungan repetisi beban sumbu kendaraan adalah sebesar 171.470.672 yang diperlihatkan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Perhitungan Repetisi Sumbu Rencana

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban (Pers. 3.9)	Proporsi Sumbu (Pers. 3.10)	JSKN Rencana (Pers. 3.7)	Repetisi yang Terjadi (Pers. 3.8)
1	2	3	4	5	6	7 = 4 x 5 x 6
STRT	2,82	3.883	0,2170	0,4932	171.470.672	18.354.301
	2,82	7.147	0,3994	0,4932	171.470.672	33.782.691
	2,82	1.363	0,0762	0,4932	171.470.672	6.442.676
	3,06	592	0,0331	0,4932	171.470.672	2.798.286
	2,82	812	0,0454	0,4932	171.470.672	3.838.190
	5,15	2.971	0,1660	0,4932	171.470.672	14.043.427
	6,25	779	0,0435	0,4932	171.470.672	3.682.205
	5,65	144	0,0080	0,4932	171.470.672	680.664
5,88	202	0,0113	0,4932	171.470.672	954.821	
Total		17.893				84.577.261
STRG	5,48	3.883	0,2258	0,4741	171.470.672	18.354.301
	5,48	7.147	0,4155	0,4741	171.470.672	33.782.691
	5,48	1.363	0,0792	0,4741	171.470.672	6.442.676
	5,94	592	0,0344	0,4741	171.470.672	2.798.286
	5,48	812	0,0472	0,4741	171.470.672	3.838.190
	10,00	2.971	0,1727	0,4741	171.470.672	14.043.427
	8,79	144	0,0084	0,4741	171.470.672	680.664
	8,48	144	0,0084	0,4741	171.470.672	680.664
8,48	144	0,0084	0,4741	171.470.672	680.664	
Total		17.200				81.301.564
STdRG	18,75	779	0,6585	0,0326	171.470.672	3.682.205
	20,00	202	0,1708	0,0326	171.470.672	954.821
	14,25	202	0,1708	0,0326	171.470.672	954.821
Total		1.183				5.591.846
Kumulatif						171.470.672

5.2.6 Penentuan Tebal Pelat Beton

Tahap selanjutnya menentukan struktur perkerasan berdasarkan nilai jumlah sumbu kendaraan niaga yang telah didapatkan. Untuk menentukan tebal pelat beton dibutuhkan beberapa data yang telah ditentukan sebelumnya yaitu sebagai berikut.

1. Peranan Jalan : Jalan Arteri
2. Tipe Jalan : 6 Lajur 2 Arah
3. Jenis Perkerasan Kaku : Beton Bersambung Tanpa Tulangan
4. Sumber Data Lalu Lintas : Hasil Survei Satker P2JN
5. Mutu Beton : K-400 ($f'c = 33,2$ MPa, *silinder test*)
6. Kuat Tarik Lentur Beton (f_{cf}) : 4,321 Mpa
7. Umur Rencana : 20 Tahun
8. JSKN Rencana : 171.470.672
9. Faktor Keamanan Beban (F_{KB}) : 1,1
10. CBR Tanah Dasar (*Subgrade*) : 6%
11. CBR *Subgrade* Efektif : 42%
12. Tipe dan Tebal *Subbase* : *Lean Mix Concrete* tebal 10 cm
13. Bahu Jalan : Tidak Ada

Taksiran awal tebal perkerasan yang dicoba adalah dengan tebal 24 cm. Nilai tebal perkerasan ini perlu diperiksa kembali dengan analisa fatik dan analisa erosi sebagai salah satu prosedur yang terdapat dalam Pedoman Perencanaan Jalan Beton Semen Pd-T-14-2003. Analisa fatik dan erosi digunakan untuk mendapatkan tebal pelat beton optimum. Untuk mendapatkan nilai repetisi ijin terlebih dahulu menentukan nilai tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE). Nilai tegangan ekuivalen digunakan untuk menentukan faktor rasio tegangan pelat beton. Nilai tegangan ekuivalen dan faktor erosi untuk ketebalan 24 cm dengan perkerasan tanpa bahu beton dapat dilihat pada Tabel 5.5 di bawah ini.

Tabel 5.5 Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

Tebal Pelat Beton (mm)	CBR Efektif Subgrade (%)	Tegangan Setara (TE)				Faktor Erosi (FE)			
						Dengan Ruji/ Beton Bertulang			
		STR T	STRG	STdRG	STrRG	STRT	STRG	STdRG	STrRG
240	35	0,72	1,17	0,99	0,74	1,96	2,56	2,69	2,78
240	42	0,706	1,147	0,967	0,721	1,955	2,555	2,676	2,761
240	50	0,69	1,12	0,94	0,70	1,95	2,55	2,66	2,74

(Sumber: Departemen Permukiman dan Perencanaan Wilayah Indonesia, 2003)

Tabel nilai tegangan ekuivalen dan faktor erosi di atas didapatkan dari pedoman teknis perencanaan jalan beton semen (Pd T-14-2003) yang terdapat pada Lampiran 2. Sehingga dengan nilai CBR tanah dasar efektif sebesar 42% perlu dilakukan interpolasi data tegangan ekuivalen dan faktor erosi.

Setelah didapatkan nilai tegangan ekuivalen (TE) dan faktor erosi (FE), dilanjutkan mencari nilai faktor rasio tegangan (FRT) menggunakan persamaan 3.14. Rekapitulasi nilai tegangan ekuivalen (TE), faktor erosi (FE), dan faktor rasio tegangan (FRT) pelat betot untuk ketebalan 24 cm dengan masing-masing sumbu kendaraan dapat dilihat pada Tabel 5.6 di bawah ini.

Tabel 5.6 Nilai Tegangan ekuivalen (TE), Faktor Erosi (FE), dan Faktor Rasio Tegangan (FRT)

Jenis Sumbu	TE	FRT	FE
1	2	$3 = 2/F_{CF}$	4
STRT	0,706	0,163	1,955
STRG	1,147	0,265	2,555
STdRG	0,967	0,224	2,676
STrRG	0,721	0,167	2,761
Tebal pelat 24 cm, CBR Subgrade efektif 42%, dan F_{CF} 4,321			

Tahapan berikutnya adalah menghitung repetisi ijin untuk masing-masing beban per roda pada kelompok sumbu. Perhitungan ini menggunakan nomogram sesuai dengan yang tercantum pada Pd T-14-2003 tentang perencanaan perkerasan jalan beton semen. Perhitungan repetisi ijin yang digunakan tercantum pada bagian Lampiran 2. Kemudian melakukan analisis fatik dan erosi berdasarkan perhitungan beban rencana per roda, faktor tegangan dan erosi, repetisi ijin fatik dan erosi serta

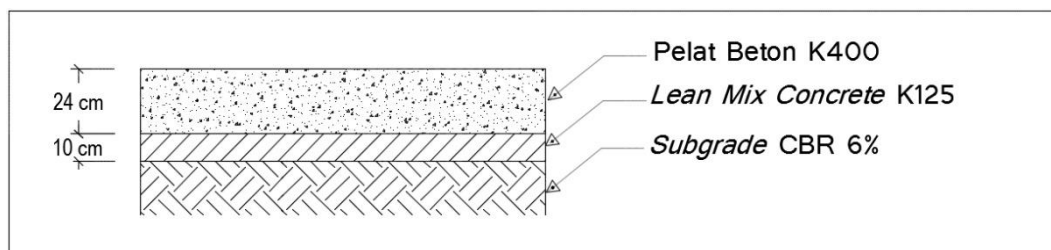
persen rusak fatik dan erosi. Persen rusak fatik dan erosi diperoleh dari hasil pembagian repetisi yang terjadi dengan repetisi ijin dan dikalikan dengan 100%. Hasil dari persen rusak fatik dan erosi pada masing-masing sumbu diakumulasi. Apabila total persen rusak fatik dan erosi $> 100\%$, maka dihitung ulang dengan mempertebal pelat beton perkerasan sedangkan apabila persentase rusak fatik dan erosi $\leq 100\%$, maka dapat digunakan sebagai tebal pelat beton perkerasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.7 Analisa Fatik dan Erosi Perkerasan Kaku dengan Ketebalan 24 cm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (KN)	Beban Rencana Per roda (KN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisa Fatik		Analisa Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi Ijin	Persen Rusak (%)
1	2	$3 = \text{Pers. } 3.13$	4	5	6	$7 = 4 * 100 / 6$	8	$9 = 4 * 100 / 8$
STRT	28,22	15,52	18.354.301	TE = 0,71 FRT=0,16 FE = 1,96	TT	0	TT	0
	28,22	15,52	33.782.691		TT	0	TT	0
	28,22	15,52	6.442.676		TT	0	TT	0
	30,60	16,83	2.798.286		TT	0	TT	0
	28,22	15,52	3.838.190		TT	0	TT	0
	51,51	28,33	14.043.427		TT	0	TT	0
	62,50	34,38	3.682.205		TT	0	TT	0
	56,52	31,09	680.664		TT	0	TT	0
	58,79	32,33	954.821		TT	0	TT	0
STRG	54,78	15,06	18.354.301	TE = 1,15 FRT=0,27 FE = 2,56	TT	0	TT	0
	54,78	15,06	33.782.691		TT	0	TT	0
	54,78	15,06	6.442.676		TT	0	TT	0
	59,40	16,34	2.798.286		TT	0	TT	0
	54,78	15,06	3.838.190		TT	0	TT	0
	99,99	27,50	14.043.427		TT	0	29.000.000	48,43
	87,92	24,18	680.664		TT	0	100.000.000	0,68
	84,78	23,31	680.664		TT	0	TT	0
	84,78	23,31	680.664		TT	0	TT	0
STdRG	187,50	25,78	3.682.205	TE = 0,97 FRT=0,22 FE = 2,68	TT	0	15.000.000	24,55
	200,01	27,50	954.821		TT	0	9.000.000	10,61
	142,50	19,59	954.821		TT	0	TT	0
Total					0% < 100%		84% < 100%	

Dari hasil perhitungan analisa fatik dan erosi pada Tabel 5.7 dengan ketebalan 24 cm, diperoleh rusak fatik sebesar 0% sedangkan rusak akibat erosi sebesar 84%. Sehingga angka tersebut masih memenuhi persyaratan, karena kerusakan fatik maupun kerusakan akibat erosi tidak melebihi 100%. Nilai tersebut merupakan nilai aman dan tidak perlu dinaikkan untuk perhitungan tebal pelat beton. Berdasarkan perhitungan tersebut, ketebalan pelat beton 24 cm memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai perkerasan kaku pada ruas jalan pendekat timur simpang UPN – Jalan Raya Padjajaran, Sleman.

Dengan demikian hasil analisis tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) berdasarkan Petunjuk Perencanaan Jalan Beton Semen yang diterbitkan oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Pd T-14-2003, diperoleh nilai tebal perkerasan sebesar 24 cm. Lapisan yang berada di bawah pelat beton yaitu *subbase* berupa *lean mix concrete* dengan tebal 10 cm juga dimasukkan ke dalam bagian struktur perkerasan. Gambar untuk penampang perkerasan dapat dilihat pada Gambar 5.3 di bawah ini.



Gambar 5.3 Penampang Perkerasan Kaku Rencana dengan Metode Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Pd T-14-2003

5.2.7 Penentuan Sambungan (*Joint*)

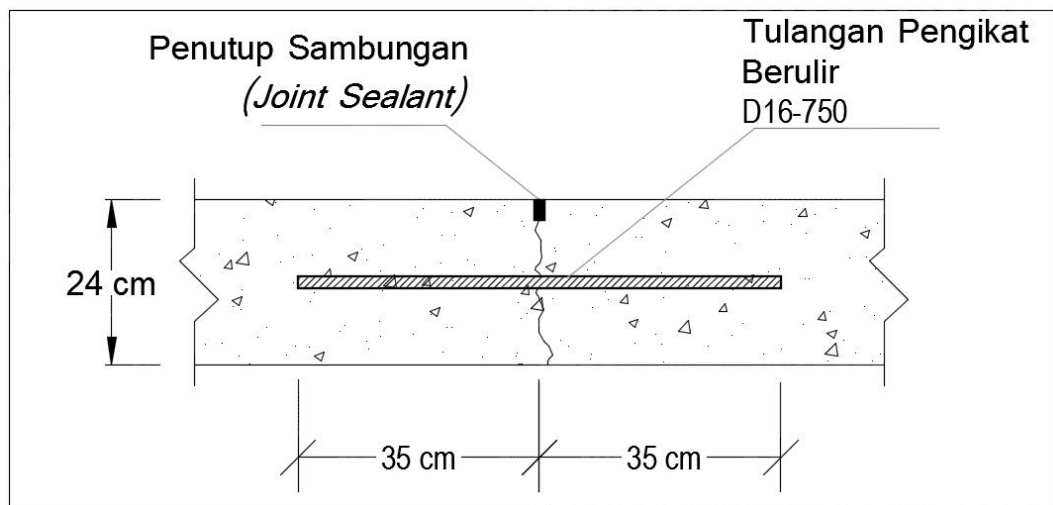
Perhitungan sambungan didasarkan pada Petunjuk Perencanaan Jalan Beton Semen yang diterbitkan oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Pd T-14-2003. Dalam analisa sambungan direncanakan pada tipe Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) atau *Jointed plain concrete pavement (JPCP)*. Perhitungan sambungan pada perkerasan kaku terbagi menjadi dua, yaitu

sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*) dan sambungan susut melintang dengan ruji (*dowel*).

Berdasarkan ketentuan pada Pd T-14-2003, sambungan memanjang berjarak antara 3 - 4 m sehingga ditentukan untuk jarak sambungan adalah 3,5 m disesuaikan dengan lebar lajur jalan yang direncanakan. Sambungan memanjang dilengkapi dengan batang pengikat (*tie bars*), yaitu baja ulir berdiameter 16 mm dan jarak antar batang adalah 75 cm serta panjangnya dihitung dengan persamaan 3.12 berikut ini.

$$I = (38,3 \times 16) + 75 = 687,8 \text{ mm} = 70 \text{ cm}$$

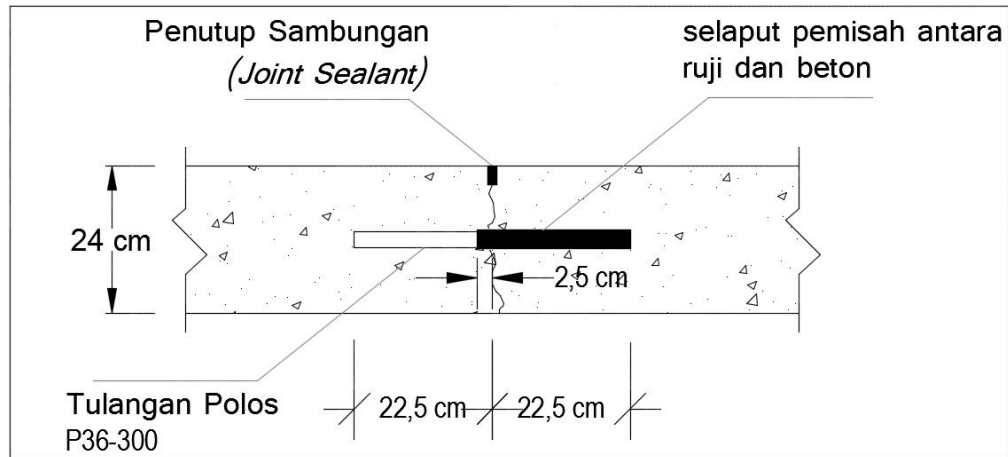
Berdasarkan perhitungan tersebut, batang pengikat (*tie bars*) pada sambungan memanjang memiliki diameter 16 mm, jarak antar batang 75 cm, dan panjang batang 70 cm. Gambar untuk penampang sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*) dapat dilihat pada Gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4 Penampang Sambungan Memanjang dengan Batang Pengikat (*tie bars*)

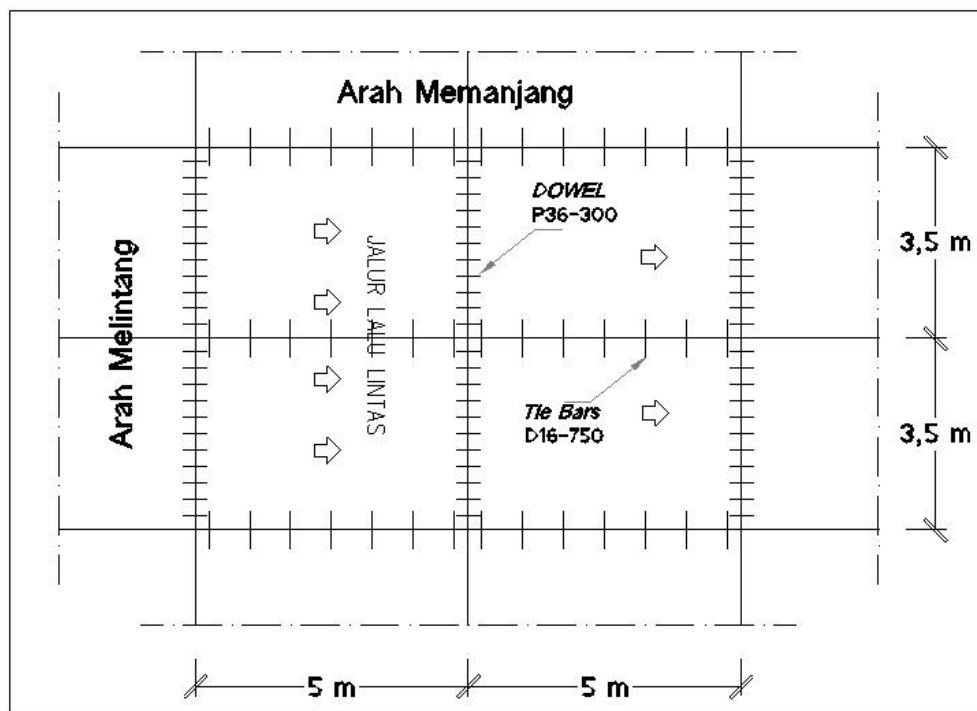
Sambungan susut melintang untuk beton bersambung tanpa tulangan (BBTT) atau *jointed plain concrete pavement (JPCP)* berjarak antara 4 - 5 m, sehingga dipilih jarak antar sambungan adalah 5 m. Berdasarkan Tabel 3.5 dengan tebal pelat beton 24 cm, maka diameter baja polos sebesar 36 mm. Sehingga sambungan dilengkapi ruji (*dowel*) polos dengan panjang 45 cm, jarak antar ruji (*dowel*) 30 cm, dan diameter 36 mm. Bagian setengah panjang dari ruji (*dowel*)

dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menghindari ikatan pada saat pelat beton menyusut. Gambar untuk penampang sambungan melintang dengan ruji (*dowel*) dapat dilihat pada Gambar 5.5 di bawah ini.



Gambar 5.5 Penampang Sambungan Melintang dengan Ruji (*Dowel*)

Dari perhitungan di atas, gambar untuk denah sambungan perkerasan kaku (*rigid pavement*) rencana dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 5.6 Denah Sambungan Memanjang (*tie bars*) dan Sambungan Melintang (*dowel*)

5.3 Analisis Menggunakan Program *KENSLAB*

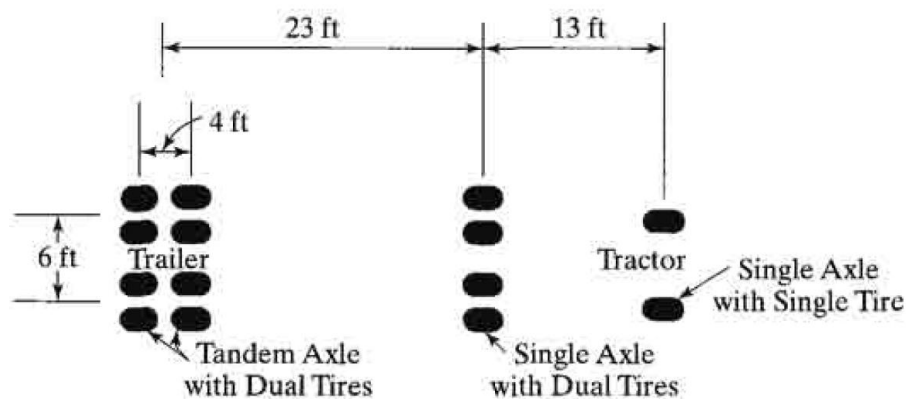
Di dalam subbab ini hasil analisis dari performa perkerasan beton dalam pembebanan lalu lintas dapat ditampilkan. Pembebanan yang terjadi pada perkerasan diasumsikan statis. Performa struktur yang diwakili dengan tegangan dan lendutan pada slab beton adalah hasil kajian dan analisis menggunakan model elemen hingga. Bilangan yang didapat merupakan hasil perhitungan menggunakan cara elemen hingga dari program komputer *KENSLAB*. Analisis sensitivitas yang dilakukan adalah untuk menentukan efek dari berbagai parameter pada respon perkerasan. Seluruh parameter dan respon yang diperoleh dari perhitungan *KENSLAB* menggunakan satuan SI.

5.3.1 Analisis Data Lalu Lintas

Data lalu lintas digunakan untuk menghitung respon perkerasan akibat beban lalu lintas. Hasil yang diharapkan dalam analisis ini adalah jumlah pengulangan beban sumbu kendaraan pada periode waktu tertentu selama umur rencana perkerasan. Umur perkerasan kaku (beton) diasumsikan selama 20 tahun. Waktu periode tinjauan untuk analisis kerusakan perkerasan yang berupa *output index cracking* ditetapkan dalam periode 1 tahunan. Data sekunder untuk LHR diperoleh dari satuan kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Yogyakarta. Data LHR untuk tiap tipe kendaraan pada ruas jalan rencana dapat dilihat di dalam Tabel 5.1 pada subbab sebelumnya.

5.3.2 Detail Beban Sumbu dan Roda

Dimensi sumbu kendaraan, tekanan ban dan jarak antar ban untuk roda ganda diperlukan dalam perhitungan metode mekanistik empirik. Dimensi daerah kontak ban yang direkomendasikan untuk digunakan dalam perhitungan terdapat pada Gambar 3.8. Pada analisis ini nilai detail beban sumbu dan roda diambil berdasarkan Huang (2004) yang sudah ada di dalam contoh analisis program *KENSLAB*, yang mana nilai tekanan roda satu ban (*tire contact pressure*) yang digunakan adalah 689,5 kPa. Konfigurasi pada setiap sumbu dapat dilihat pada Gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5.7 Axle Configuration

(Sumber: Huang, 2004)

5.3.3 Analisis Data Material

Data material digunakan untuk menghitung respon perkerasan akibat beban lalu lintas. Langkah-langkah dalam menganalisis data material untuk proses input program *KENSLAB* adalah sebagai berikut ini.

1. Karakteristik Material Untuk Slab Beton

Mutu beton sangat berpengaruh terhadap respon perkerasan akibat beban lalu lintas. Dalam perencanaan ini digunakan Mutu Beton K400. Dari nilai mutu beton akan didapatkan nilai modulus elastisitas beton (E_c), kuat tekan beton (f_c'), *poisson ratio portland cement concrete (PCC)*, dan *modulus of rupture (S_c)* untuk *portland cement concrete (PCC)*. Proses analisis perhitungan adalah sebagai berikut.

a. Kuat tekan beton (f_c')

Karakteristik beton semen yang digunakan untuk pelat beton *rigid pavement* Jalan Raya Padjajaran Yogyakarta yaitu mutu beton K400 yang memiliki kuat tekan karakteristik 400 kg/cm^2 . Mutu K400 jika dikonversikan menjadi kuat tekan benda uji silinder maka harus dikalikan dengan 0,083 atau setara dengan kuat tekan (f_c') sebesar 4.721 psi.

b. Modulus elastisitas beton (E_c)

Dalam proses input program *KENSLAB* diperlukan parameter modulus elastisitas beton. Untuk mengetahui modulus elastisitas beton, dapat

digunakan persamaan 3.2b. Modulus elastisitas beton dengan mutu K400 yaitu berikut ini.

$$E_c = 57000\sqrt{4721} = 3.916.460 \text{ psi}$$

c. *Poisson ratio*

Nilai *poisson ratio* diperlukan dalam pemodelan untuk perhitungan respon struktur perkerasan walaupun efeknya tidak terlalu besar. Parameter ini jarang diukur dan biasanya hanya diasumsikan melalui tipe beton yang dipakai. Berdasarkan Huang (2004) tabel *poisson ratios for different material*, nilai *poisson ratio* untuk beton normal nilainya antara 0,15 sampai dengan 0,20 dan untuk analisis ini diasumsikan nilai *poisson ratio* untuk beton adalah sebesar 0,15.

d. *Modulus of rupture (S_c)*

Kuat tekan adalah ukuran secara universal dari kualitas dan daya tahan beton. Sebagai informasi yang tersedia tentang kuat tekan, telah banyak studi yang dilakukan untuk korelasi kuat tekan dengan properti lainnya. Huang (2004) telah memberikan sebuah hubungan antara *modulus of rupture* dan kuat tekan beton, seperti yang dijelaskan pada persamaan 3.2a.

$$S_c = 8\sqrt{4721} = 549,68 \text{ psi}$$

2. Karakteristik Material Untuk Tanah Dasar (*Subgrade*)

Perencanaan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) menggunakan nilai daya dukung tanah minimum. Tanah dasar dianggap sudah stabil, yaitu persyaratan CBR yang dikehendaki dalam perencanaan perkerasan dipakai nilai CBR *subgrade* (tanah dasar) lapangan minimum 6%. Proses analisis perhitungan adalah sebagai berikut.

a. *Modulus Young of Subgrade*

Dalam proses input program *KENSLAB* diperlukan parameter *modulus young of subgrade*. Para peneliti mencoba merumuskan korelasi antara modulus elastisitas (*modulus young*) dan parameter tanah lain untuk mempermudah proses analisis dan desain geoteknik. Salah satunya menggunakan nilai

California Bearing Ratio (CBR) yang banyak ditemui pada pekerjaan perkerasan jalan raya. Beberapa peneliti telah melakukan studi untuk mendapatkan hubungan korelasi antara nilai CBR dan modulus elastisitas. Croney (1991) melakukan studi untuk mengetahui hubungan CBR dan modulus elastisitas, yaitu $E = 6,6 \text{ CBR (Mpa)}$. Modulus elastisitas tanah dasar dengan nilai CBR 6% adalah sebagai berikut.

$$E = 6,6 \times 6 = 39,6 \text{ Mpa}$$

b. Poisson ratio

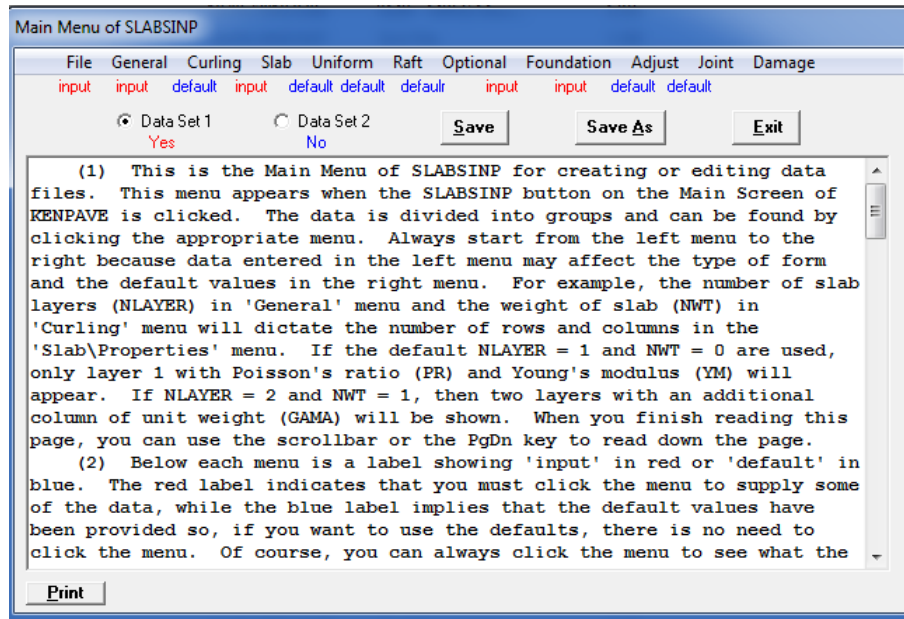
Nilai *poisson ratio* diperlukan dalam pemodelan untuk perhitungan respon struktur perkerasan walaupun efeknya tidak terlalu besar. Parameter ini jarang diukur dan biasanya hanya diasumsikan melalui tipe material yang dipakai. Berdasarkan Huang (2004) tabel *poisson ratios for different material*, nilai *poisson ratio* untuk *saturated soft clays* antara 0,40 sampai dengan 0,50 dan untuk analisis ini diasumsikan nilai *poisson ratio* untuk tanah dasar adalah sebesar 0,45.

5.3.4 Input KENSLAB

Berikut ini data parameter yang digunakan dalam *input* ke program *KENPAVE* khususnya *KENSLAB* untuk menghitung respon perkerasan kaku akibat beban lalu lintas.

1. *SLABSINP*

Ketika akan melakukan *input data*, klik pada bagian menu *SLABSINP*.



Gambar 5.8 Tampilan Awal SLABSINP

Kemudian klik pada menu *File* lalu pilih *New* untuk memulai input data yang baru.

2. General

Data untuk *input General* dapat dilihat pada Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Input General

		Keterangan
<i>TITLE</i>	<i>Test</i>	Diisi nama judul yang diinginkan
NFOUND	1	<i>Solid Foundation</i>
NDAMA	1	<i>PCA Criteria (Design Life)</i>
NPY	1	Jumlah Periode Per Tahun
NLG	2	Jumlah <i>Load Group</i>
NLAYER	1	Jumlah Lapisan Perkerasan
NBOND	0	Antar Lapisan Tidak Terikat
NSLAB	1	Jumlah Slab Beton
NJOINT	0	Jumlah <i>Joint</i>
NNCK	1	Mengikuti <i>KENSLABS</i>
NPRINT	3	Mengikuti <i>KENSLABS</i>
NSX	0	Mengikuti <i>KENSLABS</i>
NSY	9	Mengikuti <i>KENSLABS</i>
MDPO	0	<i>Without More Detail Print Out</i>

Tabel 5.8 Input General (Lanjutan)

		Keterangan
NAT1	0	Tidak Ada Lapis Tambah
NAT2	0	Tidak Ada Lapis Tambah
NUNIT	1	Satuan SI (Standar Internasional)

3. Slab

Pada *Slab Information* data yang dimasukkan adalah data properti slab beton yang digunakan untuk analisis dan jumlah titik pada koordinat sumbu X dan Y. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.9, Tabel 5.10, Tabel 5.11, dan Tabel 5.12 di bawah ini.

Tabel 5.9 Jumlah Titik Sumbu X dan Y

Slab No	NX	NY
1	10	9

Tabel 5.10 Koordinat Sumbu X

<i>Sequence</i>	X (cm)
1	0
2	30,48
3	60,96
4	91,44
5	121,92
6	182,88
7	243,84
8	335,28
9	456,72
10	500

Tabel 5.11 Koordinat Sumbu Y

<i>Sequence</i>	Y (cm)
1	0
2	25,4
3	50,8
4	99,06
5	147,32
6	195,58

Tabel 5.11 Koordinat Sumbu Y (Lanjutan)

<i>Sequence</i>	<i>Y (cm)</i>
7	246,38
8	304,8
9	360

Tabel 5.12 Properti Slab Beton

<i>No. Layer</i>	<i>T (cm)</i>	<i>PR</i>	<i>YM (kPa)</i>
1(PC)	24,00	0,15	27.003.051,77

4. *Uniform*

Dalam program *KENSLABS* pembebanan perkerasan menggunakan titik koordinat pada *slab* beton. Pada analisis ini digunakan 2 kelompok beban, yaitu sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) dan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*). *Loaded area* dan *contact pressures* dapat dilihat pada Tabel 5.13, Tabel 5.14, dan Tabel 5.15 di bawah ini.

Tabel 5.13 Load Group Area

Load Grup	NUDL
1	4
2	8

Tabel 5.14 Loaded Areas for Load Group No. 1

<i>Load Sequence</i>	<i>LS</i>	<i>XL1 (cm)</i>	<i>XL2 (cm)</i>	<i>YL1 (cm)</i>	<i>YL2 (cm)</i>	<i>QQ (kPa)</i>
1	1	0	10,266	0,00	14,141	689,5
2	1	0	10,266	36,659	50,8	689,5
3	1	0	10,266	195,58	209,721	689,5
4	1	0	10,266	232,239	246,38	689,5

Tabel 5.15 Loaded Areas for Load Group No. 2

<i>Load Sequence</i>	<i>LS</i>	<i>XL1 (cm)</i>	<i>XL2 (cm)</i>	<i>YL1 (cm)</i>	<i>YL2 (cm)</i>	<i>QQ (kPa)</i>
1	1	0	10,266	0	14,141	689,5
2	1	0	10,266	36,659	50,8	689,5
3	1	0	10,266	195,58	209,721	689,5

Tabel 5.15 Loaded Areas for Load Group No. 2 (Lanjutan)

<i>Load Sequence</i>	LS	XL1 (cm)	XL2 (cm)	YL1 (cm)	YL2 (cm)	QQ (kPa)
4	1	0	10,266	232,239	246,38	689,5
5	1	111,654	132,186	0	14,141	689,5
6	1	111,654	132,186	36,659	50,8	689,5
7	1	111,654	132,186	195,58	209,721	689,5
8	1	111,654	132,186	232,239	246,38	689,5

5. Optional

Form ini muncul ketika menu “*Node Printout*” pada pilihan *other information* diklik. Jumlah baris atau *node* sama dengan NP yang diisi dalam menu “General”. NP (*Nodal number* pada tegangan yang akan dihitung dan dicetak) untuk *damage analysis* digunakan $NPRINT = 3$. Maka 3 nomor nodal akan dihitung secara otomatis oleh komputer, jika elemen hingga *mesh* ini sama dengan yang ditunjukkan dalam contoh SLA4. Sehingga dalam analisis yang dilakukan mengikuti contoh data *input* yang ada di dalam contoh SLA4. Data *input* untuk *Node Printout* dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 di bawah ini.

Tabel 5.16 Nodes for Printout

<i>Sequence</i>	NP
1	1
2	19
3	37

Tabel 5.17 Nodes Y Symmetry

<i>Sequence</i>	NODSY
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9

6. *Foundation*

Form ini muncul saat NFOUND = 1 dan “*Foundation*” pada menu utama SLABSINP diklik. Hanya ada dua data masukan di dalam *form* ini. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.18 di bawah ini.

Tabel 5.18 *Solid Foundation*

Young's modulus of subgrade in kPa (YMS)	39.600
Poisson's ratio of subgrade (PRS)	0,45

7. *Damage*

Pada *damage analysis* digunakan *Portland Cement Association* (PCA, 1984) *criteria*. Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan beban yang diperbolehkan. Dari hasil analisis akan didapatkan nilai *index cracking* untuk menentukan *design life* perkerasan. *Fatigue properties* dan *volume of traffic* dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 di bawah ini.

Tabel 5.19 *Fatigue Properties*

<i>Layer No.</i>	PMR (kPa)
1	3789,90

Tabel 5.20 *Volume of Traffic*

Load Group	TNLR
1	17200
2	1183

Data yang telah dimasukkan pada semua tampilan menu utama SLABSINP, kemudian disimpan lalu kembali ke menu utama program KENPAVE. Data akan dijalankan (*running*) dengan klik menu KENSLABS. Setelah itu kembali ke menu utama KENPAVE untuk melihat hasil *running* dengan memilih menu *Editor* dan buka nama file yang telah disimpan untuk melihat hasilnya.

5.3.5 Hasil *Running* Pemodelan Struktur Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Output analisis menggunakan *KENSLABS* adalah nilai tegangan, lendutan, *index cracking*, dan *design life* pada perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang ditinjau. Nilai tegangan maksimum terjadi pada beban sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*), karena *volume of traffic* lebih besar dari pada sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*). *Output* hasil *running* pemodelan struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*) menggunakan tebal perkerasan hasil perhitungan metode KIMPRASWIL Pd-T-14-2003 dapat dilihat pada Tabel 5.21 di bawah ini.

Tabel 5.21 *Output* Hasil *Running* *KENSLABS*

Mutu Beton	Tebal (cm)	Maks. Tegangan (kPa)	Maks. Lendutan (cm)	<i>Index Cracking</i>	<i>Design Life</i> (Tahun)
K400	24	1661,655	0,14995	0,0%	1000

Setelah nilai tegangan maksimum dan *design life* diperoleh, yang dilakukan selanjutnya adalah menganalisis beban pengulangan yang diperbolehkan sebagai kontrol *design life* pada perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perbandingan antara tegangan maksimum dan *modulus of rupture* adalah 0,438. Dalam analisis menggunakan *PCA Criteria*, sehingga digunakan persamaan 3.18c. Maka nilai N_f = tidak terbatas (*unlimited*), karena nilai perbandingan antara tegangan maksimum dan *modulus of rupture* kurang dari 0,45. Maka dari itu, *design life* hasil *running* nilainya adalah 1000 tahun (*unlimited*).

5.4 Pembahasan

Dari hasil analisis perencanaan ulang struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada pendekatan timur simpang UPN – Jalan Raya Padjajaran untuk rehabilitasi jalan dengan pendekatan metode empiris dan mekanistik-empiris, didapat beberapa hasil sebagai berikut ini.

1. Kebutuhan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada pendekatan timur simpang UPN – Jalan Raya Padjajaran dilakukan dengan menggunakan metode empiris yakni Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga yang merupakan pelengkap

pedoman desain perkerasan Pd T-01-2002 dan Pd T-14-2003, yaitu Petunjuk Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen yang diterbitkan oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah

2. Hasil analisis dari performa perkerasan beton dalam pembebanan lalu lintas dapat ditampilkan dengan menggunakan metode mekanistik empiris dibantu dengan program *KENSLABS*.

5.4.1 Hasil Analisis Metode KIMPRASWIL Pd-T-14-2003

Penentuan tebal perkerasan kaku pada pendekatan timur simpang UPN – Jalan Raya Padjajaran dilakukan dengan menggunakan metode empiris yakni Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga yang merupakan pelengkap pedoman desain perkerasan Pd T-01-2002 dan Pd T-14-2003, yaitu Petunjuk Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen yang diterbitkan oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Metode ini didasarkan pada analisis tegangan yang terjadi pada pelat beton perkerasan kaku. Nilai tebal pelat beton bergantung pada besar dan jumlah repetisi beban dan modulus tanah dasar. Penentuan tebal pelat beton menggunakan metode KIMPRASWIL Pd-T-14-2003 mempertimbangkan dua macam kegagalan, yaitu kegagalan fatik (tarik lentur pelat) dan kegagalan akibat erosi.

Kegagalan fatik mempertimbangkan kemampuan beton dalam mengalami lentur akibat repetisi beban kendaraan, sehingga tebal pelat yang dibutuhkan untuk pengendalian retak akibat kelelahan. Jenis kegagalan yang dipertimbangkan selain rusak fatik yaitu rusak karena erosi. Rusak erosi dipertimbangkan karena bertujuan untuk mengantisipasi risiko erosi, pemompaan material di bawah pelat dan patahan pada bahu.

Dari hasil perhitungan, didapatkan tebal pelat beton K400 adalah 24 cm dengan lapisan *lean mix concrete* K125 setebal 10 cm. Kemudian jarak sambungan memanjang 3,5 m dilengkapi dengan batang pengikat (*tie bar*) diameter baja ulir 16 mm, jarak antar batang 75 cm, panjang batang 70 cm, dan jarak sambungan melintang 5 m dilengkapi dengan ruji (*dowel*) batang polos panjang 45 cm, jarak antar ruji (*dowel*) 30 cm, serta menggunakan diameter batang polos 36 mm.

5.4.2 Dasar Kasus (Parameter Data Desain Metode KIMPRASWIL Pd-T-14-2003)

Dasar kasus dalam analisis performa perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah hasil desain menggunakan metode KIMPRASWIL Pd-T-14-2003. Pembebanan yang terjadi dalam analisis *KENSLABS* menggunakan sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) dan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*). Dalam perencanaannya perkerasan didesain pada pendekatan timur simpang *Ring-Road* Utara – Jalan Raya Seturan, Sleman. Penentuan beban lalu lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Umur rencana perkerasan beton yang direncanakan adalah 20 tahun, dengan tebal perkerasan hasil desain 24 cm. Kemudian analisis dari performa perkerasan beton menggunakan tebal 24 cm menghasilkan *design life* 1000 tahun (*unlimited*), yang mana umur perkerasan beton yang direncanakan adalah 20 tahun. Hasil analisis performa struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu respon perkerasan terhadap beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5.21 di atas.

5.4.3 Efek dari Perbedaan Konfigurasi Sumbu

Pada bagian ini akan membahas perbandingan tegangan dan lendutan pada perkerasan kaku (*rigid pavement*) ketika mengalami beban konfigurasi sumbu yang berbeda. Pembebanan yang terjadi dalam analisis *KENSLABS* menggunakan sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) dan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*). Huang (2004) menyimpulkan bahwa posisi pembebanan diletakkan pada tepi slab yang dianggap paling kritis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 di subbab sebelumnya. *Loaded area* dan *contact pressures* dapat dilihat pada Tabel 5.13, Tabel 5.14, dan Tabel 5.15 di subbab sebelumnya. Kemudian setiap konfigurasi sumbu memiliki volume lalu lintas yang berbeda. Hasil untuk tegangan maksimum dan lendutan maksimum pada slab beton

akibat beban konfigurasi sumbu yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 5.22 di bawah ini.

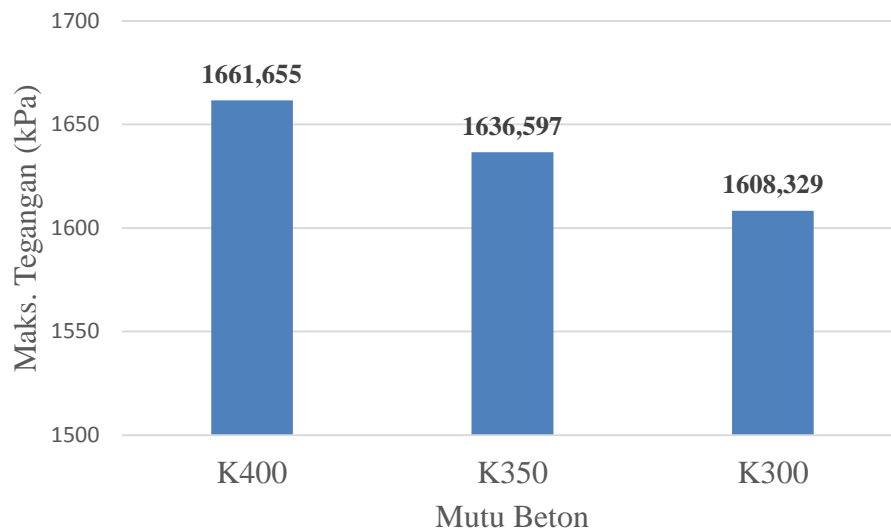
Tabel 5.22 Hasil dari Efek Perbedaan Konfigurasi Sumbu

Mutu Beton	Tebal (cm)	Maks. Tegangan (kPa)		Maks. Lendutan (cm)	
		<i>Single Axle</i>	<i>Tandem Axle</i>	<i>Single Axle</i>	<i>Tandem Axle</i>
K400	24	1661,655	1477,861	0,06162	0,14995

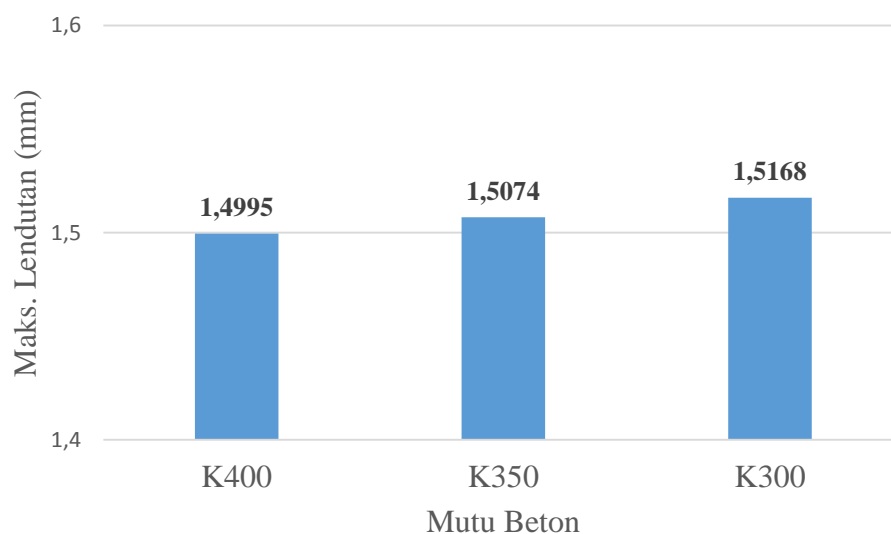
Tegangan maksimum terjadi pada slab beton ketika pembebanan menggunakan sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*), yaitu 1661,655 kPa. Berbeda dengan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*) tegangan yang terjadi lebih kecil 11,06%, yaitu 1477,861 kPa. Hal ini terjadi karena volume lalu lintas kendaraan golongan sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) lebih besar dari pada volume lalu lintas kendaraan golongan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*). Sedangkan lendutan maksimum terjadi pada slab beton ketika pembebanan menggunakan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*), yaitu 0,14995 cm. Berbeda dengan sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*) lendutan yang terjadi lebih kecil 58,91%, yaitu 0,06162 cm. Hal ini terjadi karena jumlah sumbu kendaraan golongan sumbu tandem roda ganda (*tandem axle double tire*) lebih banyak dari pada jumlah sumbu kendaraan golongan sumbu tunggal roda ganda (*single axle double tire*).

5.4.4 Efek dari Perbedaan Mutu Beton

Pada dasar kasus dalam analisis performa perkerasan kaku (*rigid pavement*) digunakan data paramater hasil desain menggunakan metode KIMPRASWIL Pd-T-14-2003, yaitu mutu beton yang digunakan dalam perencanaan adalah beton K400. Di dalam subbab ini membandingkan tegangan dan lendutan yang terjadi pada perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan mutu beton yang berbeda-beda, termasuk membandingkan *index cracking* dan *design life* perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan mutu beton yang berbeda-beda. Hasil respon slab beton tebal 24 cm dengan beton mutu K300, K350, dan K400 dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 di bawah ini.



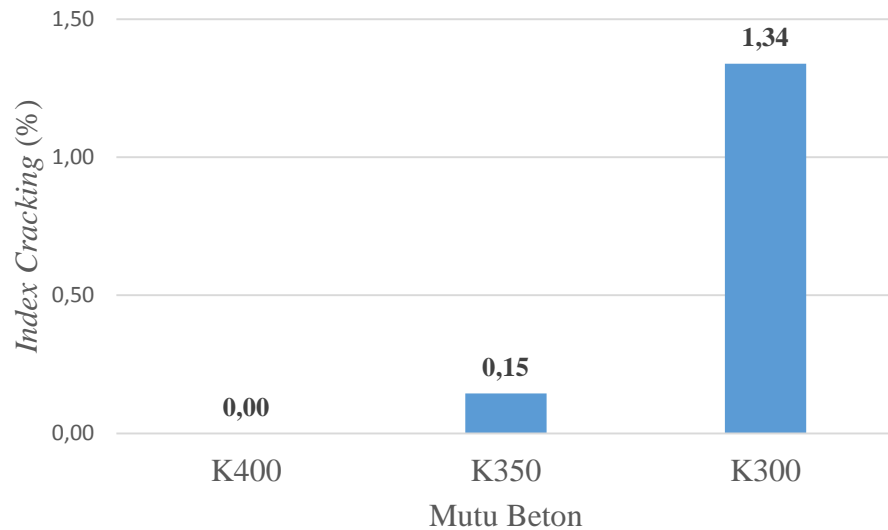
Gambar 5.9 Mutu Beton vs Maks. Tegangan



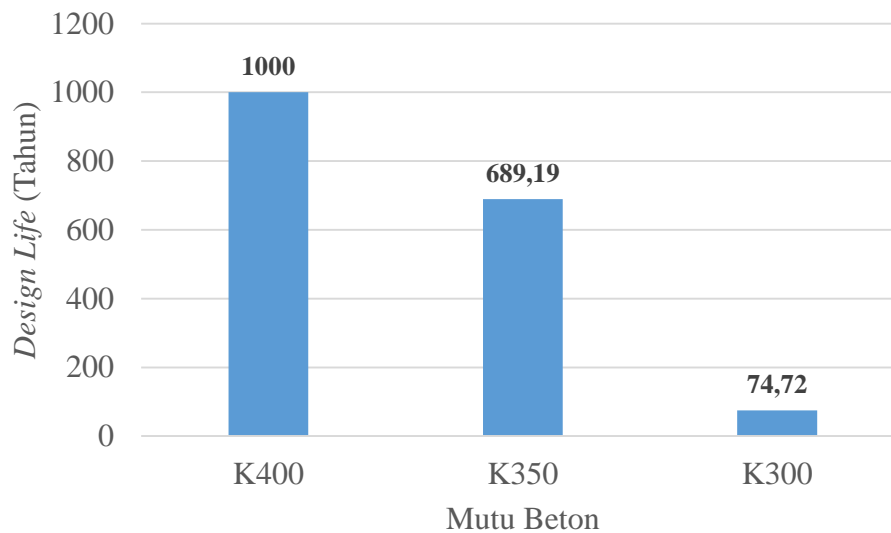
Gambar 5.10 Mutu Beton vs Maks. Lendutan

Tegangan maksimum terjadi pada slab beton ketika menggunakan mutu beton K400, yaitu 1661,655 kPa. Berbeda dengan mutu beton K350 dan K300, masing-masing nilainya 1636,597 kPa dan 1608,329 kPa. Sedangkan Lendutan maksimum terjadi pada slab beton ketika menggunakan mutu beton K300, yaitu 1,5168 mm. Menaikkan mutu beton menjadi K350 dan K400 akan menurunkan nilai lendutan yang terjadi, masing-masing nilainya 1,5074 mm dan 1,4995 mm. Adapun hasil *index cracking* dan *design life* perkerasan kaku (*rigid pavement*) tebal

24 cm dengan beton mutu K300, K350, dan K400 dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 di bawah ini.



Gambar 5.11 Mutu Beton vs *Index Cracking*



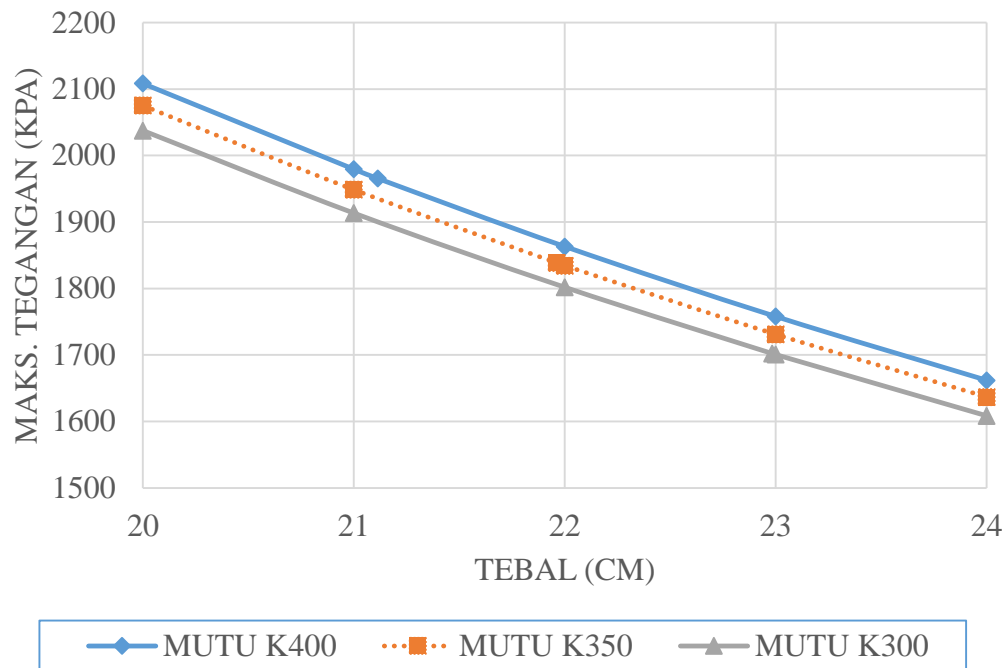
Gambar 5.12 Mutu Beton vs *Design Life*

Mutu beton sangat mempengaruhi performa perkerasan kaku (*rigid pavement*) dalam melayani beban lalu lintas. Semakin tinggi nilai mutu beton yang digunakan, maka semakin lama masa umur perkerasan kaku (*rigid pavement*) untuk melayani beban lalu lintas. Hasil analisis program *KENSLAB* dapat mengetahui

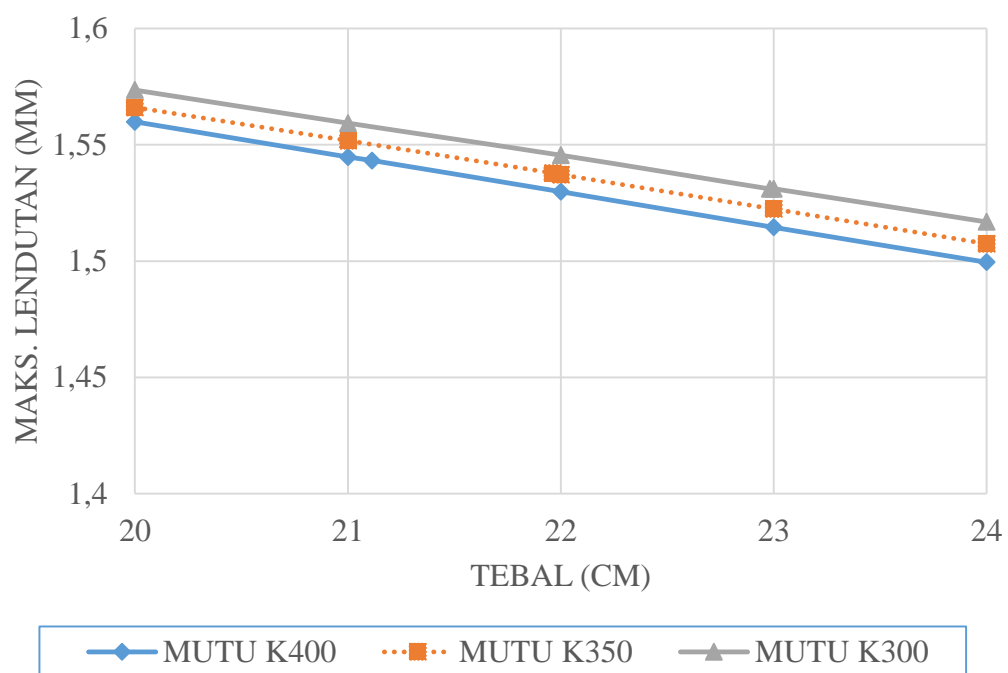
nilai *index cracking* pada slab beton dalam satu tahun, sehingga dapat mengetahui lamanya masa layanan perkerasan. *Index cracking* tertinggi terjadi pada slab beton ketika menggunakan mutu beton K300, yaitu 1,34%. Menaikkan mutu beton akan menurunkan nilai *index cracking* pada slab beton. Oleh karena itu, *design life* tertinggi terjadi pada slab beton ketika menggunakan mutu beton K400, yaitu 1000 tahun (*unlimited*). Menurunkan mutu beton menjadi K350 dan K300 akan menurunkan *design life* pada perkerasan kaku (*rigid pavement*), masing-masing memiliki *design life* lebih kecil 31,08% dan 92,53% atau masing-masing 689,19 tahun dan 74,72 tahun. Peningkatan perbandingan mutu beton ini untuk mengetahui efek keuntungan menggunakan mutu beton tinggi yang memberikan keuntungan pada konstruksi perkerasan.

5.4.5 Efek dari Perbedaan Tebal Slab Beton

Lapisan perkerasan berfungsi untuk menyebarkan beban roda ke area permukaan tanah dasar yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar, yaitu pada tekanan di mana tanah dasar tidak mengalami deformasi berlebihan selama masa pelayanan perkerasan (Hardiyatmo, 2015). Oleh karena itu, tebal perkerasan didesain agar mampu melayani beban lalu lintas selama umur rencana. Pada bagian ini akan membahas hasil performa perkerasan kaku (*rigid pavement*) dalam melayani beban lalu lintas dengan variasi tebal slab beton yang berbeda. Hasil respon slab beton dengan variasi tebal yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 di bawah ini.



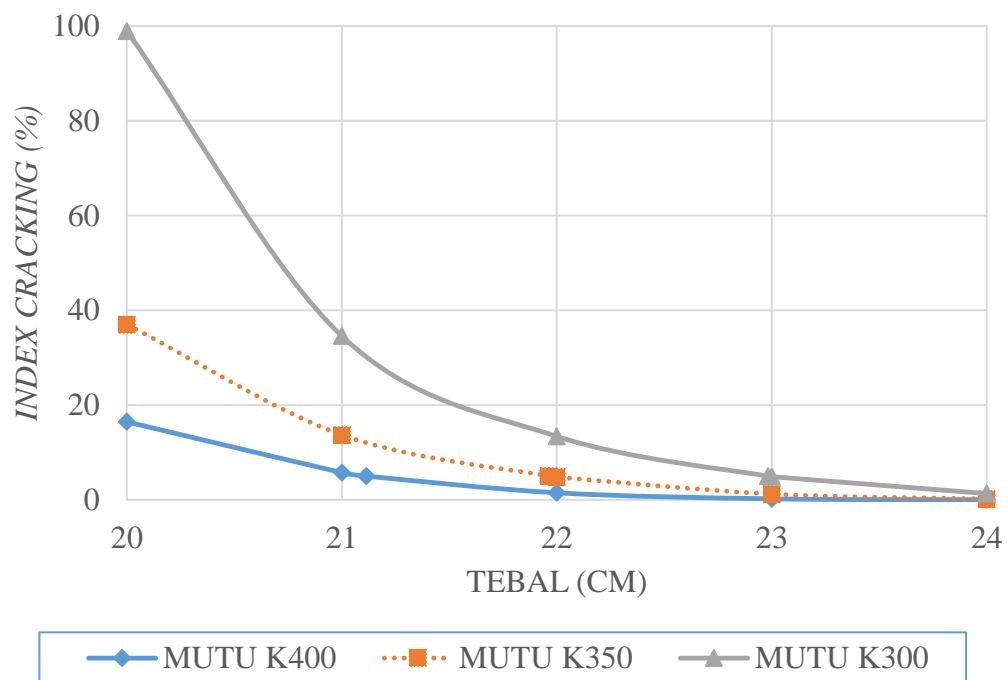
Gambar 5.13 Tebal Slab vs Maks. Tegangan



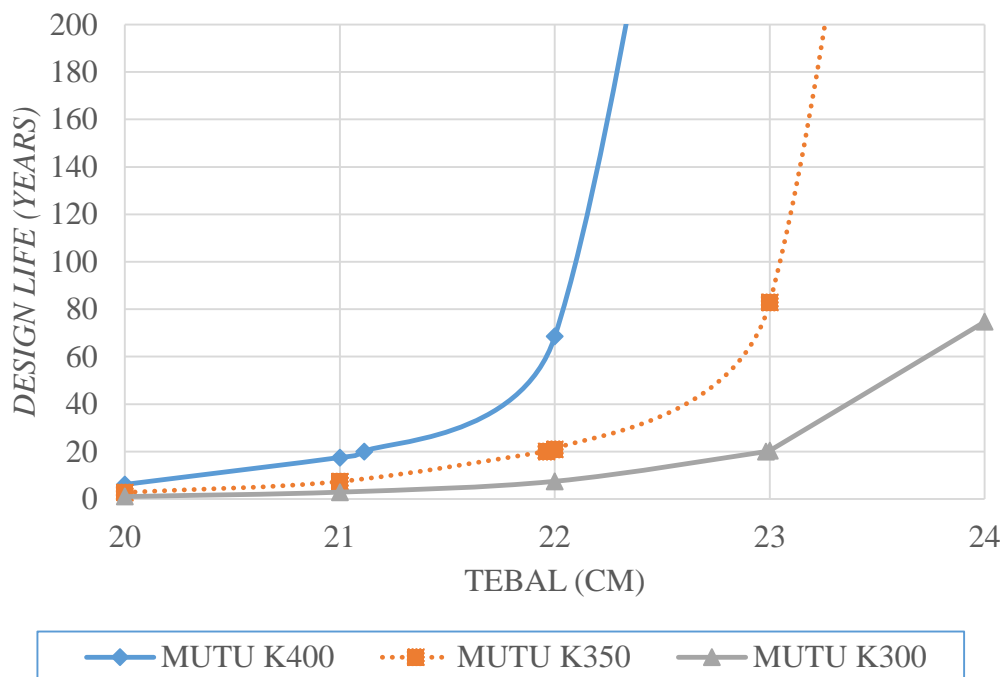
Gambar 5.14 Tebal Slab vs Maks. Lendutan

Tegangan maksimum terjadi pada slab beton ketika menggunakan tebal 20 cm dengan mutu beton K400, yaitu 2108,368 kPa. Menaikkan tebal slab beton

menjadi 21 cm, 22 cm, 23 cm, dan 24 cm akan menurunkan nilai tegangan yang terjadi, masing-masing nilainya 1979,418 kPa; 1863,027 kPa; 1757,707 kPa; dan 1661,655 kPa. Sehingga masing-masing tegangan yang terjadi menjadi lebih kecil 6,12 %; 11,64 %; 16,63 %; dan 21,19 %. Sedangkan Lendutan maksimum terjadi pada slab beton ketika menggunakan tebal 20 cm dengan mutu beton K300, yaitu 1,5735 mm. Menaikkan tebal slab beton menjadi 21 cm, 22 cm, 23 cm, dan 24 cm akan menurunkan nilai lendutan yang terjadi, masing-masing nilainya 1,5593 mm; 1,5455 mm; 1,5311 mm; dan 1,5168 mm. Maka semakin tebal slab beton akan menurunkan nilai tegangan maksimum dan lendutan maksimum yang terjadi. Adapun hasil *index cracking* dan *design life* perkerasan kaku (*rigid pavement*) menggunakan variasi tebal slab beton yang berbeda dengan beton mutu K300, K350, dan K400 dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 di bawah ini.



Gambar 5.15 Tebal Slab vs *Index Cracking*



Gambar 5.16 Tebal Slab vs *Design Life*

Performa perkerasan kaku (*rigid pavement*) selama umur rencana tentunya dipengaruhi oleh tebal slab beton yang digunakan. Tebal perkerasan didesain agar mampu melayani beban lalu lintas selama umur rencana. Semakin tebal slab beton yang digunakan, maka semakin lama masa umur perkerasan kaku (*rigid pavement*) untuk melayani beban lalu lintas. Dalam hasil analisis menggunakan program *KENSLAB* dapat mengetahui nilai *index cracking* pada slab beton dalam waktu satu tahun, sehingga dapat mengetahui waktu masa layanan perkerasan. *Index cracking* tertinggi terjadi pada slab beton ketika menggunakan tebal 20 cm dengan mutu beton K300, yaitu 98,93%. Menaikkan tebal slab beton akan menurunkan nilai *index cracking* pada slab beton. Oleh karena itu, *design life* tertinggi terjadi pada slab beton ketika menggunakan tebal 24 cm dengan mutu beton K400, yaitu 1000 tahun (*unlimited*). Menurunkan tebal slab beton menjadi 23 cm, 22 cm, 21 cm, dan 20 cm akan menurunkan *design life* pada perkerasan kaku (*rigid pavement*), masing-masing memiliki *design life* lebih kecil 45,33 %; 93,15 %; 98,26 %; dan 99,39% atau masing-masing 546,72 tahun; 68,49 tahun; 17,44 tahun; dan 6,07 tahun. Penurunan perbandingan tebal slab beton ini untuk mengetahui efek

keuntungan meningkatkan tebal slab beton yang memberikan keuntungan pada konstruksi perkerasan.

5.4.6 Rekapitulasi Hasil Analisis dari Berbagai Data Parameter

Setelah melakukan studi dari berbagai data parameter, hasil analisis menggunakan program *KENSLAB* menunjukkan bahwa untuk mendapatkan umur rencana 20 tahun harus menggunakan ketelitian tebal slab beton hingga 4 angka di belakang koma. Namun untuk pelaksanaan di lapangan tentunya menggunakan ukuran tebal dengan angka yang sudah dibulatkan. Kepekaan dari berbagai parameter yang berbeda pada respon perkerasan beton, sebagai hasil kajian dan analisis menggunakan model elemen hingga dapat dilihat pada Tabel 5.23 di bawah ini.

Tabel 5.23 Hasil Analisis Sensitivitas Perkerasan Beton dari Beberapa Parameter

Mutu Beton	Tebal (cm)	Maks. Tegangan (kPa)		Maks. Lendutan (mm)		Index Cracking (%)	Design Life (Tahun)
		Single Axle	Tandem Axle	Single Axle	Tandem Axle		
K400	20	2108,368	1685,694	0,678	1,5598	16,49	6,07
	21	1979,418	1625,305	0,6609	1,5447	5,73	17,44
	21,1138	1965,425	1618,928	0,6591	1,5432	5,00	20
	22	1863,027	1571,421	0,645	1,5298	1,46	68,49
	23	1757,707	1522,877	0,6301	1,5145	0,18	546,72
	24	1661,655	1477,861	0,6162	1,4995	0,00	<i>unlimited</i>
K350	20	2075,158	1639,934	0,6859	1,566	36,97	2,7
	21	1948,542	1580,102	0,6686	1,5517	13,67	7,31
	21,9615	1838,488	1529,269	0,6532	1,5378	5,00	20
	22	1834,218	1526,947	0,6526	1,5371	4,77	20,95
	23	1730,819	1479,255	0,6376	1,5223	1,21	82,9
	24	1636,597	1435,539	0,6234	1,5074	0,15	689,19
K300	20	2037,399	1589,442	0,6952	1,5735	98,93	1,01
	21	1913,296	1530,268	0,6776	1,5593	34,57	2,89
	22	1801,696	1477,866	0,6615	1,5455	13,41	7,46
	22,9825	1702,114	1432,206	0,6464	1,531	5,00	20
	23	1700,413	1431,413	0,6462	1,5311	4,90	20,4
	24	1608,329	1388,81	0,632	1,5168	1,34	74,72

Dari semua data parameter studi yang telah dilakukan dapat memberikan pengetahuan tentang efek performa perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang memberikan keuntungan pada konstruksi perkerasan.