

UJI KOMPARASI PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR DAN KAKU METODE AASHTO 1993 (STUDI KASUS PROYEK KBK PENINGKATAN JALAN NASIONAL BANYUMANIK – BAWEN)

Totok Apriyatno

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Undaris Ungaran. Jl. Tentara Pelajar No.13 Ungaran. Telp 024-6923180

Abstract: *KBK project Tujuan Road Improvement Banyumanik - Bawen besides increasing the capacity of the road, also aims to improve the quality of the pavement in the form of rigid pavement in order to overcome the damage to roads, especially in the area of incline / derivatives and around traffic light .. This is because the pavement in regional incline / derivatives or traffic light is always damage in the form of Ruts (groove). This study analyzes the thick rigid pavement CBC project is implemented and compared with if the use is thick flexible pavement (asphalt). In terms of cost requirements and the design life of pavement, the results of this study might be useful for research studies on the next, remembering of several studies found that for the same length, rigid pavement construction costs more expensive than flexible pavement, but the life of the plan rigid pavement longer than flexible pavement. Thick rigid pavement were implemented in this project is 27 cm, while the results of the analysis, using concrete K-350 and a 20-year design life of rigid pavement thickness obtained by 29 cm and when using flexible pavement with a design life of 10 years obtained a total thickness of 47.5 cm consisting of: (a). Surface layer (AC) 4 cm, (b). Base layers Over 12 cm, and (c). Under the foundation layers of 31.5 cm.*

Keywords: *damage, roads, thick, rigid pavement*

Abstrak: Tujuan proyek KBK Peningkatan Jalan Banyumanik – Bawen selain meningkatkan kapasitas jalan, juga bertujuan untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan berupa rigid pavement guna mengatasi kerusakan jalan, terutama di daerah tanjakan/turunan dan di sekitar traffic light.. Hal ini disebabkan karena perkerasan jalan di daerah tanjakan/turunan maupun *traffic light* selalu mengalami kerusakan berupa ruts (alur). Penelitian ini menganalisis tebal rigid pavement yang dilaksanakan proyek KBK ini serta membandingkannya dengan jika yang digunakan adalah tebal perkerasan lentur (aspal). Dalam hal kebutuhan biaya dan umur rencana perkerasan jalan, hasil penelitian ini barangkali akan bermanfaat untuk kajian pada penelitian-penelitian berikutnya, mengingat dari beberapa kajian didapat bahwa untuk panjang jalan yang sama, biaya konstruksi perkerasan kaku lebih mahal dari perkerasan lentur, akan tetapi umur rencana perkerasan kaku lebih panjang daripada perkerasan lentur. Tebal rigid pavement yang dilaksanakan di proyek ini adalah 27 cm, sementara dari hasil analisis, dengan menggunakan beton K-350 dan umur rencana 20 tahun didapat tebal rigid pavement sebesar 29 cm dan jika menggunakan perkerasan lentur dengan umur rencana 10 tahun didapat ketebalan total 47.5 cm yang terdiri dari : (a). Lapis permukaan (AC) 4 cm, (b). Lapis Pondasi Atas 12 cm, dan (c). Lapis Pondasi Bawah 31.5 cm.

Kata Kunci : *kerusakan, jalan, tebal, rigid pavement*

PENDAHULUAN

Proyek pembangunan infrastruktur, terutama perbaikan atau peningkatan jalan hampir setiap tahun dilakukan oleh pemerintah, akan tetapi kerusakan jalan selalu saja terjadi. Fenomena kerusakan jalan yang hampir selalu terjadi di seluruh jaringan jalan yang ada di Indonesia tidak hanya berdampak pada besarnya anggaran yang harus dikeluarkan pemerintah, akan tetapi dalam pelaksanaannya

akan berdampak secara simultan terhadap lingkungan sekitarnya, seperti : kemacetan, polusi, pembongkaran infrastruktur yang sudah jadi dan sebagainya. Beberapa jenis kerusakan jalan yang sering terjadi adalah : (1) Retak (*cracking*); (2) Distorsi (*distortion*); (3) Cacat permukaan (*disintegration*); (4) Pengausan (*polished aggregate*); (5) Kegemukan (*bleeding or flushing*); (6) Penurunan pada bekas penanaman utilitas (*utility cut depression*).

Secara umum kerusakan jalan disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya : (1) Meningkatnya repetisi beban akibat volume kendaraan yang bertambah; (2) Kondisi tanah dasar yang tidak stabil; (3) Proses pemadatan di atas lapisan tanah dasar yang kurang baik; (4) Material konstruksi perkerasan yang kurang baik; (5) Sistem drainase jalan yang kurang baik.

Dari pengamatan di lapangan, akhir-akhir ini banyak dijumpai kerusakan jalan yang masih menggunakan perkerasan lentur di daerah tanjakan dan turunan serta di dekat *traffic light*. Kerusakan jalan di daerah tanjakan/ turunan dan *traffic light* ini berupa kerusakan jenis distorsion yang dapat terjadi karena lemahnya tanah dasar, pemadatan yang kurang pada lapis pondasi sehingga terjadi tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas. Untuk kerusakan jalan yang satu ini dibagi atas beberapa jenis diantaranya:

1. **Alur (*ruts*)**, yaitu kerusakan yang terjadi pada lintasan roda sejajar dengan as jalan, dapat merupakan tempat menggenangnya air hujan yang jatuh di atas permukaan jalan, mengurangi tingkat kenyamanan dan akhirnya timbul retak-retak. Kemungkinan disebabkan oleh lapis perkerasan yang kurang padat, dengan demikian terjadi penambahan pemadatan akibat repetisi beban lalu lintas pada lintasan roda. Campuran aspal stabilitas rendah dapat pula menimbulkan deformasi plastis.
2. **Ambas (*grade depression*)**, yaitu kerusakan yang terjadi setempat/tertentu dengan atau tanpa retak, terdeteksi dengan adanya air yang tergenang. Ambas disebabkan oleh beban kendaraan yang melebihi apa yang direncanakan, pelaksanaan yang kurang baik, atau

penurunan bagian perkerasan dikarenakan tanah dasar mengalami *settlement*.

Secara spesifik, kerusakan jalan berupa ruts (*alur*) yang sering terjadi di tanjakan/turunan dan *traffic light* dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

1. Kecepatan kendaraan (terutama kendaraan-kendaraan berat) pada saat melewati tanjakan/turunan dan *traffic light* mengalami perlambatan, sehingga faktor repetisi beban kendaraan semakin besar.
2. Dalam perencanaan awal tebal perkerasan, sangat dimungkinkan belum memperhitungkan faktor perlambatan kecepatan di *traffic light* dan tanjakan/ turunan.
3. Banyak *traffic light* bentukan baru, sehingga dalam perencanaan awal tidak diperhitungkan sebagai lokasi *traffic light*

Fenomena kerusakan jalan di *traffic light* dan tanjakan/turunan juga banyak terjadi di ruas jalan Banyumanik – Bawen. Untuk itu pemerintah mengadakan proyek KBK (Kontrak Berbasis Kinerja) peningkatan jalan Banyumanik – Bawen pada tahun anggaran 2014 – 2015. Lingkup pekerjaan pada proyek KBK peningkatan jalan Banyumanik – Bawen ini meliputi : (1) Pelebaran jalan; (2) Pemasangan median jalan; (3) Peningkatan jalan dengan Rigid Pavement pada lokasi *traffic light* dan tanjakan / turunan; (4) Overlay lapisan aspal pada jalan yang datar.

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) saat ini banyak digunakan pada proyek peningkatan konstruksi jalan, karena diyakini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan perkerasan lentur, diantaranya : Keuntungan menggunakan perkerasan kaku adalah : (1) Umur pelayanan

panjang dengan pemeliharaan yang sederhana; (2) Durabilitas baik; (3) Mampu bertahan pada banjir berulang, atau genangan air tanpa terjadinya kerusakan yang berarti. Ketebalan perkerasan kaku yang digunakan pada proyek KBK Banyumanik – Bawen ini setebal 27 cm. Dan penelitian ini akan menganalisis besarnya ketebalan perkerasan kaku yang dilaksanakan di proyek KBK ini membandingkannya dengan ketebalan perkerasan lentur, jika proyek KBK Banyumanik – Bawen ini menggunakan perkerasan lentur. Dalam hal kebutuhan biaya dan umur rencana perkerasan jalan, hasil penelitian ini barangkali akan bermanfaat untuk kajian pada penelitian-penelitian berikutnya, mengingat dari beberapa kajian didapat bahwa untuk panjang jalan yang sama, biaya konstruksi perkerasan kaku lebih mahal dari perkerasan lentur, akan tetapi umur rencana perkerasan kaku lebih panjang daripada perkerasan lentur.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Tahap Persiapan, meliputi: (1) Identifikasi masalah; (2) Studi literatur; (3) Menentukan kebutuhan data; (4) Survey ke lokasi untuk mendapatkan gambaran umum kondisi lapangan.
2. Tahap Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan, meliputi: tebal perkerasan kaku yang dilaksanakan, tebal overlay aspal yang dilaksanakan, mutu beton, peta lokasi dan gambar kondisi jalan, peraturan – peraturan tentang perancangan perkerasan jalan, Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR). Metode pengumpulan data

dilakukan dengan cara : (1) Observasi; (2) Survey Lapangan; (3) Studi Literatur

3. Tahap Analisis Dan Pengolahan Data

a. Perencanaan Perkerasan Lentur, dirumuskan :

$$\log (W_{18}) = Z_R \times So + 9,36 \times \log (SN + 1) - 0,20 +$$

$$\frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{1094} + 2,32 \times \log(MR) - 8,07 \dots \dots (2.10)$$

dimana :

- W_{18} = ESAL yang diperkirakan
- Z_R = simpangan baku normal,
- So = Standard Deviasi
- ΔPSI = Perbedaan *serviceability index* di awal dan akhir umur rencana
- M_R = *Modulus resilient* tanah dasar (psi)
- SN = *Structural Number*, angka struktural relatif perkerasan (inci),

$$\text{dirumuskan : } SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

dimana :

- a_1 = koefisien kekuatan relatif lapis permukaan
- a_2 = koefisien kekuatan relatif lapis pondasi
- a_3 = koefisien kekuatan relatif lapis pondasi bawah
- D_1 = tebal lapis permukaan, inci
- D_2 = tebal lapis pondasi, inci
- D_3 = tebal lapis pondasi bawah, inci
- $m_{2,3}$ = koefisien drainase untuk lapis pondasi dan pondasi bawah

b. Perencanaan Perkerasan Kaku, dirumuskan :

$$\log_{10} W_{18} = Z_R So + 7,35 \log_{10} (D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^2}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32pt) \times \log_{10}$$

$$\frac{Sc' Cd x [D 0,75 - 1,132]}{215,63 x J x \left[D 0,75 - \frac{18,42}{(Ec : k)0,25} \right]}$$

dimana :

W18 = Traffic design, Equivalent Singel Axle Load (ESAL)

ZR = Standar normal deviasi

So = Standar deviasi,

D = Tebal pelat beton (inches)

ΔPSI = Serviceability loss = po – pt

Po = Initial serviceability

Pt = Terminal serviceability index

Sc' = Modulus of rupture sesuai spesifikasi pekerjaan (psi)

Cd = Drainage coefficient

J = Load transfer coefficient

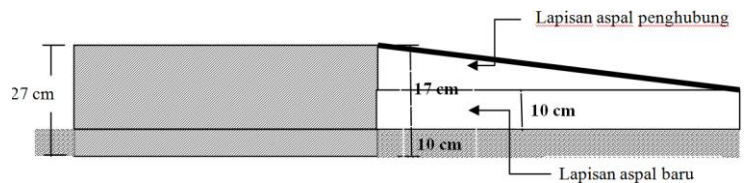
Ec = Modulus elastisitas (psi)

k = Modulus reaksi tanah dasar (psi)

HASIL DAN ANALISIS

Ketebalan rigid pavement yang dilaksanakan oleh proyek KBK Banyumanik – Bawen pada daerah tanjan/turunan dan *traffic*

light adalah setebal 27 cm dengan terlebih dulu mengurangi lapisan perkerasan aspal lama sedalam 10 cm, kemudian diteruskan dengan overlay pada ruas selanjutnya dengan Asphalt Treatment Base (ATB) dan Asphalt Concrete (AC) setebal 10 cm. Dengan demikian ada perbedaan ketinggian sebesar 7 cm antara top elevasi rigid pavement dan top elevasi overlay aspal yang dikerjakan dengan ATB dan AC dengan kerlandaian sebesar 2%.



Gambar 1. Ilustrasi kondisi eksisting

Analisis traffic design dilakukan dengan menggunakan data Lalu Lintas Harian Rata-Rata pada tahun 2009 – 2012. Dengan asumsi faktor pertumbuhan lalu lintas sebesar 5 % , maka dapat ditentukan besarnya Equivalent Single Axle Load / ESAL(W18) sesuai umur rencana perkerasan jalan yang ditentukan.

Tabel 1. Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

THN	Golongan Kendaraan (dua arah)									
	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c
	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend
2008	14.026	1.209	4.265	610	1.309	4.277	2.586	1.245	212	765
2009	14.922	1.289	4.537	649	1.393	4.550	2.752	1.325	226	814
2010	16.563	1.427	5.036	720	1.546	5.051	3.054	1.470	250	903
2011	17.399	3.685	5.796	1.049	1.244	758	7.191	1.573	312	901
2012	18.120	7.048	6.381	575	1.280	1.290	8.217	1.660	377	924

Besarnya *Equivalent Single Axle Load / ESAL(W₁₈)* oleh rumus berikut :

$$W_{18} = \sum_{N_1}^{N_n} LHR_j x VDF_j x D_D x D_L x 365$$

Dimana :

W_{18} = *Traffic design* pada lajur lalu lintas, *Equivalent Single Axle Load*

LHR_j = Jumlah lalu lintas harian rata-rata 2 arah untuk jenis kendaraan j

VDF_j = *Vehicle Damage Factor* untuk jenis kendaraan j

- D_D = Faktor distribusi arah
 D_L = Faktor distribusi lajur
 N_1 = Lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka
 N_n = Lalu lintas pada akhir umur rencana

Beban lalu lintas berasal dari berbagai jenis kendaraan dengan beragam konfigurasi sumbu dan berat kendaraan. Oleh karena itu dibutuhkan angka ekuivalen (E) yang berguna untuk mengekivalenkan berbagai lintasan sumbu terhadap sumbu standard. Karena tujuan penyeragaman satuan ini adalah untuk menyatakan akibat atau dampak beban kendaraan terhadap struktur perkerasan, maka angka ekuivalen (E) adalah angka yang menunjukkan jumlah lintasan sumbu standard yang menyebabkan kerusakan yang sama untuk satu lintasan sumbu atau kendaraan yang dimaksud. Angka ekuivalen (E) ini yang dinamakan sebagai nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF)

Tabel 2. Nilai Vehicle Damage Factor (VDF)

Gol	Type Kendaraan	Vehicle Damage Factor (VDF)	
		Bina Marga MST-10	PUSTR ANS 2004
2	Sedan, jeep, st.	0,0005	0,002

Tabel 4. Jumlah kumulatif ESAL untuk 2 x 2 lajur x 2 arah

THN	Golongan Kendaraan (dua arah)									Total Kend.	Desain ESAL	Cum. ESAL
	2	3	4	5a	5b	6	7a	7b	7c			
	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend			
2008	14.026	1.209	8.542	610	1.309	2.586	1.245	212	765	Data Awal	Keterangan : Jumlah kendaraan Golongan 6a dimasukkan ke golongan 4	
2009	14.922	1.289	9.087	649	1.393	2.752	1.325	226	814			
2010	16.563	1.427	10.087	720	1.546	3.054	1.470	250	903			
2011	17.399	3.685	6.554	1.049	1.244	7.191	1.573	312	901			
2012	18.120	7.048	7.671	575	1.280	8.217	1.660	377	924			
2013	19.026	7.400	8.055	604	1.344	8.628	1.743	396	970	48.166	5.127.796	5.127.796
2014	19.977	7.770	8.457	634	1.411	9.059	1.830	416	1.019	50.574	5.384.186	10.511.983

	Wagon		
3	Pick Up, Combi, Minibus	0,2174	0,196
4	Truck 2 As (L), micro truck, Mobil Hantaran	0,2174	0,196
5a	Bus Kecil	0,2174	0,196
5b	Bus Besar	0,3006	0,929
6	Truck 2 As (H)	2,4159	1,569
7a	Truck Berat 3 As	2,7416	8,029
7b	Truck Gandeng 4 As	3,9083	8,195
7c	Truck Semi Trailer	4,1718	1,029

Nilai Faktor Dsistribusi Arah (DD) berkisar antara 0.3 – 0.7, dan umumnya diambil 0.5 (AASHTO 1993). Untuk nilai Faktor Distribusi Lajur (DL) seperti disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 3. Nilai Distribusi Lajur

Jumlah Lajur Setiap Arah	1	2	3	4
DL (%)	100	80 – 100	60 – 80	50 - 75

Jumlah lajur di ruas jalan Banyumanik - Bawen antara 2 – 3 lajur setiap arah, sehingga diambil nilai DL = 0.8. Besarnya Equivalent Single Axle Load / ESAL(W18) disajikan dalam tabel berikut :

THN	Golongan Kendaraan (dua arah)									Total Kend.	Desain ESAL	Cum. ESAL
	2	3	4	5a	5b	6	7a	7b	7c			
	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend	Kend			
2015	20.976	8.159	8.880	666	1.482	9.512	1.922	436	1.070	53.103	5.653.396	16.165.378
2016	22.025	8.567	9.324	699	1.556	9.988	2.018	458	1.123	55.758	5.936.065	22.101.444
2017	23.126	8.995	9.790	734	1.634	10.487	2.119	481	1.179	58.546	6.232.869	28.334.312
2018	24.283	9.445	10.280	771	1.715	11.012	2.225	505	1.238	61.473	6.544.512	34.878.824
2019	25.497	9.917	10.794	809	1.801	11.562	2.336	530	1.300	64.547	6.871.738	41.750.562
2020	26.771	10.413	11.334	850	1.891	12.140	2.453	557	1.365	67.774	7.215.325	48.965.886
2021	28.110	10.934	11.900	892	1.986	12.747	2.575	585	1.433	71.163	7.576.091	56.541.977
2022	29.516	11.480	12.495	937	2.085	13.385	2.704	614	1.505	74.721	7.954.895	64.496.872
2023	30.991	12.054	13.120	983	2.189	14.054	2.839	645	1.580	78.457	8.352.640	72.849.512
2024	32.541	12.657	13.776	1.033	2.299	14.757	2.981	677	1.659	82.380	8.770.272	81.619.784
2025	34.168	13.290	14.465	1.084	2.414	15.494	3.130	711	1.742	86.498	9.208.786	90.828.570
2026	35.876	13.955	15.188	1.138	2.534	16.269	3.287	746	1.829	90.823	9.669.225	100.497.795
2027	37.670	14.652	15.947	1.195	2.661	17.083	3.451	784	1.921	95.365	10.152.686	110.650.481
2028	39.554	15.385	16.745	1.255	2.794	17.937	3.624	823	2.017	100.133	10.660.320	121.310.802
2029	41.531	16.154	17.582	1.318	2.934	18.834	3.805	864	2.118	105.139	11.193.337	132.504.138
2030	43.608	16.962	18.461	1.384	3.080	19.775	3.995	907	2.224	110.396	11.753.003	144.257.142
2031	45.788	17.810	19.384	1.453	3.234	20.764	4.195	953	2.335	115.916	12.340.653	156.597.795
2032	48.078	18.700	20.353	1.526	3.396	21.802	4.404	1.000	2.452	121.712	12.957.686	169.555.481
VDF	0,0005	0,2174	0,2174	0,2174	0,3006	2,4159	2,7416	3,908	4,172			

1. Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku

Metode AASHTO 1993

- Umur Rencana $U = 20$ tahun
- Traffic Design $W_{18} = 169.555.481$
- Standar Normal Deviasi (Z_R)

Tabel 5. R VS ZR

R (%)	Z_R
50	0,00
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,34

R (%)	Z_R
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,09
99,99	-3,75

R (%) adalah reliability, sebuah probabilitas bahwa perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama umur rencananya.

Tabel 6. Reliability (R) yang disarankan

Klasifikasi Jalan	Reliability	
	Urban	Rural
Jalan Tol	85 - 99,9	80 - 99,5
Arteri	80- 99	75 - 95
Kolektor	80 - 95	75 - 95
Lokal	50 - 80	50 - 80

Diambil R = 80, sehingga $Z_R = -0.841$

d. Standard Deviasi (S_o)

Standard Deviasi untuk Perkerasan

Kaku, $S_o = 0.3 - 0.4$

Diambil $S_o = 0.3$

e. Serviceability (ΔPSI)

Serviceability parameter :

Initial serviceability $P_o = 4,5$

Terminal serviceability index for low traffic road : $P_t = 2,5$

Total loss of serviceability : $\Delta PSI = P_o - P_t = 2$

f. Tegangan Lentur Beton ($S'c$)

Digunakan $S'c = 45 \text{ kg/cm}^2$

$S'c = 640 \text{ psi}$

Catatan : $1 \text{ kg/cm}^2 = 14.22 \text{ psi}$

g. Koefisien Drainase (C_d)

Tabel 7. Nilai Koefisien Drainase Perkerasan Kaku (C_d)

Quality of drainage	Percent of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation			
	< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	>25 %
Excellent	1.25 - 1.2	1.2-1.15	1.15-1.10	1,1
Good	1.2-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1
Fair	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0,9
Poor	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0,8
Very poor	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0,7

Kondisi drainase di sepanjang ruas Banyumanik – Bawen dalam kondisi baik, sehingga diambil $C_d = 1.2$

h. Load Transfer Coefficient (J)

Tabel 8. Load Transfer Coefficient

Shoulder	Asphalt		Tied PCC	
	Yes	No	Yes	No
Load transfer devices				
Pavement type				
1. Plain jointed & jointed reinforced	3,2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
2. CRCP	2.9-3.2	N/A	2.3-2.9	N/A

Diambil $J = 2.5$

i. Elasticity Modulus (E_c)

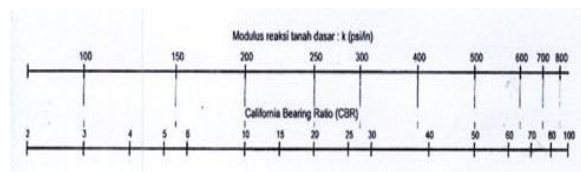
$$E_c = 57000 \sqrt{f'_c} \text{ (} f'_c \text{ dalam psi)}$$

$$f'_c = 350 \text{ Kg/cm}^2 \text{ atau } f'_c = 4977 \text{ psi}$$

$$E_c = 57000 \sqrt{4977} = 4021227.798 \text{ Psi}$$

j. Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)

Sehubungan tanah dasar (subgrade) berupa perkerasan lentur, maka nilai CBR untuk keperluan ini diambil 20, sehingga nilai k didapat 250 psi/in.



Gambar 2. Hubungan CBR dan k

k. Rekapitulasi parameter design

Tabel 9. Parameter design yang digunakan dalam perencanaan

NO	Parameter	Design
1	Umur Rencana (tahun)	20
2	Traffic (ESAL)	169.555.481
3	Terminal serviceability (pt)	2,5
4	Initial serviceability (po)	4,5
5	Serviceability loss (ΔPSI)	2

6	Reliability (R)	80
7	Standar Normal Deviasi (Z_R)	-0,841
8	Standar Deviasi (S_o)	0,3
9	Reaksi Modulus Tanah Dasar (k , CBR = 10)	250
10	Compressive strength concrete (f_c') : K-350	4977 Psi
11	Concrete Elasticity Modulus (E_c)	4021227 psi
12	Flexural strength ($S'c$)	640 psi
13	Drainage coefficient (C_d)	1,2
14	Load transfer coefficient (J)	2,5

I. Ketebalan perkerasan kaku (D)

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32Pt) \times \log_{10} \frac{S'_c x \left[D^{0.75} - 1.132 \right]}{215.63 x J x \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c : k)^{0.25}} \right]}$$

a) Penyederhanaan Rumus :

$$\begin{aligned} L1 &= \log_{10} W_{18} & R4B &= 1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}} \\ R1 &= Z_R S_o & R5 &= 4.22 - 0.32p_t \\ R2 &= 7.35 \log_{10}(D+1) & R6 &= S'_c \cdot C_d x \left[D^{0.75} - 1.132 \right] \\ R3 &= -0.06 & R7 &= 215.63 x J x \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c : k)^{0.25}} \right] \\ R4A &= \log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5} \right] \end{aligned}$$

b) Perhitungan : Metode Trial and Error

*Trial D*₁ = 11 inchi

$$\begin{aligned} L1 &= 8,22931 & R4B &= 1,012042 \\ R1 &= -0,2523 & R5 &= 3,42 \\ R2 &= 7,93198 & R6 &= 3768,836 \\ R3 &= -0,06 & R7 &= 2374,343 \\ R4A &= -0,1761 \end{aligned}$$

$$L1 = R1 + R2 + R3 + (R4 A/R4B) + R5 * \log_{10}(R6/R7)$$

$$8,229 = 8,13196$$

Ruas kanan lebih kecil dibandingkan ruas kiri, artinya ketebalan plat beton yang dipakai dalam trial and error masih terlalu tipis.

*Trial D*₂ = 11,4 inchi

$$\begin{aligned} L1 &= 8,22931 & R4B &= 1,009125 \\ R1 &= -0,2523 & R5 &= 3,42 \\ R2 &= 8,03665 & R6 &= 3894,762 \\ R3 &= -0,06 & R7 &= 2462,747 \\ R4A &= -0,1761 \end{aligned}$$

$$L1 = R1 + R2 + R3 + (R4 A/R4B) + R5 * \log_{10}(R6/R7)$$

$$8,23 = 8,2306$$

Ruas kanan sama dengan ruas kiri, artinya ketebalan plat yang dipakai dalam trial and error dapat dipakai yaitu setebal 11.4 inchi atau 28.956 cm (dibulatkan menjadi 29 cm)

2. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode AASHTO 1993

- Umur Rencana = 10 tahun
- Traffic Design (W_{18}) = 64.496.872
- Standar Normal Deviasi (Z_R) = -0.841
- Standar Deviasi (S_o)

Standar Deviasi Untuk Perkerasan Lentur : $S_o = 0.4 - 0.5$ (AASHTO 1993)

Diambil nilai $S_o = 0,4$

e. Serviceability (ΔPSI)

Serviceability parameter :

Initial serviceability $P_o = 4,5$

Terminal serviceability index for low traffic road : $p_t = 2,5$

Total loss of serviceability : $\Delta PSI = 4.5 - 2.5 = 2$

f. Modulus Resilient Subgrade (M_R)

Tabel 10. Nilai MR vs CBR

Classification	CBR %	M_R ksi	$M_{R(\text{design})}$ ksi
A-7-6	1 - 5	2,5 - 7	4
A-7-5	2 - 8	4 - 9,5	6
A-6	5 - 15	7- 14	9
A-5	8 - 16	9 - 15	11

A-4	10 - 20	12 - 18	14
A-3	15 - 35	14 - 25	18
A-2-7	10 - 20	12 - 17	14
A-2-6	10 - 25	12 - 20	15
A-2-5	15 - 30	14 - 22	17
A-2-4	20 - 40	17 - 28	21
A-1-b	35 - 60	25 - 35	29
A-1-a	60 - 80	30 - 42	38

Sumber : Silvia Sukirman, 2010

Didapat $M_{R(\text{design})} = 18$ ksi atau 18000 psi

g. Rekapitulasi Parameter Design

Tabel 11. Parameter design yang digunakan dalam perencanaan

NO	Parameter	Design
1	Design life (year)	10
2	Traffic (ESAL)	64.496.872
3	Terminal serviceability (pt)	2,5
4	Initial serviceability (po)	4,5
5	Serviceability loss (ΔPSI)	2
6	Reliability ($'R$)	80
7	Standard Normal Deviation (Z_R)	-0,841
8	Standard Deviation (S_o)	0,4
9	Modulus Resilient Subgrade (MR)	18000 psi

h. Ketebalan Perkerasan Lentur

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 +$$

$$\frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

1) Penyederhanaan Rumus :

$$\begin{aligned} L1 &= \log_{10} W_{18} & R4A &= \log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] \\ R1 &= Z_R S_o & R4B &= 0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}} \\ R2 &= 9.36 \log_{10}(SN + 1) & R5 &= 2.32 \times \log_{10} (M_R) \\ R3 &= -0.2 & R6 &= -8.07 \end{aligned}$$

2) Perhitungan : Metode Trial and Error

$$\underline{\text{Trial } SN_1 = 5 \text{ inchi}}$$

$$\begin{aligned} L1 &= 7,8095 & R4B &= 0,500095 \\ R1 &= -0,3364 & R5 &= 9,072232 \\ R2 &= 7,2835 & R6 &= -8,07 \\ R3 &= -0,2 \\ R4A &= -0,1303 \end{aligned}$$

$$L1 = R1 + R2 + R3 + (R4 A/R4B) + R5 + R6$$

$$7,81 = 7,48870989$$

Ruas kanan lebih kecil dibandingkan ruas kiri, artinya nilai SN yang dipakai dalam trial and error masih terlalu tipis

$$\underline{\text{Trial } SN_2 = 5,525 \text{ inchi}}$$

$$\begin{aligned} L1 &= 7,8095 & R4B &= 0,464766 \\ R1 &= -0,3364 & R5 &= 9,072232 \\ R2 &= 7,6245 & R6 &= -8,07 \\ R3 &= -0,2 \\ R4A &= -0,1303 \end{aligned}$$

$$L1 = R1 + R2 + R3 + (R4 A/R4B) + R5 + R6$$

$$7,81 = 7,809876812$$

Ruas kanan sama dengan ruas kiri, artinya nilai SN yang dipakai dalam trial and error dapat dipakai

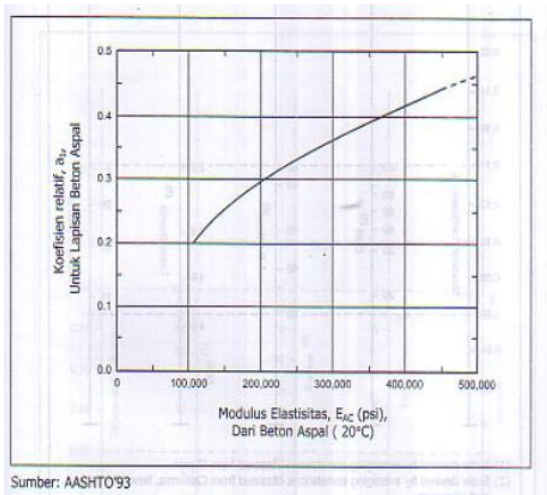
3) Structural Number (SN)

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

a) Koefesien kekuatan relatif

lapis perkerasan :

a.1). Lapis Permukaan : *Asphalt Cement*



Gambar 3. Grafik Modulus Elastisitas VS Koefisien Relatif Asphalt Cement

Modulus Elastisitas Asphalt Cement (E_{AC}) = 2000 MPa (1 Mpa = 145 psi), sehingga E_{AC} = 290000 psi. Dari gambar 2, didapat $a_1 = 0.355$

a.2). Lapis Pondasi Atas : Asphalt Treated Base

Modulus Elastisitas Lapis Pondasi Atas (E_{as}) : 1500 MPa atau 217500 Psi

$$a_2 = 0.249 * \log_{10} E_{as} - 0.977$$

$$a_2 = 0.249 * \log_{10}(217500) - 0.977 = 0.352$$

a.3). Lapis Pondasi Bawah : Aggregate B

Modulus Elastisitas Lapis Pondasi Bawah (E_{sb}) : 200 MPa atau 29000 Psi

$$a_3 = 0.227 * \log_{10} E_{sb} - 0.839$$

$$a_3 = 0.227 * \log_{10}(29000) - 0.839 = 0.174$$

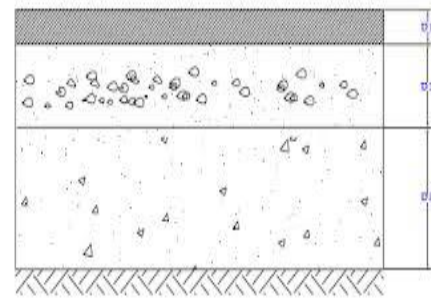
b) Koefisien Drainase (m_2, m_3)

Tabel 12. Koefisien Drainase Perkerasan Lentur

Quality of drainage	Percent of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation			
	< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	>25 %
	Excellent	1.40 - 1.35	1.35- 1.30	1.30- 1.20
Good	1.35- 1.25	1.25- 1.15	1.15- 1.00	1
Fair	1.25- 1.15	1.15- 1.05	1.00- 0.80	0,8
Poor	1.15- 1.05	1.05- 0.80	0.80- 0.60	0,6
Very poor	1.05- 0.95	0.95- 0.75	0.75- 0.40	0,4

Drainase Jalan dalam kondisi baik, diambil $m_2 = 1.3$ dan $m_3 = 1.3$

c) Ketebalan lapis perkerasan :



Gambar 4. Penampang Perkerasan Lentur

$SN = 5.525$ inchi atau 14.03 cm
Diambil $D_1 = 4$ cm, $D_2 = 12$ cm, maka didapat

$$D_3 = \frac{SN - a_2 * m_2 * D_2 - a_1 * D_1}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{14.03 - 0.352 * 1.3 * 12 - 0.355 * 4}{0.174 * 1.3} = 31.5 \text{ Cm}$$

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa: (1) Tebal rigid pavement yang dilaksanakan di proyek KBK Banyumanik

– Bawen aalah sebesar 27 cm, sementara dari analisis didapat tebal rigid pavement sebesar 29 cm dengan beton mutu K-350. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh parameter design yang digunakan oleh pihak perencana proyek berbeda dengan yang dipakai dalam penelitian ini; (2) Jika menggunakan tebal perkerasan lentur, didapat tebal perkerasan lentur di ruas Banyumanik – Bawen untuk Umur Rencana 10 tahun sebesar 47.5 cm dengan rincian sebagai berikut :

1. Lapis Permukaan (AC) = 4 cm
2. Lapis Pondasi Atas (ATB) = 12 cm
3. Lapis Pondasi Bawah (Agregat B) = 31.5 cm

Saran yang dapat diberikan adalah: (1) Untuk tujuan peningkatan jalan, akan lebih efektif jika menggunakan perkerasan kaku, karena tidak memerlukan ketebalan yang besar sehingga tidak begitu mempengaruhi alinyemen vertikal; (2) Untuk memutuskan pemakaian jenis perkerasan lentur atau kaku, selain faktor ketebalan perkerasan, perlu dipertimbangkan faktor biaya konstruksi antara 2 (dua) jenis perkerasan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta 2002, *Standar Operasional Prosedur Perkerasan Jalan Kaku*, Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan 1991, *Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Jakarta Departemen Pekerjaan Umum SK SNI T-15-1991-03.
- Ari Suryawan 2005, *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*, Yogyakarta.
- Silvia Sukirman 2010, *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*, Nova, Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga 1990, *Petunjuk desain drainase permukaan jalan*, No. 008/T/BNKT/1990, Departemen Pekerjaan Umum.
- Clarkson H Oglesby, R Gary Hicks 1996, *Highway Engineering (Teknik Jalan Raya)* : America, Stamford University & Oregon State University.

