

KOMPARASI DESAIN TEBAL PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN 2017 DAN METODE AASHTO 1993

THE COMPARISON DESIGN OF THE RIGID PAVEMENT USING THE METHOD OF BINA MARGA 2017 AND AASHTO 1993 METHOD

Muhammad Djaya Bakri

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan
Email: jayabakri@gmail.com

ABSTRAK

Pada tahun 2019, Universitas Borneo Tarakan merencanakan membangun jalan lingkungan baru dalam kawasan kampus. Mengingat keterbatasan kemampuan anggaran dalam pemeliharaan sarana dan prasarana pasca konstruksi, maka jalan lingkungan baru ini di desain berupa konstruksi perkerasan kaku pelat beton, dengan mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan, umur keawetan konstruksi lebih lama dan biaya pemeliharaan yang relatif rendah sepanjang umur rencana (*discounted lifecycle cost*). Digunakan dua metode desain, yaitu metode MDPJ 2017 dan metode AASHTO 1993, sebagai instrumen komparasi untuk mendapatkan tebal pelat beton yang ekonomis berdasarkan beban lalu lintas yang direncanakan. Studi ini memberikan dimensi pelat beton perkerasan hasil analisis dengan metode MDPJ 2017 setebal 170 mm, dan hasil analisis dengan metode AASHTO 1993 setebal 200 mm. Perbedaan hasil pada kedua metode relatif kecil (1,4%), meskipun terdapat perbedaan beberapa parameter, tetapi tidak berpengaruh secara signifikan.

Kata Kunci: perkerasan kaku, MDPJ 2017, metode AASHTO 1993

ABSTRACT

Universitas Borneo Tarakan in 2019 to plans to build a new local road within the campus area. Given the limited capacity of the budget in maintaining post-construction facilities and infrastructure, this new environmental road is designed in the form of a concrete slab rigid pavement construction, taking into account the ease of implementation, longer construction life span and relatively low maintenance costs throughout the planned life (discounted lifecycle cost). Two design methods were used, namely the 2017 MDPJ method and the 1993 AASHTO method, as a comparative instrument to obtain an economical concrete slab thickness based on the planned traffic load. This study provides the dimensions of the pavement concrete slab analyzed by the MDPJ 2017 method with a thickness of 170 mm, and the results of the analysis using the AASHTO 1993 method with a thickness of 200 mm. There is an 1.4% difference between the two methods, this is due to some differences in the design parameters.

Keywords: rigid pavement, Bina Marga 2017 Methode, AASHTO 1993 Methode

PENDAHULUAN

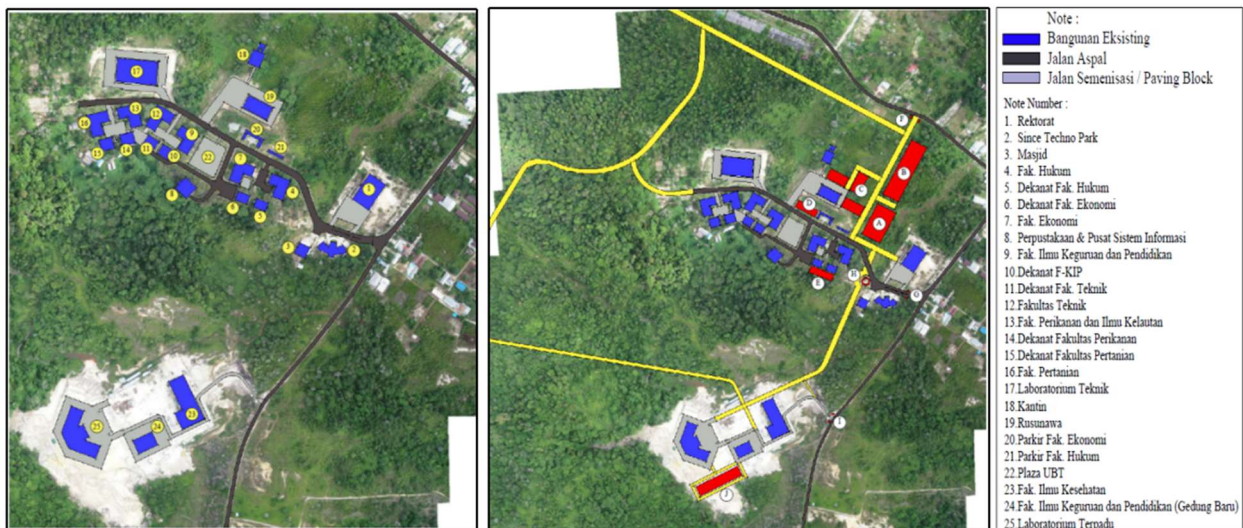
Universitas Borneo Tarakan pada Tahun 2019, merencanakan membangun jalan lingkungan baru dalam kawasan kampus sebagai upaya untuk meningkatkan konektivitas antar zonasi

dan meningkatkan kontrol keamanan kawasan kampus, terutama antara kawasan yang sudah berkembang dengan kawasan baru yang dikembangkan dalam kampus, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1

(Bakri, 2020). Dalam pembangunan jalan, baik jalan baru maupun peningkatan kualitas jalan lama selalu diawali dengan kegiatan desain teknis konstruksi jalan beserta utilitasnya (Hendarsin, 2000). Setidaknya ada empat aspek yang menjadi produk perencanaan jalan, yaitu perencanaan geometrik, perkerasan, utilitas dan anggaran biayanya. Salahsatu aspek yang menarik dianalisis adalah dalam hal desain perkerasan jalan (Nawir & Mansur, 2017).

Studi (Bakri, 2020) sebelumnya pada trase jalan lingkungan baru dalam kawasan kampus Universitas Borneo

Tarakan, menganalisis perkerasan jalan dengan jenis kontruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*). Dalam studi ini, kembali dianalisis tebal perkerasannya dengan tipe perkerasan kaku (*rigid pavement*). Desain perkerasan kaku dapat menggunakan bermacam metode yang biasa digunakan dalam desain perkerasan jalan di Indonesia, diantaranya adalah menggunakan metode Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993. Kedua metode tersebut digunakan dalam studi ini untuk mengetahui hasil desain yang sesuai dengan kondisi geoteknik lokasi rencana pembangunan jalannya.



(a). Kondisi Eksisting Kawasan

(b). Rencana Jalan Baru Kawasan

Gambar 1. Rencana Jalan Lingkungan Baru Dalam Kawasan Kampus UBT (Sumber: Bakri, 2020)

METODE PENELITIAN

a. Metode Bina Marga 2017

Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi 2017) atau dikenal dengan Metode Bina Marga 2017, diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). Pada metode ini, terdapat parameter desain yang digunakan sebagaimana diuraikan dibawah ini.

1. Umur rencana (UR)

Umur rencana perkerasan jalan baru untuk jenis perkerasan kaku

disyaratkan selama 40 tahun (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).

2. Lalu lintas

Beban lalu lintas dinyatakan dalam jumlah kelompok sumbu niaga, sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Konfigurasi sumbu untuk analisis dibagi dalam 4 tipe, yaitu: sumbu tunggal roda tunggal (STRT), sumbu tunggal roda ganda (STRG), sumbu tandem roda ganda (STRRG), dan sumbu tridem roda ganda (STRRG)(Ardiansyah & Sudibyo,

2020). Jenis kendaraan dikelompok menjadi Sembilan tipe, yaitu: 5B, 6A, 6B, 7A1, 7A2, 7C1, 7C2A, 7C2B, dan 7C3 (Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, 2004).

Dalam analisis lalulintas terdapat beberapa parameter yang dianalisis, sebagai berikut:

(a). *Volume lalu lintas*, berupa beban gandar kendaraan niaga yang

dinyatakan dalam beban sumbu gandar (Vinna *et al.*, 2019).

(b). *Faktor pertumbuhan lalu lintas (i)*, berdasarkan data series pertumbuhan lalu lintas pada wilayah studi, jika tidak tersedia, maka dapat digunakan nilai (i) seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%) (2015-2035)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rerata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan factor pertumbuhan kumulatif (*cumulative growth factor*) sebagai berikut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017):

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} \quad (1)$$

Dengan:

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif;

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%), dan

UR = umur rencana (tahun).

(c). *Lalu lintas pada lajur rencana*, beban lalu lintas dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil nilai 0,5 untuk jalan dua arah, kecuali pada lokasi dengan jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu. Faktor distribusi lajur yang digunakan dengan mengacu pada jumlah lajur setiap arah seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga Per Lajur Desain (% Terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

(d). *Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor)*, merupakan faktor yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang disebabkan oleh satu lintasan kendaraan tertentu terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh suatu lintasan beban sumbu standar. Beban lalu lintas ini dikonversi ke beban standar menggunakan VDF (Isnaini *et al.*, 2019). Beban lalu lintas desain

didasarkan pada distribusi kelompok sumbu kendaraan niaga (Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, 2003).

(e). *Beban Standar Kumulatif atau Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)*, merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur rencana selama umur rencana, yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut

(Direktorat Jenderal Bina Marga,
 2017):

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2)$$

$$\text{Volume sumbu kendaraan niaga} = \sum (\text{Jumlah kelompok sumbu per kendaraan} \times \text{LHR} \times DD \times DL \times R) \quad (3)$$

dengan:

ESA_{TH-1} = kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen tahun pertama;
 LHR_{JK} = lalu lintas harian rata-rata setiap jenis kendaraan niaga (kendaraan/hari);

VDF_{JK} = faktor ekuivalen beban setiap jenis kendaraan niaga;
 DD = faktor distribusi arah;
 DL = faktor distribusi lajur, dan
 R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

3. Desain Perkerasan Kaku

Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah (2003) memberikan prosedur desain perkerasan kaku didasarkan atas dua model kerusakan, yaitu: (1) retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat, dan (2) erosi pada pondasi bawah atau tanah dasar akibat lendutan. Analisis fatik dan erosi dianalisis dengan menghitung jumlah total fatik dengan menjumlahkan persentase fatik dari setiap jenis beban roda, kemudian dihitung jumlah total kerusakan akibat fatik dan jumlah total kerusakan akibat erosi untuk seluruh jenis kelompok sumbu untuk memperoleh tebal perkerasan desain yang didasarkan kerusakan akibat fatik dan atau erosi $\leq 100\%$.

b. Metode AASHTO 1993

Metode AASHTO 1993 merupakan metode empirik yang dikembangkan oleh

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), merupakan penyempurnaan dari metode AASHTO 1986. Prinsip perancangan metode AASHTO 1993 berdasarkan kemampuan perkerasan melayani beban lalu lintas selama umur rencana, dimana untuk perkerasan baru umumnya ditetapkan umur rencana 20 tahun (AASHTO, 1993).

Parameter desain perkerasan jalan yang digunakan pada metode ini, diuraikan berikut ini.

1. Lalu lintas.

Analisis lalu lintas yang dilakukan membutuhkan data jenis kendaraan, LHR, pertumbuhan lalu lintas tahunan (%), VDF, DD, DL, dan ESAL selama umur rencana. Nilai ESAL dihitung dengan persamaan 4 (Isnaini et al., 2019):

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times VDF_j \times D_D \times D_L \times 365 \quad (4)$$

dengan:

W_{18} = *traffic design* pada lajur lalu lintas, *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*;

LHR_j = jumlah lalu lintas harian rata-rata 2 arah untuk jenis kendaraan j ;
 VDF_j = *vehicle damage factor* untuk jenis kendaraan j ;

- N₁ = lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka, dan
 N_n = lalu lintas pada akhir tahun rencana.
2. *Reliability*
 Realiabilitas didefinisikan sebagai kemungkinan tercapainya tingkat pelayanan pada level tertentu sepanjang umur rencana jalan yang di desain (Siegfried & Rosyidi, 2007).
 3. *Serviceability*
 kemampuan pelayanan perkerasan, dinyatakan dalam *Present Serviceability Index (PSI)*, yang merupakan selisih *Initial Serviceability Index (Po)* dengan *Terminal Serviceability Index (Pt)* (Dumin et al., 2017).
 4. Modulus Reaksi Tanah Dasar
 Berdasarkan nilai CBR, yang dikonversikan ke nilai Modulus Resilien (M_R) dengan persamaan: M_R = 1.500 x CBR (Putranto et al., 2016).
 5. Modulus Elastisitas Beton (E_c)
 Nilai E_c dihitung berdasarkan nilai kuat tekan beton silinder (f_c'), dimana nilai f_c' ditetapkan sesuai spesifikasi pekerjaan (AASHTO, 1993).
 6. Kuat Lentur Beton (S_c')
Flexural strength (modulus of rupture) ditetapkan sesuai spesifikasi pekerjaan (Vinna et al., 2019).
 7. Koefisien Drainase (C_d)
 Nilai C_d merupakan faktor koreksi terhadap kinerja perkerasan akibat kondisi drainase yang kurang baik, dimana nilai C_d ini ditentukan oleh kualitas drainase dan persentase struktur perkerasan yang terdampak air sampai level mendekati jenuh air dalam satu tahun (Isnaini et al., 2019).
 8. Koefisien Transfer Beban (J)
 Nilai J merupakan koefisien yang memperhitungkan kemampuan perkerasan kaku mendistribusikan beban yang melintas diatas sambungan atau retakan (Setiawan, 2017).
 9. Penentuan tebal Pelat (D)
 penentuan tebal pelat perkerasan kaku dapat dilakukan dengan menggunakan nomogram AASHTO (Irawan et al., 2017), atau dengan analisis *trial and error* menggunakan persamaan 5 (Kurniawan et al., 2019).

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right)}{1 + \frac{1,62 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 P_t) \times \log_{10} \frac{S'_c C_d \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}} \right]} \quad (5)$$

dengan:

- W₁₈ = lalu lintas rancangan, *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*;
 Z_R = simpangan baku normal;
 S_o = standar deviasi keseluruhan, bernilai antara: 0,4-0,5;
 ΔPSI = selisih indeks pelayanan awal dengan indeks pelayanan akhir (ΔPSI = P_o-P_t);

- P_o = index pelayanan awal, Initial serviceability (P_o);
 P_t = index pelayanan akhir, Initial serviceability (P_o);
 S'_c = kuat tekan beton (psi);
 C_d = koefisien drainase;
 J = koefisien transfer beban;
 E_c = modulus elastisitas beton (psi), dan
 K = modulus reaksi tanah dasar (psi).

Menurut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017), pemilihan jenis perkerasan tidak hanya berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana dan kondisi pondasi jalan, tetapi juga mempertimbangkan faktor biaya terendah untuk pemeliharaan selama umur rencana dan kemudahan dalam pelaksanaan. Volume lalu lintas dalam kawasan kampus Universitas Borneo Tarakan setiap tahun mengalami peningkatan seiring dengan penambahan jumlah penerimaan mahasiswa baru (Bakri, 2020), sehingga pada studi ini akan menggunakan desain perkerasan kaku dengan mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan, umur keawetan konstruksi

lebih lama dan biaya pemeliharaan yang relatif rendah sepanjang umur rencana (*discounted lifecycle cost*).

Isnaini et al (2019) menyebutkan bahwa kekuatan perkerasan kaku sangat tergantung kekuatan pelat beton yang dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) dengan umur beton 28 hari, sedangkan tebal perkerasan beton dapat ditentukan berdasarkan kelompok sumbu kendaraan beratnya.

Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017) memberikan pedoman untuk tebal pelat beton perkerasan kaku untuk beban lalu lintas rendah sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Standar Tebal Pelat Beton Perkerasan Kaku Dengan Beban Lalulintas Berat

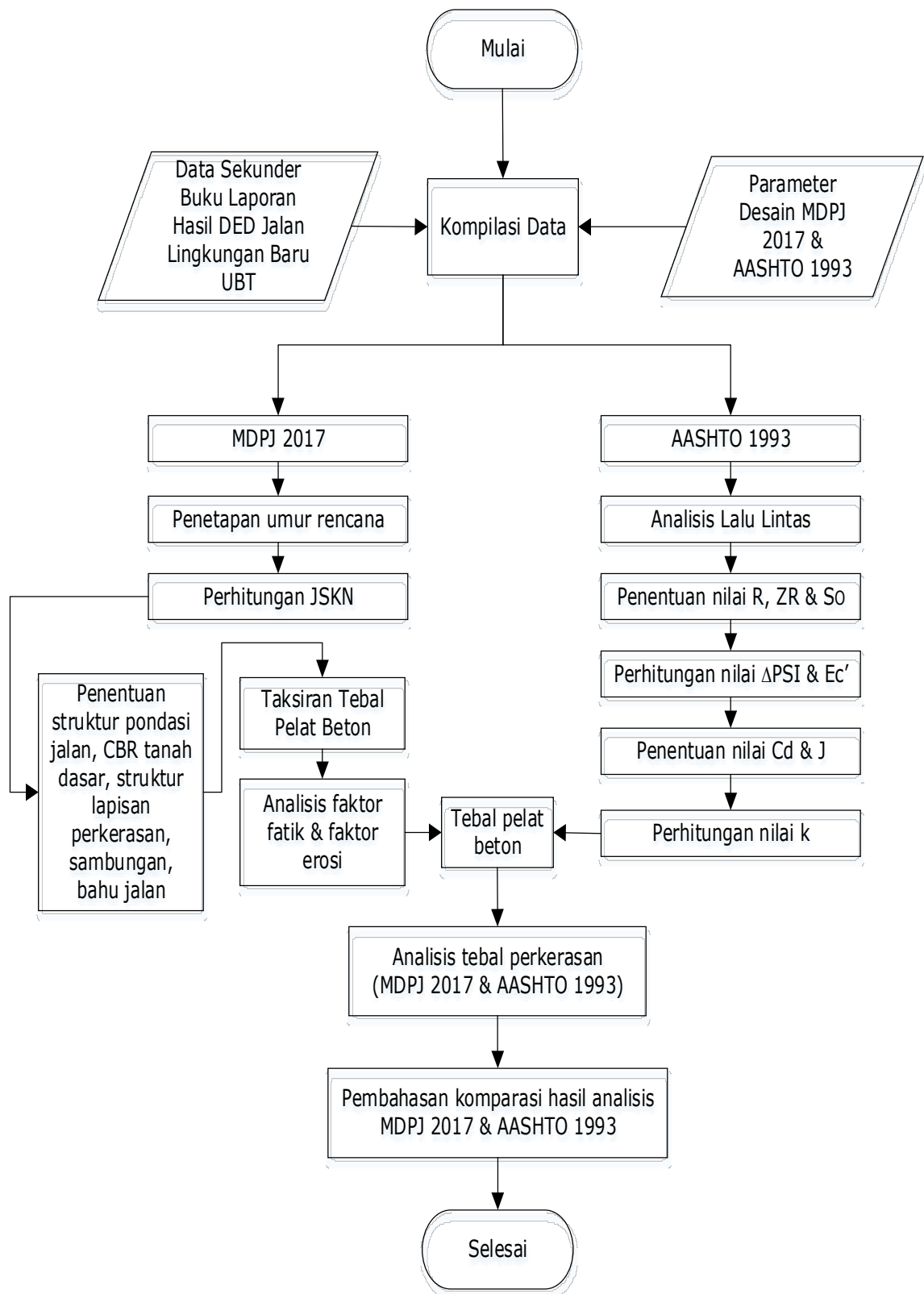
Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (<i>overloaded</i>) (10^6)	< 4,3	< 8,6	< 25,8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
Struktur Perkerasan (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Pondasi LMC	100				
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

c. Alur Penelitian

Alur penelitian digambarkan dalam bentuk *flow chart* untuk mempermudah sistematika penelitian seperti ditampilkan pada Gambar 2. Objek perancangan perkerasan jalan beton pada studi ini adalah Jalan Lingkungan Baru dalam kawasan kampus Universitas Borneo Tarakan, seperti ditunjukkan pada

Gambar 1 (b), dimana trase jalan rencana diberi warna kuning. Data yang dipergunakan berupa data lalulintas, faktor laju pertumbuhan lalu lintas per tahun (i), data CBR tanah dasar bersumber dari Laporan Hasil Perencanaan Jalan Lingkungan Dalam Kawasan Kampus Universitas Borneo Tarakan Tahun 2019 (CV. Menara Konsultan, 2019).



Gambar 2. Flow Chart Penelitian

Prosedur desain perkerasan kaku MDPJ 2017 meliputi penentuan umur rencana perkerasan, analisis volume

kelompok sumbu kendaraan niaga (JSKN), penentuan struktur pondasi jalan, CBR tanah dasar, struktur lapisan

perkerasan, taksiran tebal pelat, analisis faktor fatik dan erosi hingga mendapatkan tebal perkerasan rencana. Algoritma desain perkerasan kaku metode AASHTO 1993, diantaranya diperlukan penentuan umur rencana, analisis lalu lintas meliputi LHR, penentuan pertumbuhan lalu lintas, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur, hingga faktor VDF yang digunakan untuk menghitung *traffic design*. Parameter lainnya adalah simpangan baku normal (Z_R), deviasi standar (S_o), kemampuan layan (ΔPSI), modulus reaksi tanah dasar, modulus elastisitas beton, kuat tekan beton, koefisien drainase, serta koefisien transfer beban. Selanjutnya semua parameter dianalisis secara *trial and error* menggunakan Persamaan (5) hingga tebal pelat desain perkerasan jalan kaku.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Metode MDPJ 2017

Langkah awal desain menggunakan metode MDPJ 2017, adalah analisis Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN). Data lalu lintas yang digunakan berdasarkan studi terdahulu (CV. Menara Konsultan, 2019). Fase konstruksi diasumsikan dimulai Tahun 2020 dan selama 2 tahun, dan jalan mulai dipergunakan pada Tahun 2022. Tingkat pertumbuhan lalu lintas selama fase konstruksi diasumsikan sesuai Tabel 1, sebesar 3,5% pertahun, dan selama umur rencana meningkat menjadi 5,5% pertahun (Bakri, 2020). Umur rencana ditetapkan selama 20 tahun. Selanjut dilaksanakan analisis LHR sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis LHR

Jenis Kendaraan (1)	LHR 2019 (2)	LHR 2020 (3)	LHR 2022 (4)
Minibus (5a)	284	294	315
Micro truck (6.2)	545	564	604
Truck 2 sumbu-sedang (7.2)	174	180	193

Sumber: Analisis Data, 2020

Keterangan:

$$(3) = (2) \times (1 + 3,5\%)^1;$$

$$(4) = (3) \times (1 + 3,5\%)^2.$$

Dengan mempergunakan nilai LHR pada Tabel 4, dan nilai Faktor Ekuivalen Beban (VDF) sesuai MPDJ 2017, dianalisis nilai

Cumulatative Equivalent Single Axle (CESA), hasilnya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis CESA

Jenis Kendaraan (1)	VDF4 (2)	ESA4 (2020) (3)	ESA4 (2022-2042) (4)
Minibus (5a)	0,3	16.093,22	601.110,77
Micro truck (6.2)	0,8	82.354,95	3.076.106,77
Truck 2 sumbu-sedang (7.2)	1,6	52.586,28	1.964.192,95
Jumlah ESA4		151.034,45	5.641.410,49
CESA4 (22-42)			5.792.444,94

Sumber: Analisis Data, 2020

Keterangan:

$$(3) = (2) \times 365 \times DD \times DL \times R_{(2020)},$$

dimana:

$$DD=0,5; DL=1;$$

$$R_{(2020)} = [(1+0,01 \times 3,5)^1 - 1] / (0,01 \times 3,5) = 1;$$

$$R_{(2022-2042)} = [(1+0,01 \times 5,5)^{20} - 1] / (0,01 \times 5,5) = 34,87$$

Nilai CESA4₍₂₀₂₂₋₂₀₄₂₎ diperoleh sebesar $5,792 \times 10^6$ ESA4 dalam 20 tahun, merujuk Tabel 4.6 MDPJ 2017 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017), memenuhi syarat menggunakan perkerasan kaku.

Untuk menentukan tebal pelat beton perkerasan kaku, dilakukan analisis

jumlah kelompok sumbu kendaraan niaga (JSKN), dengan menggunakan hasil analisis LHR pada Tabel 4. Hasil analisis jumlah kelompok sumbu kendaraan niaga (JSKN) disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Analisis Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)

Jenis Kendaraan	Jumlah Kelompok Sumbu Per Kendaraan	LHR 2022	Kelompok Sumbu 2022	JSKN 2022-2042
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Minibus (5a)	2	315	630	4.007.405,15
Micro truck (6.2)	2	604	1.209	7.690.266,93
Truck 2 sumbu-sedang (7.2)	2	193	386	2.455.241,18
Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) 2022-2042				14.152.913,26

Sumber: Analisis Data, 2020

Keterangan:

$$(4) = (2) \times (3); (5) = (4) \times DD \times DL \times R_{20} \times 365$$

Hasil analisis JSKN diperoleh nilai sebesar $14,15 \times 10^6$. Berdasarkan Tabel 1, nilai JSKN yang diperoleh berada pada rentang R2 dan R3, secara interpolasi diperoleh ketebalan pelat beton sebesar 278,43 mm, selanjutnya dibulatkan menjadi 280 mm, dengan menggunakan mutu beton kelas K-300 dengan kuat tarik lentur (f_{cr}) = 4 MPa. Lapis pondasi direncanakan menggunakan beton krus (*Lean Mix Concrete, LMC*) setebal 100 mm dan mutu beton f'_c 10 MPa, serta lapis pondasi drainase agregat kelas A setebal 150 mm.

Nilai CBR lapangan rerata diperoleh sebesar 6% (CV. Menara Konsultan, 2019), kemudian untuk menentukan nilai CBR tanah dasar efektif, dilakukan

korelasi nilai CBR menggunakan grafik sesuai pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Pd T-14-2003 (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003), diperoleh nilai sebesar 42%.

Selanjutnya tebal pelat beton yang dipergunakan dalam desain, diperoleh dengan menganalisis kekuatan pelat beton taksiran fatik dan faktor erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu-lintas selama umur rencana. Tebal pelat beton yang terpilih adalah tebal taksiran yang paling kecil mempunyai nilai total fatik dan atau total kerusakan erosi lebih kecil atau sama dengan 100%. Analisis proporsi beban sumbu ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisis Proporsi Beban

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)	Jml sumbu	STRT	STRG	STdRG
-----------------	-------------------------------	-----------	------	------	-------

	Konfi- gurasi Sumbu	RD	RB	RG D	RGB	Jml. u per Kend (bh)	Jml. Sumb u (bh)	BS	JS	BS	JS	BS	JS
(1)	(2)	(3)			(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Minibus (5a)	1.2	3	5			315	2	630	3	315	5	315	
Micro truck (6.2)	1.2	2	4			604	2	1.208	2	604			
Truck 2 sumbu- sedang (7.2)	1.2	5	8			193	2	386	5	193	8	193	
Total								2.224		1.716		508	
Proporsi Sumbu (%)										77,16		22,84	

Sumber: Analisis Data, 2020

Keterangan:

(6) = (4) x (5); RD = roda depan; RB = roda belakang; RGD = roda gandeng depan; RGB = roda gandeng belakang; BS = beban sumbu (ton); JS = jumlah sumbu (buah); STRT = sumbu tunggal roda tunggal; STRG = sumbu tunggal roda ganda; STdRG = sumbu tandem roda ganda.

Berikutnya dilaksanakan perhitungan analisis repetisi beban rencana. Proses analisis repetisi beban rencana ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Analisis Repetisi Beban

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	Lalu lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
STRT	5	193	0,11	77,16%	14.152.913,26	1.201.242,67
	4	604	0,35	77,16%	14.152.913,26	3.822.135,75
	3	315	0,19	77,16%	14.152.913,26	2.074.873,70
	2	604	0,35	77,16%	14.152.913,26	3.822.135,75
Total		1.716				
STRG	8	193	0,38	22,84%	14.152.913,26	1.228.359,65
	5	315	0,62	22,84%	14.152.913,26	2.004.165,74
Total		508				
Komulatif						14.152.913,26

Sumber: Analisis Data, 2020

Keterangan: (4) = [(3)/Total tiap jenis sumbu]; (7) = (4) x (5) x (6)

Hasil analisis repetisi beban seperti ditampilkan pada Tabel 8, dijadikan dasar dalam analisis fatik dan analisis erosi seperti ditampilkan pada Tabel 9. Perkerasan kaku ini didesain tanpa bahu beton tetapi menggunakan ruji/beton bertulang, dan tebal pelat beton taksiran

sebesar 280 mm. Untuk analisis beban rencana per roda, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}) untuk jalan dengan volume kendaraan niaga rendah dengan nilai sebesar 1,0 (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2003).

Tabel 9. Analisis Fatik dan Analisis Erosi untuk Ketebalan Pelat Taksiran 280 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu ton (kN)	Beban Rencana Per Roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi			Analisis Fatik		Analisis Erosi	
				TE	FE	FRT	Repetisi Izin	Persen Rusak (%)	Repetisi Izin	Persen Rusak (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
STRT	5 (50)	25	1.201.242,67	0,56	1,76	0,14	TT	0	TT	0
	4 (40)	20	3.822.135,75				TT	0	TT	0
	3 (30)	15	2.074.873,70				TT	0	TT	0
	2 (20)	10	3.822.135,75				TT	0	TT	0
STRG	8 (80)	20	1.228.359,65	0,92	2,36	0,23	TT	0	TT	0
	5 (50)	12.5	2.004.165,74				TT	0	TT	0
Total							0 < 100%		0 < 100%	

Sumber: Analisis Data, 2020

Keterangan: (3) = (2)/Jumlah roda tiap sumbu; (7) = (5)/ f_{cr} ; (9) = (4) x 100%/(8); nilai (5), (6), (8), dan (10) diperoleh dari Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003)(Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003); TE = tegangan ekuivalen; FE = faktor erosi; FRT = faktor rasio tegangan; TT = tidak terhingga

Hasil analisis fatik dan analisis erosi untuk ketebalan taksiran sebesar 280 mm, menunjukkan ketebalan taksiran tersebut sangat aman untuk menampung beban lalu lintas rencana. Untuk

mendapatkan tebal pelat beton ekonomis, dilakukan lagi analisis dengan ketebalan taksiran 170 mm, seperti ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Analisis Fatik dan Analisis Erosi untuk Ketebalan Pelat Taksiran 170 mm

Jenis Sumbu	Beban Sumbu ton (kN)	Beban Rencana Per Roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi			Analisis Fatik		Analisis Erosi	
				TE	FE	FRT	Repetisi Izin	Persen Rusak (%)	Repetisi Izin	Persen Rusak (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
STRT	5 (50)	25	1.201.242,67	1,04	1,52	0,26	TT	0	TT	0
	4 (40)	20	3.822.135,75				TT	0	TT	0
	3 (30)	15	2.074.873,70				TT	0	TT	0
	2 (20)	10	3.822.135,75				TT	0	TT	0
STRG	8 (80)	20	1.228.359,65	1,93	2,52	0,48	6.000.000	20,47	TT	0
	5 (50)	12.5	2.004.165,74				TT	0	TT	0
Total							20,47 < 100%		12,28 < 100%	

Sumber: Analisis Data, 2020

Hasil analisis dengan ketebalan taksiran 170 mm, menunjukkan hasil yang memadai untuk menampung beban rencana. MDPJ 2017 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017), merekomendasikan tebal pelat beton perkerasan kaku dengan beban lalu lintas rendah, tanpa bahu pelat beton (tied shoulder), menggunakan lapis pondasi drainase Agregat kelas A tebal 150 mm, dan dapat diakses oleh truk, dengan ketebalan sebesar 180 mm. Data awal LHR menampilkan adanya komposisi kendaraan micro truck (6.2) dan truck 2

sumbu-sedang (7.2), sehingga tebal pelat beton rencana digunakan ketebalan 180 mm.

b. Metode AASHTO 1993

Desain tebal perkerasan kaku menggunakan metode AASHTO 1993 ini dimulai dengan menghitung volume lalu lintas rancangan (W_{18}) pada akhir umur rencana sesuai Persamaan (4), selanjutnya ditetapkan nilai parameter *reliability* (R), deviasi standar normal (Z_R), standar deviasi keseluruhan (S_o), analisis kehilangan kemampuan

pelayanan (Δ PSI), analisis nilai k, hingga diperoleh tebal pelat beton rencana. Analisis lalu lintas rancangan menggunakan data dan parameter sama dengan yang digunakan pada metode

MDPJ 2017 menghasilkan nilai *Equivalent Single Axle Load (ESAL)* yang digunakan dalam tahapan desain berikutnya. Proses analisis ESAL sebagaimana disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Analisis Equivalent Single Axle Load (ESAL)

Jenis Kendaraan	LHR ₍₂₀₂₂₋₂₀₄₂₎	VDF	$\frac{LHR_{(2022-2042)} \times VDF}{VDF}$	DD	DL	W ₁₈
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Minibus (5a)	10.112	0.3	3.034	0.5	1	553.651
Micro truck (6.2)	19.390	0.8	15.512	0.5	1	2.830.942
Truck 2 sumbu-sedang (7.2)	6.196	1.6	9.913	0.5	1	1.809.178
Jumlah Lalu Lintas pada lajur rencana (W ₁₈)						5.193.771

Sumber: Analisis Data, 2020

Keterangan: (2) = Data LHR Tahun 2022 pada Tabel 4 x (R₍₂₀₂₂₋₂₀₄₂₎) = $[(1+0,01 \times 5,5)^{19-1}]/(0,01 \times 5,5) = 32$; (4) = (2) x (3); (7) = (4) x (5) x (6) x 365

Selanjutnya, dengan nilai *traffic design* (W₁₈) yang diperoleh menjadi salah satu parameter analisis tebal pelat beton

perkerasan kaku, bersama parameter lainnya seperti disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Parameter Analisis Tebal Pelat Beton Perkerasan Kaku

Parameter	Nilai parameter desain	Keterangan
Umur rencana	20 tahun	Umumnya umur rencana perkerasan kaku ditetapkan 40 tahun, namun dalam studi dipergunakan umur rencana 20 tahun
Beban lalu lintas, ESAL (W ₁₈)	5.193.771	Hasil analisis ESAL seperti disajikan pada Tabel 11
Terminal serviceability (Pt)	2,0	2,0 - 3,0 (nilai Pt = 2,0 untuk jalan lalu lintas rendah, Pt = 2,5 untuk jalan utama (major highway), diambil dari AASHTO 1993 hal. II-10)
Initial serviceability (Po)	4,5	4,5 (nilai pelayanan awal, diambil dari AASHTO 1993 hal. II-10)
Serviceability loss (Δ PSI)	2,5	Total loss of serviceability (Δ PSI = P _o - P _t)
Reliability (R)	80%	75% -99,9% (diambil dari AASHTO 1993 hal. II-9, nilai R untuk jalan lokal luar kota berada pada nilai: 50-80)
Standar deviasi normal (Z _R)	-0,841	-0,674 s/d -1,645 (diambil dari AASHTO 1993 hal. I-62, nilai Z _R berkorelasi dengan nilai R)
Standar deviasi keseluruhan (So)	0,37	0,30 - 0,40 (diambil dari AASHTO 1993 hal. I-62, disarankan nilai 0,37 atau 0,38)
Modulus reaksi tanah dasar (k)	160	Berdasar nilai CBR = 6% (CV. Menara Konsultan, 2019), menggunakan hubungan nilai CBR dengan k diambil dari Buku Teknik Jalan Raya Edisi Kemeptta Jilid 2 (terjemahan) (Oglesby dan Hicks, 1982)
Modulus elasitas beton (Ec)	3.723.326,21 psi	Berdasar: f'c = 300 kg/cm ² (4.267 psi), dihitung dengan formula Ec = 57.000 $\sqrt{f'c}$
Kuat tarik lentur (Sc)	640 psi	Berdasar: S'c = 45 kg/cm ²
Koefisien drainase (Cd)	1,10	0,70 - 1,25 (diambil dari AASHTO 1993 hal II-26)
Koefisien transfer beban (J)	2.7	2,50 - 3,10 (diambil dari AASHTO 1992 hal II-26)

Sumber: Analisis Data, 2020

Dengan menggunakan data-data pada Tabel 12, yang disubstitusikan kedalam Persamaan (5), kemudian dianalisis secara *trial and error* untuk mendapatkan tebal perkerasan rencana sebesar 6,60

inci atau 167,64 mm, dibulatkan menjadi 170 mm. Lapis pondasi direncanakan menggunakan beton kurus (*Lean Mix Concrete, LMC*) setebal 100 mm dan mutu beton f'c 10 MPa, serta

lapis pondasi drainase agregat kelas A setebal 150 mm.

c. Komparasi Hasil Analisis Metode MDPJ 2017 dengan Metode AASHTO 1993

Hasil desain menggunakan metode MDPJ 2017 mendapatkan tebal pelat beton sebesar 170 mm, dan kemudian disesuaikan menjadi 180 mm, sedangkan hasil desain dengan menggunakan metode AASHTO 1993 diperoleh tebal pelat sebesar 167,64 mm, dan dibulatkan menjadi 170 mm. Terdapat selisih tebal pelat sebelum dibulatkan sebesar 2,36 mm atau sebesar 1,4%. Perbedaan hasil analisis kedua metode ini relatif kecil, meskipun parameter yang digunakan kedua metode terdapat beberapa perbedaan, seperti penentuan tebal pelat beton. Pada metode MDPJ 2017, menggunakan dimensi yang telah ditetapkan secara tabelaris dengan nilai bulat dan rentang ketebalan 150 mm hingga 350 mm, dengan variasi ketebalan bertambah 10 mm setiap tingkatan ketebalan taksiran. Pada metode AASHTO 1993, ketebalan tidak diberikan rentang tetapi diperoleh dengan cara *trial and error* kedalam persamaan hingga mencapai keseimbangan, sehingga dimungkinkan memperoleh besaran tebal pelat yang tidak bulat.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Tebal pelat beton perkerasan kaku hasil analisis dengan metode MDPJ 2017, diperoleh setebal 170 mm, dan kemudian dibulatkan menjadi 180 mm, mengacu pada kriteria beban lalu lintas rendah, tanpa bahu pelat beton (*tied shoulder*), dan dapat diakses oleh truk ((Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). Tebal pelat beton hasil analisis dengan metode AASHTO 1993 diperoleh dengan ketebalan sebesar 167,64 mm, dan dibulatkan menjadi 170 mm.
2. Masing-masing didesain menggunakan lapis pondasi beton kurus (*Lean Mix Concrete, LMC*)

setebal 100 mm dan mutu beton f'c 10 MPa, serta lapis pondasi drainase agregat kelas A setebal 150 mm.

3. Perbedaan hasil pada kedua metode relatif kecil (1,4%), meskipun terdapat perbedaan beberapa parameter, tetapi tidak berpengaruh secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993*. Washington, D.C: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ardiansyah, R., & Sudibyo, T. (2020). Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Lajur Pengganti pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Elevated. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(1), 17-30. <https://doi.org/10.29244/jsil.5.1.17-30>
- Bakri, M. D. (2020). Analisis Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 (Studi Kasus pada Pembangunan Jalan Lingkungan Baru Dalam Kawasan Kampus Universitas Borneo Tarakan). *Jurnal Teknik Sipil, Borneo Engineering*, 4(1), 30-44.
- CV. Menara Konsultan. (2019). *Laporan Hasil Perencanaan Jalan Lingkungan Dalam Kawasan Kampus Universitas Borneo Tarakan Tahun 2019* (p. 90). p. 90. Tarakan: Bagian Perencanaan BPK2U Universitas Borneo Tarakan.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2003). *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003)* (p. 51). p. 51. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Republik Indonesia.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). *Pedoman Survei Pencacahan Lalu Lintas dengan Cara Manual (Pd T-19-2004-B)* (p. 36). p. 36. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Republik Indonesia.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, K.

- (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi 2017) Nomor. 02/M/BM/2017*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Kemen PUPERA.
- Dumin, L., Liem, F. N., & Maridi, A. S. S. (2017). Komparasi Hasil Perencanaan Rigid Pavement Menggunakan Metode AASHTO '93 Dan Metode Pd T-14-2003 Pada Ruas Jalan W. J. Lalamentik Kota Kupang. *JUTEKS (Jurnal Teknik Sipil)*, 2(2), 124-128. <https://doi.org/DOI> prefix: 10.32511
- Hendarsin, S. L. T. (2000). *Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya (Pertama)*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung-Jurusan Teknik Sipil.
- Irawan, S. R., Subagio, B. S., Hariyadi, E. S., & Gerardo, F. (2017). Evaluasi Struktural Perkerasan Kaku Menggunakan Metoda AASHTO 1993 dan Metoda AUSTRROADS 2011 Studi Kasus: Jalan Cakung-Cilincing. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 24(2), 173-182. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.2.9>
- Isnaini, A. Y., Suparma, L. B., & Utomo, S. H. T. (2019). Perancangan Perkerasan Jalan Lingkar Kota Kabupaten Wonogiri. *Jurnal HPJI*, 5(2), 119-128. <https://doi.org/10.26593/jh.v5i2.3372.119-128>
- Kurniawan, A., Winarto, S., & Cahyo SP, Y. (2019). Studi Perencanaan Peningkatan Jalan Pada Ruas Jalan Jalur Lintas Selatan Giriwoyo-Duwet STA. 10+000 - STA. 15+000. *JURMATEKS*, 2(1), 39-50. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v2i1.390>
- Nawir, D., & Mansur, A. Z. (2017). *Rancangan Perkerasan Jalan (Pertama)*. Makassar: Rinra Publishing.
- Oglesby, C. H., & Hicks, R. G. (1982). *Teknik Jalan Raya (terjemahan)* (Keempat Ji; P. W. Indarto, Ed.). Jakarta: Erlangga.
- Putranto, Y. P., Ridwanyah, A. M., Djakfar, L., & K, R. (2016). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Ruas Jalan Tol Karanganyar - Solo. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawiwa*, 2(1), 504-523. Retrieved from <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/issue/view/12>
- Setiawan, A. B. (2017). *Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Dengan Menggunakan Metode AASHTO 1993 Dan Metode Bina Marga Pada Bahu Jalan Tol Gempol - Pasuruan Seksi A1 (STA 0+000 - STA 6+800)* (Universitas Muhammadiyah Malang). Retrieved from <http://eprints.umm.ac.id/id/eprint/35390>
- Siegfried, S., & Rosyidi, S. A. P. (2007). *Deskripsi Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Metode AASHTO 1993* (p. 6). p. 6. Retrieved from <https://labtransportumy.files.wordpress.com/2007/11/web-publishnarasi-%0Aaashto93.pdf>
- Vinna, A. D., Prihutomo, N. B., & Pramono, E. (2019). Analisis Tebal Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993 dan Metode Bina Marga 2017 Serta Biaya Pelaksanaan (Studi Kasus Proyek Jalan Tol Cinere-Serpong Seksi 1). *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*, 496-506. Jakarta.