

ANALISIS PERBEDAAN STRUKTUR PERKERASAN JALAN MENGUNAKAN BEBAN SUMBU STANDAR DAN BEBAN SUMBU RIIL

Aburizal Abdul Rahman¹, Aji Suraji^{2*}, Mohammad Cakrawala³

¹Konsultan Pengawas Jalan Nasional

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

*Email Korespondensi: ajisuraji@widyagama.ac.id

ABSTRAK

Perkerasan dan Struktur perkerasan merupakan struktur yang terdiri dari satu atau beberapa lapis perkerasan dari bahan-bahan yang diproses, dimana fungsinya untuk mendukung berat dari beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri. Sehingga diadakannya penelitian mengenai perbandingan metode Pt T-01-2002-B dan metode MDP 2017 guna mencari struktur perkerasan yang baik dengan biaya yang se efisien mungkin. Dalam penelitiannya dilakukan perbandingan berdasarkan pencarian nilai angka ekuivalen dengan beban sumbu terberat 10 ton berdasarkan Pt T-01-2002-B dan tabel VDF (Vehicle Damage Factor) berdasarkan metode MDP 2017, hasil angka ekuivalen tersebut kemudian dikalikan dengan LHR dan beberapa factor pengali untuk mendapatkan nilai CESA (Cumulative Equivalent Standar Axle Load). Hasil dari nilai CESA, Reliability (R), Overall Standard Deviation (SO), Modulus Resilin efektif (MR) dan Design Serviceability (Δ PSI) dimasukkan dalam tabel nomogram sehingga struktur perkerasan yang didapatkan untuk lapis permukaan sebesar 10 cm, lapis fondasi atas bersemen sebesar 7 cm, dan lapis fondasi bawah sebesar 15 cm. Pada metode MDP 2017 nilai VDF dikalikan LHR dan beberapa factor pengali untuk mendapat nilai CESA⁵, hasil CESA⁵ dicocokkan dalam tabel untuk mendapatkan desain perkerasan lentur untuk opsi minimum yaitu AC WC sebesar 5 cm, AC BC sebesar 6 cm, AC BC base sebesar 22 cm, fondasi agregat kelas A sebesar 15 cm dan urukan pilihan sebesar 35 cm. Sedangkan untuk biayanya berdasarkan metode Pt T-01-2002-B didapati sebesar Rp 3.693.307.000,- dan metode MDP 2017 didapati sebesar Rp 8.940.235.000,-.

Kata kunci : Struktur Perkerasan, Perkerasan Lentur, CESA, Beban Sumbu Standar, Beban Sumbu Riil.

ABSTRACT

Pavement and Pavement structure is a structure consisting of one or more layers of pavement of processed materials, which functions to support the weight of the traffic load without inflicting significant damage to the construction of the road itself. So that the research was conducted on the comparison of Pt T-01-2002-B method and MDP 2017 method in order to find a good pavement structure at the most efficient cost. In his research, a comparison was conducted based on the search for equivalent number values with the heaviest axis load of 10 tons based on Pt T-01-2002-B and VDF (Vehicle Damage Factor) table based on MDP 2017 method, the result of the equivalent figure was then multiplied by LHR and several multiplier factors to obtain CESA (Equivalent Cumulative Standard Axle Load) value. The results of CESA, Reliability (R), Overall Standard Deviation (SO), Effective Recital Modulus (MR) and Design Serviceability (Δ PSI) are included in the nomogram table so that the pavement structure obtained for the surface layer is 10 cm, the upper foundation layer is 7 cm, and the bottom foundation layer is 15 cm. In the MDP 2017 method the VDF value is multiplied by LHR and several multiplier factors to get the CESA⁵ value, the CESA⁵ results are matched in the table to get a flexible pavement design for the minimum option which is AC WC of 5 cm, AC BC of 6 cm, AC BC base of 22 cm, aggregate foundation of class A of 15 cm and urukan option of 35 cm. As for the cost based on the method of Pt T-01-2002-B was found at Rp 3,693,307,000, - and the MDP method in 2017 was found at Rp 8,940,235,000,-.

Keywords : Pavement Structure, Flexible Pavement, CESA, Standard Axle Load, Actual Axis Load.

1. PENDAHULUAN

Perkerasan dan struktur perkerasan merupakan struktur yang terdiri dari satu atau beberapa lapis perkerasan dari bahan-bahan yang diproses, dimana fungsinya untuk mendukung berat dari beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri. Struktur perkerasan sendiri sudah memiliki banyak penelitian seperti penelitian mengenai penggunaan alang-alang sebagai bahan perkerasan [1] dan penelitian mengenai peningkatan nilai modulus untuk perkerasan kaku. [2]. Struktur perkerasan jalan dalam menjalankan fungsinya berkurang sebanding dengan bertambahnya umur perkerasan dan bertambahnya beban lalu lintas yang dipikul dari kondisi awal desain perkerasan tersebut. Kerusakan dini perkerasan jalan disebabkan terdapatnya kendaraan dengan muatan berlebih yang biasanya terjadi pada kendaraan berat. Hal ini menyebabkan banyaknya penelitian mengenai beban berlebih seperti penelitian perencanaan struktur perkerasan dengan menghitung pengaruh beban lebih [3], selain itu ada juga penelitian yang memperhitungkan faktor nilai VDF terhadap beban berlebih [4] dan ada juga penelitian tentang pengamatan kendaraan berat yang melewati ruas jalan Caruban - Ngawi. [5]

Terdapatnya beban berlebih pada jalan disebabkan penyelewengan pengawasan pada jembatan timbang terhadap beban kendaraan yang melintasi jalan. Dampak nyata yang ditimbulkan oleh muatan berlebih adalah kerusakan jalan sebelum periode/umur teknis rencana tercapai. Dampak negatif lain yang timbul dari kelebihan muatan adalah menurunnya tingkat keselamatan, menurunnya tingkat pelayanan lalu-lintas, dan menurunnya kualitas lingkungan. Dalam perencanaan tebal perkerasan banyak metode-metode yang dapat digunakan. Seperti penelitian tentang perbandingan perencanaan struktur perkerasan jalan yang menggunakan beberapa metode bina marga [6] selain itu ada juga penelitian tentang perencanaan tebal perkerasan lentur menggunakan metode pd t-01-2002-b, metode manual desain perkerasan (MDP) dan metode Nottingham [7]. Tetapi dalam perencanaan ini hanya membandingkan beban sumbu standar dan beban sumbu riil. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai CESA (Cumulative Equivalent Standard Axle Load) untuk beban sumbu standar dan beban sumbu riil, untuk menghitung tebal perkerasan untuk kondisi lalu lintas beban sumbu standar dan beban sumbu riil, dan untuk mengetahui perbandingan biaya antara biaya tebal perkerasan beban sumbu standar dan beban sumbu riil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel [8]. Jalan raya adalah jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran-ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat [9]

2.2 Umur Rencana

Berdasarkan Petunjuk Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen [10], dijelaskan bahwa umur rencana adalah jumlah waktu dan tahun dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu diberi lapis permukaan yang baru. Umur rencana adalah jumlah tahun dari saat jalan tersebut dibuka untuk lalu lintas kendaraan sampai diperlukan suatu perbaikan yang bersifat struktural. Umur rencana untuk perkerasan lentur jalan baru umumnya diambil 20 tahun dan untuk peningkatan jalan 10 tahun. Umur rencana yang lebih besar dari 20 tahun tidak lagi ekonomis karena perkembangan lalu lintas yang terlalu besar dan sukar mendapatkan ketelitian yang memadai. Berikut umur rencana perkerasan baru yang dinyatakan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ⁽²⁾	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti : jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	Cement Treated Based (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	minimum 10
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	

2.3 Pemilihan Struktur Perkerasan

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Batasan pada **Tabel 2** tidak mutlak, perencana harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana, keterbatasan dan kepraktisan pelaksanaan. Akan Pemilihan alternatif desain berdasarkan manual ini harus didasarkan pada *discounted lifecycle cost* terendah.

Tabel 2. Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun(pangkat 4 kecuali ditentukan lain				
		0 - 0.5	0.1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR ≥ 2.5 %	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1.2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal > 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1.2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1.2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

2.4 Pertumbuhan Lalu Lintas

Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas (i%) selama masa pelaksanaan dan selama umur rencana. Faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data – data pertumbuhan historis atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid, bila tidak ada maka pada **Tabel 3** digunakan sebagai nilai minimum [11].

Tabel 3. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas

Jenis Jalan	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotan	4.80	4.83	5.14	4.75
Kolektor rural	3.50	3.50	3.50	3.5
Jalan desa	1.00	1.00	1.00	1.00

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

Dimana:

- R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
 i = tingkat pertumbuhan tahunan (%)
 UR = umur rencana (tahun)

2.5 Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL) didasarkan pada jumlah lajur di setiap arah dan ditampilkan pada **Tabel 4** berikut ini.

Tabel 4. Faktor Distribusi Lajur

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

2.6 Beban Sumbu Standar (Standard Axle Load)

Perencanaan perkerasan jalan di dasarkan pada beban sumbu standar yang telah ditetapkan. Bina Marga dan Kemenhub telah memberikan pedoman bahwa untuk jalan arteri primer yang merupakan jalan nasional menggunakan Muatan Sumbu Terberat (MST) beban sumbu standar 10 ton.

$$\text{Angka Ekiivalen} = K \left(\frac{P}{10} \right)^4 \dots\dots\dots (2)$$

Dengan :

- P : Beban Sumbu Kendaraan (ton)
 K : 1 untuk sumbu tunggal
 0,086 untuk sumbu tandem
 0,0148 untuk sumbu triple

2.7 Faktor Ekiivalen Beban (Vehicle Damage Faktor)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekiivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana dengan nilai Faktor Ekiivalen Beban (VDF) ditampilkan pada **Tabel 5**.

2.8 Cumulative Equivalent Single Axle (CESA)

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESA) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana. Jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain ini diperoleh dengan mengalikan lintasan sumbu standar ekiivalen dengan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas selama satu tahun atau 365 hari. Nilai *Cumulative Equivalent Single Axle Load*, dapat dihitung dengan menggunakan berbagai rumus. Namun dalam penelitian ini nilai CESA (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*) dihitung dengan 2 metode yaitu Pt T-01-2002-B & MDP 2017 [12], kedua metode memiliki rumus umum sebagai berikut :

❖ Metode Pt T-01-2002-B

$$ESA = LHR \times \text{Angka ekiivalen} \times DD \times DL \times 365 \dots\dots\dots (3)$$

$$CESA = \frac{ESA \times ((1 + g)^n - 1)}{g} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- ESA : Lintasan sumbu standar ekuivalen untuk 1 tahun.
 LHR : Lintas harian rata – rata tahunan untuk jenis kendaraan tertentu.
 CESA : Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.
 DD : Faktor distribusi arah.
 DL : Faktor distribusi lajur.
 g : Perkembangan lalu lintas (%).
 n : Umur pelayanan (tahun).

❖ Metode MDP 2017

$$ESA = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots\dots\dots (5)$$

$$CESA = \sum ESA \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

- ESA : Lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle load*) untuk 1 (satu) hari.
 VDF_{JK} : *Vehicle Damage Factor* (Perkiraan faktor ekivalen beban) per jenis kendaraan
 LHR : Lintas harian rata – rata tahunan untuk jenis kendaraan tertentu
 CESA : Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana
 R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
 DD : Faktor distribusi arah
 DL : Faktor distribusi lajur

Tabel 5. Nilai VDF masing-masing jenis kendaraan niaga

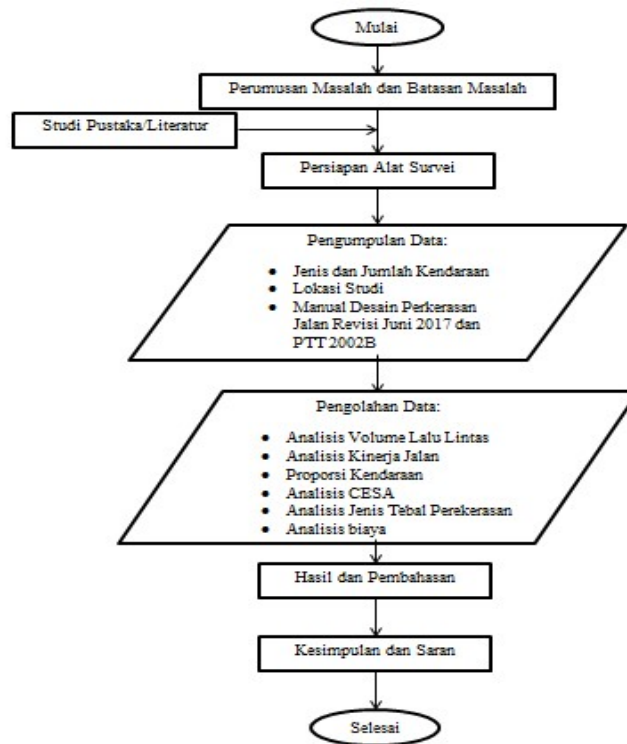
	Jenis Kendaraan	Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan ¹ yang diangkut	Kelompok Sumbu	Faktor Equivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
	Klasifikasi Lama					VDF ₄ Pangkat ⁴	VDF ₅ Pangkat ⁵
KENDARAAN NIAGA	1	Sepeda motor	1.1		2		
	2,3,4	Sedan/ angkut/pickup/station wagon	1.1		2		
	5a	Bus kecil	1.2		2	0.30	0.2
	5b	Bus Besar	1.2		2	1	1
	6a.1	Truk 2 sumbu-Cargo ringan	1.1	Muatan umum	2	0.3	0.2
	6a.2	Truk 2 sumbu-ringan	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2	0.8	0.8
	6b1.1	Truk 2 sumbu-Cargo sedang	1.2	Muatan umum	2	0.7	0.7
	6b1.2	Truk 2 sumbu-sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2	1.6	1.7
	6b2.1	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Muatan umum	2	0.9	0.8
	6b2.2	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2	7.3	11.2
	7a1	Truk 3 sumbu-ringan	1.22	Muatan umum	3	7.6	11.2
	7a2	Truk 3 sumbu-sedang	1.22	Tanah, pasir, besi, semen	3	28.1	64.4
	7a3	Truk 3 sumbu-berat	1.1.2		3	28.9	62.2
	7b	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	36.9	90.4
	7c1	Truk 4 sumbu-trailer	1.2-22		4	13.6	24
	7c2.1	Truk 5 sumbu-trailer	1.22-22		5	19	33.2
	7c2.2	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-222		5	30.3	69.7
	7c3	Truk 6 sumbu-trailer	1.22-222		6	41.6	93.7

Catatan :Data didasarkan pada survey beban lalu lintas Arteri Pulau Jawa – 2011. Lihat hasil survey WIM 2011 untuk informasi lebih lanjut

3. METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Dalam Analisis Perkerasan Jalan Pada Tanah Lunak Di Ruas Jalan Caruban - Ngawi Jawa Timur ini melalui beberapa tahapan. Alur dari tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3.2. Persiapan Alat-Alat Survey

Dalam tahap persiapan penelitian untuk kegiatan Studi Karakteristik Lintas Jalan pada Ruas Caruban - Ngawi perlu adanya peralatan survei yang menunjang dalam pelaksanaan pengumpulan data, diantaranya adalah:

1. Rompi Survei, bermanfaat sebagai pengaman surveyor dari arus kendaraan pada saat melaksanakan survei.
2. Odometer, bermanfaat sebagai alat bantu dalam mengukur panjang lajur, bahu, trotoar dan lain sebagainya dalam sebuah ruas jalan.
3. Meteran, bermanfaat sebagai alat bantu ukur pada ruas jalan.
4. Foam Survei Lapangan, Bermanfaat sebagai media pencatatan hasil survei lapangan.
5. Kamera Foto dan Kamera Video, bermanfaat sebagai dokumentasi hasil survei lapangan .
6. Counter, bermanfaat sebagai media bantu dalam penghitungan kendaraan.
7. Mobil, bermanfaat sebagai salah satu penunjang kegiatan survei.
8. Jam tangan, bermanfaat sebagai alat bantu pergantian waktu pada saat melaksanakan survei perhitungan kendaraan dapat diketahui.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Proporsi Lalu Lintas

Proporsi jumlah kendaraan untuk masing-masing jenis kendaraan telah dihitung dengan hasil sebagaimana terdapat pada **Tabel 6**.

4.2. Analisis Kumulatif Beban Sumbu Standar (CESA)

- 1) Angka Ekuivalen.

Angka ekuivalen beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal/ganda kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh satu lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton. Nilai angka ekuivalen beban sumbu didapat melalui dua cara yaitu perhitungan

dengan rumus dan didapat dari tabel. Tabel nilai angka ekivalen beban sumbu dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Contoh perhitungan angka ekivalen : Bus Besar (1.2) dengan muatan sumbu terberat 9 ton :

$$\begin{aligned} \text{Angka Ekivalen} &= K \left(\frac{P}{10} \right)^4 \\ &= \left(\frac{3,06}{10} \right)^4 + \left(\frac{5,94}{10} \right)^4 \\ &= 0.133 \end{aligned}$$

Truck 4 Sumbu Trailer (1.2-22) dengan muatan sumbu terberat 32 ton :

$$\begin{aligned} \text{Angka Ekivalen} &= K \left(\frac{P}{10} \right)^4 \\ &= \left(\frac{5,76}{10} \right)^4 + \left(\frac{8,96}{10} \right)^4 + 0.086 \left(\frac{17,28}{10} \right)^4 = 1,52 \end{aligned}$$

Tabel 6. Lintas Harian Rata-rata

Golongan Kendaraan	Jenis Kendaraan	LHR (Kend/hari) Caruban-Ngawi	LHR (Kend/hari) Ngawi-Caruban	LHR 2 Arah (2018) (Kend/hari)
1	Sepeda Motor	3307	3386	6693
2	Kendaraan Pribadi	2085	1390	3475
3	Angkot	353	203	556
4	Pik Up	248	202	450
5a	Bus Kecil	136	99	235
5b	Bus Besar	138	128	266
6a.1	Truk 2 Sumbu-Cargo Ringan (Kosong)	147	128	275
	Truk 2 Sumbu-Cargo Ringan (Isi)	141	139	280
6a.2	Truk 2 Sumbu-Ringan (Kosong)	117	174	291
	Truk 2 Sumbu-Ringan (isi)	165	167	332
6b.1	Truk 2 Sumbu-cargo (Kosong)	94	112	206
6b.1.1	Truk 2 Sumbu-cargo (Isi Ringan)	102	105	207
6b.1.2	Truk 2 Sumbu-cargo (Isi Sederajat)	107	101	208
6b.2	Truk 2 Sumbu-Berat (Kosong)	83	97	180
6b.2.1	Truk 2 Sumbu-Berat (Isi Ringan)	103	93	196
6b.2.2	Truk 2 Sumbu-Berat (Isi Berat)	110	115	225
7a	Truk 3 Sumbu (Kosong)	88	92	180
7a1	Truk 3 Sumbu (Isi Ringan)	84	91	175
7a2	Truk 3 Sumbu (Isi Sedang)	86	88	174
7a3	Truk 3 Sumbu (Isi Berat)	93	99	192
	Truk Tangky Gandeng (Kosong)	59	69	128
	Truk Tangky Gandeng (Isi)	72	79	151
7c1	Truk 4 Sumbu Trailer (Kosong)	65	72	137
	Truk 4 Sumbu Trailer (Isi)	74	79	153
7c2.1	Truk 5 Sumbu Trailer (Kosong)	75	71	146
	Truk 5 Sumbu Trailer (Isi)	75	70	145
7c2.2	Truk 5 Sumbu Trailer (Kosong)	58	65	123
	Truk 5 Sumbu Trailer (Isi)	67	66	133
7c3	Truk 6 Sumbu Trailer (Kosong)	56	57	113
	Truk 6 Sumbu Trailer (Isi)	64	57	121

2) Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Untuk menghitung faktor pengali pertumbuhan lalu lintas pada penelitian ini, tingkat pertumbuhannya diambil 4,8 karena daerah penelitiannya berada di pulau jawa dan juga menggunakan umur rencana 20 tahun sehingga :

$$\begin{aligned} R &= \frac{(1 + 0,01 \times 4,8)^{20} - 1}{0,01 \times 48} \\ R &= \frac{1,55}{0,05} \\ R &= 32,38 \end{aligned}$$

Parameter perhitungan nilai CESA berdasarkan metode Pt T 01-2002-B:

Faktor Distribusi Arah : 0,5
Perkembangan Lalu Lintas : 4,8%

Faktor Distribusi Lajur : 1
 Umur Pelayanan : 20 Tahun
 1 Tahun : 365 Hari

Contoh perhitungan nilai CESA (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*) berdasarkan metode Pt T-01-2002-B sebagai berikut :

LHR kendaraan ringan (1.1) : 4481 Kend/Hari

Angka Ekvivalen untuk kendaraan ringan : 0,0002

$$ESA_{pertahun} = LHR \times Angka\ ekvivalen \times DD \times DL \times 365$$

$$= 4481 \times 0,0002 \times 0,5 \times 1 \times 365$$

$$= 163,56$$

$$CESA = \frac{ESA \times ((1 + g)^n - 1)}{g}$$

$$= \frac{163,56 \times ((1 + 4,8)^{20} - 1)}{4,8}$$

$$= 5295,24$$

Untuk lebih jelasnya, nilai CESA selain didapat dari perhitungan juga dapat diambil melalui tabel perhitungan CESA yaitu pada **Tabel 8**.

Tabel 7. Angka Ekvivalen Beban Sumbu

Jenis Kendaraan	Uraian		Konfigurasi Sumbu	Beban per Sumbu		Muatan Sumbu Terberat (TON)	Angka Ekvivalen		
2,3,4	Kendaraan Ringan		1.1	1	1	2	0.0002		
5a	Bus		1.2	2.822	5.478	8.3	0.0964		
5B	Bus Besar		1.2	3.06	5.94	9	0.1333		
6a.1	Truck 2 Sumbu- Cargo ringan (Kosong)		1.1	0.75	0.75	1.5	0.0001		
	Truck 2 Sumbu- Cargo ringan (Isi)		1.1	2.55	2.55	5.1	0.0085		
6a.2	Truck 2 Sumbu- ringan (Kosong)		1.2	0.782	1.518	2.3	0.0006		
	Truck 2 Sumbu-ringan (Isi)		1.2	2.55	4.95	7.5	0.0643		
6b	6b.1	Truck 2 Sumbu- Cargo sedang (Kosong)	1.2	0.85	1.65	2.5	0.0008		
	6b1.1	Truck 2 Sumbu- Cargo sedang (Muatan Umum)	1.2	2.04	3.84	6	0.0235		
	6b1.2	Truck 2 Sumbu- Cargo sedang (Muatan Berat)	1.2	2.72	5.28	8	0.0832		
	6b.2	Truck 2 Sumbu- Berat (Kosong)	1.2	1.36	2.64	4	0.0052		
	6b2.1	Truck 2 Sumbu- Berat(Muatan Umum)	1.2	3.06	5.76	9	0.1188		
	6b2.2	Truck 2 Sumbu - Berat(Muatan Berat)	1.2	4.76	9.24	14	0.7803		
7a	7a.1	Truck 3 Sumbu- Muatan Umum (Kosong)	1.22	1.8	5.4	7.2	0.0270		
	7a1	Truck 3 Sumbu- Muatan Umum (Ringan)	1.22	4.05	12.15	16.2	0.2143		
	7a2	Truck 3 Sumbu - Muatan Umum (Sedang)	1.22	5.5	16.5	22	0.7289		
	7a3	Truck 3 Sumbu (Berat)	1.22	6.25	18.75	25	1.2155		
7b	Truk / Truck Tangki Gandeng (Kosong)		1.2-2.2	1.15	1.8	1.7	2	6.4	0.0030
	Truk / Truck Tangki Gandeng (Isi)		1.2-2.2	5.65	8.8	8.5	8	31.4	1.7328
7c	7c1.1	Truk 4 Sumbu Trailer (Kosong)	1.2-22	1.8	2.8	5.4	10	0.0145	
		Truk 4 Sumbu Trailer (Isi)	1.2-22	5.76	9	17.28	32	1.5214	
	7c2.1	Truk 5 Sumbu Trailer (Kosong)	1.22-22	2.34	5.3	5.33	13	0.0169	
		Truk 5 Sumbu Trailer (Isi)	1.22-22	5.76	13	13.12	32	0.6197	
	7c2.2	Truk 5 Sumbu Trailer (Kosong)	1.2-222	3.6	5.6	10.8	20	0.1353	
		Truk 5 Sumbu Trailer (Isi)	1.2-222	8.1	13	24.3	45	3.4670	
	7c3	Truk 6 Sumbu Trailer (Kosong)	1.22-222	3.24	5.9	9.72	18	0.0347	
		Truk 6 Sumbu Trailer (Isi)	1.22-222	7.74	14	21.156	43	0.9957	

Tabel 8. Perhitungan CESA Berdasarkan Pt T 01-2002-B

Jenis Kendaraan	Uraian	DATA LALU LINTAS	ANGKA EKIVALEN	ESA	ESA PER HARI	ESA PER TAHUN	CESA
2,3,4	Kendaraan Ringan	4481.00	0.0002	0.90	0.45	163.56	5295.24
5a	Bus	235.00	0.096	22.65	11.33	4134.05	133842.35
5B	Bus Besar	266.00	0.133	35.45	17.72	6469.15	209442.58
6a1	Truk 2 sumbu-Cargo ringan	555.00	0.01	4.69	2.35	856.54	27730.91
6a2	Truk 2 sumbu-ringan	623.00	0.06	40.04	20.02	7306.83	236562.78
6b1.1	Truk 2 sumbu-Cargo sedang	413.00	0.02	9.70	4.85	1769.38	57284.77
6b1.2	Truk 2 sumbu-sedang	208.00	0.08	17.30	8.65	3158.05	102243.71
6b2.1	Truk 2 sumbu-berat	376.00	0.12	44.68	22.34	8155.01	264023.13
6b2.1	Truk 2 sumbu-berat	225.00	0.78	175.56	87.78	32039.84	1037308.59
7a1	Truk 3 sumbu-ringan	378.00	0.21	81.01	40.51	14784.79	478666.09
7a2	Truk 3 sumbu-sedang	174.00	0.73	126.84	63.42	23147.45	749412.23
7a3	Truk 3 sumbu-berat	192.00	1.22	233.38	116.69	42591.65	1378929.52
7b	penarik 2 sumbu	279.00	1.73	483.45	241.73	88230.47	2856513.06
7c1	Truk 4 sumbu-trailer	290.00	1.52	441.20	220.60	80518.69	2606839.60
7c2.1	Truk 5 sumbu-trailer	291.00	0.62	180.34	90.17	32911.55	1065530.58
7c2.2	Truk 5 sumbu-trailer	256.00	3.47	887.55	443.77	161977.54	5244117.39
7c3	Truk 6 sumbu-trailer	234.00	1.00	232.99	116.49	42520.38	1376622.16
						CESA	17830364.68
							17.83 X 10 ⁶

Parameter perhitungan nilai CESA berdasarkan metode MDP 2017:

Jumlah hari dalam 1 tahun = 365 hari
 Umur rencana = 20 tahun
 Jenis jalan = Arteri
 Faktor pertumbuhan (i) = 4,8 %
 Faktor distribusi arah (DD) = 0,5
 Faktor distribusi lajur (DL) = 1

Contoh perhitungan nilai CESA (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*) berdasarkan metode MDP 2017 sebagai berikut :

LHR bus kecil (1.2) : 235 Kend/Hari

Nilai VDF5 : 0,2

$$\begin{aligned}
 ESA &= (LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times DD \times DL \times 365 \times R \\
 &= (235 \times 0,2) \times 0,5 \times 1 \times 365 \times 32,38 \\
 &= 277701.56
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CESA &= \sum ESA \\
 &= 277701.56
 \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya, nilai CESA (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*) dapat dilihat pada **Tabel 9**.

4.3. Analisis Tebal Perkerasan

1) Tebal perkerasan berdasarkan Pt T-01-2002-B

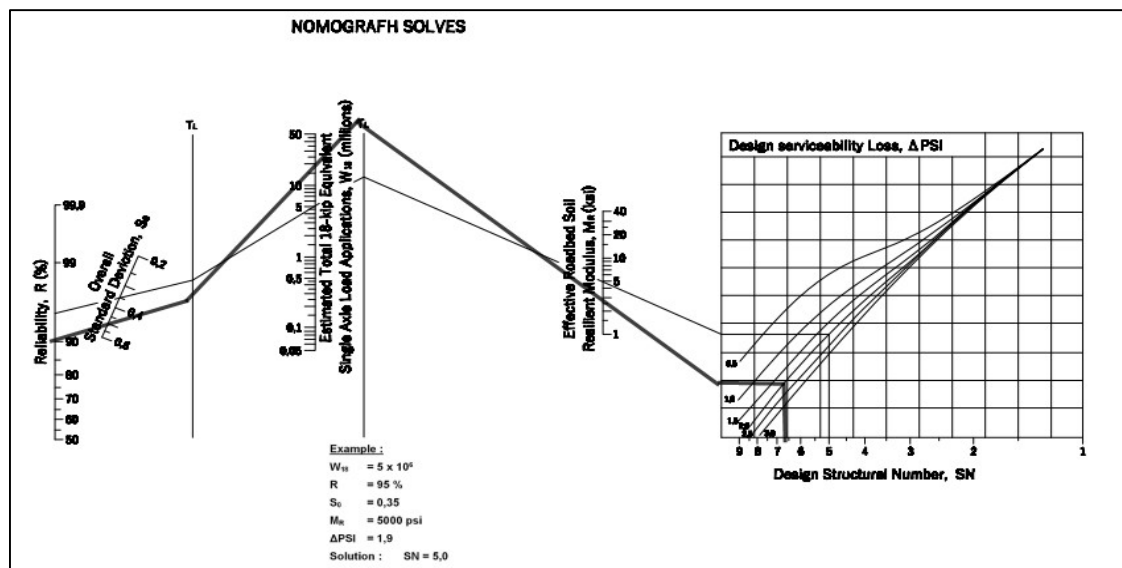
Berdasarkan analisa komponen perkerasan perhitungan yang sudah dilakukan, dirangkum lagi untuk mendapatkan tebal lapisan perkerasan. Salah satu komponen yang perlu diketahui yaitu nilai S_n (*skid number*) atau angka gelincir, dimana nilai S_n didapat dari beberapa komponen data yang di input dalam nomogram pada **Gambar 2** dibawah.

Komponen data perhitungan :

$$\begin{aligned}
 CESA &= 17,83 \times 10^6 \\
 R &= 90 \\
 So &= 0,5 \\
 M_R &= 3390 \text{ psi} \\
 \Delta PSI &= IP_0 - IP_t \\
 &= 4 - 2 = 2
 \end{aligned}$$

Tabel 9. Perhitungan CESA Berdasarkan MDP 2017

GOL.	JENIS KENDARAAN	LHR 2 ARAH		LHR ENDAR/HA	VDF ² Tabel	ESA ³							
		I	II			LHR	x	VDF ³	x	DD	x	DL	x
1.00	Sepeda motor	3307	3386	6693	0.00								
2.00	Mobil pribadi	2085	1390	3475	0.00								
3.00	Angkot, MPU, Mini bus	353	203	556	0.00								
4.00	Pick up, Mobil hantaran	248	202	450	0.00								
5a	Bus kecil	136	99	235	0.20								
5b	Bus besar	138	128	266	1.00								
6a1	Truck 2 sumbu cargo ringan	288	267	555	0.20								
6a2	Truck 2 sumbu ringann	282	341	623	0.80								
6b1.1	Truck 2 sumbu cargo sedang	196	217	413	0.70								
6b1.2	Truck 2 sumbu sedang	107	101	208	1.70								
6b2.1	Truck 2 sumbu berat	186	190	376	0.80								
6b2.1	Truck 2 sumbu berat (tanah, pasir, besi, semen)	110	115	225	11.20								
7a1	Truck 3 sumbu ringan	172	206	378	11.20								
7a2	Truck 3 sumbu sedang	86	88	174	64.40								
7a3	Truck 3 sumbu berat	93	99	192	62.20								
7b	Truck 2 sumbu dan trailer penarik dua sumbu	131	148	279	90.40								
7c1	Truck 4 sumbu trailer	139	151	290	24.00								
7c2.1	Truk 5 sumbu -trailer	150	141	291	33.20								
7c2.2	Truk 5 sumbu -trailer	125	131	256	69.70								
7c3	Truk 6 sumbu-trailer	120	114	234	93.70								
Ket : I = Caruban - Ngawi		CESA5 LAJUR RENCANA				669906574.97							
II = Ngawi - Caruban						669.91 x 10.00 6.00							



Gambar 2. Nomogram untuk perencanaan tebal perkerasan lentur

Dari gambar monogram didapatkan nilai $SN = 6,5$

Untuk Lapis Perkerasan dipakai berdasarkan rencana modulus elastisitas

Laston (a1) = 350000 psi

Lapis Fondasi Bersemen (a2) = 600000 psi

Lapis Fondasi Granular (a3) = 13000 psi

Koefisien kekuatan relative a_i untuk masing-masing lapis perkerasan adalah sebagai berikut:

Aspal Beton (Laston) (a1) = 0,39

Lapis Fondasi Atas Bersemen (a2) = 0,15

Lapis Fondasi Granular (a3) = 0,096

Keterangan: Digunakan tabel untuk mendapatkan tebal minimum lapis permukaan beton aspal dan lapis fondasi [13].

$D1 = 10,16 \text{ cm}$ (Lapis permukaan)

$D3 = 15,24 \text{ cm}$ (Lapis fondasi)

$Sn = a1 \times D1 + a2 \times D2 + a3 \times D3$

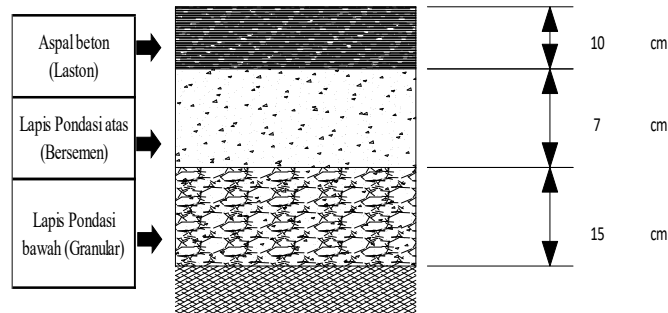
$$6,5 = 0,39 \times 10,16 + 0,15 \times D2$$

$$+ 0,096 \times 15,24$$

$$D2 = \frac{6,5 - 5,425}{0,15}$$

$$D2 = 7,16 \text{ cm}$$

Jadi tebal perkerasan yang digunakan adalah sebagai berikut.



Gambar 3. Tebal perkerasan lentur Berdasarkan Pt T-2002-B

2) Tebal perkerasan berdasarkan MDP 2017

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 9 di atas, dimana perhitungan tersebut untuk menentukan nilai ESA dan CESA, perhitungan diperoleh nilai ESA dari masing-masing jenis kendaraan dan hasil dari masing-masing ESA dijumlahkan untuk mendapatkan CESA adalah $669,91 \times 10^6$. Dengan menggunakan nilai ini, akan diperoleh solusi desain fondasi jalan untuk CESA tersebut. Hal ini akan ditentukan dengan menggunakan Bagan Desain 2, sebagai berikut.

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondas	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (Juta ESA5)			
			< 2	2 - 4	> 4	
			Tebal minimum pebaikan tanah dasar			
≥ 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan spesifikasi umum, devisi 3 - pekerjaan tanah)	Tidak diperlukan peningkatan			300
5	SG5				100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2,5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potential pemuaian > 5%)			400	500	600	Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur
Perkerasan	SG1 ⁽³⁾	Lapis penopang ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1000	1100	1200	
		geogrid ⁽⁴⁾⁽⁵⁾				
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1000	1250	1500	

Berdasarkan Bagan Desain 2 dimana nilai CBR yang diperoleh dari perhitungan adalah sebesar 2,5. Dengan menggunakan nilai CBR yang ada maka diambil Kelas Kekuatan Tanah Dasar adalah SG2,5, Prosedur Desain Fondasi A, Dimana deskripsi struktur fondasi jalan perbaikan tanah dasar meliputi beban stabilisasi kapur atau timbunan pilihan pemadatan berlapis 350 mm tebal lepas.

Langkah selanjutnya adalah menentukan struktur tebal perkerasan masing-masing lapisan. Hal ini akan ditentukan dengan menggunakan Bagan Desain 3, sebagai berikut.

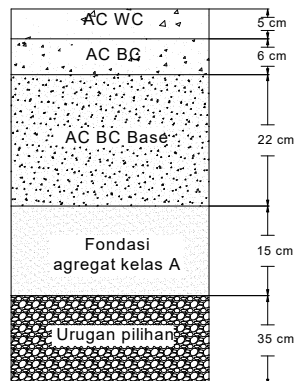
Uraian	F1 ²	F2	F3	F4	F5
	Untuk lalu lintas dibawah 10 juta ESA ⁵ lihat	Lihat bagan desain 4 untuk alternatif perkerasan kaku ³			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA ⁶)	> 10 - 30	>30 - 50	> 50 - 100	>100 - 200	> 200 - 500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis pondasi	Cement Treated base (CTB) (Cement treated base A)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC ⁴	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB ³	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150	150	150

Berdasarkan Tabel nilai CESA₅ yang diperoleh sebesar 669,91 x 10⁶, maka dengan demikian dapat ditentukan struktur perkerasan pada jalan Caruban – Ngawi masuk dalam kategori F5 dimana CESA₅ berada pada struktur perkerasan >200 – 500 x 10⁶.

Dari hasil desain tebal perkerasan di atas maka, diperoleh nilai tebal masing-masing perkerasan sebagai berikut :

Ketebalan lapisan perkerasan (mm)

AC WC	= 50 mm	= 5 cm
AC BC	= 60 mm	= 6 cm
AC BC Base	= 220 mm	= 22 cm
Fondasi Agregat Kelas A	= 150 mm	= 15 cm
urukan Pilihan	= 350 mm	= 35 cm



Gambar 4. Tebal Perkerasan Lentur Berdasarkan MDP 2017

4.4. Analisa Harga Biaya

Berdasarkan tebal perkerasan masing-masing metode, dihitung biaya yang dikeluarkan, di sini saya mengambil bentang perkerasan sejauh 1 km didapatkan nilai rekapitulasi nya sebagai berikut:

Tabel 10. Rekapitulasi Anggaran Biaya berdasarkan Pt T-01-2002-B

No. Divisi	Uraian	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)
1	Umum	381,800,000.00
2	Drainase	-
3	Pekerjaan Tanah	16,317,066.71
4	Pelebaran Perkerasan dan Bahu Jalan	-
5	Perkerasan Non Aspal Dan Perkerasan Beton Semen	496,568,715.57
6	Perkerasan Aspal	2,373,705,837.19
7	Struktur	-
8	Pengembalian Kondisi dan Pekerjaan Minor	89,160,303.85
9	Pekerjaan Harian	-
10	Pekerjaan Pemeliharaan Rutin	-
(A) Jumlah Harga Pekerjaan (termasuk Biaya Umum dan Keuntungan)		3,357,551,923.32
(B) Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 10% x (A)		335,755,192.33
(C) JUMLAH TOTAL HARGA PEKERJAAN = (A) + (B)		3,693,307,115.65
(D) DIBULATKAN		3,693,307,000.00
Terbilang :		Tiga Milyar Enam Ratus Sembilan Puluh Tiga Juta Tiga Ratus Tujuh Ribu Rupiah

Tabel 10. Rekapitulasi Anggaran Biaya berdasarkan MDP 2017

No. Divisi	Uraian	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)
1	Umum	381,800,000.00
2	Drainase	-
3	Pekerjaan Tanah	704,223,176.15
4	Pelebaran Perkerasan dan Bahu Jalan	-
5	Perkerasan Non Aspal Dan Perkerasan Beton Semen	151,162,994.06
6	Perkerasan Aspal	6,779,163,666.89
7	Struktur	-
8	Pengembalian Kondisi dan Pekerjaan Minor	111,137,081.61
9	Pekerjaan Harian	-
10	Pekerjaan Pemeliharaan Rutin	-
(A) Jumlah Harga Pekerjaan (termasuk Biaya Umum dan Keuntungan)		8,127,486,918.70
(B) Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 10% x (A)		812,748,691.87
(C) JUMLAH TOTAL HARGA PEKERJAAN = (A) + (B)		8,940,235,610.57
(D) DIBULATKAN		8,940,235,000.00
Terbilang :		Delapan Milyar Sembilan Ratus Empat Puluh Juta Dua Ratus Tiga Puluh Lima Ribu Rupiah

5. KESIMPULAN

Berdasarkan tabel CESA Pt T-01-2002-B dan MDP 2017 didapatkan hasil $17,83 \times 10^6$ dan $669,91 \times 10^6$. Kedua metode tersebut memiliki selisih nilai CESA sebesar $652,08 \times 10^6$ atau mengalami kenaikan sebesar 3657,11 %. Tebal perkerasan menurut metode Pt T-01-2002-B dimulai dari Aspal Beton (Laston) setebal 10 cm, dibawah Laston terdapat Lapis Fondasi Atas Bersemen setebal 7 cm dan pada lapisan terbawah terdapat Lapis Fondasi Granular setebal 15 cm, sedangkan tebal perkerasan berdasarkan metode MDP 2017 dimulai dari lapis paling atas AC WC (*Asphalt Concreate Wearing Course*) setebal 5 cm, lapis ke dua terdapat AC BC (*Asphalt Concreate Beas Course*) setebal 6 cm, pada lapis ke tiga terdapat AC Base setebal 22 cm, lapis ke empat terdapat Fondasi Agregat Kelas A setebal 15 cm dan pada lapis terbawah terdapat Urukan Pilihan setebal 35 cm. Dari hasil perhitungan biaya kedua metode didapatkan total biaya untuk metode Pt T-01-2002-B Rp3.693.307.000,- dan metode MDP 2017 Rp8.940.235.000,- Dari kedua metode tersebut terdapat perbedaan biaya sebesar Rp. 5.246.928.000 atau mengalami kenaikan sebesar 142,07 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. A. J. Ahmed and A. F. Sabri, "Study the Using of Reed Mats in Asphalt Pvement Layers," *Civil Engineering Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 346–362, 2018.
- [2] A. H. Albayati, H. Al-Mosawe, A. T. Fadhil, and A. A. Allawi, "Equivalent Modulus of Asphalt Concrete Layers," *Civil Engineering Journal, University of Baghdad*, vol. 4, no. 10, pp. 2264–2274, 2018.
- [3] A. Suraji, A. T. Sudjianto, Riman, and C. Aditya, "Pengaruh Beban Lebih (Overload) Kendaraan Berat Terhadap Faktor Ekivalen Beban (VDF) Pada Ruas Jalan Caruban-Ngawi," Surabaya, 2016, pp. 104–113.
- [4] A. Suraji and A. T. Sudjianto, "Review Desain Struktur Perkerasan Jalan Dengan Mempertimbangkan Pengaruh Beban Lebih (Overload)," 2016, pp. TS18–TS23.
- [5] A. Suraji, A. T. Sudjianto, Riman, and C. Aditya, "Karakteristik Arus Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Caruban-Ngawi Dan Proporsi Kendaraan Berat Selama 24 jam pengamatan," presented at the Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), 2017.
- [6] M. N. A. Aris, G. Simbolan, B. H. Setiadji, and S. Supriyono, "Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Beberapa Metode Bina Marga," *Semarang : Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 4, no. 4, pp. 380–393, 2015.
- [7] N. Pradani, M. Sadli, and D. Fithriyuni, "Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode PD T-01-2002-B, Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Dan Metode Nottingham Pada Ruas Jalan I Gusti Ngurah Rai Palu. Palu," *Jurnal Fropil*, vol. 4, no. 2, pp. 140–155, 2016.
- [8] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34, "Jalan." Kepala Biro Peraturan Perundang-undangan Bidang Perekonomian dan Industri, 2006, Accessed: Feb. 25, 2021. [Online]. Available: <https://pelayanan.jakarta.go.id/download/regulasi/peraturan-pemerintah-nomor-34-tahun-2006-tentang-jalan.pdf>.
- [9] C. H. Oglesby, *Teknik Jalan Raya Jilid 1*. Jakarta: Gramedia, 1999.
- [10] Departemen Pekerjaan Umum, "Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen 2," *Yayasan Badan Penerbit PU*, p. 41, 1987.
- [11] Menteri Pekerjaan Umum, *Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Marga., 2017.
- [12] Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi 2017) Nomor 02/M/BM/2017." Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017.
- [13] Direktorat Jendral Bina Marga, *Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasaan Lentur PT T-01-2002-B*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, 2002.