

Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku pada Jalan Nuansa Indah Selatan - Cempaka Biru Selatan, Kota Denpasar, Bali

Gruberth Dirk Monim¹, Anak Agung Gede Sumanjaya², dan Putu Aryastana^{3*}

^{1,2,& 3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Denpasar.

Email: deckymonim3@gmail.com; agung.suman31@gmail.com; *aryastanaputu@yahoo.com

ABSTRAK

Jalan memiliki peran yang sangat krusial dalam pengembangan suatu wilayah. Jalan tidak hanya sebagai sarana transportasi, tetapi juga memiliki dampak signifikan terhadap ekonomi, sosial, dan lingkungan suatu daerah sehingga penting dalam merencanakannya. Perencanaan tebal perkerasan ini menggunakan metode *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 1993* dan *Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017*. Kedua metode tersebut memiliki beberapa parameter yang berbeda, yang disesuaikan dengan aturan yang berlaku di Indonesia. Berdasarkan kondisi eksisting jalan yang melayani banyak kendaraan niaga hingga jalan menjadi rusak dan berlubang. Dengan melihat kondisi tersebut maka dilakukan suatu tinjauan didalam perencanaan ini seperti bagaimana tebal perkerasan kaku jalan berdasarkan metode AASHTO 1993 dan metode MDP 2017. Berapa besar rencana anggaran biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam pelaksanaan tebal perkerasan kaku jalan pada lokasi studi serta membandingkan kedua hasil RAB, sehingga mendapatkan hasil perencanaan yang lebih ekonomis. Setelah melakukan perhitungan tebal perkerasan kaku menggunakan metode ASSHTO 1993 didapatkan tebal pelat sebesar 36,45 cm, *lean concrete* sebesar 10 cm, Lapisan Fondasi Agregat (LFA) Kelas A sebesar 15 cm dan stabilisasi tanah sebesar 30 cm, serta RAB yang dibutuhkan adalah sebesar Rp 8.460.733.187,00 sedangkan dengan metode MDP 2017 didapatkan tebal perkerasan sebesar 27,5 cm, *lean concrete* sebesar 10 cm, LFA Kelas A sebesar 15 cm dan stabilisasi tanah sebesar 30 cm dengan rencana anggaran biaya yang dibutuhkan adalah sebesar Rp 6.529.833.757,00. Berdasarkan hasil RAB yang diperoleh maka metode MDP 2017 memiliki harga yang lebih ekonomis.

Kata Kunci: Perkerasan Kaku, AASHTO 1993, MDP 2017, RAB

ABSTRACT

Roads have a very crucial role in development an area. Roads are not only a means of transportation, but also have a significant impact on economy, social and environment of an area so it is important to plan them. This pavement tickness planning uses 1993 American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO) method and 2017 Pavement Design Manual (MDP). Both methods have several different parameters, which are adjusted to the regulations applicable in Indonesia. Based on condition of existing road which serves many commercial vehicles, the road has become damaged and potholes. By looking at these coditions, a review was carried out in this planning, such as how thick the rigid pavement is based on AASHTO method and MDP method. How much is the planned budget required to implement thickness of the rigid pavement at the study location and compare two budget plan results, so as to obtain more economical planning results. After calculating the thickness of the rigid pavement using ASSHTO method, it was found that the plate thickness was 36,45 cm, lean concrete was 10 cm, class A aggregate foundation layer (LFA) was 15 cm and soil stabilization was 30 cm, and budget plan required was IDR. 8,460,733,187.00 while using MDP method, the thickness is 27.5 cm, lean concrete is 10 cm, LFA class A is 15 cm and soil stabilization is 30 cm with the planned cost budget of IDR. 6,529,833,757.00. Based on the budget planning results obtained, MDP method has more economical price.

Key words: Rigid Pavement, AASHTO 1993, MDP 2017, Budget Plan

Submitted: 24 Jan 2024	Reviewed: 06 Feb 2024	Revised: 14 Feb 2024	Published: 01 August 2024
----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------

PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang penting dalam kehidupan masyarakat. Jalan juga merupakan salah satu unsur yang berperan penting dalam menentukan pengembangan suatu wilayah baik dalam pengembangan dalam bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah (Almufid et al., 2020; Darmawan & Lizar, 2020; Juwita, Nurafni, & Hidayat, 2022; Kardinata & Darmadi, 2020; Kementerian PUPR, 2004; Kurniawan & Sastra, 2021).

Perkerasan jalan raya merupakan suatu perkerasan menggunakan lapisan konstruksi aspal ataupun beton, dengan menghitung ketebalan kekakuan sehingga dapat memungkinkan beban yang terjadi di atas masuk ke dalam tanah tanpa langsung merusak jalan. Perkerasan jalan terletak pada tanah dasar, yang mana perkerasan ini diharapkan tidak terjadi kerusakan selama masa pelayanannya (Leweherilla et al., 2022; Murad & Novera, 2019; Nanang, Azikin, Ahmad, & Rustan, 2020; Nopriyanto & Siswoyo, 2021; Saragi & Sinaga, 2021; Sukirman, 1999).

Menurut (Indonesia, 2023) Jalan Nuansa Indah Selatan – Cempaka Biru Selatan, Kecamatan Denpasar Utara, Bali merupakan jalan lama dengan tipe jalan 2 Lajur 2 Arah (2/2UD) yang termasuk kedalam golongan jalan kota yang yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota dengan perumahan atau perkebunan area sekitar. Jalan ini termasuk kedalam golongan jalan kelas III yang menghubungkan jalan ini dengan jalan utama yaitu Jalan Buluh Indah. Jalan ini dapat melayani berbagai jenis kendaraan mulai dari kendaraan ringan hingga kendaraan niaga. Berdasarkan pengamatan awal di jalan Nuansa Indah Selatan – Cempaka Biru Selatan yang membuat keadaan jalan ini mengalami kerusakan adalah banyaknya kendaraan niaga yang masuk melewati dan juga parkir pada lokasi tersebut. Dengan aktivitas lalu lintas kendaraan niaga yang terjadi pada lokasi tersebut membuat jalan tidak dapat lagi menanggung beban yang berlebihan, sehingga jalan menjadi berlubang sampai rusak parah. Jika terjadi hujan, maka akan sulit bagi pengendara motor khususnya yang melewati jalan tersebut. Pada pengamatan di lokasi, penanganan pada lokasi tersebut hanya sebatas perbaikan pada permukaan jalan yang rusak dengan cara ditimbun ataupun ditambal, upaya perbaikan tersebut tidak bertahan lama seiring dengan banyaknya kendaraan yang lewat maka terjadi lagi kerusakan yang berulang sehingga menjadi suatu siklus. Oleh sebab itu, diperlukan suatu tinjauan yang lebih

mendalam agar dapat menentukan perbaikan yang tepat pada jalan Nuansa Indah Selatan – Cempaka Biru Selatan. Dengan melihat keadaan yang terjadi, sehingga dilakukanlah suatu perencanaan tebal jalan pada wilayah tersebut.

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang bahan pengikatnya terbuat dari beton. Yang mana perkerasan ini dengan atau tanpa menggunakan tulangan yang diletakan diatas tanah dasar dengan atau tanpa pondasi bawah (Suryawan, 2009). Keunggulan dari perkerasan ini adalah modulus elastisitas yang tinggi, dimana beban akan didistribusikan terhadap bidang area tanah yang cukup luas. Keunggulan lainnya juga adalah perkerasan tipe ini biaya perawatannya lebih murah, dapat juga digunakan pada struktur tanah ekspansif yang CBR-nya rendah, tahan terhadap genangan air serta pengadaan material lebih mudah didapatkan.

Adapun beberapa studi terdahulu yang digunakan sebagai acuan untuk menyelesaikan perencanaan ini. Pertama studi terdahulu dari (Adibroto et al., 2019) yang membahas perencanaan tebal perkerasan kaku dengan menggunakan 2 metode yaitu AASHTO 1993 dan MDP 2017 dengan umur rencana 20 tahun. Kedua dari (Nanang et al., 2020) yang menggunakan metode MDP 2017 dalam menyelesaikan penelitiannya dengan waktu umur rencana 40 tahun. Ketiga studi terdahulu dari (Juwita et al., 2022) metode yang digunakan adalah MDP 2017 berdasarkan Pd T-14-2003 serta menghitung RAB yang dibutuhkan dalam pengerjaan perkerasan kaku dengan panjang 1000 m dan lebar 6 m juga umur rencana yang dipakai adalah 40 tahun. Keempat studi terdahulu dari (Utami & Sihombing, 2021) menggunakan metode MDP 2017 dengan melakukan pengecekan ulang hasil analisa tebal perkerasan menggunakan Pd T-14-2003. Kelima penelitian dari (Kurniawan & Sastra, 2021) menggunakan metode MDP 2017 dan menggunakan metode Pd T-14-2003 serta menghitung RAB. Perbedaan studi terdahulu dengan perencanaan saat ini adalah penggunaan dua metode yaitu AASHTO 1993 dan MDP 2017 serta penambahan analisis rencana anggaran biaya perencanaan tebal perkerasan.

Perencanaan tebal perkerasan kaku jalan pada jalan Nuansa Indah Selatan – Cempaka Biru Selatan, Kecamatan Denpasar Utara, Kota Denpasar, Bali perlu juga diperhitungkan RABnya. RAB disini khususnya untuk biaya pelaksanaan, yang mana untuk menghitung banyak biaya yang diperlukan untuk bahan, alat dan upah, serta biaya-biaya lain. Metode yang digunakan dalam perencanaan ini adalah metode AASHTO 1993 dan MDP 2017, yang mana

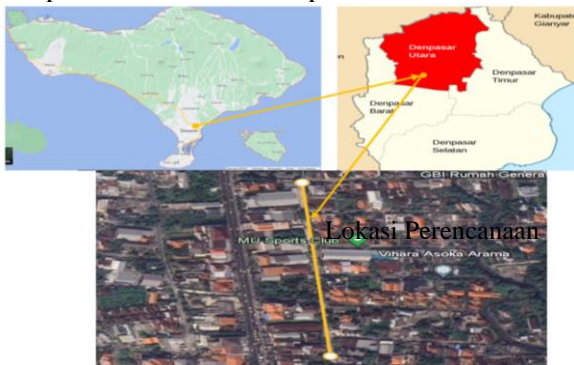
pemilihan ini dilakukan berdasarkan parameter-parameter yang digunakan kedua metode ini seperti umur rencana, CBR tanah dasar, *serviceability*, *reliability*. Perencanaan tipe perkerasan kaku mungkin dapat menjadi suatu pilihan karena perkerasan kaku memiliki kekuatan konstruksi yang ditentukan oleh kekuatan pelat beton itu, dan umur rencana dapat mencapai 20 tahun.

Perencanaan ini bertujuan untuk meninjau dimensi komponen perkerasan dengan metode AASHTO 1993 dan metode MDP 2017 dengan membandingkan hasil rencana anggaran biaya (RAB), sehingga mendapatkan hasil perencanaan yang lebih ekonomis.

METODE PENELITIAN

Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan bertempat pada jalan Nuansa Indah Selatan – Cempaka Biru Selatan, Kecamatan Denpasar Utara, Kota Denpasar, Bali.



Gambar 1 Lokasi Perencanaan

Data Perencanaan

Data Perencanaan adalah data yang didapatkan dari data primer dan data sekunder. Data-data tersebut akan dikumpulkan dan digunakan untuk merencanakan tebal perkerasan kaku jalan.

1) Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dengan cara survei langsung di lokasi studi. Adapun data primer sebagai berikut:

a. Data CBR Tanah

Data ini dibutuhkan untuk menentukan daya dukung tanah serta digunakan untuk menentukan desain fondasi. Data ini diperoleh dengan cara survei langsung menggunakan metode *Dynamic Cone Penetration* (DCP) yang disesuaikan berdasarkan Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Tahun 2010.

b. Data Volume Lalu Lintas

Data ini didapatkan dari survei dilokasi selama 1 minggu dengan mengklasifikasikan langsung jenis kendaraan yang disesuaikan berdasarkan (Departemen Permukiman Dan

Prasarana Wilayah, 2004). Data ini akan digunakan sebagai asumsi beban akibat kendaraan yang lewat pada lokasi.

2) Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapatkan dari instansi terkait, penelitian terdahulu ataupun data dari internet.

a. Peta Lokasi

Peta lokasi pada jalan Nuansa Indah Selatan – Cempaka Biru Selatan ini didapatkan dari gambar citra menggunakan *google earth*. Data ini digunakan untuk menjelaskan lokasi perencanaan.

b. Data Curah Hujan

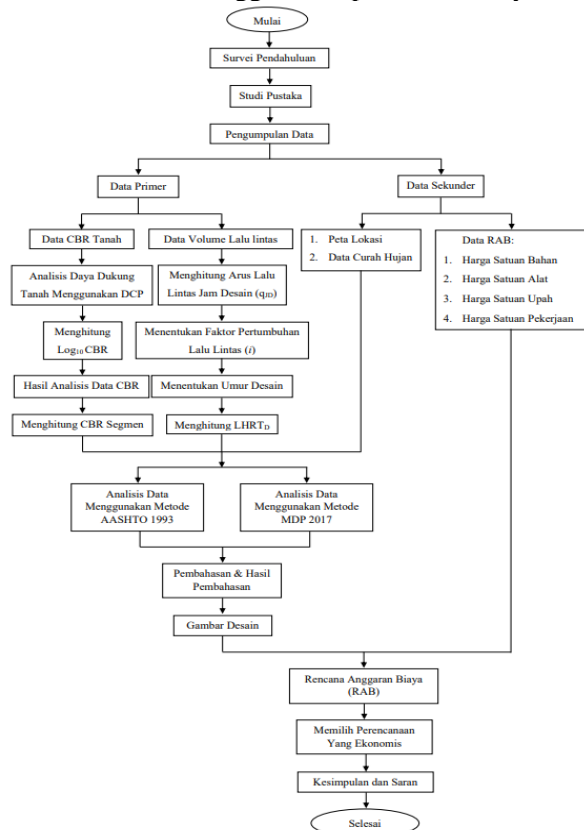
Data curah hujan diperoleh dari (Dinas BMKG Stasiun Geofisika Sanglah Denpasar, 2023) sebagai data pendukung yang akan digunakan dalam perhitungan tebal perkerasan jalan nantinya.

c. Data Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Data AHSP diperoleh dari Dinas PUPR daerah Denpasar Bagian Bina Marga, sebagai data pendukung perhitungan rencana anggaran biaya (RAB).

Diagram Alir Perencanaan

Adapun proses perencanaan yang dapat dilihat seperti Gambar 2. Proses ini menjelaskan secara umum dari awal hingga akhir perencanaannya.



Gambar 2 Bagan Alir Metode Penelitian

Tahapan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Survei Pendahuluan
Survei pendahuluan adalah survei yang dilakukan pada awal perencanaan pada daerah studi, yang bertujuan untuk memperoleh data awal sebagai bagian penting bahan kajiannya.
- 2) Studi Pustaka
Studi pustaka adalah kegiatan yang mendukung penyelesaian dari perencanaan ini, yang mana terdiri dari berbagai macam referensi baik teori, Undang-undang, Peraturan, rumus bahkan penelitian sejenis yang dijadikan acuan.
- 3) Pengumpulan Data
- 4) Pengumpulan data untuk perencanaan jalan.
Jenis data telah diperlihatkan pada Data Perencanaan. Data yang digunakan untuk menghitung RAB yang didapatkan dari Dinas PUPR daerah Denpasar.
- 5) Analisis Data Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan MDP 2017
Analisis data menggunakan metode AASHTO 1993 dan MDP 2017 adalah proses analisis data untuk mendapatkan hasil yang dapat dijadikan sebagai informasi yang berguna, sehingga dapat menemukan jawaban dari permasalahan yang dibahas.
- 6) Pembahasan dan Hasil Pembahasan
Pada pembahasan umumnya membahas temuan yang didapat pada lokasi perencanaan. Hasil pembahasan adalah hasil dari pembahasan yang memberikan penjelasan dan interpretasi atas perencanaan tebal perkerasan kaku yang telah dianalisis sehingga dapat menjawab pertanyaan pada perencanaan ini. Dalam hasil pembahasan akan menghasilkan juga gambar desain, yang mana gambar desain akan digunakan untuk menghitung RAB.
- 7) Rencana Anggaran Biaya (RAB)
Rencana anggaran biaya (RAB) adalah rencana harga terkait biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan perkerasan kaku jalan pada lokasi perencanaan.
- 8) Kesimpulan dan Saran
Kesimpulan adalah inti sari atau rangkuman dari perencanaan ini, sedangkan saran merupakan masukan – masukan yang diberikan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya.

Metode Analisis Data Menggunakan AASHTO 1993 dan MDP 2017

Metode Analisis data menggunakan AASHTO 1993 dan MDP 2017 memiliki beberapa parameter

yang sama dan juga ada beberapa parameter yang berbeda. Berikut akan dijelaskan lebih lanjut kesamaan dan perbedaan parameter tersebut.

- 1) Parameter yang sama dalam menggunakan metode AASHTO 1993 dan MDP 2017 adalah sebagai berikut:
 - a. Umur Rencana (UR), berdasarkan MDP 2017, umur rencana (UR) perkerasan baru ditulis dalam **Tabel 1**.

Tabel 1 Umur Rencana (UR) Perkerasan Jalan Baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk area yang tidak diijinkan seiring ditinggikan akibat pelapisan ulang	
Perkerasan Kaku	Cement Treated Base	40
	Lapis atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen dan fondasi jalan	
Jalan Tanpa Penutup	Semua Elemen	Minimum 10

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2017)

b. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (*i*)

Faktor laju pertumbuhan lalu lintas dapat dilihat berdasarkan **Tabel 2**.

Tabel 2 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (*i*)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata 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: Kementerian Pekerjaan Umum, 2017)

Pertumbuhan lalu lintas dihitung berdasarkan rumus berikut:

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

Dimana:

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = Umur Rencana (tahun)

c. Laju Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Faktor distribusi arah (D_D) = 0,3 – 0,7, umumnya dipilih 0,5 sedangkan untuk faktor distribusi lajur (D_L) dipilih 100 % untuk tipe jalan 2 lajur 2 arah (2/2UD)

d. CBR Tanah Dasar

CBR tanah dasar diuji untuk dapat mengetahui jumlah daya dukung tanah pada suatu lokasi. Berdasarkan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010) perumusan perhitungan CBR tanah menggunakan konus 60⁰ dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log}_{10} \text{CBR} = 2,8135 - 1,313 \text{Log} (\text{DCP}) \dots\dots(2)$$

$$\text{CBR}_{\text{Segmen}} = \text{CBR}_{\text{Rata-rata}} - \frac{\text{CBR}_{\text{maks}} - \text{CBR}_{\text{min}}}{R} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk mendapatkan hasil CBR tanah dasar dilakukan dengan metode persentil menggunakan alat bantuan *Microsoft Excel*, yaitu dengan memanfaatkan fungsi = *PERCENTILE (array,k)* dengan “array” untuk kumpulan data sedangkan k untuk persentil (dalam persepuluhan).

$$\text{CBR}_{\text{desain}} = \text{CBR tanah dasar} \times \text{Faktor penyesuaian} \dots(4)$$

$$\text{CBR}_{\text{stabilisasi}} = \text{CBR}_{\text{Tanah asal}} \times 2^{\text{tebal lapis stabilisasi}/150} \dots\dots(5)$$

e. Data Lalu Lintas

Data Lalu lintas harian rata-rata didapatkan melalui survei di jalan Nuansa Indah Selatan – Cempaka Biru Selatan dalam kurun waktu 1 minggu mulai jam 07:00 – 18:00 WITA. Hasil survei kemudian akan diubah menjadi satuan yang sama yaitu smp/jam dengan cara mengalikan hasil survei dengan nilai ekivalensi mobil penumpang disesuaikan berdasarkan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997)

Dalam proses untuk mendapatkan jumlah LHR maka akan disesuaikan berdasarkan (Kementerian PUPR, 2021) persamaan berikut:

$$q_{JD} = \text{LHRT}_D \times K \dots\dots\dots(6)$$

K = Faktor jam desain dengan ketentuan 7% - 15%

2) Parameter AASHTO 1993 yang berbeda dengan metode MDP 2017

Adapun parameter-parameter yang berbeda sebagai berikut:

a. Modulus Reaksi Tanah Dasar

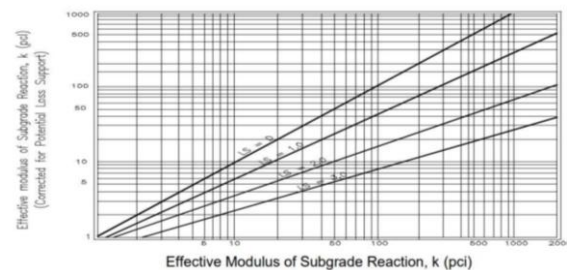
Modulus tanah dasar (*k*) dapat dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{MR} = 1500 \times \text{CBR} \dots\dots\dots(7)$$

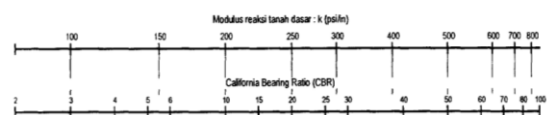
$$\text{MR} = \text{Modulus Resilient}$$

$$k = \text{MR}/19,4 \dots\dots\dots(8)$$

Sedangkan Nilai Koreksi Efektif Modulus Tanah dasar berdasarkan **Gambar 3 dan Gambar 4**.



Gambar 3 Koreksi Efektif Modulus of Subgrade Reakion



Gambar 4 Hubungan Antar k dan CBR

b. Lalu Lintas Kumulatif

Lalu lintas kumulatif dirumuskan sebagai berikut:

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times VDF_j \times D_D \times D_L \times 365 \dots (9)$$

Dimana :

- W_{18} = Traffic design pada lajur lalu lintas
- LHR_j = Jumlah lalu lintas harian rata-rata
- VDF_j = Vehicle Damage Factor
- $N1$ = Lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka
- Nn = Lalu lintas pada akhir umur rencana
- W_t = $W_{18} \times \frac{(1+g)^n - 1}{g} \dots (10)$

Dimana :

- W_t = Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif
- g = Umur Rencana (UR)
- n = Perkembangan lalu lintas (%)

c. Reliability

Nilai *reliability* yang digunakan mengacu pada

Tabel 3.

Tabel 3 Reliability (R) Disarankan

Klasifikasi Jalan	Reliability: R (%)	
	Urban	Rural
Jalan Tol	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

(Sumber: AASHTO, 1993)

Standar deviasi untuk perkerasan kaku (S_o) = 0,30 – 0,40. Sedangkan Standar normal deviasi disesuaikan berdasarkan **Tabel 4.**

Tabel 4 Standar Normal Deviasi

R (%)	ZR
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
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	-3,090
99,99	-3,750

(Sumber: AASHTO, 1993)

d. Total Loss of Serviceability

Untuk mendapatkan total *loss of serviceability* dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \dots (11)$$

Dimana :

- P_t = Terminal Serviceability index major highway
- P_o = Initial Serviceability

e. Drainage Coefficient

Koefisien drainase bertujuan untuk menentukan lamanya air yang dapat keluar dari struktur beton. Penetapan variabel mengacu pada (AASHTO, 1993 & Direktorat Jenderal Bina Marga & Direktorat Pembinaan Jalan Kota, 1990). Sedangkan untuk penetapan struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air ditentukan dengan rumus berikut:

$$P_{heff} = \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100 \dots (12)$$

Dimana:

- P_{heff} = Prosen hari efektif hujan dalam setahun yang akan berpengaruh terkenanya perkerasan (%)
- T_{jam} = Rata-rata hujan per hari (jam)
- T_{hari} = Rata-rata jumlah hari hujan per tahun (hari)
- W_L = Faktor air hujan yang akan masuk kedalam fondasi jalan (%)

Selanjutnya *drainage coefficient* (C_d) mengacu pada **Tabel 5.**

Tabel 5 Drainage Coefficient (C_d)

Percent of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation

Quality of drainage	<1 %	1– 5%	5–25%	>25 %
Excellent	1,25-1,2	1,2-1,15	1,15-1,1	1,1
Good	1,2-1,15	1,15-1,1	1,10-1,0	1,0
Fair	1,15-1,1	1,1-1,0	1,00-0,9	0,9
Poor	1,1-1,0	1,0-0,9	0,90-0,8	0,8
Very Poor	1,0-0,9	0,90-0,8	0,80-0,7	0,7

(Sumber: AASHTO, 1993)

f. Load Transfer

Load transfer coefficient (J) mengacu pada **Tabel 6.**

Tabel 6 Load Transfer Coefficient (J)

Shoulder Load transfer devices	Asphalt		Tied PCC	
	Yes	No	Yes	No
Pavement type				
Plain jointed & reinforced	3,2	3,8-4,4	2,5-3,1	3,6-4,2
CRCP	2,9-3,2	N/A	2,3-2,9	N/A

(Sumber: AASHTO, 1993)

g. Persamaan Penentuan Tebal Pelat (D)

Tebal pelat (D) dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10} (D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 P_t) \times \log_{10} \frac{S'_c C_d \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c k)^{0,25}}]} \dots (13)$$

- D = Tebal pelat beton (inci)
- ΔPSI = Total *loss of serviceability*
- Sc' = *Modulus of rupture* sesuai spesifikasi pekerjaan (*psi*)
- J = *Load transfer coefficient*
- E_c = Modulus elastis

f. *Reinforcement Design*

1. *Tie Bar*

Perencanaan *tie bar* dapat disesuaikan penggunaannya berdasarkan buku “Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (*Rigid Pavement*)” Hal. 204 Tabel Desain *Tie Bar* (Suryawan, 2009).

2. *Dowel*

Penentuan perencanaan diameter *dowel* dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$d = \frac{D}{8} \dots \dots \dots (14)$$

Dimana:

D = Diameter *dowel* (*Inches*)

D = Tebal Pelat Beton (*Inches*)

Penentuan *dowel* dapat juga disesuaikan berdasarkan **Tabel 7**.

Tabel 7 Rekomendasi *Dowel*

Tebal Perkerasan	<i>Dowel</i> Diameter	Panjang <i>Dowel</i>	Jarak <i>Dowel</i>
6	¾	18	12
7	1	18	12
8	1	18	12
9	1 ¼	18	12
10	1 ¼	18	12
11	1 ¼	18	12
12	1 ¼	18	12

(Sumber: Yoder & Witczak, 1997)

g. Perancangan Penulangan dan Sambungan

Luas tulangan pada perkerasan ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$As = \frac{11,76 F \cdot h \cdot L}{fs} \dots \dots \dots (15)$$

Dimana:

As = Luas tulangan yang diperlukan (mm^2/m')

F = Koefisien gesekan antar pelat beton dengan lapisan dibawahnya.

L = Jarak antara sambungan (m)

h = Tebal pelat (mm)

fs = Tegangan Tarik baja ijin (MPa)

3) Parameter MDP 2017 yang berbeda dengan AASHTO 1993

Adapun parameter-parameter yang berbeda sebagai berikut:

a. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times D_D \times D_L \times R \dots \dots (16)$$

Dimana:

ESA_{TH-1} = Kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen pada tahun pertama

b. Tebal Fondasi

Tebal fondasi didapatkan dengan cara menyesuaikan hasil ESA dengan **Tabel 8**.

Tabel 8 Perkerasan Kaku Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kel. sumbu kendaraan berat (<i>Overload</i>) (10E6)	<4,3	<8,6	<25,8	<43	<86
<i>Dowel</i> & bahu beton	Ya				
Struktur Perkerasan (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Fondasi LMC	100				
Lapis drainase	150				

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2017)

c. Perencanaan Sambungan Tulangan Melintang dan Memanjang

Perencanaan sambungan tulangan melintang dan memanjang disesuaikan berdasarkan (Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, 2003).

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan RAB merupakan perhitungan banyaknya kebutuhan biaya yang digunakan untuk pelaksanaan tebal perkerasan

$$\text{Jumlah Harga} = \text{Koefisien} \times \text{Harga Satuan} \dots (17)$$

$$HSP = \text{Bahan} + \text{Alat} + \text{Upah} \dots \dots \dots (18)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Perencanaan

Adapun analisis data perencanaan yang dianalisis yaitu data primer.

1) Analisis Data Primer

Pada analisis data primer terdapat 2 data yang perlu dianalisis yaitu:

a. Analisis Data CBR Tanah Dasar

Tabel 9 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan CBR Menggunakan Metode DCP

STA	Lokasi	DCP (mm/tumb)	CBR (%)	Nilai R	CBR Segmen
0+000	a & b	20,89	22,99		
0+025	a	24,00	11,16		
0+050	a	20,00	13,44		
0+075	a	22,22	13,04		
0+100	a	24,75	10,10		
0+025	b	22,22	12,46		
0+050	b	24,25	10,63	3,18	10 %
0+075	b	19,60	14,27		
0+100	b	20,00	16,48		
0+125	b	18,40	19,30		
CBR _{Rata-rata}			14		
Nilai Maks			22,99		
Nilai Min			10,10		

Dimana :

a = Jalan Cempaka Biru Selatan

b = Jalan Nuansa Indah Selatan

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (3) didapatkan nilai CBR_{Segmen} 10 %, yang mana secara statistik artinya 90 % pada data CBR_{Segmen} seragam dengan nilainya lebih besar atau sama dengan 10%.

b. Analisis Data Volume Lalu Lintas

Berdasarkan persamaan (6) maka dapat dihitung LHR dengan ketentuan k yang dipakai adalah 15%. Hasil Perhitungan disajikan pada **Tabel 10**.

Tabel 10 Rekapitulasi Perhitungan Lalu lintas Pada Lokasi Studi

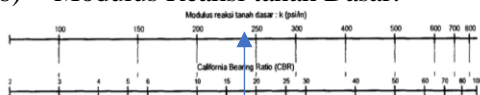
Jenis Kendaraan	Gol	q _{JD}	K (%)	LHRT _D (Smp/Jam)
MC	1	204	15	1363
LV	2-4	51	15	340
Bus Kecil	5A	3	15	17
Bus Besar	5B	3	15	17
Truck ringan sumbu	2 6A	47	15	311
Truck sedang sumbu	2 6B	14	15	95
Truck sumbu	3 7A	2	15	10
Total				2154

Berdasarkan perhitungan didapat jumlah LHRT_D sebesar 2154 smp/jam. Tetapi jumlah LHRT_D tiap kendaraan yang akan digunakan untuk menghitung W18 pada perhitungan analisa lalu lintas.

Hasil Perhitungan Menggunakan Metode AASHTO 1993

Adapun tahapan-tahapan dalam menghitung tebal perkerasan kaku jalan menggunakan metode AASHTO 1993:

- 1) Lebar Pelat = 6 m
- 2) Panjang Pelat = 6 m
- 3) UR = 20 tahun
- 4) CBR = 10 %
- 5) $i = 4,75\%$
- 6) Modulus Reaksi tanah Dasar:



Gambar 5 Hubungan Antar k dan CBR

Berdasarkan gambar diatas maka koreksi efektif modulus tanah dasar (k) yang diambil adalah 200 pci.

7) Analisis Lalu Lintas

Adapun hasil analisis lalu lintas yang dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11 Analisis Lalu Lintas

Gol.	LHR	VDF	D _D	D _L	Hari	W ₁₈ (ESAL)
------	-----	-----	----------------	----------------	------	------------------------

1	1363	-	0,5	1	365	-
2-4	340	-	0,5	1	365	-
5A	17	-	0,5	1	365	-
5B	17	1	0,5	1	365	3.103
6A	311	0,55	0,5	1	365	31.217
6B	95	2	0,5	1	365	43.344
7A	10	-	0,5	1	365	-
Total					77.663	

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (7) diatas maka akan didapatkan W18 sebesar 77663.

8) Perhitungan Tebal Pelat

Adapun beberapa tahapan yang dilakukan sebelum menghitung tebal pelat seperti **Tabel 12**.

Tabel 12 Hasil Perhitungan Komponen-komponen untuk Mencari Tebal Pelat

W _t	=	644.482.557 ESAL
E _c	=	4.021.651,96 psi
Sc'	=	640 psi
R	=	85
Z _R	=	-1,037
ΔPSI	=	2,0
S _o	=	0,3
J	=	2,5
C	=	80%
W _L	=	20%
Rata-rata hujan/hari	=	3 jam
Total hari hujan	=	218,4
Rata-rata hujan/tahun	=	21,84
Pheff	=	0,15% < 1%
Quality of drainage	=	Good
Cd	=	1,2

Dengan menggunakan pendekatan berdasarkan persamaan (11) maka didapatkan tebal pelat sebesar 14,35 inci atau sebesar 36,45 cm. Sehingga dapat ditentukan diameter *dowel* dengan menggunakan persamaan (12), maka diperoleh *dowel* sebesar 50 mm dengan panjang *dowel* yang digunakan adalah sebesar 450 mm dengan jarak 300 mm. sedangkan diameter *Tie Bar* sebesar 13 mm, panjang *tie bar* = 650 mm dan jarak *tie bar* = 600 mm.

9) Perhitungan Tulangan Memanjang dan Melintang

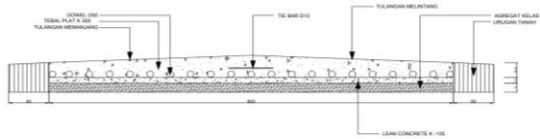
Berdasarkan persamaan (13) maka didapatkan tulangan memanjang dan tulangan melintang seperti yang tertera pada **Tabel 13**.

Tabel 13 Hasil Perhitungan Tulangan Memanjang & Tulangan Melintang

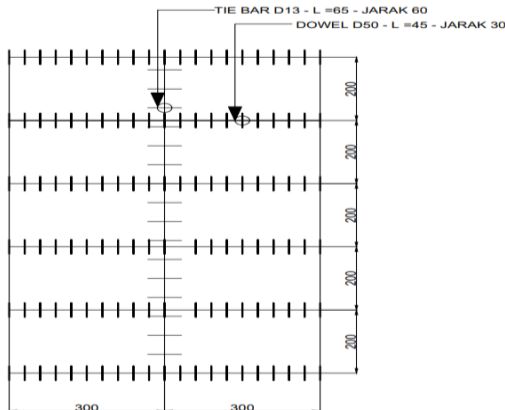
	A _S Perlu (mm ² /m')	A _S min (mm ² /m')	A _S Sterpasang (mm ² /m')
Tulangan Memanjang	192,89	510,3	565,2
Tulangan Melintang	192,89	510,3	565,2

Berdasarkan SNI 1991 maka segala keadaan 0,14% dari luas penampang beton. Sehingga didapat A_{s min} sebesar 510,3 mm²/m'. sedangkan

dengan diameter tulangan 12 mm diperoleh A_s terpasang sebesar $565,2 \text{ mm}^2/\text{m}' > A_{s \text{ min}}$, sehingga untuk kedua tulangan memanjang dan melintang memenuhi syarat.



Gambar 6 Hasil Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku dengan Metode AASHTO 1993



Gambar 7 Hasil Perencanaan Tulangan Perhitungan Menggunakan Metode MDP 2017

Adapun tahapan-tahapan yang digunakan metode MDP 2017:

- 1) Umur rencana = 20 tahun
- 2) Lebar Pelat = 6 m
- 3) Panjang Pelat = 6 m
- 4) Faktor Lalu Lintas (i) = 4,75%
- 5) Faktor Distribusi Lajur (D_L) = 100 %
- 6) Faktor Distribusi Arah (D_D) = 0,5
- 7) Berdasarkan persamaan (1) diatas maka didapatkan faktor pengali R sebesar 32,27 dengan umur rencana 20 tahun
- 8) Volume Kelompok Sumbu Masing-masing Kendaraan

Adapun hasil perhitungan volume kelompok sumbu kendaraan yang disajikan pada **Tabel 14**.

Tabel 14 Kumulatif Kelompok Sumbu Kendaraan Berat 2023 - 2033

Jenis Kend.	Jum.Kel. Sumbu	LHR 2023	Kel. Sumbu	Jum.Kel. Sumbu 2023-2033
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
5B	2	17,33	35	204.184
6A	2	311	622	3.660.731
6B	2	95	191	1.123.013
7A	2	10	20	116.677
Kumulatif Kel. sumbu kendaraan berat				5.104.604

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan kumulatif kelompok sumbu kendaraan niaga sebesar 5.104.604 sehingga untuk tebal

perkerasannya berdasarkan **Tabel 8**, maka perencanaan ini digolongkan kedalam R2 dengan nilai $< 8,6$ juta sehingga didapatkan tebal pelat sebesar 275 mm, lapis beton kurus (LMC) sebesar 100 mm, LFA sebesar 150 mm dan stabilisasi semen sebesar 300 m.

9) Struktur Fondasi

CBR tanah dasar = 10% menggunakan metode presentil dengan alat bantu *Microsoft Excel*.

Tabel 15 Penentuan Desain Fondasi

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur		Perkerasan Kaku	
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESAS)			
			<2	2-4	>4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar		Stabilisasi Semen ⁽¹⁾	
≥ 6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Devisi 3 - Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan		300	
5	SG5		-			
4	SG4		-			
3	SG3		100	150		200
2.5	SG2.5		150	200		300
Tanah ekspansif (potensi pemuaian > 5%)			175	250	350	
Perkerasan di atas tanah lunak ⁽²⁾			400	500	600	
Perkerasan di atas tanah lunak ⁽²⁾		SG1 ⁽³⁾	Lapis penopang ⁽⁴⁾⁽⁵⁾		Berlaku ketentuan yang sama dengan fondasi jalan perkerasan lentur	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)			-atau-lapis penopang dan geogrid ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	1000	1100	1200
			Lapis penopang berbaut ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	650	750	850
				1000	1250	1500

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2017)

Berdasarkan **Tabel 15**, dengan nilai CBR tanah dasar sebesar 10% maka memiliki stabilisasi semen sebesar 300 mm. Untuk perhitungan stabilisasi semen dihitung dengan menggunakan persamaan (5) sehingga diperoleh CBR Stabilisasi = 32%.

10) Perencanaan Sambungan

Jenis perkerasan beton bersambung dengan tulangan.

Tabel 16 Hasil Perhitungan Tulangan Memanjang dan Melintang

	A_s (mm^2/m')	$A_{s \text{ min}}$ (mm^2/m')
Tulangan Memanjang	145,68	275
Tulangan Melintang	145,68	275

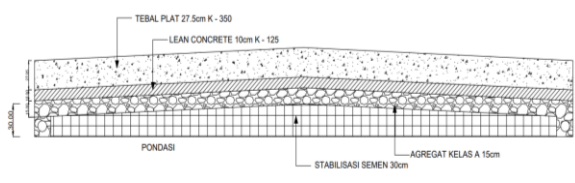
Berdasarkan perhitungan dipilih tulangan dengan panjang ϕ 10 mm dan jarak tulangan melintang dan tulangan memanjang yang memiliki luas penampang $393 \text{ mm}^2/\text{m}'$ ($A_s = 393 \text{ mm}^2/\text{m}' > 275 \text{ mm}^2/\text{m}'$).

Tabel 17 Ukuran dan Berat Tulangan Polos Anyaman Las Bentuk Bujur Sangkar

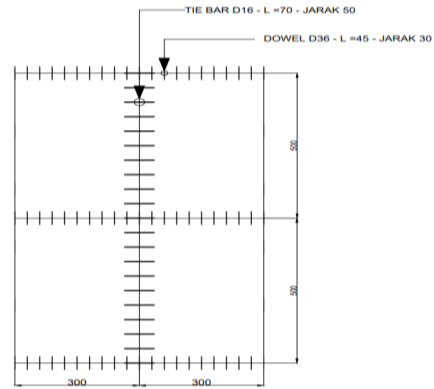
Tulangan Memanjang		Tulangan Melintang		Luas Penampang	
ϕ (mm)	Jarak (mm)	ϕ (mm)	Jarak (mm)	Memanjang	Melintang
8	100	8	100	503	503
10	200	10	200	393	393
9	200	9	200	318	318
8	200	8	200	251	251
7,1	200	7,1	200	198	198
6,3	200	6,3	200	156	156
5	200	5	200	98	98
4	200	4	200	63	63

(Sumber: Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, 2003)

Berdasarkan pedoman dari (Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, 2003), maka didapatkan diameter ruji sebesar 36 mm, panjang ruji sebesar 45 cm dan jarak ruji = 30 cm sedangkan diameter *Tie Bar* = 16 mm sedangkan panjang tie bar = 70 cm dan jarak tie bar = 50 cm.



Gambar 8 Hasil Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Dengan Menggunakan Metode MDP 2017



Gambar 9 Hasil Perencanaan Tulangan

Hasil Perhitungan RAB dengan Metode AASHTO 1993

Tabel 18 Hasil Rekapitulasi RAB dengan Metode AASHTO 1993

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	Bobot (%)
Divisi Umum I						
1	Mobilisasi	Ls	1	3.044.034	3.044.034	0,04
Divisi V						
1	Pek. Beton K-125	M ³	384	1.561.791	599.727.710	8,15
2	Pek. Beton K-350	M ³	1400	1.988.679	2.783.514.847	37,83
3	LFA Kelas A	M ³	576	405.837	233.762.266	3,18
4	Stabilisasi Tanah	M ³	1152	1.579.914	1.820.061.377	24,74
Divisi VII						
1	Pek. Tul. Memanjang	Kg	13957	41.097	573.596.652	7,80
2	Pek. Tul. Melintang	Kg	13957	41.097	558.801.581	7,60
3	Pek. Pembesian Dowel	Kg	14651	42.986	629.782.689	8,56
4	Pek. Pembesian Tie Bar	Kg	1700	42.986	73.075.597	0,99
Divisi VIII						
1	Pek. Bekisting	Kg	471	173.657	81.792.541	1,11
A	Jumlah				7.357.159.293	100
B	PPN 15 %				1.103.573.894	
C	Total				8.460.733.187	

Berdasarkan hasil tebal menggunakan metode AASHTO 1993 didapatkan rencana anggaran biaya sebesar Rp 8.460.733.187,-

Hasil Perhitungan RAB dengan Metode MDP 2017

Tabel 19 Hasil Rekapitulasi RAB dengan MDP 2017

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	Bobot (%)
Divisi Umum I						
1	Mobilisasi	Ls	1	3.044.034	3.044.034	0,05
Divisi V						
1	Pek. Beton K-125	M ³	384	1.561.791	599.727.710	10,56
2	Pek. Beton K-350	M ³	1056	1.988.679	2.100.045.495	36,98
3	LFA Kelas A	M ³	576	405.837	233.762.266	4,12
4	Stabilisasi Tanah	M ³	1152	1.579.914	1.820.061.377	32,05
Divisi VII						
1	Pek. Tul. Memanjang	Kg	6979	41.097	286.798.737	5,05
2	Pek. Tul. Melintang	Kg	4652	41.097	191.185.185	3,37
3	Pek. Pembesian Dowel	Kg	7595	42.986	326.475.976	5,57
4	Pek. Pembesian Tie Bar	Kg	1284	42.986	55.193.569	0,97
Divisi VIII						
1	Pek. Bekisting	Kg	356	173.657	61.821.963	1,09
A	Jumlah				5.678.116.310	100
B	PPN 15 %				851.717.447	
C	Total				6.529.833.757	

Berdasarkan hasil tebal menggunakan metode MDP 2017 didapatkan rencana anggaran biaya sebesar Rp 6.529.833.757,-. Dengan demikian dapat dilihat bahwa tebal dari perkerasan itu sendiri dapat menentukan banyaknya biaya yang dibutuhkan dalam proses pelaksanaannya.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil perencanaan ini adalah sebagai berikut:

- 1) Hasil perencanaan tebal perkerasan kaku dengan umur rencana selama 20 tahun:
 - a. Metode AASHTO 1993 didapatkan tebal pelat 36,45 cm, *lean concrete* 10 cm, LFA Kelas A 15 cm dan stabilisasi tanah sebesar 30 cm. dengan tipe *dowel* yang dipakai adalah D50, panjang 45 cm dan jarak 30 cm, sedangkan *tie bar* D 13, panjang 65 cm dan jarak 60 cm.
 - b. Dengan menggunakan metode MDP 2017 didapatkan tebal pelat sebesar 27,5 cm dengan *lean concrete* 10 cm, LFA Kelas A 15 cm dan stabilisasi tanah sebesar 30 cm. dengan tipe *Dowel* yang dipakai adalah D36, panjang 45 cm dan jarak antara *dowel* 30 cm, sedangkan *tie bar* yang dipakai adalah D16 panjang 70 cm dengan jarak antara *tie bar* adalah 50 cm.
- 2) Untuk perencanaan menggunakan metode AASHTO 1993 didapatkan rencana anggaran biaya sebesar Rp 8.460.733.187,- dan untuk perencanaan menggunakan metode MDP 2017 didapatkan rencana anggaran biaya sebesar Rp 6.529.833.757,-. Berdasarkan hasil rencana anggaran biaya yang didapatkan maka metode MDP 2017 memiliki harga yang lebih ekonomis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dinas PUPR Wilayah Denpasar Bagian Bina Marga serta tidak lupa juga penulis berterima kasih kepada Dinas BMKG Stasiun Geofisika Sanglah Denpasar yang terlibat dalam penelitian pemberian data-data yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO. (1993). *AASHTO Guide For Design of Pavement Structures*. The American Association of State Highway and Transportation Officials.

Adibroto, F., Nengsih, S., & Nadita Suhendra, N. (2019). *Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Kaku Menggunakan Metode AASHTO 1993 Dan MDP 2017 Pada Ruas Jalan Bandar Buat-Indarung Kota Padang*. <https://conference.ft.unand.ac.id/index.php/ace/Ace2019/paper/view/1120>

- Darmawan, R., & Lizar. (2020). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Menggunakan Metode BM - 2017. In *TEKLA* (Vol. 2, Issue 2). <https://doi.org/10.35314/tekla.v2i2.1823>
- Departemen Peremukiman Dan Prasarana Wilayah. (2003). *Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Peremukiman Dan Prasarana Wilayah. (2004). *Pedoman Survai Pencacahan Lalu Lintas Dengan Cara Manual*.
- Dinas BMKG Stasiun Geofisika Sanglah Denpasar. (2023). *Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika Stasiun Geofisika KLAS II Sanglah Denpasar Data Iklim Tahun 2018*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, & Direktorat Pembinaan Jalan Kota. (1990). *Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan No. 008/T/BNKT/1990*. Direktorat Pembinaan Jalan Kota.
- Juwita, F., Nurafni, D., Hidayat, F., & Sang Bumi Ruwa Jurai, U. (2022). Analisa Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Ruas Jalan Jabung-Sp. Labuhan Maringgai (Sta 15+650-16+650) Analisis Thick Planning Rigid Pavement Section Of Road Jabung-Sp. Labuhan Maringgai (Sta 15+650-16+650). In *Jurnal Teknika Sains* (Vol. 07). <https://doi.org/10.24967/teksis.v7i1.1591>
- Kardinata, & Darmadi. (2020). Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Menggunakan Metode PCA, Bina Marga 2002, AASHTO 1993, Dan MDP 2017 Ruas Jalan Batas Kota Padang-Simpang Haru. In *Jurnal Teknik Sipil-Arsitektur* (Vol. 19, Issue 2). <https://doi.org/10.54564/jtsa.v19i2.48>
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 04/SE/M/2010 Tentang Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) Dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2017). *Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan umum dan Perumahan Rakyat. (2004). *Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan* (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Ed.). Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian PUPR. (2021). *Surat Edaran No. 20/SE/Db/2021 Tentang Pedoman Desain Geometrik Jalan*. Kementerian PUPR.
- Kurniawan, D., & Sastra, M. (2021). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 Dan Pd T-14-2003 (Studi Kasus: Jalan Sudirman Km 36,4

- Km 39,4 Desa Bantan Timur-Muntai Barat). In *TEKLA* (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.35314/tekla.v3i1.2124>
- Leweherilla, N. M. Y., Amahoru, J., & Kelbulan, M. (2022). Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) 2018 pada Ruas Jalan Desa Luran Kecamatan Tanimbar Selatan Kabupaten Kepulauan Tanimbar. *Jurnal Manumata*, 8(1), 20–27. <https://doi.org/10.51135/manumatav8i1p20-27>
- Murad, W., & Novera, M. (2019). Desain Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode Bina Marga Ruas Jalan Simpang Seling-Muara Jernih Kabupaten Merangin. *Jurnal Talenta Sipil*, 2(1), 16–23. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v2i1.14>
- Nanang, L. O., Azikin, M. T., Ahmad, S. N., & Rustan, F. R. (2020). *Analisis Tinjauan Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Dengan Metode Manual Desain Perkerasan 2017 (MDP 2017) (Studi Kasus: Jalan Wisata Kendari -Toronipa)*. <https://doi.org/10.55679/jts.v8i2.13681>
- Suryawan, A. (2009). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)* (2nd ed., Vol. 2). Beta Offset Yogyakarta.
- Utami, R., & Sihombing, A. V. R. (2021). *Efisiensi Desain Tebal Lapis Perkerasan Kaku Dengan Beban Berlebih Berdasarkan Metode MDP 2017* https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0,5&cluster=9710571586577959437
- Yoder, E. J., & Witczak, M. W. (1997). *Principles of Pavement Design* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc.