

PERBANDINGAN DESAIN TEBAL PERKERASAN LENTUR LAPIS TAMBAH (OVERLAY) DENGAN METODE BINA MARGA REVISI JUNI 2017 MENGGUNAKAN DATA LENDUTAN BB DAN AASHTO 1993 MENGGUNAKAN DATA LENDUTAN FWD (STUDI KASUS: RUAS JALAN NASIONAL JENDERAL SUDIRMAN – MANADO, NOMOR RUAS JALAN 5000413)

Risman Bismar Toding

Theo K. Sendow, Lucia G. J. Lalamentik

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: rismanbismartoding@gmail.com

ABSTRAK

Jalan raya merupakan bagian dari sarana transportasi darat yang sangat penting dalam menunjang akses mobilitas bagi masyarakat, sehingga desain perkerasan jalan yang baik adalah suatu keharusan untuk meningkatkan nilai dari fungsi jalan. Pada ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman-Manado yang adalah jalan lama dengan tipe jalan arteri 1 arah 4 lajur diamati secara visual di beberapa segmen jalan terdapat kerusakan fungsional dan telah mengarah pada kerusakan struktural. Kondisi ruas jalan pada lokasi penelitian akibat kerusakan struktural dilakukan pemeriksaan non-destruktif dengan pengujian menggunakan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) dan Benkelman Beam (BB) yang menghasilkan data lendutan.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dan membandingkan hasil tebal lapis tambah (overlay) berdasarkan metode Bina Marga Revisi Juni 2017 dengan AASHTO 1993. Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder yang diperoleh dari BPJN Sulawesi Utara yaitu Volume Lalu Lintas (LHR), data Struktur Lapisan Tebal Perkerasan Jalan Eksisting, Data Lendutan FWD dan Data Lendutan BB. Untuk data lendutan Benkelman Beam (BB) tidak tersedia dari Balai Jalan, sehingga dilakukan perhitungan dengan model menggunakan data lendutan FWD.

Perhitungan CESA (Cumulative Equivalent Single Axle) berdasarkan metode Bina Marga 2017 diperoleh nilai $CESA4 = 1.226.974$ dan $CESA5 = 1.307.388$ menurut metode AASHTO 1993 $W_{18} = 6.159.474,28$. Dari hasil perhitungan pada Metode Bina Marga 2017 diperoleh overlay untuk $CESA4$ sebesar 2 cm dan untuk $CESA5$ sebesar 10 cm, sementara itu pada metode AASHTO 1993 dengan CESA (W_{18}) mendapatkan overlay sebesar 5 cm.

Perbandingan dari hasil perhitungan desain tebal lapis tambah (overlay) dengan metode Bina Marga 2017 dan metode AASHTO 1993 ditinjau berdasarkan parameter dari masing-masing metode. Dalam penelitian ini dilakukan juga simulasi dengan variasi beban lalu lintas (CESA) terhadap tebal lapis tambah (overlay) dimana model Polynomial Orde 6 menghasilkan nilai r^2 paling besar dan menjadi pemilihan model terbaik.

Kata Kunci: *Bina Marga Revisi Juni 2017; AASHTO 1993; VDF; CESA; Benkelman Beam; Falling Weight Deflectometer; Overlay.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana pengangkutan darat yang berfungsi untuk memperlancar kegiatan ekonomi dan memudahkan mobilitas penduduk dalam suatu wilayah. Ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman yang berlokasi di Kecamatan Wenang, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara berperan penting sebagai akses

bagi pengendara untuk menuju ke kawasan perdagangan dan bisnis di pusat kota. Banyaknya jumlah kendaraan yang melewati jalan ini setiap harinya mengakibatkan meningkatnya volume kendaraan sehingga beban lalu lintas dari berat kendaraan yang lewat mempengaruhi kinerja dan mengurangi masa pelayanan jalan serta seiring berjalannya waktu dapat memicu kerusakan pada perkerasan jalan.

Berdasarkan pengamatan visual pada ruas jalan Nasional Jendral Sudirman – Manado yang merupakan jalan arteri di beberapa segmen jalan ditemukan kerusakan fungsional yang sudah mengarah pada kerusakan struktural seperti cacat permukaan, retak (*cracking*), dan butiran – butiran agregat yang terlepas yang menyebabkan tingkat kenyamanan dalam berkendara mengalami penurunan. Kondisi ruas jalan pada lokasi penelitian akibat kerusakan struktural dilakukan pemeriksaan non-destruktif dengan pengujian menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dan *Benkelman Beam* (BB).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan terhadap perkerasan jalan yang mengalami *distress* atau kerusakan struktural yaitu dengan cara penambahan tebal lapis perkerasan (*overlay*) guna memperkuat dan mempertahankan kinerja jalan sebelum umur rencana yang direncanakan sehingga memberi keamanan serta kenyamanan bagi pengguna jalan khususnya pengendara.

Dalam melakukan perencanaan desain tebal lapis tambah (*overlay*) beberapa faktor yang perlu diperhatikan salah satunya metode perencanaan. Apabila penggunaan metode yang tidak tepat dapat menyebabkan kondisi jalan yang akan di lapis ulang (*overlay*) tidak akan bertahan lama atau cepat rusak.

Pada penelitian ini digunakan dua metode dalam mendesain tebal lapis tambah (*overlay*) di ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman – Manado yaitu Bina Marga Revisi Juni 2017 yang merupakan revisi terbaru dari metode sebelumnya yakni Bina Marga 2013 yang berisi ketentuan teknis untuk pelaksanaan perkerasan dan desain pekerjaan jalan yang dianalisis dalam suatu pendekatan perencanaan struktur perkerasan jalan baru dan tebal lapis tambah pada suatu struktur perkerasan jalan.

Selanjutnya metode AASHTO 1993 (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) merupakan metode yang berasal dari Amerika Serikat yang sudah dipakai secara umum di seluruh dunia dan banyak diadopsi oleh metode – metode lainnya salah satunya di Indonesia pada (Pt T-01-2002-

B). Metode AASHTO 1993 digunakan sebagai panduan dalam perencanaan struktur perkerasan jalan baru dan lapis tambah (*overlay*). Dari permasalahan pada lokasi penelitian yang ditemukan berupa kerusakan fungsional dan telah mengarah pada kerusakan struktural, hal ini kemudian menjadi latar belakang penulis melakukan penelitian tentang perencanaan desain tebal lapis tambah (*overlay*) untuk perkerasan lentur pada ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman-Manado dengan nomor ruas jalan 5000413 (STA 0+050 – STA 0+200), menggunakan Metode Bina Marga Revisi Juni 2017 dan AASHTO 1993 yang nantinya akan dilakukan perbandingan dari kedua metode tersebut.

Rumusan Masalah

Pada ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman-Manado setelah dilakukan survei lokasi terdapat kerusakan fungsional dan telah mengarah pada kerusakan struktural. Jenis kerusakan yang ditemukan antara lain jalan berlubang, pelepasan butir atau agregat lapis perkerasan, retak halus, dan pengelupasan lapis perkerasan, maka akan direncanakan desain tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur dengan membandingkan dua metode yaitu Bina Marga Revisi Juni 2017 dan Metode AASHTO 1993.

Batasan Masalah

1. Perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur berdasarkan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Revisi Juni 2017 dan AASHTO 1993.
2. Pelaksanaan penelitian dilakukan di ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman- Manado dengan nomor ruas jalan 5000413.
3. Dalam penelitian ini digunakan data sekunder. Data yang digunakan adalah data Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR), data struktur lapisan perkerasan jalan eksisting, data lendutan hasil uji *Benkelman Beam* (BB) dan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) yang diperoleh dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Sulawesi Utara.
4. Tidak menghitung anggaran biaya.

Tujuan Penelitian

1. Menghitung desain tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman-Manado, (Nomor Ruas: 500041) dengan metode Bina Marga Revisi Juni 2017.
2. Menghitung desain tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman-Manado, (Nomor Ruas: 5000413) dengan metode AASHTO 1993.
3. Menganalisis dan membandingkan tebal lapis tambah (*overlay*) berdasarkan kedua metode yaitu Bina Marga Revisi Juni 2017 dan AASHTO 1993.
4. Menghitung tebal lapis tambah perkerasan lentur (*overlay*) dengan variasi beban lalu lintas berdasarkan metode Bina Marga Revisi Juni 2017 dan AASHTO 1993.

Manfaat Penelitian

1. Dapat menghitung desain tebal lapis tambah (*overlay*) dengan metode Bina Marga Revisi 2017.
2. Dapat menghitung desain tebal lapis tambah (*overlay*) dengan metode AASHTO 1993
3. Dapat digunakan sebagai acuan untuk membandingkan desain tebal perkerasan lentur dengan perbandingan dari metode Bina Marga Revisi Juni 2017 dan AASHTO 1993.
4. Mengetahui tebal lapis tambah (*overlay*) dengan menggunakan variasi beban lalu lintas berdasarkan metode Bina Marga Revisi Juni 2017 dan AASHTO 1993.

LANDASAN TEORI

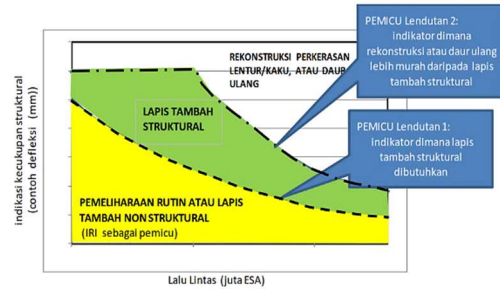
Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Menggunakan Metode Bina Marga Revisi Juni 2017 Dengan Data Lentutan Benkelman Beam (BB)

Dalam menentukan tebal lapis tambah perkerasan lentur (*overlay*) menggunakan data lentutan Benkelman Beam (BB) dilakukan berdasarkan tahapan berikut ini.

1. Dari data LHR yang sudah analisa kemudian tentukan nilai VDF (VDF4 dan VDF5) dari tiap jenis kendaraan berdasarkan Tabel Nilai VDF Muatan masing – masing jenis kendaraan niaga dari (Bina Marga 2017 Bagian I, Bab 4 hal.5). Selanjutnya menghitung nilai

CESA (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*) untuk CESA4 dan CESA5.

2. Menentukan desain tebal lapis tambah (*overlay*) berdasarkan beban lalu lintas CESA4 dan CESA5.
3. Menentukan Level Desain Pemicu dan Penanganan menggunakan Gambar 1 seperti berikut.



Gambar 1. Level Desain Pemicu dan Penanganan
Sumber: Bina Marga 2017

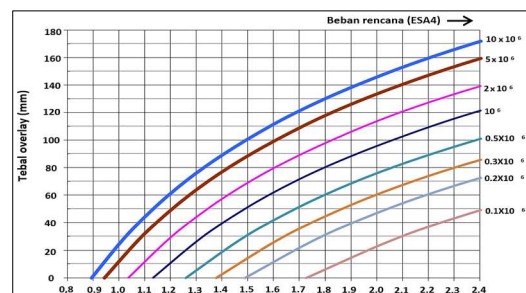
4. Menghitung desain tebal lapis tambah (*overlay*) dari data lendutan *Benkelman Beam* (BB).

Dalam mendesain tebal lapis tambah (*overlay*) struktural dapat dilakukan melalui 2 cara menurut Bina Marga 2017 sebagai berikut.

Overlay Berdasarkan Lentutan Maksimum (D₀)

Data lendutan hasil pengujian di lokasi penelitian menggunakan alat *Benkelman Beam* yang akan digunakan untuk mendesain tebal lapis tambah terlebih dahulu dikoreksi berdasarkan faktor koreksi musim (Ca), faktor koreksi suhu (F_T), dan faktor koreksi beban (FKB-BB).

Selanjutnya nilai dari lendutan maksimum yang sudah terkoreksi akan digunakan sebagai lendutan yang mewakili hasil survei lapangan yang merupakan lendutan wakil (D_{wakil}). D_{wakil} nantinya digunakan dalam menentukan tebal lapis tambah (*overlay*) berdasarkan Gambar 2 sebagai berikut.

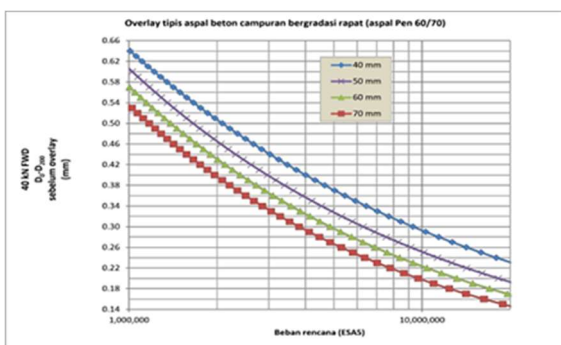


Gambar 2. Solusi *Overlay* Berdasarkan Lentutan Balik Benkelman Beam untuk WMAPT 41°C
Sumber: Bina Marga 2017

Overlay Berdasarkan Lengkung Lentutan (D_0 - D_{200})

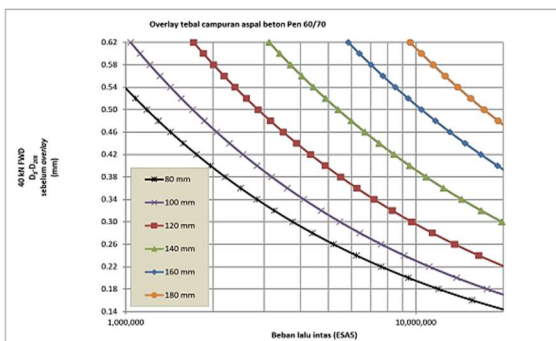
Data lendutan hasil pengujian di lokasi penelitian menggunakan alat *Benkelman Beam* yang akan digunakan untuk mendesain tebal lapis tambah terlebih dahulu dikoreksi berdasarkan faktor koreksi musim (C_a), faktor koreksi suhu (F_T), faktor koreksi beban (FKB-BB), dan penyesuaian BB ke FWD. Perkiraan kinerja lapisan perkerasan jalan berdasarkan retak leleh dihitung menggunakan lengkung lendutan karakteristik.

Selanjutnya nilai lengkung lendutan yang telah terkoreksi kemudian dihitung lendutan rata-rata (D_0 - D_{200} rata-rata) yang merupakan nilai lendutan yang akan digunakan untuk menentukan tebal lapis tambah (*overlay*) berdasarkan Gambar 3.1 dan Gambar 3.2. Overlay didapatkan menggunakan grafik dari kedua gambar dengan cara memasukan nilai lendutan rata-rata dan CESA5 yang diplot pada grafik sehingga terbaca hasil tebal lapis tambahan.



Gambar 3.1 Tebal overlay aspal konvensional untuk mencegah retak akibat leleh pada MAPT > 35 (*Overlay tipis*)

Sumber: Bina Marga 2017



Gambar 3.2 Tebal overlay aspal konvensional untuk mencegah retak akibat leleh pada MAPT > 35 (*Overlay tebal*)

Sumber: Bina Marga 2017

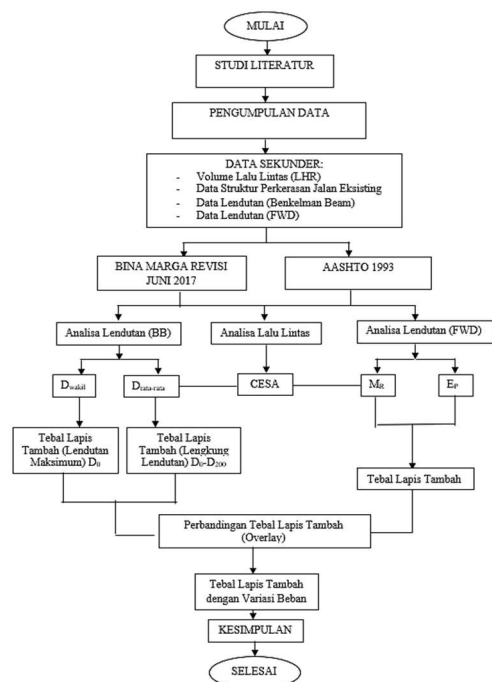
Perencanaan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Menggunakan Metode AASHTO 1993 Dengan Data Lendutan *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

Dalam menentukan tebal lapis tambah perkerasan lentur (*overlay*) menggunakan data lendutan *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dilakukan berdasarkan tahapan berikut ini.

1. Hitung daya rusak jalan atau *Vehicle Damage Factor (VDF)* setiap kendaraan dengan menginterpolasi nilai SN (*Structural Number*) dan faktor ekivalensi beban gandar berdasarkan sumbu roda kendaraan.
2. Menghitung total ESAL per tahun dari masing-masing jenis dan golongan kendaraan (ESAL per tahun = LHR x VDF x 365).
3. Menghitung Kumulatif Equivalent Single Axle Load Tahun n (W_{18}). Dengan rumus ($ESALW_{18} = ESAL_{(tahun n)} \times R \times DL \times DD$)
4. Desain tebal lapis tambah (*overlay*) menggunakan data lendutan hasil pengujian alat FWD.

METODOLOGI PENELITIAN

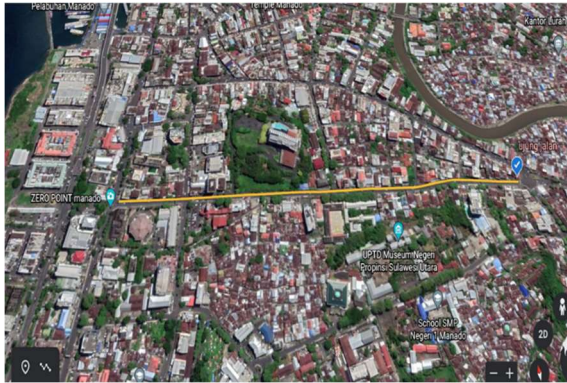
Bagan Alir Penelitian:



Gambar 4. Bagan Alir

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman – Manado pada (STA 0+050 – 0+200) yang merupakan jalan arteri tipe 1 arah (*one way*) 4 lajur dengan panjang total ruas jalan 1,45 km.



Gambar 5. Lokasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume Lalu Lintas Kendaraan

Data hasil survei volume lalu lintas kendaraan (LHR) di lokasi penelitian diperoleh dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Sulawesi Utara dengan waktu pelaksanaan survei selama 1 minggu atau 7 hari dimulai dari tanggal 9 September – 15 September 2019. Survei data LHR yang dilakukan berdasarkan total dari tiap jenis dan golongan kendaraan yang lewat dari jalur kiri (tugu zero point – perempatan ujung jalan) dan jalur kanan (perempatan ujung jalan – tugu zero point). Pengambilan data dilakukan selama 24 jam dengan rentang waktu setiap 15 menit.

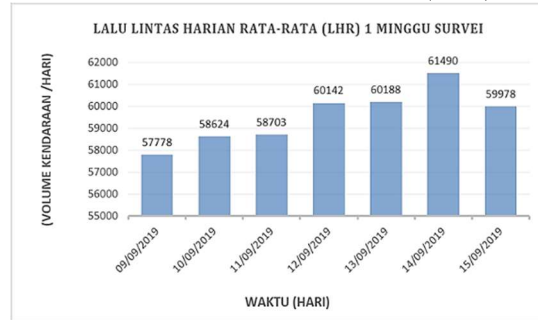
Data hasil survei volume lalu lintas selama 7 hari (1 minggu) merupakan total penjumlahan jalur kiri + jalur kanan yang dibuat dalam bentuk tabel dan grafik seperti pada Tabel 1. dan Gambar 6 berikut.

Tabel 1. Data Volume Lalu Lintas (LHR) 7 Hari

WAKTU	MC			LV					HV							Jumlah LHR
	Gol.1	Gol.2	Gol.3	Gol.4	Gol.5a	Gol.5b	Gol.6a	Gol.6b	Gol.7a	Gol.7b	Gol.7c	Truck Sumbu Gandengan	Truck Sumbu Gandengan	Truck Sumbu Gandengan		
09/09/2019	33489	16395	5614	1876	40	30	327	4	3	0	0	0	0	0	57778	
10/09/2019	33440	17045	5711	2040	62	19	254	53	0	0	0	0	0	0	58624	
11/09/2019	34139	16908	5606	1688	13	15	332	2	0	0	0	0	0	0	58703	
12/09/2019	33236	18110	6316	2007	136	35	302	0	0	0	0	0	0	0	60142	
13/09/2019	34194	18178	5626	1870	16	22	275	6	1	0	0	0	0	0	60188	
14/09/2019	34918	18145	5599	2110	257	62	350	68	0	1	0	0	0	0	61490	
15/09/2019	35051	17600	5347	1864	7	23	83	3	0	0	0	0	0	0	59978	
Jumlah	MC			LV					HV							
Total	258467			175655					2781							416903

Sumber: BPJN Sulawesi Utara, Tahun 2019

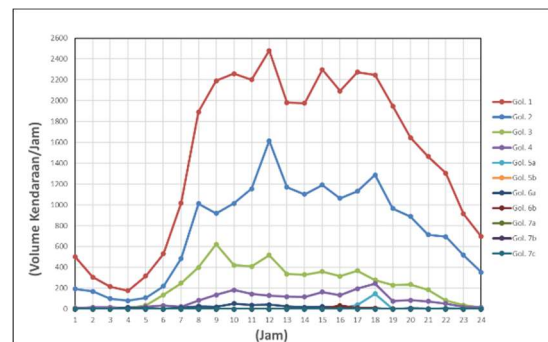
Gambar 6. Grafik Volume Lalu Lintas (LHR) 7 Hari



Perhitungan dalam mendesain tebal lapis tambah (*overlay*) digunakan data volume lalu lintas terbesar. Berdasarkan Tabel 1. dan Gambar 6. dapat dilihat bahwa volume lalu lintas terbesar terjadi pada hari Sabtu 19 September 2019, dengan total kendaraan yang melewati ruas jalan Jendral Sudirman 61.490 kendaraan. Selanjutnya dapat dilihat data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) terbesar yang disajikan pada Tabel 2. dan Gambar 7 seperti berikut.

Tabel 2 Data Volume Lalu Lintas (LHR) Hari Sabtu (Dalam 24 Jam)

Waktu (Jam ke)	MC			LV					HV							
	Gol.1	Gol.2	Gol.3	Gol.4	Gol.5a	Gol.5b	Gol.6a	Gol.6b	Gol.7a	Gol.7b	Gol.7c	Truck Sumbu Gandengan	Truck Sumbu Gandengan	Truck Sumbu Gandengan		
1	502	194	11	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
2	307	170	5	17	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0		
3	216	101	5	17	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0		
4	176	81	9	11	0	3	16	0	0	0	0	0	0	0		
5	318	109	37	23	1	1	9	0	0	0	0	0	0	0		
6	530	220	136	33	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0		
7	1018	486	250	23	2	7	12	1	0	0	0	0	0	0		
8	1891	1012	401	83	2	1	27	0	0	0	0	0	0	0		
9	2189	918	623	136	1	1	22	0	0	0	0	0	0	0		
10	2258	1013	422	183	1	0	54	0	0	0	0	0	0	0		
11	2201	1154	408	145	1	3	39	0	0	1	0	0	0	0		
12	2489	1614	518	129	1	5	43	0	0	0	0	0	0	0		
13	1982	1170	336	120	2	2	25	0	0	0	0	0	0	0		
14	1974	1101	331	117	5	4	17	0	0	0	0	0	0	0		
15	2297	1190	360	163	0	10	24	3	0	0	0	0	0	0		
16	2091	1064	315	135	7	7	14	34	0	0	0	0	0	0		
17	2273	1131	368	195	40	5	11	10	0	0	0	0	0	0		
18	2246	1286	279	245	148	1	7	9	0	0	0	0	0	0		
19	1948	965	230	76	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0		
20	1645	888	236	85	3	1	9	0	0	0	0	0	0	0		
21	1463	713	186	74	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0		
22	1303	694	83	54	9	0	2	3	0	0	0	0	0	0		
23	913	518	38	21	6	3	1	5	0	0	0	0	0	0		
24	697	353	12	17	6	1	3	0	0	0	0	0	0	0		
Jumlah	34918	18145	5599	2110	237	62	350	68	0	1	0	0	0	0		
Total	MC			LV					HV							
	34918			25854					718							61490

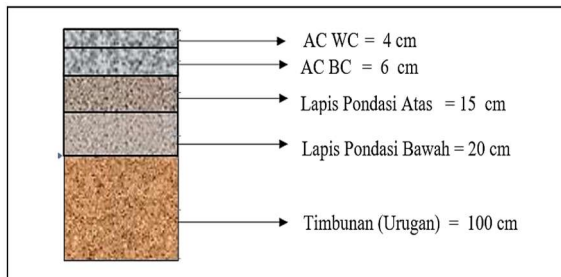


Gambar 7. Grafik Penentuan LHR (Dalam 24 Jam)

Struktur Lapisan Perkerasan Jalan Eksisting

Data struktur tebal lapisan perkerasan jalan eksisting pada ruas jalan Nasional Jenderal Sudirman – Manado dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut.

Gambar 8. Struktur Lapisan Perkerasan Jalan



Data Lendutan FWD (Falling Weight Deflectometer)

Data lendutan dari hasil pengujian menggunakan alat FWD dengan merek APJK 2015 (geophone 7 sensor) diperoleh dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Sulawesi Utara. Selanjutnya data lendutan FWD dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Lendutan FWD

STA	BEBAN (KN)	TEG. (Kpa)	LENDUTAN LANGSUNG FWD (mm)							TEMPERATUR (°C)		
			DF1	DF2	DF3	DF4	DF5	DF6	DF7	Tu	Tp	T.Perk.
0+050	39,62	560,508	0,278	0,134	0,117	0,094	0,078	0,041	0,021	26,9	30	25
0+100	39,44	557,962	0,410	0,346	0,173	0,095	0,083	0,075	0,017	27,1	30	26
0+150	41,21	583,002	0,225	0,124	0,114	0,094	0,073	0,047	0,022	27,2	30	25
0+200	38,38	542,966	0,413	0,331	0,327	0,252	0,188	0,117	0,037	26,8	30	25

Sumber: Survei BPJN Sulawesi Utara, 2020

Data Lendutan BB (Benkelman Beam)

Data lendutan Benkelman Beam (BB) merupakan data yang diperoleh dari konversi perhitungan menggunakan persamaan model terbaik yaitu (Model Polynomial Orde 6) berdasarkan data lendutan FWD. Selanjutnya data lendutan BB dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Lendutan BB

STA	Beban Uji (Ton)	Lendutan Balik/ BB (mm)			Temperatur (°C)	
		D1	D2	D3	Tu	Tp
0+050	8,2	0,00	0,08	0,20	26,9	30
0+100	8,2	0,00	0,17	0,29	27,1	30
0+150	8,2	0,00	0,07	0,15	27,2	30
0+200	8,2	0,00	0,18	0,29	26,8	30

Sumber: Hasil Analisa Pribadi, 2021

Menghitung Tebal Lapis Tambah (Overlay) Metode Bina Marga Revisi Juni 2017 Dengan Data Lendutan Benkelman Beam (BB).

Analisa Lalu Lintas Kendaraan

Pada ruas jalan Nasional Jendral Sudirman – Manado (STA 0+050 – STA 0+200) dengan karakteristik jalan arteri dan perkotaan berdasarkan Tabel 5, diambil nilai laju pertumbuhan lalu lintas (Rata-rata Indonesia) sebesar 4,75% dengan umur rencana (UR) 12 tahun.

Tabel 5. 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: Bina Marga 2017

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R) sebagai berikut.

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

$$R = \frac{(1+0,01 4,75\%)^{12}-1}{0,01 4,75\%}$$

$$R = \frac{(1+0,01 x 0,0475)^{12}-1}{0,01 x 0,0475}$$

$$R = 12,031$$

Lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (CESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Pada jalan dengan tipe 1 arah (one way) digunakan faktor distribusi arah (DD) sebesar 1,0 dan faktor distribusi lajur (DL) sebesar 0,5 untuk ruas jalan (4 lajur – 1 arah).

Berdasarkan Metode Bina Marga Revisi Juni 2017 ada 2 nilai faktor ekivalen beban (Vehicle Damage Factor) atau faktor daya rusak jalan yang sudah ditentukan yaitu VDF4 dan VDF5. Dalam metode ini juga dijelaskan bahwa hanya berlaku kendaraan niaga dengan roda berjumlah enam atau lebih yang dianalisa dalam perhitungan.

Nilai VDF untuk tiap jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 6 seperti berikut.

Tabel 6. Nilai VDF4 dan VDF5 Tiap kendaraan

NO.	GOLONGAN	VDF4	VDF5
1	5a	0.3	0.2
2	5b	1	1
3	6a	0.8	0.8
4	6b	1.6	1.7
5	7a	7.6	11.2
6	7b	36.9	90.4
7	7c	13.6	33.2

Sumber: Bina Marga 2017

Hasil perhitungan dari nilai CESA (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*) atau kumulatif beban sumbu standar lalu lintas dengan umur rencana (UR) 12 tahun dengan rumus: $ESA_{TH-1} = (\sum LHRJK \times VDFJK) \times 365 \times DD \times DL \times R$, dapat dilihat di Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan CESA4 dan CESA5

NO	GOLONGAN	LHR	VDF4	VDF5	CESA4	CESA5
1	5a	237	0,3	0,2	156116,435	104077,623
2	5b	62	1	1	136135,287	136135,287
3	6a	350	0,8	0,8	614804,524	614804,524
4	6b	68	1,6	1,7	238895,472	253826,439
5	7a	0	7,6	11,2	0	0
6	7b	1	36,9	90,4	81022,453	198494,032
7	7c	0	13,6	33,2	0	0
JUMLAH					1.226.974	1.307.338

Sumber: Hasil Analisa, 2021

Tebal Lapis Tambah (Overlay) Berdasarkan Lentutan Maksimum (D_{wakil})

Analisa Data Lentutan

Perhitungan lentutan balik maksimum terkoreksi berdasarkan data lentutan survei di lokasi penelitian pada (STA 0+050 – STA 0+200) dapat dilihat pada Tabel 8 berikut ini.

Tabel 8. Perhitungan Lentutan Balik Maksimum Terkoreksi

Station	Beban Uji (ton)	Tebal Existing Permukaan Aspal (mm)	Lentutan Balik/BB (mm)								Temperatur								Faktor Temperatur (FT)	Faktor Koreksi Pada Temperatur (Dari tabel)	Koreksi Masu (C)	Koreksi Beban (FKB: BB)	Lentutan Terkoreksi (mm)	dk ²																				
			D1	D2	D3	Tu	Tp	Tu+Tp	Tt	Tl	Tu	Tp	Tu+Tp	Tt	Tl																													
0+050	8.2	100	0.00	0.08	0.20	26.9	30	56.9	32.3	28.6	30.30	1.35	1.07	1.2	0.990	0.643	0.414																											
0+100	8.2	100	0.00	0.17	0.29	27.1	30	57.1	32.3	28.6	30.30	1.35	1.07	1.2	0.990	0.923	0.852																											
0+150	8.2	100	0.00	0.07	0.15	27.2	30	57.2	32.3	28.6	30.30	1.35	1.07	1.2	0.990	0.483	0.233																											
0+200	8.2	100	0.00	0.18	0.29	26.8	30	56.8	32.3	28.6	30.30	1.35	1.07	1.2	0.990	0.943	0.889																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>STA 0+050 Ke STA 150+200</td> <td>Jumlah</td> <td>2,992</td> <td>2,388</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Jumlah Titik (ns)</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Lentutan Rata - Rata (DR)</td> <td>0,748</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Deviasi Standar (S)</td> <td>0,224</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Faktor Keseragaman (FK)</td> <td>29,881</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Kondisi Keseragaman Data</td> <td>Cukup Baik</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Lentutan Wakil</td> <td>1,20</td> <td>arteri</td> </tr> </table>																	STA 0+050 Ke STA 150+200	Jumlah	2,992	2,388		Jumlah Titik (ns)	4			Lentutan Rata - Rata (DR)	0,748			Deviasi Standar (S)	0,224			Faktor Keseragaman (FK)	29,881			Kondisi Keseragaman Data	Cukup Baik			Lentutan Wakil	1,20	arteri
STA 0+050 Ke STA 150+200	Jumlah	2,992	2,388																																									
	Jumlah Titik (ns)	4																																										
	Lentutan Rata - Rata (DR)	0,748																																										
	Deviasi Standar (S)	0,224																																										
	Faktor Keseragaman (FK)	29,881																																										
	Kondisi Keseragaman Data	Cukup Baik																																										
	Lentutan Wakil	1,20	arteri																																									

a. Lentutan Rata-rata (D_R)

D_R dihitung berdasarkan nilai D₀ yang telah seragam dan telah dikoreksi dengan beban standar 8,2 ton, faktor musim, dan temperatur.

$$D_0 \text{ rata-rata} = \frac{\sum D_0 BB}{N} = \frac{2,992}{4} = 0,748$$

b. Standar Deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{N(\sum d^2) - (\sum d)^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{4(2,388) - (2,992)^2}{4(4-1)}} = 0,224$$

c. Faktor Keseragaman Lentutan (FK)

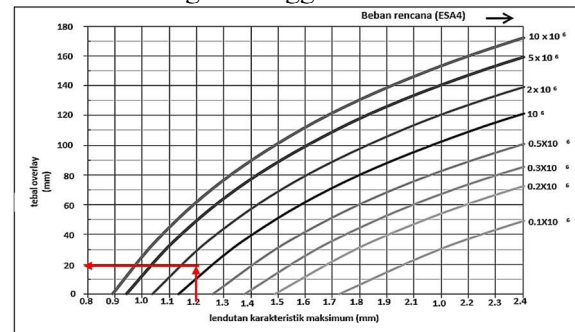
$$Fk = \frac{\text{Standar Deviasi (S)}}{\text{Lentutan Rata-rata (DR)}} \times 100 = \frac{0,224}{0,748} \times 100 = 29,881 \text{ (cukup baik)}$$

d. Lentutan maksimum (D_{wakil})

$$D_{wakil} = D_R + 2s \text{ (untuk Jalan arteri / tol)} = 0,748 + (2 \times 0,224) = 1,20 \text{ mm}$$

e. Hasil Tebal Lapis Tambah (Overlay)

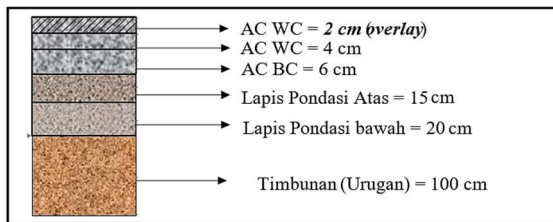
Tebal lapis tambah (*overlay*) dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Penentuan Tebal Lapis Tambah (*overlay*) Metode Bina Marga 2017 Berdasarkan Lentutan Maksimum

Dari Gambar 9. di atas menunjukkan bahwa tebal lapis tambah (*overlay*) yang direncanakan berdasarkan nilai lentutan karakteristik maksimum (D_{wakil}) = 1,2 mm untuk beban lalu lintas rencana CESA4 = 1.226.974 yaitu sebesar 20 mm atau 2 cm.

Selanjutnya dibuat desain model struktur lapisan perkerasan jalan yang disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur lapisan perkerasan jalan setelah di *overlay* berdasarkan Lentutan Maksimum (D_{wakil})

Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Berdasarkan Lengkung Lentutan ($D_0 - D_{200}$)

Perhitungan lengkung lentutan berdasarkan data lentutan survei di lokasi penelitian dikoreksi dengan faktor koreksi suhu, faktor musim, faktor koreksi beban, dan penyesuain BB ke FWD dapat dilihat pada Tabel 9 seperti berikut.

Tabel 9. Perhitungan Lengkung Lentutan Terkoreksi

STA	Beban Uji (ton)	Tebal Existing Perkerasan Aspal (mm)	Lentutan Balok/BB (mm)							Temperatur							Faktor Temperatur (FT)	Koreksi Meleak (Ca)	Koreksi Beban (FKB-BB)	Lentutan Terkoreksi (mm)	$d_0 = \frac{D_0 - D_{200}}{417 \cdot F_T \cdot C_a \cdot F_{KB}}$	Penyesuaian BB-FWD	d ²		
			D1	D2	D3	Ta	Tp	Ta+Tp	Tt	Tb	Tl	Ta	Tp	Ta+Tp	Tt	Tb								Tl	
0+050	8,2	100	0,00	0,08	0,20	26,9	30	56,9	32,3	28,6	30,30	1,35	1,2	0,990	0,643	0,414	0,508	0,258							
0+100	8,2	100	0,00	0,17	0,29	27,1	30	57,1	32,3	28,6	30,30	1,35	1,2	0,990	0,923	0,852	0,729	0,532							
0+150	8,2	100	0,00	0,07	0,15	27,2	30	57,2	32,3	28,6	30,30	1,35	1,2	0,990	0,483	0,233	0,381	0,146							
0+200	8,2	100	0,00	0,18	0,29	26,8	30	56,8	32,3	28,6	30,30	1,35	1,2	0,990	0,943	0,889	0,745	0,555							
Dati (STA 0+050) ke (STA 0+200)																		Jumlah	2,992	2,388	2,364	1,490			
																		Jumlah Titik (ns)	4						
																		Lentutan Rata - Rata (DR)	0,748			0,591			

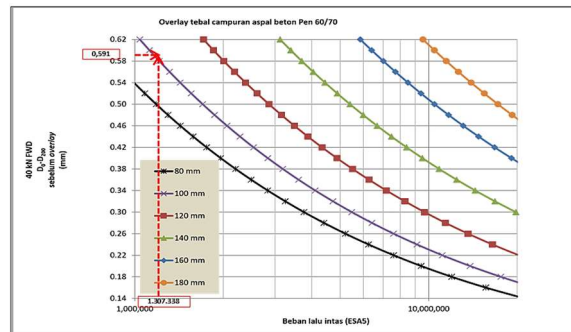
a. Lentutan Rata-rata (D_R)

$D_0 - D_{200}$ rata – rata dihitung berdasarkan nilai total $D_0 - D_{200}$ yang telah seragam dan telah dikoreksi.

$$D_0 - D_{200} \text{ rata – rata} = \frac{\sum D_0 - D_{200} \text{ BB}}{N} = \frac{2,364}{4} = 0,591$$

b. Hasil Tebal Lapis Tambah (*Overlay*)

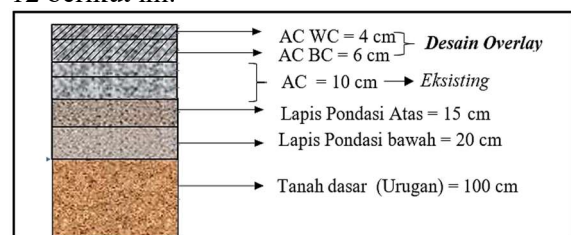
Tebal *overlay* berdasarkan lengkung lentutan ditentukan dengan menggunakan grafik pada Gambar 11 dengan cara memasukan nilai $D_0 - D_{200}$ rata – rata dan CESA5. dari hasil perhitungan sebelumnya.



Gambar 11. Tebal (*overlay*) aspal konvensional untuk mencegah retak akibat lelah pada MAPT > 35 (*Overlay* tebal)

Dari grafik pada Gambar 11 di atas menunjukkan bahwa tebal lapis tambah (*overlay*) yang direncanakan berdasarkan nilai lengkung lentutan rata-rata ($D_0 - D_{200}$ rata - rata) = 0,591 mm untuk beban lalu lintas rencana CESA5= 1.307.338 yaitu sebesar 100 mm atau 10 cm.

Selanjutnya dibuat model struktur lapisan perkerasan jalan yang disajikan pada Gambar 12 berikut ini.



Gambar 12. Struktur lapisan perkerasan jalan setelah di *overlay* berdasarkan (Lengkung Lentutan)

Menghitung Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Metode AASHTO 1993 Dengan Data Lentutan *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

Analisa Lalu Lintas Kendaraan

Analisa lalu lintas pada metode AASHTO1993 dalam perhitungan adalah jenis kendaraan yang ditinjau berupa kendaraan ringan sampai berat (golongan 2 – 7c). Nilai VDF berdasarkan metode AASHTO 1993 dari hasil perhitungan disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Rekapitulasi Nilai VDF

Jenis kendaraan	Golongan	Berat Total (Kips)	VDF
Sedan, Jeep	2	4,40920	0,00121
Opelet, Angkot	3	4,40920	0,00121
Pick-up, pick-up box	4	4,40920	0,00121
Bus kecil	5a	18,29818	0,24819
Bus besar	5b	19,84140	0,34407
Truk 2 sumbu ringan	6a	40,12372	4,87088
Truk 2 sumbu sedang	6b	40,12372	4,87088
Truk 3 sumbu	7a	55,11500	0,72750
Truk gandeng	7b	69,22444	3,92851
Semi trailer	7c	92,59320	5,59155

Berdasarkan nilai VDF dari Tabel 10, selanjutnya dihitung ESAL per tahun yang hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Rekapitulasi ESAL per tahun

Jenis Kendaraan	Golongan	LHR	Berat Total (kips)	VDF	ESAL per Tahun
Sedan, Jeep	2	18145	4,4092	0,00121	7980,803
Opelet, Angkot	3	5599	4,4092	0,00121	2462,635
Pick-up, pick-up box	4	2110	4,4092	0,00121	928,051
Bus kecil	5a	237	18,2982	0,24819	21469,775
Bus besar	5b	62	19,8414	0,34407	7786,310
Truk 2 sumbu ringan	6a	350	40,1237	4,87088	622255,281
Truk 2 sumbu sedang	6b	68	40,1237	4,87088	120895,312
Truk 3 sumbu	7a	0	55,1150	0,72750	0,000
Truk gandeng	7b	1	69,2244	3,92851	1433,907
Semi trailer	7c	0	92,5932	5,59155	0,000
Jumlah					785.212,074

Sumber: Hasil Analisa, 2021

Perhitungan nilai Kumulatif ESAL (W_{18}) selama umur rencana (UR) 12 tahun berdasarkan data rekapitulasi ESAL per tahun dari Tabel 11 di atas dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$ESAL_n = ESAL_{2019} \times R \times DL \times DD$$

$$ESAL_{12} = 785.212,074 \times 15,689 \times 0,5 \times 1$$

$$= 6.159.474,283$$

Jadi, $ESAL (W_{18}) = 6.159.474$

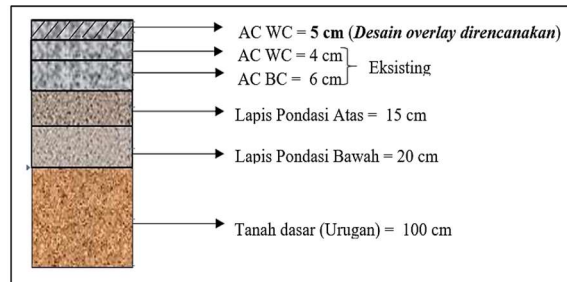
Analisa Perhitungan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Metode AASHTO 1993

Tahapan dalam perencanaan dalam menghitung desain tebal lapis tambah metode AASHTO 1993 sebagai berikut:

1. Menghitung Modulus Resilient Tanah Dasar (M_R)
2. Menghitung Modulus Efektif Perkerasan (E_p)
3. Menghitung Angka Struktural Efektif Eksisting (SN_{eff})
4. Menghitung Angka Struktural Efektif Rencana (SN_f)
5. Hitung Tebal Lapis Tambah Overlay (H_{OL})

Melalui serangkaian berdasarkan tahapan perhitungan diperoleh hasil tebal lapis tambah rata-rata pada (STA 0+050 – STA 0+200) menggunakan metode AASHTO 1993 sebesar 4,57 cm atau dibulatkan menjadi 5 cm.

Selanjutnya dibuat desain model struktur tebal lapisan perkerasan jalan yang disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Struktur lapisan perkerasan jalan setelah di overlay berdasarkan metode AASHTO 1993.

Perbandingan Hasil Perhitungan Desain Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017 dengan Metode AASHTO 1993

Perbandingan dari hasil desain tebal lapis tambah perkerasan lentur dipengaruhi oleh parameter dari masing-masing metode yang disajikan pada Tabel 12 sebagai berikut.

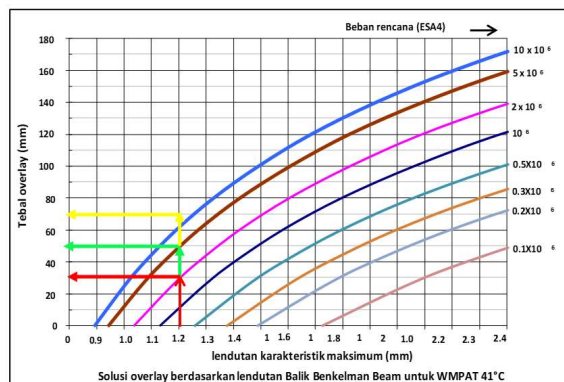
Tabel 12. Perbedaan Parameter Desain Overlay Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993

NO	Parameter	Bina Marga 2017	AASHTO 1993
1	Beban sumbu standar	Beban sumbu standar yang digunakan 8,16 ≈ 8,2ton atau setara dengan 18 kips ESAL	
2	Angka Ekuivalen (E)	Menggunakan nilai VDF untuk masing-masing jenis kendaraan niaga pada Tabel 2.5	Menggunakan data VDF dari hasil interpolasi faktor beban gandar dan nilai SN berdasarkan tebal perkerasan, koefisien lapisan dan koefisien drainase
3	Faktor Penyesuaian	<ul style="list-style-type: none"> - Koreksi beban = 77,343 x (beban uji (ton))^{-2,0715} - Koreksi musim = 1,2 - Koreksi suhu = 1,35 - Koreksi penyesuaian BB ke FWD = 0,79 	<ul style="list-style-type: none"> - Koreksi suhu = 0,8
4	Parameter lain-lain	<ul style="list-style-type: none"> - Lentutan maksimum (D_0) = 1,20 - Lengkung lentutan ($D_0 - D_{200}$) = 0,591 	<ul style="list-style-type: none"> - Modulus Resilient tanah dasar ($M_{R(rata-rata)}$) = 23.174,525 - CBR = 15,4497% - Modulus Efektif Perkerasan (E_p) - SN_{eff}; SN_f - $SN = 3,40$ - Deviasi standar normal (Z_R) = -1,555 - Deviasi standar keseluruhan (S_0) - Reliability (R) = 94 %

5	Design Traffic	- LHR (Gol. 5a – 7c) = 718 kend/hari - CESA4 = 1.226.974 - CESA5 = 1.307.338	- LHR (Gol. 2 – 7c) = 26.572 kend/hari - ESAL W_{18} = 6.159.474,283
6	Tebal Overlay (cm)	- Berdasarkan CESA4 (1.226.974), lendutan maksimum = 2 cm - Berdasarkan CESA5 (1.307.338), lengkung lendutan = 10 cm	- Berdasarkan W_{18} (6.159.474,283) = 4,57 cm \approx 5 cm.

Perhitungan Variasi Beban Lalu Lintas Kendaraan Terhadap Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode Bina Marga 2017

Perhitungan variasi beban lalu lintas terhadap tebal lapis tambah disajikan pada grafik Gambar 14 berdasarkan nilai lendutan karakteristik maksimum = 1,2 mm dengan variasi nilai CESA4 = 2×10^6 , 5×10^6 , dan 10×10^6 ESA.



Gambar 14. Grafik Tebal Overlay Berdasarkan Lendutan Balik Maksimum BB dengan Variasi Beban Lalu Lintas

Tabel 13. Tebal Lapis Tambah Berdasarkan Variasi Beban Lalu Lintas Metode Bina Marga 2017

CESA		Tebal lapis tambahan AC-WC (Overlay)	
		mm	cm
	1.226.974	20,00	2,00
2×10^6	2.000.000	30,00	3,00
5×10^6	5.000.000	50,00	5,00
10×10^6	10.000.000	70	7,00

Sumber: Hasil Analisa, 2021

Tabel 14. Rekapitulasi Analisa Statistik Pada Metode Bina Marga 2017

Bina Marga Revisi Juni 2017	
	r^2
Regresi Linier	0,9700
Model Eksponential	0,8808
Model Logarithmic	0,9879
Model Polynomial Orde 6	0,9996

Sumber: Hasil Analisa, 2021

Perhitungan Variasi Beban Lalu Lintas Kendaraan Terhadap Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Berdasarkan AASHTO 1993

Perhitungan variasi beban lalu lintas terhadap tebal lapis tambah metode AASHTO 1993 disajikan pada Tabel 15 berdasarkan nilai ($a_{0L} = 0,4$), (S_{Neff} STA 0+050 = 3,0559 ; S_{Neff} STA 0+100 = 2,6805 ; S_{Neff} STA 0+150 = 3,3228 ; S_{Neff} STA 0+200 = 2,6497) dengan variasi nilai CESA (W_{18}) = 6×10^6 , 7×10^6 , 8×10^6 , 9×10^6 , dan 10×10^6 .

Tabel 15 Tebal Lapis Tambah (Overlay) Metode AASHTO 1993 Menggunakan Variasi Beban Lalu Lintas

CESA (W_{18})	Tebal Lapis Tambah (cm)
6.159.474,28	4,57
7×10^6	4,79
8×10^6	5,03
9×10^6	5,24
10×10^6	5,43

Sumber: Hasil Analisa 2021

Tabel 16. Rekapitulasi Analisa Statistik Pada Metode AASHTO 1993

AASHTO 1993	
	r^2
Regresi Linier	0,9979
Model Eksponential	0,9955
Model Logarithmic	0,9254
Model Polynomial Orde 6	1

Berdasarkan hasil analisa perhitungan tebal lapis tambah (*overlay*) dengan metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 terpilih model Polynomial Orde 6 yang menghasilkan nilai korelasi (r^2) terbesar sehingga menjadi model terbaik.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Perhitungan desain tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur dengan metode Bina Marga Revisi 2017 berdasarkan data lendutan BB dihasilkan:
 - i. Tebal lapis tambah menggunakan lendutan maksimum (deformasi permanen) dengan nilai CESA4 = 1.226.974 menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*) sebesar 2 cm.
 - ii. Tebal lapis tambah menggunakan lengkung lendutan (*Curvature Function*) dengan nilai CESA5 = 1.307.338 menghasilkan tebal lapis tambah (*overlay*) sebesar 10 cm.Perhitungan CESA4 dan CESA5 menggunakan nilai VDF (*Vehicle Damage Factor*) yang sudah ditentukan berdasarkan Tabel 6 (Nilai VDF4 dan VDF5 Tiap kendaraan) dengan jenis kendaraan niaga golongan 5a sampai 7c.
2. Perhitungan desain tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur dengan metode AASHTO 1993 berdasarkan data lendutan FWD dihasilkan: Tebal lapis tambah dengan nilai CESA (W_{18}) = 6.159.474 sebesar 4,57 cm kemudian dibulatkan menjadi 5 cm.
3. Dalam perhitungan desain lapis tambah (*overlay*) dibuat variasi beban untuk

masing-masing metode yang digunakan dan menghasilkan tebal lapis tambah yang berbeda atau bervariasi. Analisis variasi beban juga dilakukan perhitungan dengan model Regresi Linier, model Eksponensial, model Logarithmic, dan model Polynomial Orde 6. Perhitungan tebal lapis tambah dengan variasi beban pada metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 dipilih model Polynomial Orde 6 yang merupakan model terbaik karena nilai korelasi (r^2) terbesar.

Saran

1. Dalam penelitian ini jenis data khususnya volume lalu lintas Kendaraan (LHR) yang digunakan hanya berdasarkan data sekunder yang telah di survei tahun 2019 yang diperoleh dari BPJN Sulawesi Utara. Disarankan untuk melakukan survei langsung di lokasi penelitian agar mengamati langsung kendaraan yang lewat serta mengetahui cara perhitungan kendaraan kemudian melakukan pengisian pada lembar form survei LHR yang sudah ada.
2. Data lendutan FWD yang diperoleh dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Sulawesi Utara di lokasi penelitian hanya pada titik atau segmen tertentu yang diasumsikan mewakili kerusakan di ruas jalan pada studi kasus. Sebaiknya pengujian dengan menggunakan alat FWD dapat dilakukan pada setiap stasioning sepanjang ruas jalan agar data yang diperoleh lebih akurat dan dapat mencakup keseluruhan ruas jalan pada lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2017. *Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1993, *Guide for The Design of Pavement Structures*, The American Association of State Highway Transportation Officials, Washington DC.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Cara Uji Lendutan Perkerasan Lentur dengan Alat *Benkelman Beam*. Jakarta.

Mantiri, Cyintia Claudia, Theo K. Sendow, Mecky R.E. Manoppo, 2019. *Analisa Tebal erasanLentur Jalan Baru dengan Metode Bina Marga 2017 dibandingkan Metode AASHTO 1993*. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.10 Oktober 2019 (1303-1316) ISSN: 2337-6732.

Romauli, Theresia Dwiriani, Joice E. Waani, Theo K. Sendow, 2016. *Analisis Perhitungan tebal Lapis Tambahan (Overlay) pada Perkerasan Lentur dengan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 (Studi Kasus: Ruas Jalan Kairagi – Mapanget)*. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.12 Desember 2016 (749-759) ISS: 2337-6732.

Pangerapan, Monica Linny, Theo K. Sendow, Lintong Elisabet, 2018. *Studi Perbandingan Perencanaan Tebal lapis Tambah (overlay) Perkerasan Lentur Menurut Metode Pd T-052005-B dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 (Studi Kasus: Ruas Jalan Bts.Kota Manado – Tomohon)* Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.10 Oktober 2018 (823-834) ISSN: 23376732.

Umum, K. P., Jenderal, D., & Marga, B. (2017). *Direktorat Jenderal Bina Marga Manual Desain*.

Pd T-05-2005-B. *Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur Dengan Metode Lendutan*. Departemen Pekerjaan Umum.

Sukirman, Silvia, 2010. *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. Bandung: Nova.