

ANALISA PERBANDINGAN DESAIN LAPIS TAMBAH PERKERASAN LENTUR DENGAN MENGGUNAKAN METODE Pd T-05-2005-B DAN METODE BINA MARGA 2017 (STUDI KASUS : Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori Nomor Ruas : 5001700)

Prayer Joshua Porong

Theo K. Sendow, Steve Ch. N. Palenewen

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: prayer736@gmail.com

ABSTRAK

Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori merupakan salah satu ruas jalan yang sering digunakan masyarakat sekitar sebagai penunjang kegiatan perekonomian, pariwisata, politik, pendidikan, dan lain sebagainya. Banyaknya aktivitas kendaraan bermotor di ruas jalan ini membuat ruas jalan ini mulai menunjukkan tanda-tanda turunnya kualitas jalan yang terlihat dari beberapa kerusakan pada permukaan jalan. Salah satu tindakan penanganan yang bisa dilakukan yaitu pelapisan ulang (Overlay) untuk menambah kekuatan jalan dan menghindari kerusakan lainnya.

Dalam penelitian ini digunakan dua metode untuk mengetahui tebal lapis tambah yaitu metode Pd T-05-2005-B dan metode Bina Marga 2017 yang nantinya akan dibandingkan mulai dari parameter desain, prosedur perhitungan, dan juga hasil analisa dari kedua metode. Metode Pd T-05-2005-B dan Bina Marga 2017 menggunakan data lendutan dan beban lalu lintas sebagai variabel penentu tebal lapis tambah. Dan dalam penelitian ini digunakan data sekunder berupa data lendutan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) dan data lalu lintas harian rata-rata yang diperoleh dari BPJN Sulawesi Utara.

Hasil penelitian berdasarkan masing-masing metode memiliki beberapa perbedaan dikarenakan adanya perbedaan tahapan perhitungan, pada metode Pd T-05-2005-B bersifat analitis sedangkan Bina Marga 2017 menggunakan grafik untuk menentukan tebal lapis tambah berdasarkan nilai CESA. Untuk metode Pd T-05-2005-B menghasilkan tebal lapis tambah sebesar 8 cm dengan beban lalu lintas sebesar 3.707.799, dan untuk metode Bina Marga 2017 menghasilkan tebal lapis tambah sebesar 10 cm dengan nilai CESA 3.039.824. Tapi untuk metode Bina Marga 2017 jika ditinjau berdasarkan lendutan maksimum, ruas jalan yang ditinjau belum membutuhkan penanganan pelapisan tambahan.

Kata kunci: Pd T-05-2005-B, Bina Marga 2017, Lapis tambah, Overlay, Falling Weight Deflectometer.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Transportasi memiliki peranan penting dalam suatu wilayah khususnya di Negara Indonesia yang memiliki pertumbuhan yang sangat pesat pada beberapa aspek kehidupan masyarakat seperti pada sektor pariwisata dan perekonomian sehingga perkembangan infrastruktur juga meningkat. Hal ini menyebabkan beberapa daerah di Indonesia mengalami peningkatan pada volume kendaraan lalu lintas, salah satunya yaitu Provinsi Sulawesi

Utara dalam hal ini pada Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori yang terlihat pada lalu lintas harian rata-rata dari tahun 2019 yaitu 8.151 kendaraan per hari yang kemudian mengalami peningkatan pada tahun 2020 menjadi sebanyak 9.356 kendaraan per hari.

Pada beberapa bagian ruas jalan Batas Kota Manado – Wori, mulai terlihat beberapa kerusakan seperti cacat permukaan, timbulnya retak-retak pada permukaan perkerasan, dan lain sebagainya yang menyebabkan turunnya tingkat pelayanan suatu ruas jalan dan ketidak nyamanan berkendara. Maka dari itu, diperlukan tindakan

pemeliharaan jalan serta peningkatan kekuatan pada perkerasan jalan yang diharapkan bisa menstabilkan tingkat pelayanan jalan.

Salah satu Langkah yang bisa di lakukan yaitu penambahan tebal lapisan perkerasan jalan (*Overlay*) untuk menghindari resiko turunnya masa pelayanan jalan sebelum umur yang direncanakan. Dalam perencanaan penambahan tebal perkerasan diperlukan beberapa hal pendukung yaitu penentuan metode perencanaan, dan dalam penelitian ini penulis menggunakan Metode Pd T-05-2005-B yang sudah sangat dikenal dan sering digunakan pada pekerjaan *Overlay* saat ini dan metode Bina Marga 2017 yang merupakan metode terakhir yang dikeluarkan oleh Bina Marga.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka direncanakan tebal lapis tambah (*Overlay*) perkerasan lentur pada ruas jalan Batas Kota Manado - Wori dengan membandingkan dua metode yaitu Metode Bina Marga 2017 dan metode Pd T-05-2005-B.

Manfaat Penelitian

Berikut ini merupakan beberapa manfaat yang harapannya boleh tercapai melalui penelitian ini :

1. Meningkatkan pengetahuan tentang pemilihan jenis penanganan lapis tambah pada perkerasan lentur.
2. Memperoleh hasil analisis yang paling efektif dari kedua metode untuk peningkatan umur rencana dan nilai struktural ruas jalan yang diteliti

Batasan Masalah

Berikut merupakan tujuan penelitian ini :

1. Menghitung tebal lapis tambah (*Overlay*) perkerasan lentur ruas jalan Batas Kota Manado – Wori dengan metode Pd T-05-2005-B.
2. Menghitung tebal lapis tambah (*Overlay*) perkerasan lentur ruas jalan Batas Kota Manado – Wori dengan metode Bina Marga 2017.
3. Menganalisis dan membandingkan tebal lapis tambah (*Overlay*) berdasarkan kedua metode yaitu Bina Marga 2017 dan Pd T-05-2005-B.
4. Menghitung tebal lapis tambah perkerasan lentur berdasarkan beban lalu lintas yang

divariasikan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan Pd T-05-2005-B.

Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan penelitian ini :

1. Menghitung tebal lapis tambah (*Overlay*) perkerasan lentur ruas jalan Batas Kota Manado – Wori dengan metode Pd T-05-2005-B.
2. Menghitung tebal lapis tambah (*Overlay*) perkerasan lentur ruas jalan Batas Kota Manado – Wori dengan metode Bina Marga 2017.
3. Menganalisis dan membandingkan tebal lapis tambah (*Overlay*) berdasarkan kedua metode yaitu Bina Marga 2017 dan Pd T-05-2005-B.
4. Menghitung tebal lapis tambah perkerasan lentur berdasarkan beban lalu lintas yang divariasikan menggunakan metode Bina Marga 2017 dan Pd T-05-2005-B.

LANDASAN TEORI

Desain Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Berdasarkan Metode Pd T-05-2005-B

Prosedur tebal lapis tambah berdasarkan metode Pd T-05-2005-B adalah sebagai berikut :

1. Hitung repetisi beban lalu lintas (CESA) dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$CESA = \sum m \times 365 \times E \times C \times N$$

Keterangan :

CESA = Akumulasi Ekuivalen Beban Sumbu Standar

M = Jumlah masing-masing jenis kendaraan

365 = Jumlah hari dalam 1 (satu) tahun

E = Ekuivalen Beban Sumbu

C = Koefisien Distribusi Kendaraan

F = Faktor Hubungan umur rencana yang sudah disesuaikan

2. Hitung lendutan hasil pengujian dengan alat *Falling Weight Deflectometer* dan koreksi dengan faktor muka air tanah, temperatur, beban uji dengan rumus berikut :

$$d_L = d_{ft} \times Ft \times Ca \times FK_{B-FWD}$$

Keterangan :

d_L = Lendutan langsung (mm)

d_{ft} = Lendutan langsung pada pusat beban (mm)

F_t = Faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur

C_a = Faktor koreksi muka air tanah

FK_{B-FWD} = Faktor koreksi beban uji *Falling Weight Deflectometer*

3. Tentukan panjang seksi yang memiliki keseragaman (FK) dipertimbangkan terhadap keseragaman lendutan menggunakan rumus berikut :

$$FK = \frac{s}{d_R} \times 100\% < FK \text{ ijin}$$

Keterangan :

FK = Faktor keseragaman (%)

s = Standar deviasi

$$= \sqrt{\frac{n_s(\sum_1^{n_s} d^2) - (\sum_1^{n_s} d)^2}{n_s(n_s-1)}}$$

FK_{ijin} = Faktor keseragaman yang diijinkan
 = 0% - 10%, keseragaman sangat baik
 = 11% - 20%, keseragaman baik
 = 21% - 30%, keseragaman cukup baik

4. Menghitung lendutan wakil (D_{wakil}) yang mewakili sub ruas / seksi jalan yang sesuai dengan fungsi/kelas jalan. Dalam penelitian ini digunakan rumus berikut berdasarkan jalan kolektor :

$$D_{wakil} = d_R + 1,64 s$$

Keterangan :

D_{wakil} = Lendutan yang mewakili suatu seksi jalan

d_R = Lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan

s = Standar deviasi

5. Menghitung lendutan rencana ($D_{rencana}$) untuk alat FWD berdasarkan analisa lalu lintas (CESA) menggunakan rumus berikut :

$$D_{rencana} = 17,004 \times CESA^{-0,2307}$$

Keterangan :

$D_{rencana}$ = Lendutan rencana (mm)

CESA = Akumulasi ekivalen beban sumbu standar (ESA)

6. Menghitung tebal lapis tambah berdasarkan D_{wakil} dan $D_{rencana}$ menggunakan rumus berikut :

$$H_0 = \frac{[\text{Ln}(1,036) + \text{Ln}(D_{sbl-ov}) - \text{Ln}(D_{stl-ov})]}{0,0597}$$

Keterangan :

H_0 = Tebal lapis tambah sebelum dikoreksi (cm)

D_{sbl-ov} = Lendutan sebelum *overlay* atau D_{wakil} (mm)

D_{stl-ov} = Lendutan setelah *overlay* atau $D_{rencana}$ (mm)

7. Menghitung tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) berdasarkan faktor koreksi berdasarkan temperatur standar yaitu 35°C (F_o). Faktor koreksi tebal lapis tambah (F_o) dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$F_o = 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})}$$

Keterangan :

F_o = Faktor koreksi tebal lapis tambah

TPRT = Temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk daerah/kota tertentu

Kemudian menghitung tebal lapis tambah dengan mengalikan tebal lapis tambah sebelum dikoreksi dengan faktor koreksi tebal lapis tambah sebagai berikut :

$$H_t = H_0 \times F_o$$

Keterangan :

H_t = Tebal lapis tambah setelah dikoreksi dengan temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu (cm)

Desain Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Berdasarkan Metode Bina Marga 2017

Prosedur tebal lapis tambah berdasarkan metode Bina Marga 2017 adalah sebagai berikut :

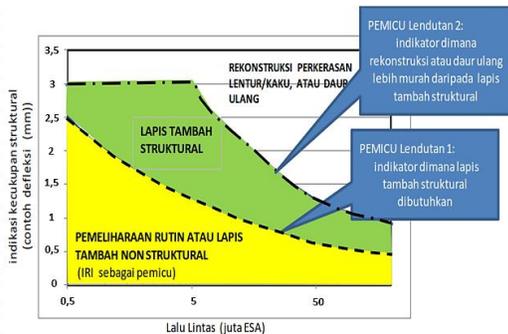
1. Menghitung beban lalu lintas atau beban sumbu standar kumulatif (CESA) menggunakan rumus berikut :

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

Keterangan :

- ESA_{TH-1} = Kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen tahun pertama
- ΣLHR_{JK} = Lalu lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan (kendaraan per hari)
- VDF_{JK} = Faktor ekuivalen beban kendaraan
- DD = Faktor distribusi arah
- DL = Faktor distribusi lajur
- R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

2. Menentukan level desain dan pemicu penanganan menggunakan Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Level Desain Pemicu dan Penganan Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

3. Menghitung Lendutan Maksimum (D_0) dan Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200})

Lendutan dari alat *Falling Weight Deflectometer* yang akan digunakan dalam analisa harus terlebih dahulu dikoreksi dengan beberapa faktor koreksi yang ada antara lain faktor koreksi musim/muka air tanah, faktor koreksi beban standar FWD, faktor koreksi temperatur, faktor penyesuaian dari FWD ke BB. Kemudian setelah nilai lendutan dikoreksi, menghitung nilai Lendutan Maksimum (D_0) dan Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}).

Berdasarkan Lendutan Maksimum (D_0)

Lendutan yang digunakan yaitu lendutan pada pusat beban pengujian dengan alat FWD. Lendutan maksimum yang akan digunakan dapat ditentukan dengan menentukan nilai lendutan yang mewakili seluruh ruas jalan.

Tebal lapis tambah berdasarkan lendutan maksimum dihitung menggunakan grafik pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Solusi *Overlay* berdasarkan lendutan balik *Benkelman Beam* untuk WMAPT 41°C

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Berdasarkan Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200})

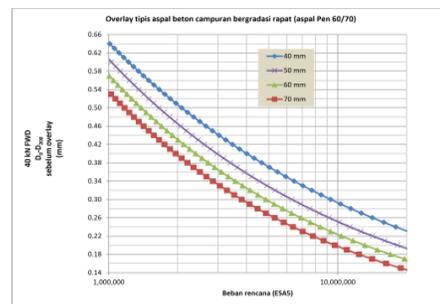
Lengkung lendutan dinyatakan pada titik belok lengkungan atau CF (*Curvature Function*) berdasarkan bentuk lengkung lendutan sebagai berikut :

$$CF = D_0 - D_{200}$$

Keterangan :

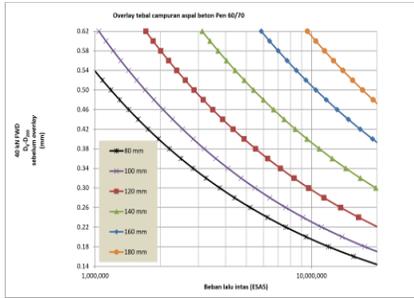
- D_0 = Lendutan maksimum pada suatu titik uji (mm)
- D_{200} = Lendutan yang terjadi pada titik yang berjarak 200 mm dari titik uji (mm).

Tebal lapis tambah berdasarkan lengkung lendutan ditentukan menggunakan grafik pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut :



Gambar 3. Tebal *overlay* aspal konvensional untuk mencegah retak akibat lelah pada MAPT > 35 (*Overlay* tipis)

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017



Gambar 4. Tebal overlay aspal konvensional untuk mencegah retak akibat lelah pada MAPT > 35 (Overlay tebal)

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

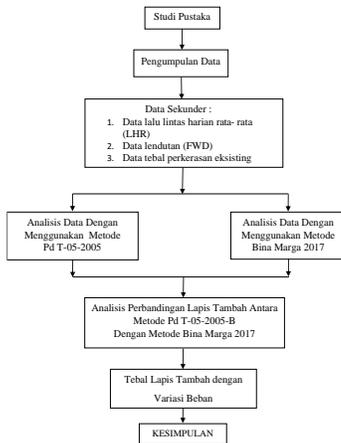
Perhitungan Tebal Overlay Berdasarkan Variasi Beban Lalu Lintas

Perhitungan tebal overlay berdasarkan beban lalu lintas yang divariasikan juga membantu analisa overlay dalam melihat perubahan tebal overlay yang signifikan pada nilai beban lalu lintas tertentu.

Perhitungan tebal overlay berdasarkan variasi beban lalu lintas ini akan dilakukan analisa regresi yang adalah suatu analisis yang bertujuan untuk menunjukkan hubungan matematis antara variabel terikat dengan variabel bebas, dan dihitung menggunakan aplikasi *IBS SPSS Statistics* dengan empat pemodelan antara lain regresi linier, logaritmik, eksponensial, polinomial orde 2 dan polinomial orde 3.

METODOLOGI PENELITIAN

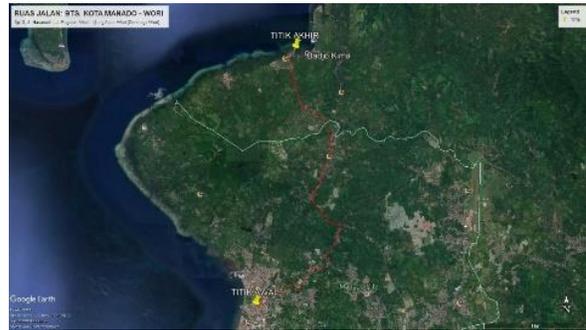
Diagram Alir



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada ruas Jalan Nasional Nomor 017 Batas Kota Manado – Wori di Provinsi Sulawesi Utara. Titik awal jalan berada pada Simpang 3 Jalan Hasanudin, Jalan Pogidon, Wori sampai titik akhir pada ujung aspal Wori yang berada di Dermaga Wori. Panjang ruas jalan ini yaitu sepanjang 14,40 km.



Gambar 6. Lokasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Presentasi Data

Data yang digunakan berupa data sekunder yang didapatkan dari pihak kedua dalam hal ini yaitu P2JN Bina Marga Sulawesi Utara. Data – data yang digunakan antara lain, Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) dan data lendutan dengan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Berikut ini merupakan tabel data lalu lintas Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori :

Tabel 1. Rekapitulasi LHR

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	
	Speda Motor	Sedan, Jeep, St.Wagon	Opelet, Mikrolet, Mini Bus	Pick Up, Pick Up Kanvas	Bus Kecil	Bus Besar	Truck 2 Sumbu Ringan	Truck 2 Sumbu Sedang	Truck 3 Sumbu	Truck 3 Sumbu Gandengan	Truck 3 Sumbu Gandengan	
18/7/2020	6841	1136	183	678	38	27	52	209	36	0	2	9202
19/7/2020	6945	1113	202	671	33	22	55	212	33	0	0	9286
20/7/2020	6996	1149	224	713	35	19	36	205	25	1	4	9407
21/7/2020	6992	1152	200	710	55	32	62	224	43	0	3	9473
22/7/2020	7133	1143	211	777	32	37	69	361	36	1	6	9806
23/7/2020	7130	1137	229	836	69	42	71	387	47	0	11	9959
24/7/2020	7014	1139	210	759	34	30	48	319	44	0	4	9601
Jumlah	MC	LV				HV					66734	
Total	49051	14572				3111						

Sumber: Hasil Analisa 2021

Berikut ini merupakan tabel data lendutan dengan alat *Falling Weight Deflectometer* :

Tabel 2. Data Lendutan *Falling Weight Deflectometer*

STA	BEBAN		TEG. (Kpa)	LENDUTAN LANGSUNG FWD (mm)							TEMPERATUR (°C)		
	Dari	Ke		DF1	DF2	DF3	DF4	DF5	DF6	DF7	Tu	Tp	T _{Aspal}
0+000	0+500	40.27	569.704	0.490	0.261	0.212	0.149	0.105	0.068	0.033	26	29.1	33.8
0+500	1+000	41.1	581.446	0.351	0.199	0.164	0.147	0.123	0.083	0.036	26	28.7	33.8
1+000	1+500	40.27	569.704	0.619	0.357	0.227	0.170	0.128	0.106	0.051	26	29	33.8
1+500	3+500	41.81	591.491	0.399	0.301	0.220	0.179	0.142	0.099	0.057	26	29.2	33.8
3+500	4+000	40.39	571.402	0.558	0.297	0.203	0.149	0.118	0.074	0.065	26	29.4	33.8
4+000	4+500	38.02	537.873	0.435	0.281	0.192	0.133	0.107	0.065	0.034	26	28.6	33.8
4+500	5+500	40.15	568.006	0.427	0.273	0.223	0.171	0.136	0.089	0.037	25	28.4	33.8
5+500	6+500	39.68	561.357	0.586	0.341	0.298	0.176	0.140	0.077	0.042	30	36.2	38.7
6+500	7+000	39.56	559.660	0.436	0.274	0.161	0.124	0.109	0.065	0.032	30	35.8	38.7
7+000	7+500	40.03	566.309	0.545	0.331	0.271	0.186	0.166	0.089	0.046	29	35.6	38.7
7+500	8+000	36.43	515.379	0.406	0.359	0.302	0.191	0.157	0.095	0.053	29	34.6	38.7
8+000	8+500	37.84	535.326	0.546	0.434	0.352	0.251	0.198	0.134	0.070	28	34.6	38.7
8+500	9+500	39.38	557.113	0.499	0.327	0.282	0.218	0.188	0.107	0.054	28	33.4	36.4
9+500	10+000	40.39	571.402	0.507	0.373	0.221	0.158	0.126	0.083	0.037	28	34.2	36.4
10+000	10+500	39.15	553.859	0.504	0.334	0.199	0.156	0.118	0.079	0.040	28	33.1	36.4
10+500	12+000	40.92	578.900	0.552	0.409	0.338	0.209	0.144	0.055	0.023	28	32.5	36.4
12+000	12+500	41.51	587.246	0.446	0.179	0.154	0.103	0.075	0.054	0.029	26	31.5	36.4
12+500	13+000	40.45	572.250	0.380	0.307	0.215	0.184	0.138	0.091	0.053	26	32.4	36.4
13+000	14+500	39.5	558.811	0.472	0.280	0.185	0.143	0.114	0.081	0.037	27	31.3	36.4
14+500	15+000	37.67	532.921	0.538	0.432	0.345	0.256	0.178	0.119	0.067	27	30.7	36.4

Sumber: Hasil Analisa 2021

Desain tebal lapis tambah berdasarkan Metode Pd T-05-2005-B

Menghitung Akumulasi Ekuivalen Beban Sumbu Kendaraan (CESA)

Nilai akumulasi ekuivalen beban sumbu standar (CESA) yang didapatkan yaitu 3.477.459,00 ESA. Berikut ini merupakan tabel hasil perhitungan CESA :

Tabel 3. Perhitungan CESA metode Pd T-05-2005-B

Golongan	i = 4.75%		Umur Rencana = 10 Tahun		
	Volume Kendaraan	C	N	E	CESA
2	1137	0.5	11.94	0.00235	5.826
3	229	0.5	11.94	0.00235	1.173
4	836	0.5	11.94	0.11408	207.754
5a	69	0.5	11.94	0.23623	35.508
5b	42	0.5	11.94	1.65888	151.778
6a	71	0.5	11.94	1.65888	256.578
6b	387	0.5	11.94	2.21485	1.867.250
7a	67	0.5	11.94	4.45246	455.874
7b	0	0.5	11.94	8.13136	0
7c	17	0.5	11.94	20.68688	495.718
Jumlah					3.477.459.00

Sumber: Hasil Analisa 2021

Menghitung Lendutan Wakil dan Lendutan Rencana

- Lendutan Wakil

Lendutan rata-rata alat FWD yang didapat pada Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori dan sudah dikoreksi dengan faktor koreksi yang ada yaitu $d_R = 0,634$ mm.

Berikut ini merupakan perhitungan Lendutan Wakil :

$$D_{\text{wakil}} = d_R + 1,64 \text{ s}$$

$$= 0,634 + (1,64 \times 0,0965)$$

$$= 0,792 \text{ mm}$$

- Lendutan Rencana
Berikut merupakan perhitungan Lendutan Rencana :

$$D_{\text{rencana}} = 17,004 \times \text{CESA}^{(-0,2307)}$$

$$= 17,004 \times 3.477.459,00^{(-0,2307)}$$

$$= 0,527 \text{ mm}$$

Menghitung Tebal Lapis Tambah

Berdasarkan nilai $D_{\text{wakil}} = 0,792$ mm dan $D_{\text{rencana}} = 0,527$ mm, dapat dihitung tebal lapis tambah yang diperlukan di Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori seperti pada uraian perhitungan dibawah ini :

$$H_o = \frac{[L_n(1,0364) + L_n(D_{\text{sbl ov}}) - L_n(D_{\text{stl ov}})]}{0,0597}$$

$$= \frac{[L_n(1,0364) + L_n(0,792) - L_n(0,527)]}{0,0597}$$

$$= 7,43662 \text{ cm}$$

Nilai tebal lapis tambah harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal lapis tambah berdasarkan temperatur perkerasan rata-rata (F_o). Nilai temperatur perkerasa rata-rata untuk Kota Manado yaitu $34,4^\circ\text{C}$, maka :

$$F_o = 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})}$$

$$= 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times 34,4)}$$

$$= 0,98$$

Tebal lapis tambah terkoreksi adalah :

$$H_t = H_o \times F_o$$

$$= 7,68447 \times 0,98$$

$$= 7,293689 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}$$

Tebal lapis tambah yang dibutuhkan pada Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori yaitu 8 cm.

Desain tebal lapis tambah berdasarkan Metode Bina Marga 2017

Menghitung Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESA4 dan CESA5)

Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori merupakan jalan kolektor maka diambil

nilai laju pertumbuhan lalu lintas (Rata-rata Indonesia) I = 3,50%, maka faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif dengan umur rencana 10 tahun adalah sebagai berikut :

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

$$R = \frac{(1+(0,01 \times 0,035))^{10} - 1}{0,01 \times 0,035}$$

$$R = 10,016$$

Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*) untuk masing-masing jenis kendaraan disajikan dalam Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Faktor ekivalen beban kendaraan

Golongan	LHR	VDF4	VDF5
5a	69	0.3	0.2
5b	42	1	1
6a	71	0.8	0.8
6b	387	1.6	1.7
7a	47	7.6	11.2
7b	0	36.9	90.4
7c	11	19	33.2

Sumber: Hasil Analisa 2021

Nilai beban sumbu standar kumulatif (CESA) berdasarkan umur rencana = 10 Tahun dapat dilihat dalam Tabel 5 berikut :

Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan CESA4 dan CESA 5

Golongan	LHR	VDF4	VDF5	CESA4	CESA5
5a	69	0.3	0.2	37,837.06	25,224.70
5b	42	1	1	76,770.84	76,770.84
6a	71	0.8	0.8	103,823.42	103,823.42
6b	387	1.6	1.7	1,131,821.48	1,202,560.32
7a	47	7.6	11.2	652,917.69	962,194.48
7b	0	36.9	90.4	-	-
7c	11	19	33.2	382,026.31	667,540.70
JUMLAH				2.385.196,77	3.038.114,46

Sumber: Hasil Analisa 2021

Menghitung Tebal Lapis Tambah Berdasarkan Lentutan Maksimum (D₀)

Lentutan yang digunakan adalah lentutan D₀ yang telah dikoreksi dengan beban standar, faktor koreksi musim, faktor koreksi temperatur, dan penyesuaian lentutan FWD ke BB. Seperti pada Tabel 6 berikut :

Tabel 6. Perhitungan D₀ rata-rata

STA		D ₀	D ₀ Faktor Koreksi Musim	D ₀ Normal	D ₀ Faktor Koreksi Temp.	D ₀ Terkoreksi Temp.	D ₀ Penyesuaian ke BB	D ₀ ²
Dari	Ke							
0 + 000	0 + 500	490.18	588	584	1.02	596	715.14	511428
0 + 500	1 + 000	350.7	421	410	1.02	418	501.32	251324
1 + 000	1 + 500	618.8	743	738	1.02	752	902.8	815047
1 + 500	3 + 500	399	479	458	1.02	467	560.68	314363
3 + 500	4 + 000	557.92	670	663	1.02	676	811.56	658630
4 + 000	4 + 500	434.7	522	549	1.02	560	671.74	451232
4 + 500	5 + 500	427	512	510	1.02	521	624.83	390418
5 + 500	6 + 500	586.25	704	709	1.02	723	868.03	753473
6 + 500	7 + 000	436.1	523	529	1.02	540	647.67	419474
7 + 000	7 + 500	544.6	654	653	1.02	666	799.31	638895
7 + 500	8 + 000	406.35	488	535	1.02	546	655.34	429465
8 + 000	8 + 500	546.35	656	693	1.02	707	848.29	719590
8 + 500	9 + 500	498.75	599	608	1.02	620	744.1	553681
9 + 500	10 + 000	507.33	609	603	1.02	615	737.96	544591
10 + 000	10 + 500	503.83	605	618	1.02	630	756.08	571664
10 + 500	12 + 000	551.78	662	647	1.02	660	792.23	627622
12 + 000	12 + 500	445.73	535	515	1.02	526	630.87	397992
12 + 500	13 + 000	380.28	456	451	1.02	460	552.33	305073
13 + 000	14 + 500	471.63	566	573	1.02	585	701.49	492090
14 + 500	15 + 000	538.4	646	686	1.02	700	839.72	705122
Σ							14.361,48	10.551.172

$$D_0 \text{ rata-rata} = \frac{\sum D_0 \text{ Penyesuaian BB}}{N}$$

$$= \frac{14351,48}{20} = 718,07$$

Berikut ini merupakan uraian perhitungan Lentutan Wakil :

$$\text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{N(\sum d^2) - (\sum d)^2}{N(N-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{20(10.551.172) - (14.361,48)^2}{20(20-1)}}$$

$$= 112,05$$

$$D_{\text{wakil}} = D_0 \text{ rata-rata} + f \times \text{Standar Deviasi}$$

$$= 718,07 + 1,282 \times 112$$

$$= 862 \mu\text{m} \approx 0,86 \text{ mm}$$

Sebelum menentukan desain tebal lapis tambah penting untuk mengetahui terlebih dahulu level desain serta pemicu penanganan yang adalah batasan atau penilaian akan penanganan rehabilitas apa yang harus dilaksanakan pada ruas jalan yang ditinjau. Level desain dan nilai pemicu ini bisa diketahui dengan menggunakan Gambar. Nilai pemicu ini adalah hubungan antara beban lalu lintas CESA4 = 2.385.196,77 dan D_{wakil} = 0,86 mm seperti pada grafik berikut :



Gambar 7. Level desain pemacu dan penanganan
Sumber: Hasil Analisa 2021

Berdasarkan grafik diatas, bisa disimpulkan bahwa untuk level desain dan nilai pemacu untuk kerusakan pada Ruas Jalan Batas Kota Manado – Wori masih berada pada pemeliharaan rutin atau lapis tambah non struktural.

Tebal *overlay* dapat ditentukan menggunakan grafik pada Gambar 2 dengan cara memasukkan nilai lendutan karakteristik dan beban rencana lalu lintas (CESA4) sebagai berikut :

- $D_{wakil} = 0,86 \text{ mm}$
- $CESA 4 = 2.385.196,77$

Berdasarkan grafik pada Gambar 2, tebal *overlay* untuk Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori tidak bisa ditentukan. Nilai lendutan maksimum yang diperoleh yaitu 0,86 mm dimana tidak memenuhi syarat lendutan maksimum yang ada pada grafik dengan kata lain bisa disimpulkan bahwa jika ditinjau berdasarkan lendutan maksimum, Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori belum membutuhkan lapis tambah (*Overlay*).

Menghitung Tebal Lapis Tambah Berdasarkan Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200})

Data yang digunakan adalah lengkung lendutan yang telah dikoreksi dengan beban standar, faktor koreksi musim, dan faktor koreksi temperatur. Perhitungan Lengkung Lendutan (D_0 - D_{200}) disajikan dalam Tabel 7 berikut ini :

Tabel 7. Perhitungan D_0 - D_{200} rata-rata

STA		D_0	D_{200}	D_0 Terkoreksi musim	D_{200} Terkoreksi Musim	D_0 Normal	D_{200} Normal	D_0 - D_{200} Faktor Koreksi Temp.	D_0 - D_{200} Terkoreksi Temp.		
0 + 000	0 + 500	490.18	260.96	588	313	584	311	273	1.05	287	
0 + 500	1 + 000	350.7	198.56	421	238	410	232	178	1.05	243	
1 + 000	1 + 500	618.8	356.64	743	428	738	425	312	1.05	446	
1 + 500	3 + 500	399	301.28	479	362	458	346	112	1.05	363	
3 + 500	4 + 000	557.92	296.96	670	356	663	353	310	1.05	371	
4 + 000	4 + 500	434.7	281.28	522	338	549	355	194	1.05	373	
4 + 500	5 + 500	427	273.28	512	328	510	327	184	1.05	343	
5 + 500	6 + 500	586.25	340.8	704	409	709	412	297	1.05	433	
6 + 500	7 + 000	436.1	274.24	523	329	529	333	196	1.05	349	
7 + 000	7 + 500	544.6	331.2	654	397	653	397	256	1.05	417	
7 + 500	8 + 000	406.35	359.2	488	431	535	473	62	1.05	497	
8 + 000	8 + 500	546.35	433.6	656	520	693	550	143	1.05	578	
8 + 500	9 + 500	498.75	326.72	599	392	608	398	210	1.05	418	
9 + 500	10 + 500	507.33	373.12	609	448	603	443	159	1.05	466	
10 + 000	10 + 500	503.83	334.24	605	401	618	410	208	1.05	430	
10 + 500	12 + 000	551.78	409.28	662	491	647	480	167	1.05	504	
12 + 000	12 + 500	445.73	179.04	535	215	515	207	308	1.05	217	
12 + 500	13 + 000	380.28	306.72	456	368	451	364	87	1.05	382	
13 + 000	14 + 500	471.63	279.68	566	336	573	340	233	1.05	357	
14 + 500	15 + 000	538.4	431.52	646	518	686	550	136	1.05	577	
									Σ		8051,97

$$D_0-D_{200} \text{ rata-rata} = \frac{\sum D_0-D_{200} \text{ terkoreksi temperatur}}{N}$$

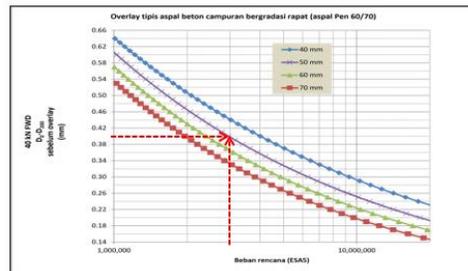
$$= \frac{8051,97}{20}$$

$$= 402,60 \mu\text{m} \approx 0,40 \text{ mm}$$

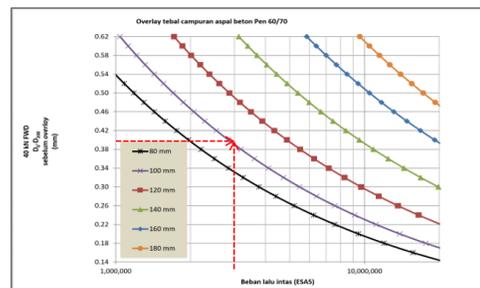
Tebal *overlay* dapat ditentukan menggunakan grafik pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11 dengan cara memasukkan nilai lengkung lendutan dan beban rencana lalu lintas (CESA5) sebagai berikut:

$$D_0-D_{200} = 0,40 \text{ mm}$$

$$CESA5 = 3.038.114.46 \text{ ESA}$$



Gambar 8. Menentukan tebal *overlay* tipis
Sumber: Hasil Analisa 2021



Gambar 9. Menentukan tebal *overlay* tebal
Sumber: Hasil Analisa 2021

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 diatas, tebal lapis tambah (*overlay*) yang dibutuhkan untuk beban lalu lintas rencana ESA5 sebesar 3.051.053.95 dan lengkung lendutan 0,40 mm yaitu sebesar 100 mm atau sama dengan 10 cm.

Perbandingan Konsep Desain

Adanya beberapa perbedaan parameter desain bisa menjadi salah satu faktor yang membedakan hasil dari kedua metode tersebut. Berikut ini merupakan tabel yang menyajikan beberapa perbedaan parameter desain dari kedua metode:

Tabel 8. Perbandingan Konsep Desain

NO	Parameter	Pd T-05-2005-B	Bina Marga 2017
1.	Angka Ekvivalen	Menggunakan : - Koefisien distribusi kendaraan ringan dan kendaraan berat (C) - Faktor hubungan umur rencana dan perkembangan lalu lintas (N)	Menggunakan VDF masing-masing jenis kendaraan niaga pada Tabel 2.13
2	Faktor Penyesuaian Lendutan	- Koreksi beban = 4,08 x (Beban uji dalam ton) ⁽⁻¹⁾ - Koreksi musim = 1,2 - Koreksi temperatur = Rumus 2.9	- Koreksi beban normal = 40 kN - Koreksi musim = 1,2 - Koreksi temperatur = 1,09 - Penyesuaian FWD ke BB = 1,2
3.	Parameter lainnya	- Lendutan wakil atau lendutan sebelum overlay = 0,792 mm - Lendutan rencana atau lendutan setelah overlay = 0,527 mm	- Lendutan maksimum (D ₀) = 0,82 mm - Lengkung Lendutan (D ₀ -D ₂₀₀) = 0,40 mm

Sumber: Hasil Analisa 2021

Adanya beberapa perbedaan dari prosedur

desain serta parameter menyebabkan hasil tebal *overlay* kedua metode berbeda. Berikut merupakan tabel perbandingan hasil desain antara metode Bina Marga 2017 dan metode Pd T-05-2005-B :

Tabel 9. Perbandingan Hasil Desain

NO	Parameter	Pd T-05-2005-B	Bina Marga 2017
1.	Desain Lalu Lintas	Menggunakan : - Volume Kendaraan Maksimum (Golongan 2 - 7c) = 2.829 kend - CESA = 3.477.459 ESA	Menggunakan : - Volume Kendaraan Maksimum (Golongan 5a - 7c) = 627 kend - CESA4 = 2.385.196 ESA - CESA5 = 3.038.114 ESA
2	Tebal Overlay (cm)	8 cm	- Lendutan Maksimum = Tidak memerlukan <i>overlay</i> - Lengkung Lendutan = 10 cm (CESA5 = 3.038.114)

Sumber: Hasil Analisa 2021

Perhitungan Tebal *Overlay* berdasarkan Variasi Beban Lalu Lintas

Metode Pd T-05-2005-B

Pada metode Pd T-05-2005-B, beban lalu lintas divariasikan dengan kelipatan 500.000 ESA dimulai dari 1.000.000 ESA sampai 30.000.000 ESA. Rekapitulasi tebal lapis tambah yang didapatkan disajikan dalam Tabel 10 berikut ini :

Tabel 10. Variasi beban lalu lintas kelipatan 500.000 dari CESA 1.000,000 sampai CESA 30.000.000 Metode Pd T-05-2005-B

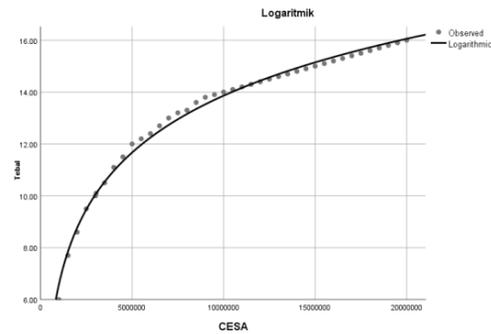
CESA	Tebal lapis tambah (cm)
1000000	2.60
1500000	4.20
2000000	5.20
2500000	6.10
3000000	6.80
3477459	7.30
3500000	7.40

CESA	Tebal lapis tambah (cm)
4000000	7.90
4500000	8.30
5000000	8.70
5500000	9.10
6000000	9.40
6500000	9.70
7000000	10.00
7500000	10.30
8000000	10.50
8500000	10.70
9000000	10.90
9500000	11.20
10000000	11.30
10500000	11.50
11000000	11.70
11500000	11.90
12000000	12.00
12500000	12.20
13000000	12.30
13500000	12.50
14000000	12.60
14500000	12.80
15000000	12.90
15500000	13.00
16000000	13.10
16500000	13.20
17000000	13.40
17500000	13.50
18000000	13.60
18500000	13.70
19000000	13.80
19500000	13.90
20000000	14.00
20500000	14.10
21000000	14.20
21500000	14.20
22000000	14.30
22500000	14.40
23000000	14.50
23500000	14.60
24000000	14.70
24500000	14.70
25000000	14.80
25500000	14.90
26000000	15.00
26500000	15.00
27000000	15.10
27500000	15.20
28000000	15.20
28500000	15.30
29000000	15.40
29500000	15.40
30000000	15.50

Sumber: Hasil Analisa 2021

$$y = -49.73407653617431 + 3.78945585045317 * \ln(x)$$

$$R^2 = 1$$



Gambar 9. Grafik Pemodelan Logaritmik, CESA terhadap Tebal Overlay metode Pd T-05-2005-B
Sumber: Hasil Analisa 2021

Berdasarkan empat pemodelan yang digunakan, pemodelan dengan koefisien determinasi (R^2) terbesar adalah model logaritmik yaitu dengan $R^2 = 1$. Selanjutnya dilakukan perhitungan tebal overlay dengan cara memasukkan nilai CESA eksisting metode Bina Marga 2017 kedalam persamaan pada model logaritmik seperti pada uraian berikut ini :

$$\begin{aligned} \text{CESA} &= 3.477.459 \text{ ESA} \\ y &= -49,70423083263454 + \\ & 3,787683016262685 \times \ln(x) \\ &= -49,70423083263454 + \\ & 3,787683016262685 \times \ln(3.477.459) \\ &= 7,3696 \text{ cm} \end{aligned}$$

Diperoleh tebal overlay berdasarkan persamaan model logaritmik sebesar 7,3696 cm. Jika dibandingkan dengan tebal overlay berdasarkan perhitungan metode Pd T-05-2005-B yaitu 7,6 cm, maka perbandingan kedua nilai tebal overlay adalah 0,00157%.

Metode Bina Marga 2017

Pada metode Bina Marga 2017 dilakukan pada perhitungan tebal overlay berdasarkan lengkung lendutan. Variasi beban lalu lintas dilakukan menggunakan CESA5 setiap kelipatan 500.000 ESA dimulai dari CESA 1.000.000 ESA sampai 20.000.000 ESA. Rekapitulasi tebal lapis tambah yang didapatkan disajikan dalam Tabel 11 berikut ini:

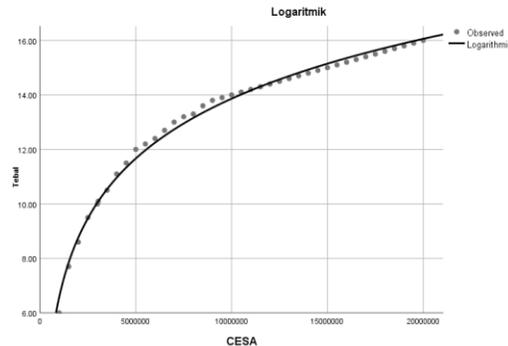
Tabel 11. Variasi beban lalu lintas kelipatan 500.000 dari CESA 1.000,000 sampai CESA 20.000.000 Metode Bina Marga 2017

CESA	Tebal lapis tambah (cm)
1,000,000	6.00
1,500,000	7.70
2,000,000	8.60
2,500,000	9.50
3,000,000	10.00
3,038,114	10.10
3,500,000	10.50
4,000,000	11.10
4,500,000	11.50
5,000,000	12.00
5,500,000	12.20
6,000,000	12.40
6,500,000	12.70
7,000,000	13.00
7,500,000	13.20
8,000,000	13.30
8,500,000	13.60
9,000,000	13.80
9,500,000	13.90
10,000,000	14.00
10,500,000	14.10
11,000,000	14.20
11,500,000	14.30
12,000,000	14.40
12,500,000	14.50
13,000,000	14.60
13,500,000	14.70
14,000,000	14.80
14,500,000	14.90
15,000,000	15.00
15,500,000	15.10
16,000,000	15.20
16,500,000	15.30
17,000,000	15.40
17,500,000	15.50
18,000,000	15.60

CESA	Tebal lapis tambah (cm)
18,500,000	15.70
19,000,000	15.80
19,500,000	15.90
20,000,000	16.00

$$y = -37.15739147780852 + 3.16535630619414 * \ln(x)$$

$$R^2 = 0,995$$



Gambar 10. Grafik Pemodelan Logaritmik, CESA terhadap Tebal *Overlay* metode Bina Marga 2017

Sumber: Hasil Analisa 2021

Berdasarkan grafik dari empat pemodelan diatas, pemodelan dengan koefisien determinasi (R^2) terbesar adalah model logaritmik yaitu dengan $R^2 = 0,995$. Selanjutnya dilakukan perhitungan tebal *overlay* dengan cara memasukkan nilai CESA5 eksisting metode Bina Marga 2017 kedalam persamaan pada model logaritmik seperti pada uraian berikut ini :

$$CESA5 = 3.038.114 \text{ ESA}$$

$$y = -37.15739147780852 + 3.16535630619414 \times \ln(x)$$

$$= -37.15739147780852 + 3.16535630619414 \times \ln(3.039.824)$$

$$= 10,0911 \text{ cm}$$

Diperoleh tebal *overlay* berdasarkan persamaan model logaritmik sebesar 10,0911 cm. Jika dibandingkan dengan tebal *overlay* berdasarkan perhitungan metode Bina Marga 2017 yaitu 10 cm, maka perbandingan kedua nilai tebal *overlay* adalah 0,00911%.

PENUTUP

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tebal lapis tambah menggunakan metode Pd T-05-2005-B dan Bina Marga 2017 ini adalah sebagai berikut :

1. Beban lalu lintas yang digunakan pada kedua metode memiliki hasil yang berbeda. Pada metode Pd T-05-2005-B diperoleh CESA sebesar 3.477.459. Kendaraan yang ditinjau dalam analisa lalu lintas pada metode Pd T-05-2005-B yaitu golongan kendaraan ringan dan berat yakni golongan 2 sampai dengan golongan 7c menghitung ekivalen beban sumbu kendaraan (E) berdasarkan konfigurasi sumbu kendaraan dan berat tiap sumbu kendaraan. Kemudian hasil ketebalan tebal lapis tambah yang didapat yaitu sebesar 8 cm dengan nilai lendutan wakil 0,792 mm dan lendutan rencana yaitu 0,527 mm, seperti yang ada pada gambar dibawah ini

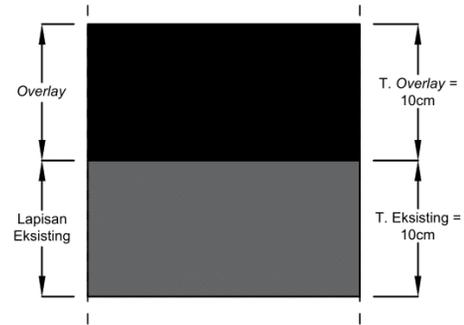


Gambar 11. Detail Perkerasan Setelah *Overlay* metode Pd T-05-2005-B

Sumber: Hasil Analisa 2021

2. Pada metode Bina Marga 2017, perhitungan CESA terbagi atas dua yaitu CESA4 dan CESA5 yang meninjau kendaraan niaga dengan jumlah roda 6 yaitu golongan 5a sampai dengan golongan 7c. Dalam analisa lalu lintas, metode Bina Marga 2017 meninjau nilai VDF (*Vehicle Damage Factor*) yang ada pada Tabel 4.3 yang kemudian menghasilkan nilai CESA4 sebesar 2.385.196 ESA dan CESA5 sebesar 3.038.114 ESA. Hasil tebal lapis tambah yang didapatkan berdasarkan lendutan maksimum menghasilkan lendutan yang tidak terlalu besar sehingga dianggap ruas jalan tersebut masih belum

membutuhkan penambahan lapis tambah. Tetapi jika ditinjau berdasarkan lengkung lendutan, nilai lendutan yang dihasilkan cukup besar yaitu 0,40 mm sehingga dibutuhkan lapis tambah sebesar 10 cm seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 12. Detail Perkerasan Setelah *Overlay* metode Bina Marga 2017

Sumber: Hasil Analisa 2021

3. Perbedaan dari kedua metode yang digunakan yaitu Pd T-05-2005-B dan Bina Marga 2017 terdapat pada prosedur perhitungan dan juga hasil dari analisa tebal lapis tambah. Jika dibandingkan dari beban lalu lintas kedua metode, metode Pd T-05-2005-B memiliki beban lalu lintas lebih tinggi yaitu 3.477.459 ESA, akan tetapi hasil tebal *overlay* menunjukkan metode Bina Marga 2017 lebih tebal. Hal ini terjadi karena lengkung lendutan yang ada pada Ruas Jalan Batas Kota Manado – Wori. Metode Pd T-05-2005-B tidak meninjau lengkung lendutan sebagai penentu tebal *overlay* sedangkan metode Bina Marga 2017 menggunakan lengkung lendutan sebagai penentu tebal *overlay* yang akan digunakan.
4. Perhitungan tebal *overlay* berdasarkan beban lalu lintas yang divariasikan dihitung menggunakan aplikasi *IBM SPSS Statistics*. Pengujian variasi beban lalu lintas dari kedua metode juga memiliki perbedaan pada hasil tebal lapis tambah yang diperoleh, tetapi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hal ini dikarenakan koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh, pada metode Pd T-05-2005-B, R^2 yang diperoleh yaitu sebesar 1 dari pemodelan logaritmik dan pada metode Bina Marga 2017, diperoleh R^2 sebesar 0,995 yang juga dari pemodelan logaritmik.

SARAN

Berdasarkan hasil analisa dan kesimpulan dari penelitian ini, maka saran dari penulis adalah sebagai berikut :

- Metode perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode Pd T-05-2005-B atau juga dikenal dengan metode Bina Marga 2005 dan Bina Marga 2017 yang merupakan metode pembaharuan terbaru dari Bina Marga. Disarankan untuk melakukan perhitungan tebal lapis tambah pada metode yang lainnya seperti Metode Software Desain Perkerasan Lentur (SDPJL), Austroads, *The Asphalt Institute*, dan lain-lain, agar memiliki banyak unsur pembanding dalam menentukan

tebal lapis tambah.

- Dikarenakan penelitian ini berjalan pada saat pandemi, data volume kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari BPJN Sulawesi Utara dimana data ini berisi volume lalu lintas Ruas Jalan Nasional Batas Kota Manado – Wori tanggal 18 Juli 2020 sampai 24 Juli 2020. Disarankan untuk melakukan survei pengambilan data volume kendaraan langsung di lapangan agar supaya data volume kendaraan yang digunakan merupakan data terbaru dan lebih bisa mengetahui tahapan pengolahan data volume kendaraan yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2017. *Manual Perkerasan Jalan (Revisi juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017*. Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga
- Kementerian pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, (2018), *Cara Uji Lendutan Permukaan Jalan Dengan Falling Weight Deflectometer* , Pd 03- 2018
- Kementerian pekerjaan Umum, (2005), *Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur Dengan Metode Lendutan*, Pd T-05-2005-B
- Kementrian Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2004). *Survai Pencacahan Lalu Lintas dengan cara Manual*, Pd T-19-2004-B.
- Manguande, Jeisyaa.; Manoppo, Mecky R. E.; Sendow, Theo K. 2020. *Analisis Perbandingan Desain overlay perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2017 menggunakan data Lendutan BB dan AASHTO 1993 menggunakan data lendutan FWD (Studi kasus: Ruas Jalan Airmadidi-Kairagi)*. Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.1 Januari 2020(23-32) ISSN: 2337-6732.
- Manoppo, Cheryl N.; Sendow, Theo K.; Manoppo, Mecky R. E. 2021. *Analisa Perbandingan Desain Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017 dan AASHTO 1993 (Studi Kasus: Ruas Jalan Yos Sudarso Manado, Nomor Ruas Jalan 5000411)*. Jurnal Sipil Statik Vol. 9 No. 2 ISSN: 2337-6732
- Mantiri, Cyntia C.; Sendow. Theo K.; Manoppo. Mecky R. E. 2019. *Analisa Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru dengan Metode Bina Marga 2017 dibandingkan dengan Metode AASHTO 1993*. Jurnal Sipil Statik Vol. 7 No. 10 Oktober 2019 (1303-1316) ISSN: 1337-6732.
- Menteri Pekerjaan Umum. (2004). *Pedoman Pencacahan Lalu Lintas dengan Cara Manual*. Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Pangerapan, Monica Linny; Sendow, Theo K.; Lintong, Elisabeth. *Studi Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Tambah (Overlay) Perkerasan Lentur Menurut Metode Pd T-05-2005-B Dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 (Studi Kasus: Ruas Jalan Bts. Kota Manado-Tomohon)*. Jurnal Sipil Statik, 2018, 6.10.

- Romauli, Theresia D.; Waani, Joice E.; Sendow, Theo K. 2016. *Analisis Perhitungan Tebal Lapis Tambah (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
- Sukirman, Silvia, 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Novapress, Bandung.
- Toding. Risman B.; Sendow. Theo K.; Lalamentik. Lucia G. J. 2021. *Perbandingan Desain Tebal 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)*. Jurnal Skripsi Statistik Vol. 9 No. 2 ISSN: 2337-6732.
- Wicaksono, Andyas N.; Setyawan, Ary.; Legowo, Slamet J. 2017. *Perencanaan Tebal Lapis Tambah Metode Pd T-05-2005-B dan Metode SDPJL Pada Jalan Nasional di Yogyakarta*. E-journal Matriks Teknik Sipil/Juni 2017/623 Universitas Sebelas Maret.