



Perencanaan Tebal Overlay dengan Alat *Benkelman Beam* dan *Falling Weight Deflectometer*

¹Amir Mukhlis, ²Agustiar²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Aceh

¹amirmukhlis@hotmail.com, ²agustiar@unmuha.ac.id

Abstract

In a certain period, the road pavement will be damaged so this pavement needs to be overlay. There is pavement damage that needs overlay activity in the highway, so the pavement is needed to maintain. This study is performed to find the overlay thick of pavement (overlay) by using *Falling Weight Deflectometer (FWD)* and *Benkelman Beam (BB)* tools. Overlay thick design is based on *Design of Overlay Thick of Flexible Pavement by Deflection Method (Pd T-05-2005-B)*. The segment of this study is in *Jalan Banda Aceh - Medan highway*, the data that taken is from the same point between *Falling Weight Deflectometer (FWD)* and *Benkelman Beam (BB)*. To design the thickness, this investigation needs the result deflection of *Falling Weight Deflectometer (FWD)* and *Benkelman Beam (BB)*, then the value result is corrected. After the obtain corrected deflection value, the next process is calculating uniformity factor (FK), representative deflection ($D_{sbl\ ov}$), design deflection ($D_{stl\ ov}$), overlay thick (H_o), factor of overlay thickness (F_o), and corrected overlay thick (H_T). The result of this study is the overlay thick from *Falling Weight Deflectometer (FWD)* and *Benkelman Beam (BB)*, it is 5,235 cm for *Falling Weight Deflectometer (FWD)* and 3,722 cm for *Benkelman Beam (BB)*. The result difference between *Falling Weight Deflectometer (FWD)* and *Benkelman Beam (BB)* is 1.513 cm or 28.90% in the percentage.

Keywords: Design, Overlay, Laston, Flexible Pavement

Abstrak

Pada kurun periode tertentu, perkerasan jalan akan rusak sehingga perkerasan ini perlu dilapisi ulang. Saat ini, terdapat kerusakan perkerasan jalan yang membutuhkan pekerjaan lapis tambah pada jalan tersebut sehingga perkerasannya perlu dilakukan pemeliharaan. Penelitian ini dilakukan dengan mencari nilai tebal lapis tambah perkerasan (overlay) dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dan *Benkelman Beam (BB)*. Perencanaan tebal lapis tambah berdasarkan Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Lendutan (Pd T-05-2005-B). Segmen dari penelitian ini adalah di *Jalan Banda Aceh-Medan*, data yang diambil adalah dari titik yang sama antara *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dan *Benkelman Beam (BB)*. Untuk merencanakan tebal nya, kajian ini membutuhkan lendutan hasil pengujian dari *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dan *Benkelman Beam (BB)*, kemudian hasilnya dikoreksi. Setelah mendapatkan hasil lendutan terkoreksi, proses selanjutnya adalah menghitung faktor keseragaman (FK), lendutan wakil ($D_{sbl\ ov}$), lendutan rencana ($D_{stl\ ov}$), tebal overlay (H_o), faktor ketebalan lapis tambah (F_o), dan ketebalan lapis tambah terkoreksi (H_T). Hasil dari penelitian ini adalah tebal lapis tambah perkerasan dari *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dan *Benkelman Beam (BB)*, ketebalan yang didapat adalah 5,235 cm untuk *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dan 3,722 cm untuk *Benkelman Beam (BB)*. Selisih yang dihasilkan dari *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dan *Benkelman Beam (BB)* adalah 1,513 cm atau sebesar 28,90% dalam bentuk persentase.

Kata kunci: Perencanaan, Overlay, Laston, Perkerasan Lentur.

1. Pendahuluan

Penelitian ini bertujuan untuk mencari hasil perencanaan tebal perkerasan jalan dengan menggunakan alat *Benkelman Beam* (BB) dan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Dalam masa tertentu, perkerasan jalan mengalami kerusakan, seperti pada bangunan lain yang direncanakan untuk menerima beban rencananya namun tidak mengalami gaya tegang dan perpindahan [1]. Kerusakan ini disebabkan oleh akibat penurunan kapasitasnya. Selain itu, juga dapat terjadi peningkatan beban lalu lintas yang bekerja di atasnya.

Dengan arus lalu lintas yang cukup tinggi, maka mengakibatkan pengurangan umur sisa jalan. Selain itu juga dapat mengurangi kapasitas dari perkerasan jalan sehingga perlu dilakukan perawatan dengan menyediakan biaya yang diperlukan untuk perawatan tersebut.

Perawatan atau *overlay* dilaksanakan dengan melakukan perbaikan struktur perkerasan dengan memberikan lapis perkerasan yang baru. Dalam pelaksanaannya perlu diukur nilai lendutannya dengan menggunakan alat.

Pada perkerasan lentur, ada berbagai alat yang digunakan untuk memperoleh nilai lendutan tersebut, di antaranya adalah alat *Benkelman Beam* (BB) dan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Penggunaan alat ini berdasarkan metode perencanaan dan alat yang tersedia.

Pada dasarnya, kedua alat ini memiliki hasil masing-masing dengan metode perhitungan yang berbeda. Dengan demikian perlu dilaksanakan kajian mengenai perbedaan hasil perencanaan dengan kedua alat. Pada kajian ini, akan digunakan pengukuran lendutan dengan keduanya dan dilakukan penentuan tebal perkerasan *overlay* berdasarkan hasil alat yang digunakan

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Desain Tebal *Overlay*

Desain tebal *overlay* atau lapis tambah perkerasan adalah desain untuk merekonstruksi perkerasan yang sebelumnya dibangun yang mengalami kerusakan struktural

[4]. Proses perbaikan ini perlu dilakukan oleh karena beban lalu lintas yang bekerja secara normal sudah tidak mampu ditahan oleh perkerasan tersebut. Dengan dilakukannya pelapisan ulang, maka kapasitas perkerasan akan membaik kembali sehingga dapat menerima beban pada kondisi normalnya [11].

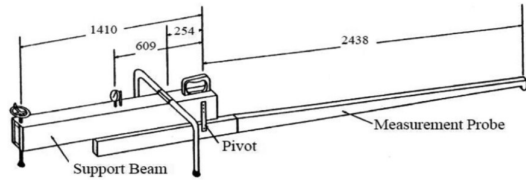
Pendekatan yang digunakan pada penentuan tebal *overlay* menggunakan dua hal, yaitu berdasarkan deformasi permanen yang menggunakan nilai lendutan tertingginya, dan retak leleh yang menggunakan lengkung lendutannya [8].

Peninjauan terhadap kinerja leleh terhadap lapisan perkerasan yang perlu dilapisi ulang untuk perkerasan yang bersangkutan menggunakan nilai 100.000 ESA4, untuk nilai yang lain dapat menggunakan nilai yang lebih tinggi dari nilai ini. Tebal lapisan ulang perkerasan memakai pendekatan terhadap nilai lendutan maksimumnya (D_0). Nilai tebal *overlay* diperoleh dengan menggunakan nilai lengkung lendutan serta rentang beban lalu lintas. Rentang beban ini digunakan pada kondisi iklim tropis pada saat kemarau.

Pengukuran nilai lendutan dapat menggunakan berbagai alat, salah satunya adalah alat *Benkelman Beam* (BB) dan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Alat *Benkelman Beam* (BB) ialah alat yang digunakan untuk mengukur lendutan berdasarkan dari hasil lendutan balik. Alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) ialah alat yang digunakan untuk mengukur lendutan berdasarkan lendutan yang diperoleh dari pusat beban [10].

2.2. Alat *Benkelman Beam*

Alat *Benkelman Beam* (BB) dirangkai dengan membuat hubungan dengan truk. Beban yang akan dipakai pada pengujian ditempatkan di bak truk yang mempunyai berat kosong sebesar 5 ton. Beban ditempatkan pada sumbu ban belakang dengan nilai beban 4,08 ton. Skema alat *Benkelman Beam* (BB) [9] dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Skema alat BB

Komponen alat BB adalah komponen batang pengukur, dan komponen kerangka dasar. Batang pengukur terdiri dari tumit batang dan kontak tumitnya, kaki depan dan pengunci. Pada tumit batang, terdapat kontak dengan permukaan jalan.

Dengan menggunakan alat BB, akan diperoleh nilai lendutan [6]. Lendutan ini adalah lendutan balik maksimum. Nilai lendutan balik maksimum ini diperoleh dari meteran dari beban yang bekerja pada alat. Lendutan dihasilkan dari getaran yang diberikan pada alat BB.

Nilai lendutan balik (d_B) menggunakan persamaan di bawah ini.

$$d_B = 2(d_3 - d_1) \times F_t \times C_a \times FK_{B-BB} \quad (1)$$

Faktor koreksi lendutan pada alat BB menggunakan persamaan 2.

$$FK = 77,343 \times (\text{Beban Uji})^{(-2,0715)} \quad (2)$$

Beban uji yang digunakan 2 adalah ton.

2.2. Alat *Falling Weight Deflectometer*

Alat FWD mengukur lendutan dengan beban dinamik berupa impuls [7], disambung dengan dari trailer yang letaknya di belakang dari kendaraan penarik, pada kendaraan, terdapat prosesor dan komputer. Trailer memiliki beban uji yang berfungsi dengan menjatuhkan massa yang menghasilkan beban.



Gambar 2. Penempatan Alat FWD

Kemudian beban dibaca dengan perangkat pembaca sehingga dapat menghasilkan nilai berdasarkan impuls lendutan yang bekerja. Penempatan alat *Falling Weight Deflectometer* [5] dapat dilihat pada gambar 2.

Nilai yang diperoleh dari alat FWD adalah nilai lendutan langsung [8]. Lendutan langsung (nilai d_L) menggunakan persamaan 3:

$$d_L = d_{f1} \times F_t \times C_a \times FK_{B-FWD} \quad (3)$$

Faktor koreksi lendutan pada alat FWD menggunakan persamaan 4.

$$FK = 4,08 \times (\text{Beban Uji})^{(-1)} \quad (4)$$

Beban uji alat FWD yang digunakan pada persamaan 2 adalah ton.

2.3. Tingkat Keseragaman Lendutan

Tingkat keseragaman lendutan menggunakan persamaan keseragaman lendutan (FK).

$$FK = \frac{s}{d_R} \times 100\% \quad (5)$$

2.4. Lendutan Wakil

Lendutan wakil diperoleh dari persamaan lendutan wakil (untuk jalan Arteri), yaitu:

$$D_{\text{wakil}} \text{ atau } D_{\text{sbl ov}} = d_R + 2s \quad (6)$$

2.5. Lendutan Rencana

Lendutan rencana atau disebut juga lendutan ijin didapat berdasarkan persamaan lendutan rencana:

$$D_{\text{rencana}} \text{ atau } D_{\text{stl ov}} = 17,004 \times \text{CESA}^{-0,2307} \quad (7)$$

2.6. Tebal lapis tambah

Tebal lapis tambah, diperoleh dari persamaan tebal lapis tambah atau *overlay* :

$$H_o = \{ \text{Ln}(1,0364) + \text{Ln}(D_{\text{sbl ov}}) - \text{LN}(D_{\text{stl ov}}) \} / 0,0597 \quad (8)$$

2.7. Faktor Koreksi Tebal Lapis Tambah

Dengan menggunakan Temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT), faktor koreksi tebal lapis tambah (F_o), didapat:

$$F_o = 0,5032 \times \text{EXP}(0,0194 \times \text{TPRT}) \quad (9)$$

2.7. Lapis Tambah Terkoreksi

Tebal lapis tambah terkoreksi diperoleh dengan menggunakan persamaan tebal lapis tambah terkoreksi (H_t):

$$H_t = H_o \times F_o \quad (10)$$

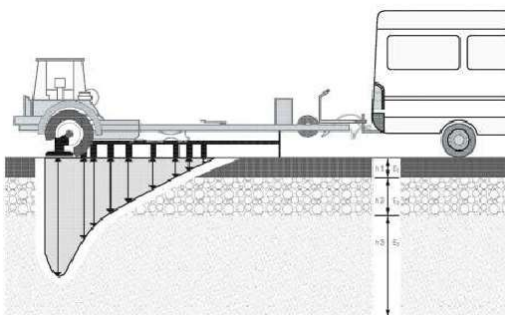
3. Metode Penelitian

3.1. Data Penelitian

Data yang diambil pada kajian ini adalah data yang digunakan pada Jalan Banda Aceh-Medan dengan lokasi sepanjang 2 kilometer. Dari ruas jalan ini, ditentukan 5 titik yang dipakai sebagai pengambilan data (n_s). Umur rencana yang digunakan pada lalu lintas lajur rencana ini adalah 5 tahun (CESA). Untuk tebal lapis beraspal yang digunakan adalah tebal 9 cm. Untuk pengujian lendutan, data yang digunakan pada ruas jalan yang dikaji adalah data dengan menggunakan alat BB dan FWD. Untuk nilai koreksi musim yang digunakan (C_a) yang dilaksanakan untuk musim kemarau sehingga nilai yang digunakan adalah 1,2.

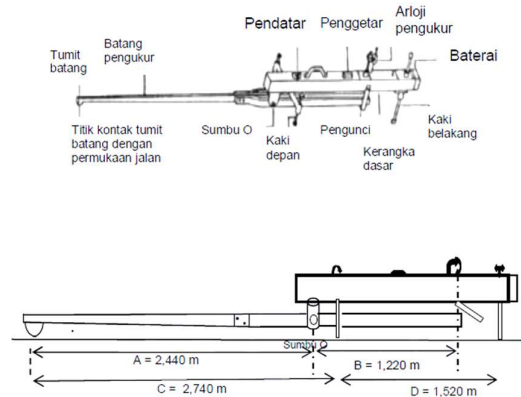
3.2. Prosedur Pengumpulan Data

Untuk pengumpulan data, digunakan data untuk lendutan hasil pengujian di lapangan dengan menggunakan kedua alat, yaitu alat BB dan alat FWD. Pengambilan data dilaksanakan melalui uji beban menggunakan truk dengan menggunakan roda belakang ban ganda. Ban menggunakan tekanan angin 80 Psi dan dilakukan pengecekan di setiap 4 jam. Sketsa pengujian alat FWD [2] dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa Pengujian alat FWD

Sketsa pengujian alat BB [3] dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sketsa Pengujian alat BB

3.3. Prosedur Pengolahan Data

Berdasarkan kedua alat yang digunakan untuk mendapatkan nilai lendutan, maka data dicatat dan dicari nilai koreksi lendutan lapangan. Nilai lendutan menggunakan persamaan lendutan langsung.

Untuk perencanaan dengan alat BB, dicatat nilai temperatur lapis beraspal (T_L) dan faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35°C (F_t), dan nilai faktor pengaruh muka air tanah (C_a). Setelah itu diambil nilai faktor koreksi beban uji dan menghitung keseragaman lendutan. Selanjutnya, ditentukan lendutan balik (d_B) berdasarkan persamaan lendutan balik.

Untuk perencanaan dengan alat FWD, dilakukan perhitungan jumlah lendutan balik dan kuadrat dari lendutan balik. Setelah itu, dilakukan perhitungan lendutan rata-rata dengan nilai deviasi standarnya.

Dari kedua hasil data lendutan, baik dengan alat FWD dan BB, dihitung tingkat keseragaman lendutannya. Dari perhitungan ini, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan lendutan wakil (D_{wakil} atau $D_{sbl ov}$) dan lendutan rencana atau lendutan izin ($D_{rencana}$ atau $D_{stl ov}$).

Selanjutnya, dilakukan perhitungan tebal lapis tambah. Hasil tebal lapis tambah dikoreksi dengan faktor koreksi tebal lapis tambah (F_o) dan dilanjutkan dengan perhitungan tebal lapis tambah terkoreksi (H_t).

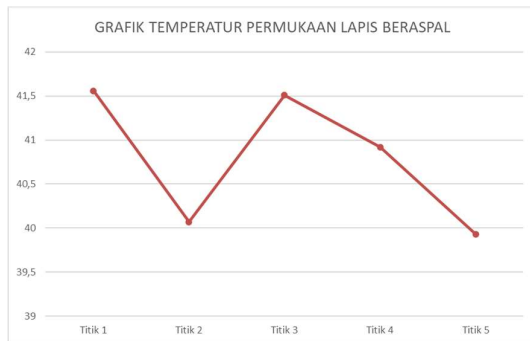
Hasil tersebut dipakai untuk nilai tebal lapis tambah yang digunakan. Dengan nilai tersebut, maka dapat ditentukan lapisan yang digunakan dengan faktor koreksi penyesuaian tebal lapis

tambah (FK_{TBL}) sehingga diperoleh tebal lapis tambah dari kedua alat.

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat diketahui nilai lendutan terkoreksi dengan alat BB dan FWD. Data temperatur yang didapat dan digunakan untuk pengolahan disajikan ke dalam grafik temperatur untuk bagian lapisannya. Grafik yang disajikan adalah grafik temperatur permukaan lapis beraspal, grafik temperatur tengah lapis beraspal, dan grafik temperatur bawah lapis beraspal

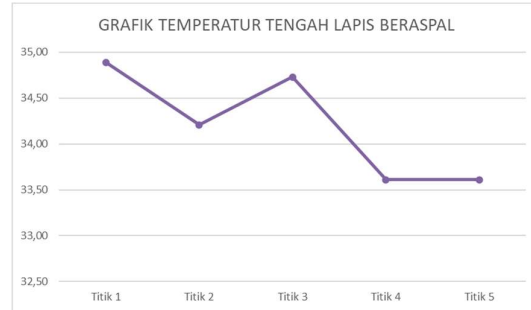
Grafik temperatur permukaan lapis beraspal yang diperoleh di lapangan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Temperatur Permukaan Lapis Beraspal

Berdasarkan grafik temperatur permukaan lapis beraspal diperoleh data untuk 5 titik. Pada titik 1, temperatur permukaan lapis beraspal yang didapatkan adalah 41,56°C. Pada titik 2, temperatur permukaan lapis beraspal yang didapatkan adalah 40,07°C. Pada titik 3, temperatur permukaan lapis beraspal yang diperoleh adalah 41,51°C. Pada titik 4, temperatur permukaan lapis beraspal yang diperoleh adalah 40,92°C. Sementara itu, pada titik 5, temperatur permukaan lapis beraspal yang diperoleh adalah 39,93°C.

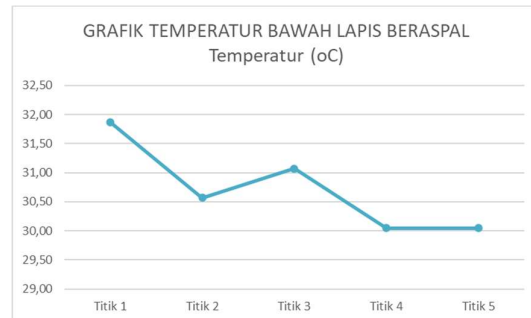
Grafik temperatur tengah lapis beraspal yang diperoleh di lapangan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Temperatur Tengah Lapis Beraspal

Berdasarkan grafik temperatur tengah lapis beraspal diperoleh data untuk 5 titik. Pada titik 1, temperatur tengah lapis beraspal yang didapatkan adalah 34,89°C. Pada titik 2, temperatur tengah lapis beraspal yang didapatkan adalah 34,21°C. Pada titik 3, temperatur tengah lapis beraspal yang diperoleh adalah 34,37°C. Pada titik 4, temperatur tengah lapis beraspal yang diperoleh adalah 33,62°C. Sementara itu, pada titik 5, temperatur tengah lapis beraspal yang diperoleh adalah 33,61°C.

Grafik temperatur bawah lapis beraspal yang diperoleh di lapangan dapat dilihat pada gambar 7.

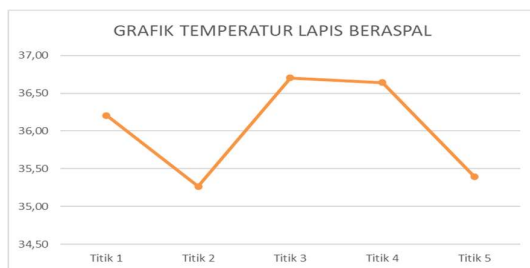


Gambar 7. Grafik Temperatur Bawah Lapis Beraspal

Berdasarkan grafik temperatur bawah lapis beraspal diperoleh data untuk 5 titik. Pada titik 1, temperatur bawah lapis beraspal yang didapatkan adalah 31,87°C. Pada titik 2, temperatur bawah lapis beraspal yang didapatkan adalah 30,57°C. Pada titik 3, temperatur bawah lapis beraspal yang diperoleh adalah 31,07°C. Pada titik 4, temperatur bawah lapis beraspal yang diperoleh adalah 30,05°C. Sementara itu, pada

titik 5, temperatur bawah lapis beraspal yang diperoleh adalah 30,05°C.

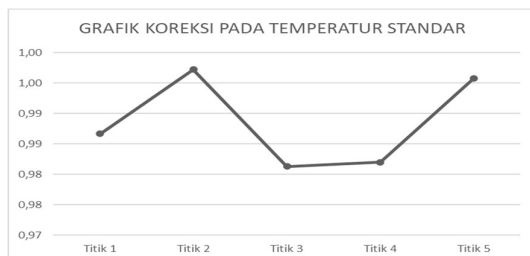
Setelah diperoleh data temperatur permukaan lapis beraspal, data temperatur tengah lapis beraspal, dan data temperatur bawah lapis beraspal, maka dapat diperoleh temperatur lapis beraspal berdasarkan nilai dari rata-rata temperatur permukaan lapis permukaan, temperatur tengah lapis beraspal, dan temperatur bawah lapis beraspal. Data ini diperoleh pada masing-masing titik pengambilan. Grafik nilai temperatur lapis beraspal dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Temperatur Lapis Beraspal

Berdasarkan grafik temperatur lapis beraspal diperoleh data untuk 5 titik. Pada titik 1, temperatur lapis beraspal yang didapatkan adalah 36,21°C. Pada titik 2, temperatur lapis beraspal yang didapatkan adalah 35,27°C. Pada titik 3, temperatur lapis beraspal yang diperoleh adalah 36,70°C. Pada titik 4, temperatur lapis beraspal yang diperoleh adalah 36,64°C. Sementara itu, pada titik 5, temperatur lapis beraspal yang diperoleh adalah 35,40°C.

Setelah masing-masing titik pengambilan memperoleh temperatur lapis beraspal, maka didapatkan nilai faktor penyesuaian lendutan (F_t) terhadap nilai temperatur standar yang telah ditetapkan, yaitu pada temperatur 35°C. Grafik koreksi pada temperatur standar dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Koreksi pada Temperatur Standar

Berdasarkan grafik koreksi pada temperatur standar diperoleh data untuk 5 titik. Pada titik 1, koreksi pada temperatur standar yang didapatkan adalah 0,99°C. Pada titik 2, koreksi pada temperatur standar yang didapatkan adalah 1,00°C. Pada titik 3, koreksi pada temperatur standar yang diperoleh adalah 0,98°C. Pada titik 4, koreksi pada temperatur standar yang diperoleh adalah 0,98°C. Sementara itu, pada titik 5, koreksi pada temperatur standar yang diperoleh adalah 1,00°C. Nilai koreksi tertinggi diperoleh pada titik 2, yaitu sebesar 1,00°C. Untuk nilai koreksi terendah diperoleh pada titik 3 dan titik 4, yaitu 0,98°C.

Data temperatur lapis beraspal dan koreksi pada temperatur standar yang telah didapatkan ini digunakan dalam penentuan tebal *overlay*, baik dengan alat FWD maupun BB. Nilai koreksi yang digunakan pada kajian ini adalah 1,2

4.1. Hasil Penentuan Tebal *Overlay* dengan alat FWD

Pada penentuan tebal *overlay* dengan alat FWD, ditentukan lendutan langsung pada pusat beban. Grafik lendutan langsung pada pusat beban dapat dilihat pada gambar 10. Pada gambar 10, diperoleh nilai lendutan langsung pada pusat beban untuk 5 titik.



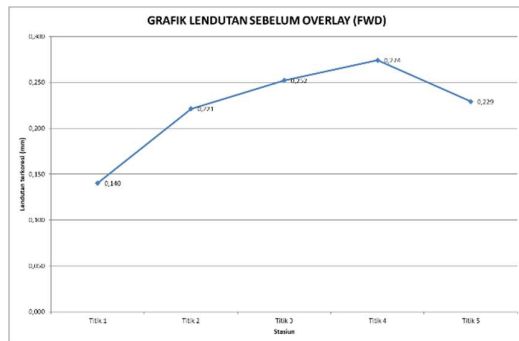
Gambar 10. Grafik Lendutan Langsung pada Pusat Beban (mm)

Berdasarkan grafik lendutan langsung pada pusat beban diperoleh data untuk 5 titik. Pada titik 1, lendutan langsung yang didapatkan adalah 0,238 mm. Pada titik 2, lendutan langsung yang didapatkan adalah 0,372 mm. Pada titik 3, lendutan langsung yang diperoleh adalah 430 mm. Pada titik 4, lendutan langsung yang diperoleh adalah 0,468 mm. Sementara

itu, pada titik 5, lendutan langsung yang diperoleh adalah 0,385 mm.

Pada perhitungan lendutan terkoreksi, digunakan nilai koreksi beban sebesar 0,498. Dengan data lendutan langsung pada pusat beban, koreksi pada temperatur standar, koreksi musim, dan koreksi beban, maka didapat lendutan sebelum *overlay*. Penentuan ini berdasarkan persamaan 3.

Berdasarkan hasil perhitungan, grafik lendutan sebelum *overlay*, dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik Lendutan Sebelum Overlay dengan Alat FWD

Berdasarkan grafik lendutan sebelum *overlay* dengan alat FWD, diperoleh data untuk 5 titik. Pada titik 1, lendutan terkoreksi yang didapatkan adalah 0,140 mm. Pada titik 2, lendutan terkoreksi yang didapatkan adalah 0,221 mm. Pada titik 3, lendutan terkoreksi yang diperoleh adalah 0,252 mm. Pada titik 4, lendutan terkoreksi yang diperoleh adalah 0,274. Sementara itu, pada titik 5, lendutan terkoreksi yang diperoleh adalah 0,229 mm.

Dari nilai lendutan terkoreksi tersebut, maka nilai kuadratnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kuadrat nilai lendutan terkoreksi alat FWD

Lokasi	d_L^2
Titik 1	0,020
Titik 2	0,049
Titik 3	0,064
Titik 4	0,075
Titik 5	0,052

Jumlah total nilai lendutan langsung pada pusat beban untuk semua titik adalah 1,117 mm. Untuk nilai total kuadrat dari nilai lendutannya

adalah sebesar 0,260 mm. Lendutan rata-rata yang diperoleh untuk alat FWD adalah 0,223 mm dengan standar deviasi sebesar 0,051.

Setelah diperoleh nilai lendutan terkoreksi dengan alat FWD, maka diperoleh nilai faktor keseragaman (FK), lendutan wakil $D_{sbl\ ov}$, lendutan rencana $D_{stl\ ov}$, tebal lapis tambah yang digunakan (H_o), faktor koreksi tebal lapis tambah (F_o), dan tebal lapis tambah terkoreksi (H_t). Hasil ini dapat dilihat pada tabel 2.

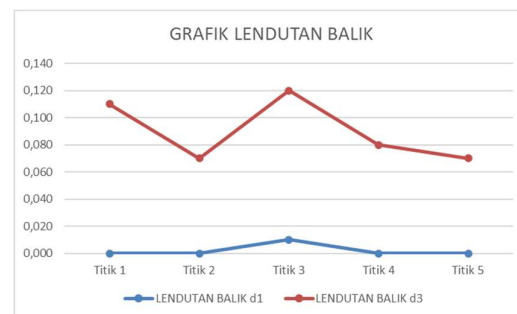
Tabel 2. Hasil penentuan tebal *overlay* (alat FWD)

FK (%)	22,825
$D_{sbl\ ov}$ (mm)	0,325
$D_{stl\ ov}$ (mm)	0,246
H_o (cm)	5,225
F_o	1,002
H_t (cm)	5,235

Nilai faktor keseragaman dengan menggunakan alat FWD adalah 22,825%. Nilai ini berada pada rentang 21 sampai dengan 30, yang berarti keseragaman lendutannya berada pada kategori cukup baik. Dari hasil perhitungan penentuan tebal *overlay* dengan alat FWD, diperoleh tebal 5,235 cm. Hasil tebal ini dibulatkan menjadi 6 cm.

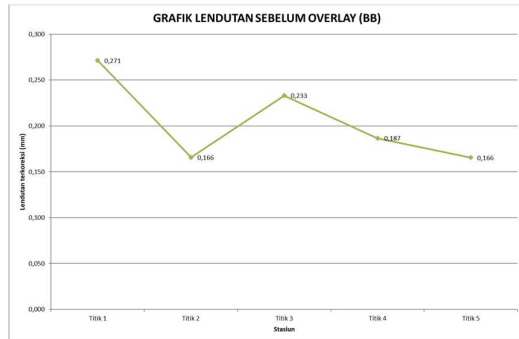
4.2. Hasil Penentuan Tebal dengan alat BB

Berdasarkan alat BB, diperoleh nilai lendutan balik pada waktu beban tepat berada di titik pengukuran (d_1) dan lendutan ketika beban sedang berada sejauh 6 meter dari titik pengambilan data lendutan balik (d_3) hasil nilai lendutan balik d_1 dan d_3 dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik Lendutan balik d_1 dan d_3 dengan Alat FWD

Nilai lendutan balik d_1 dan d_3 digunakan pada penentuan nilai lendutan sebelum *overlay* (d_B). Berdasarkan persamaan 1. Hasil grafik lendutan sebelum *overlay*, dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Lendutan Sebelum Overlay dengan Alat BB

Berdasarkan grafik lendutan sebelum *overlay* dengan alat BB, diperoleh data untuk 5 titik. Pada titik 1, lendutan terkoreksi yang didapatkan adalah 0,271 mm. Pada titik 2, lendutan terkoreksi yang didapatkan adalah 0,166 mm. Pada titik 3, lendutan terkoreksi yang diperoleh adalah 0,233 mm. Pada titik 4, lendutan terkoreksi yang diperoleh adalah 0,187. Sementara itu, pada titik 5, lendutan terkoreksi yang diperoleh adalah 0,166 mm. Nilai lendutan terkoreksi tertinggi pada hasil ini berada pada titik 1 dengan nilai lendutan sebesar 0,271 mm. Nilai lendutan terkoreksi terendah pada hasil ini berada pada titik 2 dan titik 5 dengan nilai sebesar 0,166 mm.

Dari nilai lendutan terkoreksi tersebut, maka nilai kuadratnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kuadrat nilai lendutan terkoreksi

alat FWD	
Lokasi	d_L^2
Titik 1	0,074
Titik 2	0,027
Titik 3	0,054
Titik 4	0,035
Titik 5	0,027

Jumlah total nilai lendutan langsung pada pusat beban untuk semua titik adalah 1,022 mm. Untuk nilai total kuadrat dari nilai lendutannya adalah sebesar 0,218 mm. Lendutan rata-rata

yang diperoleh untuk alat BB adalah 0,204 mm dengan standar deviasi sebesar 0,046.

Setelah diperoleh nilai lendutan terkoreksi dengan alat BB, maka diperoleh hasil penentuan tebal *overlay* yang terdiri dari nilai faktor keseragaman (FK), lendutan wakil $D_{sbl\ ov}$, lendutan rencana $D_{stl\ ov}$, tebal lapis tambah yang digunakan (H_o), faktor koreksi tebal lapis tambah (F_o), dan tebal lapis tambah terkoreksi (H_t). Hasil ini dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil penentuan tebal *overlay* (alat BB)

FK (%)	22,745
$D_{sbl\ ov}$ (mm)	0,297
$D_{stl\ ov}$ (mm)	0,246
H_o (cm)	3,715
F_o	1,002
H_t (cm)	3,722

Nilai faktor keseragaman dengan menggunakan alat FWD adalah 22,745%. Nilai ini berada pada rentang 21 sampai dengan 30, yang berarti keseragaman lendutannya berada pada kategori cukup baik. Dari hasil perhitungan penentuan tebal *overlay* dengan alat BB, diperoleh tebal 3,722 cm. Hasil tebal ini dapat dibulatkan menjadi 4 cm.

Dari hasil kajian sebelumnya yang telah dipaparkan, dapat dilihat adanya perbedaan hasil perencanaan tebal *overlay* antara alat FWD dan BB. Perbedaan kedua hasil ini dapat dilihat seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Perbedaan hasil penentuan tebal *overlay* dengan FWD dan alat BB

Hasil	FWD	BB	Selisih	%
FK (%)	22,825	22,745	0,080	0,35
$D_{sbl\ ov}$ (mm)	0,325	0,297	0,028	8,62
$D_{stl\ ov}$ (mm)	0,246	0,246	0,000	0,00
H_o (cm)	5,225	3,715	1,510	28,90
F_o	1,002	1,002	0,000	0,00
H_t (cm)	5,235	3,722	1,513	28,90

Dari kedua hasil tersebut, dapat dilihat bahwa untuk hasil faktor keseragaman, baik alat FWD dengan nilai FK 22,825%, maupun alat BB dengan nilai FK 22,745 berada pada rentang

antara 21% sampai dengan 30%. Pada rentang ini, keseragaman lendutan keduanya masih cukup baik. Walaupun berada pada rentang yang sama, terdapat selisih keduanya dengan selisih 0,080 atau persentase selisihnya sangat kecil, yaitu 0,35%.

Untuk hasil lendutan wakil ($D_{sbl\ ov}$), nilai yang diperoleh pada alat FWD adalah 0,325 mm dan nilai yang diperoleh pada alat BB adalah 0,297 mm. Selisih hasil keduanya adalah 0,028 mm, atau persentase selisihnya adalah 8,62%.

Untuk hasil lendutan rencana ($D_{stl\ ov}$), nilai yang diperoleh pada alat FWD adalah 0,246 mm dan nilai yang diperoleh pada alat BB adalah 0,246 mm. Dikarenakan nilai yang diperoleh pada hasil ini sama, maka tidak ada selisih hasil di antara keduanya, sehingga persentase selisihnya adalah 0,00%.

Tebal lapis tambah (H_o) dari kedua alat menghasilkan selisih yang signifikan. Untuk hasil dengan menggunakan alat FWD, nilai lapis tambah yang diperoleh adalah 5,255 mm, sementara hasil dengan menggunakan alat BB adalah 3,715 mm. Perbedaan keduanya menghasilkan selisih sebesar 1,510 mm, atau dalam bentuk persen selisihnya adalah sebesar 28,90. Secara persentase, selisih ini merupakan selisih terbesar dibandingkan dengan selisih untuk hasil yang lain.

Hasil perhitungan faktor koreksi tebal lapis tambah (F_o) untuk alat FWD adalah 1,002. Untuk hasil perhitungan faktor koreksi tebal lapis tambah untuk alat BB memiliki nilai yang sama, yaitu 1,002. Dengan demikian, tidak terdapat selisih hasil yang signifikan, sehingga persentase selisihnya adalah 0,00%.

Pada hasil penentuan tebal lapis tambah terkoreksi (H_i), untuk hasil dengan alat FWD menghasilkan tebal sebesar 5,235 cm, sedangkan hasil dengan alat BB berbeda. Untuk hasil penentuan tebal lapis tambah terkoreksi dengan alat BB adalah 3,722 cm. Kedua perbedaan ini menghasilkan selisih sebesar 1,513 cm, atau dalam bentuk persentase sebesar 28,90%.

Tebal *overlay* yang direncanakan pada ruas jalan ditentukan sesuai dengan Pd T-05-2005, untuk melayani lalu lintas dengan umur rencana selama 10 tahun. Perkerasan yang

digunakan pada perencanaan untuk kedua alat adalah perkerasan lapisan aspal beton (laston). Lapisan ini menggunakan nilai faktor koreksi penyesuaian sebesar 1,00. Untuk nilai modulus resilien yang digunakan adalah untuk 2.000 MPa. Nilai stabilitas Marshall minimum yang digunakan adalah 800 kg.

Pada akhir perhitungan tebal *overlay* ini, didapat hasil bahwa penentuan tebal *overlay* dengan menggunakan alat FWD akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan alat BB. Dengan demikian, secara ekonomis hasil perencanaan tebal *overlay* yang memperoleh nilai ketebalan yang lebih tinggi akan akan menghasilkan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan hasil yang lebih kecil, namun akan menghasilkan konstruksi yang lebih kuat. Sebaliknya, untuk hasil tebal *overlay* yang lebih kecil akan berimbang kepada biaya yang lebih hemat, namun secara konstruksi akan menjadi lebih lemah.

4.4 Hasil Penelitian Sebelumnya

Hasil perencanaan tebal *overlay* dalam kajian Wahyudi dkk. [12] menghasilkan bahwa metode perencanaan dengan menggunakan lendutan balik (alat BB) menghasilkan nilai yang lebih ekonomis jika dibandingkan dengan hasil perencanaan tebal *overlay* yang diperoleh dari pedoman interim No. 002/P/BM/2011.

Pada kajian yang dilaksanakan oleh Wicaksono dkk. [6], didapat bahwa dengan menggunakan metode Pd T-05-2005, diperoleh hasil bahwa nilai yang diperoleh nilai tebal lapis tambah yang lebih besar dibandingkan dengan metode SDPJL.

Sementara itu, hasil kajian yang dibuat oleh Pangerapan dkk. [13] memperoleh nilai yang lebih kecil antara metode Pd T-05-2005 dengan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013.

Dengan demikian, baik hasil perencanaan tebal *overlay* yang menggunakan alat FWD dan BB masih berupa nilai tebal perkerasan yang terkecil. Hal ini dikarenakan oleh perencanaan tebal lapis tambah keduanya menggunakan metode Pd T-05-2005, walaupun keduanya dapat memberikan hasil yang berbeda. Dengan demikian hasil lapis tambah yang diperoleh akan menjadi lebih ekonomis, namun masih

cukup untuk melayani beban lalu lintas rencana yang diterimanya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pada kajian ini, dapat disimpulkan bahwa hasil penentuan tebal *overlay* dengan menggunakan alat FWD adalah 5,235 cm. Sementara itu, untuk hasil penentuan tebal *overlay* dengan menggunakan alat BB adalah 3,722 cm. Kedua hasil perencanaan tebal *overlay* memiliki selisih sebesar 1,513 cm, atau dalam bentuk persentase sebesar 28,90%.

Daftar Pustaka

- [1] Giovani dan Mukhlis, A., 2019. Analisis Struktur Pengaruh Beban Aksial Terhadap Balok, Jurnal Geuthèè: Penelitian Multidisiplin, Volume 2 Nomor 2 (Mei 2019), pp. 119-130.
- [2] Emersleben, A., dan Meyer, N., 2008. The Use of Geocells in Road Constructions Over Soft Soil: Vertical Stress and Falling Weight Deflectometer Measurements. Proceedings of 4th European Geosynthetics Conference, Edinburgh, UK, pp. 1-8.
- [3] Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2011. Cara Uji Lendutan Perkerasan Lentur Dengan Alat Benkelman Beam (SNI 2416:2011), Jakarta: BSN.
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017. Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Lendutan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017, Departemen Pekerjaan Umum.
- [5] Primusz, P., 2015. Effect of Pavement Stiffness on the Shape of Deflection Bowl, Acta Silv. Lign. Hung. 11 (1), pp 39–54.
- [6] Wicaksono, A.N., 2017. Perencanaan Tebal Lapis Tambah Metode PD T-05-2005-B dan Metode SDPJL pada Jalan Nasional di Yogyakarta, e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL, Volume 4 Nomor 4 Tahun 2015, pp. 623-631.
- [7] Suriyatno, 2014. Analisis Tebal Lapis Tambah dan Umur Sisa Perkerasan Akibat Beban Berlebih Kendaraan (Studi Kasus Ruas Jalan Nasional di Provinsi Sumatera Barat), Annual Civil Engineering Seminar, Pekanbaru. Pp. 169-176.
- [8] Departemen Pekerjaan Umum, 2005. Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Lendutan (Pd T-05-2005-B).
- [9] El-Hakim dan El-Ghaffar, 2020. General Procedure for Pavement Maintenance/Rehabilitation Decisions Based on Structural and Functional Indices, Proceedings of the 3rd GeoMEast International Congress and Exhibition, Egypt 2019 on Sustainable Civil Infrastructures – The Official International Congress of the Soil-Structure Interaction Group in Egypt (SSIGE), pp. 25-41.
- [10] Aris, M.N.A., 2015. Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur menggunakan Beberapa Metode Bina Marga, Studi kasus: (Ruas Jalan Piringsurat-Batas Kedu Timur), Jurnal Karya Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Volume 4 Nomor 4 Tahun 2015, pp. 380-393.
- [11] Dachlan, A.T., 2010. Metode Pelaksanaan dan Evaluasi Perbaikan Jalan Beton dengan Injeksi Semen, Cor di Tempat dan Beton Pracetak (Implementation and Evaluation Methods of Road Concrete Repair using Cement Injection, Cast in Place and Precast Concrete) Jurnal Pusjatan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
- [12] Wahudi, D, 2016. Analisis Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*overlay*) Cara Lendutan Balik Dengan Metode Pd T-05-2005-B dan Pedoman Interim No.002/P/BM/2011, JRSDD, Volume 4 Nomor 1, pp. 137-152.
- [13] Pangerapan, M.L., 2018. 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, Volume 6 Nomor 10, Pp. 823-834