

PEMBANGUNAN PERANGKAT LUNAK PERENCANAAN TEBAL LAPIS PERKERASAN TAMBAHAN METODE *FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER* (FWD) MENGGUNAKAN APLIKASI VBA-EXCEL

Studi Kasus Batas Tanjung Jabung Barat 83+500 Sampai SP Tuan 48+500

Fajar Afriani¹, Sri Atmaja P. Rosyidi², Puji Harsanto³

¹Mahasiswa (NIM. 20120110221), ²Dosen Pembimbing I, ³Dosen Pembimbing II

ABSTRAK

Perkerasan jalan sebagai salah satu struktur utama pada suatu konstruksi jalan dimana sistem manajemen perkerasan dituntut untuk menentukan kondisi struktur perkerasan jalan. Faktor yang mempengaruhi kinerja dari suatu perkerasan jalan seperti lalu lintas, cuaca, desain perkerasan, pelaksanaan pembangunan dan pemeliharaan. Perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur terkini menggunakan metode yang membutuhkan data lendutan permukaan. Untuk menghitung tebal lapis tambah (*overlay*) yang dibutuhkan pada penelitian ini menggunakan metode *Falling Weight Deflectometer* (FWD). FWD yaitu salah satu alat pengujian untuk mengukur lendutan dan lendutan balik dari lapisan perkerasan. Dalam penelitian ini suatu perangkat lunak yang dibangun untuk perencanaan tebal lapis tambahan (*overlay*) menggunakan metode FWD. Aplikasi dan bahasa pemrograman yang digunakan adalah *Visual Basic of Application* (VBA) pada Microsoft Excel. Panduan yang akan digunakan untuk pembangunan perangkat lunak yaitu Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan Pd T-05-2005-B dengan data pengujian lendutan menggunakan FWD.

Pembangunan perangkat lunak dapat mengolah data tanpa memerlukan waktu yang terlalu lama. Pembangunan perangkat lunak pada VBA Ms. Excel membuktikan bahwa MS.excel tidak hanya membuat tabel dan grafik saja tetapi masih banyak fungsi lainnya. Hanya memerlukan beberapa menit saja untuk pengolahan data pada VBA-Excel dan mempermudah dalam melakukan pengerjaan. Hasil yang diperoleh yaitu mengetahui tebal lapis tambahan pada kondisi jalan. Adapun manfaatnya dalam perangkat lunak dari VBA excel yang dapat digunakan untuk memudahkan pelaku ahli jasa konstruksi guna menganalisis tebal lapis tambah dan data pengujian FWD. Hasil dari penelitian ini yaitu sebuah program perencanaan tebal lapis tambahan dengan menggunakan alat FWD yang diberi nama "*Falling Weight Deflectometer Bina Marga 2005-UMY (FWDBM05-UMY)*". Untuk hasil dari FWDBM05-UMY sudah diperiksa dengan hasil perhitungan manual dan hasil dari perangkat lunak yang dibangun sama hanya berbeda pada angka dibelakang koma saja. Perbedaan hasil perhitungan menggunakan FWDBM05-UMY dengan hasil perhitungan manual sebesar 0,2 %. Hal ini menunjukkan bahwa software hasil penelitian akurat dan dapat digunakan dalam analisis tebal perkerasan jalan secara lebih efisien dan menghemat waktu analisis.

Kata kunci: Tebal lapis perkerasan tambahan (*overlay*), *falling weight deflectometer* (FWD), Bina Marga (2005) dan VBA Microsoft Excel.

A. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan sebagai salah satu struktur utama pada suatu konstruksi jalan dimana sistem manajemen perkerasan dituntut untuk menentukan kondisi struktur perkerasan jalan tersebut. Terdapat beberapa faktor penyebab terjadinya kerusakan pasca konstruksi pada suatu jalan yaitu faktor lalu lintas kendaraan dengan beban yang berlebihan, air, material perkerasan, iklim dan kondisi tanah dasar. Oleh karena itu, evaluasi jalan perlu dil-

akukan perbaikan perkerasan jalan sesuai dengan rencana umur manfaat jalannya. Dalam pekerjaan perbaikan perkerasan jalan, dikenal dua istilah yaitu pemeliharaan dan rehabilitasi. Saat ini, pemeliharaan dan rehabilitasi di Indonesia belum dapat berjalan secara optimal. Dengan demikian, dibutuhkan suatu sistem yang mampu mengevaluasi jaringan jalan secara baik, mulai dari tahap penilaian hingga rehabilitasi agar jalan memiliki umur layanan yang lebih lama. Sistem ini disebut

sebagai sistem manajemen perkerasan jalan (*Road Management System, RMS*).

Sesuai metode NDT, FWD merupakan salah satu teknologi maju yang dimiliki oleh Indonesia. FWD merupakan alat uji dilapangan yang bersifat tidak merusak jalan, bekerja dengan cepat dan mendapat nilai modulus elastisitas pada setiap lapis perkerasan jalan. Nilai modulus elastisitas tersebut dihasilkan dari mengukur lendutan balik dan lendutan langsung perkerasan yang menggambarkan kekuatan struktur perkerasan jalan untuk mengetahui tebal lapis tambahan. Tebal lapis tambahan (*overlay*) merupakan lapis perkerasan tambahan yang dipasang diatas konstruksi perkerasan yang ada dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang ada agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan selama kurun waktu yang akan datang.

Manfaat penelitian ini yaitu membuat aplikasi dari VBA excel yang dapat digunakan untuk memudahkan pelaku ahli jasa konstruksi guna menganalisis tebal lapis tambah dan data pengujian FWD. Adapun tujuan seperti membangun aplikasi program (perhitungan) metode FWD menggunakan *Visual Basic of Application (VBA)* pada Microsoft Excel. Tujuan lainnya ada membandingkan hasil perhitungan VBA-Excel dengan perhitungan manual tebal lapis tambahan (*overlay*) menggunakan data simulasi ataupun data lapangan pengujian FWD.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Jalan memiliki umur layan atau umur rencana. Jika umur layan telah terlampaui, maka perlu adanya suatu lapisan tambahan (*overlay*) untuk meremajakan struktur perkerasan. *Overlay* digunakan sebagai pemeliharaan jalan untuk meningkatkan struktur perkerasan sudah menurun (Effendi, 2015).

Perencanaan tebal lapis tambah (*overlay*) perkerasan lentur terkini menggunakan metode yang membutuhkan data lendutan permukaan. Untuk menghitung tebal lapis tambah (*overlay*) yang dibutuhkan pada penelitian ini menggunakan metode FWD.

Menurut Karadelis (1999) FWD merupakan peralatan uji lapangan untuk perkerasan jalan yang telah lama digunakan di berbagai negara. Sekitar 30 tahun yang lalu, alat ini diperkenalkan pertama di Perancis untuk mengevaluasi struktur perkerasan jalan.

Menurut Rosyidi, dkk. (2006), terdapat beberapa keuntungan menggunakan alat FWD untuk sistem manajemen jalan, yaitu: (1) Dapat menampilkan kinerja perkerasan secara menyeluruh dengan memberikan nilai modulus setiap lapisan struktur perkerasan jalan; (2) Peralatan FWD dioperasikan dengan mudah dan memberikan hasil pengukuran yang tepat serta ketelitian yang tinggi; (3) Beban pelat dan ketinggian jatuh yang dapat diukur, dengan demikian intensitas beban yang direpresentasikan sebagai beban kendaraan dapat disesuaikan untuk kondisi di Indonesia (8,16 ton).

Pembangunan perangkat lunak untuk perencanaan tebal lapis perkerasan tambahan (*overlay*) metode FWD dengan menggunakan aplikasi VBA-Excel yang bertujuan agar mempermudah dan meminimalisir waktu pada saat proses perhitungan analisis data.

Menurut Kusri (2007), “Visual Basic adalah salah satu bahasa pemrograman komputer”. Bahasa pemrograman adalah perintah-perintah yang dimengerti oleh komputer untuk melakukan tugas-tugas tertentu. Visual Basic merupakan salah satu development tool yaitu alat bantu untuk membuat berbagai macam program komputer khususnya yang menggunakan sistem operasi windows.

C. LANDASAN TEORI

Perencanaan Tebal Lapis Tambah Metode Pd T-05-2005-B

Menurut Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan Pd. T-05-2005-B, tebal lapis tambah (*overlay*) merupakan lapis perkerasan tambahan yang dipasang di atas konstruksi perkerasan yang ada dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur perkerasan yang ada agar dapat melayani lalu lintas yang direncanakan selama kurun waktu yang akan datang.

Lendutan yang digunakan dalam lendutan pada pusat beban (d_{f1}). Nilai lendutan ini

harus dikoreksi dengan faktor muka air tanah (faktor musim) dan koreksi temperatur serta faktor koreksi beban uji (bila beban uji tidak tepat sebesar 4,08 ton). Besarnya lendutan langsung adalah sesuai persamaan 1 berikut :

$$d_L = d_{f1} \times Ft \times Ca \times FK_{B-FWD} \quad (1)$$

dengan pengertian :

d_L = lendutan langsung (mm)

d_{f1} = lendutan langsung pada pusat beban (mm)

Ft = faktor penyesuaian lendutan terhadap temperatur standar 35°C, yaitu sesuai persamaan 2, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih kecil 10 cm dan persamaan 3, untuk tebal lapis beraspal (H_L) lebih besar atau sama dengan 10.

$$= 4,184 \times T_L^{-0,4025}, H_L < 10cm \quad (2)$$

$$= 14,785 \times T_L^{-0,7573}, H_L \geq 10cm \quad (3)$$

T_L = temperatur lapis beraspal, diperoleh dari hasil pengukuran langsung dilapangan atau dapat diprediksi dari temperatur udara yaitu:

$$T_L = \frac{1}{3} \times (T_p + T_t + T_b) \quad (4)$$

T_p = temperatur permukaan lapis beraspal

T_t = temperatur tengah lapis beraspal.

T_b = temperatur bawah lapis beraspal

Ca = faktor pengaruh muka air tanah (faktor musim)

= 1,2 bila pemeriksaan dilakukan pada musim kemarau atau muka air tanah rendah

= 0,9 bila pemeriksaan dilakukan pada musim kemarau atau muka air tanah tinggi

FK_{B-FWD} = faktor koreksi beban uji *Fallig weigh Deflectometer (FWD)*

$$= 4,08 \times (\text{Beban Uji dalam ton})^{(-1)} \quad (5)$$

Perhitungan tebal lapis tambah dapat dilakukan pada setiap titik pengujian atau berdasarkan panjang segmen (saksi). Untuk

menentukan faktor keseragaman lendutan adalah dengan menggunakan persamaan 6 sebagai berikut:

$$FK = \frac{s}{d_R} \times 100\% < FK_{ijin} \quad (6)$$

dengan pengertian:

FK = faktor keseragaman

FK_{ijin} = faktor keseragaman yang diijinkan

= 0% - 10% ; keseragaman sangat baik

= 11% - 20% ; keseragaman baik

= 21% - 30% ; keseragaman cukup baik

d_R = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan

$$= \frac{\sum_1^{n_s} d}{n_s} \quad (7)$$

s = deviasi standar = simpangan baku

$$= \sqrt{\frac{n_s(\sum_1^{n_s} d^2) - (\sum_1^{n_s} d)^2}{n_s(n_s-1)}} \quad (8)$$

D = nilai lendutan balik (dB) atau lendutan langsung (dL) tiap titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan

n_s = jumlah titik pemeriksaan pada suatu seksi jalan.

Untuk menentukan besarnya lendutan yang mewakili suatu sub ruas jalan harus disesuaikan dengan fungsi/kelas jalan yaitu:

$$D_{wakil} = d_R + 2s, \text{ untuk jalan arteri/tol} \quad (9)$$

$$= d_R + 1,64s, \text{ untuk jalan kolektor} \quad (10)$$

$$= d_R + 1,28s, \text{ untuk jalan local} \quad (11)$$

dengan pengertian:

D_{wakil} = lendutan yang mewakili suatu seksi jalan

d_R = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan sesuai persamaan 7

s = deviasi standar sesuai persamaan 8

Tebal lapis tambah (overlay) yang diperoleh berdasarkan temperatur standar 35°C, maka untuk masing-masing daerah perlu dikoreksi karena memiliki temperatur perkerasan rata-rata tahunan (TPRT) yang berbeda. Untuk menentukan faktor koreksi pada tebal lapis tambah menggunakan persamaan 12 berikut:

$$F_o = 0,5032 \times \text{EXP}^{(0,0194 \times \text{TPRT})} \quad (12)$$

dengan pengertian:

F_o = faktor koreksi tebal lapis tambah

TPRT = temperatur perkerasan rata-rata tahunan untuk daerah/kota tertentu.

Untuk jenis lapis tambah dapat menggunakan persamaan berikut:

$$FK_{\text{TBL}} = 12,51 \times M_R^{-0,333} \quad (13)$$

dengan pengertian:

FK_{TBL} = faktor koreksi tebal lapis tambah penyesuaian

M_R = Modulus Rsilien (MPa)

Untuk lendutan FWD menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D_{\text{rencana}} = 17,004 \times \text{CESA}^{(-0,2307)} \quad (14)$$

dengan pengertian:

D_{rencana} = lendutan rencana, dalam satuan milimeter

CESA = akumulasi ekivalen beban sumbu standar dalam satuan ESA

Untuk menentukan tebal lapis tambah (H_o) dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$H_o = \frac{[\text{Ln}(1,0364) + \text{Ln}(D_{\text{wakil}}) - \text{Ln}(D_{\text{rencana}})]}{0,0597} \quad (15)$$

dengan pengertian:

H_o = tebal lapis tambah sebelum dikoreksi temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu dalam satuan centimeter (cm).

D_{wakil} = lendutan sebelum lapis tambah/ D_{wakil} dalam satuan milimeter (mm).

D_{rencana} = lendutan setelah lapis tambah atau lendutan rencana dalam satuan milimeter (mm).

Untuk menentukan tebal lapis tambah terkoreksi (H_t) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_t = H_o \times F_o \quad (16)$$

dengan pengertian:

H_t = tebal lapis tambah Laston setelah dikoreksi dengan temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

H_o = tebal lapis tambahan Lastos sebelum dikoreksi temperatur rata-rata tahunan daerah tertentu, dalam satuan centimeter.

F_o = faktor koreksi tebal lapis tambah sesua pada persamaan 12

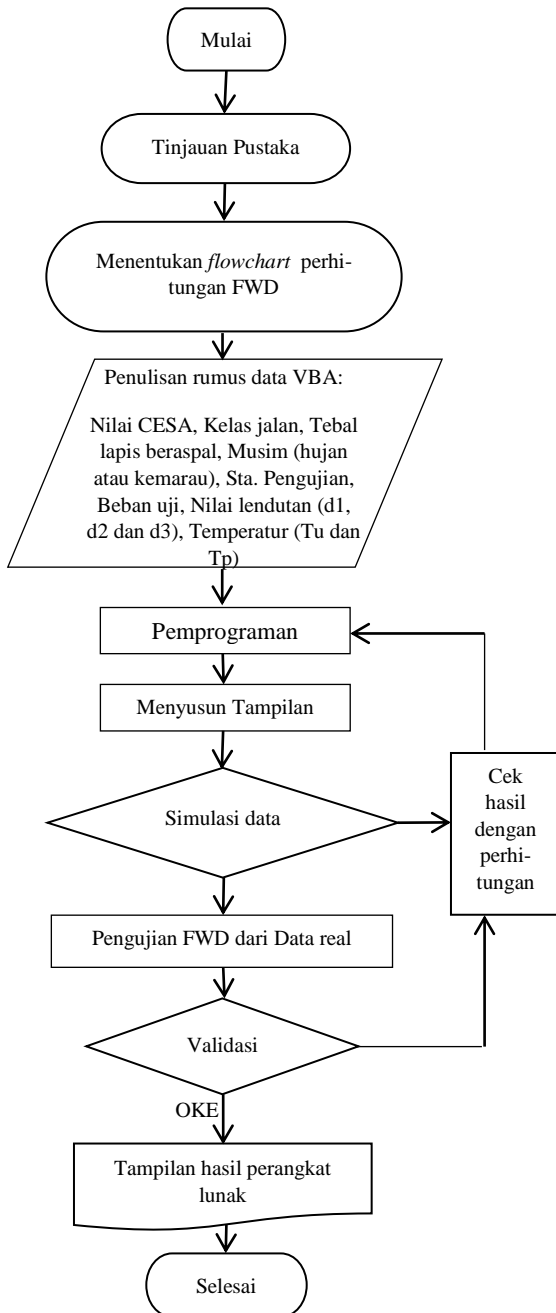
Program Visual Basic Applicatigon (VBA) Excel

Sejak tahun 1993, Excel telah memiliki bahasa pemrograman Visual Basic for Applications (VBA), yang dapat menambahkan kemampuan Excel untuk melakukan otomatisasi di dalam Excel dan juga menambahkan fungsi-fungsi yang dapat didefinisikan oleh pengguna (user-defined functions/UDF) untuk digunakan di dalam worksheet. Selain itu, Excel juga dapat merekam semua yang dilakukan oleh pengguna untuk menjadi (macro), sehingga mampu melakukan otomatisasi beberapa tugas. VBA juga mengizinkan pembuatan form dan kontrol yang terdapat di dalam worksheet untuk dapat berkomunikasi dengan penggunaanya

D. METODE PENELITIAN

Secara umum penelitian ini dilakukan untuk mempermudah dalam pengerjaan hitungan menentukan tebal lapis tambahan. Penelitian dilakukan dengan membangun perangkat lu

nak VBA excel dan data yang digunakan berasal dari pengujian dengan alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)*. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

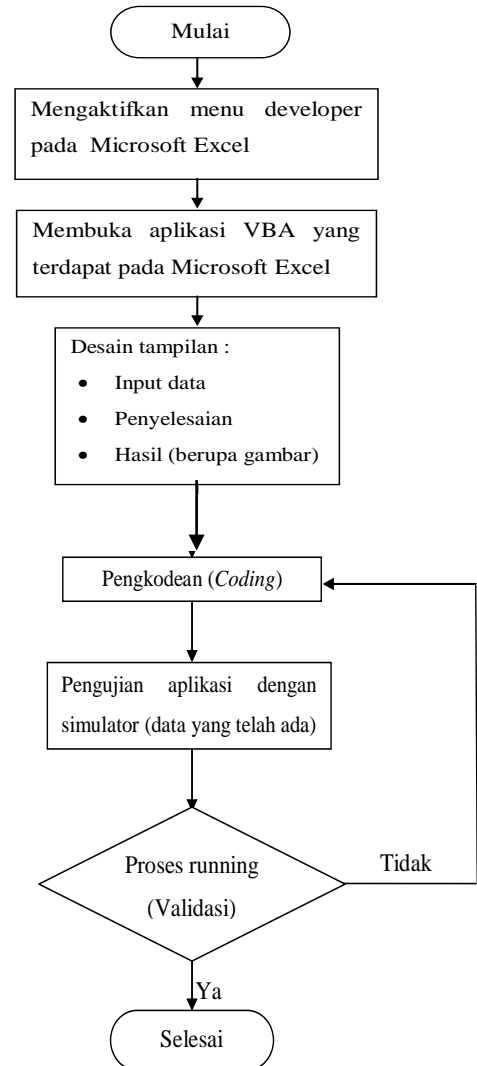


Gambar 1 Diagram alir tahapan penelitian

FWD adalah alat pengujian bersifat *non-destructive (NDT)* digunakan untuk pengujian structural digunakan pada perkerasan lentur, kaku dan komposit. Pengujian FWD bertujuan Perkiraan kapasitas struktural dari struktur perkerasan, Penentuan kekuatan tanah dasar, Perkiraan kemampuan transfer beban pada sambungan di perkerasan kaku dan komposit.

Lokasi data yang digunakan yaitu pada Batas Batas Tanjung Jabung Barat 83+500 Sampai SP Tuan 48+500 menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer*.

Untuk tahapan pembangunan perangkat lunak perencanaan tebal lapis perkerasan dengan VBA-Excel dapat dilihat pada



Gambar 3 Tahapan pembangunan perangkat lunak di VBA-Excel

E. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian dengan *Falling Weight Deflectometer (FWD)* yang digunakan untuk memverifikasi program terlihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

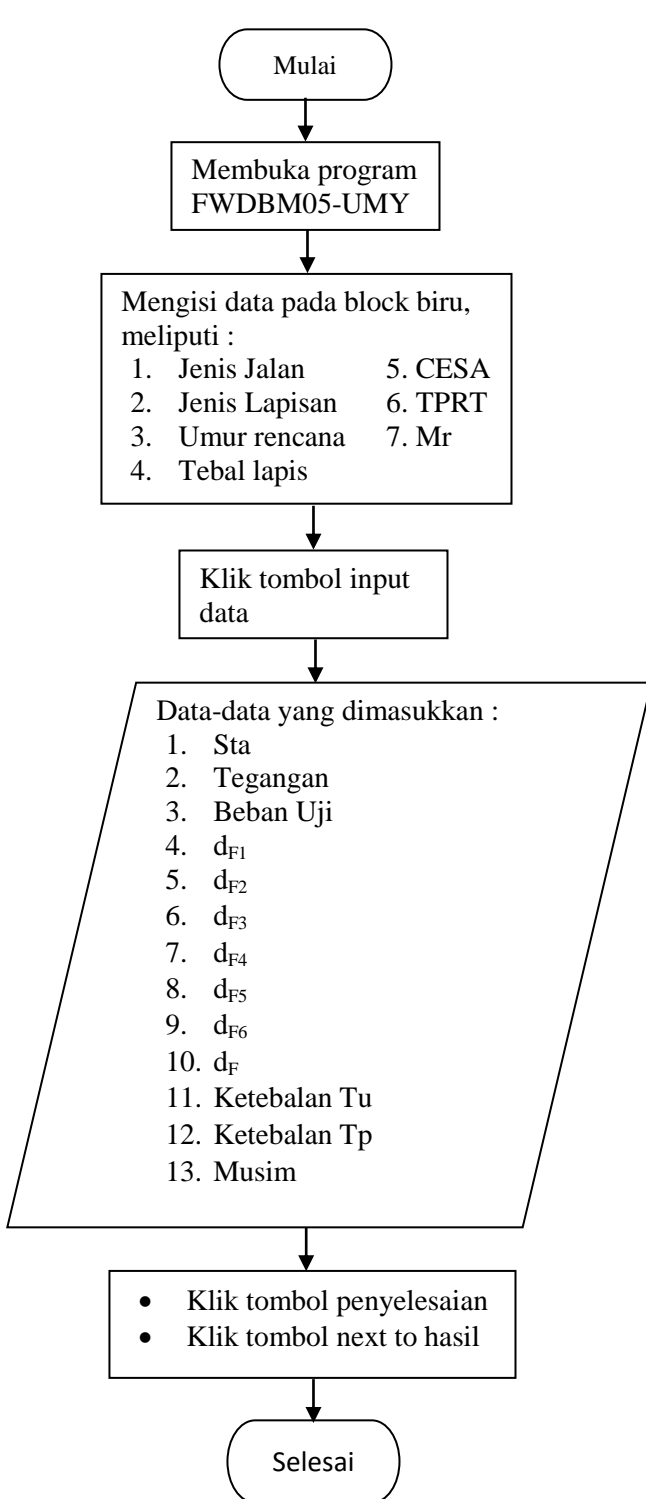
Tabel 1 Data Pengujian FWD

Sta (KM)	Beban uji (ton)	Teg	Lendutan balik/FWD (mm)							Temperature (°C)	
			dF1	dF2	dF3	dF4	dF5	dF6	dF7	T _u	T _p
83.5	4.02	566	0.626	0.42	0.328	0.201	0.142	0.091	0.054	51	42
82.5	4.07	574	0.447	0.326	0.271	0.193	0.149	0.096	0.049	51	42
81.5	4.09	577	0.3	0.186	0.153	0.111	0.089	0.062	0.049	51	42
80.5	4.03	568	0.412	0.272	0.226	0.142	0.101	0.066	0.038	51	42
79.5	4.02	567	0.32	0.214	0.192	0.139	0.114	0.083	0.046	51	42
78.5	4.02	567	0.241	0.156	0.144	0.117	0.101	0.069	0.038	51	39
77.5	4.03	568	0.316	0.205	0.181	0.144	0.118	0.081	0.059	51	39
76.5	4.02	566	0.343	0.228	0.203	0.153	0.122	0.081	0.046	51	39
75.5	4.11	580	0.416	0.295	0.261	0.195	0.154	0.094	0.045	51	39
74.5	4.1	578	0.357	0.241	0.213	0.162	0.133	0.089	0.048	51	39
73.5	4.04	570	0.378	0.262	0.225	0.159	0.12	0.066	0.029	51	39
72.5	4.05	571	0.325	0.2	0.173	0.131	0.107	0.074	0.046	51	39
71.5	4.04	570	0.436	0.352	0.298	0.2	0.141	0.074	0.04	51	39
70.5	4.01	565	0.424	0.299	0.249	0.173	0.125	0.066	0.028	51	39
69.5	4.02	566	0.316	0.217	0.198	0.132	0.109	0.072	0.033	51	39
68.5	4.07	574	0.47	0.33	0.289	0.199	0.151	0.094	0.039	51	39
67.5	4.09	576	0.235	0.167	0.139	0.114	0.095	0.06	0.034	51	39
66.5	4.07	574	0.423	0.301	0.262	0.199	0.157	0.103	0.061	51	39
66.5	4.04	569	0.503	0.326	0.272	0.183	0.136	0.079	0.043	51	39
64.5	4.13	583	0.312	22300.31	0.194	0.139	0.107	0.069	0.037	51	39
63.5	4.07	574	0.308	0.199	0.172	0.117	0.093	0.06	0.033	51	39
62.5	4.06	572	0.271	0.166	0.145	0.102	0.081	0.053	0.032	51	39
61.5	4.02	567	0.253	0.173	0.154	0.124	0.104	0.074	0.043	51	39
60.5	4.03	568	0.2	0.106	0.095	0.08	0.073	0.057	0.034	51	39
59.5	4.07	573	0.166	0.095	0.089	0.08	0.07	0.058	0.039	51	39
58.5	4.07	574	0.189	0.122	0.109	0.084	0.069	0.047	0.029	51	39
57.5	4.05	571	0.275	0.186	0.166	0.128	0.107	0.071	0.037	51	39
56.5	4.02	566	0.553	0.357	0.282	0.179	0.125	0.073	0.041	51	39
55.5	4.11	580	0.206	0.137	0.125	0.104	0.091	0.07	0.044	51	39
53.5	4.04	570	0.476	0.336	0.291	0.205	0.154	0.088	0.035	51	39
52.5	4.11	579	0.215	0.141	0.121	0.091	0.076	0.05	0.029	51	39
51.5	4.07	573	0.276	0.176	0.154	0.115	0.089	0.06	0.044	51	39
50.5	4.08	575	0.288	0.177	0.146	0.1	0.074	0.05	0.03	51	39
49.5	4	573	0.156	0.106	0.099	0.084	0.071	0.054	0.031	51	39
48.5	4.04	570	0.248	0.165	0.149	0.123	0.105	0.076	0.048	51	39

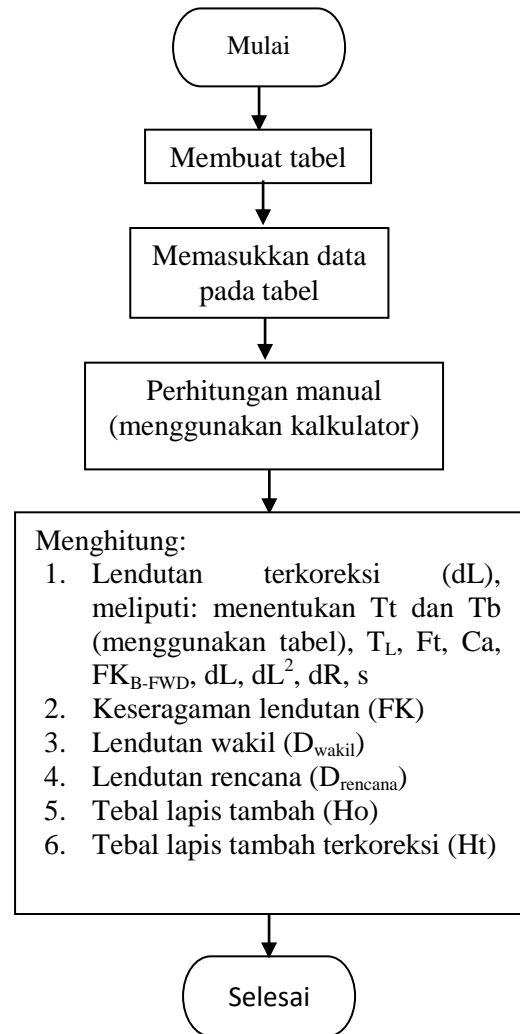
Hasil dari pembangunan menggunakan perangkat lunak dari aplikasi VBA pada Microsoft Excel diberi nama “*Falling Weight Deflectometer Bina Marga 2005 – UMY (FWDBM05-UMY)*”. Untuk tampilan dapat dilihat pada Gambar 3. Cara memasukkan data yaitu:

1. Pada bagian blok biru ketikan data dibagian kolom yang tersedia. Untuk data-data seperti Tabel 1 dimasukkan dengan mengklik tombol input data dan isi sesuai kolom yang ada.
2. Selanjutnya setelah selesai memasukkan data kemudian klik penyelesaian → klik next hasil. Untuk hasil output disajikan dalam bentuk form yang disertai dengan sketch gambar (terlihat pada Gambar 4).

Untuk tahapan pengolahan data menggunakan FWDBM'05-UMY dan manual dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Tahapan pengolahan data menggunakan FWDBM05-UMY



Gambar 6. Tahapan pengolahan data secara manual

Dari perhitungan dapat dilihat bahwa hasil yang didapat sama hanya berbeda pada angka dibelakang koma saja (terlihat pada Tabel 2. Dengan ini maka Program FWDBM05-UMY dikatakan berhasil atau OKE.

Tabel 5.2 Hasil perhitungan manual dan FWDBM05-UMY

	Manual	FWDBM05-UMY
Lendutan wakil	0,5957 mm	0,596103022 mm
Lendutan rencana	0,3203 mm	0,320316435 mm
Ho	10,961 cm	11,00263502 cm
Ht	9,536 cm	9,569134049 cm

F. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pembangunan perangkat lunak dapat mengolah data tanpa memerlukan waktu yang terlalu banyak. Pembangunan perangkat lunak pada VBA Ms. Excel membuktikan bahwa MS.excel tidak hanya membuat tabel dan grafik saja tetapi masih banyak fungsi lainnya. Hanya memerlukan beberapa menit saja untuk pengolahan data pada VBA-Excel dan mempermudah dalam melakukan pengerjaan. Hasil yang diperoleh dari pembangunan perangkat lunak untuk mengetahui tebal lapis tambahan pada kondisi jalan.

G. SARAN

Adapun untuk saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian yang sejenis mungkin dapat dilakukan dengan metode yang lain dan bisa menambahkan nilai SN.
2. Perlu dikembangkan pada mahasiswa tentang pengaplikasian bahasa pemrograman dan pengcodingan menggunakan Visual Basic of Application (VBA) di mata perkuliahan, Agar mempermudah untuk pembangunan perangkat lunak.

H. DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, Pd T-05-2005-B, *Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan*, Pustran Balitbang PU, Jakarta.
- Effendi, D. (2015). *Analisis Perhitungan Tebal Lapis Tambahan Pada Jalan Pangeran Suryanata–Patung Lembuswana Kota Samarinda*. *Kurva S*, 4(1), 992-1000.
- Karadelis, J. N. 1999. *A Numerical Model for The Computation of Concrete Pavement Moduli: A Non-destructive Testing and Assessment Method*. *NDT & E International*, 33(2), 77-84.
- Kementrian Pekerjaan Umum, 2013, Nomor 02/M/BM/2013. *Manual Desain Perkerasan Jalan*, Pustran Balitbang PU, Jakarta.
- Muhammad, Ario. 2009. *Analisis Perhitungan Balik (Backcalculation) Pada Lendutan*

Jalan Dari Pengukuran Fwd Analisis Modulus Elastisitas, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Rosyidi, 2004. *Penilaian Kekakuan Dinamik Bahan Lapisan Turapan Menggunakan Kaedah SASW*, Tesis Master, Universitas Kebangsaan Malaysia. Tidak dipublikasikan.

Umbara, Ridwan. 2010. *Aplikasi Teknik Falling Weight Deflectometer Untuk Evaluasi Modulus Elastisitas Dan Kekuatan Struktur Perkerasan Lentur*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Winpec Solution. 2010. *Menguasai VBA Macro Microsoft Excel 2010*. Surabaya: PT Elex Media Komputindo, Kompas Gramedia.