

PREDIKSI TEBAL LAPISAN BERASPAL MENGUNAKAN DATA LENDUTAN FWD DAN METODA *NEURAL NETWORK* UNTUK *SINGLE LAYER PERCEPTRON*

Siegfried

Puslitbang Jalan dan Jembatan

Jln. AH Nasution 264 Bandung

Email : syafier@gmail.com

Diterima : 15 Januari 2009; Disetujui : 20 April 2009

RINGKASAN

Penggunaan peralatan tidak merusak saat ini untuk perkerasan cenderung meningkat karena efektif dan cepat. Salah satu alat yang sangat dikenal untuk uji tidak merusak ini adalah Falling Weight Deflectometer (FWD). Alat FWD ini pada dasarnya digunakan untuk uji kekuatan struktural perkerasan jalan dalam parameter lendutan. Data lendutan ini juga bisa digunakan untuk memprediksi tebal lapisan beraspal menggunakan metoda Jaringan Syaraf untuk single layer perceptron. Dari 3 lokasi yang diuji didapat perbedaan yang tidak begitu besar antara rata-rata hasil perhitungan dan tebal dari lubang uji yaitu lebih kecil dari 10%. Untuk itu penggunaan metoda ini dapat direkomendasikan untuk dipertimbangkan sebagai salah satu metoda pengumpulan data terutama untuk updating pangkalan data (data base).

Kata Kunci : jaringan syaraf, single layer perceptron, lendutan, FWD

SUMMARY

At the time the use of non destructive test for pavement has been a trend because of its effectiveness and mobility. Falling Weight deflectometer (FWD) is famous equipment for this aim. Actually the use of FWD is to collect structural data in term of deflection. The deflection data also can be used to predict the thickness of bituminous layer using the neural network of single layer perceptron. For three locations tested it is found that the difference between the thickness obtained from test pit and the average result using this neural network calculation is less than 10%. It is recommended that this method can be considered to use for collecting pavement data especially for building a data base.

Keywords : Neural network, Single layer perception, deflection, FWD

PENDAHULUAN

Penggunaan alat test tanpa merusak (*non destructive equipment*) saat ini sudah begitu mendesak didalam sistem manajemen pemeliharaan jalan. Hal ini didasarkan kepada kebutuhan pengujian terutama pada daerah perkotaan yang memerlukan pengujian yang *mobile* sehingga tidak mengganggu kelancaran lalu lintas.

Salah satu alat pengujian tidak merusak yang masih menjadi primadona dalam sistem manajemen pemeliharaan adalah alat *Falling Weight Deflectometer (FWD)*. Alat ini dapat mengukur lendutan yang terjadi pada sistem perkerasan jalan yang dibebani oleh beban tertentu. Alat ini disukai karena sampai saat ini akurasiya cukup terjamin dan bersifat *computerized*.

Analisis yang dilakukan pada umumnya untuk mencari besaran *Structural Number (SN)* dari sistem perkerasan *existing*. Besaran ini digunakan sebagai salah satu input parameter untuk menentukan tebal lapis tambah yang dibutuhkan pada suatu ruas jalan tertentu. Kegunaan lain dari data lendutan FWD adalah untuk penentuan besaran Modulus Elastisitas dari masing-masing lapisan dari sistem perkerasan.

Dalam melakukan analisis perkerasan menggunakan data lendutan salah satu keterbatasan yang sering dijumpai adalah kebutuhan untuk mengetahui data tebal lapisan pembentuk sistem perkerasan. Seperti contohnya untuk perhitungan *Structural Number* sistem

perkerasan yang biasanya menggunakan metoda AASHTO 1993 ataupun untuk perhitungan modulus elastisitas yang menggunakan metoda perhitungan balik (*back calculation*). Pada umumnya pengukuran tebal perkerasan *existing* dilakukan dengan membuat lubang uji (*test pit*) ataupun menggunakan peralatan tidak merusak seperti *Ground Penetrating Radar (GPR)* maupun *Spectral Analysis Surface Wave (SASW)*.

Metoda Jaringan Syaraf Buatan (*Artificial Neural Network*) adalah salah satu metoda regresi multi parameter yang meniru cara kerja dari sistem jaringan syaraf manusia dalam merespons suatu input dan dengan serta merta memberikan output untuk respons tersebut. Metoda ini biasanya digunakan dalam analisis kasus-kasus yang ada pada bidang hayati. Pengembangan metoda ini untuk pemecahan masalah *engineering* lebih banyak dikembangkan oleh para pakar elektronika. Sejak beberapa tahun lalu metoda ini juga mulai dicoba untuk diterapkan di bidang teknik sipil. Selain itu metoda *Neural Network* ini juga banyak dipakai sebagai dasar dari pembuatan sistem cerdas (*expert system*) pada bidang keteknikan pada umumnya.

Secara garis besarnya lendutan yang diukur oleh alat FWD berkorelasi langsung dengan kekuatan dan tebal masing-masing lapisan pembentuk perkerasan. Kekuatan lapisan pembentuk perkerasan dalam hal ini diwakili oleh besaran modulus elastisitas. Dari kenyataan ini dimungkinkan bahwa dengan

mengetahui besarnya lendutan dari suatu sistem perkerasan bisa digunakan juga sebagai indikasi untuk menentukan tebal lapisan perkerasan tersebut.

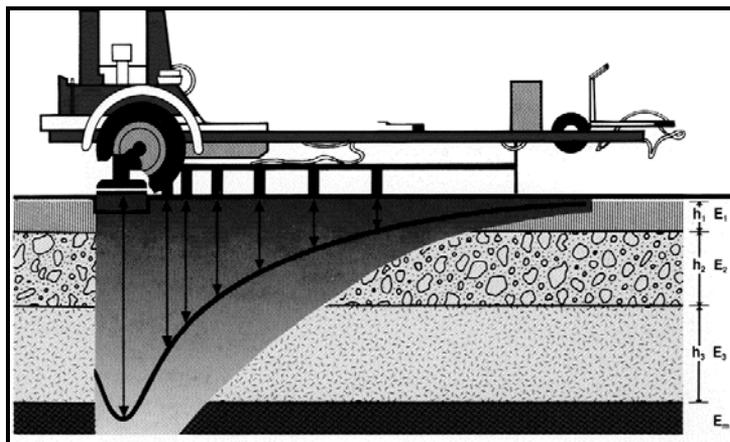
Tulisan ini menguraikan secara singkat langkah-langkah yang dilakukan untuk mem-prediksi tebal lapisan beraspal dari suatu sistem perkerasan dengan memanfaatkan data lendutan FWD yang dikombinasikan dengan metoda *Neural Network*. Hasil dari perhitungan kemudian dibandingkan dengan data lapangan yang didapat dari lubang uji (*test pit*).

ALAT FWD

Falling Weight Deflecto-meter (FWD) merupakan salah satu alat yang masih merupakan primadona saat ini yang digunakan dalam analisis kekuatan struktural perkerasan. Alat

ini terdiri atas kendaraan penarik dan alat pengujinya. Pada peralatan pengujinya dilengkapi dengan beban dan 7 buah *geophone*. Data yang dikumpulkan merupakan data lendutan dari sistem perkerasan jalan yang mengalami beban tertentu. Karena *geophone* terletak pada jarak tertentu maka nilai lendutan yang dikumpulkan oleh *geophone* tadi bisa membentuk satu kurva lendutan (*deflection bowl*). Secara skematik perlatan FWD ini diperlihatkan pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa lendutan yang terbesar terletak langsung dibagian bawah dari beban. Beban yang digunakan dalam pengujian dengan FWD umumnya dipakai sebesar 580 kPa yaitu sesuai dengan beban standar yang digunakan dalam perencanaan perkerasan.



Gambar 1. Skema alat *Falling Weight Deflecto-meter (FWD)*

Data yang dikumpulkan pada pengujian lendutan dengan alat FWD ini langsung dicatat pada komputer yang terletak pada kendaraan penarik. Data ini berupa data lendutan pada tiap geophone, data beban yang digunakan, temperatur permukaan perkerasan, temperatur udara, lokasi geophone, stasion, dan data pendukung lainnya.

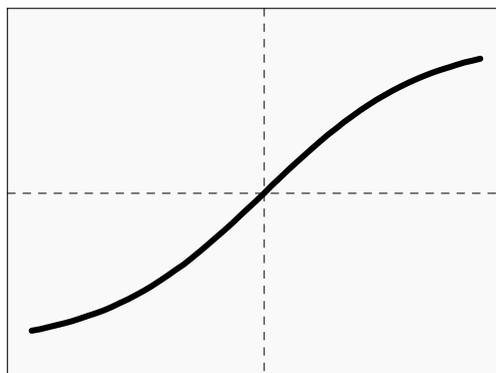
METODA NEURAL NETWORK

Jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) merupakan salah satu metoda yang banyak dikembangkan saat ini untuk dunia engineering. Metoda ini didasarkan pada fungsi kerja syaraf (*neuron*) dalam menerima sinyal dan memberikan solusi. Komputer diusahakan agar bisa meniru cara berfikir manusia dengan melakukan peniruan terhadap aktifitas-aktifitas yang terjadi didalam sebuah jaringan syaraf biologis.

Hal yang perlu mendapat perhatian istimewa adalah bahwa jaringan syaraf tiruan tidak diprogram untuk menghasilkan keluaran tertentu. Semua keluaran atau kesimpulan yang ditarik oleh jaringan didasarkan pada pengalamannya selama mengikuti proses pelatihan (*training*). Pada proses pelatihan, ke dalam jaringan syaraf tiruan dimasukkan pola-pola input dan output, lalu jaringan akan diajari untuk memberikan jawaban yang bisa diterima (Puspitaningrum, 2005).

Untuk melakukan aktivasi diperlukan suatu fungsi yang disebut fungsi aktivasi pada setiap neuron. Terdapat be-rmacam-macam fungsi aktivasi, salah satunya yang paling banyak disukai adalah fungsi Sigmoid. Fungsi ini diberikan pada Pers 1, dan secara grafis ditunjukkan pada Gambar 2.

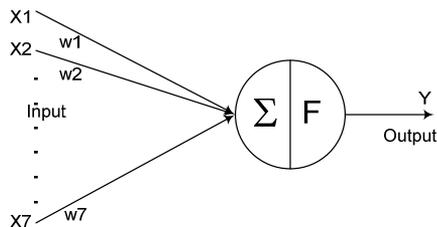
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \dots\dots\dots(1)$$



Gambar 2. Fungsi Sigmoid

Terdapat bermacam-macam metoda *Neural Network* seperti *Single Layer Perceptron* dan *Multi Layer Perceptron*. Metoda yang digunakan pada penulisan ini adalah metoda *Single Layer Perceptron* yang merupakan metoda paling sederhana pada *Neural Network*.

Metoda *Single Layer Perceptron* hanya terdiri atas satu *layer* dan merupakan *layer* untuk *output*. Secara grafis metoda *Single Layer Perceptron* ini diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Single layer Perceptron*

Dari Gambar 3 terlihat bahwa hanya ada satu neuron yang menerima 7 macam *input*. *Input* yang berupa nilai *X* ini kemudian dikalikan dengan *Weight w* dan kemudian dijumlahkan. Hasil penjumlahan ini kemudian menjadi *input* untuk fungsi aktifasi (*F*) yang kemudian menjadi *output*.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan metoda *neural network* menggunakan *Single Layer Perceptron* ini adalah sebagai berikut :

- a. Hitung penjumlahan dari hasil perkalian *input* dengan *weight* untuk semua data masukan.

Secara matematis diberikan pada persamaan berikut :

$$p = \sum_{i=1}^n x_i w_i \dots\dots\dots(2)$$

- b. Lakukan fungsi aktifasi, atau secara matematis diberikan pada persamaan berikut ini :

$$Y = f(p) \dots\dots\dots(3)$$

Apabila *output Y* yang didapat tidak sama dengan nilai yang diharapkan, maka kemudian dilakukan Penjalaran Balik (*Back Propagation*) yang kemudian digunakan untuk mengkoreksi *Weight w*. Nilai *Weight* yang baru kemudian digunakan dengan cara yang sama untuk mendapatkan lagi *output* yang baru. Hal ini dilakukan berulang-ulang sampai mendapat nilai *error* yang bisa diterima. Nilai *error* ini pada penulisan ini diberikan dalam bentuk Akar Pangkat Dua rata-rata (*Root Mean Square*) seperti diberikan pada persamaan berikut ini.

$$RMS = \frac{1}{N} \sqrt{(d - Y)^2} \dots\dots(4)$$

Dimana:

RMS = root mean square

N = jumlah data

D = output yang diharapkan

Y = output yang didapat

Penjalaran balik (*back propagation*) merupakan satu tahapan yang sangat penting didalam melakukan analisis menggunakan *Neural Network* agar mendapatkan

hasil yang mendekati kenyataan. Untuk *Single Layer Perceptron*, penjalaran balik ini mengikuti langkah-langkah berikut ini:

a. Hitung *error* pada *output*

$$\delta = Y(1 - Y)(d - Y) \dots\dots\dots(5)$$

b. Koreksi *Weight*

$$w(t+1) = w(t) + \eta\delta X \dots(6)$$

Dimana:

δ = *error* pada *output*.

Y = *output* hasil perhitungan.

d = *output* yang diharapkan.

W(t) = w pada saat t

W(t+1) = w pada saat t+1

η = koefisien koreksi X

X = *input*

BASIN PARAMETER

Didalam melakukan analisis dengan data lendutan FWD, maka diperlukan suatu transformasi data lendutan menjadi parameter kurva lendutan (*basin parameter*). Beberapa tipe *basin parameter* yang sangat berpengaruh pada analisis perkerasan menggunakan data lendutan adalah (Xu et all, 2001):

c. *AREA*

$$AREA = 6(D_0+D_1+D_2+D_3)/D_0$$

d. *Area Under Pavement Profile* (AUPP)

$$AUPP = (5D_0-2D_1-2D_2-D_3)/2$$

e. *Area Index* (AI₄)

$$AI_4 = (D_3+D_4)/2D_0$$

f. *Base Curvature Index* (BCI)

$$BCI_1 = D_2-D_3$$

$$BCI_2 = D_5-D_4$$

g. *Base Damage Index* (BDI)

$$BDI = B_1-B_2$$

h. *Deflection Ratio* (DR)

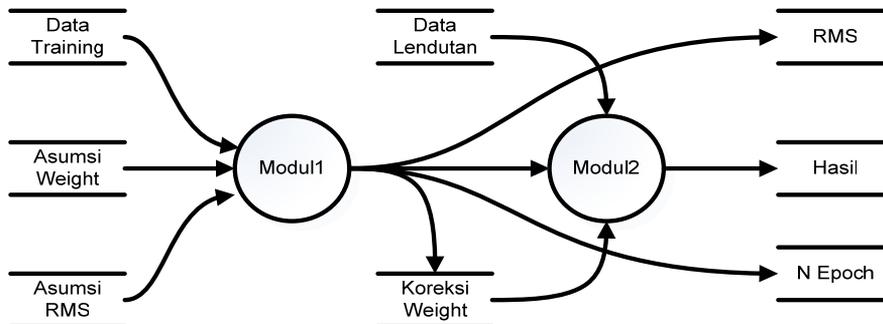
$$DR = D_1/D_0$$

Ketujuh parameter diatas merupakan *input* yang diberikan dalam perhitungan selanjutnya. Jadi lendutan yang didapat dari hasil pengukuran dengan alat FWD yang berupa lendutan (D₀, D₁, D₃,D₆) kemudian selanjutnya dikonversikan menjadi parameter-parameter diatas sebelum kemudian digunakan dalam perhitungan.

PEMBUATAN PROGRAM

Karena proses perhitungan menggunakan metoda *Neural Network* ini membutuhkan iterasi yang banyak, maka untuk praktis biasanya dibuat program komputer. Pada tulisan ini program komputer dibuat dengan menggunakan bahasa Visual Basic 6.

Program yang dibuat berorientasi objek (*Object Oriented Programming*, OOP). Pembuatan suatu program komputer yang berorientasi objek ini biasanya terdiri atas beberapa modul. Secara garis besarnya *Data Flow Diagram* (DFD) dari program yang dibuat diberikan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Data Flow Diagram

Dari Gambar 4 terlihat bahwa program yang dibuat terdiri atas 2 modul dengan masing-masing aliran data yang dibutuhkan dan dihasilkan pada setiap langkah perhitungan.

Modul 1 merupakan suatu modul untuk melakukan *training* (pelatihan). Data pada proses pelatihan ini didapat dari hasil simulasi dengan program Ken Layer. Data hasil simulasi menggunakan program Kenlayer ini berupa data lendutan pada permukaan jalan pada titik yang sama dengan titik geophone alat FWD yaitu pada jarak 0 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, dan 1500 mm dari titik pusat pembebanan. Simulasi dilakukan dengan mengambil tegangan dan luas kontak yang sama dengan alat FWD. Ketebalan dan modulus elastisitas masing-masing lapisan diambil bervariasi. Lendutan yang terjadi pada titik-titik permukaan tersebut kemudian dikonversi kedalam basin parameter seperti yang diterangkan sebelumnya. Selain data basin parameter untuk modul 1 ini juga dibutuhkan data ketebalan

lapisan beraspal untuk setiap variasi simulasi.

Selain data training untuk modul 1 juga dibutuhkan asumsi weight dan asumsi RMS. Asumsi weight berupa bilangan random sedangkan asumsi RMS digunakan untuk constraint dalam iterasi pada perhitungan penjalaran balik.

Hasil dari modul 1 ini berupa RMS terhitung, jumlah Epoch, dan koreksi weight yang kemudian digunakan pada modul 2. Epoch didefinisikan sebagai satu kali presentasi yang mencakup semua pola pelatihan (Puspitaningrum, 2005).

Modul 2 berupa modul perhitungan. Data yang dibutuhkan pada modul 2 ini berupa data lendutan dari alat FWD pada lokasi-lokasi yang diuji. Perhitungan pada modul 2 ini menggunakan data weight terkoreksi hasil dari proses modul 1 dan data *basin parameter* dari hasil pengujian dengan alat FWD. Hasil dari modul 2 ini berupa prediksi ketebalan dari lokasi yang diuji.

DATA PELATIHAN DAN UJI

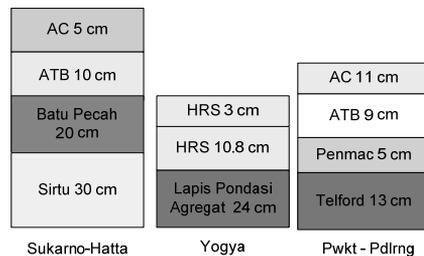
Data pelatihan digenerasi menggunakan program Ken Layer. Untuk penulisan ini sebanyak 60 variasi data dibuat yang berupa variasi tebal masing-masing lapisan, modulus elastisitas baik modulus elastisitas lapisan pembentuk perkerasan maupun tanah dasar. Data ini disimpan dalam file *input* yang berupa file excel. Penggunaan file excel bertujuan agar lebih mudah diakses dan dipahami. Seperti telah diterangkan diatas sebelum digunakan data ini dikonversi dulu menjadi data basin parameter.

Jadi secara singkat data yang digunakan untuk pelatihan adalah data basin parameter yang digenerasi menggunakan program Ken Layer dengan berbagai variasi dan juga ketebalan lapisan beraspal untuk masing-masing variasi. Data ini berjumlah 60 variasi dan ditulis dalam file excel.

Untuk data uji diambil 3 lokasi yaitu lokasi Jl. Soekarno - Hatta Bandung, Jl. Plered-Purwakarta, dan Jl. Lingkar Yogyakarta. Untuk masing-

masing lokasi diambil data lendutan menggunakan FWD.

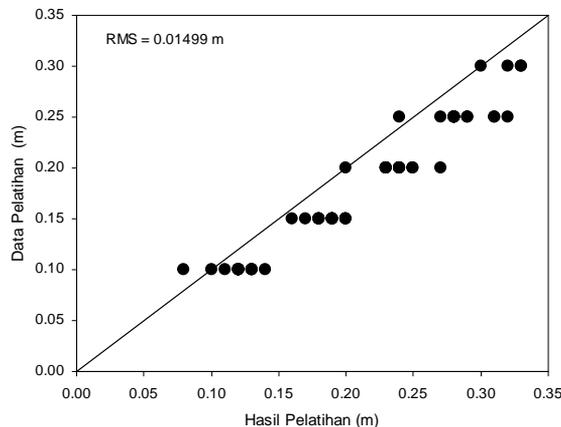
Untuk memvalidasi metoda ini diambil data yang berupa ketebalan masing-masing lapisan pada lokasi percobaan seperti yang didapat dari hasil *test pit* seperti ditunjukkan pada Gambar A.1.



Gambar A.1. Tebal Lapisan Perkerasan

HASIL PELATIHAN

Dari hasil proses pelatihan didapat nilai RMS sebesar 0.01499 m atau 1.499 cm. Secara grafis hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Data Pelatihan vs Hasil Pelatihan

Terlihat dari Gambar 5 bahwa hasil pelatihan sedikit lebih tinggi dari data pelatihan, dimana beberapa nilai hasil pelatihan berada dibawah garis kesamaan.

Pada proses pelatihan tercatat bahwa nilai RMS adalah sebesar 0.01499 m dan jumlah Epoch adalah 443,696. Ini berarti bahwa untuk menda-patkan RMS sebesar 0.01499 m telah dilakukan iterasi sebanyak 443,696 kali.

PREDIKSI TEBAL LAPISAN BERASPAL

Untuk ketiga lokasi percobaan didapat prediksi tebal lapisan beraspal seperti ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 berikut ini.

Tabel 1.
Perhitungan Jl. Sukarno – Hatta

Titik Pengujian	Tebal Hasil Perhitungan (m)	Deviasi Terhadap Test Pit (%)
1	0.12	-25
2	0.16	6
3	0.13	-15
4	0.13	-15
5	0.14	-7
6	0.16	6
7	0.16	6
8	0.14	-7
Rata-Rata Perhitungan (m)		0.14
Tebal Test Pit (m)		0.15

Tabel 2.
Perhitungan Jl. Lingkar Yogya

Titik Pengujian	Tebal Hasil Perhitungan (m)	Deviasi Terhadap Test Pit (%)
1	0.13	-6
2	0.19	27
3	0.10	-38
4	0.17	19
5	0.14	1
6	0.10	-38
7	0.13	-6
8	0.13	-6
Rata-Rata Perhitungan (m)		0.136
Tebal Test Pit (m)		0.138

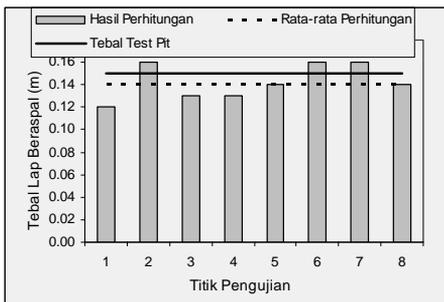
Tabel 3.
Perhitungan Jl. Padalarang – Purwakarta

Titik Pengujian	Tebal Hasil Perhitungan (m)	Deviasi Terhadap Test Pit (%)
1	0.30	17
2	0.29	14
3	0.29	14
4	0.22	-14
5	0.29	14
6	0.20	-25
7	0.28	11
8	0.28	11
Rata-Rata Perhitungan (m)		0.27
Tebal Test Pit (m)		0.25

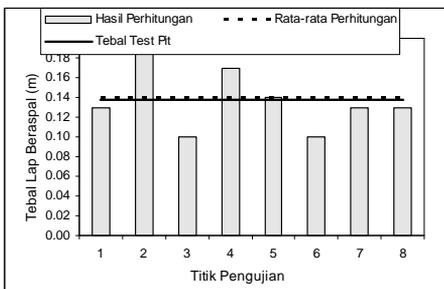
Terlihat bahwa secara kelompok rata-rata hasil perhitungan menggunakan metoda *neural network* ini memberikan hasil yang tidak begitu jauh dengan hasil yang didapat dari tebal *test pit*. Untuk lokasi Jl. Soekarno-Hatta, Jl. Lingkar Yogya dan Jl. Padalarang - Purwakarta memberikan perbedaan sebesar 6.7%, 1.4%, dan 8% berturut-turut seperti terlihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Dari tabel-tabel tersebut juga terlihat bahwa secara individual memang masih terlihat perbedaan yang bervariasi dengan tebal *test pit*.

Secara grafis hal ini juga diperlihatkan pada Gambar A.2, A.3, dan A.4 untuk lokasi Jl. Soekarno-Hatta Bandung, Jl. Lingkar Yogya, dan Jl. Purwakarta-Padalarang. Pada lokasi Jl. Soekarno-Hatta Bandung tebal hasil *test pit* sedikit diatas rata-rata hasil perhitungan. Untuk lokasi Jl. Lingkar Yogya tebal lapisan beraspal yang didapat dari hasil *test pit* nyaris sama dengan hasil rata-rata

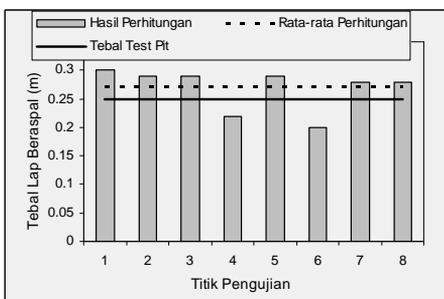
perhitungan. Sedangkan untuk Jl. Purwakarta-Padalarang tebal lapisan beraspal yang didapat dari rata-rata hasil perhitungan sedikit lebih tinggi dari tebal hasil *test pit*.



Gambar A.2 Perhitungan
Jl. Soekarno – Hatta



Gambar A.3. Perhitungan
Jl. Lingkar Yogya



Gambar A.4. Perhitungan
Jl. Purwakarta – Padalarang

Melihat hasil yang didapat tersebut, bisa dikatakan bahwa metoda *neural network single perceptron* dapat digunakan untuk memprediksi tebal perkerasan beraspal dari suatu ruas jalan memakai data FWD, terutama untuk peruntukkan data base jalan. Hal ini didasarkan dari hasil perbedaan antara tebal rata-rata perhitungan dan hasil *test pit* yang cukup kecil yaitu 6,7%, 1,4% dan 8% dari ketiga lokasi yang diuji.

Penggunaan metoda ini untuk prediksi tebal lapisan beraspal sangat menghemat biaya dan juga tidak merusak perkerasan apabila dibandingkan dengan melakukan *test pit*. Selain menghemat biaya dan tidak merusak serta bisa dilakukan bersamaan dengan pengumpulan data lendutan jalan untuk tujuan analisis struktural, juga bisa menghemat waktu dalam melakukan pengumpulan data. Secara garis besarnya pengumpulan data struktural juga bisa digunakan untuk memprediksi tebal lapisan yang nantinya juga bisa digunakan dalam analisis daya dukung perkerasan yang diterjemahkan dalam parameter *Structural Number*.

KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- a. Metoda *neural network single perceptron* dapat digunakan untuk memprediksi tebal lapisan

beraspal dengan menggunakan data lendutan FWD.

- b. Metoda ini sangat membantu serta efisien dalam menghemat pembiayaan serta waktu karena bisa mengoptimalkan penggunaan data lendutan untuk memprediksi ketebalan lapisan beraspal.
- c. Metoda ini bisa digunakan untuk updating data base.

SARAN

Beberapa saran yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- a. Perlu penyempurnaan metoda *neural network* ini untuk prediksi tebal lapisan perkerasan, terutama dengan memperbanyak data pelatihan.
- b. Perlu diteliti penggunaan basin parameter yang lain untuk perhitungan metoda *neural network* dalam memprediksi tebal lapisan beraspal.
- c. Perlu pengembangan metoda ini dengan menggunakan *multilayer perceptron*.

DAFTAR PUSTAKA

- B. Xu, S. R. Ranjithan, and Y. R. Kim, Development Of Relationships Between FWD Deflections And Asphalt Pavement Layer Condition Indicators, International Journal of Computational Intelligence Volume 3 Number 1, the TRB, Washington, D.C., 2001.
- Puspitaningrum, 2006. *Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan*, Andi Offset, Yogyakarta
- Rojas R, 1996. *Neural Networks A Systematic Introduction*, Springer, Berlin