

PERKIRAAN TEBAL LAPISAN PERKERASAN JALAN DENGAN METODA JARINGAN SYARAF TIRUAN TIPE RADIAL BASIS (THE PREDICTION OF PAVEMENT LAYER THICKNESS USING NEURAL NETWORK OF RADIAL BASIS)

Siegfried

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution 264 Bandung
E-mail: siegfried2001id@yahoo.com
Diterima : 05 Januari 2012; Disetujui : 04 April 2012

ABSTRAK

Didalam sistem manajemen pemeliharaan jalan, kebutuhan informasi mengenai tebal lapisan perkerasan merupakan salah satu hal yang sangat penting. Informasi ini digunakan terutama untuk melakukan perhitungan kekuatan struktural perkerasan yang ada. Saat ini pengumpulan data tebal perkerasan ini dilakukan dengan menggunakan metoda konvensional seperti pembuatan sumur uji (sumur uji) ataupun pengambilan contoh inti (core drill). Metoda-metoda seperti ini kurang efektif terutama apabila dilakukan pada ruas-ruas jalan yang bervolume lalu lintas tinggi yang dapat mengganggu lalu lintas. Metoda lain yang sering digunakan adalah uji tidak merusak (non destructive test) seperti Ground Penetrating radar (GPR), Spectral Analysis of Surface Wave (SASW) dan jaringan syaraf tiruan (Artificial Neural Network). Metoda jaringan syaraf tiruan mengadopsi mekanisme kerja dari jaringan syaraf biologis didalam merespons suatu aktifitas. Untuk penentuan tebal lapisan perkerasan jalan dengan memanfaatkan data FWD dan metoda jaringan syaraf tiruan ini, pembuatan data pelatihan dilakukan dengan menggunakan program KENPAVE. Pendekatan prediksi tebal perkerasan menggunakan jaringan syaraf tiruan (neural network) telah mulai dilakukan sejak beberapa tahun yang lalu. Dengan berkembangnya metoda jaringan syaraf buatan dimana salah satu metoda terbarunya adalah radial basis, makalah ini akan mencoba untuk melihat kemungkinan penggunaan metoda tipe ini untuk memprediksi tebal lapisan perkerasan dengan menggunakan data lendutan FWD. Hasil yang didapat cukup akurat dimana hasil perhitungan menggunakan metoda jaringan syaraf buatan tipe radial basis memberikan nilai yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan hasil pengujian sumur uji. Untuk perkiraan tebal lapisan aspal error yang didapat adalah sebesar 6.5% dan 10.8% untuk lokasi Jatibarang dan Jagorawi. Sedangkan untuk perkiraan tebal lapisan granular error yang didapat adalah 8.9% dan 6.3% untuk lokasi yang sama.

Kata Kunci : *jaringan syaraf buatan tipe radial basis, lendutan FWD, tebal lapisan perkerasan, uji tidak merusak, lalu lintas tinggi.*

ABSTRACT

In the pavement maintenance management system, the layer thickness information holds an important key. This information is used as an input for the structural calculation. Currently, the methods in measuring the thicknesses still uses the conventional ones such as test pit and core drilling. These methods are less effective because they may be interrupting the traffic flows especially for the roads

classified as heavy loaded traffic. The other methods usually used are the non destructive test namely Ground Penetrating Radar (GPR) , Spectral Analysis of Surface Wave (SASW), and Artificial Neural Network. Artificial Neural Network adopted the work mechanism of biological neural network in responding an activity. To determine road pavement thickness using Falling Weight Deflectometer (FWD) data and the method of Artificial Neural Network , practice data was made by using KENPAVE program. The thickness prediction using neural network has been used since a few years ago. The development of neural network method which the newest one is radial basis, this paper explains the possibility of using radial basis type for predicting the layer thicknesses of pavement system by utilizing the FWD deflection. The result is quite good as shown by the calculated thickness that is not too far from the real one as obtained through test pit . For asphalt layer prediction, the errors obtained are 6.5% and 10.8% for the location of Jatibarang and Jagorawi respectively. While for the granular layer, they are 8.9% and 6.3% for the same locations.

Keywords: *neural network of radial basis, FWD deflection, pavement layer thickness, non destructive test, heavy loaded traffic.*

PENDAHULUAN

Didalam Sistem Manajemen Pemeliharaan Jalan maupun dalam melakukan perhitungan tebal lapis tambah, informasi mengenai tebal lapisan perkerasan merupakan salah satu data utama yang dibutuhkan. Ketebalan lapisan perkerasan ini bisa diukur menggunakan metoda merusak (*destructive test*) ataupun metoda tidak merusak (*non destructive test*). Metoda merusak yang biasa dilakukan adalah dengan membuat sumur uji ataupun dengan melakukan *coring*. Sedangkan metoda tidak merusak antara lain dengan menggunakan alat *Ground Penetrating Radar* (GPR), *Spectral Analysis Surface Wave* (SASW), dan lainnya.

Pengukuran ketebalan sistem perkerasan menggunakan metoda merusak memerlukan waktu yang lama serta mengganggu lalu lintas dan juga berbahaya terutama pada jalan-jalan yang mempunyai lalu lintas padat dan berat seperti jalan-jalan yang berada di tengah kota. Disisi lain penggunaan metoda tidak merusak juga membutuhkan keahlian yang tinggi terutama dalam interpretasi data yang dikumpulkan.

Sampai saat ini peralatan yang diperlukan dalam perencanaan kekuatan struktural perkerasan jalan adalah *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Alat ini digunakan untuk

mengukur lendutan permukaan dari perkerasan jalan akibat suatu beban tertentu.

Melihat keterbatasan dari metoda-metoda yang ada untuk pengukuran ketebalan perkerasan jalan, maka saat ini dikembangkan prakiraan ketebalan perkerasan jalan dengan memanfaatkan data lendutan FWD. Metoda yang digunakan adalah metoda jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network*). Metoda ini sebelumnya lebih banyak dikenal didalam disiplin ilmu elektronika. Secara umum metoda ini telah diterima di hampir semua cabang ilmu pengetahuan untuk analisis dan evaluasi (Mujiburohman, 2011).

Metoda jaringan syaraf tiruan ini memberikan banyak keuntungan untuk digunakan sebagai alat yang praktis dalam melakukan analisis bidang keteknikan. Metoda ini dapat membuat korelasi yang sangat kompleks dari parameter-parameter suatu pemodelan, baik yang bersifat linier maupun non linier (CTRE, 2007).

Penggunaan metoda-metoda prediksi seperti metoda jaringan syaraf tiruan ini memberikan banyak manfaat terutama dalam Sistem Manajemen Pemeliharaan Jalan, dimana informasi mengenai tebal masing-masing lapisan sangat dibutuhkan untuk evaluasi dan analisis kekuatan struktural dari sistem perkerasan tersebut.

Secara garis besar metoda jaringan syaraf tiruan mengadopsi mekanisme kerja dari jaringan syaraf biologis didalam merespons suatu aktifitas (Puspitaningrum, 2006). Respons dari sistem terhadap suatu aksi adalah didasarkan dari pengalaman jaringan syaraf (*neuron*) dalam mengantisipasi aksi tersebut pada masa lalu.

Untuk penentuan tebal lapisan perkerasan jalan dengan memanfaatkan data FWD dan metoda jaringan syaraf tiruan, pembuatan data pelatihan dilakukan dengan menggunakan program KENPAVE. Untuk melakukan perhitungan umpan maju (*feed forward*) digunakan metoda jaringan syaraf tiruan dengan tipe radial basis yang merupakan salah satu varian dari metoda jaringan syaraf tiruan. Pada perhitungan umpan maju ini semua data lendutan FWD dikonversi terlebih dahulu menjadi parameter cekung lendutan.

Validasi dari metoda ini dilakukan pada 2 lokasi jalan didaerah Jawa Barat dan Jakarta. Validasi berupa perbandingan dari hasil perhitungan menggunakan metoda jaringan syaraf tiruan pada kedua lokasi ini dengan hasil dari pengukuran *sumur uji*.

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat kemungkinan penggunaan metoda jaringan syaraf tiruan tipe radial basis dalam memperkirakan ketebalan lapisan perkerasan jalan lentur.

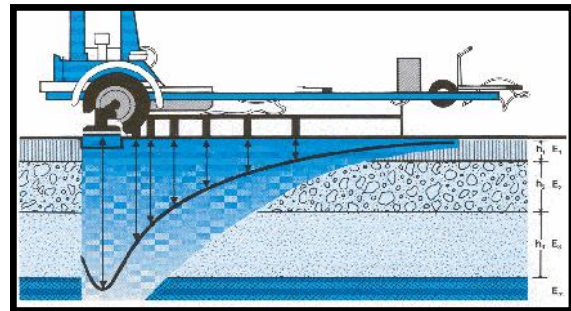
KAJIAN PUSTAKA

Falling Weight Deflectometer (FWD)

Falling Weight Deflectometer (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 peralatan FWD ini diperlihatkan pada Gambar 1 berikut ini.

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 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, posisi dan data pendukung lainnya.

Program KENPAVE

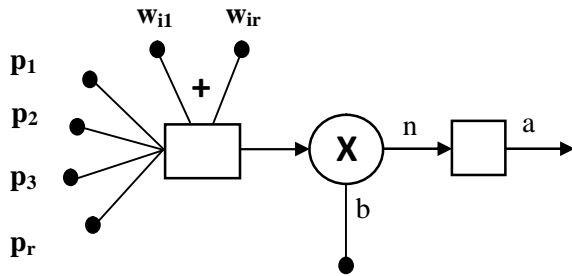
KENPAVE merupakan merupakan versi kedua dari program *Pavement Analysis and Design* (Huang, 2005). Program ini merupakan gabungan dari program Ken Layer yang merupakan program untuk analisis perkerasan lentur dan Ken Slab yang digunakan untuk perkerasan kaku. Versi pertama dari program ini masih berbentuk DOS dan diterbitkan pada tahun 1993.

Program KENPAVE ini cukup interaktif dan *user friendly*. Program ini bisa digunakan untuk mendesain sistem perkerasan lentur maupun kaku yang didasarkan pada teori mekanistik empiris. Selain itu program ini juga bisa menghitung regangan, tegangan, serta lendutan permukaan perkerasan akibat beban tertentu.

Metoda Jaringan Syaraf Tiruan Tipe Radial Basis

Terdapat beberapa tipe perhitungan pada metoda jaringan syaraf tiruan antara lain *single layer net*, *multi layer net*, *competitive layer net*, *Hopfield*, dll (Munakata, 2008).

Secara garis besarnya metoda jaringan syaraf tiruan tipe radial basis ini terdiri atas 2 lapisan seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Skematik Radial Basis

Secara skematik suatu metoda jaringan syaraf tiruan dengan tipe radial basis terdiri atas lapisan input yang mempunyai parameter p_1, p_2, p_3 , sampai dengan p_r seperti terlihat pada Gambar 2 diatas. Lapisan proses dengan faktor bobot yang dinotasikan sebagai w_{1i} sampai dengan w_{1r} yang melakukan proses penjumlahan untuk setiap parameter input. Hasil dari pemrosesan kemudian ditambahkan dengan faktor tak tentu (*bias*) yang didefinisikan dengan b dan kemudian menghasilkan n . Hasil n ini kemudian dilakukan proses transfer untuk kemudian mendapatkan nilai a . Nilai a inilah yang dibandingkan dengan nilai pelatihan. Apabila error yang terjadi masih cukup besar, maka proses diulang kembali dari awal.

Fungsi transfer untuk radial basis biasanya agak unik seperti diberikan pada persamaan berikut ini (The Mathwork, 2012)

$$\text{radbas}(n) = e^{-n^2} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- radbas : Fungsi transfer
- n : Hasil perhitungan
- e : Bilangan *natural*

Parameter Cekung Lendutan

Pada analisis menggunakan data lendutan, biasanya nilai lendutan ditransformasikan terlebih dahulu menjadi parameter cekung lendutan (*basin parameter*). Tipe-tipe parameter cekung lendutan yang berpengaruh pada analisis perkerasan adalah sebagai berikut (Xu et al, 2001):

- a. *Area*

$$\text{AREA} = 6(D_0+D_1+D_2+D_3)/D_0 \dots\dots\dots (2)$$
- b. *Area Under Pavement Profile* (AUPP)

$$\text{AUPP} = (5D_0-2D_1-2D_2-D_3)/2 \dots\dots\dots (3)$$
- c. *Area Index* (AI₄)

$$\text{AI}_4 = (D_3+D_4)/2D_0 \dots\dots\dots (4)$$
- d. *Base Curvature Index* (BCI)

$$\text{BCI}_1 = D_2-D_3 \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{BCI}_2 = D_5-D_4 \dots\dots\dots (6)$$
- e. *Base Damage Index* (BDI)

$$\text{BDI} = B_1-B_2 \dots\dots\dots (7)$$
- f. *Deflection Ratio* (DR)

$$\text{DR} = D_1/D_0 \dots\dots\dots (8)$$

Dengan keterangan $D_0, D_1, D_2, \dots D_6$ adalah nilai lendutan dari alat FWD pada posisi *geophone* sejarak 0, 200, 300, 450, 600, 750, dan 1500 mm dari pusat pembebanan.

Pemodelan

Pemodelan dilakukan menggunakan program Matlab. Pemilihan program jenis ini karena memang disediakan untuk perhitungan-perhitungan yang bersifat matematis lanjutan. Selain itu program Matlab ini juga menyediakan *tool box* khusus untuk membantu pemodelan yang didasarkan pada jaringan syaraf tiruan yang disebut *Neural Network Tool Box* (Demuth et al, 2002).

HIPOTESIS

Metoda jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan data lendutan FWD cukup akurat untuk memperkirakan ketebalan lapisan pembentuk perkerasan lentur jalan.

METODOLOGI

Langkah-langkah yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pengambilan data lendutan FWD pada beberapa ruas jalan di daerah Jawa Barat.
- Pada setiap ruas jalan diambil juga data ketebalan lapisan perkerasan yang terdiri atas lapisan beraspal dan lapisan granular dengan sumur uji (*test pit*).
- Data lendutan FWD kemudian dikonversi menjadi parameter cekung lendutan dengan menggunakan Persamaan 2 sampai 8.
- Menggunakan program KENPAVE dihitung lendutan permukaan pada jarak 0, 200, 300, 450, 600, 750, dan 1500 mm dari pusat pembebanan untuk beberapa variasi ketebalan lapisan perkerasan dan juga variasi modulus lapisan perkerasan dan tanah dasar. Data lendutan ini kemudian dikonversi menjadi parameter cekung lendutan menggunakan Persamaan 4 sampai 10. Data ini kemudian disebut sebagai data pelatihan.
- Kemudian dibuat model jaringan syaraf tiruan tipe radial basis. Pada model ini juga dipilih nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 1,5%. Perlu dicatat bahwa data yang dipakai pada pemodelan terlebih dahulu dinormalisasi agar memberikan hasil yang dapat mendekati data yang riil nantinya.
- Langkah selanjutnya dilakukan proses pelatihan. Proses ini bersifat iteratif dan merupakan gabungan dari langkah-langkah dari butir d dan e. Proses akan berakhir apabila RMSE lebih kecil atau sama dengan 1,5%.
- Selanjutnya dilakukan proses umpan maju dengan menggunakan data hasil pengukuran FWD pada lokasi yang diuji untuk mendapatkan hasil tebal lapisan perkerasan.

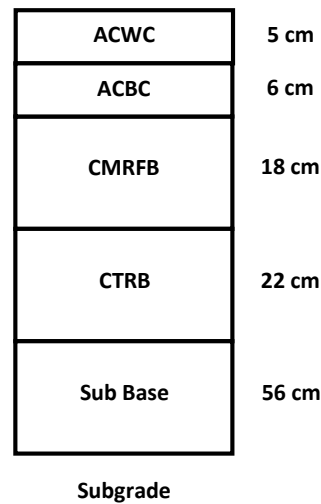
HASIL DAN ANALISIS

Pengukuran Lendutan FWD dan Sumur Uji

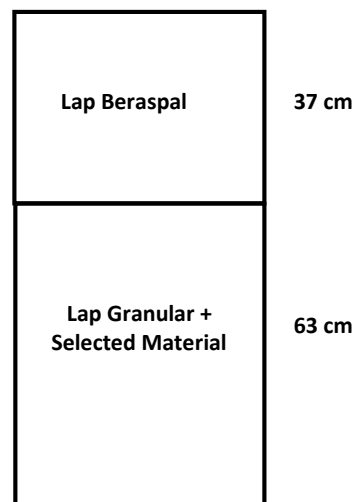
Pengukuran lendutan FWD dan sumur uji dilakukan pada ruas jalan di Jatibarang serta

pada ruas jalan tol Jagorawi. Pengukuran lendutan dilakukan dengan jarak *geophone* 0, 200, 300, 450, 600, 750 dan 1500 mm. Pengukuran lendutan untuk lokasi Jatibarang dilakukan untuk setiap 25 m. Untuk daerah Jatibarang diambil satu lokasi sumur uji .

Untuk lokasi jalan tol Jagorawi juga dilakukan hal yang sama, kecuali untuk pengambilan data lendutan dilakukan setiap interval panjang 100 m. Hasil pengukuran sumur uji untuk lokasi Jatibarang dan Jagorawi diberikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Hasil sumur uji lokasi Jatibarang (Suaryana N, 2008)



Gambar 4. Hasil sumur uji Lokasi Jagorawi (Pusjatan, 2009)

Pembuatan data pelatihan dilakukan menggunakan program KENPAVE. Konfigurasi perkerasan terdiri atas perkerasan 3 lapis (*three layer system*) yaitu lapisan beraspal, lapisan granular dan tanah dasar. Karakteristik modulus dan tebal masing-masing lapisan diambil bervariasi seperti diberikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Variasi Modulus dan Tebal Untuk Data Pelatihan

Lapisan	Modulus (MPa)	Tebal (cm)	Poisson Ratio
Lap. Beraspal	1500, 2000, 2500, 3000, 3500	10, 15, 20, 25, 30, 40, 50	0,4
Lap. Granular	100, 150, 200	20, 30, 40, 50, 60, 70, 90	0,3
Tanah Dasar	50, 70, 90	-	0,3

Modulus dari lapisan beraspal diambil dalam rentang 1500 MPa sampai 3500 MPa. Sedangkan untuk lapisan granular diambil 100 MPa sampai 200 MPa dan tanah dasar 50 MPa, 70 MPa dan 90 MPa. Tebal lapisan beraspal antara 10 cm sampai 50 cm sedangkan lapisan granular antara 20 cm sampai 90 cm. Diharapkan dengan pengambilan rentang seperti Tabel 1 ini akan memberikan hasil yang cukup baik dalam proses pelatihan nantinya. Untuk *Poisson's Ratio* diambil nilai 0,4 untuk lapisan beraspal dan 0,3 untuk lapisan granular serta tanah dasar yang dianggap cukup mewakili.

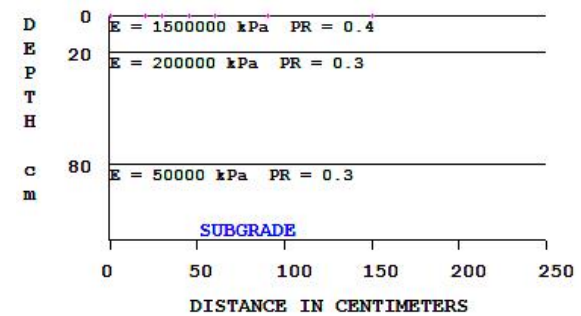
Dari variasi yang diberikan pada Tabel 1, kemudian didapat 199 konfigurasi data pelatihan. Pemodelan sistem perkerasan 3 lapis menggunakan program KENPAVE secara grafis diberikan pada Gambar 5.

Reliabilitas Model

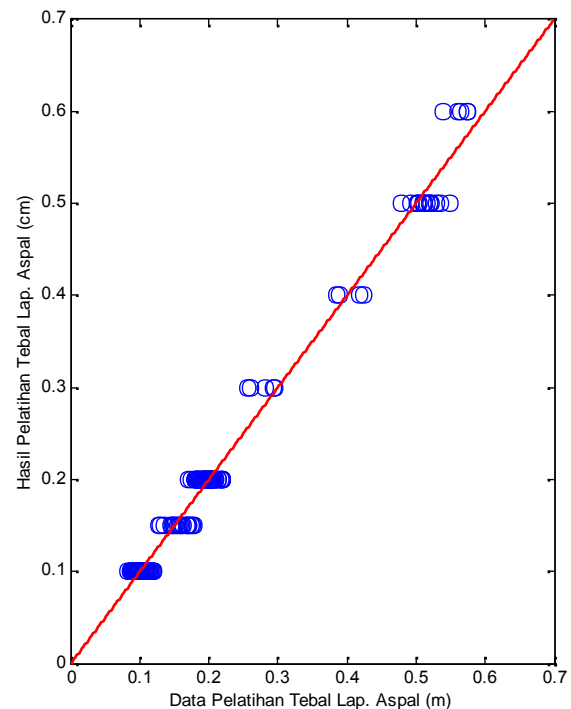
Untuk mengetahui reliabilitas dari model jaringan syaraf tiruan tipe radial basis yang dibuat, maka pertama-tama model yang dibuat digunakan untuk menghitung data pelatihan yang ada. Hasil pelatihan ini kemudian diplotkan terhadap data pelatihan seperti

diberikan pada Gambar 6 untuk data tebal lapisan aspal.

Terlihat dari Gambar 6 bahwa hasil plotting jatuh disekitar garis kesamaan. Hal ini menandakan bahwa model jaringan syaraf tiruan tipe radial basis kemungkinan dapat memberikan hasil prediksi ketebalan lapisan perkerasan yang cukup akurat.



Gambar 5. Pemodelan Perkerasan 3 Lapis



Gambar 6. Hasil Pelatihan vs Data Pelatihan Untuk Lapisan Beraspal

Perkiraan Tebal Lapisan Beraspal dan Granular

Hasil perkiraan tebal lapisan perkerasan yaitu tebal lapisan beraspal dan tebal lapisan granular pada 2 lokasi yang dianalisis diberikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Perkiraan Tebal Lapisan Perkerasan (cm) Lokasi Jatibarang

Lapisan	Perkiraan	Sumur Uji	Error(%)
hAspal	31	29	6.5
hGran	71	78	8.9

Tabel 3. Hasil Perkiraan Tebal Lapisan Perkerasan (cm) Lokasi Jagorawi

Lapisan	Perkiraan	Sumur Uji	Error(%)
hAspal	41	37	10,8
hGran	59	63	6.3

Terlihat dari Tabel 2 dan Tabel 3 bahwa perbedaan nilai ketebalan lapisan beraspal (hAspal) dan lapisan granular (hGran) untuk kedua lokasi tidak begitu signifikan seperti terlihat dari nilai error yang diberikan, yaitu paling besar 10.8% untuk lokasi Jagorawi. Satu hal yang perlu dicatat adalah bahwa untuk lokasi Jatibarang, lapisan CTRB diasumsikan sebagai lapisan granular oleh model yang digunakan. Hal ini disebabkan data pelatihan yang digunakan didasarkan atas teori “3 layer system” yang terdiri atas lapisan beraspal, lapisan granular dan tanah dasar.

PEMBAHASAN

Kebutuhan informasi akan ketebalan masing-masing lapisan pembentuk sistem perkerasan sangat tinggi terutama dalam Sistem Manajemen Pemeliharaan Jalan. Data ketebalan masing-masing lapisan ini digunakan sebagai parameter masukan dalam perhitungan kekuatan struktural suatu ruas jalan, yang pada akhirnya menentukan tebal lapis tambah yang dibutuhkan untuk mengakomodasi lalu lintas rencana.

Pengumpulan data ketebalan sistem perkerasan ini, terutama untuk jalan-jalan yang

berlalu lintas tinggi apabila menggunakan metoda konvensional cenderung sangat riskan karena selain mengganggu lalu lintas juga membutuhkan sumber daya alat dan manusia yang cukup banyak. Penggunaan metoda-metoda prediksi yang didasarkan pada perhitungan matematis terasa sangat membantu. Metoda-metoda ini mulai banyak digunakan dalam evaluasi sistem perkerasan di luar negeri (CTRE, 2007). Pada umumnya, data yang digunakan adalah data lendutan FWD yang juga dibutuhkan sebagai data untuk perhitungan kekuatan struktural dari suatu sistem perkerasan jalan.

Dari hasil-hasil yang didapat seperti terlihat pada Tabel 2 dan Tabel 3, ternyata penggunaan metoda jaringan syaraf tiruan tipe radial basis memberikan hasil yang cukup menjanjikan, dimana error yang diberikan maksimum sebesar 10.8%. Beberapa penyebab terjadinya error ini antara lain diperkirakan telah tercampurnya tanah dasar dengan *selected material* sehingga agak kesulitan dalam mengidentifikasi masing-masing lapisan. Selain itu agar suatu model jaringan syaraf tiruan memberikan hasil prediksi yang lebih akurat, maka dibutuhkan data pelatihan yang cukup banyak.

Penggunaan tipe radial basis dalam analisis jaringan syaraf tiruan untuk prediksi ketebalan lapisan perkerasan memberikan kepercayaan yang cukup tinggi kepada pengguna. Hal ini terlihat dari hasil plotting data pelatihan dan hasil pelatihan yang nyaris terletak pada garis kesamaan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Hal yang perlu diperhatikan adalah data pelatihan yang digunakan sebagai input dalam pemodelan. Untuk ruas-ruas jalan yang mempunyai 4 tipe lapisan seperti ruas Jatibarang, maka data pelatihan yang digunakan juga data pelatihan yang dikembangkan dari sistem 4 lapisan juga. Kalau hal ini tidak dipenuhi, maka kemungkinan lapisan CTRB (dalam kasus ruas Jatibarang) digabungkan dengan lapisan granular.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan metoda jaringan syaraf tiruan bisa dipakai sebagai salah satu perangkat untuk memprediksi tebal lapisan perkerasan dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Tipe radial basis sebagai varian baru dari metoda jaringan syaraf tiruan memberikan hasil yang bisa diterima seperti terlihat dari nilai *error* yang diberikan.
2. Untuk perkiraan tebal lapisan beraspal error yang didapat adalah sebesar 6.% dan 10.8% untuk ruas Jatibarang dan Jagorawi. Sedangkan untuk perkiraan tebal lapisan granular error yang didapat adalah 8.9% dan 6.3% untuk lokasi yang sama.
3. Data lendutan dari alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) bisa digunakan juga untuk memperkirakan ketebalan lapisan perkerasan lentur, setelah digabungkan dengan program Kenlayer.

SARAN

Beberapa saran yang bisa diberikan terkait dengan penggunaan metoda jaringan syaraf tiruan ini adalah sebagai berikut:

1. Agar mendapatkan hasil yang lebih akurat, maka data pelatihan perlu dibuat lebih banyak. Selain itu pemilihan parameter kurva lendutan serta banyaknya data pelatihan sangat menentukan untuk mendapatkan akurasi yang cukup, dalam proses pemodelan menggunakan metoda jaringan syaraf tiruan ini.
2. Penggunaan model agar disesuaikan dengan kondisi lapangan yang ada, misalnya untuk ruas jalan yang menggunakan CTRB, CRMFB diatas lapisan granular sebaiknya digunakan model dengan 4 lapisan (*four layer system*).
3. Metoda jaringan syaraf tiruan ini sebaiknya juga dicoba untuk memprediksi modulus elastisitas tiap lapisan pembentuk perkerasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Centre for Transportation Research and Education. 2007. *Non Destructive Evaluation of Iowa Pavements; Phase I*. Iowa: Iowa State University.
- Demuth, H. and Beale, M. 2002. *Neural Network Toolbox For Use with MATLAB, User Guide's Version 4*. USA: Mathworks Inc.
- Huang, Y.H. 2005. *Pavement Analysis and Design*. Maryland: Prentice Hall.
- Mujiburohman, M. 2011. "The Use of Artificial Neural Networks For Determining The Relative Importance of affecting variables on outputs of Developed Technologies", In *International Seminar of Industry in The Global World*. Solo: University of Muhammadiyah.
- Munakata, T. 2008. *Fundamentals of the New Artificial Intelligence: Neural, Evolutionary, Fuzzy and More*. 2nd edition. Cleveland: Springer.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. 2009. *Laporan Evaluasi Jalan Tol Jagorawi*. Bandung: Pusjatan.
- Puspitaningrum. 2006. *Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Suaryana, Nyoman. 2008. *Laporan Uji Coba Skala Penuh Recycling Menggunakan Foam Bitumen*. Bandung: Pusjatan.
- The Mathwork. 2012. *The Matlab Primer R2012a*. Florida: The Mathwork Inc.
- Xu, B.S., R. Ranjithan, Y.R. Kim. 2001. "Development of Relationships Between FWD Deflections and Asphalt Pavement Layer Condition Indicators". In *Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, DC.: TRB.