

Prediksi Laju Korosi pada Instalasi Pipa Logam Aliran Fluida Cair Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan(JST)

Bangkit Dwijo Saputro, Zulkifli, dan Detak Yan Pratama

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: detak@ep.its.ac.id

Abstrak—Telah dilakukan penelitian tugas akhir dengan judul **Prediksi Laju Korosi pada Instalasi Pipa Logam Aliran Fluida Cair Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan**. Hal yang biasa dilakukan untuk permasalahan korosi adalah pengurangan laju korosi dengan penambahan inhibitor, pelapisan, penggantian bahan logam dilakukan untuk mengurangi besar nilai laju korosi. Prediksi nilai laju korosi menggunakan jaringan saraf tiruan dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya korosi. Metode prediksi ini menggunakan arsitektur jaringan backpropagation. Arsitektur ini dapat melatih jaringan dengan cepat karena dapat secara otomatis memperbaiki bobot untuk mendapatkan tingkat kesalahan yang kecil. Tingkat kesalahan ditinjau dari nilai mean square error (mse). MSE menunjukkan performa dari jaringan. Dengan menggunakan 3 layer pada arsitektur jaringan, didapat 9 node pada hidden layer dengan bobot tertentu mampu memberikan nilai performa terbaik dalam pembuatan jaringan. Performa yang didapat dalam jaringan ini mencapai 3,6616e-04. Didapat hasil prediksi hubungan antara laju korosi dengan perubahan suhu, laju aliran dan pH sesuai dengan teori sumber data. Laju korosi akan turun saat pH netral dan saat suhu pada titik tertentu akibat adanya presipitat, sedang laju korosi akan naik seiring naiknya laju aliran.

Kata kunci—Laju korosi, prediksi, jaringan saraf tiruan, backpropagation.

I. PENDAHULUAN

PROSES korosi dapat terjadi dimana saja dan tidak dapat dihentikan karena memang merupakan proses dimana lingkungan bereaksi dengan logam yang degradasi pada logam. Berbagai macam faktor dapat menyebabkan terjadinya korosi, mulai dari suhu, pH, laju aliran maupun lingkungan menjadi penyebab utama hal ini terjadi [1]. Gas-gas korosif pada lingkungan yang kerap kali menjadi hal utama yang diperbincangkan. Hal ini terjadi pada industri-industri pengolah minyak maupun gas. Gas CO₂ seringkali terkandung pada minyak dan gas. Pada dasarnya CO₂ tidak membahayakan, akan tetapi apabila gas tersebut bereaksi dengan liquid lain akan terjadi reaksi yang menyebabkan korosi. Pada fase cair, CO₂ membentuk asam karbonat yang merupakan penyebab korosi yang kuat pada baja. Pada dunia industri korosi yang disebabkan oleh CO₂ disebut sweet corrosion. Penyerangan korosi ini terjadi dibagian internal pipa. Korosi CO₂ atau sweet corrosion memiliki proses korosi yang cukup rumit, karena disebabkan oleh banyak parameter yang berbeda-beda, seperti suhu, tekanan parsial dan pH [2]. Pencegahan terhadap korosi telah banyak dilakukan untuk mengurangi laju korosi. Hal yang bisa dilakukan untuk

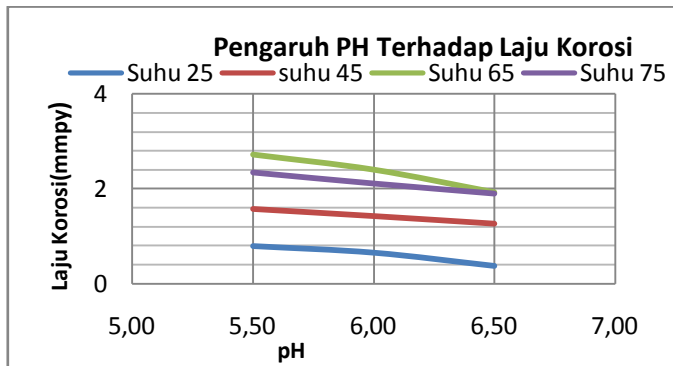
permasalahan korosi hanyalah pengurangan laju korosinya karena dari asalnya korosi memang tidak dapat dihilangkan hanya dapat dikurangi nilai laju korosinya dan dilakukan pencegahan berupa penghitungan prediksi laju korosinya. Penambahan inhibitor, pelapisan, penggantian bahan logam dilakukan untuk mengurangi besar nilai laju korosi. Tapi terkadang hal tersebut dapat memperbesar pembiayaan pengadaan. Untuk itu hal lain yang dapat dilakukan adalah proses penghitungan laju korosi menggunakan prediksi agar dapat diketahui nilai laju korosi dengan parameter yang berbeda-beda.

Penelitian dalam tugas akhir ini melakukan prediksi laju korosi dengan parameter yang telah ditentukan yaitu suhu, jenis logam, lingkungan, laju aliran dan pH. Penghitungan prediksi dilakukan dengan simulasi pada Matlab dengan metode back propagation jaringan saraf tiruan. Metode ini ditemukan oleh [3] dan [4]. Model back propagation merupakan model yang baik untuk pelatihan dengan jumlah input pada simulasi ini tergolong kompleks [5]. Dengan adanya prediksi ini, penghitungan laju korosi dapat diketahui sebelumnya untuk pencegahan korosi sebelum melakukan pembangunan plant yang sebenarnya. Usaha untuk mengurangi tingkat laju korosi akan terus dilakukan, diharapkan penelitian ini mampu menjadi salah satu acuan untuk pengembangan lebih lanjut tentang permasalahan yang kompleks mengenai korosi ini.

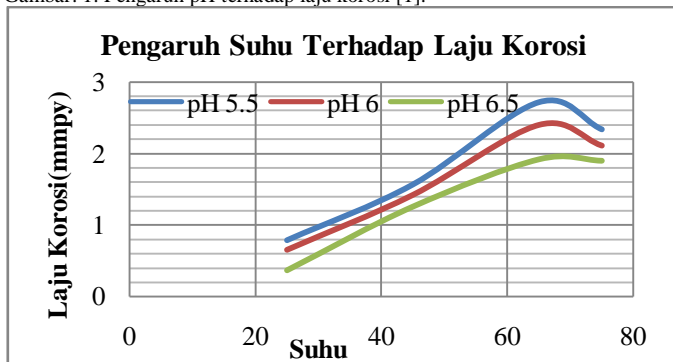
II. METODE PENELITIAN

Tahap penelitian tersebut dimulai dari proses persiapan alat yaitu *Software Matlab R2009a* sebagai alat untuk membuat sistem prediksi. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data sekunder yang diambil dari jurnal-jurnal dengan keadaan tertentu. Jurnal tersebut diasumsikan sama dalam segala keadaan hanya dibedakan dari sisi komposisi logam, pH, suhu, dan laju aliran. Untuk itu analisa dan validasi dilakukan dengan mencakup parameter tersebut. Sedang tinjauan dari parameter yang lain diabaikan. Setelah data didapatkan, dilakukan pembuatan bahasa pemrograman untuk membentuk sistem prediksi dengan parameter yang telah ditentukan. Hasil simulasi dibandingkan dengan data yang dari jurnal yang telah ada. Sehingga dapat ditentukan kebenaran dari program. Sistem prediksi ini dibuat untuk memprediksikan nilai laju korosi pada batas-batas yang telah ditentukan pada parameter..

A. Pengumpulan Data



Gambar. 1. Pengaruh pH terhadap laju korosi [1].



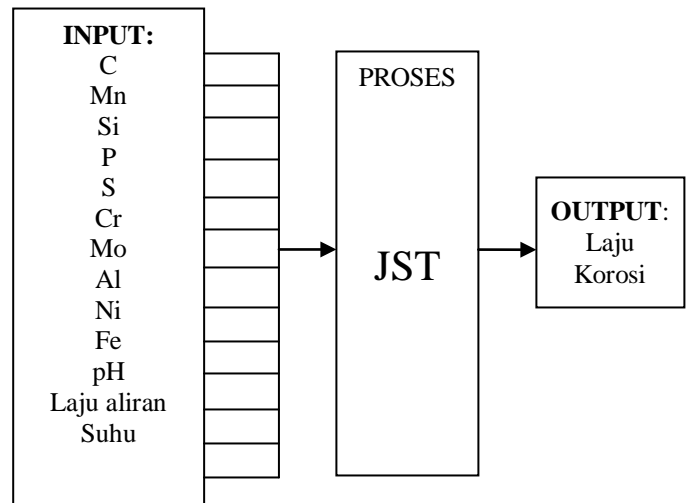
Gambar . 2. Pengaruh suhu terhadap laju korosi [1].

Tabel 1. Komposisi Logam Baja BS 970

Nama Unsur	Komposisi(%)
C	0.15
Mn	1.1
Si	0.175
P	0.01
S	0.032
Cr	0.069
Mo	0.014
Al	0
Ni	0.065
Fe	98.385

Data-data yang digunakan merupakan data sekunder yang diambil dari jurnal terkait. Data yang digunakan berupa komposisi logam, nilai pH, laju aliran, suhu dan laju korosi. Berikut contoh data yang nantinya akan diolah dengan software Matlab 7.8(R2009a) menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan *back propagation*. Pada gambar 1 dan 2 didapatkan data pengaruh suhu terhadap laju korosi dan pengaruh pH terhadap laju korosi. Pengambilan data dilakukan dengan pembacaan grafik diatas. Dari pembacaan grafik akan didapatkan data tabel yang bisa digunakan sebagai input untuk pelatihan jaringan.

Tabel 1 adalah komposisi logam baja BS 970 yang digunakan dalam penelitian sebelumnya dengan hasil yang didapat pada gambar 1 dan 2 . Laju korosi yang didapat terkondisi pada keadaan logam tersebut.



Gambar. 6. Diagram blok simulasi prediksi laju korosi.

Maka akan di dapat data pH, suhu, laju korosi dan komposisi logam yang menyesuaikan keadaan sumber data. Sedang laju aliran tidak ditemukan pada sumber data, sehingga diasumsikan data pada laju aliran fluida statis. Gambar 3.2 dan 3.3 mengacu pada penelitian yang dilakukan Yuningtyas pada tahun 2010.

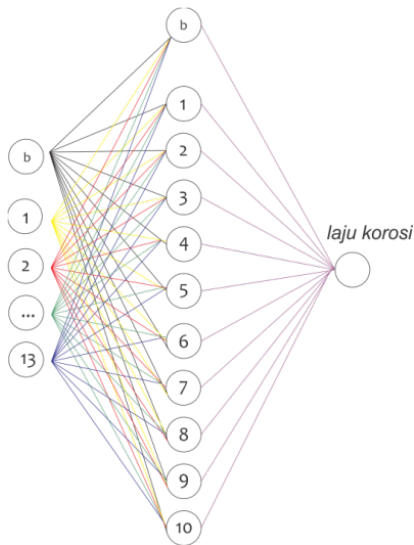
B. Pembentukan Database

Dari seluruh sumber data yang didapatkan berupa grafik, didapatkan data sejumlah 2456, data tersebut akan dibagi untuk dimasukan ke jaringan sebanyak 2091 data dan untuk *testing* sebanyak 365 data. Data yang tidak dimasukan di jaringan digunakan dalam pengujian jaringan untuk dibandingkan dengan hasil simulasi. Agar mengetahui penyebaran data *input*, maka dilakukan penghitungan standart deviasi. Berikut penyebaran data dari keseluruhan data *input*.

Pada jaringan saraf tiruan *backpropagation* telah tersedia fasilitas untuk memvalidasi dan tes dari hasil jaringan. Hal itu dilakukan agar mengetahui error yang terjadi pada jaringan. Pada hal ini dilakukan metode validasi dengan *divideran*, yaitu diambil 90% data sebagai pelatihan dan 10% sebagai validasi. Pelatihan dan validasi tersebut diambil dari 85% data yang dimasukan pada jaringan. Dengan kata lain dari semua data sejumlah 2456 data, pelatihan menggunakan 75% data keseluruhan yaitu sejumlah 1880 data, validasi menggunakan 10% dari keseluruhan data yaitu sejumlah 211 data dan *testing* diambil sebesar 15% dari keseluruhan data yaitu sejumlah 365 data.

C. Pembentukan Jaringan Saraf Tiruan

Setelah data *input* dan *output* didapatkan, pembentukan jaringan bisa dilakukan dengan metode *backpropagation*. Pembentukan jaringan dilakukan dengan membentuk 3 layer yaitu 1 layer *input*, 1 *hidden layer* dan 1 layer *output*. Dari seluruh data akan dibagi menjadi 2 bagian yaitu kelompok data yang dimasukan dalam jaringan berjumlah 85% atau sebanyak 2091 data dan kelompok data *testing* yang tidak dimasukan dalam jaringan berjumlah 15% dari data total atau sekitar 365 data. Pada gambar 6, *input* data sejumlah 13 dengan parameter komposisi, pH, laju aliran dan suhu. Parameter tersebut menjadi masukan pada Jaringan Saraf Tiruan untuk selanjutnya dilakukan pengolahan data oleh jaringan. Setelah itu keluaran akan berupa nilai laju korosi.



Gambar. 7. Struktur jaringan.

Tabel 2.
Nilai MSE Rata-rata Tiap Node

Node	Rata-Rata	
	Mse Train	Mse Validasi
1	0.091761624	0.311757492
2	0.040078591	0.107322497
3	2.221485184	4.222103841
4	0.026853965	0.112481413
5	0.004232677	0.002503517
6	0.003145617	0.002694715
7	0.001389193	0.000688908
8	0.004359168	0.005236976
9	0.000823212	0.002317683
10	0.001404298	0.001214592

Gambar 7 merupakan jaringan yang akan digunakan dalam jaringan saraf tiruan yaitu dengan menggunakan 13 *input* dan *hidden layer* antara 1 sampai 10 node. Struktur jaringan yang akan dirancang untuk sistem ini ditunjukkan oleh Gambar 3. 8. Sedangkan algoritma pelatihan yang dicoba adalah tranilm (*Lavenberg Marquardt*) dengan fungsi aktivasi tansig (*tangent sigmoid*) pada *input* ke *hidden layer* dan logsig pada *hidden layer* ke *output*

D. Penentuan Node dan Bobot Hidden Layer

Untuk menentukan node pada jaringan dilakukan pengambilan data kesalahan jaringan (*mean square error*) dengan mengubah jumlah node. Pada penelitian ini dilakukan perubahan jumlah 1 node sampai 10 node. Saat melakukan simulasi pada tiap node akan didapatkan nilai bobot yang berbeda tiap kalinya. Pada tiap node dilakukan pengambilan data 3 kali. Setelah melakukan simulasi untuk semua node maka diambil nilai rata-rata kesalahan untuk dibandingkan mulai 1 node sampai 10 node. Node dengan nilai rata-rata paling kecil akan digunakan dalam *hidden layer* jaringan. Setelah itu dilakukan simulasi kembali dengan menggunakan

node terbaik, dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali untuk mendapat nilai kesalahan paling kecil. Tiap pengulangan simulasi akan mendapatkan nilai kesalahan dan nilai bobot yang berbeda. Nilai kesalahan paling kecil akan memiliki bobot terbaik. Bobot tersebut yang nantinya digunakan dalam jaringan.

E. Pengujian Hasil Simulasi

Pengujian hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan secara grafik hasil simulasi dengan data sekunder. Apabila kedua grafik tersebut memiliki hasil yang serupa maka sistem prediksi dapat dikatakan baik. Dari 15% data *testing* yang tidak dimasukkan dalam jaringan. Jaringan saraf tiruan mempelajari data yang diberikan dari awal, maka apabila diberi data baru yang tidak dilatih pada jaringan dan jaringan dapat memberikan hasil yang baik dalam artian sesuai dengan data sebenarnya maka jaringan sudah dapat dikatakan baik. Nilai yang dibandingkan adalah hasil simulasi 15% data *testing* dengan nilai sebenarnya pada data *testing* yang telah didapat dari sumber data. Pengujian dilakukan dengan parameter pengaruh suhu, pengaruh pH, pengaruh laju aliran dan pengaruh komposisi terhadap laju korosi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Arsitektur Jaringan Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan Software Matlab R2009a

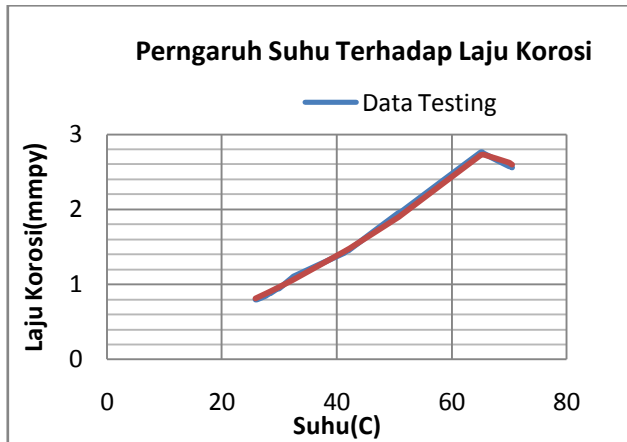
Untuk mendapatkan jaringan dengan performa yang baik diperlukan pola hubungan antar *neuron* atau *node* dan bobot tertentu. Pada setiap jaringan jumlah layer dan node pada *hidden layer* tidak sama, harus dilakukan pengambilan sampel node dan bobot agar performa dapat menjadi baik. Performa ditentukan dari error yang didapat dari hubungan antara target dengan output. Dalam hal ini output dan target yang dibutuhkan adalah laju korosi. Gambar berikut akan menjelaskan cara mendapatkan bobot dan node terbaik berdasarkan sample.

Saat menentukan jumlah node di awal pembentukan jaringan dilakukan pengambilan data performa saat jaringan menggunakan 1 node sampai 10 node. Tiap tiap node dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Performa pada penelitian ini menggambarkan *mean square error (mse)* dari jaringan. Semakin kecil performa atau mse maka jaringan akan semakin baik, karena memiliki nilai kesalahan yang kecil. Pada jaringan ini digunakan data sebanyak 2091 data sebagai data yang dilatihkan ke jaringan, sedangkan sisanya sejumlah 365 tidak dilatih ke jaringan karena digunakan untuk *testing* atau pengujian jaringan. Dari 2091 jumlah data yang dimasukkan pada jaringan, sejumlah 90% atau 1880 digunakan untuk pelatihan jaringan, sedang 10% atau 211 data sebagai validasi. Dari data pelatihan dan validasi tersebut akan didapatkan hasil simulasi. Hasil simulasi tersebut dibandingkan dengan nilai sebenarnya, kesalahan dari hasil simulasi dan data sebenarnya merupakan nilai MSE. Dari nilai MSE pelatihan atau *training* dapan dibandingkan dengan MSE validasi untuk mendapatkan node dan bobot terbaik.

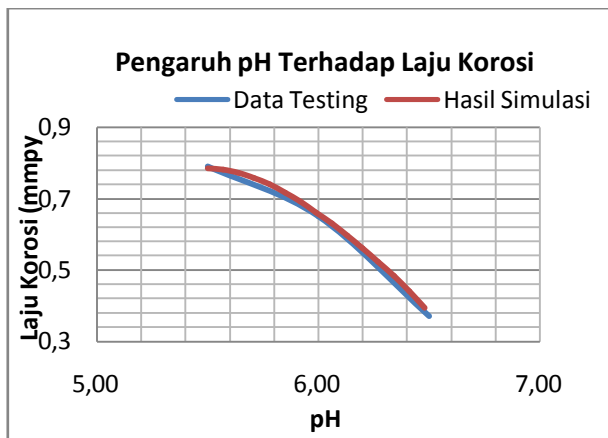
Didapat pada 9 node memiliki bobot terbaik karena nilai MSE bernilai paling kecil

Tabel 3.
Nilai MSE Pada Pengulangan 9 Node

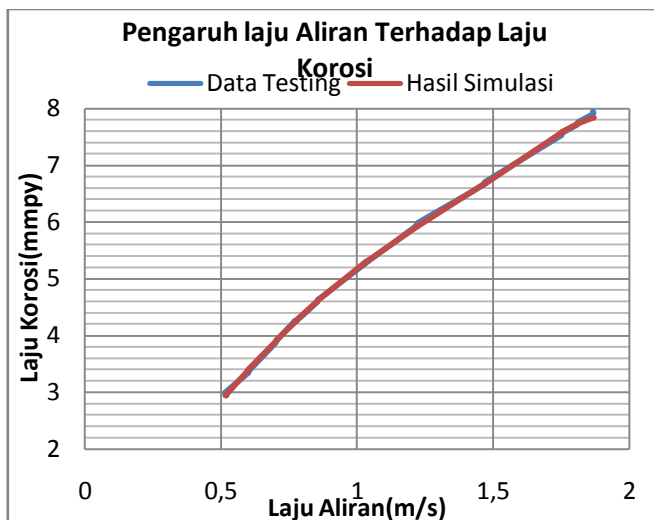
Pengulangan ke	Mse train	Mse Validasi
1	0.001088184	0.001513165
2	0.004681521	0.007963201
3	0.000425001	0.001024124
4	0.001352511	0.005516439
5	0.000338971	0.000493117



Gambar. 8. Perbandingan laju korosi pada perubahan suhu.



Gambar. 9. Perbandingan laju korosi pada perubahan pH.



Gambar. 10. Perbandingan laju korosi pada perubahan laju aliran.

Dengan menggunakan 9 node pada pengulangan ke 5, performa atau MSE secara keseluruhan pada jaringan didapat MSE sebesar 3.661e-04.

B. Hasil Simulasi

Dalam hal ini dikarenakan data yang digunakan untuk proses pelatihan jaringan diambil dari data sekunder dari grafik . Hasil simulasi dibandingkan dengan data testing masing-masing sumber data yang ada.

1) Pengaruh Perubahan Suhu Pada Hasil Korosi

Setelah dilakukan simulasi secara keseluruhan menggunakan data training dan validasi . Maka dapat dilakukan pula prediksi mengenai perubahan suhu terhadap laju korosi. Prediksi ini mengacu pada sumber data dari penelitian milik Yuningtyas. Pada hal ini dikondisikan dengan komposisi logam Baja BS 970 yaitu C = 0.15, Mn = 1.1, Si = 0.175, P = 0.01, S = 0.032, Cr = 0.069, Mo = 0.014, Al = 0, Ni = 0.065, Fe = 98.385, pH = 5.5, Laju Aliran = 0, Suhu = 25 - 75

Pada gambar 8 dilakukan perbandingan hasil simulasi dengan data pada jurnal yang dimasukkan sebagai data pelatihan. Garis biru merupakan hasil pelatihan sedang merah merupakan data pada jurnal. Terlihat bahwa laju korosi naik seiring bertambahnya suhu saat suhu menuju 65 terlihat laju korosi naik kembali. Hal ini sesuai dengan data hasil penelitian yang dilakukan Yuningtyas, 2010. Data yang dimasukkan pada jaringan adalah data milik Yuningtyas, saat dilakukan simulasi terlihat jaringan dapat membentuk pola prediksi sama seperti hasil yang dimiliki Yuningtyas. Pada penelitian Yuningtyas, sampel uji mengalami pelapisan oksida pada suhu 65 sehingga laju korosi menjadi turun. Pada hasil simulasi juga dapat mengikuti pola yang dimiliki Yuningtyas. Simulasi tersebut menyesuaikan komposisi logam yang telah ditetapkan sebelumnya.

2) Pengaruh Perubahan pH Terhadap Laju Korosi

Pada hal ini dikondisikan dengan komposisi logam dari jurnal 1 . Prediksi ini mengacu pada sumber data dari penelitian milik Yuningtyas dengan komposisi logam BS 970 sebagai berikut; C=0.15, Mn=1.1, Si=0.175, P=0.01, S=0.032, Cr=0.069, Mo=0.014, Al=0, Ni=0.065, Fe=98.385, pH=5.5-6.5, Laju Aliran=0, Suhu=25

Gambar 9 menunjukkan bahwa perubahan pH berpengaruh terhadap laju korosi. Sesuai dengan penelitian yang sebelumnya dilakukan Yuningtyas mengenai perubahan suhu terhadap laju korosi akan menurun seiring dengan naiknya nilai pH. Semakin pH menuju netral maka laju korosi akan semakin turun.

3) Pengaruh Perubahan Laju Aliran Terhadap Laju Korosi

Laju aliran akan mempengaruhi nilai laju korosi, pada penelitian yang dilakukan oleh Nuraziz. Nilai laju aliran berubah dan parameter komposisi, pH dan suhu dibuat pada keadaan yang sama. Keadaan logam dan lingkungan dikondisikan dengan komposisi sebagai berikut. C=0.14, Mn=0.662, Si=0.11, P=0, S=0, Cr=0.0207, Mo=0, Al=0.047, Ni=0.005, Fe=99.07, pH=6.87, laju aliran=0-1.87m/s , suhu=25

Tabel 4.
Komposisi Jenis logam

Logam	Baja BS 970	Baja Karbon A106	Baja API 5L X-52
C	0.15	0.3	0.14
Mn	1.1	1.06	0.662
Si	0.175	0.1	0.11
P	0.01	0.035	0
S	0.032	0.035	0
Cr	0.069	0.4	0.0207
Mo	0.014	0.15	0
Al	0	0	0.047
Ni	0.065	0.4	0.005
Fe	98.385	97.52	99.07
ph	5.5	5.5	5.5
laju aliran	0	0	0
suhu	25	25	25

Tabel 5.
Hasil Prediksi Laju Korosi Terhadap Perubahan Logam

No	Jenis Logam	Laju Korosi (mmpy)
1	Baja BS 970	0.7837
2	Baja Karbon A106	0.1749
3	Baja API 5L-X52	0.9836

Pada gambar 10 terlihat hasil simulasi sudah dapat mengikuti hasil yang dimiliki nuraziz pada jurnal ke-3. Laju korosi akan naik seiring naiknya laju aliran. Hasil simulasi telah sesuai dengan data *testing*. Jaringan dapat mengikuti pola walaupun data yang diuji merupakan data yang tidak dilatihkan pada jaringan.

4) Prediksi Laju Korosi Dengan Pengubahan Jenis logam

Setelah dilakukan validasi terkait parameter fisik berupa suhu, pH dan laju aliran telah didapatkan hasil simulasi yang sesuai dengan data sebenarnya. Pada poin ini dilakukan analisa prediksi perubahan jenis logam dengan parameter suhu, pH dan laju aliran dikondisikan sama. Berikut keadaan jenis logam beserta parameter fisiknya.

Dengan parameter diatas, dilakukan prediksi laju korosi untuk mengetahui pengaruh komposisi pada logam terhadap laju korosi.

Dari hasil prediksi diatas terlihat logam kedua memiliki nilai laju korosi yang paling rendah yaitu 0.17 mmpy. Sedangkan pada komposisi logam ketiga memiliki nilai laju korosi 0.98 mmpy. Hal itu disebabkan karena pada logam ketiga tidak memiliki kandungan unsur fosfor dan sulfur dalam komposisi logamnya. Sedangkan pada logam kedua memiliki kandungan unsur tersebut. Ditambah lagi komposisi besi terbanyak pada logam terletak pada logam ketiga. Dari segi kandungan Kromium, logam ketiga juga memiliki kandungan paling sedikit sehingga menjadikan lebih mudah terserang korosi.

Pada data input yang dilatihkan ke jaringan. Logam Baja API 5L X-52 memiliki laju korosi paling besar. Sehingga saat dimasukkan nilai prediksi pada jaringan, logam tersebut menunjukkan nilai paling besar. Ditambah lagi komposisi yang berbeda dari logam lain. Pada jaringan saraf tiruan, pelatihan

akan membentuk pola yang digunakan jaringan untuk memprediksi nilai output yaitu laju korosi. Pola pelatihan dengan data input yang telah disiapkan membentuk nilai laju korosi pada logam Baja API 5L X-52 memiliki nilai paling tinggi dibanding logam lainnya.

IV. KESIMPULAN

1. Pengaruh Pemodelan prediksi laju korosi menggunakan jaringan saraf tiruan dapat dilakukan. Jaringan saraf tiruan dapat digunakan dalam sistem prediksi laju korosi dengan arsitektur jaringan 3 layer yaitu 1 input, 1 *hidden layer* dan 1 output. Pada *hidden layer* menggunakan jumlah 9 node dengan bobot yang telah ditentukan pada input ke *hidden layer* dan *hidden layer* ke output serta bobot pada kedua bias. Performa atau *mean square error* pada jaringan didapat sebesar 3. 661e-04.
2. Perubahan suhu mempengaruhi laju korosi, saat suhu naik laju korosi meningkat dan mencapai puncak laju korosi (mmpy). Perubahan pH mempengaruhi laju korosi, ketika pH menuju keadaan netral laju korosi akan menurun. Perubahan laju aliran berpengaruh terhadap laju korosi dimana saat laju aliran naik pada nilai tertinggi didapat laju korosi tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adiyanti, Yuningtyas R.,Kurniawan,Budi Agung., 2011. "Pengaruh Temperatur dan pH Terhadap Karakterisasi Korosi Baja BS 970 di Lingkungan CO₂. Journal of Corrosion Rate, hal. 1-7.
- [2] Fang, Haitao,M.S.,November 2009. "Low temperature and high salt concentration effects on General co2 corrosion for carbon steel". Chemical and Biomolecular hal. 18 – 22.
- [3] Sarver, Emily., Edwards, Marc., 2011. "Effects of Flow Brass Location, Tube Materials and Temperature on Corrosion of Brass Plumbing Devices". Corrosion Science 53(2011)1813–1824 hal. 1815-1817
- [4] Aji, Gofar Ismail., 2010. "Analisa Laju Korosi Berdasarkan Perbandingan Hasil Kupon, *Corrotion modeling*, dan Pengukuran *Metal Loss* Pada Sistem Perpipaan". 361, hal 798–805
- [5] Kusumadewi,S., ., 2004. "Analisis Jaringan Saraf Tiruan dengan metode Back Propagation Untuk Mendeteksi Gangguan Psikologi" hal 1-4Baldwin, S.F.,2005. Principle Desain Wood Burner
- [6] Siang,JJ. 2005. Jaringan Saraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab.Diterbitkan : ANDI Yogyakarta.
- [7] Biomorgi, J., Hernandez, S., Rodriguez, E., Lara, M.,Vilorio,A., 2011. "Natural Dyes ss Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cell". Chemical Engineering Research and Design, hal.1–9
- [8] Mork, M. F., Fahim,N.F., Cole,I.S., 2012. "Environmental Phospat Coating for Corrotion Preventing in CO₂ Pipelenes". Material Letter 94, hal. 95–99
- [9] Yang, Y.,Cheng,Y.F ., 2011. "Parametric effects on the erosion–corrosion rate and mechanism of carbon steelpipes in oil sands slurry". Wear , hal. 1–8.