

Optimasi Metode Jaringan Syaraf Tiruan pada Pemodelan Salinitas Air Tanah

Risa Rezki Permatasari^{1,a)}, Acep Purqon^{1,b)}

¹Laboratorium Fisika Bumi,
Kelompok Keilmuan Fisika dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)}risa.rezki@gmail.com (corresponding author)

^{b)}acep@fi.itb.ac.id

Abstrak

Air tanah merupakan sumber daya alam yang sangat vital untuk menunjang kehidupan manusia sehari-hari. Pasokan air tanah yang cukup juga dibutuhkan di daerah pesisir. Namun, karena pertumbuhan penduduk yang besar dan semakin meningkatnya kebutuhan air untuk domestik dan pertanian, maka banyak yang mengeksploitasinya secara berlebihan sehingga menyebabkan penurunan kualitas air tanah dan jumlah pasokan air tanah berkurang terutama di daerah pesisir yang rentan terkena dampak intrusi air laut. Oleh karena itu, untuk menjaga keberlanjutan sistem air tanah di daerah pesisir diperlukan pemahaman lebih baik dari proses dinamika air tanah. Salah satunya yaitu dengan pemodelan air tanah secara numerik. Dalam hal ini, Jaringan Syaraf Tiruan diterapkan sebagai pendekatan baru untuk pengelolaan air tanah di akuifer daerah pesisir dengan tujuan untuk menyelidiki efek dari faktor hidrologi, meteorologi, dan manusia pada laju aliran air tanah dalam akuifer. Data time series tanah yang berada di suatu pesisir dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi klorida dalam air tanah dengan menggunakan beberapa sumur uji. Selanjutnya akan diperoleh gambaran fisis perilaku sistem akuifer yang dapat divisualisasikan dalam bentuk pemodelan konsentrasi klorida dalam air tanah di daerah pesisir.

Kata-kata kunci: air tanah, intrusi, jaringan syaraf tiruan, pemodelan

PENDAHULUAN

Air tanah merupakan salah satu sumber daya air yang baik untuk air bersih dan air minum dibandingkan dengan sumber air lainnya. Air tanah di wilayah pesisir memiliki kerentanan yang tinggi terhadap pencemaran. Pemodelan komputer dari aliran dan transpor air tanah saat ini telah menjadi alat yang ampuh untuk memahami dan menganalisis hidrologi akuifer dan berbagai aspek lain dari dinamika aliran bawah permukaan dan berbagai model yang tersedia untuk tujuan itu. Pemodelan air tanah dapat membantu secara ilmiah dan prediktif untuk menentukan solusi yang tepat dalam mengatasi masalah air[1]. Penelitian ini fokus pada potensi intrusi air laut di daerah pesisir pantai, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di Amerika Serikat sebelumnya telah diperoleh bagaimana pemodelan intrusi air laut, karakteristik akuifer, penentuan masalah tipe akuifer pantai, dan langkah dasar untuk proses manajemen air tanah[2].

Langkah pertama pemodelan adalah untuk memperoleh model fisis/ matematika. Dalam penelitian ini Jaringan Syaraf Tiruan (JST) diterapkan sebagai pendekatan baru untuk pengelolaan air tanah di akuifer pantai, dengan tujuan untuk menyelidiki efek dari faktor hidrologi, meteorologi dan manusia pada tingkat air tanah dinamis dalam akuifer. Jaringan Syaraf Tiruan merupakan salah satu sistem pemrosesan informasi yang didesain dengan meniru cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah. Ada banyak teknik yang dapat digunakan untuk implementasi Jaringan Syaraf Tiruan yaitu *Perceptron*, *Backpropagation* dan

Fuzzy. Jaringan Syaraf Tiruan dengan menggunakan algoritma *backpropagation* telah banyak digunakan untuk menyelesaikan beberapa masalah salah satunya masalah prediksi. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengamatan salinitas air tanah di daerah Gaza Timur Tengah menggunakan *Multilayer Perceptron Network* (MLP) dan diperoleh nilai konsentrasi klorida yang baik antara observasi dan simulasi.

PEMODELAN AIR TANAH MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Hidrologi Air Tanah

Hidrologi air tanah adalah cabang hidrologi yang berhubungan dengan air tanah dan didefinisikan sebagai ilmu tentang keterdapat, penyebaran, dan pergerakan air di bawah permukaan bumi[3]. Air tanah adalah bagian dari curah hujan yang infiltrat (merembes) melalui tanah ke muka air. Air tanah terdapat di bawah permukaan pada zona jenuh atau air yang mengisi rongga-rongga pori tanah atau batuan. Lapisan bawah tanah yang mengandung air dan dapat mengalirkan air untuk keperluan domestik, kota, dan pertanian dikenal sebagai akuifer. Dalam beberapa kasus, akuifer secara vertikal terpisah satu sama lain dengan formasi geologi yang memungkinkan sedikit atau tidak ada air mengalir atau keluar[4].

Beberapa kekhawatiran umum kualitas air tanah yaitu diantaranya konsentrasi garam atau besi yang tinggi, adanya hidrogen sulfida (sulfur), gas metan, minyak atau senyawa organik, dan bakteri. Kontaminan dapat terjadi secara alami atau akibat aktivitas manusia.

Akuifer di dataran pantai adalah sumber air tanah yang baik, walaupun dengan resiko penyusupan air laut. Air tawar dan air laut adalah dua fluida dengan densitas (berat jenis) yang berbeda. Jika kedua jenis air ini kontak di dalam tanah, akan terbentuk suatu zona dengan densitas yang bercampur dan berubah secara bertahap dari air tawar ke air laut. Adanya intrusi air laut ini merupakan permasalahan dalam pemanfaatan air tanah di daerah pantai, karena berakibat langsung pada mutu air tanah.

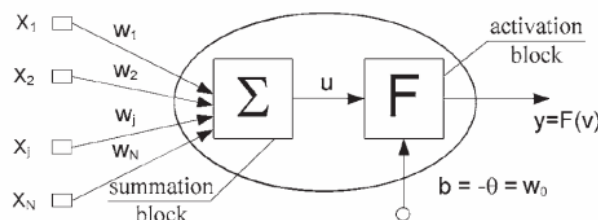
Optimasi

Optimasi adalah proses menyelesaikan suatu masalah tertentu supaya berada pada kondisi yang paling menguntungkan dari suatu sudut pandang. Masalah yang harus diselesaikan berkaitan erat dengan data-data yang dapat dinyatakan dalam satu atau beberapa variabel. Optimasi berhubungan dengan penyesuaian masukan, pemilihan karakteristik peralatan, proses matematis dan pengujian yang dilakukan untuk menemukan keluaran minimum.

Pemodelan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan

Pemodelan air tanah sering dikaitkan dengan model matematika atau solusi komputasi dari persamaan aliran dan transpor air tanah. Ada 4 jenis pemodelan air tanah yaitu aliran, transpor, geokimia, dan manajemen. Untuk mengetahui kondisi natural sistem yang digunakan sebagai dasar pembuatan konseptual model aliran air tanah dan pergerakan kontaminan dilakukan survei geologi dan hidrogeologi.

Jaringan Syaraf Tiruan merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Istilah buatan disini digunakan karena jaringan syaraf ini diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran. JST pada dasarnya berlapis, tiga kelompok fungsional dapat dibedakan dalam JST yaitu *input* yang menerima sinyal dari luar jaringan dan memperkenalkan mereka ke dalamnya, lapisan tersembunyi yaitu neuron yang memproses informasi dan *output* yaitu neuron yang menghasilkan hasil.



Gambar 1. Model jaringan syaraf tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan ditentukan oleh beberapa hal diantaranya pola hubungan antar neuron atau arsitektur jaringan, metode untuk menentukan bobot penghubung atau metode *learning*, penggunaan bias, dan fungsi aktivasi. Berdasarkan arsitektur, Jaringan Syaraf Tiruan dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu *feed forward* dan *backpropagation*. *Feed-forward* adalah tahapan awal dari proses Jaringan Syaraf Tiruan, sinyal akan masuk dimulai dari data *input* dan kemudian akan melewati lapisan tersembunyi (*hidden layer*), selanjutnya akan diteruskan menuju lapisan *output* dan dari *output* didapatkan hasil keluaran. *Backpropagation* merupakan proses *feedback* dari proses *feed-forward*, dimana *output* dari *feed-forward* akan dijadikan *input* kembali untuk melakukan proses *feed-forward* berikutnya sehingga menjadi jaringan yang berulang.

Ada beberapa jenis pembelajaran JST, berdasarkan cara memodifikasi bobotnya, ada 2 macam pelatihan yang dikenal yaitu dengan supervisi dan tanpa supervisi. Proses belajar JST dengan pengawasan (supervisi) adalah proses belajar dengan memberikan latihan untuk mencapai suatu target keluaran yang ditentukan. Pada pelatihan tanpa supervisi jaringan tidak mendapatkan target, sehingga JST mengatur bobot interkoneksi sendiri.

Untuk model salinitas air tanah di suatu daerah menggunakan JST, maka perlu mengumpulkan data untuk tujuan pelatihan. Data pelatihan harus mencakup sejumlah kasus, setiap nilai mengandung variabel *input* dan *output*. Setelah dilakukan pemodelan dengan JST, variabel dapat dipilih dan dihapus, JST juga dapat menentukan variabel yang berguna. Sebagai jalan pertama, setiap variabel yang bisa mempengaruhi salinitas air tanah harus dimasukkan pada studi awal. Awalnya asumsikan bahwa salinitas air tanah (direpresentasikan oleh konsentrasi klorida mg / l) dapat dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti: laju *recharge* (*R*), abstraksi (*Q*), laju rata-rata abstraksi (*Qr*), tingkat air tanah (*Wl*), ketebalan akuifer (*Th*), kedalaman dari permukaan ke lapisan sumur (*Dw*), dan jarak dari garis pantai (*Ds*).

Dalam penelitian ini metode yang akan digunakan adalah *Backpropagation*. Lapisan *input* (*X*) digunakan untuk menampung semua sampel masukan, dengan beberapa lapisan tersembunyi (*Z*) serta dengan lapisan *output* (*Y*) yaitu hasil yang ingin dicapai. Antara lapisan input dan lapisan tersembunyi akan didapat nilai bobot layer tersembunyi (v_j) dan antara lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran akan didapat nilai bobot keluaran (w_j). Jika target belum tercapai, maka proses akan diulang kembali dengan memasukkan nilai *output* ke lapisan *input*. Kemudian mencari lagi nilai bobot pada lapisan tersembunyi (v_j) dengan menambahkan nilai bias lapisan tersembunyi (v_0), begitu juga dengan bobot pada lapisan keluaran (w_j) ditambahkan nilai bias pada lapisan keluaran (w_0).

Pemakaian Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* ini bertujuan untuk melakukan pembelajaran dan mengoreksi kembali nilai keluaran proses *feed-forward*. Apabila antara nilai keluaran dengan nilai target yang diinginkan masih terdapat selisih *error* yang besar, maka nilai keluaran tersebut akan dijadikan sebagai *input* pada lapisan sebelumnya, kemudian dilakukan pembelajaran lagi pada jaringan syaraf tiruan sampai akhirnya didapatkan nilai keluaran yang sama atau mendekati nilai targetnya. Pada penelitian ini menggunakan *toolbox neural network* dari matlab.

HASIL PERHITUNGAN DAN PENENTUAN VARIABEL

Pelatihan jaringan terdiri dari propagasi maju dari *input* dan propagasi mundur dari *error*. Dalam propagasi maju, efek dari pola aktivitas yang diterapkan pada lapisan masukan disebarkan melalui lapisan demi lapisan. Selama pelatihan jaringan, data diproses melalui JST, dan bobot hubungan disesuaikan secara adaptif, sampai galat minimum dicapai antara *output* yang diprediksi dan diamati.

Pada pemodelan awal Jaringan Syaraf Tiruan menggunakan 3 lapisan perseptron yang terdiri dari lapisan input, lapisan tersembunyi, dan lapisan output. Pada penelitian sebelumnya digunakan lapisan input dengan 8 neuron, lapisan tersembunyi dengan 10 neuron, dan lapisan output dengan 1 neuron. Data yang digunakan adalah data dari 15 sumur di Gaza selama 6,5 tahun, sehingga total data yang diamati adalah 195 data. Data tersebut terbagi untuk data pelatihan, validasi, dan prediksi.

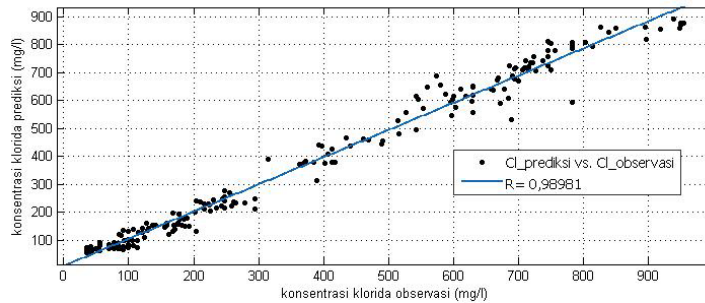
Analisis sensitivitas dapat memberikan informasi tentang kegunaan dan pentingnya masing-masing variabel input dalam model JST. Sensitivitas dari model JST untuk variabel tertentu kemudian dihitung berdasarkan rasio dari *mean absolute error* (MAE) ketika variabel tertentu tidak termasuk dalam model dan ketika variabel itu termasuk, yaitu

$$\text{rasio} = \frac{\text{MAE tanpa variabel input tertentu}}{\text{MAE dengan variabel input tertentu}} \quad (1)$$

dimana MAE adalah kesalahan absolut rata-rata yang didefinisikan sebagai

$$MAE = 1/n * \sum |y_i^{obs} - y_i^{sim}| \tag{2}$$

Dengan demikian, ukuran rasio memungkinkan peringkat pentingnya setiap variabel, relatif terhadap semua variabel lain. Sementara itu, rasio kurang dari 1 juga akan menunjukkan bahwa penghapusan variabel masukan sebenarnya meningkatkan akurasi JST model.



Gambar 2. Perbandingan konsentrasi klorida prediksi menggunakan JST dan konsentrasi klorida pengamatan

Gambar di atas menunjukkan korelasi yang tinggi antara nilai konsentrasi klorida yang diamati dan yang diperkirakan. Korelasi koefisien (*r*) antara nilai *output* diprediksi dan diamati dari model JST adalah 0,98981.

Tabel 1. Nilai statistik regresi untuk pemodelan awal Jaringan Syaraf Tiruan

Statistik Regresi	Semua Model Data	Data Pelatihan	Data Validasi	Data uji
Rata-rata data	375,076	359,3106	411,8969	412,7331
Standar deviasi data	275,0816	264,3467	299,3064	301,9893
Rata-rata <i>error</i>	-2,14431	-5,61219	5,923788	6,170314
Standar deviasi <i>error</i>	34,60226	30,07449	54,376	27,34805
Rata-rata <i>error</i> absolut (<i>MAE</i>)	23,27293	22,48009	30,30896	19,98239
Rasio standar deviasi	0,125789	0,113769	0,181673	0,09056
Korelasi (<i>r</i>)	0,98981	0,99006	0,99234	0,98345

Dari data statistik regresi diatas menunjukkan kinerja dari pemodelan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dimana:

1. Nilai rasio standar deviasi yang rendah menunjukkan bahwa kesalahan antara nilai konsentrasi klorida pengamatan dan prediksi dengan menggunakan model JST cukup kecil.
2. Nilai koefisien korelasi (*r*) yang tinggi menunjukkan bahwa nilai konsentrasi klorida yang diprediksi menggunakan model JST hampir sesuai dengan konsentrasi klorida yang diamati.

Berikut beberapa perhitungan analisis sensitivitas dari 3 model yang berbeda.

Tabel 2. Analisis sensitivitas 3 model JST

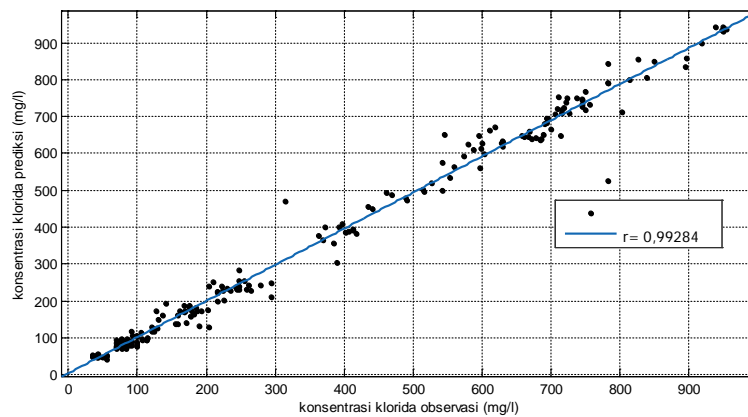
No. Model	<i>Cl₀</i>	<i>R</i>	<i>Q</i>	<i>Q_r</i>	<i>Wl</i>	<i>Dw</i>	<i>Th</i>	<i>Ds</i>

1	49,1775	0,20934	405,936	22,9265	5,8727	765,55	19,5105	1423,89
2	0,04548	0,3404	1,61555	3,26741	2,2404	149,98	62,0780	2,31533
3	2,1309	21,362	0,5129	3,1760	0,074	10,36	28,5118	0,33649
Total	51,353	21,912	408,06	29,370	8,187	925,8	110,100	1426,542
Peringkat	5	7	3	6	8	2	4	1

Berdasarkan tabel di atas, rasio jarak sumur ke pantai (D_s) memiliki nilai yang paling tinggi. Nilai akhir konsentrasi klorida paling berkorelasi dengan jarak sumur ke pantai. Sedangkan laju *recharge* (R) dan tingkat air tanah (W) dapat diabaikan pada pemodelan berikutnya.

Pada pemodelan kali ini berdasarkan tabel 2 maka variabel *input* yang digunakan untuk pelatihan hanya berjumlah 6 variabel. 6 variabel tersebut adalah jarak sumur ke pantai, jarak permukaan tanah ke sumur, abstraksi, ketebalan akuifer, konsentrasi klorida awal serta laju abstraksi rata-rata. Sedangkan variabel yang diabaikan yaitu tingkat air tanah dan laju *recharge*.

Setelah beberapa percobaan, dipilih jaringan *Multi Layer Perceptron (MLP)* terbaik dengan 3 layer : lapisan *input* dengan 6 neuron, lapisan tersembunyi dengan 14 neuron, dan lapisan *output* dengan 1 neuron.



Gambar 3. Perbandingan konsentrasi klorida prediksi menggunakan JST dan konsentrasi klorida pengamatan

Pada gambar di atas menunjukkan korelasi yang sangat tinggi antara nilai-nilai konsentrasi klorida yang diamati dan diprediksi. Koefisien korelasi (r) antara nilai *output* yang diprediksi dan diamati dari model JST adalah 0,993. Tingginya nilai koefisien korelasi (r) menunjukkan bahwa nilai konsentrasi klorida simulasi menggunakan model JST hampir sama/ mendekati nilai konsentrasi klorida yang diamati. Hal ini memberi kesan awal bahwa model JST berguna dan dapat berlaku. Selain itu, pemodelan JST menjadi lebih sederhana dengan menggunakan variabel *input* yang lebih dominan.

KESIMPULAN

Teknik JST telah diterapkan sebagai pendekatan baru dan alat yang menarik untuk belajar dan memprediksi salinitas air tanah tanpa menerapkan berdasarkan parameter fisik hidrologi. Pendekatan ini dapat meningkatkan pemahaman sistem kompleks air tanah dan mampu menunjukkan efek dampak hidrologi dan meteorologi pada kondisi air tanah. Sedangkan analisis sensitivitas digunakan untuk optimasi pemodelan JST menjadi lebih sederhana dengan menggunakan input yang dominan saja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Acep Purqon selaku dosen pembimbing yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Makalah ini didanai oleh Riset Inovasi Institut Teknologi Bandung 2015.

REFERENSI

1. A. Cheng, *Coastal Aquifer Management*. Lewis Publishers, New York (2004)
2. D.K. Todd, *Ground-water hydrology (Second Edition)*. John Wiley and Sons, New York (1980)
3. H. Sirhan and M. Koch, *Prediction of Dynamic Groundwater Levels in the Gaza Coastal Aquifer, South Palestine, using Artificial Neural Networks*. Journal of Hydrologic (2013)
4. T. Harter, *Aquifers / Specific yield storage equation / Vulnerability mapping of groundwater resources / Animal farming operations: groundwater quality issues*. Wiley Encyclopedia of Water (2004)