

PEMODELAN BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANASBUMI KALIULO BERDASARKAN DATA RESISTIVITAS KONFIGURASI SCHLUMBERGER DENGAN ALGORITMA JARINGAN SYARAF TIRUAN-BACKPROPAGATION

Frysca Putti Muviana, Agus Setyawan dan Rahmat Gernowo
Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: fryscapm@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

This research used secondary data configuration Schlumberger geoelectric method in the area of geothermal manifestations Kaliulo Mount Ungaran to implement the use of artificial neural network algorithm in geophysical this case to obtain the actual value of the thickness and resistivity. In this artificial neural networks do two processes, namely the training and testing, the training using synthetic data and on testing using field data Then in training the neural network produced the best architectural which is used train resilient propagation (train rp) with three hidden layers with each neuron in the hidden layer consist of 300 neuron, this architecture will be used in testing. The output of the test data is value of the thickness and true resistivity which can be modeled. Result modeling of data processing from ANN is almost the same with IPI2WIN, MSE value obtained is equal to 0.10519 and 0.088304 respectively on the thickness and resistivity actually. The result of 3D model shows the lower part of the earth's subsurface its rock consists as following: topsoil, clay, volcanic breccias, tuff and limestone.

Keywords: Schlumberger, artificial neural networks, inversion, MSE, manifestation Kaliulo.

ABSTRAK

Metode geolistrik banyak digunakan oleh para geofisikawan untuk melakukan survey pendahuluan. Penelitian ini menggunakan data sekunder metode geolistrik konfigurasi *Schlumberger* di daerah manifestasi panasbumi Kaliulo Gunung Ungaran untuk mengimplementasikan penggunaan algoritma jaringan syaraf tiruan pada kasus geofisika ini sehingga didapatkan nilai ketebalan dan *resistivitas* sebenarnya. Pada jaringan syaraf tiruan ini melakukan dua proses yaitu pelatihan dan pengujian, pada pelatihan menggunakan data sintetik dan pada pengujian menggunakan data lapangan. Kemudian pada pelatihan dihasilkan arsitekur jaringan syaraf tiruan *backpropagation* terbaik menggunakan train resilient propagation (train rp) dengan 3 *hidden layer* dengan masing – masing neuron pada *hidden layer* yaitu 300 untuk digunakan pada pengujian. Keluaran dari data pengujian berupa nilai ketebalan dan *resistivitas* sebenarnya yang dapat dimodelkan. Hasil pemodelan pengolahan data JST hampir sama dengan IPI2WIN, nilai MSE yang diperoleh yaitu sebesar 0,10519 dan 0,088304 berturut turut pada ketebalan dan *resistivitas* sebenarnya. Pemodelan 3D yang dihasilkan menampilkan lapisan bawah permukaan bumi dengan batuan penyusunnya secara berturut turut *topsoil*, lempung, breksi, tufaan dan gamping.

Kata Kunci : *Schlumberger*, jaringan syaraf tiruan, pengolahan data, MSE, ManifestasiKaliulo.

PENDAHULUAN

Di Kaliulo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang terdapat manifestasi bumi berupa air panas yang diperkirakan merupakan zona *outflow* dari Gunung Ungaran.

Sebelumnya sudah dilakukan penelitian di daerah ini oleh mariyaningsih dan Setyawan 2014 menggunakan metode

geolistrik. Metode geolistrik, metode yang biasa digunakan untuk survey pendahuluan dan eksplorasi geofisika untuk menyelidiki keadaan struktur geologi bawah permukaan bumi [1].

Pada metode geolistrik resistivitas banyak cara dalam penyusunan elektroda yang sering disebut dengan konfigurasi elektroda yang menyebabkan ada beberapa jenis konfigurasi elektroda untuk metode geolistrik

tahanan jenis. Salah satu konfigurasi yang biasa digunakan adalah Konfigurasi *schlumberger*. Konfigurasi *schlumberger* merupakan konfigurasi satu dimensi yang digunakan untuk survey sounding.

Beberapa tahun terakhir seiring dengan perkembangan teknologi dan informasi saat ini muncul metode – metode pengolahan data baru tanpa menggunakan persamaan matematis. Salah satu metodenya adalah Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Jaringan syaraf tiruan sangat cocok untuk mempelajari parameter *non-linier*, parameter non linear banyak terdapat pada ilmu bumi. Ilmu non linearitas ini dapat dipelajari dengan baik menggunakan metode JST yang efisien ini. [2]

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Mengimplementasikan algoritma jaringan syaraf tiruan dalam kasus geofisika metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger di daerah manifestasi panasbumi Kaliulo Gunung Ungaran dan mengidentifikasi struktur bawah permukaan daerah Kaliulo.

Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang biasa digunakan untuk menyelidiki keadaan struktur geologi bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan dan mengalirkan arus listrik DC ke dalam bumi. Prinsip kerja metode geolistrik ini adalah dengan menginjeksikan arus listrik kedalam bumi, melalui dua elektroda arus (Elektroda AB) karena injeksi arus menghasilkan beda potensial di atas permukaan tanah maka beda potensial akan ditangakap melalui dua elektroda potensial (Elektroda MN), sehingga dari injeksi arus menghasilkan parameter-parameter yang terukur untuk menghitung nilai tahanan jenis semu untuk mendapatkan nilai tahan jenis batuan didalam permukaan.

Metode geolistrik tahanan jenis dapat menentukan ketebalan lapisan beserta tahanan jenis batuan di tiap masing-masing lapisannya

dengan menggunakan sifat-sifat kelistrikan pada batuan penyusun yang ada didalam lapisan bawah permukaan bumi.

Hukum yang mendasari pengukuran tahanan jenis ini adalah hukum Ohm, persamaan hukum ohm yang digunakan untuk mencari nilai hambatan dari nilai V dan I:

$$V = I R \quad 2.1$$

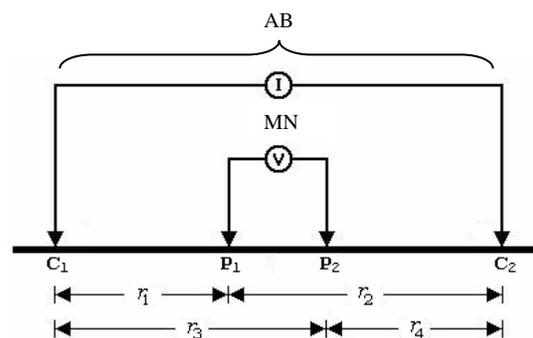
Jika lapisan di bawah bumi diasumsikan horizontal arus listrik yang mengalir melalui medium dibawah permukaan yang terdiri dari lapisan - lapisan bahan yang berbeda memiliki resistivitas yang berbeda, maka resistivitas ρ dari lapisan bahan dirumuskan pada persamaan 2.2 :

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad 2.2$$

Dimana L adalah panjang suatu bahan, A adalah besar luas penampang dari bahan yang diasumsikan sebagai material konduktif berbentuk silinder homogen [3].

Konfigurasi Schlumberger

Konfigurasi Schlumberger dalam pelaksanaan di lapangan yang tidak terlalu sulit (cukup datar dan luas) dan penetrasi arus yang tidak terlalu dalam. [4] (Hendrajaya 1990). Susunan konfigurasi schlumberger digambarkan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Susunan elektroda geolistrik konfigurasi schlumberger[1]

Pada Gambar 2.1 merupakan gambar konfigurasi elektroda *schlumberger* dengan C1 dan C2 adalah elektroda arus, P1 dan P2 adalah elektroda potensial sedangkan AB adalah jarak antara kedua elektroda arus yaitu

1 dan 2 dan MN adalah jarak elektroda potensial 1 dan 2.

Menurut Anthony (2006) dari besarnya arus dan beda potensial yang terukur maka nilai resistivitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\rho a = K \frac{\Delta V}{I} \quad 2.3$$

Dengan k adalah faktor geometri konfigurasi schlumberger yaitu,

$$K = \pi \left(\frac{\frac{ab^2}{2} - \frac{mn^2}{2}}{2 \frac{mn}{2}} \right) \quad 2.4$$

Dengan $ab/2$ adalah setengah panjang dari a atau panjang dari elektroda arus ke titik pusat atau titik tengah bentangan, sedangkan $mn/2$ adalah setengah nilai dari panjang m atau panjang dari elektroda potensial ke pusat.

Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan (JST) atau *artificial neural network* (ANN) merupakan salah satu sistem pemrosesan informasi yang didisain dengan menirukan cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah dengan melakukan proses pembelajaran melalui bobot sinopsisnya [5].

Lapisan penyusun JST terbagi menjadi 3, seperti pada gambar 2.2 yaitu lapisan *input* yang menerima *inputan* yang menjadi permasalahan, yang kedua lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan yang ketiga lapisan *output*, lapisan ini menghasilkan *output* yang merupakan solusi dari JST terhadap permasalahan di *input*.

Pada jaringan syaraf tiruan, pembelajaran dibagi menjadi dua, yaitu pembelajaran terawasi dan tak terawasi. Pada pembelajaran terawasi, membutuhkan guru. Pada proses pembelajaran ini terdapat masukan dan target keluaran yang dipakai untuk melatih jaringan hingga diperoleh bobot yang diinginkan. Masukan (*input*) dan target

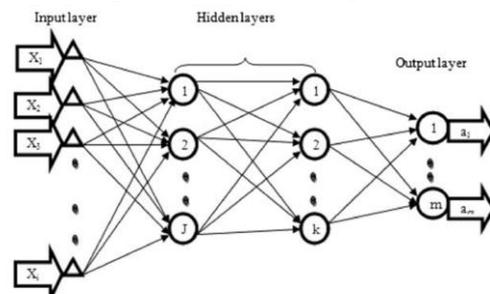
keluaran (*output*) merupakan guru untuk melatih jaringan hingga diperoleh bentuk yang terbaik. Guru akan memberikan

informasi yang jelas tentang bagaimana sistem harus mengubah dirinya untuk meningkatkan sistem kerjanya [5].

Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*

Metode jaringan syaraf tiruan *backpropagation* tergolong algoritma pembelajaran pada pelatihan yang bersifat pembelajaran terlatih dan menggunakan aturan pembelajaran pengkoreksian error [6] jaringan ini terdiri dari banyak lapisan (*multilayer network*).

Pada jaringan ini ketika jaringan diberika pola masukan sebagai inputan pola pelatihan, maka pola tersebut menuju unit-unit lapisan tersembunyi untuk selanjutnya diteruskan pada unit-unit dilapisan keluaran.

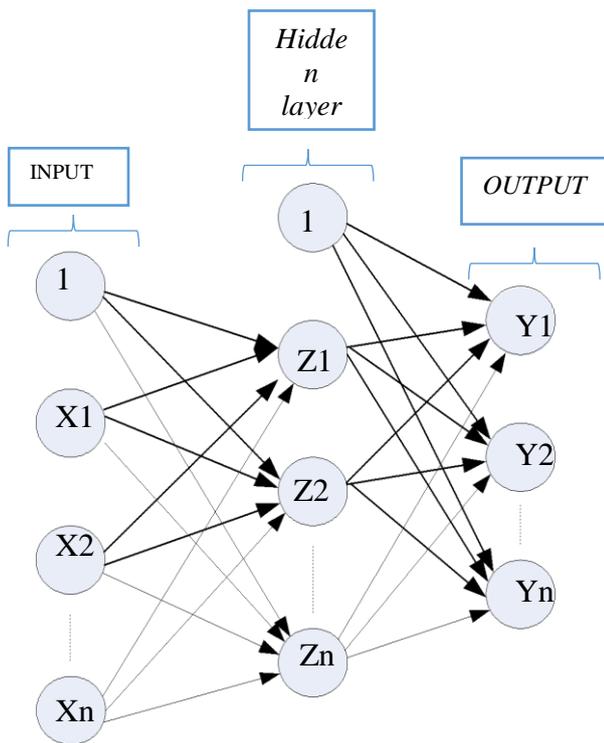


Gambar 2. 2 Jaringan syaraf tiruan

Kemudian unit-unit lapisan keluaran akan memberikan respon sebagai keluaran jaringan syaraf tiruan. Saat hasil keluaran tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka keluaran akan disebarkan mundur (*backward*) pada lapisan tersembunyi kemudian dari lapisan tersembunyi menuju lapisan masukan [5].

Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*

Jaringan ini dapat memecahkan masalah – masalah yang kompleks dibandingkan jaringan dengan hanya satu *layer* karena memiliki arsitektur jaringan yang terdiri dari layer masukan, satu atau lebih layer tersembunyi, dan layer keluaran seperti pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Arsitektur jaringan syaraf tiruan Backpropagation

Algoritma pelatihan jaringan backpropagation terdiri dari 3 tahapan yaitu:

1. Tahap umpan maju (*feedforward*).
2. Tahap umpan mundur (*backpropagation*).
3. Tahap pengupdatean bobot dan bias.

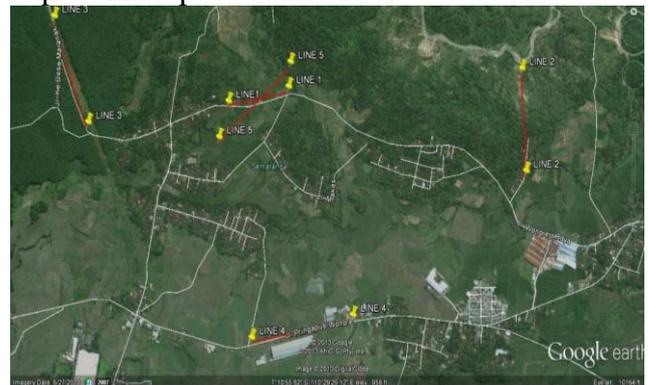
Geologi Regional Kaliulo

Geologi Kaliulo terletak di Ungaran kecamatan Pringapus kabupaten Semarang Jawa Tengah. Kaliulo merupakan salah satu manifestasi panasbumi berupa mata air panas dari Gunung Ungaran. Pembentukan mata air panas di daerah tersebut diperkirakan merupakan suatu out flow dari sistem panasbumi Gunung Ungaran. Pringapus diatur oleh 2 formasi yaitu formasi Kaligetas (Qpkg) yang terdiri dari gunungapi breksi, aliran lava, Tuff, Batupasir, dan Batulempung. Dengan interkalasi fine-grained breksi dan lahar menjadi batuan kuarsa.

Formasi Kerek (Tmk) terdiri dari Batulempung, Marl, Batupasir tuff, Konglomerat, Breksi vulkanik dan Batukapur [7].

METODE PENELITIAN

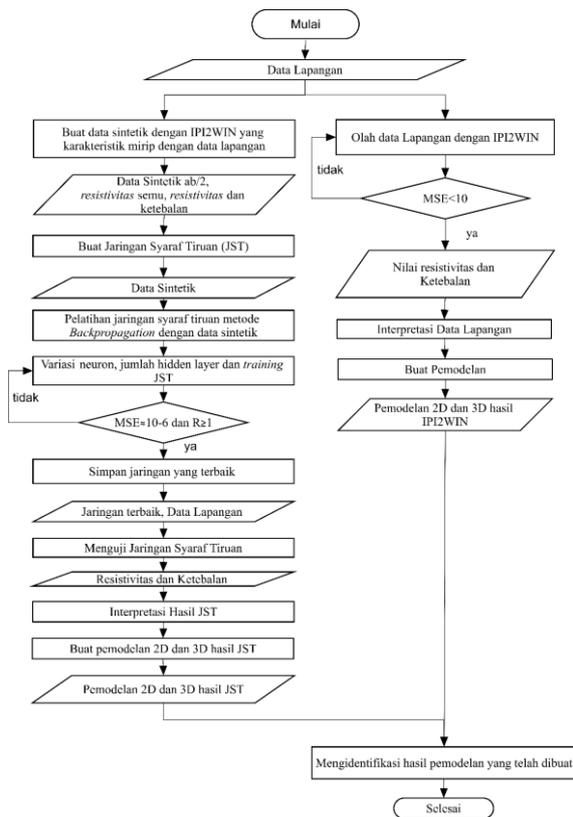
Pada penelitian kali ini, menggunakan 2 data yaitu, data sintetik dan data lapangan sekunder yang telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Mariyaningsih dan Setyawan, 2014 di daerah manifestasi panasbumi Kaliulo metode geolistrik konfigurasi *schlumberger*. Terdapat 5 titik pengukuran di Kaliulo yaitu titik 1, titik 2, titik 3, titik 4 dan titik, persebaran titik di kaliulo dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Peta Lokasi titik pengukuran^[8]

Data yang digunakan adalah data sintetik dengan nilai $AB/2$, nilai resistivitas semu, resistivitas sebenarnya dan ketebalan untuk dijadikan sebagai data latih dan data lapangan dengan nilai $AB/2$, nilai resistivitas semu, resistivitas sebenarnya dan ketebalan sebagai data uji pada jaringan syaraf tiruan yang telah dibuat menggunakan metode backpropagation. Hasil pengujian jaringan syaraf tiruan yang berupa nilai *resistivitas* dan ketebalan pertitik kemudian di lakukan interpretasi data pertitik untuk mengetahui lapisan batuan dengan kedalamannya untuk membuat pemodelan 3D.

Diagram alir pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

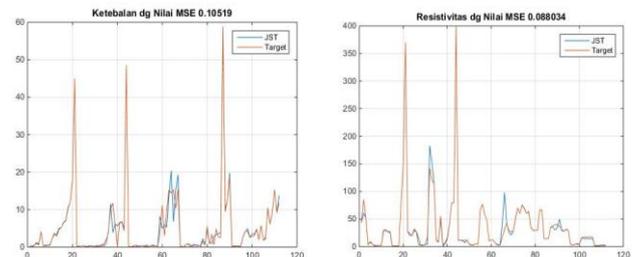
Berdasarkan penelitian ini, diperoleh hasil jaringan syaraf tiruan *backpropagation* untuk menghasilkan nilai ketebalan dan resistivitas tanpa menggunakan persamaan matematis seperti pada software pengolahan data geofisika pada umumnya. Nilai ini didapatkan dari hasil pembelajaran jaringan syaraf tiruan mempelajari pola – pola inputan dan target yang telah diajarkan pada jaringan syaraf tiruan, dan selanjutnya, jaringan tersebut akan membuat keputusan sendiri untuk menentukan nilai keluaran.

Pada penelitian ini digunakan data sintetik yang telah dibuat mirip dengan karakteristik data lapangan untuk pembelajaran pada pelatihan Jaringan syaraf tiruan. Data sintetik dibuat dengan 5 titik yang berbeda data meliputi nilai AB/2, resistivitas semu, resistivitas sebenarnya dan ketebalan

dan data lapangan sebagai data untuk pengujian jaringan syaraf tiruan dimana digunakan 5 titik data lapangan.

Pada penelitian ini, nilai bobot terbaik pada pelatihan digunakan untuk jaringan pada pengujian. Nilai bobot terbaik di peroleh dari arsitektur jaringan terbaik, arsitektur terbaik didapatkan secara acak dari Matlab dengan memvariasikan *hidden layer* dan jumlah neuron, , jaringan terbaik diperoleh dari model pelatihan *Resilient Propagation* (trainrp) dengan 2 layer masukan berupa nilai AB/2 dan resistivitas semu, variasi 3 *hidden layer* dengan jumlah neuron pada *layer 1* atau lapisan pertama 300 pada lapisan kedua 300 pada lapisan ketiga 300 dan lapisan *output* atau layer keluaran 2 nilai ketebalan dan resistivitas sebenarnya.

Grafik MSE pada pengujian menggunakan arsitektur jaringan terbaik beserta nilai MSE pada resistivitas dan ketebalan pada grafik MSE dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Grafik MSE hasil pengujian

Gambar 4.1 menunjukkan grafik MSE hasil pengujian dan nilai MSE yang dihasilkan pada pengujian ditampilkan pada grafik ini, nilai MSE pada pengujian mendekati 0 yaitu 0,10519 untuk MSE ketebalan 0,088304

Interpretasi data

Nilai keluaran jaringan syaraf tiruan berupa nilai ketebalan dan resistivitas sebenarnya dapat diinterpretasikan sesuai dengan peta geologi dan formasi geologi batuan penyusun di kaliulo. Hasil interpretasi disajikan dalam tabel 4.1

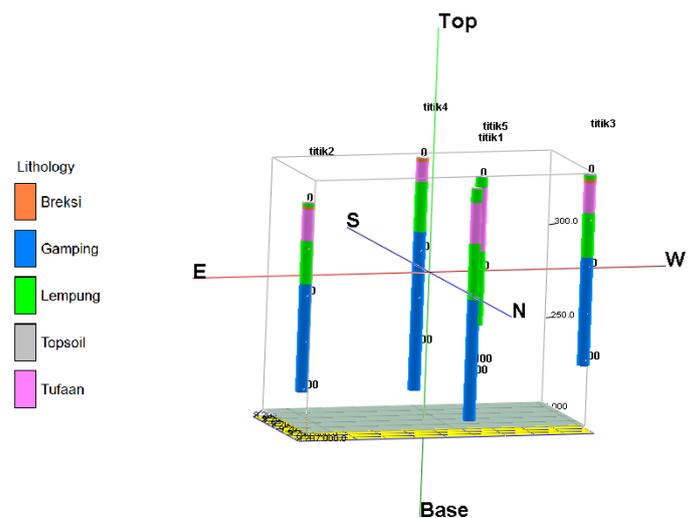
Tabel 4.1 Interpretasi hasil pengujian data lapangan keluaran jaringan syaraf tiruan

Titik	Resistivitas (Ω m)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Lapisan Batuan
Titik 1	43,80 – 60,90	1,091	1,091	Top Soil
	1,86 – 7,97	7,960	9,051	Lempung
	26,93 – 27,70	14,100	23,151	Tufaan
	1,43 – 1,45	29,265	52,416	Lempung
	80,09 – 370,10	74,798	127,214	Gamping
Titik 2	20,09 – 29,80	1,163	1,163	Top soil
	2,94 – 4,35	1,566	2,729	Lempung
	115,09 – 183,10	1,305	4,034	Breksi
	9,77 – 50,60	17,200	21,234	Tufaan
	1,27 – 13,70	15,701	36,935	Lempung
Titik 3	79,4 – 399,10	66,560	103,495	Gamping
	7,15 – 11,99	1,477	1,477	Top soil
	3,10 – 5,41	1,621	3,098	Lempung
	47,50 – 77,19	1,501	4,599	Breksi
	10,20 – 12,69	19,098	23,697	Tufaan
Titik 4	2,70 – 5,22	39,351	63,048	Lempung
	42,10 – 97,90	41,250	104,298	Gamping
	21,01 – 26,10	0,701	0,701	Top Soil
	29,01 – 75,10	16,007	16,707	Tufaan
	14,10 – 15,10	10,701	27,408	Lempung
Titik 5	30,10 – 35,10	84,607	127,006	Gamping
	27,8 – 49,69	1,364	1,364	Top Soil
	2,86 – 5,84	17,352	18,715	Lempung
	14,19 – 15,10	19,879	38,595	Tufaan
	3,74 – 6,10	63,631	102,226	Lempung

Pemodelan 3D

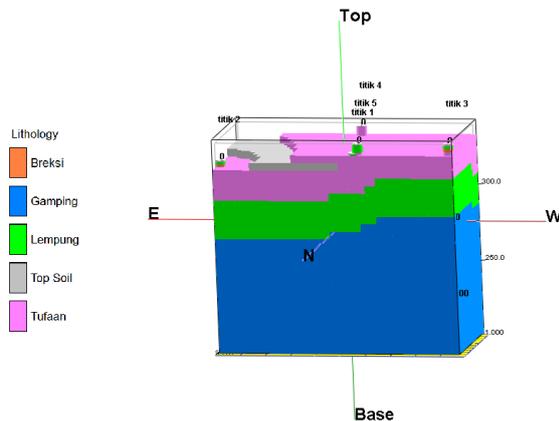
Dari hasil interpretasi pada tabel 4.1 dapat dibuat data log bor pada gambar 4.2 dari tiap titik yang kita olah akan diinterpretasikan mendapatkan jenis lapisan batuan tiap kedalaman kemudian akan dijadikan masukan untuk membuat pemodelan 3 dimensi pada *software Rockwork15*.

Gambar 4.2 memperlihatkan hasil datalog tiap titik pengukuran. Datalog pengukuran dimaksudkan untuk dapat mempermudah membandingkan ketebalan lapisan dan jenis lapisan batuan di setiap titik pengukuran.



Gambar 4. 2 Pemodelan datalog titik pengukuran

Pemodelan 3 dimensi yang dibuat menggunakan gabungan dari titik 1, titik 2, titik 3, titik 4, dan titik 5 pada akuisisi geolistrik. Pemodelan 3D dari hasil keluaran jaringan syaraf tiruan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. 3 Hasil Pemodelan 3D pengolahan data jaringan syaraf tiruan dengan rockworks tampilan dari arah utara.

Gambar 4.3 merupakan hasil pemodelan 3D dari pemodelan 3D dapat dilihat persebaran nilai resistivitas batuan tiap lapisan batuan di antara titik titik pengukuran. Pada pemodelan diatas Warna abu-abu menunjukkan lapisan paling atas yaitu biasa disebut *Topsoil*, warna oranye adalah batuan breksi yang diidentifikasi berada pada titik 2 dan 3 lapisan atas, warna merah muda menunjukkan lapisan batuan Tufaan atau tuff, warna hijau menunjukkan lapisan batu lempung dan lapisan paling bawah diidentifikasi adalah gamping. Dapat dilihat berdasarkan peta geologi regional titik-titik pengambilan data berada pada 2 formasi yaitu formasi pertama FORMASI KEREK (Tmk) dengan batuanannya terdapat batu lempung tufaan, breksi dan batu gamping, sedangkan formasi kedua yaitu FORMASI KALIGETAS (QPkg) dengan batuan penyusunnya breksi, tufaan dan batu lempung dimana batuan pada formasi tersebut terdapat pada kedua pemodelan.

Terdapat perbedaan hasil pengujian jaringan syaraf tiruan yang dimodelkan dengan *software* IPI2WIN, hal ini disebabkan karena

kurangnya data pelatihan berupa data sintetik dengan karakteristik bawah permukaan yang bermacam-macam, sehingga nilai keluaran yang dihasilkan oleh jaringan syaraf tiruan masih cukup jauh dengan nilai target keluran yaitu nilai MSE ketebalan pada pengujian sebesar 0,10519 dan pada *resistivitas* MSE sebesar 0,088033. Besarnya MSE juga dapat dipengaruhi oleh parameter – parameter yang menyusun jaringan syaraf tiruan.

Pengimplementasian jaringan syaraf tiruan untuk pengolahan data geolistrik konfigurasi schlumberger sudah baik karena dapat menggambarkan keadaan struktur litologi bawah permukaan yang mirip dengan pengolahan data dengan *software* IPI2WIN.

KESIMPULAN

Algoritma Jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dapat diimplementasikan dengan baik pada kasus geofisika metode geolistrik *resistivitas* konfigurasi *schlumberger* dengan menggunakan 3 *hidden layer* dimana tiap lapisan memiliki 300 neuron.

Arsitektur terbaik jaringan syaraf tiruan diperoleh dari pelatihan *trainrp* (train resilient propagation) dengan jumlah layer masukan sebanyak 2 layer, jumlah *hidden layer* 3, masing masing *hidden layer* memiliki 300 neuron dan jumlah layer keluaran ada 2 layer .Dari hasil jaringan terbaik pada pelatihan diperoleh nilai MSE yang mendekati 0 dan mendekati target yaitu nilai MSE ketebalan sebesar $3,908 \times 10^{-8}$ dan MSE *resistivitas* sebesar $1,06 \times 10^{-6}$. Pada pengujian MSE hampir mendekati nilai 0 tetapi lebih kecil dari MSE pada pelatihan, MSE ketebalan pada pengujian sebesar 0,10519 dan pada *resistivitas* MSE sebesar 0,088033.

Pemodelan 3D mengindikasikan litologi struktur bawah permukaan di daerah manifestasi panasbumi Kaliulo gunung ungaran dengan batuan penyusun secara berturut turut berupa : top soil pada lapisan

paling atas, lapisan batu lempung, lapisan bereksi, lapisan batuan tufaan dan lapisan paling bawah yaitu diperkirakan pada kedalaman 127 meter di daerah ini adalah lapisan batuan gamping.

Mariyaningsih, D. dan Setyawan, A., 2014, Minarto, E., 2012, *Pemodelan Inversi Data Geolistrik untuk Menentukan Struktur Perlapisan Bawah permukaan Daerah Panasbumi Mataloko*, *Youngster Physics Journal*, Vol. 2, No. 1, Hal-25-30.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Munaji, Imam, S., Lutfinur, I., 2013, *Penentuan Tahanan Jenis Batuan ANDESIT Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger (Studi Kasus Desa Polosiri)*, *Jurnal Fisika*, Vol.3, No.2, Semarang
- [2]. Maiti, S., Erram, V.C., Gupta, Gautam., Tiwari, r. K., 2012, ANN based inversion of DC resistivity data for groundwater exploration in hard rock terrain of western Maharashtra (India), *Journal of Hydrology*, Hal. 294-308.
- [3]. Herman, R., 2011, An Introduction to Electrical Resistivitas in Geophysics, *Journal of American Association of Physics Teachers*, Vol 69, 943-952
- [4]. Hendrajaya, Lilik dan Arif, Idam, 1990, *Geolistrik Tahanan Jenis*, Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA ITB, Bandung
- [5]. Laluma, R., 2015., *Analisis Produktivitas Pegawai Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik*. STMIK Mardira Indonesia, Bandung.
- [6]. Sandy, K., 2014, Penerapan Metode Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Memprediksi Nilai Ujian Sekolah, *Jurnal Teknologi*, Volume 7, Nomor 1, 20-28
- [7]. Siahaan, E.P., Irfandi, O.P., Rizky S., 2012, Bicarbonate as an Edga of Ungaran Geothermal System at Ulo River, Pringapus, Semarang Regency, Geological Engineering of Diponegoro University, Semarang. Darsono, 2012, Identifikasi Bidang Gelincir Pemicu Bencana Tanah Longsor Dengan Metode Resistivitas 2 Dimensi Di Desa Pablengan Kecamatan Matesih Kabupaten Karanganyar, *Indonesian Journal of Applied Physics (2012)*, no. 1, vol. 2, Halaman 58.