ANALISIS STRUKTUR BATUAN DENGAN METODA INVERSI *SMOOTHNESS-CONSTRAINED LEAST-SQUARES* DATA GEOLISTRIK KONFIGURASI *SCHLUMBERGER* DI UNIVERSITAS NEGERI PADANG KAMPUS AIR TAWAR

Akmam, Nofi Yendri Sudiar

*Juruan Fisika FMIPA UNP Padang. Kampus Airtawar Padang Sumbar.
akmamdatuk@gmail.com*

Abstrak. Gempa Bumi 30 September 2009 diperkirakan telah merusak struktur batuan di UNP Padang Kampus Airtawar. Struktur batuan di bawah permukaan dapat mempengaruhi bangunan yang ada di atasnya. Berdasarkan hal di atas, telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur batuan berdasarkan nilai tahanan jenis batuan di UNP Airtawar. Penelitian eksplorasi ini menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner-Schlumberger. Data yang dikumpulkan menggunakan GF Instruments ARES diolah menggunakan metoda inversi *smoothness-constrained least-squares*. Eksplorasi dilakukan dalam empat lintasan. Hasil analisa data menunjukkan bahwa struktur yang terdapat di UNP Padang adalah *Sandstone*, *silt* dan *Alluvium*, *Andesite* dan airtanah yang terkontaminasi oleh air laut. Pada kawasan Kampus UNP Bagian Barat terlihat telah terjadi penyusupan *Sandstone* ke lapisan *silt* sejauh 36 meter sebaliknya pada Kampus UNP sebelah Timur struktur batumannya masih selaras.

Key Words: Batuan, Tahanan Jenis, *smoothness-constrained least-squares*,

PENDAHULUAN

Gempa bumi yang terjadi 30 September 2009 mengakibatkan terganggunya struktur batuan dan bangunan di atasnya. Agar bangunan dan fasilitas umum, seperti gedung perkuliahan, perkantoran aman dari guncangan gempa yang akan datang dibutuhkan pengetahuan tentang kondisi struktur batuan dimana bangunan tersebut didirikan. Informasi tentang kondisi struktur batuan di bawah permukaan bumi dibutuhkan dalam perencanaan pondasi pembangunan.

Informasi mengenai kondisi bawah permukaan bumi yang perlu diketahui kedalaman batuan dasar dan jenis batuan. Informasi mengenai kondisi batuan bawah permukaan bumi tempat bangunan akan didirikan berguna untuk meminimalisasi resiko terhadap kerusakan akibat terjadinya gempa maupun penurunan tanah. Salah satu metoda yang dapat digunakan untuk memperkirakan batuan penyusun lapisan

batuan bawah permukaan bumi adalah metoda Geolistrik tahanan jenis. Nilai tahanan jenis batuan dapat diketahui dengan menggunakan metoda Geolistrik tahanan jenis. Metoda Geolistrik dengan berbagai konfigurasi elektroda banyak digunakan dalam teknik geofisika, khususnya investigasi airtanah dan struktur dekat permukaan[5]. Batuan dasar (*basement rock*) merupakan batuan metamorf ataupun batuan beku (tanpa memperdulikan umurnya) yang secara tidak selaras terlapis di atasnya suatu formasi batuan sedimen [1],[2]. Batuan dasar umumnya memiliki karakteristik keras dan *brittle* dengan porositas matrik dan permeabilitas yang rendah [1].

Tahanan jenis batuan di bawah permukaan bumi dipelajari dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus. Arus listrik yang mengalir pada lapisan batuan tergantung pada jenis batuan yang dilaluinya. Beda potensial yang dihasilkan

diukur melalui dua buah elektroda lainnya [3],[4].

Pencitraan tahanan jenis secara umum digunakan untuk berbagai survei teknik sipil, lingkungan hidrologi, pertanian dan mineral [6]. Metoda Geolistrik dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger menggunakan empat buah elektroda dengan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial yang disusun dalam satu garis lurus [7], seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Tahanan jenis yang terukur pada metoda geolistrik bukanlah tahanan jenis yang sesungguhnya, melainkan tahanan jenis semu [9], dimana harganya dihitung dengan persamaan $\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$, dengan ρ_a adalah tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) yang bergantung pada jarak elektroda (faktor geometri, K). Nilai K konfigurasi Schlumberger, sebagai berikut:

$$K = \pi \frac{L^2}{4l} \left[1 - \frac{l^2}{L^2} \right] \quad (1)$$

Berdasarkan nilai K yang diperoleh maka dapat dihitung nilai tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) untuk konfigurasi Schlumberger :

$$\rho_a = \pi \frac{L^2}{4l} \left[1 - \frac{l^2}{L^2} \right] \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

dimana, ρ_a adalah tahanan jenis semu, L adalah jarak elektroda arus, l adalah jarak elektroda potensial, ΔV adalah beda potensial, I adalah kuat arus.

Tahanan jenis yang terukur sewaktu pengukuran adalah tahanan semu dimana untuk mengestimasi distribusi tahanan jenis sesungguhnya dari tahanan jenis semu terhadap kedalaman dapat dilakukan dengan metoda inversi. Metoda inversi umumnya tidak menghasilkan solusi yang unik, tetapi hasil inversi sangat terpengaruh harga estimasi awal [10],[11],[12], dimana perubahan sedikit dalam data menyebabkan merubahkan besar pada model [3],[19]. Salah satu penyebab tidak untuk solusi inversi adalah tidak linearnya hubungan tahanan semu dengan parameter model (tahanan jenis sesungguhnya dan ketebalan lapisan [3].

Optimasi inversi dilakukan dengan meminimalisasi perbedaan antara nilai resistivitas semu yang dihitung dan diukur dengan menyesuaikan resistivitas model blok. Acuan yang secara umum digunakan adalah harga kesalahan akar rata-rata kuadrat (*root mean-square*), namun model dengan error RMS rendah kadang-kadang mendapatkan variasi nilai-nilai resistivitas yang besar dan tidak realistis mengacu kepada perspektif geologi. Hal di atas dapat ditanggulangi dengan menggunakan dekomposisi nilai singular [3],[13]. Kelemahan pendekatan di atas, pada kondisi tertentu (untuk lapisan tipis) proses iterasi dapat mencapai divergen.

Pendekatan yang digunakan untuk mengatasi hal di atas, untuk pengolahan data metoda geolistrik adalah dengan pendekatan *Smoothness-Constrained Least-Squares* [4], [14], [15], [18]

$$(J^T T + \mu F) d = J^T g - \mu F r, \quad (3)$$

dimana $F = f_x f_x^T + f_z f_z^T$ dengan f_x = filter flatness horizontal, f_z = filter flatness vertikal, J = matriks dari turunan parsial, μ = faktor damping, $\mathbf{d}$ = vektor perturbasi dari model dan $\mathbf{g}$ = vektor discrepancy dan $\mathbf{r}$ = vektor yang logaritma dari nilai [4]

Salah satu keuntungan metoda ini adalah faktor damping dan filter dapat disesuaikan bermacam-macam tipe data. Nilai estimasi awal dapat ditambahkan kepada parameter model dalam proses inversi dengan faktor koreksi sebesar

$$\Delta m = L_{diag} \left\{ \frac{\alpha_j}{\alpha_j^2 + \beta^2} \right\} U^T \Delta d \quad (4)$$

dimana untuk n banyak data dan m banyak parameter $U(n \times m)$ dan $L(m \times m)$ matrik orthogonal yang mengandung masing-masing spasi data dan vektor eigen parameter spasi data, serta Δd data pada setiap vector yang berbeda.

Secara umum, estimasi awal diharapkan membantu pemodelan inversi sehingga diperoleh hasil yang dianggap paling tepat dengan kondisi bawah permukaan. Cara yang paling efektif untuk menginversi data adalah dengan melakukan *constraint* [15]. Hasil dengan melakukan *constraint* lebih akurat dibanding hasil yang tidak melakukan *constraint*. Proses *constraint* dilakukan secara otomatis. Pemilihan metoda *Smoothness-Constrained Least-Squares inversion* akan meminimalkan perbedaan antara data lapangan dan model yang diprediksi melalui pemodelan 2D.

Interpretasi data perhitungan tahanan jenis sesungguhnya koreksi dengan data kedalaman sumur air tanah terdapat di sekitar daerah penelitian (Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar). Sumur air tanah terdalam adalah 12,5 meter dan terdangkal adalah 8,3 meter terdapat pada lokasi Jl. Belibis Airtawar Padang.

METODE PENELITIAN

Penelitian deskriptif dilaksanakan di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar. Parameter yang diukur adalah kuat arus injeksi (I), tegangan terjadi (V), dan jarak elektroda dan parameter yang terhitung adalah nilai tahanan jenis semu (ρ_a). Alat pengumpul data adalah GF Instrument ARES. Pengukuran dilaksanakan pada 4 lintasan. Interpretasi data menggunakan metoda inversi *Smoothness-Constrained Least-Squares* melalui persamaan (3) dengan bantuan software Res2Dinv dari Goetoma Software, dengan perhitungan nilai damping dibuat secara manual menggunakan persamaan (4). Estimasi struktur batuan digunakan data kedalaman sumur bor milik penduduk yang ada disekitar lokasi penelitian serta merujuk kepada peta Geologi daerah survey.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lintasan 1 (Labor Fisika-Kimia)

Lintasan 1 berada pada Laboratorium Fisika dan Kimia FMIPA UNP Padang yang terbentang dari $00^{\circ}53'51,7''\text{LS}$ dan $100^{\circ}21'0,6''\text{BT}$ ke $00^{\circ}53'53,5''\text{LS}$ dan $100^{\circ}21'0,1''\text{BT}$, titik *sounding* di $00^{\circ}53'52,1''\text{LS}$ dan $100^{\circ}21'0,8''\text{BT}$.

Gambar 2 memperlihatkan rentangan nilai tahanan jenis daerah survey adalah antara 0.116 – 2803 Ωm dengan kedalaman hingga 56,9 meter, pada iterasi ke-3 dengan *absolut error* 2.1%. Pada lintasan ini diestimasi terdapat lapisan *Sandstone*, *silt* dan *Alluvium*, *Andesite* dan airtanah yang terkontaminasi oleh air laut. Pada lintasan ini terlihat terjadinya penyusupan *Sandstone* ke lapisan *silt* dan adanya *silt* yang mendesak permukaan. Hal ini yang diperkirakan penyebab terangkatnya lantai laboratorium Fisika FMIPA UNP Padang, saat terjadinya Gempabumi tanggal 30 September 2009.

**Akmam, Nofi Yendri Sudiar : ANALISIS STRUKTUR BATUAN DENGAN METODA INVERSI
SMOOTHNESS-CONSTRAINED LEAST-SQUARES DATA GEOLISTRIK KONFIGURASI
SCHLUMBERGER DI UNIVERSITAS NEGERI PADANG KAMPUS AIR TAWAR**

Gambar 2. Penampang Model 2D Lintasan Labor Fisika-Kimia.

Lintasan 2 (Perpustakaan – FIK)

Lintasan 2 berada antara lapangan sepakbola FIK dengan perpustakaan UNP terbentang dari $00^{\circ}53'55,2''\text{LS}$ dan $100^{\circ}20'50,6''\text{BT}$ ke $00^{\circ}53'42,7''\text{LS}$ dan $100^{\circ}20'50,5''\text{BT}$, titik *sounding* pada $00^{\circ}53'48,9''\text{LS}$ dan $100^{\circ}20'50,6''\text{BT}$.

Gambar 3 memperlihatkan nilai rentangan tahanan jenis lintasan 2 yaitu $0,8876 \Omega\text{m}$ sampai dengan $2435 \Omega\text{m}$ dengan *absolute error* 6.6 % pada iterasi ke-3, diestimasi pada lintasan ini terdapat *Sandstone*, *silt* dan *Alluvium*, *Andesite* dan airtanah terdapat pada kedalaman (12.5 – 36.9) meter. Pada lintasan ini juga memperlihatkan adanya penyusupan *Sandstone* ke lapisan *silt* sejauh 36 meter dan adanya *silt* yang mendesak permukaan. Hal ini yang diperkirakan penyebab rusaknya Lapangan Tenis dan Perpustakaan UNP Padang, saat terjadinya Gempabumi tanggal 30 September 2009.

Gambar 3. Penampang Model 2D Lapangan Sepakbola-Perpustakaan UNP.

Lintasan 3 (Balai Bahasa–Masjid UNP)

Lintasan 3 terbentang pada $00^{\circ}53'53,0''\text{LS}$ dan $100^{\circ}21'03,01''\text{BT}$ ke $00^{\circ}53'58,0''\text{LS}$ dan $100^{\circ}21'01,6''\text{BT}$, titik *sounding* pada $00^{\circ}53'55,7''\text{LS}$ dan $100^{\circ}21'02,3''\text{BT}$.

Gambar 4 memperlihatkan profil bawah permukaan sepanjang Labor Bahasa Inggris–Masjid Al-Azhar dengan distribusi nilai tahanan jenis 1.433 sampai $1568 \Omega\text{m}$ dengan *absolute error* 8.8 % pada iterasi ke-3. Gambar 4 memperlihatkan bahwa struktur batuan yang terdiri dari *Alluvium* dan *Sandstones*, *clay* dan *silt* masih selaras. *Groundwater* diperkirakan ditemukan pada kedalaman 16,6 meter. Struktur batuan pada lintasan 3 ini diperkirakan tidak mengalami deformasi pada gempabumi 30 September 2012. Indikasi lain adalah bangunan yang ada pada lintasan ini tidak mengalami rusak berat

Gambar 4. Penampang Model 2D Lintasan Balai Bahasa Inggris–Masjid Al-Azhar

Lintasan 4 (FIS-FIP)

Gambar 5. Penampang Model 2D Lintasan FIS–FIP UNP

Lintasan 4 terbentang pada $00^{\circ}53'41,6''\text{LS}$ dan $100^{\circ}20'59,2''\text{BT}$ ke $00^{\circ}53'46,5''\text{LS}$ dan $100^{\circ}21'00,4''\text{BT}$, titik *sounding* pada $00^{\circ}53'44,0''\text{LS}$ dan $100^{\circ}20'79,8''\text{BT}$.

Gambar 5 memperlihatkan profil bawah permukaan sepanjang. Lintasan 4 dengan distribusi nilai tahanan jenis antara $1.684 \Omega\text{m}$ sampai dengan $986.45 \Omega\text{m}$ dengan *absolut error* 8,7% pada iterasi ke-3. Gambar 5 memperlihatkan bahwa struktur batuan yang terdiri dari *Alluvium* dan *Sandstones*, *clay* dan *silt* masih selaras. *Groundwater* diperkirakan ditemukan pada kedalaman 16,6 meter. Struktur batuan pada lintasan 4 ini diperkirakan tidak mengalami deformasi pada gempa bumi 30 September 2012. Berdasarkan interpretasi data.

Groundwater diperkirakan pada lintasan 4 ditemukan pada kedalaman 12.43 m, berdasarkan hasil observasi yang dilakukan peneliti didapat bahwa kedalaman sumur bor yang dekat dengan lintasan ini adalah 10.5 meter, yaitu sumur yang terdapat di Belakang FIS dekat FE, hal ini membuktikan bahwa memang ditemukan *Groundwater* pada kedalaman 12,43 meter letak sumur bor kemungkinan memang berada di tengah *Groundwater* ditemukan untuk mendapatkan air yang bersih.

KESIMPULAN

Rentangan nilai tahanan jenis batuan penyusun struktur di bawah permukaan di Kampus UNP Airtawar Padang adalah antara $0.116 - 2803 \Omega\text{m}$ dengan kedalaman hingga 56,9 meter, Bantuan penyusun struktur ini diestimasi terdiri dari *Sandstone*, *silt* dan *Alluvium*, *Andesite* dan airtanah yang terkontaminasi oleh air laut. Pada kawasan Kampus UNP bagian Barat terlihat telah terjadi penyusupan *Sandstone* ke lapisan *silt* sejauh 36 meter disekitar lapangan tenis UNP dan 30 meter di laboratorium Fisika-Kimia UNP Padang

dan telah terjadinya *silt* yang mendesak permukaan. Struktur batuan pada Kampus UNP sebelah Timur struktur batuanannya masih selaras. Adanya penyusupan *Sandstone* ke dalam *Silt*, kondisi ini dipertimbangkan untuk membuat struktur bangunan ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Harvey, P.K., Brewer, T.S., Pezard, P.A., and Petrov, V.A. *Perophysical Properties of Crystalline Rocks*. Geological Society, London. Special Publication. 240. 95-106., 2005
- [2]. Samodra, H. (2008). *Geologi Batuan Dasar Gunung Ciremai Jawa Barat*. Jurnal Geologi Indonesia 4(5). Hlm. 279-287
- [3]. Maiti, S. G. Gupta, V. C. Erram, and R. K. Tiwari, *Inversion of Schlumberger resistivity sounding data from the critically dynamic Koyna region using the Hybrid Monte Carlo-based neural network approach Indian Institute of Geomagnetism (DST)*, Navi Mumbai-410218, India National Geophysical Research Institute (CSIR).
- [4]. Loke, H.M, *Res2Dinv Rapid 2D Resistivity & IP Inversion, for Windows XP/Vista*, Goetoma Software Malaysia, 2009
- [5]. Abdul-Nafiu, A.K, Nawawi, M. M. N., Khiruddin, A, Ishola, K. S and Abdulrahman, A, *Effects Of Electrode Spacing And Inversion Techniques On The Efficacy Of 2d Resistivity Imaging To Delineate Subsurface Features*, American Journal of Applied Sciences, 10 (1): 64-72, 2013
- [6]. Chambers, J.E., P.B. Wilkinson, D.A. Gunn, R.D. Ogilvy, G.S. Ghataora, M.P.N. Burow, Tilden, S.R, *Non-invasive characterization and monitoring of earth embankments using Electrical Resistivity Tomography*

*Akmam, Nofi Yendri Sudiar: ANALISIS STRUKTUR BATUAN DENGAN METODA INVERSI
SMOOTHNESS-CONSTRAINED LEAST-SQUARES DATA GEOLISTRIK KONFIGURASI
SCHLUMBERGER DI UNIVERSITAS NEGERI PADANG KAMPUS AIR TAWAR*

- (ERT)., British Geological Survey, UK, 2007.
- [7]. Aihzegbobor, Philips Aizebeokhai, *2D and 3D geoelectrical resistivity imaging: Theory and field design*, Academic American Journals Department of Physics, Covenant University, Ota, Ogun State, Nigeria. 2010.
- [8]. Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- [9]. Akmam. *Existensi of Spring in Batulimbak Village Simawang Kecamatan Rambatan Kabupaten Tanahdatar*. Jurnal Prosiding Seminar PPD Forum HEDS 2004 Bidang MIPA, ISBN 979-95726-7-3. Hlm 593-608. 2004
- [10]. Constable, S.C, Robert L. Parker, and Catherine G. Constable, *Occam's Inversion: A Practical Algorithm For Generating Smooth Models From Electromagnetic Sounding Data*, Jurnal Geophysics, vol. 52, no. 3 , 1987: page 289-300,
- [11]. Gupta, S.K, Sri Niwas and Vinod K. Gaur, *Straightforward inversion of vertical electrical sounding data*, Jurnal Geophysics, vol. 62, no. 3, 1997); page. 775-785
- [12]. Møller, I, Bo H. Jacobsen, and Niels B. Christensen, *Rapid inversion of 2-D geoelectrical data by multichannel deconvolution*, Geophysics, vol. 66, no. 3 ; p. 800-808,
- [13]. Akmam, Doddy Sutarno, *Pemodelan Inversi Satu Dimensi Data Magnetotellurik Memodifikasi Inversi Occam dengan Pemotongan Nilai Singular*, Jurnal Kontribusi Fisika Indonesia, Vol. 8 No. 2 1997.
- [14]. Degroot-Hedlin, Catherine and Steven Constable, *Occam's Inversion and the North American Central Plains Electrical Anomaly*, Institute of Geophysics and Planetary Physics, La Jolla, CA92093-0225, U.S.A. 1990
- [15]. Degroot-Hedlin, C and S. Constable, *Occam's Inversion to Generate Smooth, Two-Dimensional Models from Magnetotelluric data*, Jurnal Geophysics, vol. 55, no. 12 page 1613-1624 , 1990
- [16]. Supriyanto. (2007). *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi (Edisi I)*. Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia 2007.
- [17]. Reynolds, J.M. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: John Willey and Sons. 1997
- [18]. Zhang Luo-Lei, Yu Peng, Wang Jia-Lin, Wu Jian-Sheng, *Smoothest Model And Sharp Boundary Based Two-Dimensional Magnetotelluric Inversion, Smoothest Model And Sharp Boundary Based Two-Dimensional Magnetotelluric Inversion*, Chinese Journal Of Geophysics Vol.52, No.6, Page: 1360-1368, 2009
- [19]. Gyulai, A, Tamás Ormos, Mihály Dobroka, *A Quick 2-D Geoelectric Inversion Method Using Series Expansion*, Journal of Applied Geophysics, www.elsevier.com/locate/jap