

Pendugaan Struktur Patahan Dengan Metode Gayaberat

Ibrahim Sota*)

*)Prodi Fisika FMIPA UNLAM

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pendugaan struktur patahan menggunakan metode gayaberat. Kontras densitas tersebut berasosiasi dengan ketebalan sedimen dan keberadaan struktur patahan atau lipatan. Untuk mengetahui lokasi patahan dan lipatan maka anomali residual terlebih dahulu dipisahkan dari anomali total (*anomali Bouguer*) dengan metode perata-rataan bergerak. Kontur anomali residual memperlihatkan keberadaan lipatan dan patahan secara kualitatif sedangkan interpretasi kuantitatif dengan pemodelan kedepan 2D memperlihatkan secara jelas lokasi patahan. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa lokasi patahan/sesar naik berada di bagian timurlaut yang berorientasi baratlaut-tenggara sedangkan patahan/sesar normal tersebar secara lokal yang juga berorientasi baratlaut-tenggara.

Kata Kunci: *Patahan, gayaberat*

1. Pendahuluan

Patahan atau sesar adalah bergesernya batuan yang patah dari posisi semula. Keberadaan patahan di satu sisi bisa bernilai ekonomis yang tinggi karena dapat berasosiasi dengan perangkap hidrokarbon atau menjadi jalur keluarnya magma ke permukaan yang membawa mineral-mineral bernilai ekonomis tinggi. Namun, di sisi lain bisa mendatangkan kerugian yang diakibatkan oleh bergesernya patahan sehingga menyulut terjadinya gempa tektonik yang tidak jarang menelan korban jiwa, materi dan tanah longsor. Olehnya itu, pendugaan keberadaan struktur patahan dan zona jalur patahan di suatu daerah atau wilayah sangat penting.

Tumbukan antara lempeng Mikro Sunda dimana pulau Sumatera berada pada pinggir lempeng tersebut dengan lempeng Samudera Hindia, mengakibatkan terjadinya penunjaman secara miring (*oblique*). Penunjaman ini menghasilkan rangkaian patahan/sesar geser mendatar (*strike slip fault*) berarah baratlaut – tenggara yang sejajar dengan pulau Sumatera (Hamilton, 1989). Penunjaman ini juga menghasilkan pengangkatan Bukit Barisan akibat pergeseran patahan/sesar di sepanjang bukit Barisan (Simandjuntak, T.O, 2004).

Sumatera Selatan dengan ibu kota Palembang sebagai bagian dari pulau Sumatera juga tidak luput dari pengaruh tumbukan lempeng Mikro Sunda dengan lempeng Samudera Hindia. Letak Sumatera Selatan yang sekarang berada di bagian timur pulau Sumatera menjadi hal yang menarik untuk dikaji. Hal ini disebabkan karena wilayah tersebut, saat ini berada pada posisi di belangkang busur dari jalur tektonik aktif di bagian barat pulau Sumatera (Hadipandoyo,

dkk., 2007). Posisi ini menjadikan Sumatera Selatan sangat menarik untuk diteliti.

Untuk mengetahui zona patahan/sesar di Sumatera Selatan maka perlu dilakukan penelitian yang berkisnambungan. Salah satu penelitian yang perlu dilakukan untuk menentukan zona patahan di wilayah Sumatera Selatan adalah penelitian geofisika. Hal ini dikarenakan metode geofisika mampu memperkirakan kondisi bawah permukaan dengan melakukan pengukuran di permukaan.

Diantara sekian banyak metode geofisika yang cocok untuk keperluan tersebut dengan alasan sensitivitas respon, murah secara ekonomi, maupun teknis lapangan adalah metode gayaberat (kontras densitas). Metode gayaberat sangat tepat digunakan untuk pendugaan lokasi patahan karena metode ini mampu mendeteksi perbedaan kontras densitas tubuh batuan. Perbedaan kontras densitas batuan yang signifikan mengindikasikan bahwa zona tersebut adalah zona patahan/sesar.

2. Gaya dan Percepatan Gayaberat

Penelitian tentang gayaberat didasari oleh hukum newton tentang gayaberat yang dipublikasikan oleh Newton pada tahun 1687 dalam bukunya yang berjudul *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* yang menyatakan bahwa dua massa yang terpisah oleh suatu besaran jarak, akan saling tarik menarik antara dua massa tersebut yang sebanding dengan hasil kali kedua massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Dalam koordinat kartesian gaya antar partikel bermassa m yang terletak pada titik $P(x',y',z')$ dan partikel bermassa m_0 pada titik

$Q(x,y,z)$ seperti pada Gambar 1 dinyatakan dengan persamaan :

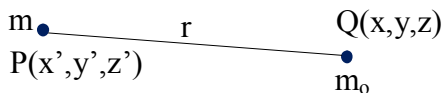
$$\vec{F}_{(r)} = G \frac{mm_o}{r^2} \hat{r} \tag{1}$$

keterangan :

F = gaya pada m, m_o

G = konstanta gayaberat ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{g}^2$)

r = Jarak antara m dan $m_o = [(x-x')^2+(y-y')^2+(z-z')^2]^{1/2}$



Gambar 1. Gayaberat antara dua titik massa m dan m_o

Percepatan gayaberat dari massa m pada titik Q yang berjarak r adalah :

$$\vec{g}_{(r)} = -G \frac{m}{r^2} \hat{r} \tag{2}$$

\hat{r} adalah unit vektor massa yang mengarah dari m ke m_o .

g adalah percepatan gayaberat yang diterima massa m_o oleh massa m .

Bila massa m adalah massa bumi Me dan m_o adalah benda di permukaan bumi maka percepatan gayaberat yang dialami benda m_o adalah:

$$\vec{g}_{(r)} = -G \frac{Me}{R_e^2} \hat{r} \tag{3}$$

Nilai percepatan gayaberat g di permukaan bumi adalah 980 cm/s^2 . Sebagai penghormatan kepada Galileo, maka satuan percepatan gayaberat adalah Galileo (Gal) yang setara dengan 1 cm/s^2 .

3. Potensial Gayaberat

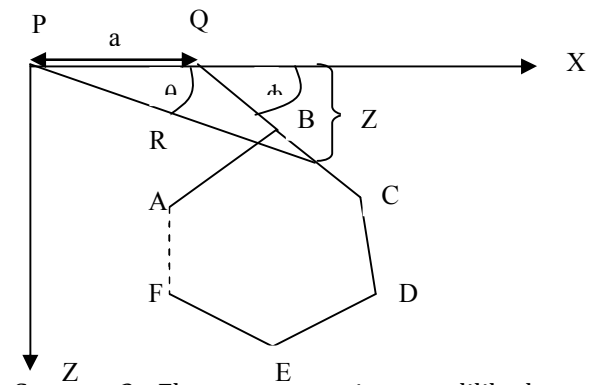
Medan gayaberat bersifat konservatif bila usaha untuk menggerakkan suatu partikel dalam medan tersebut tidak tergantung pada lintasan yang dilalui, tetapi hanya bergantung pada titik awal dan titik akhir. Gayaberat merupakan vektor yang arahnya sepanjang garis yang menghubungkan pusat kedua massa. Gaya ini menimbulkan medan konservatif yang dapat dinyatakan sebagai gradient dari potensial skalar $U(x,y,z)$:

$$\nabla U(x, y, z) = -\frac{F(x, y, z)}{m} = -g(x, y, z) \tag{4}$$

4. Perhitungan Efek Gayaberat Benda Dua Dimensi

Efek gayaberat benda dua dimensi adalah dasar pemodelan benda berbentuk vertikal pita. Yang dimaksud benda 2-dimensi adalah benda 3-dimensi yang mempunyai penampang yang sama di mana saja sepanjang tak berhingga pada salah satu koordinat. Pada gambar 3, ABCDEF adalah titik sudut sebuah poligon dan P adalah titik amat tempat efek gayaberat poligon ini akan ditentukan. P dianggap sebagai titik pusat sistem koordinat XZ, dan poligon berada pada bidang XZ. Sumbu Z adalah positif ke bawah dan θ adalah positif dari arah sumbu X positif ke sumbu Z positif. Hubbert (1949) menunjukkan bahwa komponen vertikal efek gayaberat benda dua dimensi pada titik P adalah :

$$g = 2G\Delta\rho \int z d\theta \tag{5}$$



Gambar 3. Elemen geometri yang dilibatkan dalam perhitungan efek gayaberat poligon bersisi n (Talwani, 1959)

Integral garis ini dilakukan pada seluruh sisi poligon. Secara umum persamaan ini adalah (Telford, 1990)

$$z_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i \left[\ln \frac{\cos \theta_i (\tan \theta_i - \tan \phi_i)}{\cos \theta_{i+1} (\tan \theta_{i+1} - \tan \phi_i)} \right] \tag{6}$$

5. Metodologi

Pemetaan anomali residual digunakan dalam memodelkan penampang peta anomali untuk mengetahui penyebaran rapat massa batuan yang menggambarkan konfigurasi struktur bawah permukaan. Untuk memperkuat analisis dan interpretasi, penelitian ini mengambil referensi data-data geologi dan penelitian terkait atau penelitian di sekitar lokasi penelitian.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Koreksi pasang-surut, drift, Bouguer dan udara bebas.
2. Memisahkan anomali regional dan residual menggunakan perata-rataan bergerak.
3. Memodelkan bawah permukaan 2D dengan geometri poligon bersisi N.
4. Interpretasi berdasarkan model forward 2D.

5.1. Pengolahan Data

Konsep anomali gayaberat menekankan pada aspek perbedaan gayaberat terukur dengan nilai gayaberat acuan untuk model teoritis bumi (sferoid). Perbedaan tersebut merefleksikan variasi rapat massa yang terdapat pada suatu daerah dengan sekitarnya baik horisontal atau vertikal. Besar kecilnya kedalaman, arah anomali rapat massa didapatkan dengan menghitung, merekonstruksi dan interpretasi model gayaberat terukur.

Harga gayaberat terukur merupakan total gaya percepatan yang diderita oleh suatu titik akibat berbagai sumber. Beberapa sumber yang mempengaruhi pengukuran adalah:

- Posisi bumi dalam pergerakan tata surya (*tide effect*)
- Perbedaan lintang dipermukaan bumi
- Perbedaan ketinggian permukaan bumi (elevasi)
- Efek topografi
- Perubahan rapat massa disuatu tempat

Untuk menghindari efek gayaberat dari komponen yang tidak dikehendaki, maka dilakukan koreksi dan reduksi.

Tahapan pengolahan data sebagai berikut:

- 1) *Menghitung nilai $g_{observasi}$* merupakan harga gayaberat pengukuran yang telah dikoreksi dengan koreksi pasang surut dan koreksi drift (apungan) alat. Nilai koreksi ini didefinisikan sebagai berikut:

$$g_{Obs} = g_{stat} - g_{tide} - g_{drift} \quad (7)$$

(mGal)

- 2) *Menghitung nilai $g_{lintang}$*
Berdasarkan Geodetik Referensi Sistem (GRS67) nilai gayaberat teori yang merupakan fungsi lintang adalah:

$$g_{\phi} = 978031.8 \left(\begin{matrix} 1 + 0.0053054 \sin^2 \phi + \\ 0.0000059 \sin^2 2\phi \end{matrix} \right) \quad (8)$$

(mGal)

- 3) *Penentuan Rapat Massa*

Pada penelitian ini rapat masa diestimasi dengan menggunakan metoda Netleton. Estimasi rapat massa terbaik pada metoda ini didapat dari korelasi silang terkecil (mendekati nol) antara perubahan elevasi terhadap anomali gayaberat. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^N \delta(\Delta g)_i \delta h_i}{\sum_{i=1}^N (\delta h_i)^2} \quad (9)$$

Penampang yang digunakan untuk mendapatkan nilai rapat massa ini dipilih pada stasiun dengan daerah topografi kasar.

- 4) *Menghitung Anomali Bouger Lengkap*

Nilai anomali Bouger lengkap dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$AnomaliBougerLengkap = g_{obs} - g_{\phi} + FAC - BC + TC(mGal)$$

- 10)

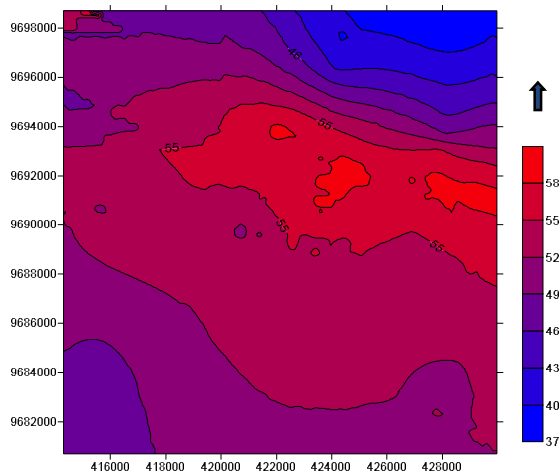
5.2. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Pada dasarnya anomali gayaberat yang terukur di permukaan merupakan gabungan (superposisi) dari berbagai macam sumber dan kedalaman anomali yang ada di bawah permukaan dimana salah satunya merupakan *target even* untuk dipisahkan, baik yang berada di zona yang dangkal (residual) atau zona yang dalam (regional). Pemisahan anomali regional dengan anomali residual dilakukan dengan metoda perata-rataan bergerak (*Moving Average*) yang menghasilkan keluaran berupa anomali regional. Anomali residual diperoleh dari selisih anomali Bouguer dengan anomali regional. Pemisahan anomali menggunakan perata-rataan bergerak bersifat menapis anomali gelombang frekuensi tinggi (*low pass filter*). Semakin lebar jendela yang digunakan maka nilai anomali residualnya akan mendekati nilai anomali Bouguer.

6. Hasil Dan Interpretasi

6.1. Anomali Bouguer

Peta ini memperlihatkan pola kontur berorientasi baratlaut-tenggara dengan nilai anomali bouguer antara 37 hingga 59 mGal. Orientasi kontur pada peta ini berasosiasi dengan arah utama struktur sesar yaitu arah baratlaut-tenggara. Nilai anomali rendah berasosiasi dengan nilai kontras rapat massa batuan yang kecil sedangkan nilai anomali tinggi berasosiasi dengan nilai



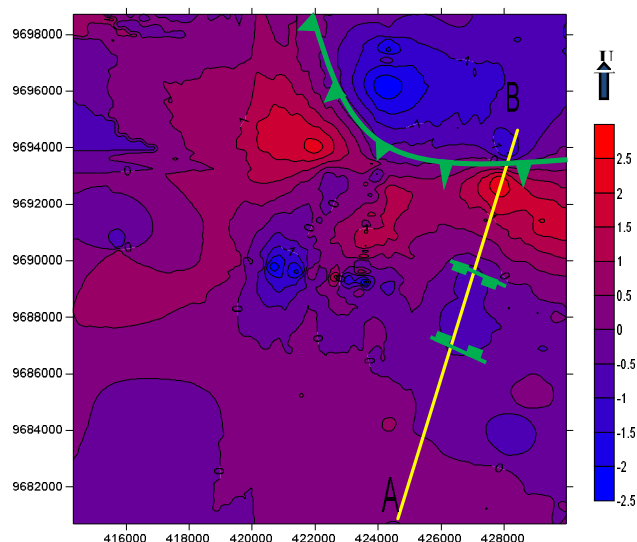
Gambar 4. Peta anomali Bouguer

kontras rapat massa batuan yang tinggi. Perubahan nilai anomali rendah ke tinggi yang sangat signifikan terlihat di bagian timurlaut yang ditandai oleh garis kontur yang rapat. Perubahan ini disebabkan oleh perubahan nilai kontras rapat massa batuan yang terjadi akibat sesar disepanjang bidang batas yang berorientasi baratlaut-tenggara. Di bagian baratdaya perubahan nilai anomali dari tinggi ke rendah relatif kecil yang ditandai oleh garis kontur yang renggang.


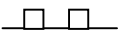
6.2. Anomali Residual

6.2.1 Interpretasi Kualitatif Anomali Residual

Peta ini memperlihatkan pola kontur berorientasi Baratlaut - Tenggara dengan nilai anomali residual antara -2.5 hingga +3.0 mGal. Anomali rendah terletak di bagian Timurlaut dan



Gambar 5. Peta anomali residual

Keterangan: Sesar naik 
Sesar turun 

sebagian tersebar secara lokal di bagian tengah dan tenggara. Anomali tinggi terletak di bagian tengah yang berorientasi Baratlaut - Tenggara dan searah dengan struktur utama di lokasi penelitian yang membatasi anomali tinggi dan rendah di bagian timurlaut. Fluktuasi nilai anomali positif ke negatif terjadi di bagian tengah ke arah baratdaya dan hanya di beberapa tempat yang perubahannya sangat signifikan. Secara umum perubahan nilai anomali yang signifikan dikontrol oleh struktur sesar sedangkan perubahan nilai anomali yang relatif kecil dikontrol oleh struktur lipatan yang terjadi pada batuan sedimen.

6.2.2 Interpretasi Kuantitatif Anomali Residual dan Model Geologi 2D Lintasan AB

Interpretasi kuantitatif anomali residual dilakukan melalui pemodelan ke depan 2D menggunakan Grav2D pada lintasan pengamatan untuk mengetahui model geologi dan kontras densitas bawah permukaan pada lokasi penelitian.

▪ Anomali Residual Lintasan AB

Profil penampang ini berorientasi Baratdaya-Timurlaut. Gambar 5 memperlihatkan perubahan nilai anomali positif dan negatif namun didominasi oleh nilai positif. Perubahan nilai anomali dari positif ke negatif yang signifikan sepanjang penampang disebabkan oleh adanya struktur sesar. Pada sesar turun atau sesar normal perubahan nilai anomali positif ke negatif relatif lebih kecil dibandingkan

dengan perubahan nilai anomali positif ke negatif yang terjadi pada sesar naik seperti yang terlihat di ujung timurlaut penampang lintasan AB. Selain itu, kedalaman batuan dasar juga sangat mempengaruhi nilai anomali di lokasi tersebut. Semakin dangkal batuan dasar di lokasi tersebut maka nilai anomalnya cenderung positif, sebaliknya jika kedalaman batuan dasar di lokasi tersebut dalam maka nilai anomalnya cenderung negatif. Kedalaman batuan granit sebagai batuan dasar pada penampang ini berkisar 100 m hingga 325 m dengan nilai kontras densitas $\Delta\rho = 0.26 \text{ g/cm}^3$. Batuan sedimen yang terekam pada penampang ini dengan nilai kontras densitas berkisar -0.45 g/cm^3 hingga 0.25 g/cm^3 . Sedangkan nilai kontras densitas lapisan lapuk yang menutupinya berkisar -0.60 g/cm^3 .

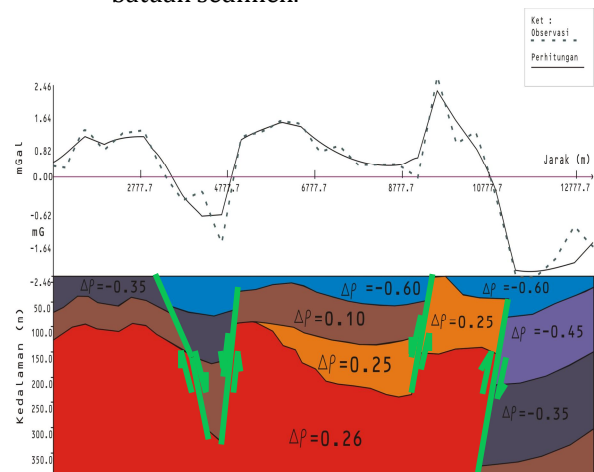
• **Penampang Geologi Lintasan AB**

- Batuan Granit dengan kontras densitas 0.26 g/cm^3 (Gambar 6). Batuan ini tersingkap pada kedalaman top sekitar 100 – 300 m dan tersebar sepanjang penampang yang merupakan batuan dasar.
- Batupasir gampingan disisipi batuserpih dan konglomerat dengan kontras densitas 0.25 g/cm^3 menempati bagian tengah penampang dan berdasarkan penampang memiliki ketebalan sekitar 60 – 100m.
- Batupasir serpihan disisipi lanau dengan densitas 0.10 g/cm^3 . Berdasarkan penampang memiliki ketebalan sekitar 60 – 80 m dan tersebar sepanjang penampang.
- Batulanau serpihan disisipi batupasir dengan kontras desitas -0.35 g/cm^3 . Batuan ini berdasarkan penampang memiliki ketebalan sekitar 60 – 150 m dan tersebar dengan baik di bagian baratdaya dan timurlaut sedangkan di bagian tengah penampang menghilang karena mengalami erosi.
- Perselingan batulempung dengan serpih dan batulanau bersisipan batupasir yang mempunyai kontras densitas -0.45 g/cm^3 . Batuan ini berdasarkan penampang memiliki ketebalan 150 m dan menempati bagian timurlaut.
- Endapan Rawa dengan densitas -0.60 g/cm^3 merupakan hasil pelapukan, sedimentasi sungai, pantai, dan delta yang masih aktif hingga sekarang. Sedimen ini memiliki ketebalan hingga

puluhan meter yang menutupi permukaan sepanjang penampang.

• **Struktur Geologi**

Struktur geologi yang ada pada penampang adalah patahan/sesar turun, sesar naik dan lipatan. Struktur ini disebabkan granit sebagai batuan dasar menerobos batuan sedimen di atasnya sehingga menyebabkan terjadinya patahan dan lipatan. Sesar yang ada di bagian baratdaya penampang adalah sesar turun, di bagian timurlaut sesar turun dan sesar naik. Patahan/sesar naik searah dengan sesar utama Sumatera yaitu arah baratlaut-tenggara di bagian timurlaut lokasi penelitian, yang membatasi anomali tinggi dan rendah. Keberadaan patahan/sesar turun yang bersifat local merupakan dampak sekunder dari sesar utama. Lipatan terjadi di bagian baratdaya dan tengah penampang pada batuan sedimen.



Gambar 6. Penampang Geologi Lintasan AB

7. Kesimpulan Dan Saran

7.1. Kesimpulan

1. Patahan yang terdeteksi adalah patahan naik dan patahan turun. Patahan naik berada di bagian timurlaut sedangkan patahan turun tersebar secara lokal. Orientasi kedua patahan tersebut adalah baratlaut-tenggara,
2. Batuan dasar adalah batuan granit yang menerobos batuan sedimen di atasnya sehingga menyebabkan terjadinya patahan dan lipatan.

7.2. Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan menyeluruh, perlu dilakukan pengukuran metode geofisika selain metode gayaberat.

Daftar Pustaka

- Hadipandoyo, S., 2007., *Kuantifikasi Sumberdaya Hidrokarbon Indonesia.*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi., Lemigas., Jakarta.
- Hamilton, W., 1989, *Convergent Plate Tectonics Viewed from the Indonesian Region*, Geology Indonesia, Vol.12 No.1, Jakarta, pp. 35-88.
- Kadir, Wawan G.A., 1996., *Dekonvolusi Gayaberat Bouguer dan Derivatif Vertikal Orde Dua dengan Menggunakan Persamaan Dasar Potensial, Studi Kasus: P. Sumatera.*, Disertasi Fakultas Pasca Sarjana., ITB.
- Talwani, M., Worzel, J. L. and Ladisman, M., 1959., *Rapid Gravity Computation for Two Dimensional Bodies with Application to The Medicino Submarine Fractures Zone.*, Journal of Geophysics Research., Vol. 64 No.1
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E., 1990., *Applied Geophysics Second Edition.*, Cambridge University Press, New York, United State America.
- Simandjuntak, T.O., 2004., *Tektonika.*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sota, I., 2011, *Penentuan Arah Sedimentasi Berdasarkan Interpretasi Kualitatif Anomali residual*, Prosiding Semirata BKS-PTN B, FMIPA UNLAM, Banjarmasin.
- Sunaryo, 2009, *Prospek Energi Vulkanogeo-thermal Arjuno-Wilerang Berdasarkan Kontras Densitas, Kontras Suseptibilitas dan Data Geokimia*, Jurnal Geofisika HAGI Jakarta, Edisi 2009 No.1, hal 19-28.