

POLA ANOMALI MAGNET LOKAL DARI APLIKASI *TREND SURFACE ANALYSIS* (TSA) PADA PEMETAAN GEOLOGI KELAUTAN BERSISTEM DI PERAIRAN SELAT MALAKA SUMATERA UTARA

Oleh:

D. Ilahude dan B. Rachmat

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuna 236 Bandung

Diterima : 03-02-2011; Disetujui : 13-07-2011

S A R I

Analisis intensitas magnet dari penerapan metode TSA orde ke 2 menunjukkan nilai anomali lokal yang cukup signifikan dari pemisahan nilai anomali magnet total di perairan Selat Malaka. Kontur anomali lokal yang dihasilkan diduga berkaitan dengan pola struktur geologi busur belakang Sumatera Utara.

Kata kunci : anomali lokal, metode TSA

ABSTRACT

Analysis of magnetic intensity using 2nd orde of the TSA method shows a significant value of local anomaly from the separation of total magnetic anomaly value in the Malaka Strait waters. Contour of the local anomaly resulted is assumed to be correlated with the geological structure pattern of back arc of North Sumatera.

Keyword : local anomaly, TSA method

PENDAHULUAN

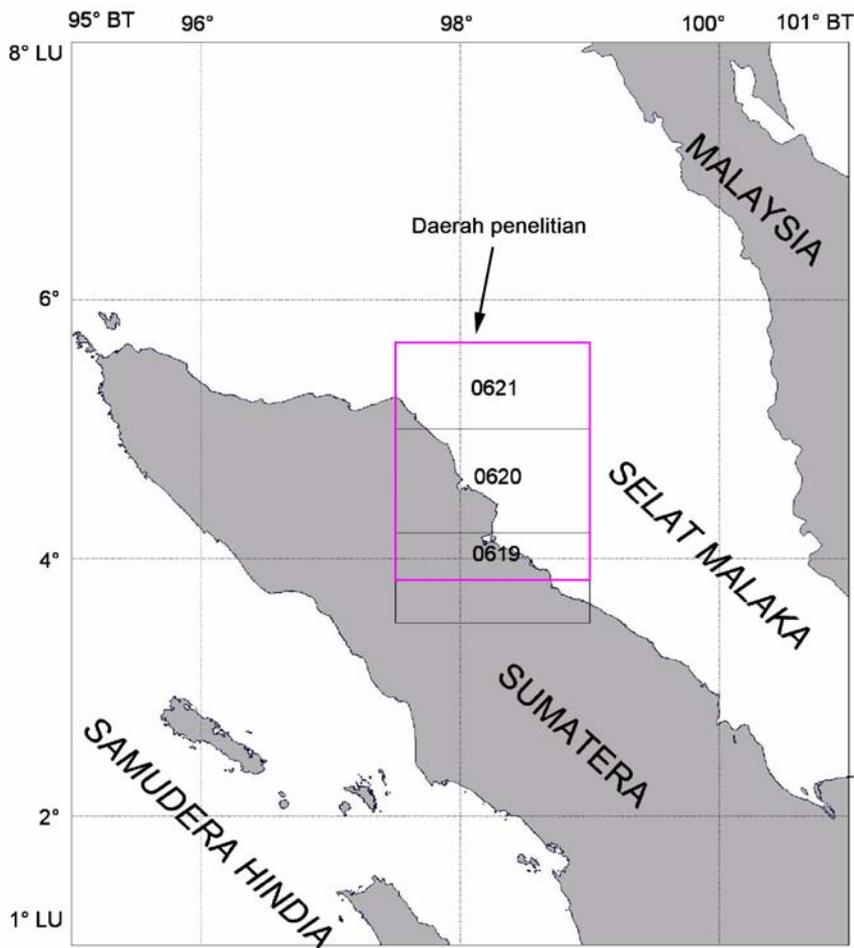
Latar Belakang

Informasi data geofisika khususnya data magnet laut di perairan Selat Malaka dan sekitarnya masih relatif minim, dengan demikian penelitian geofisika khususnya metode magnet di perairan ini diharapkan memberikan kontribusi sebagai data awal untuk mengetahui bentuk anomali magnet di daerah perairan Selat Malaka dan sekitarnya.

Analisis anomali magnet menggunakan metode *Trend Surface Analysis* (TSA) di perairan Selat Malaka ini merupakan pengembangan dari pemetaan geologi dan geofisika secara sistematis yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) tahun 2008 (Rachmat drr.,

2008). Maksud dari penelitian ini untuk mengetahui pola anomali magnet lokal yang dapat menggambarkan tatanan geologi bawah permukaan dasar laut. Lokasi daerah penelitian terletak di Selat Malaka, Sumatera Utara dengan batas koordinat antara 3°00'00" – 6°00'00" LU dan 97°30'00 – 99°00'00" BT (Lembar Peta 0619, 0620 dan 0621) (Gambar 1). Dari peta hidrografi yang telah dipublikasikan menunjukkan bahwa kedalaman laut daerah penelitian antara 20 hingga 120 meter (Dishidros TNI-AL, 2006).

Penerapan metode magnet di perairan tersebut dilakukan bersamaan dengan pengukuran kedalaman laut (pemeruman) secara kontinu dengan menggunakan Kapal Riset Geomarin I milik P3GL dengan mengambil titik pangkal (*base station*) di



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian di Selat Malaka dan sekitarnya, Lembar Peta 0619, 0620 dan 0621 (P3GL, 2008)

Pelabuhan Belawan Medan sebagai awal lintasan survei. Lintasan penelitian diambil arah timurlaut-baratdaya dengan lintasan *crosscheck* dengan arah baratlaut-tenggara.

Prinsip metode magnet berdasarkan pada induksi medan magnet utama bumi dan magnetisasi permanen yang umumnya mempunyai arah dan intensitas yang berbeda serta sebagian termagnetisasi sejak proses kristalisasi batuan (Telford dr., 1974). Oleh sebab itu nilai anomali magnet yang diperoleh merupakan gabungan dari keduanya atau hasil induksi murni. Jika arah medan magnet permanen sama dengan arah induksi medan magnet maka anomali tersebut bertambah besar demikian juga sebaliknya.

Pengolahan data magnet berdasarkan pada pengukuran intensitas untuk mendapatkan gambaran pola anomali magnetik di daerah penelitian. Dari data tersebut diperoleh posisi

bujur, posisi lintang, dan intensitas medan magnet di daerah tersebut.

Intensitas medan magnet terukur merupakan penjumlahan dari medan magnet utama, variasi medan magnet bumi yang berhubungan dengan variasi kerentanan magnet batuan, medan magnet remanen, dan variasi akibat aktivitas di matahari. Data intensitas medan magnet ini sangat dipengaruhi oleh variasi medan magnet bumi yang berhubungan dengan variasi kerentanan magnet batuan atau yang lebih umum dikenal sebagai anomali magnet lokal. Analisis anomali magnet dalam tulisan ini lebih ditekankan pada bentuk anomali lokal yang dapat menggambarkan pola anomali daerah penelitian dari aplikasi metode TSA orde ke-2 pada penampang anomali total. Metode TSA merupakan salah satu metode polinomial yang merupakan model regresi linear matematik,

berupa koordinat polinomial dalam bentuk x dan y dari pola anomali magnet untuk skala besar. Persamaan polinomial linier dan resultan yang dihasilkan, merupakan representasi grafis dari persamaan matematika (Davis, 1986).

Metode matematis ini digunakan untuk memisahkan data yang direpresentasikan sebagai peta *trend* dan peta anomali lokal. Anomali magnet total merupakan respon dari berbagai sumber anomali yang relatif dalam, sedangkan anomali magnet lokal merupakan respon dari sumber anomali yang relatif dangkal. Dari anomali magnet total dan lokal tersebut diharapkan pola anomali yang dalam maupun yang dangkal bisa lebih terlihat. Dengan menerapkan metode tersebut maka anomali lokal yang dihasilkan dapat melengkapi data dalam beberapa penafsiran yang menggambarkan tatanan geologi daerah penelitian.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah memetakan pola anomali magnet total di Selat Malaka serta mengaplikasikan metode TSA yang dapat memperjelas bentuk anomali total yang diperoleh di sepanjang lintasan. Penerapan metode ini dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran pola anomali lokal yang direduksi dari anomali total dan regional, yang mungkin berhubungan dengan pola struktur geologi bawah permukaan.

Geologi Selat Malaka

Berdasarkan http://en.wikibooks.org/wiki/The_Geology_of_Indonesia/Sumatra, batas geografis di bagian baratdaya Cekungan Sumatra Utara sekarang ini tidak sesuai dengan batas pengendapan sedimen Tersier. Batas sebenarnya pengendapan lebih luas ke arah baratdaya dibandingkan dengan pengangkatan Pegunungan Barisan baru-baru ini. Pengamatan ini didukung oleh bukti-bukti dari sinkapan Serpih Baong di tengah-tengah pegunungan dan juga kehadirannya di *Interdeep* Sumatra bagian baratdaya. Batas bagian timur dan tenggara cekungan terbentuk oleh tinggian asahan atau Dataran Tebing Tinggi (Gambar 2), dalam skala waktu Tersier perluasan cekungan berkembang di Sumatera tengah dan selatan. Batas pada dasar cekungan ditandai oleh suatu lipatan berarah utara-selatan mengarah ke bagian timur Medan. Batas struktur cekungan bagian barat daya saat ini memanjang sepanjang Pegunungan Barisan, dipisahkan oleh satu atau lebih patahan kompresional dalam daerah yang sempit antara lipatan Medan dan bagian depan Pegunungan Barisan

Bagian selatan Selat Malaka didominasi oleh punggung-punggung kecil berarah timurlaut-baratdaya dan alur sungai lebar (*broad channels*) yang sejajar sepanjang pantai (Kudrass & Schlueter, 1983). Punggung-punggung ini muncul 10 - 30 m di atas dasar laut dan beberapa tempat kurang dari 10 m dan menerus hingga ke arah timurlaut. Morfologi dasar laut bagian tengah Selat Malaka lebih halus (*smooth*) dan banyak dijumpai nodul iderit (Emery dr., 1971). Menurut Caughey dan Wahyudi (1993), umumnya morfologi dasar laut Selat Malaka banyak terbentuk oleh struktur sedimen antara lain *sand waves*, *ripples* (gelembur) dengan tinggi 0,2 - 5 m dan *linear furrows* dengan lebar 15 m

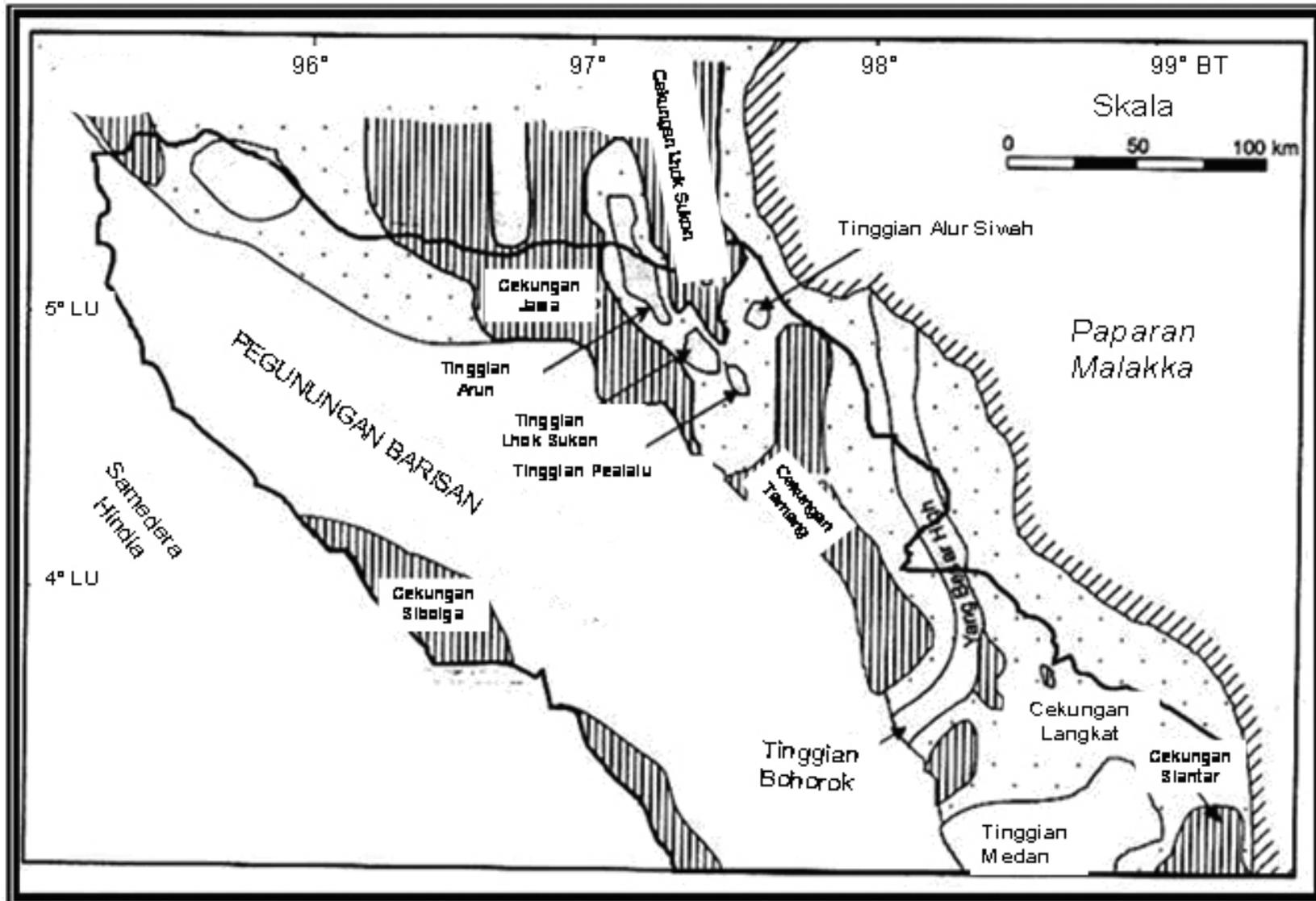
yang mempunyai arah sejajar dengan punggung dan sumbu Selat Malaka. Secara stratigrafi, batuan tertua di Selat Malaka adalah sekuen *arenaceous* dan *argillaceous* metamorfik berumur Devon hingga Karbon, batupasir dan perlapisan serpih berumur Trias - Jura serta intrusi granit. Formasi yang berumur Paleozoik tersingkap di Port Dickson dan Malaka. Sedimen berumur Mesozoik lebih banyak dijumpai di selatan Selat Malaka. Sedimen berumur Tersier dan Kuartar terdapat di sepanjang pantai Sumatera dengan ketebalan mencapai 300 m (Cekungan Sumatra Tengah), dan sedimen Tersier ini menipis ke arah tengah Selat Malaka (Gambar 3).

Sedimen Kuartar terdiri dari sedimenter tua berupa pasir lempungan masif asal darat, kompleks aluvial berupa pasir lempungan yang diendapkan di cekungan dalam (*deep channels*) dan sedimenter muda berupa lumpur laut (Aleva, 1973). Kompleks aluvial dan bagian atas sedimenter tua dipisahkan oleh suatu ketidakselarasan, sedangkan bagian bawah dan atas dari sedimenter muda juga terpisah oleh suatu *disconformity*.

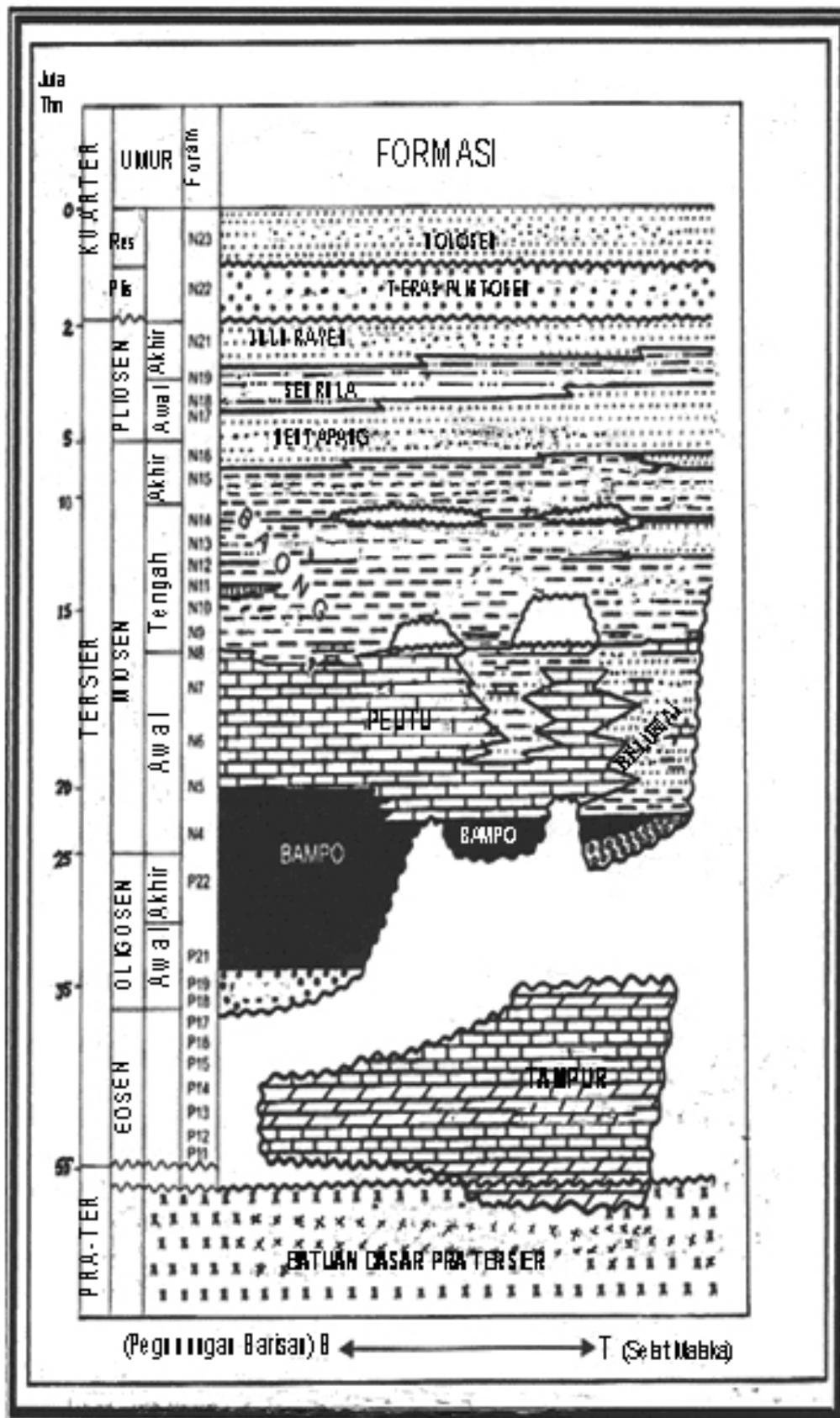
METODE

Data intensitas magnet di laut diperoleh dengan menggunakan alat magnet laut yang terdiri dari satu unit magnetometer *SeaSpy* dengan perangkat lunak *SeaLink*. Perangkat sensor magnet ini ditarik di belakang kapal pada jarak tiga kali panjang kapal, sedangkan data kedalaman laut diperoleh dengan menggunakan alat gema suara (*echo-sounder*) model *Reson 420DS Navisound* sepanjang lintasan kapal. Sensor (*transducer*) alat ini ditempatkan di bagian kiri lambung kapal dengan posisi tenggelam (*draft*) 1.5 meter dari permukaan laut. Kedua alat ini dioperasikan secara bersamaan dengan kecepatan jelajah kapal rata-rata 5 knot. Untuk menentukan posisi pengambilan data di lapangan, digunakan sistem satelit navigasi terpadu dengan menggunakan satelit *DGPS Receiver Model C-Nav*. Data ini diterima setiap dua detik dan diproses secara digital menggunakan fasilitas program *Hypack Software*.

Untuk mendapatkan nilai anomali magnet maka dilakukan reduksi efek intensitas magnetik yang ditimbulkan oleh medan magnet bumi. Besarnya intensitas magnetik terukur (M-



Gambar 2. Peta Tektonik Cekungan Sumatra Utara (http://en.wikibooks.org/wiki/The_Geology_of_Indonesia/Sumatra/2011)



Gambar 3. Stratigrafi Regional Cekungan Sumatera Utara (Caughey dan Wahyudi, 1993)

obs) dikoreksi terhadap datum kemagnetan global (*International Geomagnetic Reference Field / IGRF*, tahun 2007) dan intensitas magnet variasi harian (vh), sehingga diperoleh nilai anomali magnet total dalam satuan nano Tesla (nT).

Anomali magnet total merupakan gabungan dari anomali magnet regional dan lokal, sehingga untuk mengetahui anomali lokal, dilakukan pemisahan terhadap anomali regional dan anomali total. Menurut Telford drr (1990), besarnya intensitas magnet total disekitar batuan yang termagnetisasi diformulasikan sebagai berikut :

$$\Delta M = M_{obs} - M_{IGRF} \pm M_{VH} \dots\dots\dots (1)$$

- ΔM = anomali magnet total
- M_{obs} = intensitas magnet total yang terukur
- M_{IGRF} = intensitas magnet teoritis berdasarkan IGRF pada stasiun M_{obs}
- M_{VH} = intensitas magnet akibat variasi harian

Dari data anomali magnet total dilakukan perhitungan dalam bentuk matrik untuk mendapatkan anomali magnet regional dengan menggunakan metode *Trend Surface Analysis* (TSA) orde ke-2 yang diformulasikan oleh

Krumbein (1963) dengan bilangan *polynomial* sebagai berikut :

$$f(x_i, y_i) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \dots\dots\dots (2)$$

- $f(x_i, y_i)$ = fungsi anomali regional
 - b = konstanta polinomial
 - x_i = koordinat pada sumbu x di setiap titik pengamatan
 - y_i = koordinat pada sumbu y di setiap titik pengamatan
 - n = orde
- sementara nilai anomali lokal (L) diperoleh dari persamaan matematis sebagai berikut :

$$L = M - f(x_i, y_i) \dots\dots\dots (3)$$

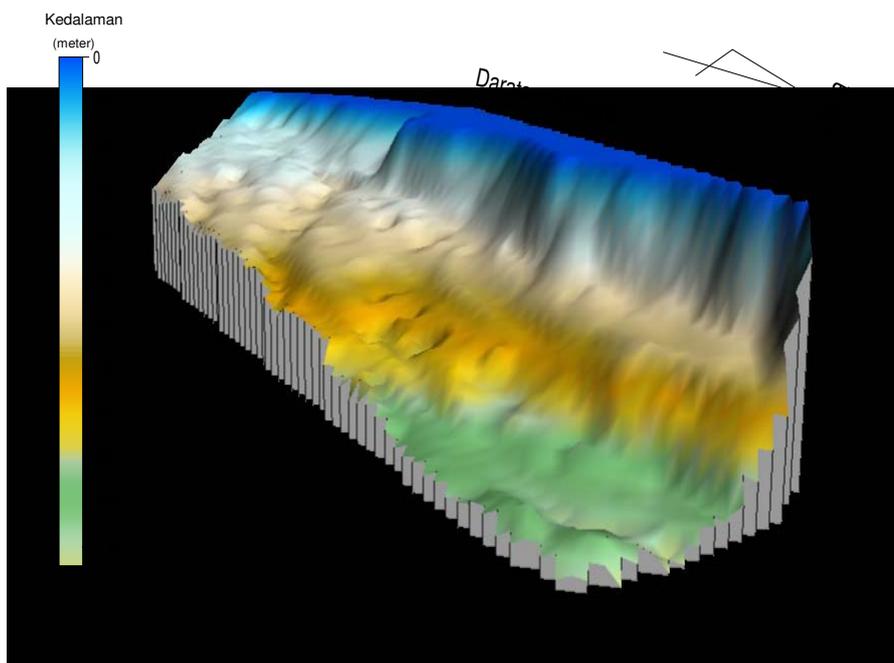
- L = anomali lokal
- M = nilai anomali magnet total
- $f(x_i, y_i)$ = anomali regional

Nilai anomali magnet total dan lokal diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer 8* untuk memperoleh peta kontur anomali magnetnya. Dari hasil anomali magnet tersebut dibuat kontur, untuk melihat pola (*trend*) anomali magnet yang berada di perairan Selat Malaka dan sekitarnya.

PEMBAHASAN

Morfologi Dasar Laut

Kondisi dasar laut daerah penelitian umumnya bergelombang terjal dengan kedalaman laut semakin bertambah ke arah timur dan timur laut (Gambar 4). Di bagian selatan daerah penelitian kedalaman laut berkisar antara 20 m sampai 60 m membentuk morfologi dasar laut yang relatif landai, sedangkan di bagian utara kedalaman laut berkisar antara 20 sampai 110 m membentuk morfologi dasar laut yang agak curam memanjang



Gambar 4. Morfologi dasar laut Selat Malaka

dengan arah utara-selatan. Morfologi dasar laut tersebut mencerminkan tatanan geologi bawah permukaan dasar laut yang diduga berkaitan dengan proses pembentukan busur belakang Sumatera Utara. Kontras perubahan perairan dangkal ke perairan dalam ditandai dengan warna biru hingga warna hijau (Gambar 4). Dari morfologi dasar laut menunjukkan adanya lembah dan undulasi dasar laut di bagian tengah hingga ke bagian selatan daerah telitian yang menyerupai parit yang mengarah ke timurlaut (lepas pantai).

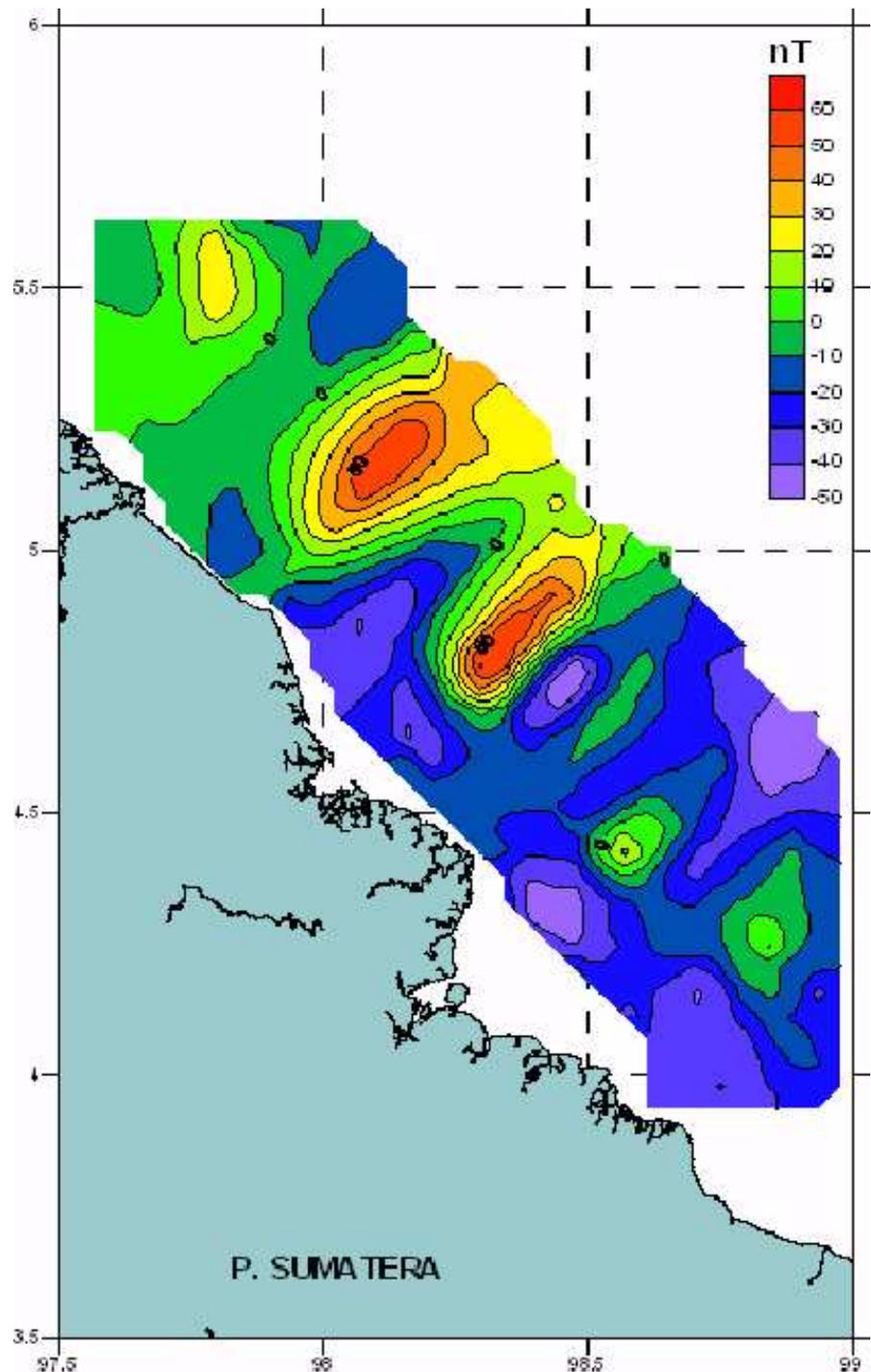
Anomali Magnet Total

Data pengukuran hasil lapangan merupakan data intensitas magnet total yang masih dipengaruhi oleh komponen medan magnet luar. Pengaruh ini antara lain disebabkan oleh medan magnet yang berasal dari pergerakan bulan dan kondisi temperatur bumi. Sehingga data intensitas magnet yang diperoleh harus dikoreksi terhadap *IGRF* dan fluktuasi medan magnet variasi harian (*vh*).

Dari hasil perhitungan data intensitas magnet tersebut, diperoleh nilai anomali magnet totalnya yaitu antara -53 nT sampai dengan 70 nT. Secara garis besar anomali magnet relatif tinggi terdapat di bagian barat laut dan di bagian tengah daerah penelitian, sedangkan anomali relatif rendah terdapat di bagian tenggara hingga ke timur daerah penelitian dan sebagian tersebar di bagian barat laut (Gambar 5). Peta kontur anomali magnet total yang

diperoleh merupakan resultante dari komponen intensitas magnet yang diduga berkaitan dengan batuan yang mempunyai sifat kerentanan magnet (*susceptibilitas*) magnet yang tinggi maupun rendah.

Distribusi anomali magnet total ini dibagi dalam 3 kelompok warna, yaitu warna merah (anomali positif) mulai dari nilai 25 sampai



Gambar 5. Peta kontur anomali magnet total di perairan Selat Malaka dan sekitarnya

dengan 70 nT, warna kuning antara -15 hingga + 25 nT, warna biru (anomali negatif) antara -15 hingga - 50 nT. Dari hasil analisis intensitas magnet, terdapat anomali positif relatif tinggi (70 nT) yang berada di sebelah barat laut dan tengah daerah penelitian yang ditandai dengan notasi merah. Anomali ini diduga merupakan bagian dari tinggian Bohorok yang dapat dikorelasikan dengan morfologi dasar laut di bagian barat laut (notasi hijau kekuningan). Sementara di bagian tengah hingga ke arah tenggara daerah penelitian sebagian besar didominasi oleh anomali negatif (notasi biru) dengan nilai mencapai - 50 nT. Anomali negatif ini tersebar di bagian tengah hingga ke bagian tenggara membentuk bulatan besar yang menggambarkan *susceptibilitas* yang rendah yang diduga berupa batuan sedimen. Dari kontur anomali magnet total tersebut terlihat adanya pola anomali positif (+50 nT) dan negatif (-50 nT) saling berhimpitan di bagian tengah daerah penelitian yang diduga merupakan struktur cekungan yang berada pada lapisan yang dalam.

Anomali Magnet Lokal

Anomali magnet lokal diperoleh dari selisih antara anomali magnet total dengan anomali magnet regional. Secara umum pola anomali lokal ini memperlihatkan nilai anomali positif dan negatif yang disebabkan oleh kedudukan batuan dasar yang dangkal. Dari hasil analisis ini nilai anomali magnet lokal yang diperoleh berkisar antara -11 nT sampai dengan 12 nT dengan pola kontur tertutup yang bernilai positif maupun negatif. Anomali magnet lokal dibagi menjadi 3 kelompok yaitu kelompok anomali magnet rendah -4 nT sampai dengan -12 nT (warna biru), kelompok anomali sedang antara - 4 nT sampai dengan 4 nT (hijau-kuning) dan kelompok anomali tinggi antara +4 nT sampai dengan +12 nT (merah) (Gambar 6).

Pola sebaran anomali magnet lokal khususnya di bagian tenggara daerah penelitian, anomali negatif dan positif diperkirakan berasosiasi dengan proses pembentukan busur belakang Sumatera Utara yang ditandai dengan morfologi cekungan dan tinggian. Anomali negatif (notasi biru) di bagian tenggara daerah penelitian di diduga merupakan bagian dari Cekungan Langkat (Langkat Sub-Basin). Sementara anomali positif (notasi merah) diduga merupakan bagian dari tinggian Bohorok yang

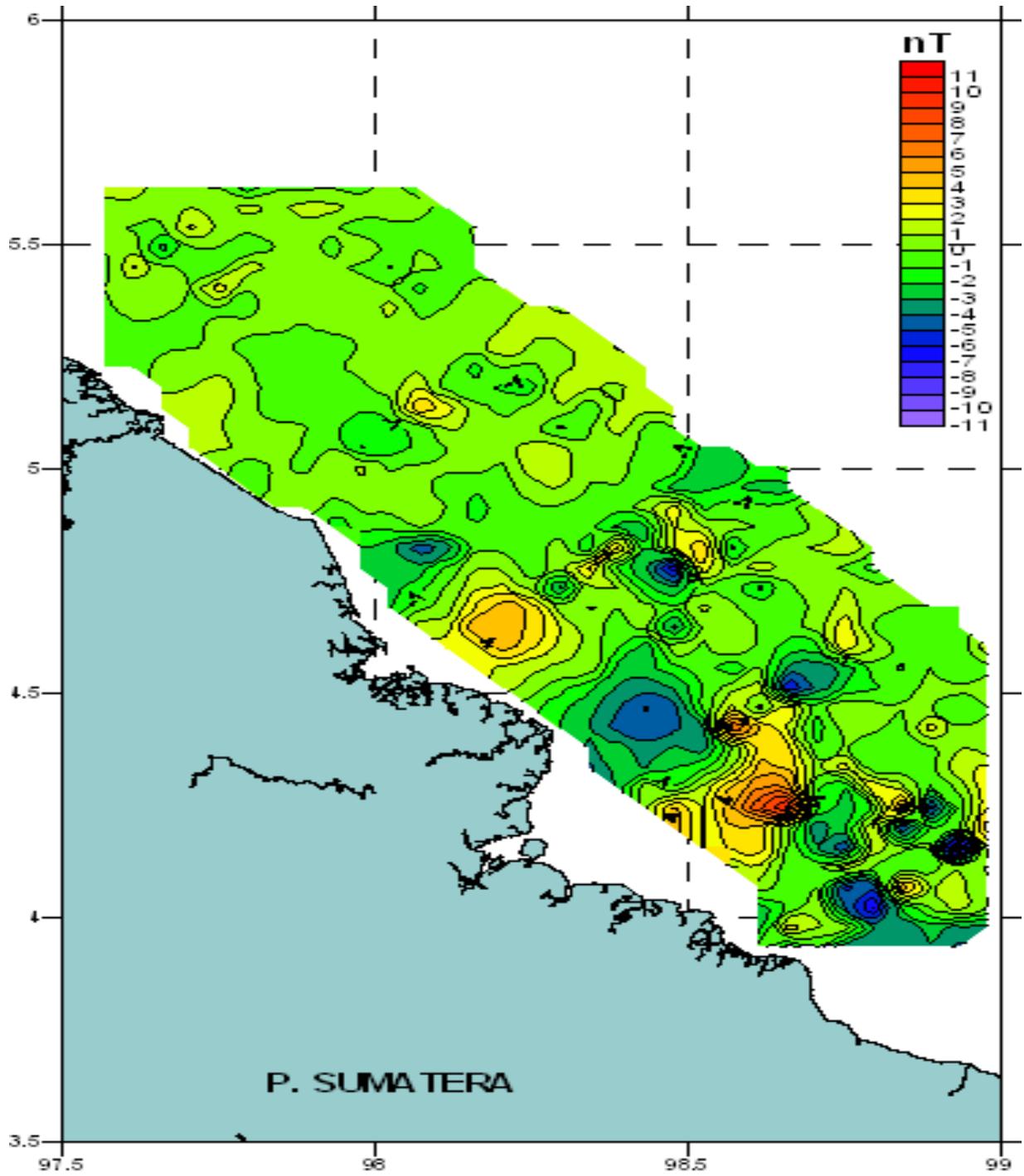
terlihat di bagian tenggara daerah penelitian. Beberapa anomali positif (notasi kuning dan merah) menempati daerah bagian tenggara dan tengah dengan bulatan kecil hingga besar. Kemunculan kontur anomali positif di bagian tengah dan tenggara daerah penelitian ini hampir mirip dengan bentuk morfologi dasar lautnya (Gambar 4).

Diperkirakan anomali positif yang menempati bagian tengah dan tenggara daerah penelitian berkaitan dengan efek polarisasi dari batuan bersifat magnetik yang mengalami deformasi akibat proses tektonik di daerah tersebut. Sementara anomali negatif dengan notasi warna biru yang menempati bagian tenggara, ditafsir sebagai bagian dari struktur cekungan busur belakang Sumatera Utara yang terdiri dari batuan sedimen. Nilai anomali negatif dengan notasi warna hijau hingga biru yang membentuk bulatan kecil di bagian tenggara dan timurlaut, diduga merupakan batuan yang mempunyai *susceptibilitas* yang rendah yaitu berupa batuan sedimen. Kemungkinan lain adalah sifat kemagnetan yang relatif rendah tersebut disebabkan oleh batuan beku yang bersifat asam atau batuan malihan yang mempunyai *susceptibilitas* yang sedang hingga rendah.

Dari bentuk morfologi dasar laut tersebut terlihat bahwa daerah yang mempunyai anomali negatif (biru) berada pada cekungan morfologi bagian tenggara daerah penelitian, sedangkan anomali menengah (warna kuning kehijauan) cenderung menempati bagian barat laut daerah penelitian. Jika dikaitkan dengan peta tektonik Cekungan Sumatera Utara maka diduga anomali ini merupakan representasi dari bentuk morfologi dasar laut kawasan barat laut daerah penelitian. Dari penerapan metode TSA tersebut, pola anomali magnet lokal mencerminkan pola kemagnetan dari batuan dasar yang mengalami imbasan magnet yang berkaitan dengan pembentukan busur belakang Sumatera Utara yaitu berupa morfologi cekungan dan tinggian yang berada di Selat Malaka.

KESIMPULAN

Nilai anomali negatif dengan notasi warna hijau yang menempati sebagian besar daerah penelitian, diduga merupakan batuan sedimen yang mendominasi daerah tersebut. Di bagian



Gambar 6. Anomali magnet lokal

tenggara daerah penelitian ditempati oleh anomali negatif dengan notasi warna biru yang diperkirakan bagian dari cekungan busur belakang Sumatera Utara.

Anomali lokal ini memisahkan sumber penyebab anomali yang berada pada lapisan yang dalam, sedangkan anomali magnet total memperlihatkan nilai yang tinggi dengan dimensi yang besar. Aplikasi metode TSA menghasilkan bentuk anomali magnet yang cukup signifikan yang diduga berkaitan dengan tataan struktur geologi bawah permukaan dasar laut.

ACUAN

- Aleva, G. J. J., 1973. Aspects of the historical and physical geology of the Sunda Shelf, essential to the exploration of submarine tin placers. *Geologie en Mijnbouw*, 52, 79-91.
- Caughey, C.A. & Wahyudi, T., 1993. Gas reservoirs in the Lower Miocene Peutu Formation, Aceh Timur, Sumatra, *Proc. 22nd Ann. Conv. IPA*, pp 191-218.
- Davis, G.V., 1986. *Numerical Methods in Engineering and Science*, London, Proc. Conf. p. 213.
- Dishidros, TNI-AL, 2006. *Peta Hidrografi Lembar Sumatera Utara, Skala 1 : 50.000*, Jakarta.
- Emery, K. O., Uchupi, E., Sunderland, J., Uktolseja, H.L., and Young, E.M., 1971. Geological structure and some water characteristics of the Java Sea and adjacent continental shelf, *CCOP Technical Bulletin*, vol. 6, p. 197-223.
- Krumbein, W.C., 1963. Confidence intervals on low-order polynomial trend surfaces, *Journal Geophysical Research*, 68, 5869-5878.
- Kudrass, H.R., & Schlueter, H.U., 1983. Report on geophysical and geological offshore surveys in the Malacca Strait, Exploration for offshore placers and construction material, *Proc. CCOP*, Bangkok, 115-154.
- Rachmat, B., Saputro, E., Sinaga, A., Subarsyah, Ilahude, D., Rahardiawan, R., Purwanto, C., Silalahi, I., Makmur, A., dan Sutisna, N., 2008. *Pemetaan geologi dan potensi energi dan sumber daya mineral bersistem Lembar Peta 0619, 0620 dan 0621 Langsa*, perairan Selat Malaka NAD dan Sumatera Utara, Laporan intern Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung (Tidak dipublikasikan).
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R.E. Keys, D.A., 1974. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London-New York-Melbourne.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge, Second Edition.
- http://en.wikibooks.org/wiki/The_Geology_of_Indonesia/Sumatra/2011