

# SISTEM PERHITUNGAN INDEKS-K MULTI STASIUN BERBASIS KOMPUTER KLASTER

**Harry Bangkit dan L. M. Musafar K**  
Peneliti Pusat Sains Antariksa-LAPAN  
*e-mail : bangkit@bdg.lapan.go.id.*

**Abstrak.** Indeks-K menyatakan besar gangguan pada komponen horisontal medan geomagnet saat terjadi badai magnet yang diekstrak dari data rekaman magnetometer lokal. Salah satu manfaat indeks-K berguna bagi operator telekomunikasi radio HF yang memanfaatkan lapisan ionosfer dimana dapat mengalami gangguan saat terjadi badai magnet. Sistem akuisisi data geomagnet near real-time telah berjalan di Balai atau Loka Pengamat Dirgantara yang tersebar di wilayah Nusantara. Metoda perhitungan indeks-K semakin akurat dan kompleks. Oleh karena itu, untuk memberikan informasi indeks-K dari beberapa stasiun secara near real-time perlu ditingkatkan kecepatan proses perhitungan. Dalam makalah ini akan dibahas teknik peningkatan kecepatan perhitungan indeks-K untuk multi stasiun, dimana metoda perhitungan indeks-K terdahulu dikembangkan untuk menghitung indeks-K multi stasiun, dan dibangun sebuah komputer klaster untuk menjalankan komputasinya. Proses perhitungan indeks-K multi stasiun pada komputer klaster menunjukkan waktu penyelesaian lima kali lebih cepat dibanding pada komputer standalone. Noise data sangat menentukan lamanya waktu penyelesaian dan kualitas hasil perhitungan.

**Kata Kunci :** Beowulf Cluster, PelicanHPC, Komputer Klaster, Data Geomagnet, Indeks-K

**Abstract.** Index-K expressed great disturbance in the horizontal component of geomagnetic field during magnetic storms that are extracted from the local magnetometer data tape. One of the benefits of index-K useful for HF radio operators who utilize a layer of ionosphere which can be susceptible to interference during magnetic storms. Geomagnetic data acquisition system near real-time has been running in the hall or Loka Observer Aerospace scattered archipelago. K-index calculation method more accurate and complex. Therefore, to give-K index information from several stations in near real-time rate calculation process needs to be improved. This paper will discuss techniques used to increase the speed of index calculation for multi-station K, where K-index calculation method developed earlier to calculate index-K multi-station, and built a computer cluster to run computing. K index calculation process multi-station on a computer cluster show completion time five times faster than on a standalone computer. Noise data is menentukan length of completion time and quality of results perhitungan.

**Keywords:** Beowulf Cluster, PelicanHPC, Computer Cluster, geomagnetic data, index-K

## 1. Pendahuluan

Indeks-K menyatakan besar gangguan medan geomagnet lokal saat terjadi badai magnet. Nilai indeks-K diturunkan dari fluktuasi maksimum komponen horisontal

medan magnet hasil pengukuran magnetometer untuk tiap rentang waktu 3 jam. Musafar, et al., 2011, telah mengembangkan metode penentuan variasi hari tenang medan magnet berbasis informasi bilangan bintik matahari untuk penentuan indeks gangguan geomagnet lokal yang lebih akurat secara near real-time. Informasi indeks-K berguna bagi operator telekomunikasi HF yang memanfaatkan lapisan ionosfer sebagai media propagasi gelombang dimana dapat mengalami gangguan saat terjadi badai magnet. Manfaat lain dari penelitian ini memberikan koreksi dalam survei dan pemetaan geomagnet.

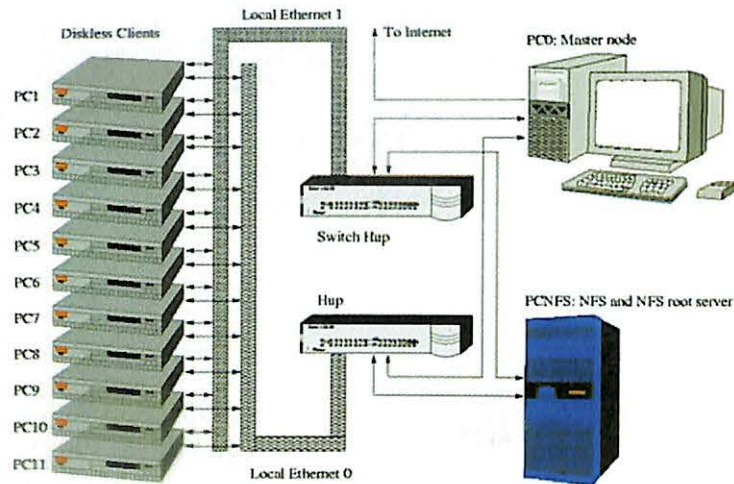
Saat ini penggunaan komputer untuk menyelesaikan masalah sudah merasuk ke segala bidang. Hal ini karena komputasi dianggap lebih cepat dibandingkan dengan penyelesaian masalah secara manual. Seiring dengan hal tersebut, semakin dituntut proses komputasi yang semakin cepat. Untuk meningkatkan kecepatan proses komputasi, dapat ditempuh dua cara yaitu: peningkatan kecepatan perangkat keras, dan peningkatan kecepatan perangkat lunak.

Komputer kluster adalah kumpulan dari beberapa komputer tunggal dengan kinerja rendah menjadi satu kesatuan dengan kinerja yang tinggi, dan komputer kluster biasa disebut sebagai super komputer. Komponen kluster biasanya saling terhubung dengan cepat melalui sebuah interkoneksi yang sangat cepat, atau bisa juga melalui jaringan lokal (LAN). Beberapa perangkat lunak *Middleware*, seperti *Message Passing Interface* (MPI), mengizinkan program komputasi berjalan di dalam kluster-kluster tersebut.

Saat ini Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah memiliki sistem observasi geomagnet near real-time di sebelas lokasi yang tersebar di Indonesia. Metoda perhitungan indeks gangguan geomagnet semakin akurat dan kompleks. Oleh karena itu, untuk memberikan informasi aktivitas gangguan geomagnet dari seluruh stasiun secara near real-time perlu ditingkatkan kecepatan proses komputasi, yang dapat ditempuh dengan dua cara yaitu: peningkatan kecepatan perangkat keras, dan peningkatan kecepatan perangkat lunak. Makalah ini membahas pembangunan komputer kluster dan pengembangan komputasi perhitungan indeks-K multi stasiun. Keseluruhannya ini disebut "Sistem Perhitungan Indeks-K Multi Stasiun Berbasis Komputer Kluster".

## 2. Data dan Metode

Pembangunan komputer kluster dilakukan dengan metoda *Beowulf Cluster*, dimana penggunaan utama komputer kluster ini adalah untuk tujuan komputasi. Tugas komputasi membutuhkan komunikasi yang sering antar node, ini berarti bahwa kluster tersebut menggunakan sebuah jaringan terdedikasi yang sama, yang terletak di lokasi yang sangat berdekatan, dan juga merupakan node-node yang bersifat homogen. Secara umum konfigurasi perangkat keras *Beowulf Cluster* adalah seperti Gambar 2-1.

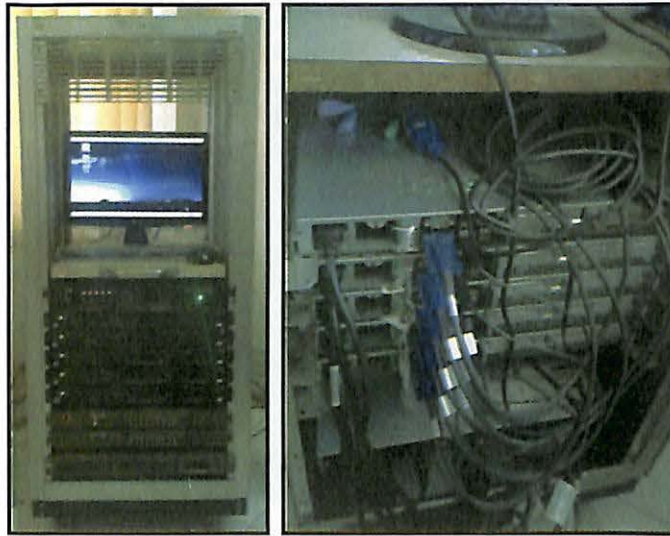


Gambar 2-1. Konfigurasi umum perangkat keras *Beowulf Cluster*. User menjalankan komputer klaster melalui *master node* atau *frontend node*. NFS root server digunakan *Clients node* untuk *booting* dan *sharing resource*.

Selanjutnya untuk melakukan perhitungan indeks-K beberapa stasiun secara simultan telah dikembangkan teknik komputasi paralel yang ditulis dalam bahasa Matlab. Perhitungan indeks-K beberapa stasiun diujicobakan pada komputer klaster dengan data bulan Februari 2010. Alasannya pada bulan tersebut data geomagnet terekam hampir di semua stasiun pengamatan geomagnet.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Komputer klaster dibangun dengan menggunakan PelicanHPC. Pelican *High Performance Computing* (HPC) adalah distro linux untuk membangun sebuah komputer klaster untuk melakukan komputasi paralel layaknya sebuah super komputer. Teknologi komputasi paralel yang digunakan adalah *Message passing Interface* (MPI). Konfigurasi komputer klaster ini terdiri atas satu buah *frontend node* dan empat buah *clients node*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1. Konfigurasi komputer kluster, terdiri atas satu buah *frontend node* dan empat buah *clients node*. Node-node terdiri dari komputer sejenis dan homogen. PelicanHPC digunakan untuk membangun komputer kluster ini.

Pelican HPC dijalankan pada komputer yang dijadikan *frontend node* (gambar 3-2.a), sedangkan *clients nodes* di-booting melalui jaringan (gambar 3-2.b). Pelican HPC memungkinkan untuk memiliki *clients node* tanpa harddisk (diskless clients). *Frontend node* menyediakan resources untuk clients melakukan booting melalui jaringan, sehingga tidak dibutuhkan lagi *Network File System* (NFS) server.



(a)



(b)

Gambar 3-2. Tampilan awal PelicanHPC pada *frontend node* (a) dan tampilan pada masing-masing *clients node* (b). PelicanHPC menyediakan resources untuk *clients node* melakukan booting melalui *frontend node*.



Komputer kluster yang telah dibangun memiliki kecepatan 1.79 GFLOPS (Giga FLOPS) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-3. FLOPS adalah singkatan dari Floating point Operations Per Second yang merujuk pada satuan untuk jumlah perhitungan yang dapat dilakukan oleh komputer terhadap bilangan pecahan (floating point) tiap satu satuan waktu.

```

HPC Test -----
Quantity of processors = 1
Calculation time      = 5.02 sec
Cluster speed         = 358 MFL
-----
Cluster node N00 speed = 358 MFL
-----
user@pell:~$ _

HPC Test -----
Quantity of processors = 5
Calculation time      = 1.01 seconds
Cluster speed         = 1790 MFLOPS
-----
Cluster node N00 speed = 358 MFLOPS
Cluster node N01 speed = 398 MFLOPS
Cluster node N02 speed = 398 MFLOPS
Cluster node N03 speed = 358 MFLOPS
Cluster node N04 speed = 358 MFLOPS
-----
user@pell:~$ _

```

(a)

(b)

Gambar 3-3. HPC test menunjukkan komputer kluster dengan lima buah node ini memiliki kecepatan 1790 MFLOPS (b). Sementara jika dengan satu buah node kecepatannya hanya 358 MFLOPS (a), artinya peningkatan kecepatan kluster berbanding lurus dengan penambahan node.

Metode perhitungan indeks-K near real-time oleh Musafar, et al., 2011, selanjutnya dikembangkan untuk perhitungan indeks-K multi stasiun yang berjalan simultan pada komputer kluster. Reprogramming dilakukan untuk kebutuhan komputasi paralel yang ditulis dalam bahasa Matlab, seperti yang yang ditunjukkan pada Gambar 3-4.

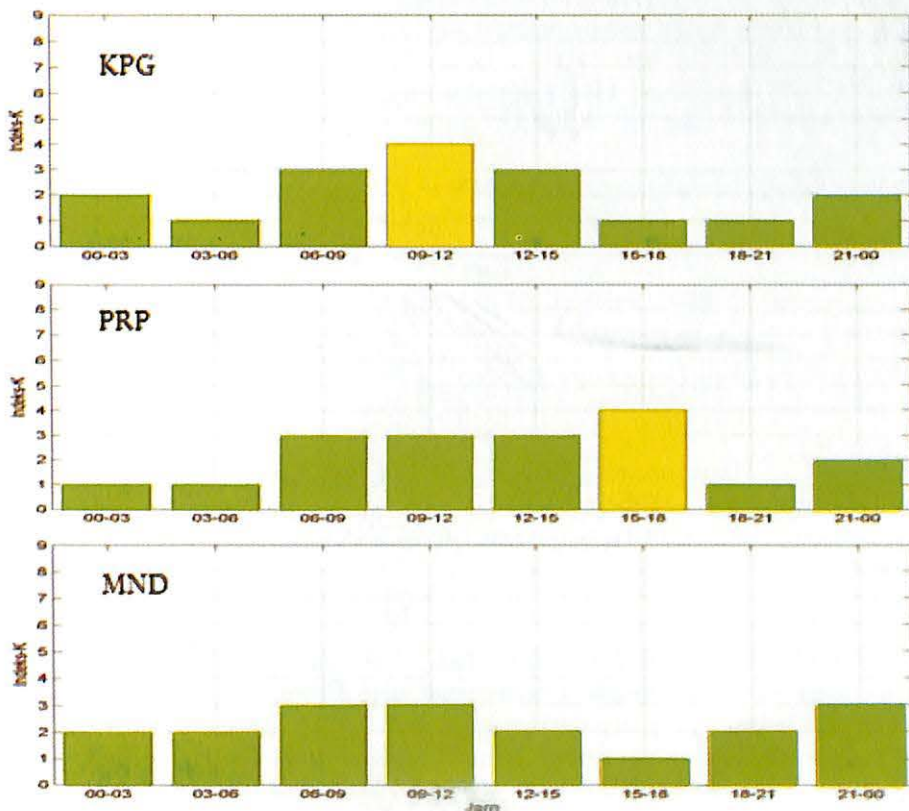
```

calc_disturbance      m
calc_indeks_k         m
calc_indeks_k_tabel   m
convert_magdas_2ascii m
dekomposisi_geomagnet_1day m
geomag_convert_ut_to_lt m
geomag_extract_data_merit_lt m
hitung_indeks_k       m
plot_gangguan         m
plot_kindeks          m
write_Squtestday      m

```

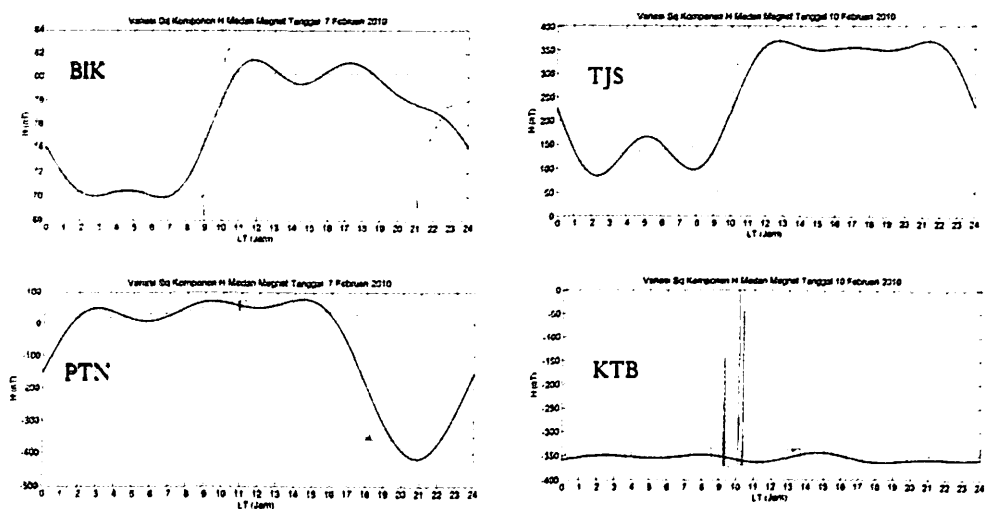
Gambar 3-4. *Reprogramming* skrip-skrip program perhitungan indek-K untuk kebutuhan komputasi paralel yang ditulis dalam bahasa Matlab

Komputasi perhitungan indeks-K pada komputer kluster dilakukan dengan aplikasi *GNU Octave*. *GNU Octave* adalah bahasa tingkat tinggi yang ditujukan untuk perhitungan numerik yang didukung kemampuan visualisasi grafis yang tinggi. Bahasa *Octave* sangat mirip dengan *Matlab* sehingga sebagian besar skrip *Matlab* dapat berjalan dengan baik di sini. Langkah-langkah dalam perhitungan indeks-K multi stasiun pada dasarnya sama dengan perhitungan indeks-K untuk single stasiun, yaitu: pemisahan noise data, konversi data UT ke LT, ekstraksi data menit-an, dekomposisi sinyal, penentuan 5 hari geomagnet paling tenang berbasis FCM sunspot number, menghitung rata-rata variasi hari tenang, menghitung gangguan, merata-ratakan gangguan 3 jam-an, dan menentukan indeks-K. Untuk lengkapnya lihat Musafar., M.Sc. Pengembangan Sistem Perhitungan Near-Real Time Indeks Gangguan Geomagnet Lokal. Laporan Akhir RIK PKPP RISTEK TA. 2011. Contoh hasil akhir perhitungan indeks-K multi stasiun ditunjukkan Gambar 3-5.



Gambar 3-5. Hasil perhitungan indeks-K multi stasiun pada data stasiun Kupang, Parepare, dan Manado tanggal 1 Februari 2010. Data diambil dari rekaman magnetometer MAGDAS yang memiliki noise data rendah.

Gambar 3-5 menunjukkan indeks-K dari tiga stasiun pada tanggal 1 Februari 2010 yang dihitung pada komputer kluster. Perhitungan indeks-K pada komputer kluster menunjukkan waktu penyelesaian lima kali lebih cepat dibanding pada komputer standalone. Data geomagnet ketiga stasiun tersebut direkam oleh magnetometer *Magnetic Data Acquisition System* (MAGDAS), kerjasama antara LAPAN dengan Kyushu University. Magnetometer jenis ini memiliki spesifikasi yang baik dengan noise yang rendah. Namun magnetometer yang ada di stasiun Biak, Tanjungsari, Pontianak, dan Kototabang kualitas datanya sudah menurun, hal ini terlihat dari hasil rekaman datanya banyak mengandung noise dan kadang saturasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6. Data rekaman magnetometer stasiun Biak, Tanjungsari, Pontianak, dan Kototabang pada Februari 2010. Garis merah menunjukkan data rekaman magnetometer. Garis biru menunjukkan variasi hari tenang yang diekstrak dari data tersebut

Pada tahap pemisahan noise data, data yang mengandung noise akan memperlama waktu perhitungan karena iterasi yang dibutuhkan semakin banyak. Hasil ekstrasi hari tenang, yang dibutuhkan untuk perhitungan indeks-K, pun menunjukkan pola yang tidak semestinya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-5. Hal ini akan berdampak pada hasil perhitungan indeks-K yang tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya.

#### 4. Kesimpulan

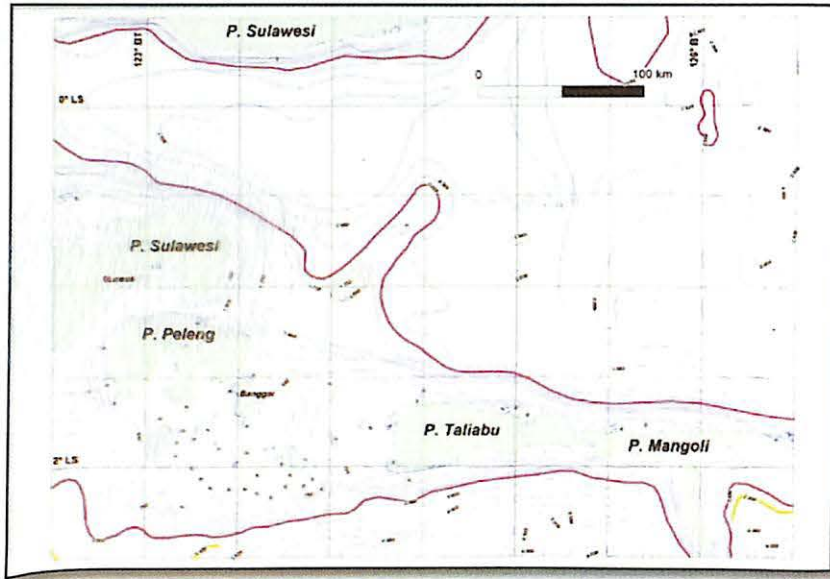
Pembangun komputer kluster berkapasitas lima node, dengan kecepatan 1.79 GFlops, berbasis *Linux* mempunyai manfaat yang sangat besar dalam perhitungan indeks K multi stasiun. Hal ini karena waktu pengolahan datanya lebih cepat walaupun dari berbagai stasiun. Proses perhitungan indeks-K multi stasiun pada komputer kluster menunjukkan waktu penyelesaian lima kali lebih cepat dibanding pada komputer standalone. Selain itu juga telah berhasil dikembangkan teknik perhitungan indeks-K multi stasiun yang berjalan secara simultan. Namun demikian, noise data sangat menentukan lamanya waktu penyelesaian dan kualitas hasil perhitungan.

#### Daftar Rujukan

- Michael Creel. PelicanHPC: A Linux Cluster Distribution for MPI-based Parallel Computing. Department of Economics and Economic History, Edici B, Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès (Barcelona) 08193, Spain.
- L. Muhammad Musafar K., M.Sc, Pengembangan Sistem Perhitungan Near-Real Time Indeks Gangguan Geomagnet Lokal, Laporan Akhir RIK PKPP RISTEK TA. 2011.
- Harry Bangkit, Pembangunan Sistem Layanan Informasi Aktivitas Geomagnet Near Real-Tme, Laporan Akhir RIK LAPAN TA. 2012.
- Thomas Anung Basuki, Komputasi Paralel Sebagai Alternatif Solusi Peningkatan Kinerja Komputasi, INTEGRAL, vol. 6, no. 2, Oktober 2001.
- Beowulf cluster, wikipedia.org, 2011



dimana potensi sumber daya alamnya masih belum diketahui dengan baik karena minimnya data geologi dan geofisika terutama data geomagnet. Peta batimetri perairan Banggai-Sula (Gambar 1-2), menunjukkan bahwa kedalaman laut lebih dari 2000 meter, bahkan di beberapa lokasi mencapai kedalaman lebih dari 4000 meter. Di bagian selatan, terutama di sekitar Pulau-pulau Banggai, Taliabu, Mangoli dan Sulawesi mempunyai kedalaman laut kurang dari 2000 meter.



Gambar 1-2. Peta batimetri perairan Banggai Sula (Susilohadi, 2010)

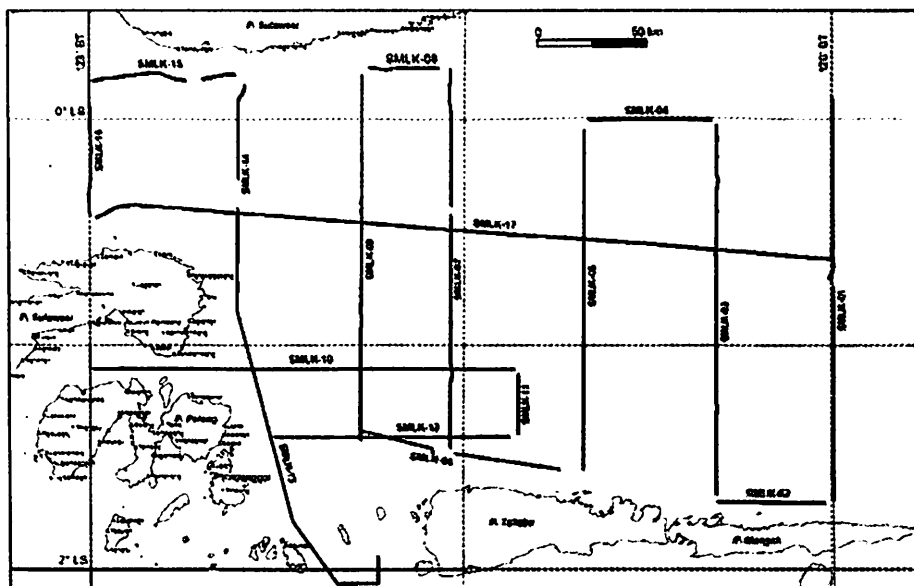
Data hasil pengukuran geomagnet di sepanjang lintasan daerah pemetaan adalah merupakan nilai magnet total yang disebut sebagai Intensitas Magnet Total Observasi. Untuk mendapatkan nilai anomali intensitas magnet total (F.Tot) maka dilakukan koreksi terhadap medan geomagnet utama yaitu *IGRF (International Geomagnetic Reference Field)* dan variasi harian (VH). Nilai variasi harian untuk daerah pemetaan ini diperoleh dari stasion geomagnet LAPAN yang ada di Manado (2010). Adapun tujuan penelitian ini adalah mengetahui pola anomali intensitas magnet total di perairan banggai-sula maluku utara.

## 2. Data dan Metode

Metode yang digunakan adalah geomagnet laut dengan menggunakan alat magnetometer *SeaSpy* dengan perangkat lunak *SeaLink*. Posisi kapal dan pengukuran geomagnet ditentukan dengan menggunakan Sistem *DGPS (Differential Global Positioning System) C-NAV* yang dapat memberikan ketelitian pengukuran posisi hingga 0.1 meter dan Giro Kompas *Simrad GC-80*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

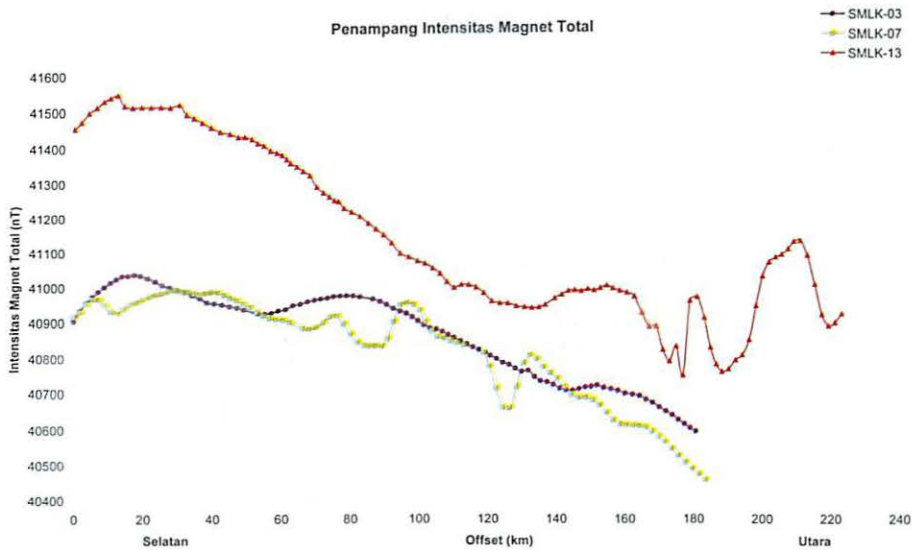
Pengukuran geomagnet dilakukan disepanjang lintasan sekitar 2000 kilometer. Arah lintasan geomagnet terdiri dari lintasan utara-selatan dan timur-barat (Gambar 3-1). Lintasan yang berarah utara-selatan sebanyak 6 lintasan dan lintasan timur-barat ada 2 lintasan.



Gambar 3-1. Peta lintasan pengukuran geomagnet (Susilohadi, 2010)

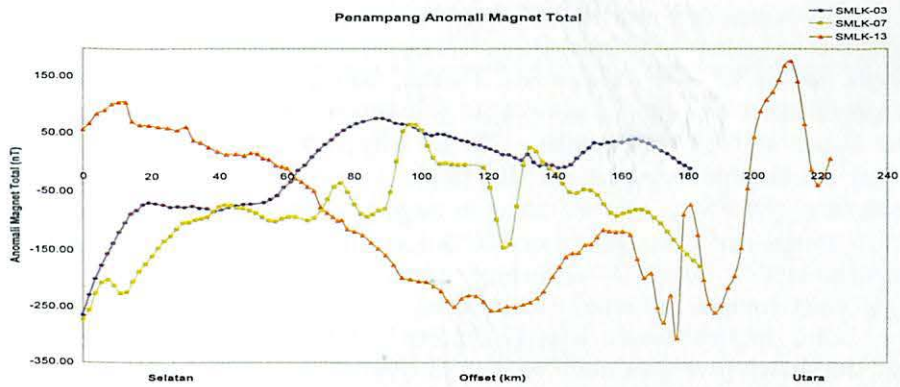
Kurva dari hasil pengukuran geomagnet menunjukkan bahwa nilai intensitas magnet total observasi (F.Obs) cukup bervariasi yaitu dari 40450 hingga 41100 nT. Pada Gambar 3-2, dapat dilihat kurva hasil pengukuran geomagnet di 3 (tiga) lintasan yang berarah utara-selatan masing-masing di lintasan SMLK-3, SMLK-7, SMLK-13. Kurva tersebut mempunyai kecenderungan agak mirip satu sama lainnya, dengan nilai

intensitas magnet total (F.Obs) dari bagian utara umumnya meningkat ke arah selatan yaitu di sekitar Pulau Mangoli, Pulau Taliabu, dan Pualu Banggai.



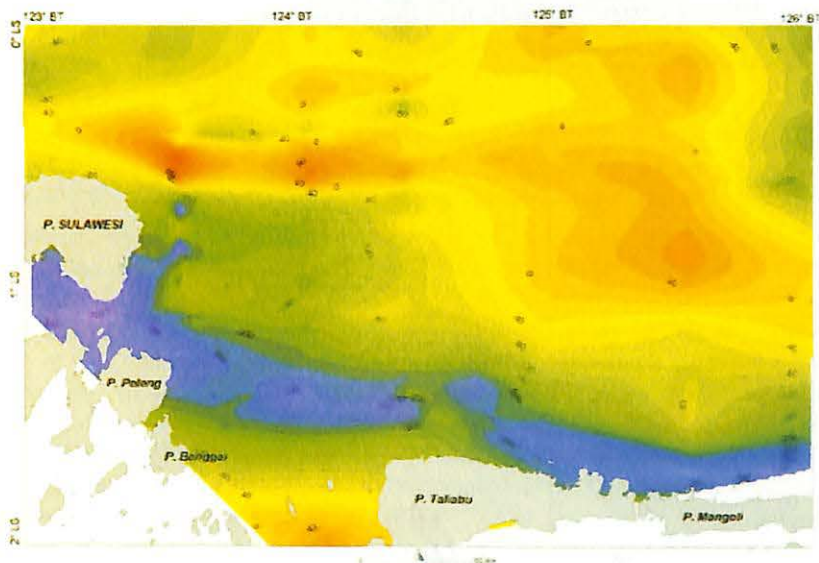
Gambar 3-2. Kurva hasil pengukuran intensitas magnet total

Kurva hasil pengukuran yang telah dikoreksi IGRF dan Variasi harian ditampilkan pada Gambar 3-3. Kurva ini merupakan kurva anomali intensitas magnet total. Dapat dilihat bahwa kurva anomali intensitas magnet total agak berbeda dengan kurva medan magnet bumi hasil pengukuran. Nilai anomali intensitas magnet total cenderung bervariasi dari nilai anomali intensitas magnet rendah hingga tinggi. Pada lintasan SMLK-3 dari hasil pengukuran yang belum dikoreksi menunjukkan bahwa nilai intensitas magnet meningkat ke arah selatan dan ini tidak sama dengan nilai anomali intensitas magnet total yang bergerak dari nilai tinggi +50 nT ke -250 nT. Pada lintasan SMLK-7 nilai anomali intensitas magnet total bergerak dari rendah -250 nT di bagian selatan dan meningkat di bagian tengah dengan nilai +50 nT kemudian menurun kembali ke arah utara dengan nilai -150 nT. Berbeda dengan lintasan SMLK-13, dimana nilai anomali intensitas magnet totalnya di bagian selatan (Pulau Banggai) bergerak dari tinggi nilai +50 nT kemudian menurun di bagian tengahnya dengan nilai mencapai -250 nT dan kemudian naik kembali menjadi +150 nT. Dari tiga lintasan pengukuran yang ditampilkan dapat dilihat bahwa nilai anomali intensitas magnet totalnya sangat bervariasi.



Gambar 3-3. Kurva anomali intensitas magnet total

Dari hasil pengukuran geomagnet di seluruh lintasan maka dilakukan perhitungan nilai anomali intensitas magnet total di setiap titik yang telah dikoreksi dengan nilai medan geomagnet utama *IGRF* dan koreksi variasi harian. Untuk mendapatkan gambaran dari pola sebaran anomali intensitas magnet total secara regional maka dibuat peta yang disebut peta Anomali Intensitas Magnet Total dengan daerah pemetaan berskala 1:1000.000 (Gambar 3-4). Peta tersebut dihasilkan dengan cara memplot nilai  $F_{Tot}$  pada setiap titik pengamatan yang terdapat pada lintasan pengukuran.

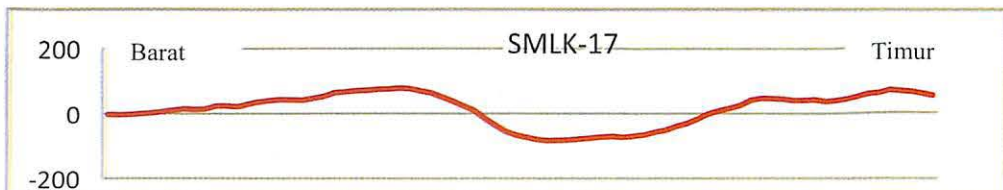


Gambar 3-4. Peta anomali intensitas magnet total (Bhudi dkk, 2010)



Pola kontur dari peta anomali intensitas magnet totalnya menunjukkan bahwa penyebarannya relatif terlihat sederhana. Terdapat kecenderungan perubahan nilai yang menarik bahwa ke arah Pulau-pulau Taliabu, Banggai, dan Peleng nilai anomali intensitas magnet total ditunjukkan dengan pola kontur yang agak memanjang dari arah timur hingga ke barat dengan nilai  $-250$  nT hingga  $-50$  nT. Pulau-pulau ini dikenal sebagai mikrokontinen yang terlepas dari Benua Australia. Demikian pula ke arah utara daerah penelitian terlihat anomali intensitas magnet total meninggi dan diperkirakan ini merupakan tepi dari Cekungan Gorontalo dengan nilai anomali intensitas magnet total meninggi hingga  $+140$  nT. Di bagian timur daerah pemetaan nilai anomalnya meninggi ke arah barat dan agak menurun ke arah selatan.

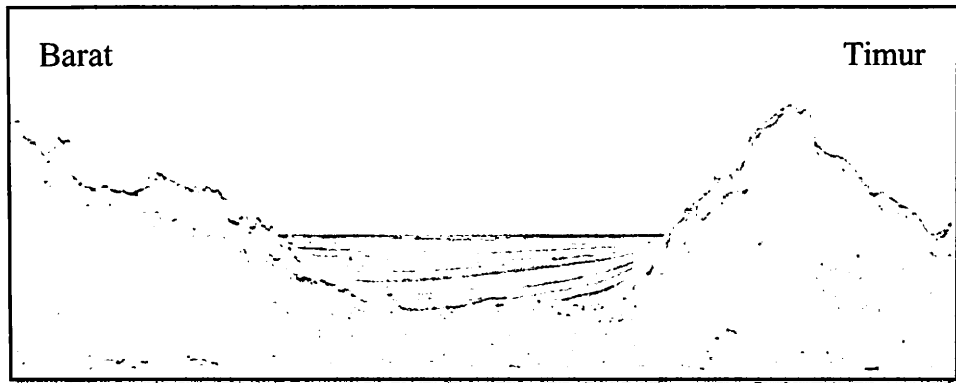
Untuk melihat dengan jelas bagaimana kondisi geologi di bawah permukaan dasar laut daerah penelitian maka berikut ini ditampilkan rekaman seismik di lintasan SMLK-17. Interpretasi data seismik (Vail et al., 1977) menunjukkan bahwa pada beberapa lereng berasosiasi dengan struktur geologi yang masih aktif. Pada Gambar 3-5, terlihat rekaman seismik di lintasan SMLK-17. Hasil rekaman memperlihatkan perubahan morfologi dari sisi Sulawesi yang bergerak ke arah Cekungan Gorontalo yang bermorfologi datar. Model morfologi tersebut sangat umum terbentuk di sepanjang sisi utara Pulau-pulau Taliabu, Mangoli dan Sulawesi bagian timur. Secara umum menunjukkan bahwa geologi daerah penelitian sangat kompleks serupa dengan kondisi geologi darat. Terdapat tiga satuan batuan utama yang terekam dalam lintasan-lintasan seismik yaitu batuan dasar yang kemungkinan merupakan kompleks batuan tua yang berupa ultra basa dan batuan sedimen Permo Trias, batuan sedimen Paleogen dan batuan sedimen Neogen. Salah satu keuntungan dari data seismik adalah diketahuinya hubungan antar batuan di atas dan struktur geologi yang kontinyu disepanjang lintasan.



Gambar 3-5. Kurva anomali intensitas magnet total di lintasan SMLK-17

Dari penafsiran data magnet dan seismik tersebut maka secara umum diperkirakan bahwa pola dari anomali intensitas magnet total di daerah penelitian merupakan cerminan dari satuan batuan dasar yang cukup beragam yang terdapat di Kepulauan Banggai Sula. Berbagai jenis batuan tersebut diantaranya adalah filit, kuarsit, mika, sekis, epidot, dan klorit. Batuan tersebut dipotong oleh intrusi granit berumur Paleogen Atas dan ditutupi oleh lapisan tipis konglomerat polimik berumur Jura di bagian bawahnya (Pigram et al., 1985), seperti ditunjukkan pada Gambar 3-6.





Gambar 3-6. Penampang seismik di lintasan SMLK-17 (Susilohadi dkk, 2010)

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pemetaan magnet menunjukkan bahwa nilai anomali intensitas magnet total nya sangat bervariasi. Nilai anomali intensitas magnet total yang tertinggi terdapat di tepian cekungan Gorontalo yaitu sekitar +100 hingga 140 nT. Disekitar pulau pulau Taliabu, Mongoli, dan Peleng nilai anomalnya cukup bervariasi dari yang terendah -20 nT hingga -140 nT. Secara umum pola kontur anomali intensitas magnet total memperlihatkan pola dari sebaran batuan dasar di daerah penelitian. Untuk mengetahui secara rinci kondisi geologinya maka diperlukan analisis yang lebih mendalam dengan membuat pemodelan dari hasil pengukuran yang telah dilakukan.

#### Daftar Rujukan

- Bowin, C.O., Purdy, G.M., Johnson, C., Shor, G.G., Lawyer, L., Hartono, H.M.S., dan Jezek, P., 1980, *Art-Continent collision in Banda Sea Region*: A.A.P.G. Bull., 64, hal. 868-915.
- Bhudi Nhirwana, Susilohadi, Arifin, L., 2010. *Peta Anomali Intensitas Magnet Total Perairan banggai Sula skala 1:250.000*, Puslitbang Geologi Kaluatan Bandung, Tidak dipublikasi.
- Hall, R. and M.E.J. Wilson, 2000, *Neogene sutures in eastern Indonesia*, Journal of Asian Earth Sciences, 18 (2000), 781-808.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian region*, Geological Survey Professional Paper 1078, 345p.
- LAPAN, 2010. *Data Variasi Harian Geomagnet dari Stasiun Pengamatan Magnet Menado, Sulawesi Utara*.
- McCaffrey, R., Silver, E. A. & Raitt, R. W. 1980. *Crustal structure of the Molucca Sea collision zone, Indonesia*. In: Hayes, D. E. (Ed.), *The Tectonic and Geologic*

- Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*, Part 1. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series, **23**, 161-178.
- Pigram, C. J. & Surono, S., J.B. 1985. *Origin of the Sula Platform, eastern Indonesia*, *Journal Geology*, **13**, 246-248.
- Sukamto, R. 1975. *The structure of Sulawesi in the light of plate tectonics*. Association Indonesian Geologists. Regional Conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia, 25th.
- Silver, E. A., McCaffrey, R., Joyodiwiryono, Y. & Stevens, S. 1983. *Ophiolite emplacement and collision between the Sula platform and the Sulawesi island arc, Indonesia*. *Journal of Geophysical Research*, **88**, 9419-9435
- Vail, P.R., Mitchum Jr., R.M., Tod, R.G., Widmier, S., Thomson III, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N., Hatlelid, W.G., 1977. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level*. In: Payton, C.A. (Ed.), *Seismic Stratigraphy - Application to Hydrocarbon Exploration*, Am. Ass. Petrol. Geol. Memoir, **26**, 48-212