

Kalkulator Magnet Bumi Wilayah Indonesia Berdasarkan Data Geomagnet BMKG (Geomagnetic Calculator Over The Indonesian Region Base On Geomagnet BMKG Data)

Muhamad Syirojudin¹), Hasanudin¹), Evy Rosa¹), Siswoyo²)

¹Bidang Geofisika Potensial dan Tanda Waktu

²Bidang Bina Operasi Seismologi Teknik, Geofisika Potensial dan Tanda Waktu

Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika

e-mail: muhammad.syirojudin@bmkgo.id

Diterima: 12-11-2014. Direvisi: 31-12-2014. Disetujui: 27-1-2015. Diterbitkan: 9-3-2015.

Abstrak. Indonesia merupakan wilayah kepulauan dan pertemuan dari 3 lempeng tektonik sehingga kaya akan sumber daya alam dan juga sumber kajian keilmuan. Oleh sebab itu, data medan magnet bumi yang akurat sangat diperlukan untuk mendukung operasional dan penelitian di banyak bidang mulai dari navigasi, eksplorasi mineral, penelitian fenomena alam, sampai pertahanan. Karena data medan magnet bumi memiliki pola yang cenderung linier terhadap perubahan waktu, maka data medan magnet bumi untuk waktu tertentu dapat dihitung menggunakan kalkulator magnet bumi dengan menggunakan data hasil pengamatan langsung di sejumlah *repeat station* Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada tahun 2010 dan menggunakan kalkulator medan magnet bumi dari *British Geological Survey* (BGS) dan menggunakan data model IGRF sebagai perbandingan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kalkulator medan magnet bumi BMKG memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan kalkulator medan magnetik bumi BGS untuk wilayah Indonesia dengan perbandingan akurasi untuk komponen Intensitas Total (F) 37 nT berbanding 49 nT, dan untuk komponen Inklinasi (I) 3,5 menit berbanding 3,6 menit. Hal ini kemungkinan yang pertama disebabkan struktur tektonik wilayah Indonesia yang tidak terlingkupi oleh model IGRF, dan yang kedua adalah sedikitnya jumlah stasiun yang digunakan oleh IGRF.

Kata kunci: *BMKG, IGRF, kalkulator, magnetik bumi.*

Abstract. Indonesia is an archipelago and a confluence of three tectonic plates that are rich in natural resources and is also a source of scientific assessment. Therefore, the data of the geomagnetic field accurately is necessary to support the operational and research in many fields ranging from navigation, mineral exploration, the study of natural phenomena, and defense. Because the data of the geomagnetic field has a linear pattern trends to change in time, then the data of the geomagnetic field for a certain time can be calculated using the geomagnetic field calculator using data from

direct observation in the number of repeat BMKG or Meteorology, Climatology and Geophysics Agency of Indonesia station in 2010 and use the geomagnetic field calculator of British Geological Survey (BGS) that uses the IGRF model data for comparison. From this study it can be concluded that the geomagnetic field calculator BMKG has better accuracy than the geomagnetic field calculator of British Geological Survey (BGS) for Indonesia, with a comparison of accuracy for the total intensity (F) components is 37 nT versus 49 nT, and for inclination (I) components is 3.5 minutes versus 3.6 minutes. This is probably due to the structure of the first parts of Indonesia is tectonic overwhelmed by IGRF models, and the second is the least number of stations used by the IGRF.

Keyword: *BMKG, IGRF, calculator, geomagnetic.*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan wilayah kepulauan dan pertemuan dari 3 lempeng tektonik sehingga kaya akan sumber daya alam dan juga sumber kajian keilmuan. Oleh sebab itu, data magnetik bumi yang akurat sangat diperlukan untuk mendukung operasional dan penelitian di banyak bidang mulai dari navigasi, eksplorasi mineral, penelitian fenomena alam, sampai pertahanan. Sebagai contoh akurasi dari data magnetik bumi yang dibutuhkan untuk referensi eksplorasi mineral adalah sekitar 0,1 pada deklinasi dan sekitar 50 nT pada intensitas total (Macmillan, 2006). Karena data medan magnetik bumi memiliki pola yang cenderung linier terhadap perubahan waktu, maka data medan magnetik bumi untuk waktu tertentu dapat dihitung menggunakan kalkulator magnet bumi yang didasarkan pada data hasil pengamatan langsung di sejumlah *repeat station*.

Di Indonesia, aktivitas pengamatan langsung di sejumlah *repeat station* di darat dilakukan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). BMKG melakukan beberapa survei pada tahun 1960-1962 dan 1970-1974. Untuk memenuhi resolusi *International Association of Geomagnetism and Aeronomy* (IAGA) nomor 23/1963 dan 9/1995, maka BMKG melakukan survei yang lebih menyeluruh setiap lima tahun sejak 1985 (IAGA Resolutions, 2005).

Lembaga internasional seperti *British Geological Survey* (BGS) ataupun yang lainnya juga telah membuat kalkulator magnetik bumi berdasarkan model global dari medan geomagnetik yang disebut *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF) yang dibuat dari hasil *World Magnetic Survey* (WMS) (Barraclough, 1993). Pada prinsipnya, IGRF adalah model medan magnetik bumi berdasarkan *spherical harmonics*. IGRF kemudian bisa digunakan sebagai peta magnetik. Pada mulanya, IGRF dibuat berdasarkan data dari *ground station* di seluruh dunia. Kemudian IGRF juga menggunakan data yang dikumpulkan dari satelit. IGRF versi pertama diperbaiki oleh IAGA

pada 1971 dan sejak itu telah direvisi sepuluh kali. IGRF memanfaatkan cakupan dan kualitas yang baik dari data satelit yang disediakan oleh Orsted dan CHAMP yang sekarang dipotong sampai orde 13 (Finlay et al., 2010).

Ketika kualitas IGRF meningkat, akurasi data kalkulator magnetik bumi yang diperoleh dari data IGRF juga meningkat. Ini memunculkan pertanyaan apakah masih diperlukan untuk membuat kalkulator medan magnetik bumi regional yang didasarkan dari pengukuran di *repeat stations* BMKG. Pada studi ini, kami ingin membandingkan nilai medan magnet bumi antara kalkulator medan magnet bumi yang didasarkan data geomagnet BMKG, IGRF dan data lapangan.

2. Tinjauan Pustaka

Studi evaluasi antara data IGRF dan data observasi di Trelew, Argentina 1990-2000 menunjukkan bahwa ada anomali besar yang tidak dapat dicakup dengan model IGRF (Gianibelli et al., 2003). Sebuah penelitian yang lain di Cina, yang menggunakan 29 stasiun observasi pada 1960-1990 menunjukkan ada sebuah anomali besar juga antara data observasi dan IGRF (Tanwen, 2003). Dan juga berdasarkan penelitian terdahulu, penelitian itu menunjukkan hasil bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara peta medan magnet bumi BMKG dan IGRF pada epoch tahun 1985 sampai 2010. Perbedaan tersebut bervariasi antara 200 sampai 300 nT untuk komponen intensitas Total dan -3,5 sampai 0,5 derajat untuk komponen deklinasi (Syirojudin et al., 2013).

Dalam perhitungan dan analisis data, penulis menggunakan dua metode yaitu *Collocated Cokriging* (CC) dan *Kriging with External Drift* (KED). *Collocated Cokriging* (CC) adalah *cokriging* yang disederhanakan dan digunakan ketika variabel primer dari target data yang akan dihitung bersifat jarang atau *sparse*, dibandingkan dengan variabel pendukung yang diambil sampelnya secara rapat. Metode CC menggunakan variabel pendukung hanya pada saat variabel target akan diperkirakan (Rivoirard, 2001). Secara matematis, CC dideskripsikan dengan persamaan berikut:

$$Z_{CC}(x_0) = \sum \lambda_i Z_1(x_i) + \mu Z_2(x_0) \dots\dots\dots(2-1)$$

dengan $Z_{CC}(x_0)$ adalah hasil dari kalkulasi CC pada posisi x_0 tertentu, $Z_1(x_i)$ adalah data primer (data BMKG) pada stasiun ke- i Ar adalah bobot dari $Z_1(x_i)$, $Z_2(x_0)$ adalah data sekunder atau data IGRF yang dikalkulasi untuk posisi x_0 dan μ adalah bobot untuk $Z_2(x_0)$.

Kriging with External Drift (KED) adalah kriging dengan model tren digunakan jika informasi pendukung (seperti data IGRF) tersedia pada semua titik grid dan berkorelasi dengan variabel target (dalam kasus ini adalah data

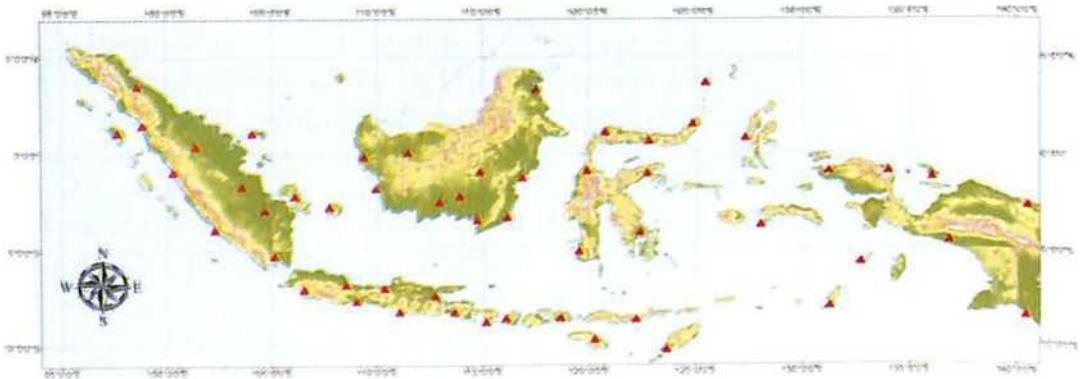
BMKG) (Hengl et al., 2003 dan Webster et al., 2000). Secara matematis, KED dideskripsikan dengan persamaan berikut:

$$Z_{KED}(x_0) = \sum_i \lambda_i Z_1(x_i) + a \sum_i \lambda_i Z_2(x_i) + a Z_2(x_0) \dots\dots\dots(2-2)$$

dengan $Z_{KED}(x_0)$ adalah hasil dari kalkulasi KED pada posisi x_0 tertentu, $Z_1(v_i)$ adalah data primer atau data BMKG di stasiun lce-i, $Z_2(v_i)$ adalah data sekunder atau data IGRF pada stasiun BMKG ke-/, N adalah bobot dari $Z_1(v_i)$ dan $Z_2(v_i)$ dan a adalah gradien dari data sekunder pada v_0 .

3. Data dan Metodologi

Studi ini menggunakan data magnet bumi BMKG hasil pengamatan tahun 2010 dan model IGRF-11 sebagai dasar perhitungan. Data BMKG diperoleh dari sekitar 53 stasiun di seluruh Indonesia (lihat Gambar 3-1). Sebagian besar stasiun terletak di bandara dan tempat terakses lainnya yang relatif bebas dari gangguan geomagnetik.

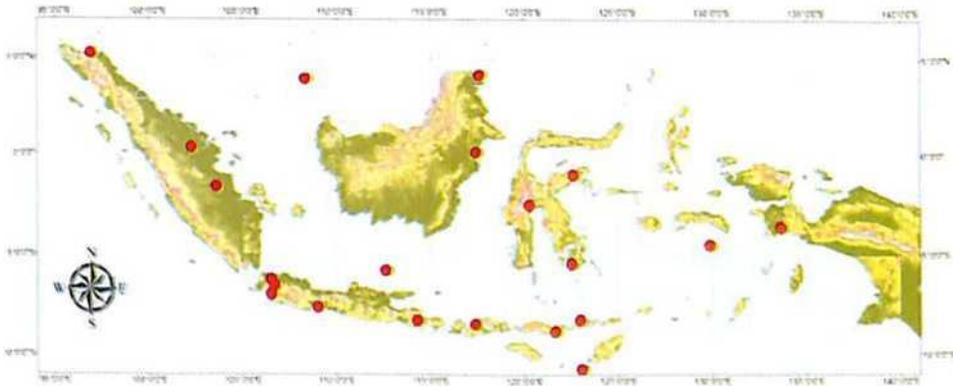


Gambar 3-1: Distribusi lokal data observasi.

Karena stasiun pengukuran tersebar tidak merata di wilayah Indonesia, maka data (koordinat dan nilai geomagnet) tidak dapat digunakan untuk proses ekstrapolasi. Oleh karena itu, data sekunder diambilkan dari IGRF-11 dalam bentuk koordinat dan pola atau tren nilai yang digunakan untuk pelengkap data BMKG. Untuk memperoleh data di luar lokasi stasiun pengukuran BMKG, menggunakan pendekatan *Collocated Cokriging* dan *Kriging with External Drift*.

Hasil dari CC dan KED kemudian dibandingkan. Hasil dengan variasi kesalahan terkecil dan validasi korelasi silang terbaik diadopsi sebagai peta

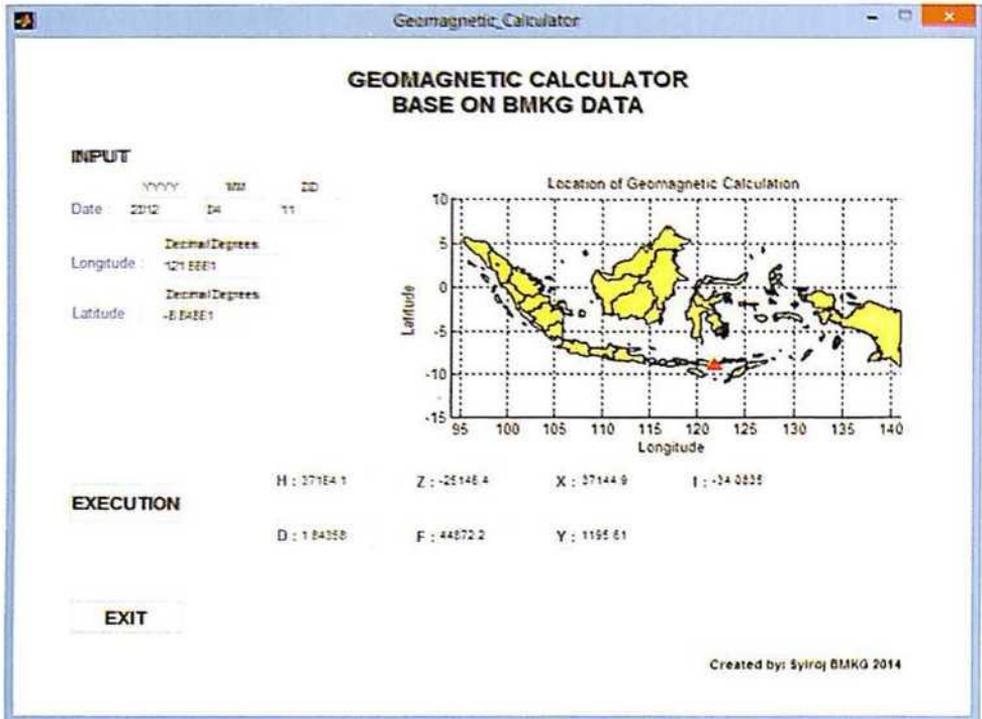
magnetik bumi BtMKG. Peta magnetik bumi BMKG kemudian dijadikan dasar dari kalkulator medan magnetik bumi. Untuk validasi, data dari kalkulator medan magnetik bumi ini dibandingkan dengan data lapangan yang tersebar di 21 titik pengukuran *repeat stations* yang terletak di sekitar bandar udara dan stasiun pengamat magnet bumi pada periode 2012-2013 (lihat Gambar



Gambar 3-2: Lokasi validasi data.

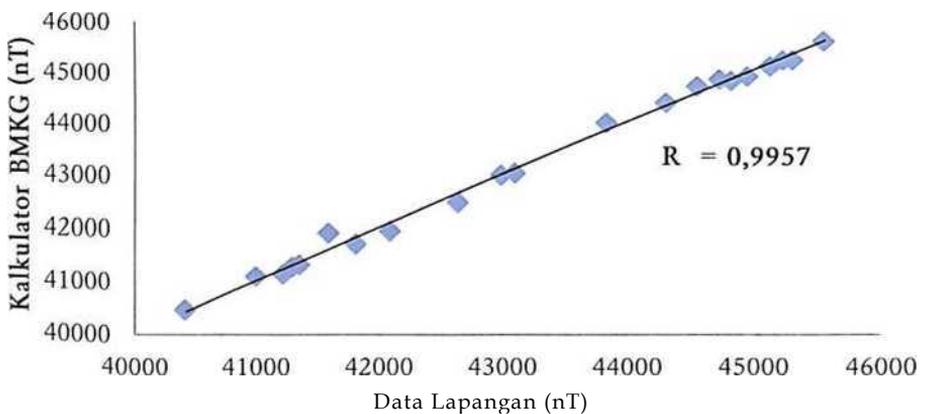
4. Hasil dan Pembahasan

Semua data pada tanggal dan koordinat yang sama dengan data observasi lapangan dihitung menggunakan kalkulator medan magnet bumi BMKG dan dianalisis untuk komponen intensitas total dan inklinasinya seperti yang terlihat dalam Gambar 4-1. Hasil dari data perhitungan kalkulator tersebut dibuatkan korelasi-silang untuk melihat korelasi antara data lapangan dengan hasil perhitungan kalkulator medan magnet bumi BMKG, dan juga akurasi data yang dihasilkan berdasarkan nilai standar deviasi dari perbandingan data tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 4-2. Korelasi silang antara data lapangan dengan hasil perhitungan kalkulator medan magnetik BMKG

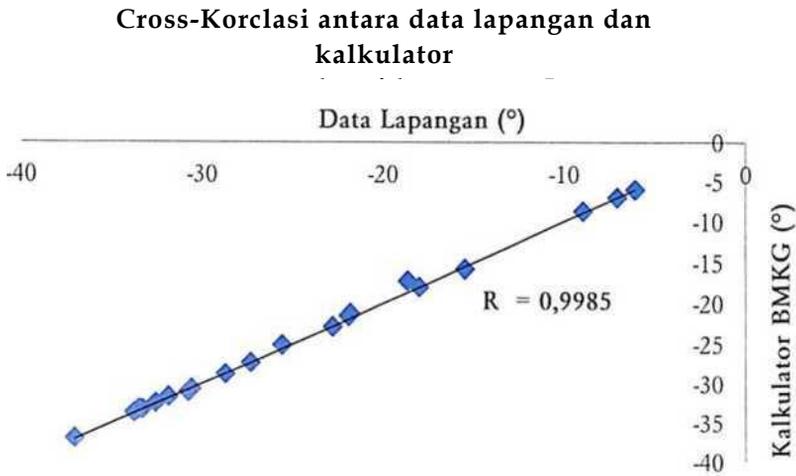


Gambar 4-1: Perhitungan nilai medan magnet bumi di stasiun *repeat* Ende pada tanggal 11 April 2012.

Cross-Korclasi antara data lapangan dan kalkulator magnet bumi komponen F



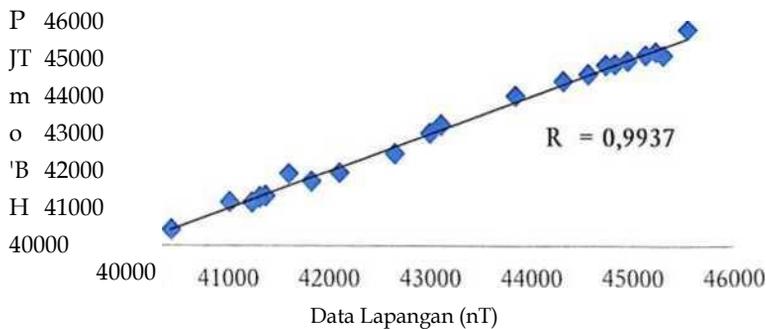
Gambar 4-2: Korelasi silang antara data lapangan dan kalkulator medan magnetik bumi BMKG komponen Total Intensitas (F).



Gambar 4-3: Korelasi-silang antara data lapangan dan kalkulator medan magnetik bumi BMKG komponen Inklinasi (I).

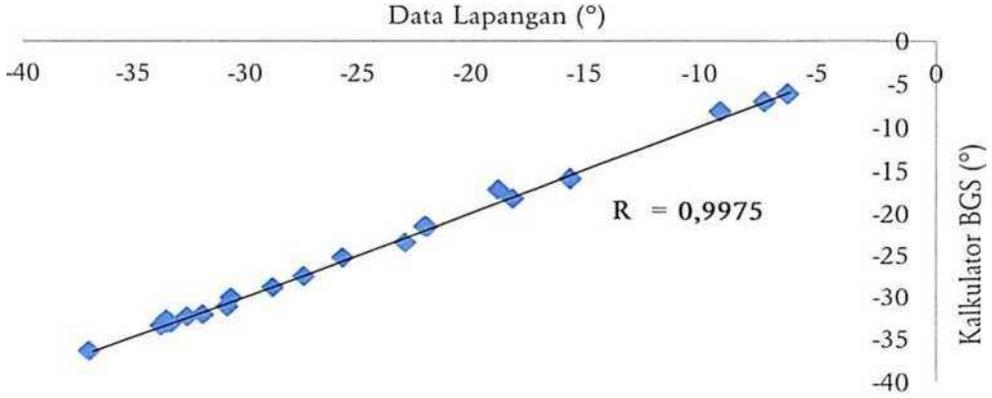
Sebagai analisis tambahan, maka dilakukan perbandingan antara data lapangan dengan kalkulator medan magnetik bumi dari *British Geological Survey* (BGS) yang menggunakan data model IGRF/WMS dan hasilnya seperti yang terlihat pada Gambar 4-4 untuk komponen Intensitas Total (F). Korelasi-silang antara data lapangan dengan hasil perhitungan kalkulator medan magnetik bumi BGS untuk komponen Intensitas Total (F) menunjukkan nilai yang sangat baik, yaitu $R = 0,9937$ dan standar deviasi 49 nT. Kemudian pada Gambar 4-5 untuk komponen Inklinasi (I), yaitu $R = 0,9975$ dan standar deviasi 3,6 menit.

Cross-Korclasi antara data lapangan dan kalkulator magnet bumi komponen F



Gambar 4-4: Korelasi-silang antara data lapangan dan kalkulator medan magnetik bumi *British Geological Survey* (BGS) komponen Total Intensitas (F).

Cross-Korclasi antara data lapangan dan kalkulator magnet bumi komponen I



Gambar 4-5: Korelasi-silang antara data lapangan dan kalkulator medan magnetik bumi *British Geological Survey* (BGS) komponen Inklinasi (I)•

Dari perbandingan hasil pengolahan data diatas antara hasil kalkulator medan magnetik bumi BMKG dengan hasil kalkulator medan magnetik bumi *British Geological Survey* (BGS) menunjukkan bahwa hasil kalkulator medan magnetik bumi BMKG lebih baik dari pada hasil kalkulator medan magnetik bumi *British Geological Survey* (BGS) untuk wilayah Indonesia dengan perbandingan akurasi untuk komponen Intensitas Total (F) 37 nT berbanding 49 nT, dan untuk komponen Inklinasi (I) 3,5 menit berbanding 3,6 menit. Kemungkinan pertama hal ini disebabkan struktur tektonik wilayah Indonesia yang tidak terlindungi oleh model IGRF. Hasil ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh F. Pétrélis et al. (2011) yang menunjukkan bahwa mekanisme pergerakan lempeng tektonik berkontribusi signifikan terhadap medan geomagnetik. Kemungkinan kedua adalah sedikitnya jumlah stasiun yang digunakan oleh IGRF, yaitu hanya dua stasiun Tuntungan - Medan dan Tondano -Sulawesi Utara (Finlay et al., 2010). Kedua hal ini menurunkan akurasi dari model IGRF yang dihasilkan.

5. Kesimpulan

Dari pembahasan dapat disimpulkan bahwa kalkulator medan magnetik bumi BMKG memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan kalkulator medan magnetik bumi *British Geological Survey* (BGS) untuk wilayah Indonesia dengan perbandingan akurasi atau tingkat kesalahan antara kalkulator magnetik dengan data lapangan untuk komponen Intensitas Total (F) 37 nT berbanding 49 nT dengan korelasi 0,9957 berbanding 0,9937, dan

untuk komponen Inklinasi (I) 3,5 menit berbanding 3,6 menit dengan korelasi 0,9985 berbanding 0,9975. Kemungkinan pertama hal ini disebabkan oleh struktur tektonik wilayah Indonesia yang tidak terlingkupi oleh model IGRF, dan yang kedua adalah sedikitnya jumlah stasiun yang digunakan oleh IGRF.

Daftar Rujukan

- Barraclough, D. R., 1993. History and Development of The IGRF and DGRF Series of Geomagnetic Reference Field Models, *Phys. Earth Planet. Int.*, 48, p:279-292.
- Finlay, C. C., S. Maus, T. N. Bondar, A. Chambodut, dan C. D. Beggan, 2010. International Geomagnetic Reference Field: The Eleventh Generation, *Geophys. J Int.*, 183, p-.1216-1230.
- Gianibelli, J. C., J. Kohn, dan M. E. Ghidella, 2003. Testing Geomagnetic Reference Field Models for 1990-2000 With Data from The Trelew Geomagnetic Observatory, Argentina, *Geofisica Internacional*, 42, p:635-639.
- Hengl, T., G. B. M. Heuvelink, dan A. Stein, 2003. Comparison of Kriging with External Drift and Regresion-Kriging, *Geoderma.*, 120, p:75-93.
- IAGA, 2005. IAGA Resolutions 1963-2005.
- Macmillan, S., 2006. Earth's Magnetic Field, in *Geophysics and Geochemistry*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK.
- Petrelis, F., J. Besse, dan J. P. Valet, 2011. Plate Tectonics May Control Geomagnetic Reversal Frequency, *Geophysical Research Letters*, 38, L19303.
- Syirojudin, M., and S. Bijaksana, 2013. Comparing The Accuracy of BMKG Geomagnetic Maps With Those of IGRF Over The Indonesian Region, *AIP Conf. Proc.*, 1554, p:249-252.
- Tanwen, W., 2003. The Analysis Of The IGRF Error In The China Continent, *Chinese J. Geophys.*, 46, p:236-241.
- Webster, R. dan M. Oliver, 2000. *Geostatistic for Environmental Scientists*, John Wiley & sons, New York, 270.
- Grid Magnetic Angle Calculator, 2014. diperoleh dari http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/wmm_calc.html.