

Pemodelan ke Depan dan Inversi 2D Anomali Medan Magnet Berdasarkan Bentuk Prisma Sederhana

2D Forward Modelling and Inversion of Magnetic Field Anomaly Base On Simple Prism Shape

Yulia Ayu Setyawati, Supriyadi*, Nurul Priyantari

Program Studi Fisika, FMIPA Universitas Jember, Jember, Indonesia

*Email: supriyadi@unej.ac.id

ABSTRAK

Metode magnetik berfungsi untuk mengetahui struktur bawah permukaan berdasarkan variasi medan magnetik di permukaan bumi. Interpretasi struktur bawah permukaan berdasarkan data magnetik meliputi parameter kedalaman, ukuran, dan susceptibilitas magnetik yang dapat diperoleh melalui pemodelan. Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pemodelan ke depan dan pemodelan inversi untuk berbagai variasi parameter serta pemodelan inversi pada data magnetik WDMAM Wilayah Ijen. Hasil pemodelan ke depan menunjukkan bahwa nilai medan magnet total akan semakin besar jika jarak kedalaman sumber anomali semakin kecil, susceptibilitas semakin besar, dan ukuran benda anomalnya semakin besar. Sedangkan hasil pemodelan inversi data sintetik menunjukkan kesesuaian yang cukup baik antara struktur bawah permukaan terhadap model sintetik awal. Hasil pemodelan inversi pada data magnetik satelit Wilayah Ijen dengan batas koordinat 8°30' - 8°39' LS dan 113°30' - 114°30' BT menunjukkan struktur bawah permukaan berupa blok-blok prisma dengan susceptibilitas didominasi oleh mineral magnetit, ilmenit, dan ada batuan pirotit dengan kedalaman yang bervariasi.

Kata Kunci: pemodelan ke depan, pemodelan inversi, Data sintetik; Data satelit WDMAM wilayah Ijen.

ABSTRACT

The magnetic method use to determine the subsurface structure based on variations in the magnetic field on the earth's surface. Interpretation of subsurface structures based on magnetic data includes parameters of depth, size, and magnetic susceptibility that can be obtained through modelling. The modelling carried out in this study includes forward modelling and inversion modelling for various parameters and also inversion modeling on WDMAM magnetic data in the Ijen area. Forward modelling results show that the value of the total magnetic field will be increase if the depth distance of the source of the anomaly is smaller, the susceptibility is greater, and the size of the anomalous object is getting bigger. Meanwhile, the results of the inversion modeling of synthetic data show a fairly good match between the subsurface structure and the initial synthetic model. The results of inversion modeling on WDMAM data in the Ijen area with coordinate boundaries 8°30' - 8°39' S and 113°30' - 114°30' E show the subsurface structure in the form of prism blocks with susceptibility dominated by mineral magnetite, ilmenite, and pyrotite rocks at varying depths.

Keyword: Forward modelling, Inverse modelling, Synthetic data; WDMAM satellite data in Ijen area.

PENDAHULUAN

Metode magnetik merupakan salah satu metode dalam bidang geofisika yang berfungsi untuk mengetahui struktur bawah permukaan berdasarkan variasi medan magnetik di permukaan bumi. Metode ini termasuk dalam metode pasif yang mudah dioperasikan dan banyak digunakan dalam eksplorasi

geofisika. Variasi medan magnet bumi secara spasial dan temporal dilakukan serangkaian koreksi sehingga diperoleh variasi medan magnet yang berkaitan dengan anomali magnetik. Anomali magnetik biasanya terjadi akibat adanya perbedaan kontras susceptibilitas atau permeabilitas magnetik dari suatu daerah yang diteliti (Telford *et al*, 1990; Hinze *et al*, 2013).

Interpretasi anomali magnetik biasanya mencakup bentuk, kedalaman, dan sifat kemagnetan sumber anomali. Untuk dapat mengidentifikasi struktur bawah permukaan bumi dengan baik, maka perlu dilakukan pemodelan inversi pada data magnetik. Pemodelan ke depan merupakan bagian dari skema pemodelan inversi sekaligus bermanfaat juga memprediksi beberapa parameter dalam pemodelan. Pemodelan ke depan yaitu pemodelan yang menyatakan proses perhitungan data secara analitis dan dapat diamati ketika nilai parameter model bawah permukaan diketahui, dengan asumsi beberapa hipotesis tentang bentuk dan volume benda magnetik serta nilai suseptibilitasnya (Menke, 1984; Grandis, 2009). Solusi analitis yang digunakan untuk permasalahan pemodelan ke depan biasanya menggunakan benda dengan bentuk sederhana. Stocco et al (2009) dan Arman et al (2016) menggunakan bentuk prisma sedangkan Nugroho et al (2018) menggunakan bentuk persegi dan jajaran genjang dalam pemodelan ke depan metode magnetik. Selain bentuk sederhana, bentuk sembarang yang didekati dengan poligon Talwani (1965) merupakan teknik yang banyak digunakan dalam pemodelan ke depan data magnetik. Kravchinsky et al (2019) juga telah menurunkan ulang perumusan Talwani (1965) dan mengimplementasikannya dalam Matlab. Teknik ini menyediakan pendekatan bentuk benda yang lebih realistis tetapi sedikit lebih rumit dalam penerapannya. Beberapa pemodelan ke depan metode magnetik berbasis numerik juga telah dikembangkan, misal menggunakan metode elemen hingga seperti yang dilakukan oleh Jeshvaghani & Darijani (2014) dan Jia et al. (2020). Metode elemen hingga menjanjikan hasil yang lebih bagus tetapi membutuhkan sumber daya komputer yang tinggi karena melibatkan perhitungan numerik yang rumit dan banyak. Dengan alasan kesederhanaan rumusan,

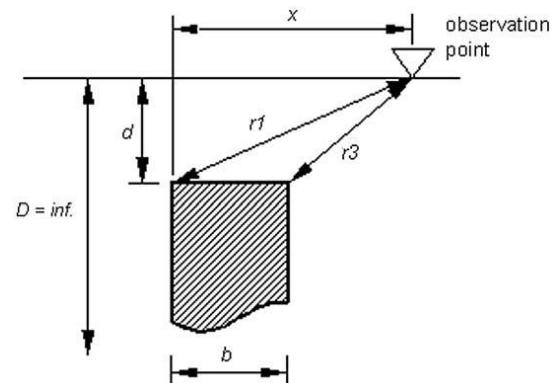
kemudahan implementasi dan tujuan penelitian yang dibatasi pada studi pengaruh ukuran, kedalaman dan nilai suseptibilitas magnetik maka digunakan teknik analitis dengan bentuk prisma sederhana dan dilanjutkan dengan pemodelan inversi.

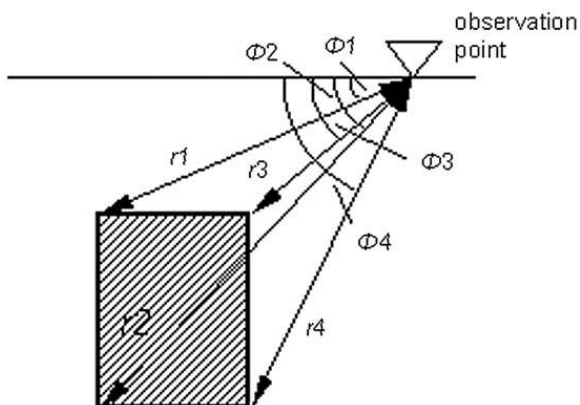
Penjelasan detail tentang pemodelan ke depan metode magnetik diberikan oleh Stocco et al (2009). Dalam pemodelan ke depan, dilakukan perhitungan respon teoritis berupa kurva medan magnet yang diakibatkan oleh sumber anomali magnetik dengan asumsi bentuk, volume dan suseptibilitasnya diketahui. Sumber anomali berupa benda sederhana dengan geometri teratur yang digunakan adalah bentuk prisma. Berdasarkan bentuk 2D prisma (Gambar 1), solusi analitis yang digunakan dalam pemodelan ke depan yaitu

$$F = k F_e G \quad (1)$$

dengan

$$G = \sin^2 I \sin \beta \left[\ln \left\{ (r_1^2 + L^2)^{1/2} + L \right\} - \ln \left\{ (r_1^2 + L^2)^{1/2} - L \right\} + \ln \left\{ (r_2^2 + L^2)^{1/2} - L \right\} - \ln \left\{ (r_2^2 + L^2)^{1/2} + L \right\} \right] - (\cos^2 I \sin \beta - \sin^2 I) \times \left[\tan^{-1} \left(\frac{L}{x} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{L}{x-b} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{Ld}{x(r_1^2 + L^2)^{1/2}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{Ld}{(x-b)(r_2^2 + L^2)^{1/2}} \right) \right] \quad (2)$$





Gambar 1. Sumber anomali magnetik didekati dengan bentuk prisma (Stocco, et al, 2009)

dimana F adalah medan total; F_e merupakan intensitas EMF (*Electromagnetic Field*) ; k adalah kontras suseptibilitas antara target magnetik dengan medium lainnya. I adalah nilai inklinasi medan magnet bumi; β adalah sudut prisma relatif terhadap magnetik utara; r_i, d, b merupakan nilai geometri jarak dan sudut (Gambar 1); L adalah panjang dari setengah prisma; x merupakan koordinat titik observasi (Telford et al 1990; Stocco et al, 2009). Dalam praktiknya, domain pemodelan didiskritisasi ke dalam bentuk prisma persegi. Medan magnet merupakan akumulasi dari perhitungan untuk setiap prisma dengan memperhatikan nilai pada bagian atas dan bagian bawah prisma.

Teori inversi merupakan gabungan dari metode matematika dan statistika untuk memperoleh suatu informasi mengenai sistem fisika berdasarkan data observasi sistem tersebut (Menke, 1984). Dalam prosesnya, parameter model yang dicari harus fit antara respons dengan data hasil pengamatan. Said et al (2016) menekankan perlunya iterasi untuk memperoleh parameter model yang akurat. Secara umum, problem inversi dapat diselesaikan menggunakan metode *weighted-damped least-squares* yang dinyatakan dalam persamaan

$$v = W_v^{-1} G^T (G W_v^{-1} G^T + W_e^{-1})^{-1} d \quad (3)$$

yang berlaku pada m prisma dengan nilai suseptibilitas belum diketahui dan n data terukur : v adalah vektor suseptibilitas yang belum diketahui ($m \times 1$) ; d adalah set data pengamatan ($n \times 1$) ; W_v yaitu matriks pembobot suseptibilitas ($m \times m$) ; W_e yaitu matriks pembobot *noise* ($n \times n$); G yaitu kernel ($n \times m$); W_v dan W_e adalah matriks diagonal. Persamaan untuk matriks pembobot suseptibilitas mempunyai bentuk

$$[W_v^{(k-1)}]_{ii}^{-1} = [V_i^{(k-1)}]^2 + \varepsilon \quad (4)$$

dimana k adalah iterasi dan ε adalah pertubasi dengan nilai antara $10^{-13} - 10^{-10}$. Matriks pembobot *noise* adalah matriks kovarian yang bergantung pada matriks pembobot suseptibilitas, kernel dan parameter yang menyatakan rasio *noise - to - signal* (N/S).

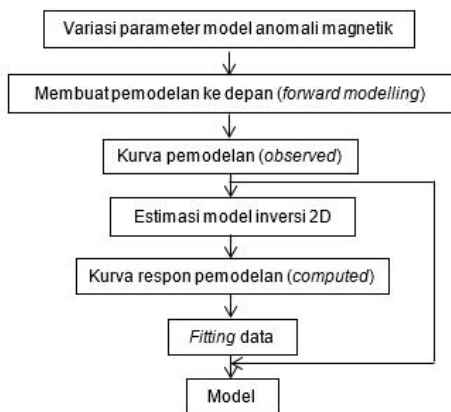
$$W_e^{-1} = (N/S) \text{diag}(G W_v^{-1} G^T) \quad (5)$$

Dalam perumusan 4 dan 5, terdapat prosedur iteratif dimana nilai kedua matriks pembobot berubah dalam setiap iterasi sampai solusi yang konvergen diperoleh (Last dan Kubik, 1983; Stocco, et al, 2009).

Sebagaimana yang telah dijelaskan bahwa dalam interpretasi data magnetik, penentuan kedalaman, ukuran, dan nilai suseptibilitas sumber anomali magnetik merupakan informasi penting yang dikaji lebih lanjut dalam penelitian ini menggunakan pemodelan ke depan dan inversi. Pemodelan dilakukan pada data sintetik dengan variasi kedalaman, ukuran dan subseptibilitas sumber anomali magnetik. Disamping itu, pemodelan inversi juga dilakukan pada data magnetik satelit WDMAM wilayah ijen.

METODE PENELITIAN

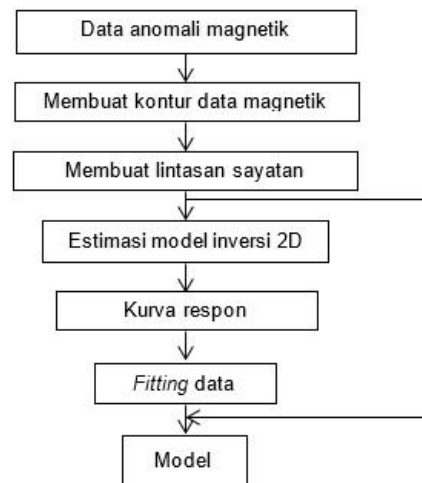
Penelitian ini merupakan penelitian simulasi komputer dengan tahapan pemodelan yang dilakukan seperti pada Gambar 2 untuk data sintetik dan Gambar 3 untuk data satelit WDMAM Wilayah Ijen.



Gambar 2. Tahapan pemodelan pada data sintetik

Langkah awal pemodelan pada data sintetik (Gambar 2) yaitu menentukan variasi parameter model yaitu : kedalaman, ukuran, dan suseptibilitas anomali magnetik. Variasi kedalaman yang digunakan yaitu pada kedalaman 1 m, 3 m, dan 5 m. Variasi ukuran yang digunakan yaitu 2 m x 1 m; 4 m x 2 m; dan 6 m x 3 m. Variasi suseptibilitas pada penelitian ini yaitu 0,003; 0,01; dan 0,007. Setelah itu dibuat pemodelan ke depan (*forward modeling*) dengan mengacu rumusan Stocco et al (2009) untuk berbagai variasi tersebut sehingga diperoleh kurva respon medan magnetik. Domain pemodelan pada data sintetik memiliki ukuran lateral 100 m dengan kedalaman 10 m. Berdasarkan kurva tersebut, dapat dianalisis pengaruh masing-masing variasi tersebut terhadap nilai medan magnetik. Lebih lanjut, kurva respon hasil pemodelan ke depan dijadikan sebagai input dalam pemodelan inversi yang juga dilakukan dengan mengacu pada rumusan Stocco et al (2009). Prosedur

iterasi dilakukan berdasarkan hasil *fitting* antara kurva medan magnetik computed dan observed. Hasil akhir pemodelan inversi berupa struktur bawah permukaan yang diharapkan sesuai dengan model sintetik awal yang dibuat.



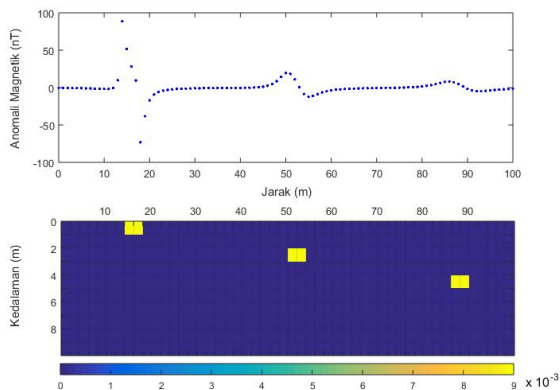
Gambar 3. Pemodelan inversi pada data magnetik satelit WDMAM wilayah Ijen

Selain diterapkan pada data sintetik, pemodelan inversi juga diterapkan pada data magnetik satelit WDMAM wilayah Ijen dengan koordinat 8°30' - 8°39' LS dan 113°30' - 114°30' BT. Data ini dapat diakses pada laman <http://wdmam.org>. Data magnetik selanjutnya diolah menjadi kontur medan magnetik, dilakukan 3 sayatan sejajar garis bujur untuk memperoleh kurva medan magnetik *observed*. Panjang domain pemodelan menyesuaikan dengan panjang lintasan sayatan sedangkan kedalaman dibatasi sampai 60 m. Hasil pemodelan inversi pada data magnetik WDMAM wilayah Ijen ini berupa struktur bawah permukaan yang digambarkan dalam bentuk blok-blok prisma dengan kedalaman dan suseptibilitas tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui hasil penelitian yang berupa kurva respon medan magnet total untuk variasi kedalaman, ukuran dan susceptibilitas pada pemodelan ke depan serta mengetahui hasil struktur bawah permukaan dan kurva respon pada pemodelan inversi.

Variasi kedalaman pada pemodelan ke depan menggunakan data sintetik dapat dilihat pada Gambar 4. Model sintetik divariasi pada kedalaman 1 m, 3 m, dan 5 m. Sedangkan parameter susceptibilitas dan ukuran benda prisma dibuat sama yaitu susceptibilitas 0,009 dengan ukuran 4 m x 1 m pada setiap variasi prisma.



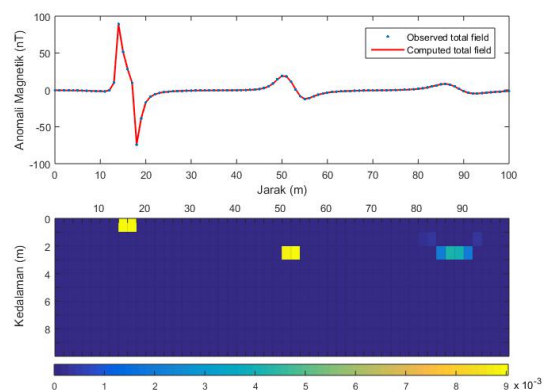
Gambar 4. Kurva respon medan magnet hasil pemodelan ke depan (bagian atas) berdasarkan model sintetik anomali magnetik (bagian bawah) dengan tiga variasi kedalaman

Tabel 1. Medan magnet untuk berbagai variasi kedalaman

Kedalaman (m)	Medan magnet (nT)
1 m	88,77
3 m	19,30
5 m	4,76

Kurva medan magnet hasil pemodelan kedepan (Gambar 4) menunjukkan semakin

dalam letak sumber anomali magnetik maka semakin kecil nilai medan magnetnya yang secara detail dinyatakan dalam Tabel 1. Output pemodelan ke depan selanjutnya digunakan sebagai input pemodelan inversi, hasil inversi pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 5.

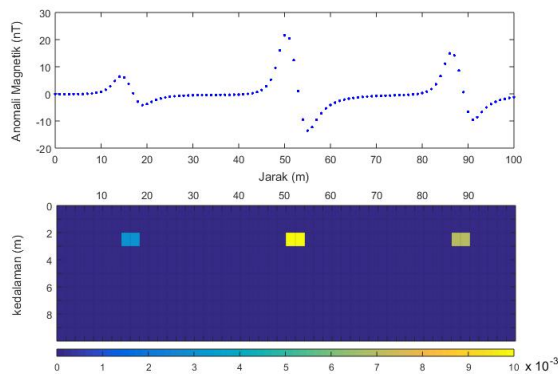


Gambar 5. Model sintetik anomali magnetik hasil inversi (bagian bawah) berdasarkan medan magnet total data sintetik dengan tiga variasi kedalaman (bagian atas)

Pada gambar 5, terlihat bahwa kurva medan magnet computed cukup sesuai (fit) dengan kurva medan magnet observed. Model struktur bawah permukaan yang diperoleh dari pemodelan inversi juga sesuai dengan model awal kecuali pada benda ketiga. Benda ketiga dengan nilai medan magnet 4,57 nT terlihat samar dan tidak sesuai dengan kedalaman semula. Nilai susceptibilitas pada benda ketiga juga berubah menjadi 0,005. Nilai medan magnet yang relatif kecil ini yang menyebabkan adanya ambiguitas sehingga proses inversi yang dilakukan tidak dapat merekonstruksi model awal dengan baik.

Variasi susceptibilitas pada pemodelan ke depan menggunakan data sintetik dapat dilihat pada Gambar 6. Model sintetik divariasi pada susceptibilitas 0,003; 0,01; dan 0,007. Sedangkan parameter kedalaman dan ukuran benda prisma dibuat sama yaitu kedalaman

3 m dengan ukuran 4 m × 1 m pada masing – masing prisma. Sesuai dengan teori yang ada pada persamaan (1) yang menyatakan bahwa nilai medan magnet total sebanding dengan nilai kontras suseptibilitasnya, hasil pemodelan pada Gambar 6 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin besar nilai suseptibilitas suatu benda maka akan semakin besar pula nilai medan magnet totalnya.

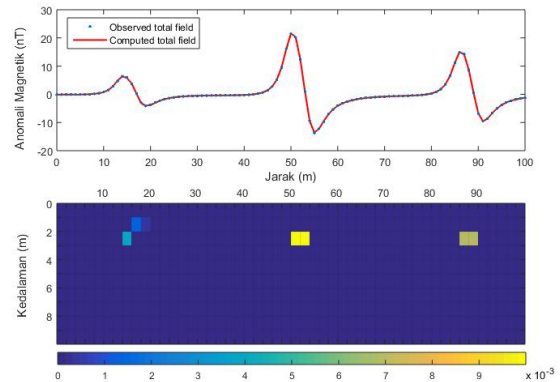


Gambar 6. Kurva respon medan magnet total hasil pemodelan ke depan (bagian atas) berdasarkan model sintetik anomali magnetik (bagian bawah) dengan tiga variasi suseptibilitas

Tabel 2. Medan magnet untuk berbagai variasi Suseptibilitas

Suseptibilitas	Medan magnet (nT)
0,003	6,40
0,007	8,61
0,01	21,53

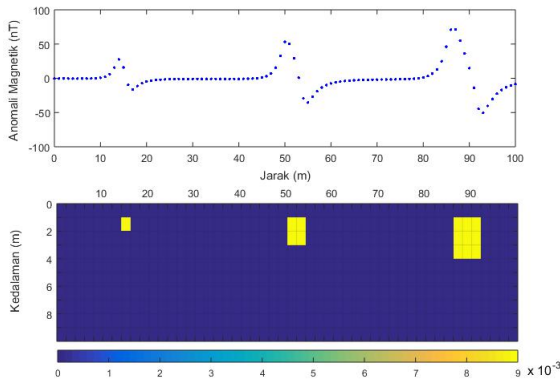
Output pemodelan ke depan ini yang kemudian diekstrak dan digunakan sebagai input pemodelan inversi. Hasil pemodelan inversi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Model sintetik anomali magnetik hasil inversi (bagian bawah) berdasarkan medan magnet total data sintetik dengan tiga variasi suseptibilitas (bagian atas)

Pada Gambar 7 terlihat bahwa 2 benda dengan suseptibilitas 0,007 dan 0,01 dapat direkonstruksi dengan baik sedangkan pada benda dengan suseptibilitas 0,003 dengan nilai medan magnet 6,40 nT tidak dapat direkonstruksi dengan baik dimana nilai suseptibilitas berubah dan kedalaman juga sedikit bergeser.

Variasi ukuran sumber anomali magnetik pada pemodelan ke depan menggunakan data sintetik dapat dilihat pada Gambar 8. Model sintetik divariasi pada ukuran 2 m × 1 m; 4 m × 2 m; dan 6 m × 3 m. Sedangkan parameter suseptibilitas dan kedalaman benda prisma dibuat sama yaitu suseptibilitas 0,009 dengan kedalaman 2 m. Hasil pada Gambar 8 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin besar ukuran benda maka semakin besar pula nilai medan magnetnya. Hal ini juga sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa geometri bahan menjadi salah satu parameter yang berpengaruh terhadap nilai anomali medan magnet.

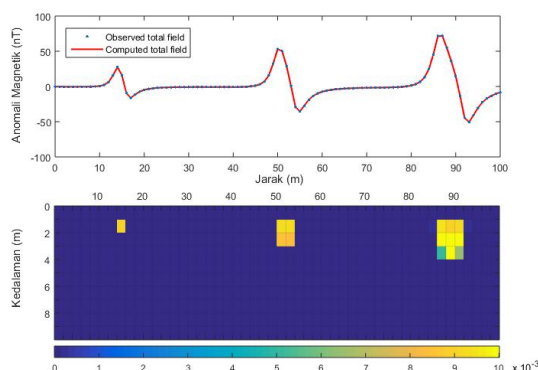


Gambar 8. Kurva respon medan magnet total hasil pemodelan ke depan (bagian atas) berdasarkan model sintetik anomali magnetik (bagian bawah) dengan tiga variasi ukuran

Tabel 3. Medan magnet untuk berbagai variasi ukuran benda

Ukuran	Medan magnet (nT)
2 m x 1 m	27,52
4 m x 2 m	53,23
6 m x 3 m	71,39

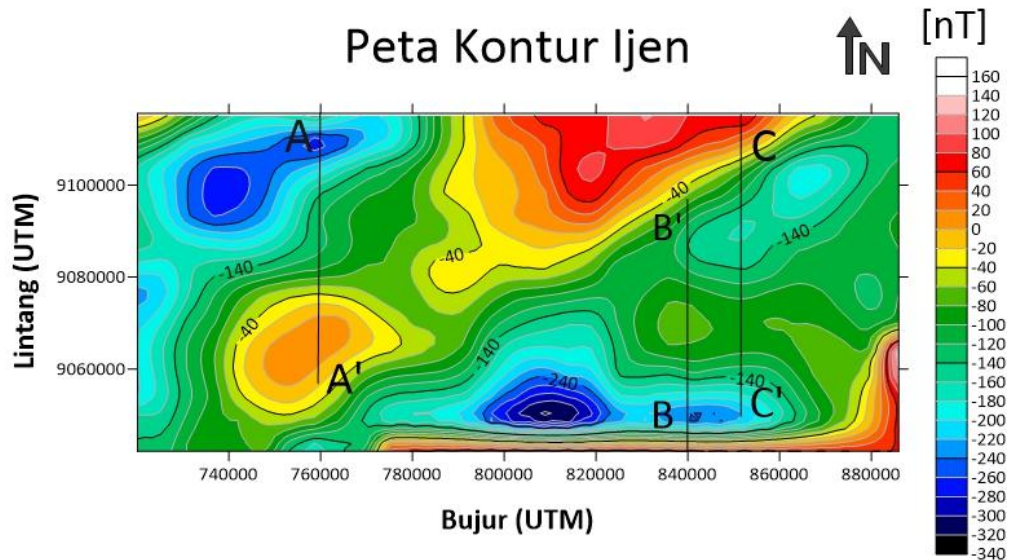
Hasil pada pemodelan ke depan ini kemudian akan diekstrak sehingga dapat digunakan sebagai input pemodelan inversi. Hasil pemodelan inversi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Model sintetik anomali magnetik hasil inversi (bagian bawah) berdasarkan medan magnet total data sintetik dengan tiga variasi ukuran (bagian atas)

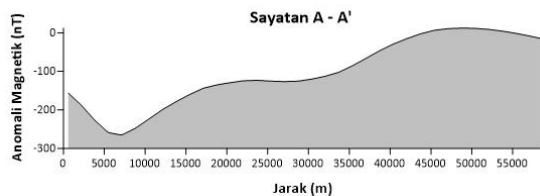
Hasil pemodelan inversi pada Gambar 9 (bagian bawah) menunjukkan kesesuaian ukuran dan bentuk yang cukup baik dengan model awal tetapi pada ukuran benda paling besar yaitu 6 m x 3 m terjadi sedikit perubahan nilai susceptibilitas.

Hasil pemodelan inversi pada data sintesis dianggap cukup baik walau ada beberapa kekurangan terutama ketika data medan magnet bernilai kecil. Pemodelan inversi menggunakan data satelit WDMAM dilakukan untuk membuktikan bahwa pemodelan inversi berdasarkan bentuk prisma sederhana dapat diaplikasikan pada data magnetik riil. Data satelit WDMAM yang digunakan yaitu data pada wilayah Ijen dengan koordinat 8°30' - 8°39' LS dan 113°30' - 114°30' BT. Data satelit WDMAM merupakan data yang sudah terkoreksi sehingga dapat diolah secara langsung menghasilkan kontur medan magnet (Gambar 10). Untuk memperoleh profil medan magnet sebagai input dalam pemodelan inversi maka dilakukan 3 sayatan sejajar garis bujur seperti pada Gambar 10. Lintasan sayatan dibuat sejajar sayatan dipilih sejajar garis bujur untuk mempermudah memperoleh variabel sumbu horizontal pada kurva anomali medan magnet. Lintasan sayatan dipilih melewati klosur anomali magnetik dengan variasi nilai medan magnet yang beragam mulai dari anomali rendah sampai anomali tinggi.



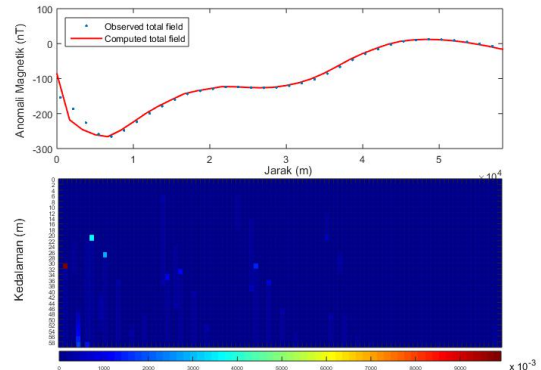
Gambar 10. Kontur anomali magnetik data WDMAM pada wilayah Ijen dengan tiga sayatan

Sayatan dilakukan sebanyak tiga kali dengan titik A – A', B – B', dan C – C'. Sayatan yang pertama pada lintasan A – A' dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Kurva medan magnet total pada sayatan A – A'

Hasil pemodelan inversi pada sayatan A – A' dapat dilihat pada Gambar 12. Domain pemodelan inversi pada sayatan A – A' ini diatur sebanyak 100 prisma dengan jarak total 58.776 m, dan kedalamannya diatur sampai 60 m dengan jumlah prisma 30, serta nilai kontras suseptibilitas diatur 0,3. Iterasi dilakukan sebanyak sepuluh kali.



Gambar 12. Hasil pemodelan inversi pada sayatan A – A'

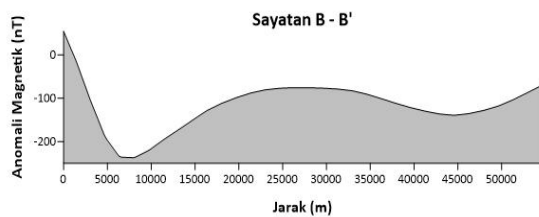
Tipe mineral dan nilai suseptibilitas struktur bawah permukaan hasil pemodelan inversi Gambar 12 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil pemodelan inversi sayatan A – A'

Warna	Suseptibilitas ($\times 10^{-3}$)	Mineral
Merah tua	9000	Magnetit
Hijau nyala	4000	Magnetit
Biru muda	3000	Magnetit
Biru tua	2000	Magnetit

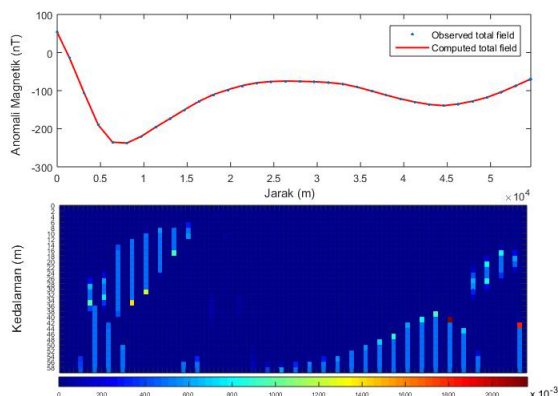
Pada sayatan A – A' dengan nilai suseptibilitas antara $2000 \times 10^{-3} - 4000 \times 10^{-3}$ dalam (SI) masih dapat terlihat hasil pemodelan inversinya, sedangkan pada nilai suseptibilitas 9000×10^{-3} dalam (SI) terdapat *error*. Hal ini dikarenakan ada beberapa pengaruh pada saat pengaturan estimasi model. Hasil pemodelan inversi pada jarak lateral 0-500m ini sedikit kurang *fit*. Hal ini diduga dipengaruhi oleh pengaturan pada estimasi model seperti diatur nilai kontras suseptibilitasnya, *noise/signal*, dan nilai iterasinya.

Kurva medan magnet pada sayatan B – B' dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Kurva medan magnet total pada sayatan B – B'

Domain pemodelan inversi pada sayatan B – B' ini diatur sebanyak 100 prisma dengan jarak total 54.653 m, dan kedalamannya diatur sampai 60 m dengan jumlah prisma 30, serta nilai kontras suseptibilitas hasil inversi diatur 0,5. Iterasi dilakukan sebanyak sepuluh kali.



Gambar 14. Hasil pemodelan inversi pada sayatan B – B'

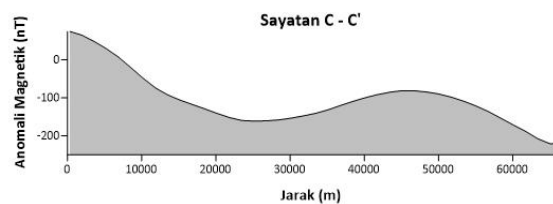
Tipe mineral dan nilai suseptibilitas struktur bawah permukaan hasil pemodelan inversi Gambar 14 ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data hasil pemodelan inversi sayatan B – B'

Warna	Suseptibilitas ($\times 10^{-3}$)	Mineral
Hijau muda	1000	Ilmenit
Biru nyala	800	Ilmenit
Oranye	1600	Ilmenit
Kuning	1400	Pirotit
Merah tua	2000	Magnetit
Merah	1800	Ilmenit

Menurut hasil yang diperoleh pada lintasan sayatan B – B' didominasi oleh mineral ilmenit, selain itu juga ada mineral magnetit dan pirotit. Pada sayatan B – B' nilai suseptibilitas antara $800 \times 10^{-3} - 2000 \times 10^{-3}$ dalam (SI) masih dapat terlihat hasil pemodelan inversinya. Nilai medan magnet anomali total antara model awal dan model hasil inversi cocok dan dapat dilihat pada Gambar 14. Hal ini menunjukkan bahwa data lapang juga dapat dimodelkan inversi dengan pendekatan menggunakan bentuk prisma sederhana.

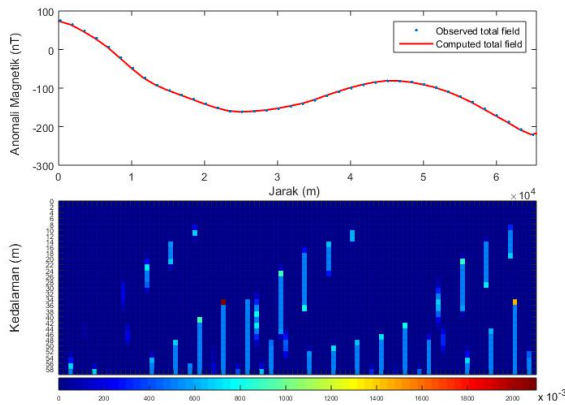
Sayatan yang kedua pada lintasan C – C' dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Kurva medan magnet total pada sayatan C – C'

Hasil pemodelan inversi pada sayatan C – C' dapat dilihat pada Gambar 16. Domain pemodelan inversi pada sayatan C – C' ini diatur sebanyak 100 prisma dengan jarak total 65.707 m, dan kedalamannya diatur sampai 60

m dengan jumlah prisma 30, serta nilai kontras suseptibilitas hasil inversi diatur 0,5. Iterasi dilakukan sebanyak sepuluh kali.



Gambar 16. Hasil pemodelan inversi pada sayatan $C - C'$

Tipe mineral dan nilai suseptibilitas struktur bawah permukaan hasil pemodelan inversi Gambar 16 ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil pemodelan inversi sayatan $C - C'$

Warna	Suseptibilitas ($\times 10^{-3}$)	Mineral
Biru muda	800	Ilmenit
Merah tua	2000	Magnetit
Oranye	1600	Ilmenit

Nilai medan magnet anomali total antara model awal dan model hasil inversi cocok dan dapat dilihat pada Gambar 16 membuktikan bahwa pemodelan inversi berdasarkan bentuk prisma sederhana dapat diaplikasikan pada data magnetik riil. Pada sayatan $C - C'$ dengan nilai suseptibilitas antara $800 \times 10^{-3} - 2000 \times 10^{-3}$ dalam (SI) masih dapat terlihat hasil pemodelan inversinya.

KESIMPULAN

Hasil pemodelan ke depan berupa kurva medan magnet sedangkan hasil pemodelan inversi berupa model struktur bawah

permukaan yang diwaliki oleh blok-blok prisma dengan kedalaman dan nilai suseptibilitas yang berbeda. Nilai medan magnet total akan semakin besar jika jarak kedalaman sumber anomali semakin kecil, suseptibilitas semakin besar, dan ukuran benda anomalnya semakin besar. Sedangkan hasil pemodelan inversi data sintetik menunjukkan kesesuaian yang cukup baik antara struktur bawah permukaan terhadap model sintetik awal. Semakin besar nilai medan magnet totalnya maka pemodelan inversi yang dihasilkan dapat merekonstruksi model awal dengan baik, sedangkan nilai medan magnet yang relatif kecil ini yang menyebabkan adanya ambiguitas sehingga proses inversi yang dilakukan tidak dapat merekonstruksi model awal dengan baik. Pemodelan inversi juga dapat diaplikasikan pada data riil berupa data satelit WDMAM untuk wilayah Ijen. Berdasarkan hasil pemodelan inversi untuk sayatan diperoleh bahwa struktur bawah permukaan pada wilayah Ijen terdiri dari batuan magnetit, ilmenit, dan ada batuan pirotit.

DAFTAR PUSTAKA

- Arman, Y., Antonius & J. Sampurno. (2016). Pemodelan Anomali Magnetik Berbetuk Prisma Menggunakan Algoritma Genetika. *Prisma Fisika*. IV(02), 50 – 55.
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Bandung : Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Hinze, W.J., R.R. B. von Frese., & A.H Saad. (2013). *Gravity And Magnetic Exploration : Principles, Practices, and Applications*. New York : Cambridge University Press.
- Jeshvaghani, M.S & M. DariJani . (2014). Two-Dimensional Geomagnetic Forward Modeling Using Adaptive

- Finite Element Method and Investigation of The Topographic Effect. *Journal of Applied Geophysics*, 105, 169-179.
- Jia, Z.S.L, S. Cheng, X. Zhao, & G. Zhang, (2020). Modeling of Complex Geological Body and Computation of Geomagnetic Anomaly, *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
- Kravchinsky, V. A., Hnatyshin, D., Lysak, B., & Alemie, W. 2019. Computation of Magnetic Anomalies Caused by Two-Dimensional Structures of Arbitrary Shape: Derivation and Matlab implementation. *Geophysical Research Letters*, 46, 7346-7351.
- Last, B.J & Kubik, K., (1983). Compact Gravity Inversion. *Geophysics* 48, 713–721
- Menke, W. (1984). *Geophysical data analysis : Discrete inverse theory*. Academic Press.
- Nugroho, I., M.T. Akbar, L.F. Erwin, F.T. Ismunanto, J.H. Almuhtar, & R.O. Riandikha. (2018). *Forward modeling metode magnetik*. Jakarta : Universitas Pertamina.
- Said, U., M. Heriyanto dan W. Srigutomo. (2016). Perbandingan Inversi *Least-Square* dengan *Levenberg-Marquardt* pada Metode Geomagnet untuk Model *Crustal Block*. Bandung : ITB.
- Stocco, S., A. Godio & L. Sambuelli. (2009). Modeling and compact inversion of magnetic data : A Matlab code. *Computers and Geosciences*. 35(10):2111–2118.
- Talwani, M. (1965). Computation with The Help of a Digital Computer of Magnetic Anomalies Caused by Bodies of Arbitrary Shape. *Geophysics*, 30(5), 797-817.
- Telford, M.W., Geldart L.P., Sheriff R.E., & Keys D.A. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. USA : Cambridge University Press.