

## Identifikasi Pipa Bawah laut dengan menggunakan data magnetik

### *Identification of submarine pipelines using magnetic data*

Purwaditya Nugraha<sup>1\*</sup>, Rizky Kusuma Nugraha<sup>2</sup>, Subarsyah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Geophysical Engineering Study Program, Institut Teknologi Sumatera; South Lampung, Indonesia

<sup>2</sup>Geophysical Engineering Study Program, Institut Teknologi Sumatera; South Lampung, Indonesia

<sup>3</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Laut (P3GL), Bandung, Indonesia

#### Article history:

Received: 16 September 2024

Accepted: 28 Desember 2024

#### Keywords:

magnetik, *Tie line levelling*,  
*Analytical signal*.

#### Correspondent author:

[purwaditya.nugraha@tg.itera.ac.id](mailto:purwaditya.nugraha@tg.itera.ac.id)

**Abstrak.** Jaringan pipa laut memiliki beberapa resiko kerusakan yang disebabkan oleh beberapa penyebab, diantaranya penurunan jangkar kapal, kapal kandas, kapal tenggelam, pukot, dan lain sebagainya. Beberapa faktor kerusakan tersebut menyebabkan pergeseran pipa bawah laut secara vertikal dan lateral yang dapat menyebabkan perubahan peta bentangan pipa bawah laut yang sudah dibuat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan pipa bawah laut dan mengetahui pola persebaran lokasi pipa bawah laut dengan menggunakan metode magnetik. Data magnetik kemudian dilakukan pengolahan hingga mendapatkan anomali magnetik total, kemudian dilakukan koreksi dengan menggunakan metode *tie line levelling*. Pengolahan lanjut dilakukan dengan menerapkan proses reduksi ke ekuator, kemudian menerapkan proses *analytical signal* sebagai penguatan sumber anomali. Proses interpretasi data menghasilkan peta identifikasi jalur pipa bawah laut. Hasil pengolahan didapatkan bahwa jalur pipa terletak pada kedalaman 2 meter hingga 18 meter dibawah permukaan laut dengan rentang anomali magnet sebesar 85, 16 nT hingga 128,11 nT.

**Abstract.** The sea pipeline network has several risks of damage caused by several causes, including ship anchors dropping, ships running aground, ships sinking, trawls, and so on. Several of these damage factors cause vertical and lateral shifts of the underwater pipeline which can cause changes in the map of the underwater pipeline that has been made. This study aims to identify the existence of underwater pipelines and determine the distribution pattern of underwater pipeline locations using the magnetic method. The magnetic data is then processed to obtain a total magnetic anomaly, then correction is made using the tie line leveling method. Further processing is carried out by applying the reduction process to the equator, then applying the analytical signal process as a strengthening of the anomaly source. The data interpretation process produces a map of the

identification of the underwater pipeline route. The results of the processing show that the pipeline is located at a depth of 2 meters to 18 meters below sea level with a magnetic anomaly range of 85.16 nT to 128.11 nT

© 2024 JIRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

## 1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas di Indonesia berkembang dengan sangat pesat, salah satu penyebab berkembangnya industri minyak dan gas di Indonesia karena keberadaan transportasi pengiriman minyak dan gas bumi dengan jaringan pipa bawah laut. Jaringan pipa bawah laut menjadi alternatif dalam pengiriman minyak dan gas bumi dari fasilitas produksi di *rig* atau area pengeboran lepas pantai menuju fasilitas yang berada di daratan. Jaringan pipa dapat digunakan untuk berbagai macam tujuan, diantaranya sebagai transportasi pengangkut fluida dari area produksi hingga ke area pengolahan (Wago, 2021).

Pipa bawah laut menjadi salah satu sarana transportasi atau pengiriman minyak dan gas yang aman, ekonomis, dan efisien, namun pada penggunaannya pipa bawah laut memiliki risiko yang besar dan rentan mengalami kerusakan, salah satu penyebab kerusakan diantaranya jangkar kapal, kapal kandas, kapal tenggelam, pukot, dan lain sebagainya (Wibowo & Mukhlash, 2017). Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Rachmat et al., 2016) terdapat beberapa potensi kegagalan struktur pipa minyak dan gas bawah laut diantaranya pipa tertimpa jangkar kapal, pergeseran akibat terseret jangkar kapal, dan terjadinya bentang

bebas (*freespan*) hingga terjadinya pergeseran pipa bawah laut secara vertikal dan lateral. Akibat dari pergeseran pipa tersebut menyebabkan perbedaan posisi antara lokasi pipa sebenarnya dengan peta lokasi pipa, sehingga dapat menyebabkan kesalahan identifikasi posisi pipa.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi lokasi dan posisi pipa adalah metode magnetik. Pipa bawah laut yang terbuat dari bahan logam dapat diidentifikasi keberadaannya dengan menggunakan metode magnetik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Setiap benda logam pasti memiliki sifat magnet. Pada dasarnya setiap benda yang memiliki sifat magnet maka memiliki dua arah kutub magnet yang berbeda yaitu kutub selatan dan kutub utara. Besarnya gaya magnet yang ada pada sebuah material mengikuti persamaan hukum Coulomb berikut:

$$F = \frac{P_1 P_2}{\mu_0 r^2} r_1$$

dimana  $F$  adalah gaya magnet atau gaya  $\mu_0$  merupakan permeabilitas medium di ruang hampa yang tidak memiliki dimensi dan  $r_1$  menunjukkan vektor satuan di arah  $P_1$  ke  $P_2$ .

Nilai  $\mu_0$  pada satuan SI sebesar  $4\pi \times 10^{-7}$  N/A<sup>2</sup> (Hinze et al., 2013).

Kuat medan magnet merupakan besarnya gaya magnet yang diterima oleh suatu material yang ditempatkan pada suatu area yang terdapat gaya magnet. Besarnya kuat medan magnet akan semakin besar ketika material semakin dekat ke sumber magnet (Hinze et al., 2013). Besarnya kuat medan magnet dapat mengikuti persamaan berikut:

$$T = \frac{F}{p} = \frac{p}{\mu_0 r^2} r_1$$

dimana  $T$  (nT) merupakan kuat medan magnet,  $F$  merupakan gaya Magnet atau gaya Coulumb,  $p$  merupakan muatan dari sebuah material, dan  $\mu_0$  merupakan permeabilitas medium pada ruang hampa yang tidak berdimensi dengan nilai sebesar  $4\pi \times 10^{-7}$  N/A<sup>2</sup>.

Setiap benda logam memiliki sifat magnet dan dapat termagnetisasi jika diletakan pada suatu area yang memiliki medan magnet. Material tersebut akan termagnetisasi karena proses induksi (Hinze et al., 2013). Magnetisasi suatu material dapat diukur dengan polarisasi magnetik yaitu *dipole per volume* atau disebut dengan intensitas magnetik yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\vec{M} = k \vec{H}$$

dengan  $\vec{M}$  merupakan intensitas magnetik (A/m),  $k$  merupakan suseptibilitas magnet, dan  $\vec{H}$  merupakan material yang terinduksi magnet (A/m) (Hinze et al., 2013).

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sifat kemagnetan material yang berada di bumi untuk mengidentifikasi kondisi dan fitur geologi bawah permukaan bumi. Beberapa manfaat metode magnetik yaitu dapat digunakan untuk identifikasi struktur geologi, litologi, dan kandungan mineral (Cassidy & Locke, 2010; Reeh & Aifa, 2008).

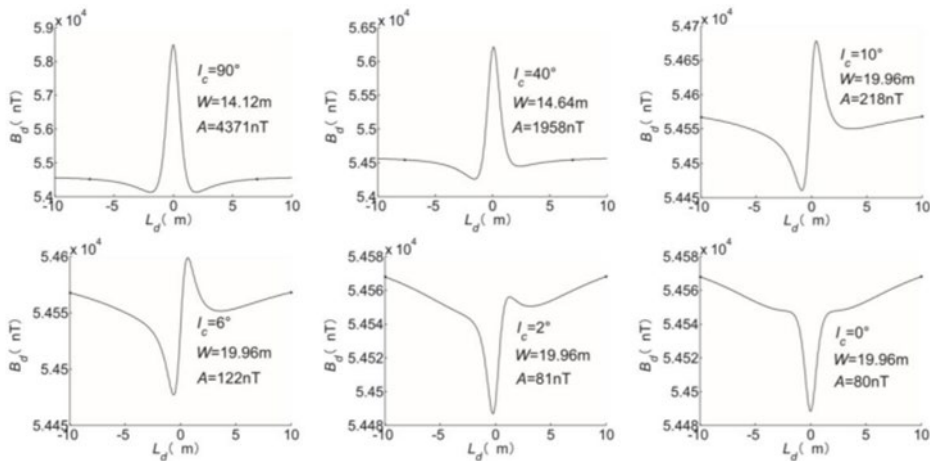
### 3. METODE PENELITIAN

Data magnetik yang sudah didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan disebabkan oleh beberapa macam sumber kuat medan magnetik, di antaranya oleh kuat medan internal bumi yang berasal dari dalam inti bumi, kuat medan luar bumi yang berasal dari lapisan terionisasi atmosfer dan material atmosfer, dan kuat medan magnet lokal yang berasal dari batuan dan mineral logam pada lokasi pengukuran. Untuk mendapatkan informasi bawah permukaan bumi maka komponen yang dibutuhkan hanya kuat medan lokal sehingga data magnetik hasil pengukuran perlu dilakukan koreksi untuk menghilangkan kuat medan inti bumi dan kuat medan luar bumi. Koreksi yang dilakukan adalah koreksi IGRF atau koreksi *Internasional Geomagnetic Reference Field* yang dilakukan untuk menghilangkan kuat medan internal bumi yang berasal dari inti bumi. Koreksi berikutnya adalah koreksi harian. Koreksi harian dilakukan untuk menghilangkan kuat medan bumi akibat kuat medan luar bumi seperti efek aktivitas radiasi matahari dan material luar angkasa. Setelah dilakukan koreksi IGRF dan koreksi harian maka didapatkanlah data Anomali Magnet Total atau data AMT, dimana

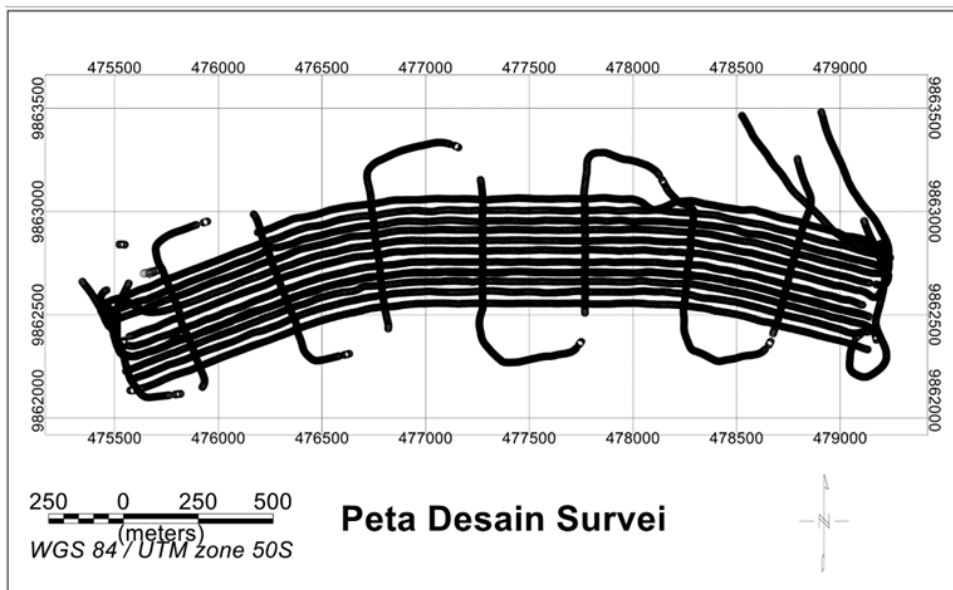
data tersebut merupakan data kuat medan magnet yang disebabkan oleh batuan dan kandungan mineral logam di bawah permukaan tanah.

Pengaruh kuat medan magnetik yang terukur tidak hanya berasal dari faktor inti bumi, luar bumi, dan batuan di bawah permukaan, tetapi terdapat juga kuat medan magnetik dengan periode pendek yang disebabkan oleh proses pengukuran. Variasi kuat medan magnetik periode pendek ini disebabkan karena terdapat perbedaan data terukur akibat perbedaan waktu pengukuran

(Lghoul et al., 2023; Mohammadzadeh, 2015; Subarsyah & Albab, 2022). Pengaruh variasi periode pendek dapat dihilangkan dengan melakukan koreksi *tie line leveling*, proses ini merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menyesuaikan data geomagnet tiap lintasan dengan memanfaatkan titik potong di setiap lintasan. Persyaratan utama teknik ini yaitu terdapat lintasan yang saling berpotongan yang berfungsi sebagai pengikat, karena pada titik potong tersebut nilai ukur data magnetik harus memiliki nilai yang sama. ..



Gambar 1 Pengaruh inklinasi pada kurva anomali magnetik



Gambar 2 Peta Desain pengukuran data magnetik

Setelah koreksi dilakukan pada semua data terukur, maka pengaruh kuat medan magnet sudah dipastikan berasal dari batuan dan mineral logam di bawah permukaan tanah. Proses selanjutnya adalah melakukan *enhancement* atau penguatan sumber anomali dengan tujuan untuk mempermudah proses interpretasi (Cooper & Cowan, 2006; Eldosouky et al., 2020; Stewart & Miller, 2018).

Proses ini dilakukan dengan dua jenis filter yaitu *reduce to ekuator* dan *Analytical Signal*. Proses *reduce to equator* adalah proses untuk menghilangkan pengaruh inklinasi pada data terukur. Proses ini mengubah sudut inklinasi di lokasi pengukuran menjadi seolah-olah sudut inklinasi di lokasi pengukuran bernilai 0°. Pengaruh sudut inklinasi dapat dapat dihitung secara matematis yang ditampilkan pada **Gambar 1** (Wang et al., 2009)

Sudut inklinasi dapat mempengaruhi kurva anomali magnetik di lokasi pengukuran, sehingga sumber anomali yang tercermin pada kurva anomali menjadi sulit terlihat dengan baik. Pengaruh sudut inklinasi ini menyebabkan proses interpretasi menjadi lebih sulit, oleh karena itu untuk mempermudah proses interpretasi maka pada data magnetik dilakukan filter *reduce to equator*.

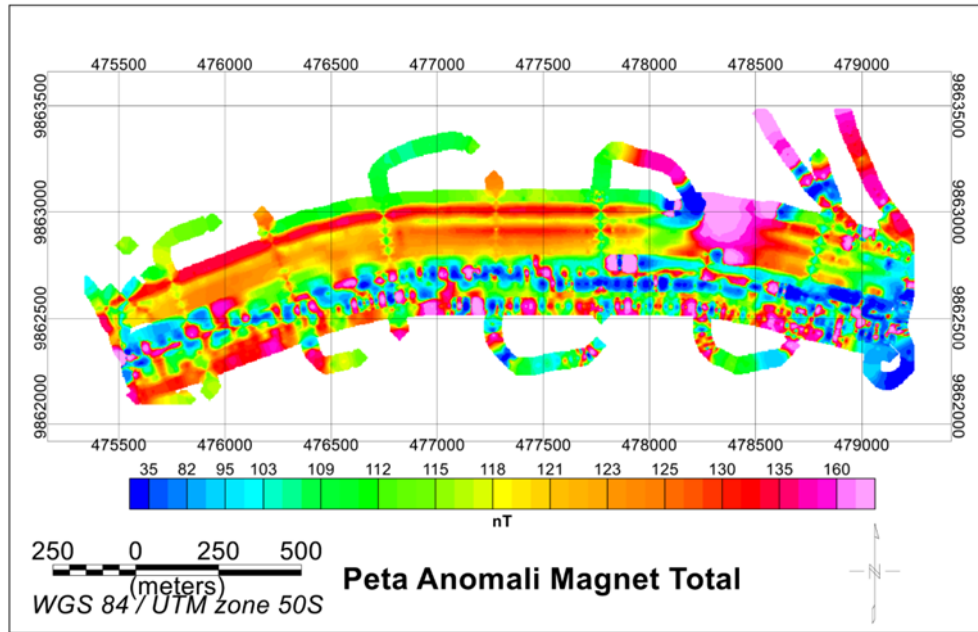
Hasil dari proses *reduce to pole* belum memperlihatkan batas tepi atau batas geometri dari sumber anomali, maka untuk dapat memperlihatkan batas geometri dan batas tepi dari sumber anomali perlu dilakukan *enhancement* atau penguatan sumber anomali. Terdapat banyak jenis penguatan sumber anomali, seperti TDX, TDR,

INH, phase spektral dan *Analytical signal* (Eldosouky et al., 2020; Ting-Jie et al., 2016; Wang et al., 2009). Setiap proses penguatan sumber anomali memiliki karakternya masing-masing dalam proses interpretasi data, hanya dalam penelitian ini dipilih jenis proses penguatan dengan *Analytical Signal* (AS). Desain survei pengukuran data magnetik dapat dilihat pada peta **Gambar 2**

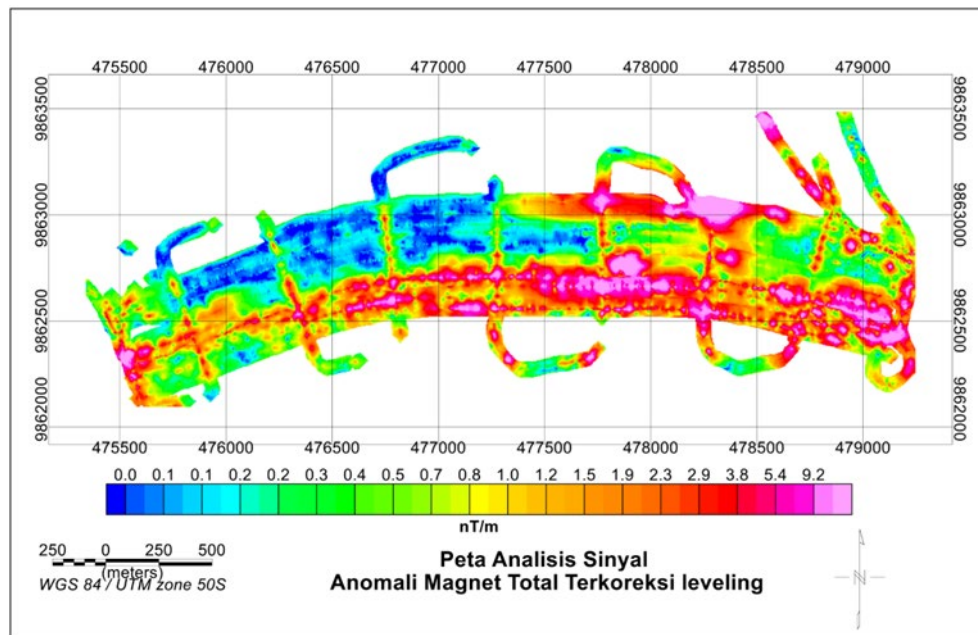
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali magnet total yang sudah didapatkan kemudian dipetakan dapat dilihat pada **Gambar 3**. Persebaran anomali magnet total berkisar antara 29 nT sampai 162 nT. Untuk memudahkan interpretasi maka nilai anomali dibagi menjadi tiga kelas, yaitu anomali rendah, anomali sedang, dan anomali tinggi. Anomali rendah ditunjukkan dengan nilai rentang anomali 29,5 nT sampai 112,4 nT, anomali sedang berada pada rentang 112,4 nT sampai 123,7 nT, dan anomali tinggi dengan nilai 123,7 nT sampai 163 nT. Anomali rendah diperlihatkan pada peta kontur berwarna biru hingga hijau tua, anomali sedang diperlihatkan pada peta kontur hijau muda hingga jingga, dan anomali tinggi diperlihatkan pada peta kontur jingga hingga merah muda.

Data anomali magnet total masih terdapat pengaruh dari efek magnetik dengan periode pendek sehingga perlu dilakukan koreksi *tie line*. Hasil data anomali magnet total yang sudah terkoreksi *tie line* dapat dilihat pada **Gambar 4**. Setelah dilakukan koreksi *tie line* rentang nilai anomali magnet berubah menjadi -27,8 nT hingga 169,5 nT. Perubahan nilai anomali tersebut disebabkan merupakan akibat koreksi *tie line* yang



**Gambar 3** Peta Anomali Magnet Total



**Gambar 4** Peta Analisis Sinyal Anomali Magnet Yang Terkoreksi Leveling

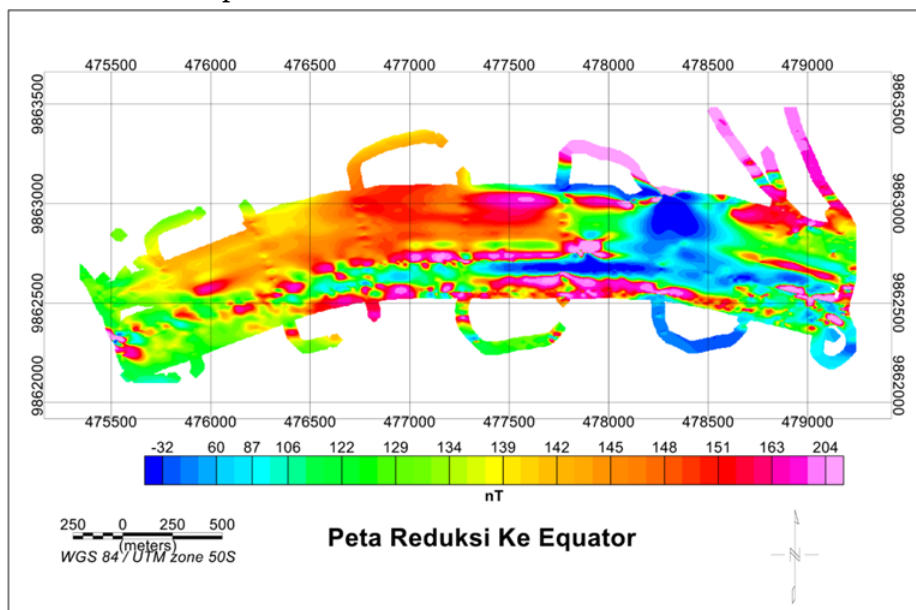
menghilangkan variasi magnetik dengan periode pendek sehingga memangkas nilai *noise* dan menyamakan nilai anomali magnetik pada titik yang merupakan *crossline*. Untuk memudahkan interpretasi data anomali magnetik total yang sudah terkoreksi *teline* maka nilai anomali dibagi menjadi tiga kelas yaitu anomali rendah, anomali menengah, dan anomali tinggi. Anomali rendah di

tunjukkan dengan rentang nilai -27,8 nT hingga 109,1 nT, anomali menengah dengan rentang nilai 109,1 nT hingga 121,2 nT, dan anomali tinggi dengan rentang nilai 121,1 nT hingga 169,5 nT. Anomali rendah di tunjukkan dengan kontur anomali berwarna biru hingga hijau tua, anomali menengah di tunjukkan dengan kontur anomali berwarna hijau muda hingga jingga, sedangkan anomali tinggi di

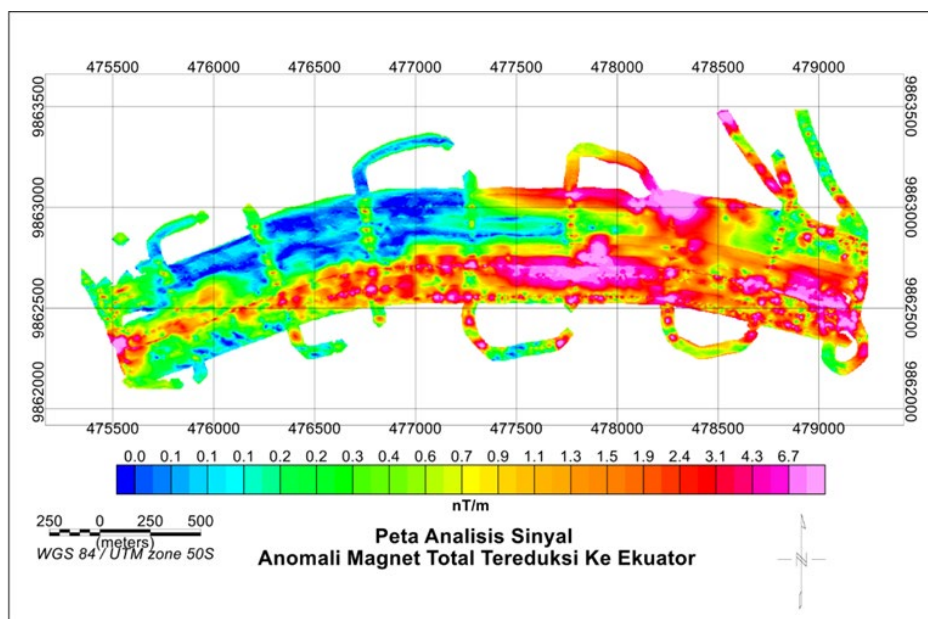
tunjukan pada kontur berwarna jingga hingga merah muda.

Peta anomali magnet total yang sudah dilakukan koreksi *tie line* masih memiliki pengaruh dari sudut inklinasi dan deklinasi. Pengaruh sudut tersebut menyebabkan data anomali magnet bersifat *dipole* atau memiliki dua kutub anomali untuk satu sumber anomali. Efek *dipole* pada data magnet membuat data sulit diinterpretasi. Solusi

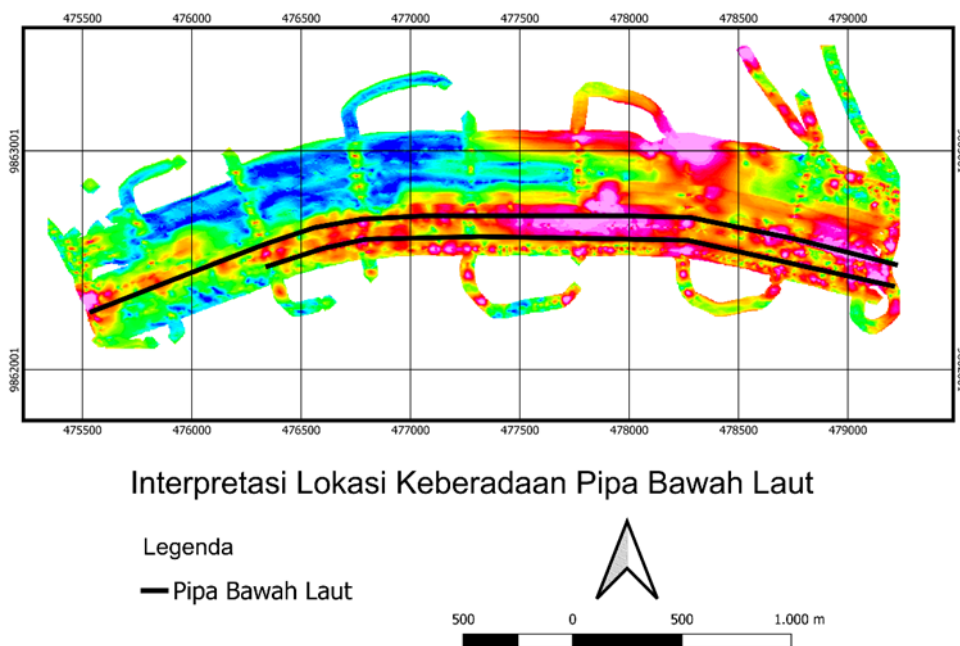
untuk menghilangkan efek *dipole* adalah dengan melakukan transformasi atau reduksi pada data magnet. Reduksi yang dilakukan adalah reduksi ke equator. Proses ini mengubah sudut inklinasi dan deklinasi yang awalnya bernilai  $-17,92^\circ$  dan  $0,31^\circ$  menjadi  $0^\circ$  untuk semua sudut. Peta anomali magnet yang sudah dilakukan reduksi ke ekuator dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5** Peta Anomali Magnet Reduksi ke Ekuator



**Gambar 6** Peta Analisis Sinyal Anomali Magnet Total Tereuksi ke Ekuator



**Gambar 7** Peta Interpretasi Lokasi Keberadaan Pipa Bawah Laut

Pada peta anomali magnet tereduksi ke ekuator menunjukkan peta yang lebih bersih dari *closure* yang merupakan efek dari *dipole*, selain itu pada peta ini juga menunjukkan bahwa satu sumber anomali sudah di tunjukan oleh satu respons anomali. Pada peta anomali magnet tereduksi ke ekuator terdapat persebaran nilai anomali magnet yang beragam, mulai dari -32,4 nT hingga 171 nT. Nilai ini didominasi oleh efek dari batuan dan kondisi geologi bawah permukaan, sedangkan nilai subordinat dari persebaran anomali magnet adalah nilai yang menjadi target pada penelitian ini yaitu lokasi pipa bawah laut. Geometri pipa bawah laut yang relatif kecil jika dibandingkan dengan geometri dan kondisi geologi bawah permukaan menyebabkan nilai anomali yang diakibat oleh pipa menjadi sulit untuk diidentifikasi lokasinya, sehingga perlu proses untuk memperkuat sumber anomali yang diakibatkan dari pipa bawah laut. Dalam

penelitian ini menggunakan proses filter analisis sinyal dalam proses penguatan anomali. Proses analisis sinyal menunjukkan batas sumber anomali pada batas kontras respons anomali, sehingga untuk menentukan batas dari geometri sumber anomali dapat diamati pada batas kontras anomali. Selain dapat menunjukkan batas geometri dari sumber anomali, proses analisis sinyal juga dapat digunakan sebagai filter untuk menunjukkan anomali dengan frekuensi tinggi atau sumber anomali yang berasosiasi pada kedalaman dangkal. Hasil proses analisis sinyal dapat dilihat pada **Gambar 6**

Analisis peta analisis sinyal dan pertimbangan dari peta reduksi ke ekuator didapatkan lokasi yang diindikasikan terdapat pipa bawah laut. Bahan pipa bawah laut yang terbuat dari logam menghasilkan kecenderungan nilai anomali yang relatif tinggi. Sehingga pada peta analisis sinyal dan peta reduksi ke kutub diindikasikan

keberadaan pipa bawah laut berada di sisi selatan daerah penelitian. Hasil interpretasi keberadaan pipa bawah laut dapat diamati pada **Gambar 7**.

## 5. KESIMPULAN

Hasil pengolahan data dan interpretasi data magnetik menunjukkan indikasi keberadaan pipa bawah laut. Keberadaan pipa bawah laut sulit diidentifikasi dengan peta anomali magnet total, sehingga dilakukan pengolahan lanjutan dengan menggunakan filter reduksi ke ekuator dan analisis sinyal. Peta analisis sinyal sangat jelas menunjukkan keberadaan pipa bawah laut yang diindikasikan dengan pola dan kecenderungan nilai anomali yang relatif tinggi karena pipa terbuat dari bahan logam.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini. Terimakasih kepada pihak Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Laut (P3GL) yang telah memberikan dukungan berupa data pengukuran pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Cassidy, J., & Locke, C. A. (2010). The Auckland volcanic field, New Zealand: Geophysical evidence for structural and spatio-temporal relationships. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 195(2–4), 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.06.016>

Cooper, G. R. J., & Cowan, D. R. (2006). Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers and Geosciences*, 32(10),

1585–1591.

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.02.016>

Eldosouky, A. M., Pham, L. T., Mohamed, H., & Pradhan, B. (2020). A comparative study of THG, AS, TA, Theta, TDX and LTHG techniques for improving source boundaries detection of magnetic data using synthetic models: A case study from G. Um Monqul, North Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 170, 103940. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103940>

Hinze, W. J., von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2013). *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices and Exploration*.

Lghoul, M., Abd-Elhamid, H. F., Zelenáková, M., Abdelrahman, K., Fnais, M. S., & Sbihi, K. (2023). Application of enhanced methods of gravity data analysis for mapping the subsurface structure of the bahira basin in Morocco. *Frontiers in Earth Science*, 11(July), 1–15.

<https://doi.org/10.3389/feart.2023.1225714>

Mohammadzadeh, M. (2015). Interpretation of Aeromagnetic Data to Locate Buried Faults in North of Zanjan Province, Iran. *Journal of Geophysics & Remote Sensing*, 04(02). <https://doi.org/10.4172/2169-0049.1000143>

Rachmat, B., Purwanto, C., & Raharjo, P. (2016). Kajian Identifikasi Infrastruktur Jaringan Pipa Migas Bawah Laut Di Perairan Sebelah Utara Provinsi Banten. *Jurnal Geologi Kelautan*, 9(2), 79.

<https://doi.org/10.32693/jgk.9.2.2011.202>

Reeh, G., & Aifa, T. (2008). Age of the source of the Jarrafa gravity and magnetic anomalies offshore Libya and its geodynamic implications. *Journal of Geodynamics*, 45(4–5), 217–233. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2008.01.001>

Stewart, I. C. F., & Miller, D. T. (2018). Directional tilt derivatives to enhance structural trends in

- aeromagnetic grids. *Journal of Applied Geophysics*, 159, 553–563. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.10.004>
- Subarsyah, , & Albab, A. (2022). Identifikasi Pipa Bawah Laut Menggunakan Data Geomagnet, Perairan Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, 20(2), 81–86. <https://doi.org/10.32693/jgk.20.2.2022.768>
- Ting-Jie, Y., Yan-Gang, W., Yuan, Y., & Ling-Na, C. (2016). Edge Detection of Potential Field Data Using an Enhanced Analytic Signal Tilt Angle. *Chinese Journal of Geophysics*, 59(4), 341–349. <https://doi.org/10.1002/cjg2.20239>
- Wago, O. (2021). Perencanaan Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Di Desa Lekogoko-Ngada. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 163–172.
- Wang, W., Pan, Y., & Qiu, Z. (2009). A new edge recognition technology based on the normalized vertical derivative of the total horizontal derivative for potential field data. *Applied Geophysics*, 6(3), 226–233. <https://doi.org/10.1007/s11770-009-0026-x>
- Wibowo, I. L., & Mukhlash, I. (2017). 280121-Penilaian-Risiko-Pipa-Bawah-Laut-Oleh-Fa-Fe92Ce40. 61–71.