



MONOGRAF | 2020

APLIKASI SURVEI MAGNETIK UNTUK EKSPLORASI PASIR BESI

Disusun berdasarkan hasil-hasil penelitian di kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun dan Nusawungu Kabupaten Cilacap Tahun 2016 - 2018



Penunjang Matakuliah Gravitasi dan Geomagnet

SEHAH



MONOGRAF

**APLIKASI SURVEI MAGNETIK
UNTUK EKSPLORASI PASIR BESI**

**Disusun berdasarkan hasil-hasil penelitian di kawasan prospek bijih besi
Pesisir Binangun dan Nusawungu Kabupaten Cilacap Tahun 2016 - 2018**

Sehah, S.Si., M.Si.



Penerbit
Universitas Jenderal Soedirman
2020

Monograf

APLIKASI SURVEI MAGNETIK UNTUK EKSPLORASI PASIR BESI

© 2020 Universitas Jenderal Soedirman

Cetakan Kesatu, Maret 2020

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Right Reserved

Penulis:

Sehah, S.Si., M.Si.

Editor Bahasa:

Imam Suhardi, S.S., M.Hum.

Editor Isi:

Prof. Dr. Ing. R. Wahyu Widanarto

Diterbitkan oleh:

UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
Gd. BPU Percetakan dan Penerbitan (UNSOED Press)
Telp. (0281) 626070
Email: unsoedpress@unsoed.ac.id



Anggota

Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia

Nomor : 003.027.1.03.2018

xii + 75 hal., 15 x 23 cm

ISBN : 978-623-7144-67-0

*Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit,
sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun, baik cetak,
photoprint, microfilm dan sebagainya.*

PRAKATA

Alhamdulillah penulis memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan kesehatan sehingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan buku monograf yang berjudul **Aplikasi Survei Magnetik untuk Eksplorasi Pasir Besi**. Buku ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis di sepanjang pesisir timur Kabupaten Cilacap Jawa Tengah tahun 2016 – 2018. Buku monograf ini diharapkan juga dapat digunakan sebagai pendukung materi kuliah Survei Magnetik yang diajarkan di Program Studi Fisika UNSOED.

Penulis menyampaikan terimakasih kepada beberapa pihak yang telah mendukung penyelesaian penulisan buku monograf ini, yaitu:

1. Rektor Universitas Jenderal Soedirman dan Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) UNSOED.
2. Dekan Fakultas MIPA, Ketua Jurusan Fisika, dan Kepala Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika Fakultas MIPA UNSOED.
3. Tim peneliti yang meliputi dosen dan mahasiswa Program Studi Fisika Fakultas MIPA UNSOED.

Penulis berharap bahwa buku monograf ini dapat dimanfaatkan secara luas mengingat ketersediaan buku tentang Survei Magnetik yang berbahasa Indonesia sangat sedikit. Penulis percaya bahwa buku ini sangat membantu dosen dan mahasiswa dalam memahami Survei Magnetik dan aplikasinya dalam eksplorasi dan pemetaan sumberdaya alam bawah permukaan terutama pasir besi. Penulis menyadari bahwa materi dan sistematika penulisan buku monograf ini masih banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis berharap agar pembaca dan pengguna buku monograf ini berkenan memberikan masukan, saran, dan kritikan untuk perbaikan redaksi, materi, dan sistematika penulisan buku monograf ini.

Penulis berharap semoga buku monograf ini bermanfaat terutama bagi dosen, peneliti, mahasiswa, dan praktisi sebagai bekal awal untuk memahami konsep dasar Survei Magnetik yang terdiri atas akuisisi data, pengolahan data, pemodelan, dan interpretasi data; serta aplikasinya dalam penelitian dan eksplorasi sumberdaya alam bawah permukaan.

Purwokerto, 03 Maret 2020
Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	vii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Permasalahan	3
1.3. Kerangka Pemecahan Masalah	4
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.5. Keterbaruan Hasil Penelitian.....	5
2. KONSEP DASAR SURVEI MAGNETIK.....	7
2.1. Medan Potensial Magnetik.....	7
2.1.1. Induksi Magnetik dari Loop Berarus.....	7
2.1.2. Potensial Magnetik.....	8
2.1.3. Anomali Magnetik.....	9
2.2. Kemagnetan Batuan dan Mineral.....	11
2.2.1. Kemagnetan Remanen.....	11
2.2.2. Suseptibilitas Magnetik.....	12
3. METODE SURVEI MAGNETIK	17
3.1. Metode Akuisisi Data Magnetik	17
3.1.1. Peralatan Penelitian.....	17
3.1.2. Teknik Akuisisi Data Magnetik	19
3.1.3. Metode Pengaksesan Nilai IGRF	20
3.2. Metode Pengolahan Data Magnetik	21
3.2.1. Koreksi Data Magnetik	21
3.2.2. Reduksi Data Magnetik.....	25
3.3. Metode Pemodelan dan Interpretasi Data Magnetik	34
3.3.1. Pemodelan Sumber Anomali.....	34
3.3.2. Teknis Pemodelan dan Interpretasi	34
4. HASIL-HASIL SURVEI MAGNETIK.....	37
4.1. Hasil Akuisisi Data Magnetik	37
4.2. Hasil Kajian Geologi Daerah Penelitian	38
4.3. Hasil Interpretasi Kualitatif Sebaran Pasir Besi.....	39
4.4. Hasil Interpretasi Kuantitatif Model Batuan Pasir Besi ..	43
4.4.1. Kawasan Pesisir Widarapayung	44
4.4.2. Kawasan Pesisir Binangun Barat	46
4.4.3. Kawasan Pesisir Binangun Timur	48
4.4.4. Kawasan Pesisir Nusawungu Barat.....	50
4.4.5. Kawasan Pesisir Nusawungu Timur.....	52
4.5. Hasil Korelasi dengan Data Geolistrik.....	54

4.5.1. Kawasan Pesisir Binangun Barat	54
4.5.2. Kawasan Pesisir Nusawungu Barat.....	57
4.5.3. Kawasan Pesisir Nusawungu Timur	60
4.6. Pembahasan dan Rekomendasi Hasil Penelitian.....	63
5. KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran-Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
INDEKS	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Skema perkiraan terbentuknya endapan pasir besi di kawasan pesisir dan contoh pantai yang kaya mineral bijih besi	2
Gambar 2.1.	Dua buah loop arus listrik I_a dan I_b yang terpisah pada jarak r	7
Gambar 2.2.	Titik P di dekat sebuah loop berarus. Gerakan P di sepanjang dl' adalah sebanding dengan gerakan loop di sepanjang $-dl'$	8
Gambar 2.3.	Anomali magnetik dari batuan atau benda bawah permukaan bumi	10
Gambar 3.1.	Peralatan utama penelitian yang digunakan dalam akuisisi data magnetik; <i>Proton Precession Magnetometers</i> tipe GSM-19T	17
Gambar 3.2.	Peralatan <i>Global Positioning System</i> produksi Garmin	18
Gambar 3.3.	<i>Plotting</i> titik-titik ukur untuk akuisisi data magnetik di kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap.	20
Gambar 3.4.	Peta kuat medan magnetik total di kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap.....	20
Gambar 3.5.	Skema metode <i>looping</i> pada pengukuran medan magnetik di lapangan.....	22
Gambar 3.6.	Peta anomali magnetik total kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap	24
Gambar 3.7.	Proses reduksi data medan potensial (anomali magnetik) dari bidang tidak datar menuju ke bidang datar.	25
Gambar 3.8.	Peta anomali magnetik total kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap setelah direduksi ke bidang datar pada ketinggian topografi rata-rata 24,82 meter.....	27
Gambar 3.9.	Kontinuasi ke atas dari bidang datar.....	28
Gambar 3.10.	Peta anomali magnetik hasil pengangkatan ke atas (a) 500 meter, (b) 1.000 meter, (c) 1.500 meter, (d) 2.000 meter (e) 2.500 meter (f) 3.000 meter (g) 2.250 meter dan (h) 3.500 meter.	32

Gambar 3.11.	Peta anomali magnetik regional kawasan Pesisir Nusawungu Barat setelah dilakukan pengangkatan hingga ketinggian 3.250 meter	33
Gambar 3.12.	Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat setelah dilakukan koreksi efek magnetik regional	33
Gambar 3.13.	Lintasan AB di atas peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat untuk pemodelan sumber anomali	35
Gambar 4.1.	Peta lokasi penelitian survei magnetik di kawasan pesisir timur Kabupaten Cilacap.....	37
Gambar 4.2.	Peta geologi daerah penelitian	38
Gambar 4.3.	Peta anomali magnetik lokal seluruh daerah penelitian (urutan lokasi peta kontur sesuai Gambar 4.1)	40
Gambar 4.4.	Peta anomali magnetik lokal kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap.....	42
Gambar 4.5.	Kegiatan eksploitasi dan instalasi pemisahan pasir besi yang pernah beroperasi di kawasan Pesisir Binangun.....	43
Gambar 4.6.	Peta anomali magnetik lokal kawasan prospek bijih besi Pesisir Widarapayung Kabupaten Cilacap.....	44
Gambar 4.7.	Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Widarapayung	45
Gambar 4.8.	Peta anomali magnetik lokal kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Barat Kabupaten Cilacap.....	46
Gambar 4.9.	Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Binangun Barat	47
Gambar 4.10.	Peta anomali magnetik lokal untuk kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Timur Kabupaten Cilacap.....	48
Gambar 4.11.	Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Binangun Timur	49
Gambar 4.12.	Peta anomali magnetik lokal untuk kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap.....	50

Gambar 4.13.	Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Nusawungu Barat.....	51
Gambar 4.14.	Peta anomali magnetik lokal untuk kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Timur Kabupaten Cilacap.....	52
Gambar 4.15.	Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Nusawungu Timur	53
Gambar 4.16.	Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Binangun Barat Kabupaten Cilacap dan <i>plotting</i> titik-titik <i>sounding</i> resistivitas	55
Gambar 4.17.	Log resistivitas batuan yang telah diinterpretasi secara litologi di kawasan Pesisir Binangun Barat Kabupaten Cilacap.....	55
Gambar 4.18.	Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap dan <i>plotting</i> titik-titik <i>sounding</i> resistivitas	58
Gambar 4.19.	Log resistivitas batuan yang telah diinterpretasi secara litologi di kawasan Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap	58
Gambar 4.20.	Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Timur Kabupaten Cilacap dan <i>plotting</i> titik-titik <i>sounding</i> resistivitas	61
Gambar 4.21.	Log resistivitas batuan yang telah diinterpretasi secara litologi di kawasan Pesisir Nusawungu Timur Kabupaten Cilacap.....	61
Gambar 4.22.	Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat dan <i>plotting</i> lintasan akuisisi data resistivitas 2D.....	64
Gambar 4.23.	Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-01.....	64
Gambar 4.24.	Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-02.....	65
Gambar 4.25.	Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-03.....	65
Gambar 4.26.	Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-04.....	65

Gambar 4.27. Peristiwa abrasi pantai di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat (dokumentasi pribadi) ...	66
Gambar 4.28. Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D di kawasan Pesisir Nusawungu Timur dengan posisi (7,70939°LS dan 109,35582°BT).....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Suseptibilitas magnetik beberapa jenis mineral	15
Tabel 2.2.	Suseptibilitas magnetik beberapa jenis batuan.....	15
Tabel 4.1.	Posisi geografis masing-masing lokasi daerah penelitian.....	37
Tabel 4.2.	Data magnetik total masing-masing lokasi daerah penelitian.....	37
Tabel 4.3.	Estimasi potensi pasir besi di seluruh daerah penelitian berdasarkan interpretasi data anomali magnetik lokal secara kualitatif	41
Tabel 4.4.	Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Widarapayung	44
Tabel 4.5.	Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Widarapayung	45
Tabel 4.6.	Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Barat	46
Tabel 4.7.	Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Binangun Barat.....	47
Tabel 4.8.	Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Timur	48
Tabel 4.9.	Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Binangun Timur.....	49
Tabel 4.10.	Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Barat	50
Tabel 4.11.	Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Nusawungu Barat.....	51
Tabel 4.12.	Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Timur.....	52
Tabel 4.13.	Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Nusawungu Timur.....	53
Tabel 4.14.	Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-01 Pesisir Binangun Barat.....	56
Tabel 4.15.	Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-02 Pesisir Binangun Barat.....	56
Tabel 4.16.	Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-03 Pesisir Binangun Barat.....	56

Tabel 4.17. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-04 Pesisir Binangun Barat.....	57
Tabel 4.18. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-05 Pesisir Binangun Barat.....	57
Tabel 4.19. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-01 Pesisir Nusawungu Barat	59
Tabel 4.20. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-02 Pesisir Nusawungu Barat	59
Tabel 4.21. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-03 Pesisir Nusawungu Barat	59
Tabel 4.22. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-04 Pesisir Nusawungu Barat	59
Tabel 4.23. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-05 Pesisir Nusawungu Barat	60
Tabel 4.24. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-06 Pesisir Nusawungu Barat	60
Tabel 4.25. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-01 Pesisir Nusawungu Timur.....	62
Tabel 4.26. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-02 Pesisir Nusawungu Timur.....	62
Tabel 4.27. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-03 Pesisir Nusawungu Timur.....	62
Tabel 4.28. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-04 Pesisir Nusawungu Timur.....	62
Tabel 4.29. Hasil interpretasi litologi pada titik <i>sounding</i> Sch-05 Pesisir Nusawungu Timur.....	63

1. PENDAHULUAN

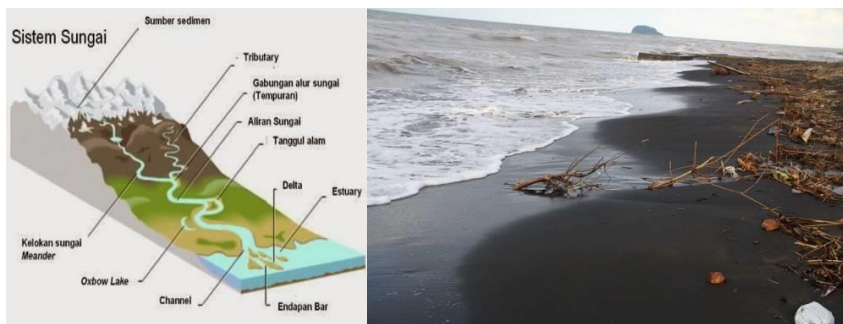
1.1. Latar Belakang Penelitian

Pesisir Kabupaten Cilacap merupakan salah satu kawasan pesisir Jawa Tengah yang memiliki sumberdaya alam bijih besi yang melimpah. Kegiatan penambangan di kawasan pesisir ini telah menghasilkan kira-kira 300.000 ton konsentrat bijih besi setiap tahun (Herman, 2005). Menurut informasi Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten Cilacap, jumlah bijih besi yang tersisa saat ini ditaksir hanya sekitar 600 ribu ton dengan kadar besi (Fe) di bawah 50% sehingga kurang ekonomis jika dieksploitasi (Burhani, 2007). Salah satu kawasan di pesisir Kabupaten Cilacap yang diperkirakan masih mempunyai potensi bijih besi adalah pesisir timur Kabupaten Cilacap yang terdiri atas Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu. Cadangan bijih besi di kawasan ini belum ditambang secara resmi dengan luas area lebih dari 500 hektar, derajat kemagnetan sebesar 12.2%, dan kandungan besi lebih dari 53%. Cadangan bijih besi diestimasi tersebar dari Desa Welahan Wetan Kecamatan Binangun hingga Desa Jetis Kecamatan Nusawungu dengan perkiraan cadangan sebesar 744.678,85 ton (Kadin Bussines Center Cilacap, 2015).

Sumber pasir besi adalah batuan yang bersifat intermedier hingga basa yang bersifat andesitik hingga basaltik. Pasir besi diperkirakan berasal dari gunung berapi, mengalir melewati sungai dan berkumpul di sepanjang sungai (terutama di sekitar lekukan sungai), kemudian mengendap di sungai, muara, dan pantai. Ombak yang menyapu di sepanjang pantai mengakibatkan pasir besi terpilah hingga menjadi butiran bebas, yang terkayakan hingga menjadi mineral besi. Mineral dengan nilai *specific gravity* tinggi akan mengendap, sedangkan mineral yang mempunyai nilai *specific gravity* rendah akan tercuci dan terbuang ke dalam laut. Proses alamiah ini terjadi secara berulang-ulang selama ratusan bahkan ribuan tahun, sehingga membentuk endapan pasir besi yang banyak ditemukan di lekukan sungai, muara, dan pantai seperti terlihat pada **Gambar 1.1** (Yahya, 2014).

Untuk menginvestigasi potensi dan sebaran bijih besi di pesisir timur Kabupaten Cilacap, dilakukan Survei Geofisika (*Geophysical Survey*). Salah satu Survei Geofisika yang sangat responsibel terhadap sifat magnetik bijih besi yang berada di bawah permukaan bumi adalah Survei Magnetik. Survei magnetik didasarkan atas pengukuran variasi medan magnetik di permukaan bumi yang terjadi akibat distribusi batuan atau mineral termagnetisasi secara tidak homogen di bawah permukaan (Mariita, 2017). Variasi nilai magnetik yang terukur di permukaan bumi berada dalam latar belakang (*background*) daerah yang relatif luas, yang

dapat diinterpretasikan dalam bentuk distribusi batuan atau mineral magnetik, atau struktur geologi yang mungkin.



Gambar 1.1. Skema perkiraan terbentuknya endapan pasir besi di kawasan pesisir dan contoh pantai yang kaya mineral bijih besi (<http://www.andyyahya.com>).

Survei magnetik relatif disukai karena proses akuisisi dan pengolahan data yang dilakukan tidak terlalu rumit. Akuisisi data dalam survei magnetik dapat dilakukan di darat, laut, dan udara. Pengolahan data magnetik hanya melibatkan sedikit koreksi, seperti koreksi harian, koreksi medan magnetik utama bumi atau koreksi IGRF, dan koreksi topografi. IGRF singkatan dari *International Geomagnetic Reference Field* yang tak lain merupakan medan magnetik utama bumi. Filter matematis dapat diterapkan untuk memisahkan data anomali magnetik lokal dan data anomali magnetik regional berdasarkan panjang gelombang atau kedalaman sumber anomali magnetik yang menjadi target survei. Untuk mempermudah proses pemodelan dan interpretasi, pada survei magnetik juga dapat diterapkan berbagai fungsi transformasi seperti pseudogravitasi, gradien horisontal, reduksi ke kutub, turunan vertikal kedua, dan sebagainya.

Pemodelan dan interpretasi di dalam survei magnetik didasarkan atas sifat dasar kemagnetan benda, yaitu suseptibilitas magnetik. Suseptibilitas magnetik merupakan tingkat termagnetisasinya suatu benda akibat pengaruh medan magnetik. Dengan demikian efektifitas metode magnetik tergantung terhadap kontras suseptibilitas magnetik batuan bawah permukaan. Berbagai jenis mineral besi seperti magnetit, ilmenit, dan phirotit yang dibawa sulfida di bawah permukaan menghasilkan distorsi medan magnetik di dalam kerak bumi akibat nilai kontras suseptibilitas magnetik yang relatif besar terhadap batuan-batuan di sekitarnya. Dengan demikian survei magnetik sangat cocok digunakan untuk mengeksplorasi bijih besi di suatu kawasan serta melokalisasi sebaran dan potensinya (Rivas, 2009 dan Hinze *et.al.*, 2013).

Survei magnetik untuk mengeksplorasi pasir besi telah dilakukan pada tahun 2016 di daerah Pesisir Widarapayung Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap. Hasil yang diperoleh berupa peta kontur anomali magnetik lokal yang merepresentasikan sebaran sumber-sumber anomali bawah permukaan termasuk endapan pasir besi. Pasir besi berselingan dengan lanau, lempung, pasir, dan kerikil diestimasi ditemukan pada kedalaman 1,71 – 11,97 meter dan panjang sekitar 1.576,70 meter. Nilai suseptibilitas magnetik pasir besi diinterpretasi sebesar 0,0093 cgs unit (Sehah *et.al.*, 2016). Survei magnetik juga telah dilakukan di kawasan pesisir Binangun dan Nusawungu Kabupaten Cilacap pada tahun 2017 dan 2018. Hasil survei menunjukkan bahwa seluruh kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu berpotensi mengandung pasir besi, meskipun potensinya berbeda-beda (Sehah *dkk.*, 2017). Kawasan Pesisir Binangun bagian timur dan Nusawungu bagian barat diduga memiliki potensi pasir besi paling besar. Hal ini ditunjukkan dengan tingginya interval anomali magnetik di dua kawasan tersebut (Sehah dan Raharjo, 2017).

1.2. Permasalahan

Kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap memiliki potensi bahan tambang bijih besi yang bernilai ekonomis. Kegiatan eksploitasi di kawasan pesisir ini telah menghasilkan lebih dari 300.000 ton konsentrat bijih besi setiap tahun, sebelum kegiatan penambangan tersebut ditutup. Kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap yang diestimasi masih menyisakan cadangan bijih besi adalah Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu. Secara resmi kegiatan penambangan pasir besi di kawasan pesisir tersebut belum dilakukan. Namun secara tidak resmi eksploitasi pasir besi telah dilakukan oleh perusahaan kecil atau perorangan. Kegiatan tersebut telah dihentikan oleh masyarakat karena dianggap merusak lingkungan.

Tidak disadari kegiatan penambangan pasir besi selama beberapa tahun telah meninggalkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti penurunan permukaan pantai, berkurangnya batuan penyangga di pantai, dan rusaknya lapisan akuifer air tanah. Masyarakat Desa Widarapayung Kulon Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap pernah merasakan dampak negatif eksploitasi pasir besi di sepanjang pesisir desa, yaitu debit air sumur mulai berkurang, padahal desa ini belum pernah mengalami kekeringan dan krisis air. Kendati telah memasuki musim hujan, debit air tetap kecil sehingga mengakibatkan krisis air bersih (Rakyat Merdeka Online, 2011).

Untuk membantu pemerintah daerah dalam menginventarisasi potensi sumberdaya pasir besi dan mengantisipasi dampak negatif yang terjadi akibat penambangan atau eksploitasi pasir besi, dirumuskan

beberapa permasalahan. *Pertama*, pemetaan sebaran dan potensi pasir besi perlu dilakukan di seluruh kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu sehingga penentuan lokasi penambangan menjadi lebih tepat, dengan tetap mengedepankan faktor sosial kemasyarakatan dan lingkungan hidup. *Kedua*, perkiraan kedalaman endapan pasir besi di bawah permukaan harus diketahui secara jelas sehingga proses penambangan pasir besi yang dilakukan tidak merusak lapisan akuifer pantai yang menjadi sumber air tawar (*freshwater*) bagi masyarakat kawasan pesisir, khususnya Pesisir Binangun dan Nusawungu Kabupaten Cilacap.

1.3. Kerangka Pemecahan Masalah

Penerapan survei magnetik banyak dilakukan pada eksplorasi bijih besi (*iron ore*) yang berasosiasi dengan batuan granit dan endapan sedimen seperti pasir di kawasan pesisir. Hal ini terkait dengan nilai suseptibilitas magnetik mineral besi yang sangat besar. Apalagi jika di suatu kawasan pesisir, tidak terdapat sumberdaya alam bijih logam yang lain, kecuali bijih besi. Dengan demikian peta anomali magnetik lokal dapat diasumsikan merepresentasikan kandungan bijih besi. Hal ini akan mempermudah proses eksplorasi sebaran pasir besi di suatu kawasan karena telah terlokalisasi dengan jelas, contohnya adalah kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap yang diestimasi hanya didominasi oleh bijih besi (Herman, 2005).

Peta anomali magnetik lokal yang diperoleh dari survei magnetik akan menghasilkan pola *closure* anomali tertentu. Pola-pola *closure* menunjukkan sebaran pasir besi di bawah permukaan, sehingga pasir besi dapat terlokalisasi dengan mudah. Selain itu pemodelan dan interpretasi terhadap data anomali magnetik lokal dilakukan untuk mengidentifikasi bentuk tubuh bijih besi (*ore body*) di bawah permukaan atau sebaran endapan pasir besi di suatu kawasan pesisir berdasarkan peta anomali magnetik dan informasi geologi (Grandis dan Sumintareja, 2018). Berdasarkan hasil-hasil pemodelan dan interpretasi data anomali, kedalaman pasir besi dapat diperkirakan dengan mudah.

1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Dalam eksplorasi pasir besi, survei magnetik dapat diaplikasikan untuk memetakan sebaran pasir besi karena pola anomali magnetik yang dihasilkan berasosiasi langsung dengan suseptibilitas magnetik bijih besi. Oleh karena itu survei magnetik yang dilakukan di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap mempunyai tujuan:

- memetakan data anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap;

- membuat peta anomali magnetik lokal yang merepresentasikan sebaran pasir besi di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu;
- melakukan pemodelan data anomali magnetik lokal sehingga diperoleh model 2D endapan pasir besi di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu, lengkap dengan estimasi kedalamannya;
- mengkorelasikan peta anomali magnetik lokal daerah penelitian dengan *log* resistivitas yang merepresentasikan *log* litologi bawah permukaan termasuk lapisan pasir besi.

Sedangkan manfaat yang diharapkan atas pelaksanaan survei magnetik untuk eksplorasi sebaran pasir besi di kawasan Pesisir Binangun dan Nusawungu Kabupaten Cilacap adalah sebagai berikut:

- Pengembangan bahan ajar beberapa matakuliah kelompok minat Fisika Bumi Program Studi Fisika Universitas Jenderal Soedirman, khususnya Matakuliah Gravitasi dan Geomagnet.
- Tersebarnya informasi ilmiah melalui publikasi dalam jurnal nasional atau internasional dan diseminasi dalam forum seminar nasional.
- Sumber informasi yang aktual bagi pemerintah daerah setempat tentang potensi sumberdaya alam bawah permukaan (bijih besi) di wilayahnya.
- Kontribusi bagi perusahaan pertambangan untuk melakukan eksploitasi pasir besi secara lebih cermat, sehingga tidak mengakibatkan gangguan dan kerusakan terhadap akuifer pantai dan ketahanan wilayah pantai dari ancaman abrasi dan intrusi.
- Ikut andil dalam menjaga kelestarian dan konservasi lingkungan pesisir Kabupaten Cilacap melalui penerapan hasil-hasil penelitian.

1.5. Keterbaruan Hasil Penelitian

Penerapan survei magnetik untuk eksplorasi pasir besi merupakan hal yang umum. Namun terdapat keterbaruan hasil penelitian yaitu peta sebaran dan potensi bijih besi di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu berdasarkan data anomali magnetik lokal yang dilengkapi dengan data-data *log* resistivitas batuan bawah permukaan. *Log* resistivitas batuan diperlukan untuk menjustifikasi perkiraan kedalaman atau ketebalan endapan pasir besi pada suatu titik lokasi yang diperkirakan prospek ditambang berdasarkan peta kontur anomali magnetik lokal.

2. KONSEP DASAR SURVEI MAGNETIK

2.1. Medan Potensial Magnetik

2.1.1. Induksi Magnetik dari Loop Berarus

Perhatikan dua buah loop yang dialiri arus listrik I_a dan I_b yang terpisah dengan jarak r seperti **Gambar 2.1**. Vektor satuan $\hat{r}$ berarah dari elemen $d\vec{l}_b$ pada loop b menuju ke $d\vec{l}_a$ pada loop a . Jika suatu gaya bekerja pada sebuah elemen $d\vec{l}_a$ pada loop a akibat interaksi arus listrik dalam elemen $d\vec{l}_b$ pada loop b , maka hal ini dapat dinyatakan menggunakan hukum Lorentz, yaitu (Roy, 2007):

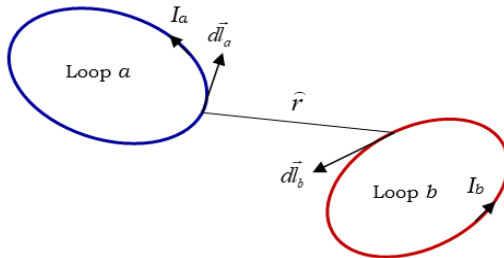
$$d\vec{F}_a = C_m I_a I_b \frac{d\vec{l}_a \times (d\vec{l}_b \times \hat{r})}{r^2} \quad (2.1)$$

C_m adalah suatu tetapan. Sedangkan besarnya induksi magnetik yang berasal dari loop b dapat dinyatakan dengan hubungan:

$$d\vec{B}_b = C_m I_b \frac{d\vec{l}_b \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.2)$$

Dengan mensubstitusikan bagian kanan persamaan (2.2) ke persamaan (2.1), maka persamaan (2.1) dapat ditulis menjadi:

$$d\vec{F}_a = I_a d\vec{l}_a \times d\vec{B}_b \quad (2.3)$$



Gambar 2.1. Dua buah loop arus listrik I_a dan I_b yang terpisah pada jarak r .

Persamaan (2.3) ini merupakan bentuk derivatif sederhana persamaan hukum Lorentz yang menjelaskan suatu gaya yang bekerja pada muatan Q yang bergerak dengan kecepatan v menembus medan magnetik. Persamaan (2.3) bisa ditulis dalam bentuk lain yaitu:

$$\vec{F} = Q (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.4)$$

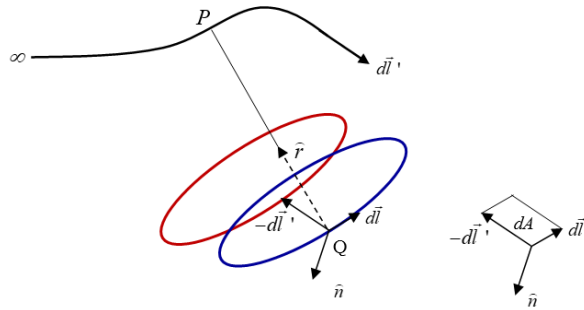
Adapun integrasi persamaan (2.2) di sekitar *loop* berdasarkan hukum Biot Savart dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\vec{B} = C_m I_b \oint \frac{d\vec{l}_b \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.5)$$

2.1.2. Potensial Magnetik

Perhatikan **Gambar 2.2**, sebuah titik *P* berada di sekitar sebuah *loop* berarus yang bergerak di sepanjang $d\vec{l}'$. Perubahan potensial listrik akibat gerakan partikel dari titik *P* di sepanjang elemen $d\vec{l}'$ dapat dinyatakan dengan persamaan (Roy, 2007):

$$dV(P) = -\vec{B} \cdot d\vec{l}' \quad (2.6)$$



Gambar 2.2. Titik *P* di dekat sebuah *loop* berarus. Gerakan *P* di sepanjang $d\vec{l}'$ adalah sebanding dengan gerakan *loop* di sepanjang $-d\vec{l}'$.

Vektor *B* merupakan induksi magnetik seperti ditunjukkan pada persamaan (2.5) yang jika disubstitusikan ke persamaan (2.6), akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$dV(P) = -C_m I \oint \frac{d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \cdot d\vec{l}' \quad (2.7)$$

Vektor $d\vec{l}'$ dalam integral merupakan tetapan, sehingga persamaan (2.4) dapat disusun kembali menurut vektor identitas menjadi:

$$dV(P) = -C_m I \oint \frac{d\vec{l} \times (-d\vec{l})}{r^2} \cdot \vec{r} \quad (2.8)$$

Nilai integral pada persamaan (2.8) merupakan perubahan sudut ruang *loop* terhadap titik *P*. Apabila sudut ruang *loop* mendekati nol pada saat jarak *loop* tak terhingga (sangat jauh), persamaan (2.8) dituliskan menjadi:

$$V(P) = C_m I \frac{\hat{n} \cdot \hat{r}}{r^2} \Delta s \quad (2.9)$$

Δs adalah luas bidang *loop* dan $\hat{n}$ adalah vektor satuan dalam arah normal. Selanjutnya jika *loop* arus tersebut berubah menjadi sangat kecil diameternya dan berdasarkan definisi sebuah besaran momen dipol, maka:

$$\vec{m} = I \hat{n} \Delta s \quad (2.10)$$

sehingga persamaan (2.9) dapat ditulis menjadi:

$$V(P) = C_m \frac{m \cdot \hat{r}}{r^2} = -C_m m \cdot \nabla_p \frac{1}{r} \quad (2.11)$$

Persamaan (2.11) ini menggambarkan suatu bentuk potensial dari sebuah titik dipol. Berdasarkan teorema Helmholtz, vektor $\vec{B}$ merupakan fungsi potensial skalar yang dapat dituliskan sebagai:

$$\vec{B} = -\nabla V \quad (2.12)$$

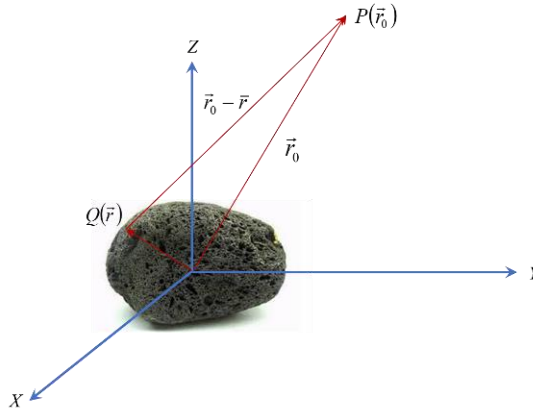
Oleh karena itu, jika persamaan (2.12) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.11), maka dapat ditentukan nilai induksi magnetik dipol pada titik-titik yang lain di luar dipolnya sendiri, yaitu:

$$\vec{B} = C_m \frac{m}{r^3} [3(\vec{m} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{m}] \quad r \neq 0 \quad (2.13)$$

2.1.3. Anomali Magnetik

Suatu volume benda atau batuan bawah permukaan yang tersusun atas mineral-mineral magnetik dapat diasumsikan sebagai dipol magnetik seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.3**. Magnetisasi yang terdapat di dalam batuan tergantung dari perjalanan sejarah atau *track record* batuan tersebut selama berada di dalam medan magnetik bumi, atau dengan kata lain bahwa nilainya tergantung dari besar medan magnetik induksi yang diterimanya. Besarnya potensial magnetik yang terkandung pada suatu titik di dalam batuan tersebut berdasarkan persamaan (2.11) dapat dituliskan (Roy, 2007):

$$V = -C_m \vec{m} \cdot \nabla \left[\frac{1}{r} \right] = C_m \frac{m \cos \theta}{r^2} \quad (2.14)$$



Gambar 2.3. Anomali magnetik dari batuan atau benda bawah permukaan bumi.

Dengan demikian, potensial magnetik seluruh volume batuan dapat dihitung dengan persamaan:

$$V(\vec{r}_0) = -C_m \int \vec{M}(\vec{r}) \cdot \nabla \left[\frac{1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] dv \quad (2.15)$$

$M(r)$ adalah momen dipol per satuan volume. Apabila M bernilai tetap dan mempunyai arah tetap yaitu $\vec{\alpha} = p\hat{i} + q\hat{j} + r\hat{k}$, maka diperoleh hubungan:

$$\vec{M} \cdot \nabla = M \frac{\partial}{\partial \alpha} = M \left[p \frac{\partial}{\partial x} + q \frac{\partial}{\partial y} + r \frac{\partial}{\partial z} \right] \quad (2.16)$$

Oleh karena itu, potensial magnetik untuk seluruh batuan tersebut adalah:

$$V(\vec{r}_0) = -C_m M \frac{\partial}{\partial \alpha} \int \left[\frac{dV}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] \quad (2.17)$$

Berdasarkan hasil substitusi persamaan (2.17) ke persamaan (2.12), besarnya induksi magnetik resultan (total) dari batuan tersebut dirumuskan menjadi:

$$\vec{B}(\vec{r}_0) = C_m \nabla \int_V \vec{M}(\vec{r}) \cdot \nabla \left[\frac{1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] dV \quad (2.18)$$

Induksi magnetik seperti ditunjukkan pada persamaan (2.18) ini disebut sebagai medan anomali magnetik yang berada bersuperposisi dengan medan magnetik utama bumi berada di seluruh titik pengukuran di permukaan bumi. Dengan demikian, kuat medan magnetik total sebenarnya yang terukur pada suatu titik pengukuran pada permukaan bumi melalui survei magnetik adalah gabungan medan magnetik utama bumi (B_0) dan anomali magnetik ($B(r_0)$), atau dapat dinyatakan dengan persamaan (Roy, 2007):

$$\vec{B}_T = \vec{B}_0 + \vec{B}(\vec{r}_0) \quad (2.19)$$

Untuk keperluan yang praktis, nilai medan magnetik utama bumi diambil dari nilai *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF) yang nilainya selalu diperbarui setiap lima tahun untuk mengantisipasi variasi nilai medan magnetik sekular (Macmillan and Maus, 2005).

2.2. Kemagnetan Batuan dan Mineral

Batuan sebagai material penyusun kerak bumi memiliki sifat-sifat yang dapat diperikan dan digunakan untuk membedakan antara satu dengan yang lainnya. Salah satu sifat batuan yang biasa diperikan adalah sifat kemagnetan batuan. Sifat kemagnetan pada batuan dipengaruhi oleh kandungan mineral pada batuan tersebut. Sifat magnetik mineral dikaji secara mendalam dalam bidang paleomagnetisme atau kemagnetan purba. Stabil tidaknya magnetisasi pada suatu batuan sangat tergantung terhadap jenis mineral dan ukurannya. Sifat kemagnetan pada batuan juga berperan dalam metode magnetik untuk eksplorasi sumberdaya alam bawah permukaan, misalnya sifat kemagnetan pada batuan yang mengandung mineral-mineral logam.

2.2.1. Kemagnetan Remanen

Magnetisasi batuan bawah permukaan umumnya terjadi akibat induksi dari medan magnetik utama bumi sejak dulu hingga sekarang dan kandungan mineral magnetik yang terdapat di dalam batuan tersebut. Selain magnetisasi induksi, terdapat kemagnetan sisa (*residual magnetism*) yang juga memiliki kontribusi terhadap kemagnetan total batuan, baik nilai, amplitudo, maupun arahnya. Kemagnetan sisa tersebut disebut magnetisasi remanen normal yang umumnya terjadi akibat proses kimiawi, panas, mekanik, dan paparan medan magnetik luar (*external*

magnetic field). Secara umum kemagnetan remanen dapat diklasifikasikan menjadi (Collinson, 1983):

- Magnetisasi Remanen Kimia (*Chemical Remanent Magnetization*) yang terjadi akibat mineral-mineral magnetik berubah komposisinya ketika reaksi kimia, serta terjadi pada temperatur di bawah temperatur Curie. Umumnya proses ini terjadi pada batuan sedimen dan metamorf.
- Magnetisasi Detrital (*Detrital Remanent Magnetization*) yang terjadi pada saat proses sedimentasi di bawah pengaruh medan magnetik luar. Proses magnetisasi ini umumnya terjadi pada batuan lempung.
- Magnetisasi Remanen Isotermal (*Isothermal Remanent Magnetization*) yang terjadi dari residu kemagnetan setelah medan magnetik luar dihilangkan seperti kurva histeresis. Medan magnetik bumi sangat kecil dalam menghasilkan magnetisasi remanen jenis ini.
- Magnetisasi Remanen Panas (*Thermo Remanent Magnetization*) yang terjadi pada saat temperatur turun hingga di bawah titik Curie. Pada banyak kasus, arah magnetisasinya berlawanan terhadap arah medan magnetik yang merupakan sumbernya. Magnetisasi remanen ini banyak terkandung dalam batuan beku.
- Magnetisasi Remanen Kental (*Viscous Remanent Magnetization*) terjadi akibat paparan yang sangat lama dari medan magnetik luar (*external field*). Remanen jenis ini meningkat secara logaritmik terhadap waktu dan stabil, serta umumnya terjadi pada batuan jenis *fine grained*.

Magnetisasi remanen kadang merupakan faktor dominan pada anomali magnetik kawasan vulkanik. Magnetisasi remanen dapat bernilai lebih besar hingga puluhan kali dibandingkan dengan magnetisasi induksi. Pergeseran arah magnetisasi terhadap arah utara medan magnetik bumi menunjukkan adanya efek remanen pada benda anomali. Kemagnetan remanen pada batuan digunakan untuk mengungkap fenomena kemagnetan purba (paleomagnetik). Kemagnetan purba sering dikaitkan dengan kejadian luar biasa yang pernah terjadi pada lapisan kerak bumi pada masa lampau, misalnya dinamika gerak lempeng tektonik bumi, pelebaran kerak samudera di sekitar batas divergen, proses terbentuknya tubuh gunungapi, dan sebagainya.

2.2.2. Suseptibilitas Magnetik

Setiap jenis batuan memiliki sifat dan karakteristik tertentu di dalam medan magnetik yang dinyatakan dengan parameter suseptibilitas magnetik. Suseptibilitas magnetik adalah tingkat kemampuan suatu benda

untuk dapat termagnetisasi, yang umumnya terkait dengan kandungan mineral dan oksida besi. Semakin besar kandungan mineral magnetik di dalam batuan, semakin besar harga suseptibilitasnya. Oleh karena itu, metoda ini sangat cocok untuk pendugaan jenis batuan atau struktur geologi bawah permukaan dengan tidak mengabaikan faktor kontrol kenampakan geologi pada permukaan. Perbedaan karakteristik fisis setiap batuan melandasi digunakan metode magnetik untuk kegiatan eksplorasi dan survei geofisika yang lain.

Di dalam tinjauan fisika, besaran suseptibilitas magnetik didefinisikan sebagai besar kesebandingan antara intensitas magnetisasi dan kuat medan magnetik. Besaran ini merepresentasikan tingkat kemagnetan bahan dalam merespons medan magnetik luar yang diterapkan, seperti persamaan:

$$k = \frac{\vec{I}}{\vec{H}} \quad (2.27)$$

I merupakan intensitas magnetisasi dan H merupakan kuat medan magnetik. Suseptibilitas magnetik merupakan parameter dasar yang digunakan dalam survei magnetik, sebagaimana densitas dalam survei gravitasi. Suseptibilitas magnetik merupakan respons kuantitatif data geomagnetik, yang ditentukan berdasarkan komposisi mineral-mineral magnetik dalam batuan, benda, atau struktur geologi yang menjadi target penelitian. Nilai suseptibilitas magnetik semakin besar, apabila komposisi mineral-mineral magnetik di dalam batuan semakin banyak.

Jika suatu benda atau batuan berada di dalam medan magnetik bumi, benda atau batuan tersebut dapat terinduksi. Besar induksi magnetik yang terjadi tergantung dari besar dan jenis suseptibilitas magnetik. Berdasarkan suseptibilitas magnetik, benda termasuk batuan dan mineral dikelompokkan sebagai berikut (Clarke, 2008):

- **Diamagnetik**, adalah zat yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik negatif, sehingga intensitas magnetisasi yang diinduksikan di dalamnya oleh medan magnetik utama bumi menghasilkan arah berlawanan. Zat-zat diamagnetik sering disebut sebagai non-magnetik, contoh air, kayu, minyak bumi, berbagai jenis plastik, serta beberapa jenis logam seperti aluminum, tembaga, merkuri, bismut, dan emas. Superkonduktor adalah contoh bahan diamagnetik sempurna.
- **Paramagnetik**, adalah zat yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik positif. Dalam zat, setiap atom atau molekul memiliki momen magnetik total yang tidak sama dengan nol walau berada dalam medan magnetik luar yang bernilai nol. Dalam kondisi

normal dimana medan magnetik luar tidak ada, momen-momen magnetik pada zat terdistribusi secara random. Namun ketika diberikan medan magnetik luar, momen-momen magnetik tersebut cenderung mensejajarkan diri searah dengan medan magnetik luar, contoh mineral paramagnetik adalah *hematite* (Fe_2O_3), *pyrite* (FeS_2), *calcopyrite* (CuFeS_2), *pyroxen* ($(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$), *ilmenite* (FeTiO_3), dan *franklinite* ($(\text{Zn,Fe}^{2+})(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$).

- **Ferromagnetik**, adalah zat yang atom-atomnya mempunyai momen magnetik tidak sama dengan nol dan interaksi magnetik antara sebuah atom dengan atom-atom di sekelilingnya sangat kuat sehingga terjadi penyearahan momen semua atom dalam arah yang sama meskipun tidak terdapat medan magnetik luar di dalam kawasan yang disebut domain. Karakteristik zat ferromagnetik adalah kurva histeresis dan suseptibilitas magnetik yang sangat besar. Gejala ferromagnetik banyak dijumpai pada besi (Fe), kobal (Co) dan nikel (Ni). Beberapa mineral ferromagnetik adalah *magnetite* (Fe_3O_4), *pyrrhotite* (Fe_{1-x}S), *chromferide* ($\text{Fe}_3\text{Cr}_{1-x}$), *symthite* ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_{11}$) dan sebagainya.
- **Antiferromagnetik**, adalah zat yang mempunyai suseptibilitas magnetik rendah seperti paramagnetik, namun nilainya naik sesuai temperaturnya hingga nilai tertentu (titik *Curie* atau titik λ), kemudian menurun sesuai hukum *Curie-Weiss*. Momen magnetik atom-atom dalam zat dianggap sama, tetapi arahnya paralel dan antiparalel satu terhadap lainnya. Oleh sebab itu, subdomain dalam zat akan saling meniadakan hingga momen magnetik totalnya menjadi kecil. Akibatnya suseptibilitas magnetiknya menjadi kecil, contoh *hematite* (Fe_2O_3) dengan titik λ sekitar 675°C .
- **Ferrimagnetik**, adalah zat yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik besar dimana variasinya terhadap temperatur sangat kompleks. Domain magnetik di dalam zat ini terbagi ke dalam daerah-daerah yang paralel dan antiparalel seperti zat antiferromagnetik, namun momen magnetik atom-atom di dalam zat tidak sama. Oleh karena itu, momen magnetik totalnya tidak sama dengan nol ketika medan magnetik luar nol. Contoh *magnetite* (Fe_3O_4) dan *titanomagnetite* ($\text{FeO}(\text{Fe,Ti})_2\text{O}_3$).

Salah satu mineral bijih besi yang banyak dijumpai di kawasan Pesisir Cilacap yaitu *magnetite* (Fe_3O_4) sebagian bersifat ferromagnetik dan sebagian lain bersifat ferrimagnetik (Jatmika dkk., 2014). Bijih besi terdiri atas oksigen dan besi yang berikatan bersama di dalam molekul. Besi biasanya didapatkan dalam bentuk *magnetite* (Fe_3O_4), *hematite* (Fe_2O_3), *goethite*, *limonite*, atau *siderite*. Bijih besi kaya akan besi oksida dan beragam dalam hal warna; dari kelabu tua, kuning muda, ungu tua,

hingga merah karat. Seiring penggunaan besi yang makin bertambah secara eksponensial berkelanjutan, cadangannya mulai berkurang. Secara lengkap nilai suseptibilitas magnetik beberapa jenis mineral dan batuan dapat dilihat pada **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.2**. Berdasarkan tabel-tabel tersebut, beberapa jenis mineral dan batuan mempunyai interval nilai suseptibilitas yang *overlap*.

Mineral ferrimagnetik merupakan sumber utama dari anomali magnetik lokal. Eksperimen telah dilaksanakan untuk membuat persamaan hubungan antara nilai suseptibilitas batuan dengan konsentrasi Fe_3O_4 . Kemagnetan pada batuan ini sebagian akibat induksi dari suatu gaya magnetik yang berasosiasi dengan medan magnet bumi dan sebagian dari kemagnetan sisa. Kemagnetan induksi pada suatu formasi batuan merupakan suatu fungsi suseptibilitas magnetik volume k (*volumetric magnetic susceptibility*) serta magnitudo dan arah medan magnetik yang menginduksinya. Dengan adanya perbedaan dan karakteristik setiap jenis batuan dan mineral dalam sifat kemagnetannya, hal ini melandasi dimanfaatkannya metode magnetik untuk kegiatan eksplorasi sumberdaya alam.

Tabel 2.1. Suseptibilitas magnetik beberapa jenis mineral (Telford *et.al.*, 1990)

Jenis Mineral	Suseptibilitas x 10^6 emu		Jenis Mineral	Suseptibilitas x 10^6 emu	
	Interval	Rataan		Interval	Rataan
Graphite	-0,6 s/d -1	-8	Siderite	100 – 310	130 220 240 550 600 36000
Quartz		-1	Pyrite	4 – 420	
Rock Salt		-1	Limonite		
Gypsum		-1	Arsenopyrite		
Calcite			Hematite	40 – 3000	
Coal		2	Chromite	240 – 9400	
Clays		20	Franklinite		

Tabel 2.2. Suseptibilitas magnetik beberapa jenis batuan (Telford *et.al.*, 1990)

Jenis Batuan	Suseptibilitas x 10^6 emu		Jenis Batuan	Suseptibilitas x 10^6 emu	
	Interval	Rataan		Interval	Rataan
Batuan Sedimen			Batuan Beku		
Dolomite	0 – 75	10	Granite	0 – 4000	200
Limestone	2 – 280	25	Rhyolite	20 – 3000	-
Sandstone	0 – 1660	30	Dolerite	100 – 3000	1400
Shale	5 – 1480	50	Augite-syenite	2700 – 3600	-
Batuan Metamorf			Olivin-diabase	-	2000
Amphibolite	-	60	Diabase	80 – 13000	4500
Schist	25 – 240	120	Porphyry	20 – 16700	5000
Phyllite	-	130	Gabbro	80 – 7200	6000
Gneiss	10 – 2000	-	Basaltic	20 – 14500	6000
Quartzite	-	350	Diorite	50 – 10000	7000
Serpentine	250 - 1400	-	Pyroxenite	-	10500
Slate	0 - 3000	500	Peridotite	7600 - 15600	13000
			Andesite	-	13500

3. METODE SURVEI MAGNETIK

3.1. Metode Akuisisi Data Magnetik

3.1.1. Peralatan Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam kegiatan akuisisi data magnetik di lapangan adalah magnetometer. Peralatan ini digunakan untuk mengukur besaran kuat medan magnetik total pada titik-titik lokasi. Jenis magnetometer yang digunakan pada penelitian ini adalah *Proton Precision Magnetometer* (PPM) GSM-19T seperti terlihat pada **Gambar 3.1**. PPM bersifat sederhana, *portable*, hasil pengukurannya akurat dan sangat *susceptible* terhadap gradien magnetik. Ketelitian hasil pengukuran hingga 0,01 nT. Peralatan PPM dapat diterapkan dalam survei magnetik untuk mengestimasi lokasi dan kedalaman endapan mineral, batuan bawah permukaan, objek di bawah permukaan laut seperti kapal selam dan kapal karam, situs arkeologi, dan sebagainya.



Gambar 3.1. Peralatan utama penelitian yang digunakan dalam akuisisi data magnetik; *Proton Precession Magnetometers* (PPM) tipe GSM-19T.

Peralatan lain yang digunakan untuk akuisisi data magnetik adalah *Global Positioning System* (GPS). Peralatan GPS digunakan untuk mengukur posisi geografis titik-titik pengukuran yang meliputi bujur, lintang, elevasi, dan waktu. Pada dasarnya peralatan GPS merupakan peralatan sistem radio navigasi, yang dalam penentuan posisi suatu titik lokasi menggunakan data satelit yang disebut sebagai *Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System* (*Nastar-GPS*). Satelit digunakan sebab sinyal satelit dapat menjangkau daerah yang sangat luas dan tidak terganggu oleh gunung, bukit, lembah, dan jurang. Prinsip kerja peralatan GPS ini adalah mengukur jarak antara penerima sinyal

(receiver) yaitu GPS terhadap beberapa satelit secara teliti. Apabila posisi satelit-satelit tersebut dapat diketahui secara jelas, maka posisi receiver di atas permukaan bumi juga dapat ditentukan dengan jelas. Posisi receiver tidak lain adalah posisi titik ukur. GPS yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.2** (Anonim, 2015).



Gambar 3.2. Peralatan *Global Positioning System* (GPS) produksi Garmin.

Adapun beberapa peralatan penunjang yang digunakan dalam survei magnetik, antara lain (Sehah dan Raharjo, 2017):

- Kompas geologi, digunakan untuk mengetahui arah utara dan selatan medan magnetik bumi.
- Peta geologi, digunakan untuk mengetahui data geologi seperti jenis batuan dan struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian.
- *Google Earth*, digunakan untuk membuat desain survei dan *plotting* titik-titik ukur sebelum penelitian dan menentukan rute perjalanan saat pelaksanaan survei magnetik yang secara praktis dapat dibantu dengan *smartphone android*.
- Buku dan alat tulis, digunakan untuk mencatat secara manual nilai kuat medan magnetik yang terukur di peralatan serta posisi, tanggal, waktu, kondisi lingkungan, kondisi geologis dan sebagainya pada saat akuisisi data magnetik.
- Kamera, digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan akuisisi data serta fenomena alam seperti batuan, singkapan geologi, dan topografi.
- Sarana transportasi, digunakan untuk mengangkut berbagai peralatan dan memperlancar perjalanan selama survei magnetik di lokasi.

Peralatan penelitian lain yang digunakan di laboratorium secara umum terkait dengan pengolahan data, pemodelan dan interpretasi data.

Peralatan tersebut adalah *Personal Computer (PC)* yang dilengkapi dengan:

- *Microsoft Excel*, digunakan untuk memasukan (*entry*) data medan magnetik total hasil akuisisi di lapangan, data medan magnetik IGRF, data magnetik harian, dan perhitungan anomali magnetik.
- *Surfer*, digunakan untuk interpolasi data (*gridding*) dan menggambar peta kontur medan magnetik di daerah penelitian.
- *Fortran, Matlab, Pascal*, digunakan untuk menyusun *listing* program komputasi dalam pengolahan data magnetik, antara lain: reduksi ke bidang datar, pengangkatan ke atas, pemisahan data anomali magnetik regional dan anomali residual, pseudogravitasi, gradien horisontal, turunan vertikal, dan sebagainya.
- *Mag2DC for Window* atau perangkat lunak sejenis, digunakan untuk melakukan pemodelan secara numerik sumber anomali atau struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian.
- Perangkat lunak seperti *Arc-GIS* dan *Oasis Montaj* untuk pembuatan peta kontur anomali magnetik yang disesuaikan dengan peta geografis.

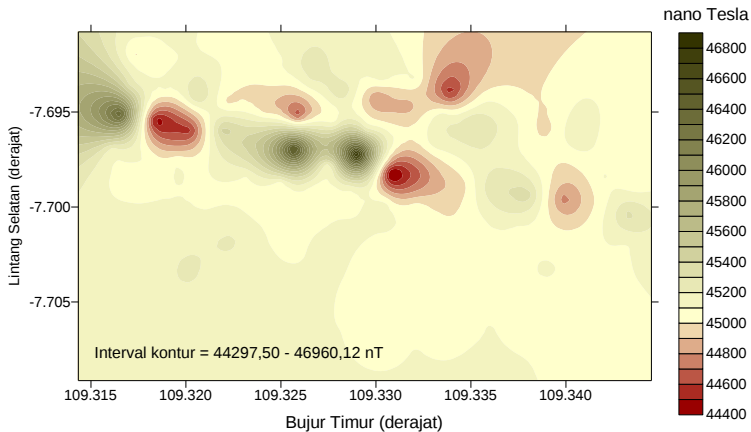
3.1.2. Teknik Akuisisi Data Magnetik

Akuisisi data magnetik di lapangan dilakukan menggunakan peralatan PPM pada titik-titik yang telah diplot menggunakan aplikasi *Google Earth* seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.3**. Proses akuisisi data dapat dilakukan menggunakan kendaraan atau berjalan kaki menelusuri rute yang biasa dilalui oleh manusia. Jarak satu titik ukur terhadap titik ukur lain di sekitarnya harus diusahakan sama, sehingga posisi titik ukur teratur membentuk *grid*. Namun jika tidak memungkinkan, posisi titik-titik ukur bisa dilakukan dengan sedikit acak, namun tersebar merata. Akuisisi data harus menyeluruh di seluruh titik ukur di lokasi yang menjadi target survei magnetik.

Sebelum melakukan akuisisi data, terlebih dahulu ditentukan arah utara dan selatan medan magnetik bumi menggunakan kompas, sebab saat akuisisi sensor magnetometer harus menghadap utara – selatan. Pada setiap titik ukur, akuisisi data medan magnetik dilakukan beberapa kali dengan lokasi berbeda. Pada setiap titik lokasi dilakukan beberapa kali pembacaan nilai kuat medan magnetik total. Lokasi akuisisi data diusahakan jauh dari gangguan efek-efek magnetik seperti logam, pagar kawat, jaringan SUTET, jaringan telepon, atap seng, mobil, *boulder* batuan beku, petir, dan lain-lain. Pada saat melakukan akuisisi data magnetik, posisi tiap-tiap titik diukur menggunakan GPS. Hasil akuisisi data kuat medan magnetik total dikonturkan sehingga diperoleh peta kontur kuat medan magnetik total seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.3. *Plotting titik-titik ukur untuk akuisisi data magnetik di kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap.*



Gambar 3.4. *Peta kuat medan magnetik total di kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap (Sehah and Raharjo, 2017)*

3.1.3. Metode Pengaksesan Nilai IGRF

International Geomagnetic Reference Field (IGRF) merupakan medan acuan geomagnetik internasional. Pada dasarnya nilai IGRF merupakan nilai kuat medan magnetik utama bumi (H_0). Nilai medan magnetik ini termasuk yang ikut terukur saat dilakukan akuisisi data magnetik di permukaan bumi. Nilai kuat medan magnetik utama bumi merupakan komponen terbesar dalam survei magnetik. Oleh sebab itu perlu dilakukan koreksi untuk mereduksinya. Koreksi nilai IGRF terhadap data kuat medan magnetik total hasil akuisisi di lapangan dilakukan untuk menghilangkan nilai medan magnetik utama bumi

tersebut, karena yang menjadi target survei magnetik adalah anomali medan magnetik seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Nilai IGRF dapat dihitung secara matematis, karena secara umum nilai medan magnetik utama bumi merupakan fungsi lintang (*latitude*) dan waktu. Namun untuk mempermudah pengaksesan nilai IGRF, sekarang ini banyak disajikan data IGRF secara *online* yang bisa diunduh melalui internet. Akses data IGRF dari internet bisa dilakukan dengan memasukkan nilai-nilai bujur, lintang, ketinggian, dan waktu untuk setiap titik ukur. Hasilnya berupa data IGRF (komponen total, horisontal, dan vertikal), sudut inklinasi, dan sudut deklinasi. Beberapa alamat *website* penyedia layanan data IGRF antara lain:

<https://www.bmkg.go.id/geofisika-potensial/kalkulator-magnet-bumi.bmkg>

<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators>

<http://geomag.org/models/igrfplus-field.html>

<http://geomag.org/models/igrfplus-field.html>

<http://geomag.colorado.edu/online-calculators>

Selain digunakan untuk koreksi, nilai IGRF bersama-sama dengan nilai sudut inklinasi dan deklinasi juga diperlukan ketika melakukan pemodelan sumber anomali magnetik bawah permukaan.

3.2. Metode Pengolahan Data Magnetik

3.2.1. Koreksi Data Magnetik

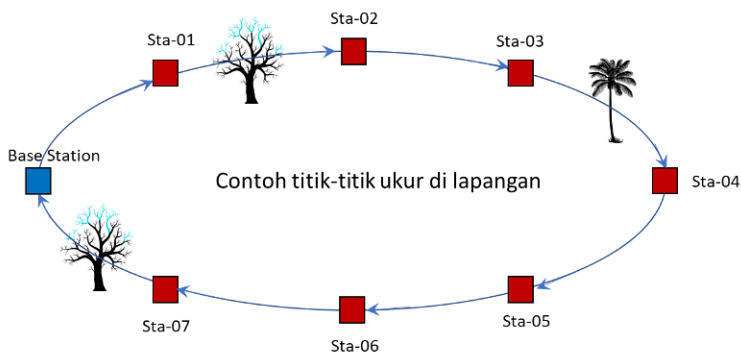
Data yang diperoleh dari akuisisi data magnetik di lapangan adalah data kuat medan magnetik total. Data tersebut merupakan kontribusi dari medan magnet utama bumi (IGRF), medan magnetik luar, dan medan magnetik yang bersumber dari distribusi batuan dan mineral dalam kerak bumi yang disebut sebagai anomali magnetik, yang umumnya menjadi target penelitian. Untuk mendapatkan data anomali magnetik, dilakukan koreksi terhadap data kuat medan magnetik total hasil akuisisi di setiap titik pengukuran, yang meliputi koreksi harian, koreksi IGRF, dan koreksi topografi apabila elevasi topografi berfluktuasi.

A. Koreksi Harian

Koreksi harian (*diurnal correction*) merupakan besar penyimpangan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Koreksi harian ini dapat dilakukan dengan teknik merekam variasi medan magnetik harian secara kontinyu di suatu titik lokasi (*base station*). Data medan magnetik yang

terukur dengan interval waktu tertentu ini secara kontinyu selanjutnya direkam ke dalam komputer dan ditampilkan dalam bentuk grafik variasi medan magnetik harian. Besarnya koreksi harian dapat ditentukan dengan cara menghitung selisih antara nilai medan magnetik yang terukur pada saat tertentu terhadap medan magnetik rata-rata yang terekam selama satu hari. Dalam satu hari medan magnetik yang terukur pada suatu titik lokasi umumnya mengalami fluktuasi meskipun intervalnya tidak besar. Jika variasi magnetik harian bernilai negatif, maka koreksi harian dilakukan dengan cara menambahkan nilai variasi magnetik harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap nilai medan magnetik yang akan dikoreksi. Namun apabila variasi magnetik harian bernilai positif, maka koreksinya dilakukan dengan cara mengurangi nilai variasi harian pada waktu tertentu terhadap nilai medan magnetik yang akan dikoreksi. Secara teknis, variasi kuat medan magnetik harian direkam menggunakan PPM yang dapat diletakkan di *base station* (Sehah, 2001).

Pada penelitian ini koreksi harian telah dilakukan dengan cara *looping (drift)*. Teknik ini digunakan karena jumlah peralatan magnetometer sangat terbatas, sehingga tidak tersedia peralatan untuk mengukur variasi magnetik harian di *base station*. Prinsip kerja teknik ini adalah dengan cara mengukur kuat medan magnetik di suatu titik lokasi (*base station*) pada saat sebelum dan sesudah melakukan akuisisi data medan magnetik pada titik-titik ukur di lapangan, sehingga membentuk *loop* seperti **Gambar 3.5**. Waktu untuk satu kali *looping* sekitar dua jam, untuk mengantisipasi ketidaklinearan perubahan medan magnetik harian.



Gambar 3.5. Skema metode *looping* pengukuran medan magnetik di lapangan (dari *base station* kembali ke *base station*).

Pada saat akuisisi data medan magnetik di setiap titik ukur harus dicatat waktu lengkap (jam dan menit). Dengan demikian nilai koreksi harian dapat dirumuskan sebagai (Sehah, 2001):

$$\Delta H = H_{Total} - \left(\frac{t_s - t_{aw}}{t_{ak} - t_{aw}} [H_{ak} - H_{aw}] \right) \quad (3.1)$$

H adalah kuat medan magnetik terukur di lapangan, t menyatakan waktu, indeks s menyatakan nomor urut pengukuran, indeks aw adalah data awal (pengukuran data pertama pada *base station*) dan indeks ak menyatakan data akhir (pengukuran data terakhir pada *base station*). Kelemahan koreksi harian dengan teknik ini adalah apabila dalam sekali *looping* terjadi fluktuasi medan magnetik yang tinggi, maka koreksi harian tidak dapat dilakukan.

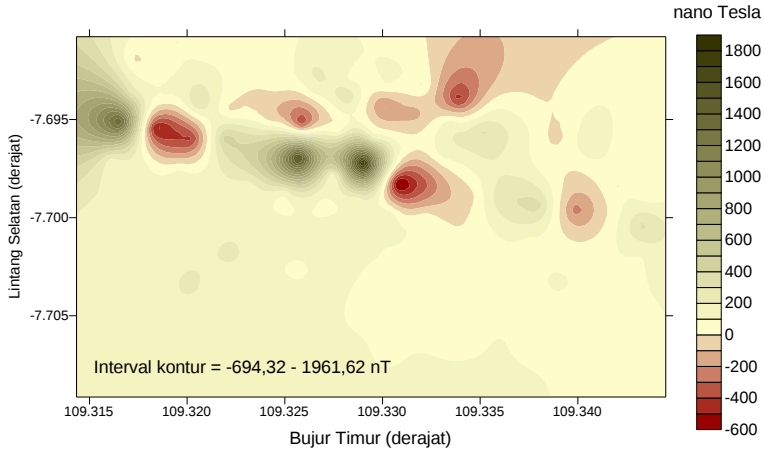
B. Koreksi IGRF

Data medan magnetik total yang diperoleh dari akuisisi pada dasarnya merupakan kontribusi tiga bagian, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar (*external field*), dan medan anomali yang bersumber dari kerak bumi. Nilai medan magnetik utama bumi tidak lain adalah nilai medan acuan magnetik bumi internasional atau *Internatonal Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Jika medan magnetik luar dapat dihilangkan dengan koreksi harian, kontribusi medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi IGRF. Koreksi IGRF dilakukan dengan mengurangi nilai IGRF terhadap nilai kuat medan magnetik total yang telah terkoreksi harian pada setiap titik ukur sesuai posisi geografisnya. Persamaan koreksinya dapat dituliskan (Sehah, 2001):

$$\Delta H = H_{Total} \pm \Delta H_{Harian} - H_0 \quad (3.2)$$

dimana H_0 adalah nilai IGRF.

Peta kontur anomali magnetik total setelah terkoreksi harian dan IGRF ditunjukkan pada **Gambar 3.6**. Secara umum pola *closure* anomali magnetik sebelum dan setelah terkoreksi adalah hampir sama. Hal ini dapat dipahami karena kontribusi medan magnetik utama bumi atau IGRF terhadap data hasil akuisisi di seluruh titik ukur adalah hampir sama. Adapun kontribusi medan magnetik luar sangat kecil, sehingga tidak berpengaruh terhadap pola *closure* anomali magnetik total secara signifikan.



Gambar 3.6. Peta anomali magnetik total di kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap (Sehah and Raharjo, 2017)

C. Koreksi Topografi

Koreksi topografi dilakukan apabila pengaruh magnetik dari topografi dalam survei magnetik sangat kuat. Koreksi topografi dalam survei magnetik umumnya tidak dilakukan mengingat pengaruhnya sangat kecil dan belum mempunyai aturan koreksi yang jelas. Salah satu teknis untuk menentukan nilai koreksi topografi adalah dengan membangun suatu model menggunakan beberapa prisma segiempat atau kubus bertingkat menyerupai topografi yang sebenarnya. Ketika membangun model, nilai suseptibilitas magnetik batuan topografi harus diketahui, karena nilai tersebut digunakan sebagai dasar di dalam perhitungan nilai anomali magnetik masing-masing prisma segiempat. Setelah itu dilakukan proses integrasi, sehingga nilai anomali magnetik total model topografi yang dibentuk dari prisma-prisma tersebut dapat diketahui. Dengan demikian model topografi yang dibuat menghasilkan nilai anomali magnetik (ΔH_{Topo}) yang diasumsikan sesuai dengan bentuk topografi yang sebenarnya. Persamaan koreksi topografi (bersama dengan koreksi harian dan IGRF) dapat dituliskan sebagai

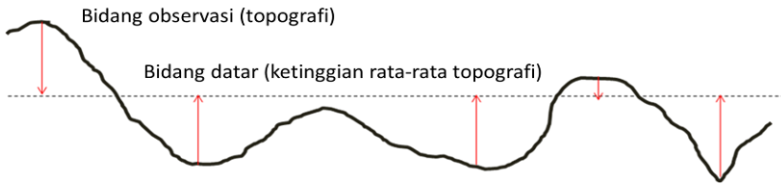
$$\Delta H = H_{Total} \pm \Delta H_{Harian} - H_0 - \Delta H_{Topo} \quad (3.3)$$

ΔH menyatakan data anomali magnetik total yang masih terdistribusi pada permukaan topografi.

3.2.2. Reduksi Data Magnetik

A. Reduksi Data Anomali ke Bidang Datar

Peta kontur anomali magnetik total seperti terlihat pada **Gambar 3.6** masih terdistribusi di permukaan topografi. Untuk mempermudah pengolahan data anomali magnetik, data anomali yang masih terdistribusi di permukaan topografi (tidak datar) direduksi menuju bidang datar (*reduction to horizontal surface*). Hal ini dilakukan, karena pengolahan data berikutnya mensyaratkan data anomali harus terdistribusi pada bidang datar. Salah satu metode yang banyak diterapkan untuk mentransformasi data anomali magnetik yang masih terdistribusi di bidang tidak datar ke bidang datar seperti **Gambar 3.7** adalah melalui pendekatan Deret Taylor. Prinsip kerjanya menggunakan turunan pada suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi ke sekitar titik tersebut. Oleh sebab itu deret Taylor dapat digunakan untuk memperkirakan nilai anomali magnetik pada titik-titik data di luar bidang observasi (Blakely, 1995).



Gambar 3.7. Proses reduksi data medan potensial (anomali magnetik) dari bidang tidak datar menuju ke bidang datar.

Sebagai langkah awal, dimisalkan data $U(x, y, z_0)$ adalah data anomali magnetik yang terukur di bidang datar dengan ketinggian z_0 . Selanjutnya jika diinginkan nilai anomali magnetik di suatu titik misal (x, y, z) , menurut deret Taylor hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan (Blakely, 1995):

$$\begin{aligned}
 U(x, y, z) &= U(x, y, z_0) + (z - z_0) \frac{\partial}{\partial z} U(x, y, z_0) + \frac{(z - z_0)^2}{2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} U(x, y, z_0) + \dots \\
 &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z - z_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} U(x, y, z_0)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Persamaan (3.5) merupakan bentuk fungsi kontinuitas dari suatu bidang datar (*horizontal surface*) ke bidang tidak datar (*uneven surface*).

Untuk menghitung nilai anomali magnetik hasil kontinuitas dari bidang tidak datar ke bidang datar, dapat dilakukan dengan cara mengisolasi bentuk pertama barisan penjumlahan dari persamaan di atas,

yaitu fungsi $U(x,y,z_0)$; dan menempatkannya di bagian ruas kiri, kemudian ditukar dengan $U(x,y,z)$; sehingga persamaan (3.3) dapat dituliskan menjadi:

$$U(x, y, z_0) = U(x, y, z) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z - z_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} U(x, y, z_0) \quad (3.4)$$

Persamaan (3.4) dapat dituliskan dalam bentuk iterasi dimana nilai $U(x,y,z_0)$ yang diinginkan dapat diestimasi melalui suatu pendekatan yang cukup baik, yaitu nilai $U(x,y,z_0)$ yang diperoleh dari iterasi ke- i dapat digunakan untuk mendapatkan nilai $U(x,y,z_0)$ pada iterasi ke $(i+1)$. Proses iterasi dilakukan secukupnya sehingga nilai medan yang diperoleh menunjukkan konvergen. Persamaan iterasinya yaitu:

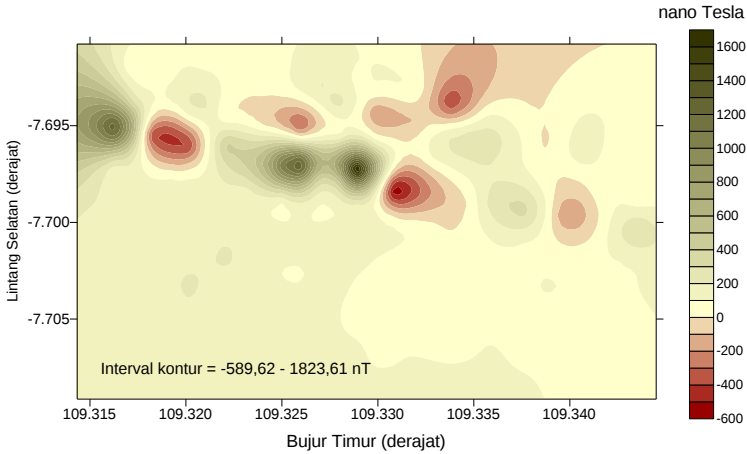
$$U(x, y, z_0)^{[i+1]} = U(x, y, z) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z - z_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} U(x, y, z_0)^{[i]} \quad (3.5)$$

Data anomali medan magnetik yang telah mencapai konvergen diasumsikan telah tereduksi ke bidang datar seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.8**. Ciri khas data anomali telah mencapai konvergen adalah nilai intervalnya relatif menjadi lebih kecil daripada nilai sebelumnya (Sehah dkk., 2014).

Persamaan (3.5) memerlukan nilai $U(x,y,z_0)$ untuk *initial guest*. Secara empiris, tebakan awal pada persamaan (3.5) ini dapat diambil nilai $U(x,y,z)$ atau nilai medan potensial yang terukur pada bidang observasi (topografi) dengan asumsi bahwa $U(x,y,z)$ merupakan nilai medan potensial yang seolah-olah diukur pada bidang datar dan akan dikontinuasikan menuju bidang tidak datar atau pada ketinggian $z(x,y)$. Selain itu, ditemukan bahwa konvergensi persamaan (6.7) dapat berlangsung dengan cepat apabila z_0 diambil dari nilai ketinggian rata-rata topografi $z(x,y)$. Apabila simbol besaran pada persamaan (3.5) disinkronkan dengan simbol besaran pada persamaan (3.4), maka dapat dituliskan kembali (Blakely, 1995):

$$\Delta H(x, y, z_0)^{[i+1]} = \Delta H(x, y, z) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z - z_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} \Delta H(x, y, z_0)^{[i]} \quad (3.6)$$

dengan tebakan awal $\Delta H(x, y, z_0) = \Delta H(x, y, z)$.



Gambar 3.8. Peta anomali magnetik total di kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap setelah direduksi ke bidang datar (Sehah and Raharjo, 2017).

Realisasi penyelesaian bentuk turunan vertikal medan potensial U pada persamaan (3.5) dapat dilakukan dalam kawasan Fourier (*Fourier domain*). Transformasi Fourier turunan vertikal ke- n terhadap medan potensial U bisa dirumuskan dalam bentuk perkalian antara transformasi Fourier dari medan potensial U dengan tetapan $|k|^n$ yang dapat dinyatakan sebagai:

$$F\left[\frac{\partial^n}{\partial z^n}U\right] = |k|^n F[U] \quad (3.7)$$

k menyatakan *wave number* yang mempunyai satuan per jarak. Hal ini analog dengan besaran frekuensi angular di dalam *time-domain Fourier transform*, yang mempunyai satuan per waktu.

B. Reduksi Efek Magnetik Regional

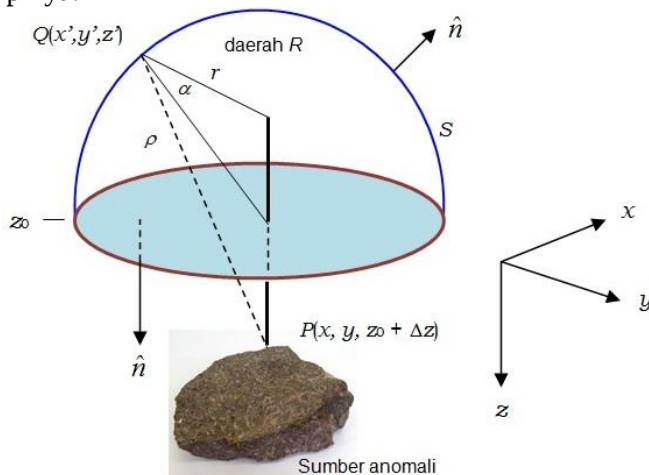
Dalam banyak hal, data anomali magnetik yang menjadi target survei selalu bersuperposisi dengan data anomali magnetik yang berasal dari sumber yang sangat dalam dan luas di bawah permukaan bumi. Anomali magnetik ini disebut sebagai anomali magnetik regional. Untuk memperoleh data anomali magnetik yang menjadi target survei, dilakukan koreksi efek regional, yang bertujuan mereduksi anomali magnetik regional dari data anomali magnetik total hasil pengukuran. Salah satu teknik untuk mendapatkan data anomali magnetik regional adalah melalui proses pengangkatan data anomali ke atas (*upward continuation*) hingga ketinggian tertentu, dimana pola anomali yang

dihasilkan cenderung tetap dengan nilai variasi sangat kecil. Pengangkatan ke atas merupakan suatu proses transformasi untuk mentransformasi data medan magnetik dari bidang datar ke bidang datar lain yang berada di atasnya. Oleh karena itu, data yang diinputkan harus telah terdistribusi pada bidang datar.

Konsep dasar pengangkatan ke atas berasal dari identitas kedua Green. Teorema Green menjelaskan bahwa apabila suatu fungsi U adalah harmonik, kontinu, memiliki turunan kontinu (*continous derivative*) di sepanjang daerah R , maka nilai U di titik P pada daerah R dapat dinyatakan (Blakely, 1995):

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (3.8)$$

dimana S menunjukkan permukaan daerah R , n menunjukkan arah normal keluar dan r merupakan jarak dari titik P ke suatu titik pada permukaan S , seperti terlihat pada **Gambar 3.9**. Persamaan (3.8) menggambarkan prinsip pengangkatan ke atas, dimana suatu medan potensial dapat dihitung di setiap titik sesuai sifat medan pada permukaan yang melingkupinya.



Gambar 3.9. Kontinuasi ke atas dari bidang datar. Titik P' adalah proyeksi dari P . Titik integrasi Q pada permukaan S , serta r dan ρ masing-masing menyatakan jarak dari Q ke P dan dari Q ke P' (Blakely, 1995)

Dengan menggunakan sistem koordinat kartesian, dengan sumbu z ke arah bawah, diasumsikan suatu medan potensial diukur di suatu bidang datar ($z = z_0$) dan medan yang diinginkan terletak di titik $P(x, y, z_0 - \Delta z)$ yang berada di atas permukaan tersebut, dimana $\Delta z > 0$. Permukaan S

mengandung kedua level permukaan ini ditambah sebuah *hemisphere* dengan radius α . Sumber anomali berada pada $z > z_0$. Jika α menjadi besar, integrasi persamaan (3.8) untuk seluruh *hemisphere* menjadi sangat kecil. Dengan demikian, jika nilai α mendekati tidak terhingga, persamaan (3.8) dapat ditulis menjadi:

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U(x', y', z_0)}{\partial z'} - U(x', y', z_0) \frac{\partial}{\partial z'} \frac{1}{r} \right) dx' dy' \quad (3.9)$$

dimana $r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z_0 - \Delta z - z')^2}$ dan $\Delta z > 0$.

Persamaan (3.9) tidak hanya memerlukan nilai U sebuah permukaan, tetapi juga nilai gradien vertikal U . Oleh sebab itu diperlukan identitas kedua Green untuk mengeliminasi bagian turunan pada persamaan ini. Jika V adalah fungsi harmonik di sepanjang R , identitas kedua Green dapat dituliskan:

$$\frac{1}{4\pi} \int_S \left(V \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial V}{\partial n} \right) dS = 0 \quad (3.10)$$

Dengan menambahkan hasil identitas kedua Green ini, persamaan (3.8) dapat dituliskan:

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\left(V + \frac{1}{r} \right) \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left(V + \frac{1}{r} \right) \right] dS \quad (3.11)$$

Untuk mengeliminasi bagian pertama dari *integran*, harmonik V diperlukan sehingga $V + 1/r = 0$ pada setiap titik S . Kemudian dibuat titik P' ($x, y, z_0 + \Delta z$) sebagai cerminan titik P yang dapat diproyeksikan menembus bidang datar pada titik ($x, y, z_0 + \Delta z$), serta dengan memasukkan $V = -1/\rho$, dimana:

$$\rho = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z + \Delta z - z')^2}$$

Besaran V yang didefinisikan harus memenuhi syarat yang diperlukan, yaitu $V + 1/r = 0$ di permukaan datar, $V + 1/r$ akan menghilang di *hemisphere* pada saat α besar. V selalu harmonik karena ρ tidak pernah berkurang. Oleh karena itu, persamaan (3.10) dapat dituliskan menjadi:

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right) \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right) \right] dS \quad (3.12)$$

Jika *hemisphere* menjadi besar, bagian pertama akan menghilang pada setiap titik S , dan bagian kedua menghilang kecuali pada bidang horisontal:

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = -\frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x', y', z_0) \frac{\partial}{\partial z'} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right) dx' dy' \quad (3.13)$$

Dengan membawa faktor turunan dan mengeluarkan z' ke bidang horisontal, diperoleh persamaan integral untuk pengangkatan ke atas:

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{\sqrt{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2]^3}} dx' dy' \quad (3.14)$$

Δz adalah tinggi pengangkatan ke atas. Jika simbol besaran pada persamaan (3.13) disinkronkan dengan persamaan (3.4), akan diperoleh:

$$\Delta H(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta H(x', y', z_0)}{\sqrt{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2]^3}} dx' dy' \quad (3.15)$$

dimana $\Delta H(x, y, z_0 - \Delta z)$ merupakan data anomali magnetik regional (ΔH_{reg}) (Blakely, 1995).

Persamaan (3.15) ini dapat diselesaikan dengan efisien dan sangat cepat menggunakan komputasi dalam kawasan Fourier (*Fourier domain*), dengan syarat persamaan tersebut merupakan konvolusi dua dimensi sederhana.

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x', y', z_0) \Psi_u(x - x', y - y', \Delta z) dx' dy' \quad (3.16)$$

$$\text{dimana } \Psi_u(x, y, \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \frac{1}{(x^2 + y^2 + \Delta z^2)^{3/2}}$$

Representasi *Fourier domain*-nya dibentuk dengan cara mentransformasikan kedua sisi persamaan (3.16) ke dalam kawasan Fourier, sehingga persamaan tersebut dapat dinyatakan:

$$F[U_u] = F[U] F[\Psi_u] \quad (3.17)$$

$F[U_u]$ menyatakan transformasi Fourier dari medan kontinuasi. $F[\Psi_u]$ pada persamaan (3.17) dibentuk menggunakan transformasi Fourier dari

formulasi $\Psi_u(x, y, \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \frac{1}{(x^2 + y^2 + \Delta z^2)^{3/2}}$ setelah memodifikasi bentuknya menjadi:

$$\Psi_u(x, y, \Delta z) = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial \Delta z} \frac{1}{r} \quad (3.18)$$

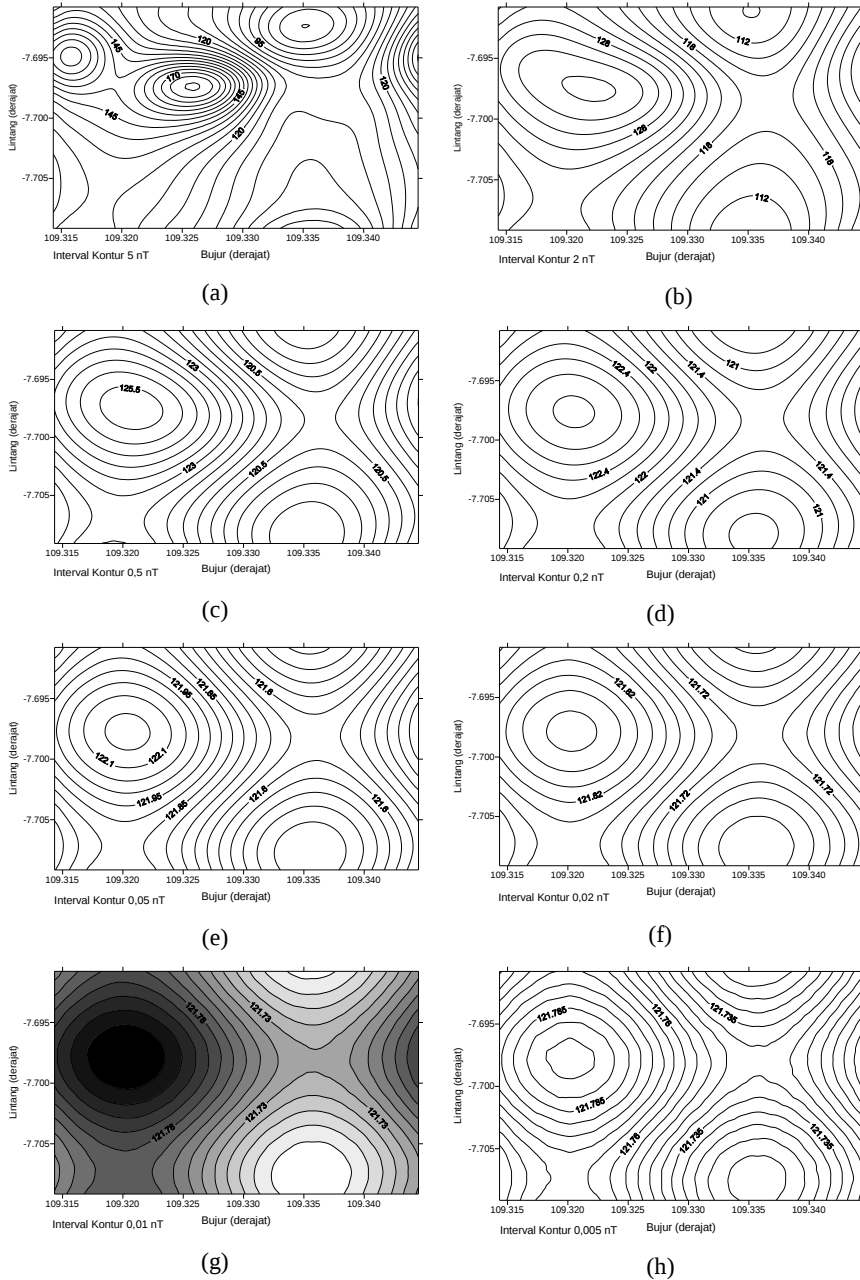
Nilai variabel $r = \sqrt{(x^2 + y^2 + \Delta z^2)}$, sehingga transformasi Fourier-nya dapat dinyatakan:

$$F[\Psi_u] = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial \Delta z} F\left[\frac{1}{r}\right] = -\frac{\partial}{\partial \Delta z} \frac{e^{-|k|\Delta z}}{|k|} \quad (3.19)$$

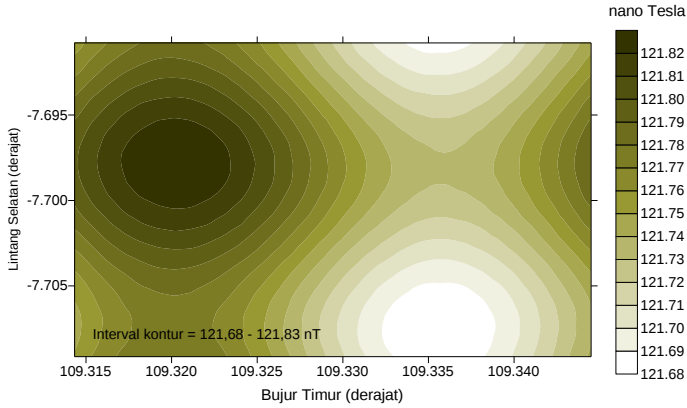
Dengan demikian persamaan (3.15) dapat dituliskan kembali dalam bentuk:

$$F[U_u] = F[U] e^{-\Delta z|k|}, \quad \Delta z > 0 \quad (3.20)$$

Untuk mendapatkan data anomali magnetik regional, data anomali magnetik total yang telah terdistribusi pada bidang datar dikontinuasikan ke atas secara *step by step* hingga mencapai ketinggian tertentu. **Gambar 3.10** memperlihatkan proses pengangkatan ke atas data anomali magnetik hingga ketinggian 3.500 meter di atas bidang acuan sferoida untuk mendapatkan peta kontur anomali magnetik regional di suatu daerah penelitian. Data anomali magnetik regional diperoleh apabila pola anomali magnetik yang dihasilkan telah cenderung tetap dengan nilai variasi yang sangat kecil. Sebagai contoh adalah peta anomali magnetik regional kawasan Pesisir Nusawungu Barat hasil pengangkatan data ke atas hingga ketinggian 3.250 meter di atas bidang sferoida referensi, seperti terlihat pada **Gambar 3.11**. Peta kontur anomali magnetik regional memiliki pola yang sangat halus dan tidak terdapat lagi *closure-closure* anomali lokal. Interval nilai anomali antara satu titik dengan titik-titik di sekitarnya sangat kecil.



Gambar 3.10. Peta anomali magnetik hasil pengangkatan ke atas (a) 500 meter, (b) 1.000 meter, (c) 1.500 meter, (d) 2.000 meter (e) 2.500 meter (f) 3.000 meter (g) 2.250 meter dan (h) 3.500 meter.

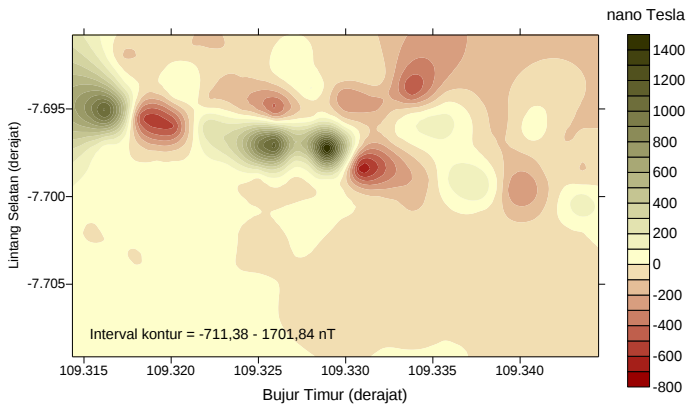


Gambar 3.11. Peta anomali magnetik regional kawasan Pesisir Nusawungu Barat setelah dilakukan pengangkatan hingga ketinggian 3.250 meter (Sehah and Raharjo, 2017).

Data anomali magnetik regional yang telah diperoleh (**Gambar 3.11**), selanjutnya dikoreksikan atau dikurangkan terhadap data anomali magnetik total yang telah terdistribusi di bidang datar (**Gambar 3.8**) dengan persamaan (Sehah, 2001):

$$\Delta H_{local} = \Delta H(x, y, z_0) - \Delta H_{reg} \quad (3.17)$$

Hasil koreksinya merupakan data anomali magnetik lokal (ΔH_{local}) yang juga terdistribusi pada bidang datar dengan ketinggian sama dengan data anomali magnetik total. Peta kontur anomali magnetik lokal menggambarkan kondisi struktur geologi atau batuan bawah permukaan yang bersifat dangkal. Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



Gambar 3.12. Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat setelah dilakukan koreksi efek magnetik regional (Sehah and Raharjo, 2017).

3.3. Metode Pemodelan dan Interpretasi Data Magnetik

3.3.1. Pemodelan Sumber Anomali

Pemodelan data anomali magnetik lokal bertujuan untuk memodelkan bentuk, posisi, dan kedalaman sumber anomali atau struktur geologi bawah permukaan melalui pemodelan matematis. Ada banyak model benda anomali bawah permukaan, yang antara satu model dan model lainnya kemungkinan berbeda, tergantung dari bentuk kurva atau *closure* anomali yang diperoleh, target yang dicapai, dan ketelitian data hasil pengukuran. Pemodelan anomali yang berkembang pada survei magnetik terdiri atas model dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D). Pemodelan anomali 2D yang mengikutkan lebar *strike* disebut model dua setengah dimensi ($2\frac{1}{2}D$). Dalam penelitian ini pemodelan benda-benda sumber anomali bawah permukaan dilakukan secara $2\frac{1}{2}D$.

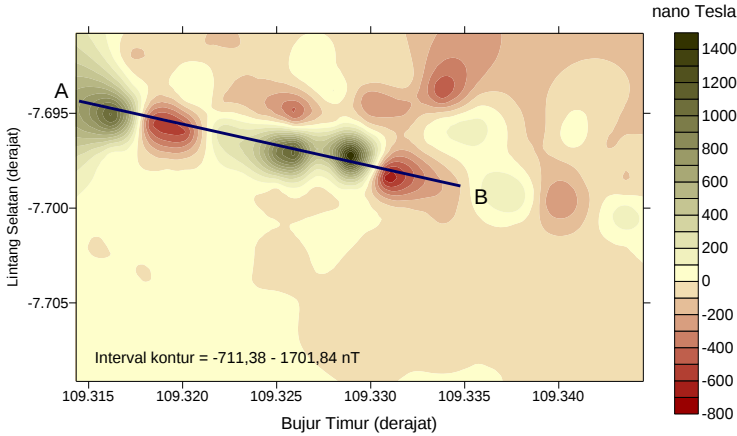
Dalam pemodelan data anomali magnetik, benda anomali diasumsikan termagnetisasi secara homogen (serba sama) sebagai akibat induksi magnetik bumi saja, sedangkan efek remanen magnetik dianggap kecil sehingga dapat diabaikan. Penyelesaian pemodelan anomali magnetik bersifat tidak tunggal (*non unique*), sehingga pemilihan model anomali ini dilakukan dengan teknik coba-coba (*trial and error*), namun tetap mempertimbangkan geologi daerah penelitian. Nilai suseptibilitas magnetik batuan diterapkan dalam pemodelan untuk menginterpretasi jenis-jenis batuan bawah permukaan di suatu daerah penelitian (Sehah, 2001).

Variabel yang dibutuhkan pada pemodelan adalah bentuk poligon yang merupakan penampang benda anomali, posisi horisontal dan vertikal, lebar *strike* (model $2\frac{1}{2}D$), dan nilai kontras suseptibilitas magnetik masing-masing benda. Mengingat jumlah variabel model cukup banyak, maka variabel yang diubah langsung pada pemodelan adalah posisi horisontal dan vertikal, serta bentuk poligon benda anomali. Lebar *strike* diperkirakan sesuai dengan lebar pola kontur anomali, sedangkan nilai kontras suseptibilitas magnetik benda ditentukan berdasarkan informasi geologi dan litologi daerah penelitian.

3.3.2. Teknis Pemodelan dan Interpretasi

Langkah awal dalam melakukan pemodelan adalah membuat lintasan pada peta kontur anomali magnetik, umumnya peta kontur anomali magnetik lokal. Lintasan didesain melalui *closure* anomali (berupa pasangan-pasangan dipol) dan diperkirakan tegak lurus terhadap arah *strike* benda anomali bawah permukaan atau struktur geologi yang menjadi target survei. Selanjutnya data anomali magnetik diekstrak di sepanjang lintasan dengan interval jarak yang sama. Data anomali ini disebut data anomali observasi (*observed data*), yang selanjutnya digunakan sebagai data pembanding terhadap data anomali hasil

perhitungan (*calculated data*). Contoh lintasan pemodelan di atas peta kontur anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat ditunjukkan pada **Gambar 3.13**.



Gambar 3.13. Lintasan AB pada peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat untuk pemodelan sumber anomali (Sehah and Raharjo, 2017)

Pemodelan dilakukan dengan cara membuat beberapa bentuk *polygon* benda anomali atau struktur geologi yang dianggap sebagai sumber anomali dengan parameter yang sesuai, sehingga diperoleh data anomali perhitungan (*calculated data*). Kurva anomali hasil perhitungan ini dibandingkan dengan kurva anomali observasi. Jika kurva anomali hasil perhitungan cocok (*match*) dengan kurva anomali observasi, benda anomali atau struktur geologi yang digambar dapat diasumsikan merupakan batuan atau struktur geologi bawah permukaan yang sebenarnya. Namun apabila tidak cocok, pemodelan harus diulang dengan mengubah variabel model sehingga dapat dicapai kecocokan. Kecocokan antara dua kurva tersebut ditandai dengan kecilnya deviasi antara dua kurva yang dirumuskan:

$$R = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (3.18)$$

Variabel x adalah *observed data*, y adalah *calculated data*, dan n merupakan jumlah data (Supriyanto, 2007).

Sebelum melakukan pemodelan sumber anomali, diperlukan beberapa parameter seperti nilai medan magnetik utama bumi (IGRF), sudut inklinasi, sudut deklinasi, lebar *strike* model benda anomali, bentuk poligon, posisi dan kedalaman model, serta nilai kontras suseptibilitas magnetik benda. Karena parameter model cukup banyak, beberapa

parameter seperti nilai IGRF, sudut inklinasi, sudut deklinasi, panjang *strike* model, dan kontras suseptibilitas magnetik dapat ditentukan nilainya. Lebar *strike* diperkirakan melalui lebar kontur, sedangkan kontras suseptibilitas ditentukan berdasarkan data geologi. Pemodelan dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak Mag2DC 2.11 for Windows (*freeware*) atau perangkat lainnya dengan teknis pencocokan kurva (*curve matching*) seperti telah dijelaskan pada alenia sebelumnya.

Interpretasi merupakan penafsiran anomali magnetik yang didasarkan terhadap pola kontur anomali yang bersumber dari distribusi benda-benda, batuan dan mineral termagnetisasi, atau struktur geologi bawah permukaan bumi. Pola kontur anomali magnetik yang dihasilkan ditafsirkan berdasarkan informasi geologi, yang dijadikan sebagai dasar pendugaan atau interpretasi struktur geologi sebenarnya. Beberapa hal yang dipertimbangkan pada saat melakukan interpretasi, antara lain:

- Bentuk, sebaran, dan posisi anomali medan magnetik yang terlihat pada peta kontur. Kemungkinan hal ini dapat dikaitkan dengan jenis benda anomali atau struktur geologi yang terpendam.
- Gradien anomali magnetik, *closure*, dan kelurusan. Kemungkinan hal ini dapat dikaitkan adanya struktur sesar, lipatan, graben, dan struktur geologi lainnya.
- Kecenderungan anomali medan magnetik yang sangat tinggi atau sangat rendah. Kemungkinan hal ini dapat dikaitkan dengan densitas dan temperatur benda, seperti mineral, logam, kantong magma, dan sebagainya.

Interpretasi terhadap model benda-benda anomali yang dihasilkan dari pemodelan dilakukan untuk memperoleh jenis-jenis batuan atau mengetahui struktur geologi bawah permukaan. Interpretasi didasarkan atas suseptibilitas magnetik masing-masing model benda anomali dan informasi geologi daerah penelitian. Model benda anomali dengan nilai suseptibilitas magnetik rendah umumnya diinterpretasi sebagai material non magnetik; seperti pasir, lanau, air tanah, rongga bawah tanah, dan lain-lain. Adapun benda anomali dengan nilai suseptibilitas magnetik tinggi umumnya diinterpretasi sebagai material magnetik; seperti batuan beku, bijih besi, bijih emas, bijih nikel, dan bijih logam lainnya. Secara lengkap hasil pemodelan data anomali magnetik lokal dan interpretasinya untuk kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap dapat dibaca pada **Bab 4**.

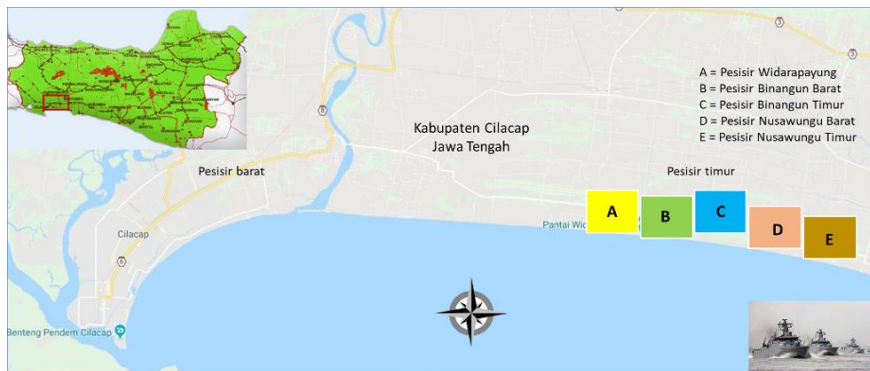
4. HASIL-HASIL SURVEI MAGNETIK

4.1. Hasil Akuisisi Data Magnetik

Survei magnetik untuk eksplorasi sebaran pasir besi telah dilakukan di lima lokasi yang terdiri atas Pesisir Widarapayung, Pesisir Binangun Barat, Pesisir Binangun Timur, Pesisir Nusawungu Barat, dan Pesisir Nusawungu Timur, Kabupaten Cilacap. Batas-batas posisi geografis untuk seluruh lokasi ditunjukkan pada **Tabel 4.1**, sedangkan secara visual lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. Mekanisme pengolahan data dari data kuat medan magnetik total hingga data anomali magnetik lokal telah dijelaskan di dalam **Bab 3**. **Tabel 4.2** menunjukkan data kuat medan magnetik total dan anomali magnetik total setelah dilakukan koreksi-koreksi.

Tabel 4.1. Posisi geografis masing-masing lokasi daerah penelitian

No.	Nama Lokasi Pesisir	Posisi Geografis
1	Widarapayung (A)	109,2501 – 109,2702 °BT dan 7,6781 – 7,6986 °LS
2	Binangun Barat (B)	109,2699 – 109,2982 °BT dan 7,6851 – 7,7019 °LS
3	Binangun Timur (C)	109,2988 – 109,3189 °BT dan 7,6843 – 7,7040 °LS
4	Nusawungu Barat (D)	109,3143 – 109,3445 °BT dan 7,6908 – 7,7091 °LS
5	Nusawungu Timur (E)	109,3462 – 109,3718 °BT dan 7,6958 – 7,7098 °LS



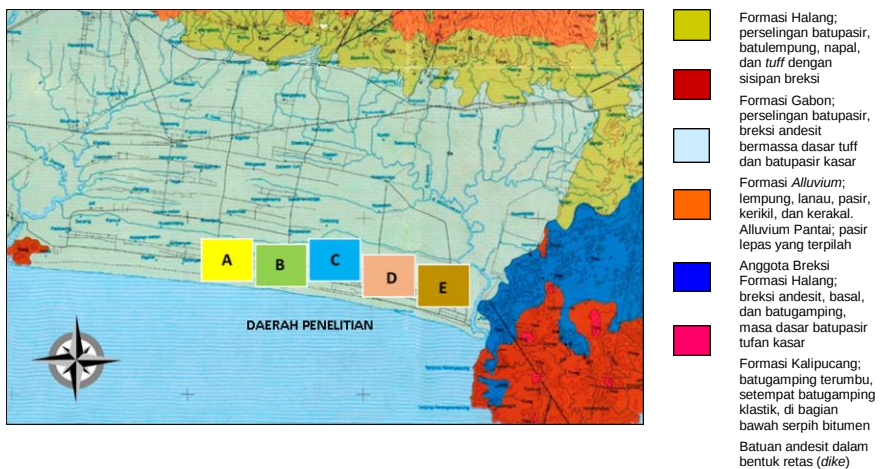
Gambar 4.1. Peta lokasi survei magnetik di kawasan pesisir timur Kabupaten Cilacap.

Tabel 4.2. Data magnetik total masing-masing lokasi daerah penelitian

No.	Nama Lokasi Pesisir	Data Medan Magnetik Total (nT)	Data Anomali Magnetik Total (nT)
1	Widarapayung (A)	44332,06 – 45586,37	-685,58 – 578,78
2	Binangun Barat (B)	44621,42 – 45537,00	-374,34 – 552,82
3	Binangun Timur (C)	44104,34 – 46387,65	-861,99 – 1421,85
4	Nusawungu Barat (D)	44297,50 – 46960,12	-694,32 – 1961,62
5	Nusawungu Timur (E)	44384,28 – 45291,84	-612,55 – 296,29

4.2. Hasil Kajian Geologi Daerah Penelitian

Secara geologi kawasan pesisir Binangun dan Nusawungu Kabupaten Cilacap terbentuk dari formasi batuan vulkanik dan endapan *alluvium* yang menutupi di sebagian besar wilayah barat hingga selatan. Daerah penelitian tersusun atas batuan dasar dari formasi Halang yang seluruhnya tertutup oleh *alluvium* dan endapan pantai. Endapan *alluvium* yang terletak di sebelah utara daerah penelitian yang terdiri atas lanau, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal serta material batuan hasil erosi Pegunungan Karangbolong yang diendapkan melalui aliran beberapa sungai ke kawasan tersebut. Adapun endapan pantai tersusun atas pasir lepas yang terpilah baik hingga sedang yang menunjukkan suatu kesan perlapisan dimana pasir besi ditemukan (Herman, 2005). Secara lengkap informasi geologi daerah penelitian bisa dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2. Peta geologi daerah penelitian (Asikin dkk., 1992)

Bijih besi yang terdapat di kawasan pesisir ini diperoleh dari pasir besi yaitu pasir yang mengandung mineral besi secara signifikan, yang umumnya terdapat di kawasan pesisir. Pasir besi terjadi akibat proses interaksi antara iklim, air permukaan, dan gelombang laut terhadap batuan-batuan induk yang mengandung mineral besi. Pasir besi yang terbentuk kemudian terakumulasi serta tercuci oleh gelombang laut di sepanjang pantai. Hal ini mengakibatkan pasir besi terpilah sehingga menjadi butiran-butiran bebas, yang terkayakan secara alami menjadi mineral-mineral besi. Mineral dengan *specific gravity* tinggi akan mengendap, sedangkan mineral dengan *specific gravity* rendah akan tercuci dan terbuang ke laut. Proses alami ini terjadi secara berulang selama ratusan bahkan ribuan tahun sehingga membentuk endapan pasir

besi. Umumnya pasir besi tersusun atas mineral magnetit (Fe_3O_4) dan sejumlah kecil logam titanium, silika, mangan, kalsium, dan vanadium. Adapun pasir besi yang berwarna hitam, mineral yang mendominasi umumnya terdiri atas magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), dan siderit (FeCO_3) (Hilman *dkk.*, 2014).

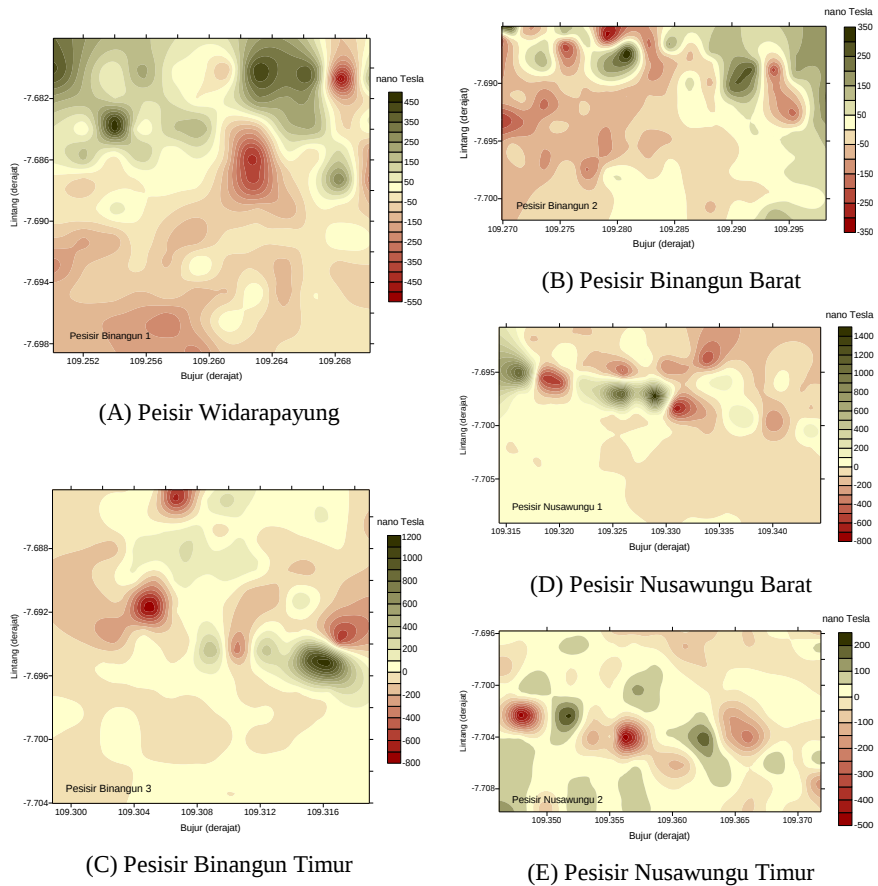
Mengingat sumberdaya alam yang dominan di daerah penelitian adalah pasir besi, keberadaan pasir besi di kawasan ini akan berasosiasi secara langsung dengan peta kontur anomali magnetik lokal. Data anomali magnetik lokal merupakan data anomali yang telah bersih dari medan magnetik utama bumi (IGRF), variasi magnetik harian, dan anomali magnetik regional. Oleh sebab itu pola *closure* peta anomali magnetik lokal akan menunjukkan pola sebaran pasir besi di daerah penelitian, karena umumnya pasir besi terdapat di dekat permukaan. Hasil pemodelan terhadap data anomali magnetik lokal untuk masing-masing kawasan dapat menjadi petunjuk perkiraan keberadaan dan kedalaman pasir besi di kawasan tersebut. Dengan demikian hasil-hasil yang diperoleh akan membantu mempermudah penambangan pasir besi dan meminimalkan dampak negatifnya.

4.3. Hasil Interpretasi Kualitatif Sebaran Pasir Besi

Berdasarkan informasi geologi, kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap didominasi formasi alluvium yang terdiri atas lanau, lempung, pasir, kerikil, kerakal, dan material hasil erosi Pegunungan Karangbolong yang diendapkan melalui aliran beberapa sungai (Asikin *dkk.*, 1992). Adapun pesisir bagian selatan didominasi oleh alluvium pantai yang tersusun atas pasir lepas yang terpilah baik hingga sedang yang menunjukkan kesan perlapisan (Herman, 2005). Sumberdaya alam pasir besi diperkirakan merupakan satu-satunya jenis mineral logam yang mendominasi kawasan ini. Oleh karena itu, pola anomali magnetik lokal yang dihasilkan berasosiasi langsung dengan keberadaan pasir besi. Hal ini dapat dipahami karena sifat kemagnetan besi sangat kuat dan lebih dominan. Secara lengkap peta kontur anomali magnetik lokal masing-masing lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.3**. Adapun posisi peta kontur secara geografis yang diambil dari peta *google earth* dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.

Berdasarkan hasil analisis peta kontur anomali magnetik lokal, kawasan Pesisir Nusawungu Barat merupakan kawasan yang diperkirakan paling besar potensi kandungan pasir besinya. Hal ini terkait dengan interval nilai anomali magnetik lokal yang cukup besar yaitu berkisar -711,38 – 1701,84 nT. Zona yang diestimasi prospek bijih besi berada di tengah relatif ke utara dan barat. Sedangkan kawasan Pesisir Nusawungu Timur diperkirakan memiliki potensi pasir besi paling kecil.

Hal ini terkait dengan interval nilai anomali magnetik lokal yang cukup kecil yaitu berkisar -498,66 – 201,73 nT. Secara lengkap hasil interpretasi kualitatif sebaran dan potensi pasir besi pada setiap lokasi daerah penelitian berdasarkan data anomali magnetik lokal ditunjukkan pada **Tabel 4.3**.

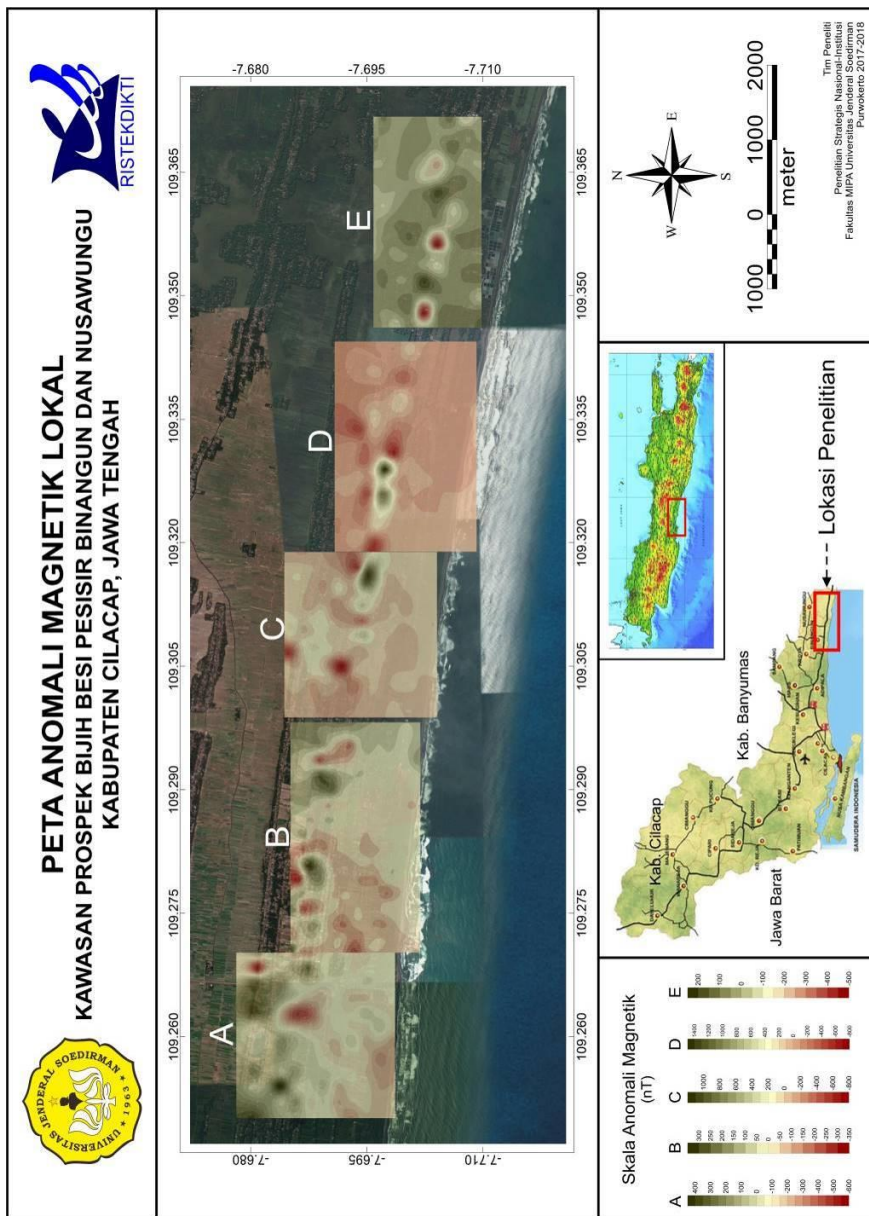


Gambar 4.3. Peta anomali magnetik lokal seluruh daerah penelitian (urutan lokasi peta kontur sesuai **Gambar 4.1**)

Tabel 4.3. Estimasi potensi pasir besi di seluruh daerah penelitian berdasarkan interpretasi data anomali magnetik lokal secara kualitatif

No.	Kawasan Pesisir	Interval Data Anomali Magnetik Lokal (nT)	Estimasi Potensi Pasir Besi
1	Widarapayung (A)	-541,40 – 494,34	Potensi sedang
2	Binangun Barat (B)	-314,08 – 356,42	Potensi sedang
3	Binangun Timur (C)	-715,80 – 1185,37	Potensi tinggi
4	Nusawungu Barat (D)	-711,38 – 1701,84	Potensi tinggi
5	Nusawungu Timur (E)	-498,66 – 201,73	Potensi rendah

Catatan: Potensi keterdapatan pasir besi didasarkan atas nilai interval data anomali magnetik lokal karena nilai ini berasosiasi secara langsung dengan sifat kemagnetan mineral besi.



Gambar 4.4. Peta anomali magnetik lokal di kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap.

Estimasi potensi pasir besi di seluruh kawasan daerah penelitian seperti terlihat pada **Tabel 4.3** didasarkan atas interval nilai anomali magnetik lokal; dimana semakin besar interval antara anomali positif dan anomali negatif, potensi keterdapatan pasir besi di bawah permukaan semakin besar. Namun jika didasarkan atas luas areanya, Pesisir Widarapayung merupakan kawasan yang memiliki area sebaran sumberdaya pasir besi paling luas, selanjutnya disusul Pesisir Binangun Barat, Pesisir Binangun Timur, Pesisir Nusawungu Barat, dan Pesisir Nusawungu Timur. Dengan demikian semakin menuju ke arah timur luas kawasan yang berpotensi mengandung pasir besi semakin berkurang. Di sekitar kawasan Pesisir Widarapayung pernah dilakukan penambangan pasir besi oleh pihak tertentu, namun saat ini penambangan itu telah dihentikan oleh masyarakat. **Gambar 4.5** menunjukkan sebuah instalasi pemisahan pasir besi yang pernah beroperasi di kawasan pesisir tersebut dan tumpukan pasir besi yang diperolehnya.



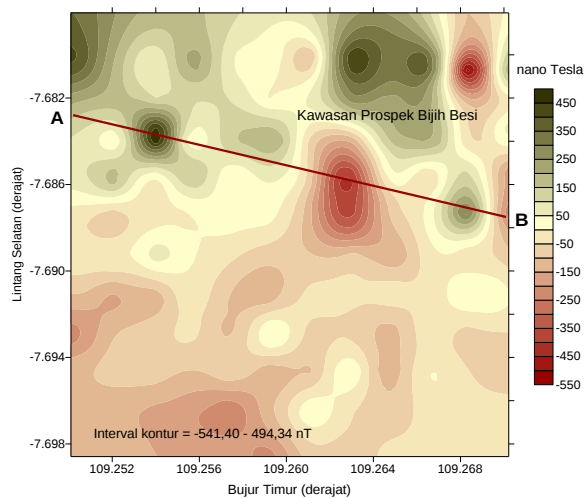
Gambar 4.5. Kegiatan eksploitasi dan instalasi pemisahan pasir besi yang pernah beroperasi di kawasan Pesisir Binangun (sumber: dokumentasi pribadi).

4.4. Hasil Interpretasi Kuantitatif Model Batuan Pasir Besi

Interpretasi kuantitatif terhadap data anomali magnetik lokal dilakukan melalui pemodelan dua setengah dimensi ($2\frac{1}{2}D$), yang secara lengkap telah dijelaskan pada Bab 3. Pemodelan dilakukan terhadap data anomali magnetik lokal yang diekstrak di sepanjang lintasan pada peta kontur. Lintasan tersebut harus diposisikan melalui *closure* anomali magnetik lokal yang diperkirakan prospek mengandung pasir besi berdasarkan hasil interpretasi kualitatif. Hasil dari pemodelan adalah model poligon benda $2\frac{1}{2}D$ yang diinterpretasi sebagai batuan bawah permukaan daerah penelitian. Interpretasi kandungan pasir besi di dalam batuan didasarkan atas nilai suseptibilitas magnetiknya.

4.4.1. Kawasan Pesisir Widarapayung

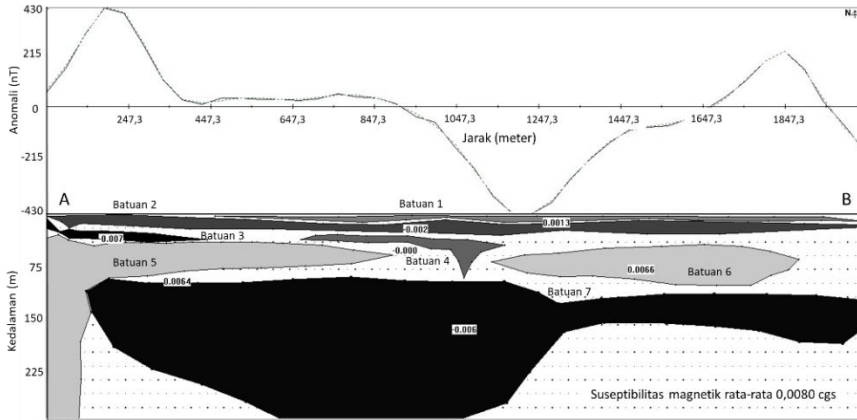
Data anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Widarapayung memiliki nilai berkisar -541,40 – 494,34 nT (Sehah *et.al.*, 2016). Data anomali tersebut dikonturkan sehingga diperoleh peta kontur anomali magnetik lokal seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.6**. Berdasarkan peta kontur tersebut, kawasan yang diestimasi prospek pasir besi diperkirakan berada relatif di bagian utara. Hasil pemodelan terhadap data anomali magnetik lokal menunjukkan tujuh buah benda anomali seperti terlihat pada **Gambar 4.7**. Parameter fisika yang digunakan di dalam pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Adapun hasil interpretasi model anomali ditunjukkan pada **Tabel 4.5** (Sehah *et.al.*, 2016).



Gambar 4.6. Peta anomali magnetik lokal kawasan prospek bijih besi Pesisir Widarapayung Kabupaten Cilacap (Sehah *et.al.*, 2016).

Tabel 4.4. Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Widarapayung (Sehah *et.al.*, 2016)

Parameter	Nilai
Nilai IGRF	: 45.015,5 nT
Sudut deklinasi	: 0,873°
Sudut inklinasi	: -32,534°
Suseptibilitas rata-rata	: 0,0080 cgs
Panjang <i>strike</i>	: 100 meter
Panjang lintasan	: 2.036,51 m
Sudut lintasan	: 104,03° NW
Posisi lintasan	: (109,252166°BT dan 7,683527°LS)
	: (109,269910°BT dan 7,687963°LS)
Kedalaman maksimum	: 300 meter



Gambar 4.7. Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Widarapayung (Sehah *et.al.*, 2016).

Tabel 4.5. Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Widarapayung (Sehah *et.al.*, 2016)

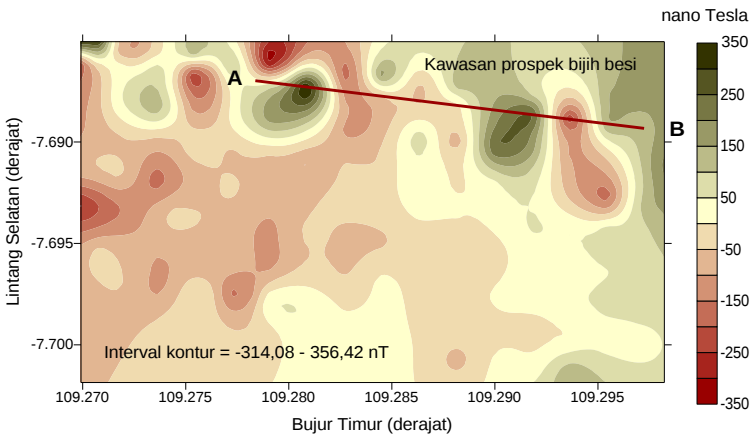
Benda Anomali	Kedalaman (m)	$\Delta\chi$ (cgs)	χ (cgs)	Interpretasi Litologi
Batuan 1	1,709 – 11,966	0,0013	0,0093	Pasir besi berselingan dengan lanau, lempung, pasir, dan kerikil
Batuan 2	1,140 – 30,769	-0,0029	0,0051	Lanau, lempung, pasir, dan kerikil yang mengandung pasir besi
Batuan 3	5,128 – 39,886	-0,0073	0,0007	Perselingan antara lanau, lempung, dan pasir sangat halus
Batuan 4	30,769 – 92,308	-0,0006	0,0074	Perselingan batupasir, batulempung, napal, dan tuff dan sisipan breksi
Batuan 5	29,915 – 303,419	0,0064	0,0144	Breksi dengan komponen andesit, basalt, dan batugamping bersisipan dengan batupasir dan lava basal
Batuan 6	43,590 – 102,564	0,0066	0,0146	
Batuan 7	91,168 – 303,419	-0,0068	0,0012	Perselingan batupasir, konglomerat dengan batulempung, napal dan serpih dengan sisipan diamiktit

Berdasarkan hasil interpretasi terhadap model benda anomali, diperoleh endapan pasir besi yang berselingan dengan lanau, lempung, pasir dan kerikil dari formasi *alluvium* dengan kedalaman 1,709 – 11,966 meter dan panjang 1.576,699 meter. Nilai suseptibilitas magnetik lapisan batuan ini diperkirakan sebesar 0,0093 cgs. Pasir besi yang ditemukan pada lapisan ini diperkirakan merupakan bagian yang belum ditambang sehingga diestimasi masih prospek untuk dieksploitasi secara ekonomis. Selain itu, pasir besi juga diperkirakan ditemukan pada lapisan batuan di bawahnya yang terdiri atas lanau, lempung, pasir, dan kerikil dari formasi *alluvium* dengan kedalaman 1,140 – 30,769 meter, panjang 1.987,116 m, dan suseptibilitas magnetik 0,0051 cgs. Namun berdasarkan nilai

suseptibilitasnya, kandungan pasir besi yang terdapat dalam lapisan ini diestimasi relatif kecil, sehingga kurang prospek dieksplotasi.

4.4.2. Kawasan Pesisir Binangun Barat

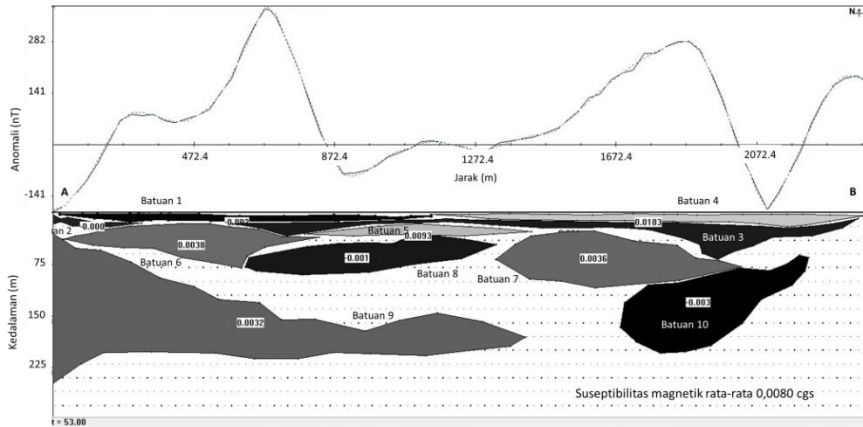
Data anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Binangun Barat memiliki nilai berkisar -314,08 – 356,42 nT (Sehah *et.al.*, 2017). Data anomali tersebut dikonturkan sehingga diperoleh peta kontur anomali magnetik lokal seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.8**. Berdasarkan peta kontur tersebut, pasir besi diperkirakan terlokalisasi relatif di bagian utara hingga timur. Pemodelan data anomali magnetik lokal menghasilkan 10 benda anomali seperti terlihat pada **Gambar 4.9** dengan parameter model dapat dilihat pada **Tabel 4.6**. Adapun hasil interpretasinya ditunjukkan pada **Tabel 4.7** (Sehah *et.al.*, 2017).



Gambar 4.8. Peta anomali magnetik lokal kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Barat Kabupaten Cilacap (Sehah *et.al.*, 2017).

Tabel 4.6. Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Barat (Sehah *et.al.*, 2017)

Parameter		Nilai
Nilai IGRF	:	44.999,0 nT
Sudut deklinasi	:	0,851°
Sudut inklinasi	:	-32,416°
Suseptibilitas rata-rata	:	0,0080 cgs
Panjang strike	:	100 meter
Panjang lintasan	:	2.408,95 meter
Sudut lintasan	:	5,8° NW
Posisi lintasan	:	(109,274698°BT ; 7,686620°LS)
	:	(109,296195°BT ; 7,689099°LS)
Kedalaman maksimum	:	300 meter



Gambar 4.9. Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Binangun Barat (Sehah *et.al.*, 2017).

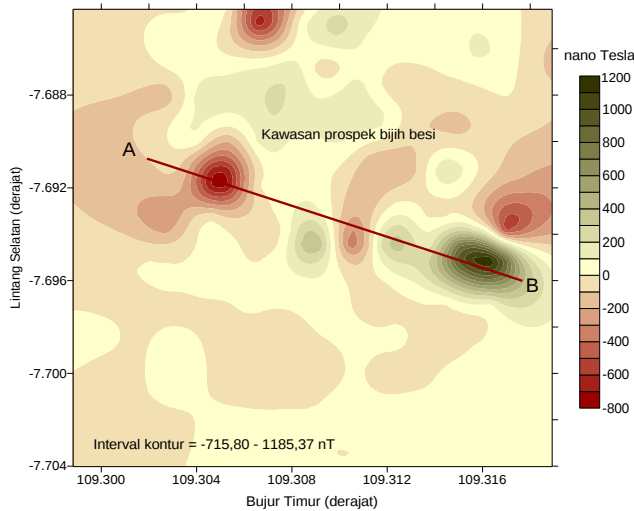
Tabel 4.7. Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Binangun Barat (Sehah *et.al.*, 2017)

Benda Anomali	Kedalaman (m)	$\Delta\chi$ (cgs)	χ (cgs)	Interpretasi Litologi
Batuan 1	2.137 – 13.105	-0.0020	0,0060	Lanau, lempung, pasir, dan kerikil yang mengandung bijih besi
Batuan 2	2.849 – 20.513	-0.0008	0,0072	
Batuan 3	8.547 – 67.806	-0.0013	0,0067	
Batuan 4	1.709 – 20.513	0.0103	0,0183	Pasir besi berselingan dengan lanau, lempung, pasir, dan kerikil
Batuan 5	16.524 – 34.188	0.0094	0,0174	
Batuan 6	15.954 – 80.342	0.0039	0,0119	Breksi andesit dan batugamping bersisipan dengan batupasir dan lava basal
Batuan 7	26.781 – 109.402	0.0036	0,0116	
Batuan 8	31.624 – 247.863	0.0032	0,0112	Batugamping bersisipan dengan batupasir
Batuan 9	33.618 – 90.028	-0.0016	0,0064	
Batuan 10	61.538 – 204.274	-0.0032	0,0048	

Hasil interpretasi terhadap hasil pemodelan data anomali menunjukkan dua endapan batuan bawah permukaan yang diinterpretasi sebagai pasir besi berselingan dengan lanau, lempung, pasir, dan kerikil dari formasi *alluvium*. Batuan pertama memiliki kedalaman berkisar 1,709 – 20,513 meter, panjang 1.238,204 meter, dan nilai suseptibilitas magnetik 0,0183 cgs. Batuan kedua memiliki kedalaman berkisar 16,524 – 34,188 meter, panjang 643.055 meter, dan nilai suseptibilitas magnetik sebesar 0,0174 cgs. Selain itu bijih besi juga diestimasi terdapat di dalam batuan lain dari formasi *alluvium* meskipun tidak dominan. Batuan itu diinterpretasi sebagai lanau, lempung, pasir, dan kerikil yang mengandung bijih besi. Interpretasi didasarkan atas nilai suseptibilitas magnetik batuan yang relatif masih besar yaitu 0,0060; 0,0067; dan 0,0072.

4.4.3. Kawasan Pesisir Binangun Timur

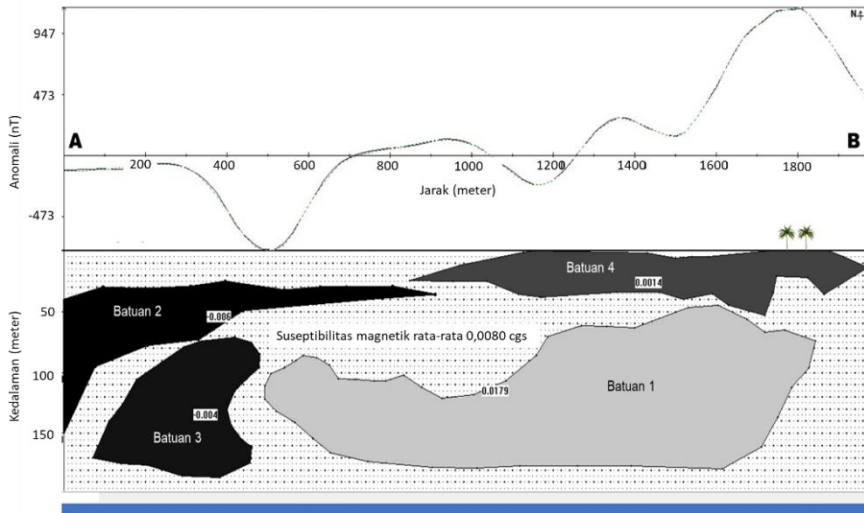
Peta anomali magnetik lokal wilayah Pesisir Binangun Timur memiliki nilai berkisar -715,80 – 1.185,37 nT seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.10** (Wibowo dkk., 2019). Berdasarkan peta kontur, kawasan yang diinterpretasi mengandung pasir besi berada di bagian utara hingga timur daerah penelitian. Hasil pemodelan terhadap data anomali magnetik lokal menunjukkan empat buah benda anomali seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.11**. Parameter fisika yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 4.8**. Sedangkan hasil interpretasi terhadap model-model anomali ditunjukkan pada **Tabel 4.9** (Wibowo dkk., 2019).



Gambar 4.10. Peta anomali magnetik lokal kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Timur Kabupaten Cilacap (Wibowo dkk., 2019).

Tabel 4.8. Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Timur (Wibowo dkk., 2019)

Parameter	Nilai
Nilai IGRF	: 44966,1 nT
Sudut deklinasi	: 0,80°
Sudut inklinasi	: -32,30°
Suseptibilitas rata-rata	: 0,0080 cgs
Panjang strike	: 100 meter
Panjang lintasan	: 2.408,95 m
Sudut lintasan	: 5,8° NW
Posisi lintasan	: (109,30981° BT dan 7,69264° LS) (109,31787° BT dan 7,69575° LS)
Kedalaman maksimum	: 300 meter



Gambar 4.11. Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Binangun Timur (Wibowo dkk., 2019).

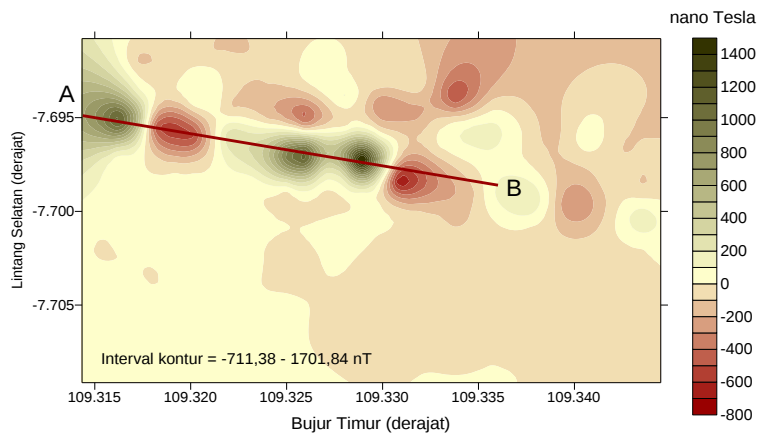
Tabel 4.9. Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Binangun Timur (Wibowo dkk., 2019)

Benda Anomali	Kedalaman (m)	$\Delta\chi$ (cgs)	χ (cgs)	Interpretasi Litologi
Batuan 1	45,00 – 179,00	0,0179	0,0259	Breksi andesit, basal, dan batugamping dengan sisipan batu pasir dan lava basal
Batuan 2	25,00 – 150,00	-0,0067	0,0013	Pasir berselingan dengan lempung, lanau, kerikil, dan kerakal
Batuan 3	71,00 – 186,27	-0,0045	0,0035	Perselingan batu pasir, batu lempung, napal, dan tuff dengan sisipan breksi
Batuan 4	00,00 – 53,00	0,0014	0,0094	Pasir mengandung bijih besi berselingan dengan lempung, lanau, kerikil

Hasil interpretasi terhadap model benda anomali yang telah diperoleh ditunjukkan pada **Tabel 4.9**. Berdasarkan tabel tersebut, benda anomali yang diinterpretasi paling prospek mengandung bijih besi adalah batuan dengan nilai suseptibilitas magnetik sebesar 0,0094 cgs. Batuan tersebut terletak pada kedalaman 0 – 53 meter di bawah permukaan dan membentang dengan posisi geografis $109,30981^\circ$ BT – $7,69264^\circ$ LS hingga $109,31787^\circ$ BT – $7,69575^\circ$ LS. Secara visual batuan ini terletak di bagian atas sebelah kanan membentuk endapan. Batuan ini diinterpretasi sebagai pasir yang mengandung butiran-butiran bijih besi yang berselingan dengan lempung, lanau, dan kerikil dari formasi *alluvium* (Wibowo dkk., 2019).

4.4.4. Kawasan Pesisir Nusawungu Barat

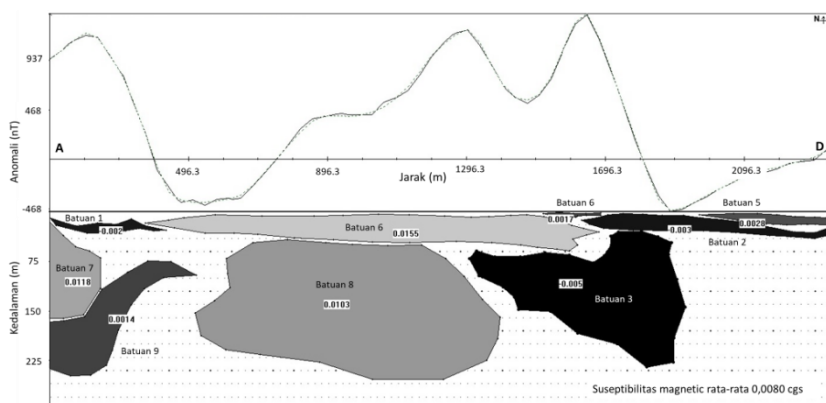
Data anomali magnetik lokal untuk kawasan Pesisir Nusawungu Barat mempunyai nilai -711,38 – 1.701,84 nT (Sehah dan Raharjo, 2017). Data itu dikonturkan sehingga diperoleh peta kontur anomali magnetik lokal seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.12**. Berdasarkan peta kontur tersebut, pasir besi diperkirakan terlokalisir relatif di bagian utara hingga barat. Kawasan pesisir ini diperkirakan merupakan kawasan paling prospek dibandingkan lainnya, mengingat interval nilai anomali magnetiknya sangat tinggi. Namun kawasan yang prospek pasir besi tidak terlalu luas. Pemodelan data anomali magnetik lokal telah menghasilkan delapan model benda anomali seperti terlihat pada **Gambar 4.13** dengan parameter pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 4.10**. Adapun hasil interpretasinya ditunjukkan pada **Tabel 4.11**.



Gambar 4.12. Peta anomali magnetik lokal kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap (Sehah dan Raharjo, 2017).

Tabel 4.10. Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun Barat (Sehah dan Raharjo, 2017)

Parameter	Nilai
Nilai IGRF	: 44.998,5 nT
Sudut deklinasi	: 0,853°
Sudut inklinasi	: -32,418°
Suseptibilitas rata-rata	: 0,0080 cgs
Panjang strike	: 100 meter
Panjang lintasan	: 2.354,84 m
Sudut lintasan	: 12,33° NW
Posisi lintasan	: (109,314398° BT ; 7,694471°LS) (109,335180° BT ; 7,699016°LS)
Kedalaman maksimum	: 300 meter



Gambar 4.13. Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Nusawungu Barat (Sehah dan Raharjo, 2017).

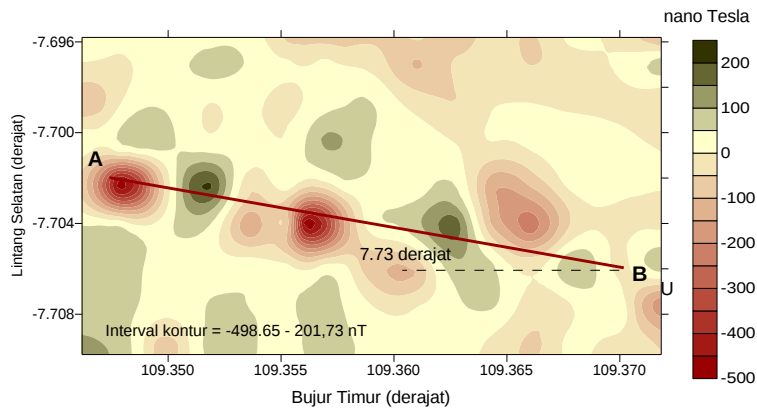
Hasil pemodelan dan interpretasi data anomali magnetik menunjukkan terdapat tiga batuan bawah permukaan yang diinterpretasi sebagai pasir besi yang berselingan dengan lanau dan lempung dari formasi *alluvium*. Batuan pertama memiliki panjang 164,850 meter, kedalaman 0,570 – 8,433 meter, dan nilai suseptibilitas magnetik 0,0097 cgs; batuan kedua memiliki panjang 376,281 meter, kedalaman 2,564 – 19,658 meter, dan suseptibilitas magnetik sebesar 0,0108 cgs; serta batuan ketiga memiliki panjang 1.306,257 meter, kedalaman 3,704 – 58,689 meter, dengan nilai suseptibilitas magnetik 0,0235 cgs. Batuan ketiga diestimasi paling prospek mengandung bijih besi karena suseptibilitas magnetiknya paling besar (Sehah dan Raharjo, 2017).

Tabel 4.11. Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Nusawungu Barat (Sehah dan Raharjo, 2017)

Benda Anomali	Kedalaman (m)	$\Delta\chi$ (cgs)	χ (cgs)	Interpretasi Litologi
Batuan 1	8,547 – 32,479	-0,0026	0,0066	Endapan pasir, lanau, lempung, dan kerikil yang mengandung bijih besi
Batuan 2	2,564 – 40,741	-0,0031	0,0051	Batugamping bersisipan dengan batupasir
Batuan 3	29,915 – 235,043	-0,0052	0,0032	Lanau dan lempung yang berselingan dengan pasir besi
Batuan 4	0,570 – 8,433	0,0017	0,0097	Pasir besi (dominan) berselingan dengan lanau dan lempung
Batuan 5	2,564 – 19,658	0,0028	0,0108	Breksi andesit bersisipan dengan batupasir dan lava basal
Batuan 6	3,704 – 58,689	0,0155	0,0235	Batugamping bersisipan dengan batupasir
Batuan 7	6,838 – 175,214	0,0118	0,0198	
Batuan 8	41,880 – 253,846	0,0103	0,0183	
Batuan 9	74,359 – 247,863	0,0014	0,0094	

4.4.5. Kawasan Pesisir Nusawungu Timur

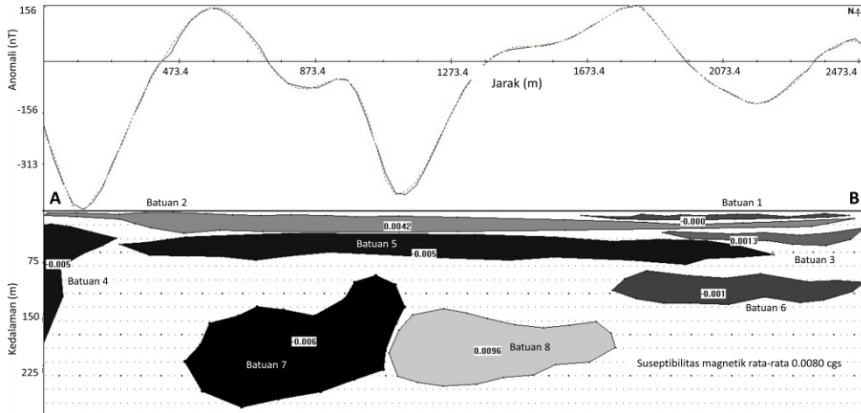
Akuisisi data medan magnetik total telah dilakukan di kawasan Pesisir Nusawungu Timur dengan posisi geografis 109,34619°–109,37183°BT dan 7,69581° – 7,70978°LS. Data anomali magnetik lokal yang diperoleh untuk kawasan ini memiliki nilai berkisar -498,66 – 201,73 nT (Sehah *dkk.*, 2019). Data itu dikonturkan sehingga diperoleh peta kontur anomali magnetik lokal seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.14**. Berdasarkan interval nilai anomali magnetik lokal, potensi pasir besi di kawasan ini diperkirakan relatif kecil dan sebarannya tidak luas. Pemodelan data anomali ini menghasilkan delapan model benda anomali seperti terlihat pada **Gambar 4.15** dengan parameter ditunjukkan pada **Tabel 4.12**. Adapun hasil interpretasinya ditunjukkan pada **Tabel 4.13**.



Gambar 4.14. Peta anomali magnetik lokal kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Timur Kabupaten Cilacap (Sehah *dkk.*, 2019).

Tabel 4.12. Parameter pemodelan anomali magnetik kawasan prospek bijih besi Pesisir Nusawungu Timur (Sehah dan Raharjo, 2017)

Parameter	Nilai
Nilai IGRF	: 44.996,3 nT
Sudut deklinasi	: 0,853°
Sudut inklinasi	: -32,441°
Suseptibilitas rata-rata	: 0,0080 cgs
Panjang <i>strike</i>	: 100 meter
Panjang lintasan	: 2.345,10 m
Sudut lintasan	: 7,73° NW
Posisi lintasan	: (109,3463° BT dan 7,7023°LS) (109,3689° BT dan 7,7053°LS)
Kedalaman maksimum	: 300 meter



Gambar 4.15. Hasil pemodelan data anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Nusawungu Timur (Sehah dan Raharjo, 2017).

Tabel 4.13. Hasil interpretasi terhadap model anomali magnetik lokal pada lintasan AB; kawasan Pesisir Nusawungu Timur (Sehah dan Raharjo, 2017)

Benda Anomali	Kedalaman (m)	$\Delta\chi$ (cgs)	χ (cgs)	Interpretasi Litologi
Benda 1	3,989 – 11,111	-0,0007	0,0073	Endapan alluvium yang tersusun atas pasir, lanau, lempung, dan kerikil yang mengandung butiran bijih besi
Benda 2	1,709 – 31,909	0,0042	0,0122	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
Benda 3	24,405 – 49,809	0,0013	0,0093	
Benda 4	19,140 – 193,477	-0,0050	0,0030	Batugamping bersisipan dengan batupasir
Benda 5	32,289 – 77,842	-0,0050	0,0030	
Benda 6	87,179 – 134,188	-0,0014	0,0066	
Benda 7	94,017 – 285,470	-0,0066	0,0014	Breksi andesit bersisipan dengan batupasir dan lava basal
Benda 8	142,735 – 255,556	0,0096	0,0176	

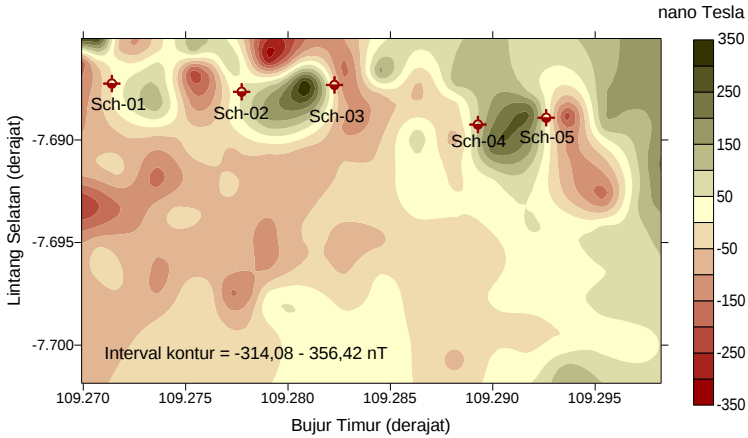
Hasil pemodelan dan interpretasi terhadap data anomali magnetik lokal menunjukkan dua batuan bawah permukaan yang diinterpretasi sebagai pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung dari formasi *alluvium*. Batuan pertama memiliki panjang sekitar 164,850 meter, kedalaman 1,709 – 31,909 meter, dengan nilai suseptibilitas magnetik sebesar 0,0122 cgs; serta batuan kedua memiliki panjang sebesar 376,281 meter, kedalaman 24,405 – 49,809 meter, dengan nilai suseptibilitas magnetik sebesar 0,0093 cgs. Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetiknya, batuan pertama diperkirakan lebih prospek mengandung pasir besi. Pasir besi juga diestimasi terdapat di batuan lain pada kedalaman 3,989 – 11,111 meter yang diinterpretasi sebagai lanau, lempung, pasir, dan kerikil yang mengandung butiran bijih besi, namun tidak dominan.

4.5. Hasil Korelasi dengan Data Geolistrik

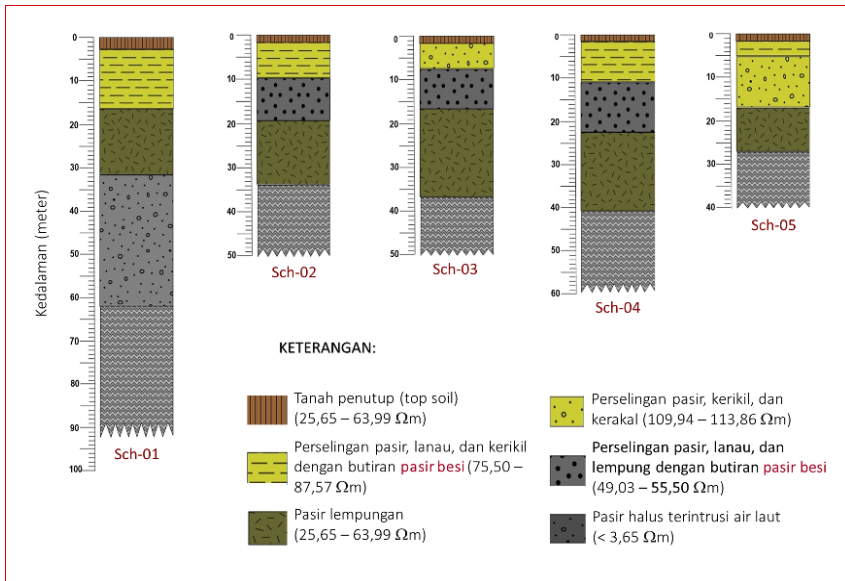
Survei geolistrik resistivitas digunakan untuk men-support hasil survei magnetik di kawasan prospek bijih besi Pesisir Binangun dan Nusawungu Kabupaten Cilacap. Mengingat hasil pemodelan data resistivitas tidak dalam, maka justifikasi yang dilakukan hanya terbatas pada lapisan batuan *alluvium*. Selain itu di dalam buku ini hanya disajikan tiga lokasi, yang meliputi Pesisir Binangun Barat, Pesisir Nusawungu Barat, dan Pesisir Nusawungu Timur. Akuisisi data geolistrik di daerah penelitian ini dilakukan di atas zona yang diestimasi berpotensi mengandung bijih besi berdasarkan peta kontur anomali magnetik lokal.

4.5.1. Kawasan Pesisir Binangun Barat

Berdasarkan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas di lima titik *sounding*, lapisan pasir besi yang berselingan dengan lanau dan lempung ditemukan pada titik Sch-2, Sch-3, dan Sch-4 pada kedalaman berkisar 7,48 – 22,20 meter dengan nilai resistivitas berkisar 49,03 – 55,50 Ωm . Berdasarkan hasil ini, kawasan di sekitar titik Sch-2 hingga Sch-4 diinterpretasi berpotensi besar mengandung pasir besi. *Plotting* titik-titik resistivitas pada peta kontur anomali magnetik lokal daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.16**. Adapun hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas ditunjukkan pada **Gambar 4.17** (Sehah dkk., 2017). Berdasarkan peta kontur anomali magnetik lokal daerah penelitian, *trend* anomali magnetik cenderung terkonsentrasi di bagian utara. Hasil survei geolistrik resistivitas menunjukkan bahwa potensi pasir besi di kawasan pesisir barat Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap diperkirakan cukup besar, sehingga prospek untuk ditambang terutama untuk memenuhi kebutuhan pasir besi lokal.



Gambar 4.16. Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Binangun Barat Kabupaten Cilacap dan *plotting* titik-titik *sounding* resistivitas (Sehah dkk., 2017).



Gambar 4.17. Log resistivitas batuan yang telah diinterpretasi secara litologi di kawasan Pesisir Binangun Barat Kabupaten Cilacap (Sehah dkk., 2017).

Hasil pemodelan dan interpretasi pada lima titik *sounding*, lapisan pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung ditemukan pada titik *sounding* Sch-02, Sch-03, Sch-04 pada kedalaman rata-rata 7,48 – 22,20 meter dengan resistivitas berkisar 49,03 – 55,50 Ωm. Oleh karena itu, area yang terletak di titik *sounding* Sch-02 hingga Sch-04 diestimasi

berpotensi besar mengandung pasir besi. Lapisan batuan yang prospek mengandung pasir besi berdasarkan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas adalah lapisan perselingan pasir, lanau, dan kerikil dengan butiran pasir besi serta lapisan perselingan pasir, lanau, dan lempung dengan butiran pasir besi. Hasil interpretasi secara lengkap untuk masing-masing titik *sounding* dapat dilihat pada **Tabel 4.14** hingga **Tabel 4.18**.

Tabel 4.14. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-01 Pesisir Binangun Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur: 109,271844° BT Lintang: 7,687275° LS	Lapisan 1	53,23	0 – 2,88	Tanah permukaan (<i>top soil</i>)
	Lapisan 2	84,07	2,88 – 16,76	Perselingan pasir, lanau, dan kerikil dengan butiran pasir besi
	Lapisan 3	11,73	16,76 – 31,79	Pasir lempungan
	Lapisan 4	3,65	31,79 – 61,93	Pasir halus (terintrusi air laut)
	Lapisan 5	1,43	> 61,93	Tidak diinterpretasi

Tabel 4.15. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-02 Pesisir Binangun Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur: 109,276906° BT Lintang: 7,687275° LS	Lapisan 1	44,51	0 – 1,52	Tanah permukaan (<i>top soil</i>)
	Lapisan 2	87,57	1,52 – 9,42	Perselingan pasir, lanau, dan kerikil dengan butiran pasir besi
	Lapisan 3	52,99	9,42 – 19,48	Perselingan pasir, lanau, dan lempung dengan pasir besi
	Lapisan 4	11,43	19,48 – 33,70	Pasir lempungan
	Lapisan 5	1,80	> 33,70	Tidak diinterpretasi

Tabel 4.16. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-03 Pesisir Binangun Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur : 109,282469° BT Lintang : 7,687269° LS	Lapisan 1	63,99	0 – 1,35	Tanah permukaan (<i>top soil</i>)
	Lapisan 2	113,86	1,35 – 7,48	Perselingan antara pasir, kerikil, dan kerakal
	Lapisan 3	55,50	7,48 – 16,10	Perselingan pasir, lanau, dan lempung dengan pasir besi
	Lapisan 4	21,67	16,10 – 36,52	Pasir lempungan
	Lapisan 5	3,80	> 36,52	Tidak diinterpretasi

Tabel 4.17. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-04 Pesisir Binangun Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur : 109,290344° BT	Lapisan 1	25,65	0 – 1,33	Tanah permukaan (<i>top soil</i>)
	Lapisan 2	75,50	1,33 – 10,56	Perselingan pasir, lanau, dan kerikil dengan butiran pasir besi
Lintang : 7,689886° LS	Lapisan 3	49,03	10,56 – 22,20	Perselingan pasir, lanau, dan lempung dengan pasir besi
	Lapisan 4	13,63	22,20 – 40,28	Pasir lempungan
	Lapisan 5	2,28	> 40,28	Tidak diinterpretasi

Tabel 4.18. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-05 Pesisir Binangun Barat

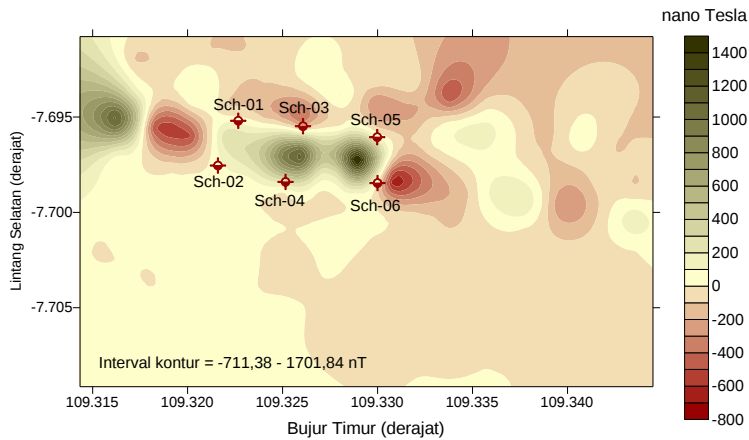
Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur : 109,293218° BT	Lapisan 1	44,10	0 – 1,50	Tanah permukaan (<i>top soil</i>)
	Lapisan 2	84,02	1,50 – 4,97	Perselingan pasir, lanau, dan kerikil dengan butiran pasir besi
Lintang : 7,688772° LS	Lapisan 3	109,94	4,97 – 16,59	Perselingan antara pasir, kerikil, dan kerakal
	Lapisan 4	12,59	16,59 – 26,75	Pasir lempungan
	Lapisan 5	1,30	> 26,75	Tidak diinterpretasi

4.5.2. Kawasan Pesisir Nusawungu Barat

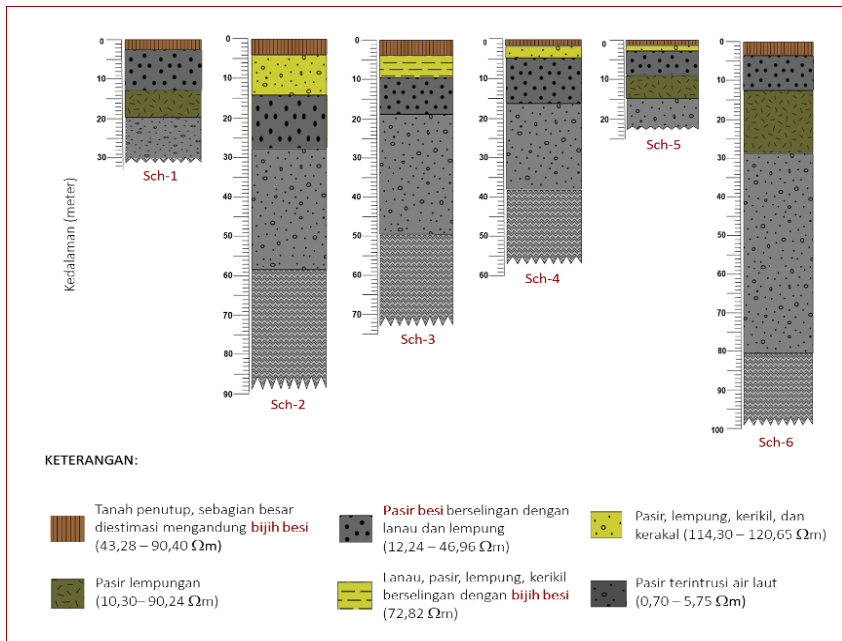
Berdasarkan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas di enam titik *sounding*, lapisan pasir besi yang ditemukan di seluruh titik dengan nilai resistivitas berkisar 12,24 – 46,96 Ωm dan kedalaman rata-rata 2,39 – 27,81 meter, dalam bentuk perselingan dengan lanau dan lempung. Di titik Sch-03 terdapat lapisan pasir, lanau, lempung, kerikil yang berselingan dengan bijih besi dengan nilai resistivitas 72,82 Ωm serta kedalaman 3,13 – 9,46 meter. Berdasarkan pengamatan langsung di lokasi penelitian pasir besi juga banyak ditemukan berserakan di atas tanah permukaan. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Hikmatyar (2016) menunjukkan bahwa pasir besi di kawasan pesisir ini tidak tersebar secara merata. Berdasarkan hasil analisis kimia pada sampel tanah yang dilakukan menggunakan bor dengan kedalaman 0,8 – 1,6 meter diperoleh kandungan besi (Fe) sebesar 9,56 %. Secara visual *plotting* titik-titik *sounding* resistivitas pada peta kontur anomali magnetik lokal dapat dilihat pada **Gambar 4.18**.

Hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas untuk kawasan Pesisir Nusawungu Barat ditunjukkan pada **Gambar 4.19**. Keberadaan pasir besi di kawasan pesisir ini diperkirakan tidak hanya terdapat pada lapisan pasir besi yang berselingan dengan lanau dan lempung, tetapi juga lapisan-lapisan tanah atau batuan lain yang berada di atasnya. Berdasarkan pengakuan masyarakat pesisir, bahwa mereka sering menjumpai endapan atau butiran-butiran pasir besi pada saat menggali sumur dengan kedalaman ± 5 meter. Hasil interpretasi secara lengkap

untuk masing-masing titik *sounding* dapat dilihat pada **Tabel 4.19** hingga **Tabel 4.24**. Berdasarkan tabel-tabel tersebut, lokasi yang diduga paling prospek mengandung pasir besi adalah titik *souding* Sch-03.



Gambar 4.18. Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap dan *plotting* titik-titik *sounding* resistivitas (Raharjo dan Sehad, 2018).



Gambar 4.19. Log resistivitas batuan yang telah diinterpretasi secara litologi di kawasan Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap (Raharjo dan Sehad, 2018).

Tabel 4.19. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-01 Pesisir Nusawungu Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur: 109,2718°BT Lintang: 7,6873°LS	Lapisan 1	54,28	0 – 2,39	Tanah permukaan diestimasi mengandung bijih besi
	Lapisan 2	35,35	2,39 – 9,47	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 3	64,78	9,47 – 12,69	Pasir besi berselingan dengan lanau, lempung, dan kerikil
	Lapisan 4	19,77	12,69 – 19,67	Pasir lempungan
	Lapisan 5	1,90	> 19,67	Pasir halus terintrusi air laut

Tabel 4.20. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-02 Pesisir Nusawungu Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur: 109,2769°BT Lintang: 7,6873°LS	Lapisan 1	63,01	0 – 3,89	Tanah permukaan diestimasi mengandung bijih besi
	Lapisan 2	120,65	3,89 – 14,08	Pasir, lempung, kerikil, dan kerakal
	Lapisan 3	4,46	14,08 – 27,81	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 4	2,65	27,81 – 58,16	Pasir halus terintrusi air laut
	Lapisan 5	1,41	> 58,16	

Tabel 4.21. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-03 Pesisir Nusawungu Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur: 109,2825°BT Lintang: 7,6873°LS	Lapisan 1	56,11	0 – 3,13	Tanah permukaan diestimasi mengandung bijih besi
	Lapisan 2	72,82	3,13 – 9,46	Pasir, lempung, kerikil, dan kerakal berselingan dengan bijih besi
	Lapisan 3	12,24	9,46 – 25,25	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 4	5,20	25,25 – 49,51	Pasir halus terintrusi air laut
	Lapisan 5	1,77	> 49,51	

Tabel 4.22. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-04 Pesisir Nusawungu Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur : 109,2903° BT Lintang : 7,6899° LS	Lapisan 1	90,40	0 – 1,35	Tanah permukaan
	Lapisan 2	114,30	1,35 – 4,28	Perselingan pasir, lempung, kerikil, dan kerakal
	Lapisan 3	25,86	4,28 – 15,97	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 4	4,04	15,97 – 37,98	Pasir halus terintrusi air laut
	Lapisan 5	0,83	> 37,98	

Tabel 4.23. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-05 Pesisir Nusawungu Barat

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur : 109,2903° BT Lintang : 7,6899° LS	Lapisan 1	43,28	0 – 1,68	Tanah permukaan diestimasi mengandung bijih besi
	Lapisan 2	116,99	1,68 – 2,60	Perselingan pasir, lempung, kerikil, dan kerakal
	Lapisan 3	25,55	2,60 – 8,39	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 4	90,24	8,39 – 14,86	Pasir lempungan
	Lapisan 5	0,70	> 14,86	Pasir halus terintrusi air laut

Tabel 4.24. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-06 Pesisir Nusawungu Barat.

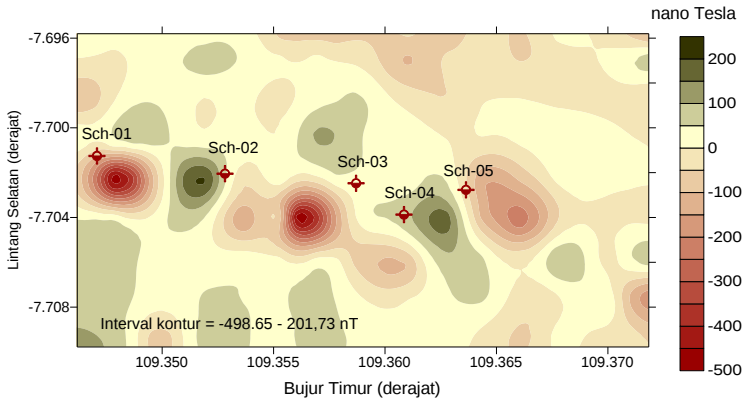
Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur : 109,2932° BT Lintang : 7,6888° LS	Lapisan 1	89,22	0 – 3,85	Tanah permukaan
	Lapisan 2	46,96	3,85 – 12,26	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 3	10,30	12,26 – 28,47	Pasir lempungan
	Lapisan 4	5,75	28,47 – 80,39	Pasir halus terintrusi air laut
	Lapisan 5	4,66	> 80,39	

4.5.3. Kawasan Pesisir Nusawungu Timur

Berdasarkan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas di lima titik *sounding*, diperoleh 4 – 5 lapisan batuan bawah permukaan di setiap titik. Pasir besi yang berselingan dengan lanau dan lempung diduga terdapat pada setiap titik *sounding* dengan nilai resistivitas 2,51 – 75,55 Ωm dan kedalaman 1,79 – 9,27 meter. Perselingan antara lanau, pasir, lempung, dan kerikil yang mengandung butiran bijih besi diestimasi terdapat di titik Sch-2 dengan nilai resistivitas 79,73 Ωm pada kedalaman 1,03 – 2,40 meter (Sehah *dkk.*, 2019). Kawasan pesisir Nusawungu timur ini merupakan daerah paling timur dari seluruh kawasan pesisir di Kabupaten Cilacap yang diestimasi masih prospek mengandung bijih besi. Secara visual *plotting* titik-titik *sounding* resistivitas pada peta kontur anomali magnetik lokal dapat dilihat pada **Gambar 4.20**. Adapun hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas batuan bawah permukaan ditunjukkan pada **Gambar 4.1**

Berdasarkan peta kontur anomali magnetik lokal yang didukung hasil survei geolistrik di kawasan Pesisir Nusawungu Timur, diinterpretasi bahwa potensi bijih besi di kawasan pesisir ini relatif kecil dibandingkan kawasan pesisir Nusawungu barat dan pesisir lain di Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap. Selain itu, kawasan pesisir ini memiliki potensi besar terintrusi oleh air asin, kecuali pada titik *sounding* Sch-01. Gejala intrusi air laut disinyalir terjadi di sebagian Pesisir

Nusawungu Timur. Kawasan ini memiliki tekstur batuan berupa batupasir sehingga air laut mudah merembes ke dalam lapisan akuifer, terutama akuifer dalam. Jika tekanan air pada akuifer dalam cukup besar, maka air dapat berinfiltrasi naik ke atas menuju akuifer dangkal yang menjadi sumber air bagi sumur. Di kawasan ini terdapat beberapa sumur gali yang terasa asin (Anonim, 2018). Hasil interpretasi secara lengkap masing-masing titik *sounding* dapat dilihat pada **Tabel 4.25** hingga **Tabel 4.29**.



Gambar 4.20. Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Timur Kabupaten Cilacap dan plotting titik-titik sounding resistivitas (Sehah dkk., 2019).



Gambar 4.21. Log resistivitas batuan yang telah diinterpretasi secara litologi di kawasan Pesisir Nusawungu Timur Kabupaten Cilacap (Sehah dkk., 2019).

Tabel 4.25. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-01 Pesisir Nusawungu Timur

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur: 109,347722°BT Lintang: 7,701611°LS	Lapisan 1	43,17	0 – 1,79	Tanah permukaan
	Lapisan 2	18,23	1,79 – 4,66	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 3	35,05	4,66 – 9,27	
	Lapisan 4	5,14	9,27 – 35,29	Pasir lempungan
	Lapisan 5	0,99	> 35,29	Pasir halus terintrusi air laut

Tabel 4.26. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-02 Pesisir Nusawungu Timur

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur: 109,352556°BT Lintang: 7,702000°LS	Lapisan 1	26,95	0 – 1,03	Tanah permukaan
	Lapisan 2	79,73	1,03 – 2,40	Pasir, lanau, lempung, dan kerikil berselingan bijih besi
	Lapisan 3	2,51	2,40 – 3,95	
	Lapisan 4	104,85	3,95 – 11,24	Batugamping bersisipan pasir
	Lapisan 5	1,76	> 11,24	Pasir halus terintrusi air laut

Tabel 4.27. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-03 Pesisir Nusawungu Timur

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur: 109,358917°BT Lintang: 7,702139°LS	Lapisan 1	65,30	0 – 1,19	Tanah permukaan
	Lapisan 2	192,54	1,19 – 2,54	Perselingan pasir, lempung, kerikil, dan kerakal
	Lapisan 3	16,63	2,54 – 5,78	Pasir besi berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 4	161,37	5,78 – 13,41	Batugamping bersisipan pasir
	Lapisan 5	3,20	> 13,41	Pasir halus terintrusi air laut

Tabel 4.28. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-04 Pesisir Nusawungu Timur

Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur : 109,360861° BT Lintang : 7,703917° LS	Lapisan 1	133,85	0 – 2,46	Tanah permukaan
	Lapisan 2	6,41	2,46 – 2,92	Pasir besi yang berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 3	509,84	2,92 – 5,02	
	Lapisan 4	249,50	5,02 – 9,47	Batugamping bersisipan dengan batupasir
	Lapisan 5	3,24	> 9,47	Pasir halus terintrusi air laut

Tabel 4.29. Hasil interpretasi litologi pada titik *sounding* Sch-05 Pesisir Nusawungu Timur

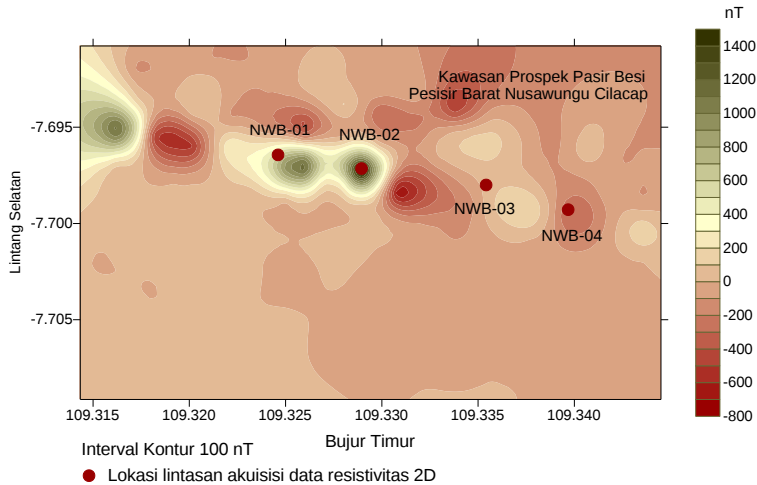
Posisi Titik <i>Sounding</i>	Lapisan Batuan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (meter)	Interpretasi Litologi
Bujur : 109,362750° BT Lintang : 7,703472° LS	Lapisan 1	344,14	0 – 2,77	Tanah permukaan
	Lapisan 2	133,94	2,77 – 4,02	
	Lapisan 3	75,55	4,02 – 5,58	Pasir besi yang berselingan dengan lanau dan lempung
	Lapisan 4	57,68	5,58 – 6,12	
	Lapisan 5	565,41	6,12 – 9,59	Batugamping bersisipan dengan batupasir
	Lapisan 6	2,34	> 9,59	Pasir halus terintrusi air laut

4.6. Pembahasan dan Rekomendasi Hasil Penelitian

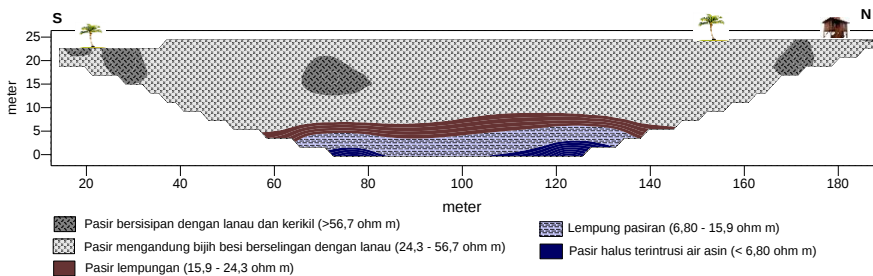
Berdasarkan hasil-hasil survei magnetik untuk eksplorasi pasir besi di kawasan Pesisir Binangun dan Nusawungu Kabupaten Cilacap Jawa Tengah, diketahui bahwa kawasan ini masih prospek mengandung bijih besi. Lapisan pasir besi yang berselingan dengan lanau dan lempung banyak ditemukan di dalam endapan *alluvium*. Interpretasi kualitatif terhadap peta kontur anomali magnetik lokal berhasil memetakan sebaran pasir besi untuk masing-masing kawasan pesisir. Hasil interpretasi kualitatif ini juga sesuai dengan hasil-hasil pemodelan dan interpretasi kuantitatif terhadap data anomali magnetik lokal. Berdasarkan hasil-hasil ini, kawasan Pesisir Nusawungu Barat diinterpretasi sebagai kawasan paling prospek mengandung bijih besi, sedangkan kawasan Pesisir Nusawungu Timur diinterpretasi paling tidak prospek. Hasil-hasil ini juga didukung hasil akuisisi data resistivitas 2D di atas empat lintasan yang diletakkan di kawasan prospek bijih besi berdasarkan peta anomali magnetik lokal di Pesisir Nusawungu Barat (Sehah *et.al.*, 2017). Posisi masing-masing lintasan pengukuran di atas peta kontur anomali magnetik lokal ditunjukkan pada **Gambar 4.22**. Adapun profil litologi hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D ditunjukkan pada **Gambar 4.23** hingga **Gambar 4.26**.

Profil litologi menunjukkan bahwa kawasan Pesisir Nusawungu Timur didominasi oleh pasir yang mengandung butiran bijih besi yang berselingan dengan lanau, dengan nilai resistivitas berkisar 21,70 – 56,7 Ωm . Kawasan ini merupakan daerah prospek bijih besi yang berpotensi untuk dieksplorasi. Tetapi lapisan pasir besi juga berfungsi sebagai akuifer yang menjadi sumber air tawar (*freshwater*) bagi sumur dangkal di kawasan pesisir ini. Menurut penjelasan warga, keberadaan butiran pasir besi banyak teramati dengan jelas pada saat mereka menggali sumur dengan kedalaman sumur sekitar 5 meter (Sehah *dkk.*, 2018). Profil litologi yang diperoleh juga menunjukkan bahwa lapisan tanah permukaan yang merupakan lapisan akuifer dengan potensi air tanah yang baik memiliki kedalaman berkisar 15 – 20 meter dari permukaan

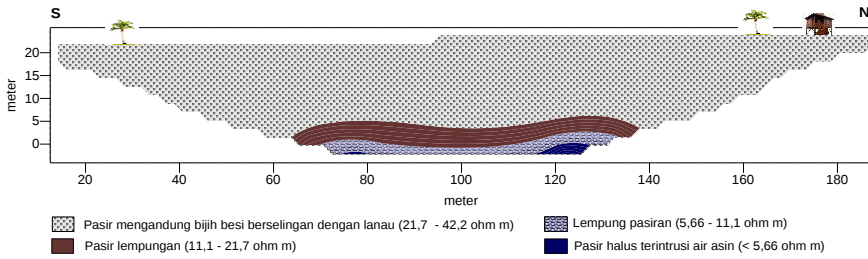
(Sehah dkk., 2018). Kegiatan penambangan pasir besi yang dilakukan secara besar-besaran di kawasan pesisir tanpa mempertimbangkan faktor konservasi lingkungan, dikhawatirkan akan merusak akuifer pantai. Material pasir yang berfungsi sebagai media utama akuifer menjadi berkurang, sehingga fungsi akuifer dalam menyimpan air tanah di kawasan pesisir menjadi menurun.



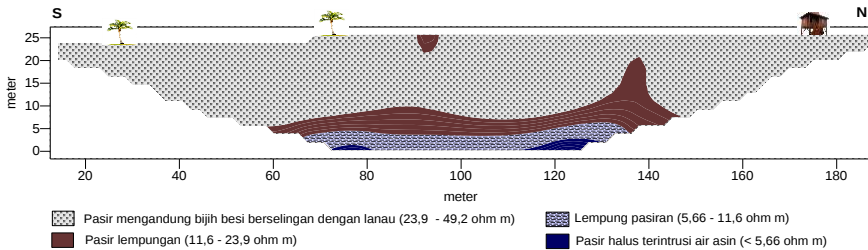
Gambar 4.22. Peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat Kabupaten Cilacap dan *plotting* lintasan akuisisi data resistivitas 2D (Sehah dkk., 2019).



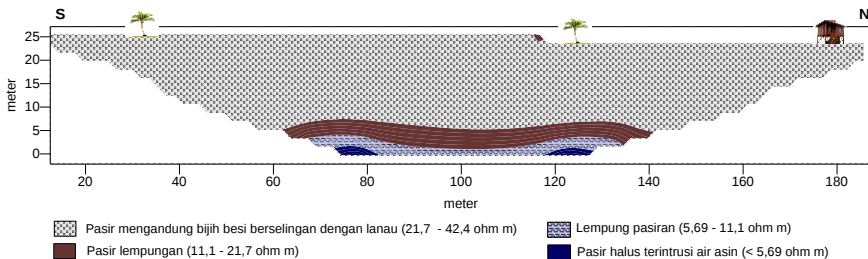
Gambar 4.23. Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-01 (Sehah dkk., 2019).



Gambar 4.24. Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-02 (Sehah *dkk.*, 2019).



Gambar 4.25. Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-03 (Sehah *dkk.*, 2019).



Gambar 4.26. Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-04 (Sehah *dkk.*, 2019).

Menurut penjelasan masyarakat, bahwa kawasan pesisir Binangun dan Nusawungu belum pernah mengalami kekeringan meskipun pada saat musim kemarau panjang. Namun kasus kekeringan sudah dialami oleh masyarakat kawasan Pesisir Desa Widarapayung Kulon Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap yang diduga akibat penambangan pasir besi di sepanjang pesisir desa tersebut. Dampaknya adalah debit air sumur menjadi menurun. Kendati telah memasuki musim hujan, debit air sumur ternyata masih tetap kecil (Rakyat Merdeka Online, 2011). Eksploitasi pasir besi juga berpotensi meninggalkan dampak negatif lain seperti penurunan permukaan tanah akibat berkurangnya batuan dan endapan

material *alluvium* yang mengandung bijih besi. Padahal lapisan batuan tersebut berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) di kawasan pesisir dari ancaman gelombang laut (Sehah dkk., 2016). Pada saat ini proses abrasi endapan *alluvium* telah terjadi di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu seperti terlihat pada **Gambar 4.27**.

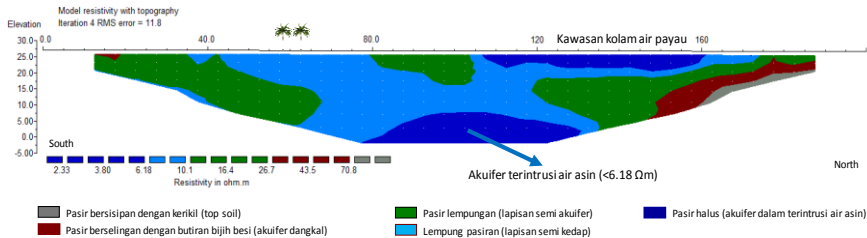


Gambar 4.27. Peristiwa abrasi endapan *alluvium* di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat (sumber: dokumentasi pribadi).

Dampak negatif lain akibat eksploitasi pasir besi adalah intrusi air laut ke dalam akuifer air tanah. Pada saat batuan dan material pasir dieksploitasi, air laut yang memiliki massa jenis (*density*) lebih besar menjadi lebih mudah mendesak air tanah. Sebenarnya secara alami, air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan sebab air tanah telah dilengkapi sifat *piezometric* untuk bertahan terhadap gaya tekan dari air laut, sehingga terbentuk zona *interface* sebagai daerah batas antara air tanah dan air laut. Keadaan tersebut sebagai kondisi seimbang antara air laut dan air tanah. Jika keseimbangan terganggu akibat aktivitas eksploitasi pasir besi, hal ini berpotensi memicu terjadinya intrusi air laut (Hendrayana, 2002). Akibatnya akuifer pantai yang menjadi sumber air tawar (*freshwater*) bagi masyarakat menjadi tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

Indikasi intrusi air laut ditunjukkan pada profil litologi yang dihasilkan dari pemodelan dan interpretasi data resistivitas di salah satu lokasi kawasan Pesisir Nusawungu Timur Kabupaten Cilacap, seperti terlihat pada **Gambar 4.28**. Pemodelan data resistivitas, menghasilkan profil litologi batuan bawah permukaan dengan nilai resistivitas berkisar 2,33 – 70,8 Ωm dan kedalaman sekitar 27,5 meter. Pasir halus dengan nilai resistivitas kurang dari 6,18 Ωm ditemukan di bagian bawah (kedalaman sekitar 17,5 meter). Lapisan batuan ini diperkirakan terintrusi air asin mengingat nilai resistivitasnya sangat kecil. Zona yang terintrusi air asin juga relatif luas. Intrusi ini diperkirakan berasal dari air laut yang terletak di sebelah selatan Pesisir Nusawungu Timur dan masuk ke lapisan akuifer melalui *interface area* antara air tawar dan air asin.

Potensi intrusi air laut di kawasan pesisir ini diperkuat dengan jenis batuan lempung pasir yang tidak sepenuhnya bersifat *impermeable*, sehingga air asin masih dapat menembus menuju ke akuifer dangkal.



Gambar 4.28. Profil litologi batuan bawah permukaan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas 2D di kawasan Pesisir Nusawungu Timur dengan posisi (7,70939°LS dan 109,35582°BT) (Sehah dkk., 2018).

Dalam keadaan alami air tanah tawar (*freshwater*) mengalir ke lautan melalui akuifer pantai yang berhubungan langsung dengan laut pada kawasan pantai yang menjorok ke laut. Namun akibat rusaknya lapisan akuifer pantai, aliran air tanah tawar ke laut menjadi menurun. Bahkan terjadi sebaliknya, air laut mengalir masuk ke dalam sumur-sumur kawasan pesisir, sehingga terjadi intrusi. Karena air laut memiliki kadar mineral terlarut lebih banyak, maka massa jenis air laut lebih tinggi daripada air tawar sehingga memiliki tekanan hidrostatik yang lebih tinggi dibandingkan air tawar. Tekanan hidrostatik ini mengacu pada tekanan cairan yang ditujukan pada kolom air; dimana kolom yang memiliki tekanan lebih besar akan mengalir menuju ke kolom air yang memiliki tekanan lebih rendah, jika kedua kolom terhubung.

Hasil penelitian survei magnetik ini menghasilkan rekomendasi kepada berbagai pihak, baik pemerintah maupun pemegang hak usaha pertambangan pasir besi. Penambangan pasir besi di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu perlu dibatasi terutama kedalaman. Pasir besi yang merupakan bagian dari akuifer dangkal tidak dieksploitasi habis, namun tetap dijaga agar fungsinya dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah di kawasan pesisir tidak terganggu. Penambangan pasir besi yang terlalu dalam juga berdampak membuka lapisan akuifer dalam yang diperkirakan asin (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2003), sehingga bisa menurunkan kualitas air tanah di kawasan pesisir. Apalagi umumnya letak akuifer dalam di kawasan pesisir tidak terlalu dalam, namun relatif dekat dengan akuifer dangkal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Survei magnetik untuk mengeksplorasi pasir besi di kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap telah dilaksanakan pada bulan Maret 2016 hingga Oktober 2017. Lokasi penelitian terdiri atas tiga kawasan di Pesisir Binangun dan dua kawasan di Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap. Hasil penelitian yang diperoleh adalah data anomali magnetik lokal di seluruh kawasan yang berkisar $-861,99 - 1961,62$ nT. Nilai anomali magnetik terendah terdapat di kawasan Pesisir Binangun Timur, sedangkan nilai anomali tertinggi terdapat di kawasan Pesisir Nusawungu Barat. Data anomali magnetik lokal di seluruh daerah penelitian diperoleh melalui beberapa tahap pengolahan data, meliputi beberapa koreksi dan reduksi terhadap data kuat medan magnetik total yang telah diperoleh dari akuisisi data di lapangan.

Pemetaan data anomali magnetik lokal telah menghasilkan peta kontur anomali magnetik lokal daerah penelitian. Peta ini merepresentasikan sebaran pasir besi di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap, karena anomali magnetik lokal berasosiasi secara langsung dengan kemagnetan mineral besi; mengingat pasir besi merupakan satu-satunya bijih logam yang terdapat di Pesisir Cilacap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir besi diinterpretasi tersebar di seluruh daerah penelitian, dengan potensi terbesar di kawasan Pesisir Nusawungu Barat dan potensi terkecil di kawasan Pesisir Nusawungu Timur. Potensi ini didasarkan atas interval nilai anomali magnetik lokal. Interval anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Nusawungu Barat berkisar $-711,38 - 1701,84$ nT, adapun kawasan Pesisir Nusawungu Timur berkisar $-498,66 - 201,73$ nT.

Pemodelan terhadap data anomali magnetik lokal telah menghasilkan beberapa benda anomali yang diinterpretasi sebagai batuan bawah permukaan di daerah penelitian. Berdasarkan hasil interpretasi terhadap model anomali yang diperoleh, endapan pasir besi ditemukan dalam formasi *alluvium* yang tersusun atas pasir, lanau, lempung, dan kerikil dengan kedalaman berkisar $1,140 - 67.806$ meter. Nilai suseptibilitas magnetik batuan yang mengandung pasir besi diestimasi berkisar $0,0051 - 0,0235$ cgs unit. Semakin besar nilai suseptibilitas magnetik, potensi keterdapatan pasir besi juga semakin besar. Batuan dengan nilai suseptibilitas magnetik terbesar diinterpretasi terdapat di kawasan Pesisir Nusawungu Barat, adapun batuan dengan nilai suseptibilitas terkecil diinterpretasi terdapat di kawasan Pesisir Binangun Timur.

Hasil survei magnetik diperkuat oleh hasil survei geolistrik resistivitas. Log resistivitas yang menggambarkan susunan litologi atau stratigrafi batuan bawah permukaan di berbagai titik lokasi telah diperoleh melalui pemodelan. Berdasarkan hasil interpretasi terhadap log resistivitas, selanjutnya diperoleh lapisan pasir besi yang berselingan dengan lanau dan lempung; dengan nilai resistivitas berkisar 2,51 – 64,78 Ωm dan kedalaman berkisar 2,39 – 25,25 meter. Semakin kecil nilai resistivitas batuan, potensi keterdapatan pasir besi semakin besar. Nilai resistivitas batuan terkecil ditemukan di kawasan Pesisir Nusawungu Barat sebesar 4,46 Ωm , adapun nilai resistivitas batuan terbesar ditemukan di kawasan Pesisir Nusawungu Timur sebesar 79,73 Ωm .

5.2. Saran-Saran

Lokasi penelitian survei magnetik perlu diperluas ke arah utara, karena banyak *closure* anomali magnetik lokal yang diperkirakan berasosiasi dengan mineral-mineral bijih besi tersebar di wilayah utara. Dengan demikian hasil pemetaan sebaran dan potensi pasir besi di Pesisir Kabupaten Cilacap bagian timur menjadi lebih baik. Untuk meningkatkan keakurasian hasil interpretasi secara kualitatif terhadap peta kontur anomali magnetik lokal, data anomali magnetik lokal ini perlu direduksi ke kutub (*reduction to the pole*) sehingga sebaran pasir besi bisa tergambar langsung di bawah *closure-closure* anomali magnetik. Selain itu filter-filter pengolahan data anomali magnetik juga perlu diterapkan untuk mereduksi *noise* yang berasal dari sumber-sumber magnetik lokal yang tidak menjadi target penelitian. Untuk menggambarkan lokasi dan kedalaman endapan pasir besi secara jelas, teknik *Induction Polarization* (IP) dapat diterapkan pada saat akuisisi data geolistrik resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner.

Eksplorasi pasir besi yang dilakukan di kawasan pesisir dapat memicu terjadinya abrasi, mengingat tidak terdapat formasi batuan keras yang berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap dari hantaman gelombang air laut. Selain itu eksploitasi pasir besi memicu terjadinya intrusi air asin (air laut) seperti yang terindikasi di kawasan Pesisir Nusawungu Timur. Oleh sebab itu, eksploitasi pasir besi di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu perlu dibatasi terutama luas area pertambangan dan kedalaman. Pasir besi yang merupakan bagian dari akuifer dangkal tidak dieksploitasi habis, namun tetap dijaga agar fungsinya dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah di kawasan pesisir tidak terganggu. Dengan demikian ketersediaan air tanah (*freshwater*) di kawasan pesisir tersebut tetap terjaga dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2015. *Pengertian GPS Cara Kerja GPS dan Fungsi GPS*. Website. Tersedia di: <https://www.mandalamaya.com/pengertian-gps-cara-kerja-gps-dan-fungsi-gps/>. Diakses 02 Oktober 2019.
- Asikin, Handoyo, dan Prastistho, 1992. *Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G). Bandung.
- Blakely, R.J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press. New York. USA.
- Burhani, R., 2007. *Cadangan Pasir Besi di Cilacap Menurun*. Website. Tersedia di: <https://www.antaranews.com/berita/72784/cadangan-pasir-besi-di-cilacap-menurun>. Diakses 27 September 2017.
- Clarke, R., 2008. *Magnetic Properties of Materials*. Website. Tersedia di: <http://info.ee.surrey.ac.uk/workshop/advice/coils/mu/#itns>. Diakses: 02 Oktober 2019.
- Collinson, D. W., 1983. *Methods in Rock Magnetism and Palaeomagnetism: Techniques and Instrumentations*. Chapman and Hall. New York.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2003. *Peta Potensi Indikasi Air Tanah dan Daerah Irigasi Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Grandis, H. and Sumintadireja, P., 2018. Ground Magnetic Survey for Shallow Iron Ore Prospecting. Minerals Exploration 2. *EAGE-HAGI 1st Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering*. 9 – 13 April 2018. Yogyakarta. Indonesia.
- Hendrayana, H. 2002. *Intrusi Air Asin ke dalam Akuifer di Daratan*. Geological Engineering Dept., Faculty of Engineering, Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- Herman, D.Z., 2005. Kegiatan Pemantauan dan Evaluasi Konservasi Sumberdaya Mineral Daerah Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah. *Kolokium Hasil Lapangan*. DIM. Vol. 48, No. 1 – 16.
- Hikmatyar, M.S., 2016. Geologi dan Karakteristik Pantai serta Kaitannya dengan Keterdapatan Pasir Besi di Pantai Selatan Cilacap Jawa Tengah. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto.
- Hilman, P.M. dan Tim Penyusun, 2014. *Pasir Besi di Indonesia; Geologi, Eksplorasi, dan Pemanfaatannya*. Pusat Sumberdaya Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM. Bandung.

- Hinze, W.J., R.R.B. Von Frese, and A.H. Saad, 2013. *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications*. Cambridge University Press.
- Jatmika, J., Widanarto, W., dan Effendi, M., 2014., Pengaruh Suhu Sintering terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Material Mn-Zn Ferit. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*, Yogyakarta, 26 April 2014.
- KADIN Bussines Center Cilacap, 2015. *Potensi Energi dan Sumberdaya Mineral*. Website Resmi. Tersedia di: <http://kadincilacap.or.id/tentang-cilacap/potensi/energi-sdm.html>. Diakses 09 November 2015.
- Macmillan, S. and Maus, S., 2005. International Geomagnetic Reference Field – The Tenth Generation. *Earth Planets Space*, 57(1) 1135 – 1140.
- Mariita, N.O., 2007. The Magnetic Method. *Presented at Short Course II on Surface Exploration for Geothermal Resources*. Organized by UNU-GTP and KenGen, at Lake Naivasha. Kenya. 2 – 17 November 2007.
- Wibowo, A.M., Seha, dan Sugito, 2019. Interpretasi Batuan Bawah Permukaan Prospek Bijih Besi di Kawasan Desa Pagubugan dan Desa Pagubugan Kulon Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap Berdasarkan Survei Magnetik. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 15(3): 91 – 98.
- Raharjo, S.A. dan Seha, 2018. Eksplorasi Potensi Pasir Besi di Pesisir Barat Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Resistivitas Batuan Bawah Permukaan. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 14(3): 51 – 58.
- Rakyat Merdeka Online, 2011. *Pasir Besi Ditambang, Krisis Air Tawar Mengancam*. Edisi Kamis 17 November 2011.
- Rivas J., 2009. Gravity And Magnetic Methods. *Paper*. Presented at Short Course on Surface Exploration for Geothermal Resources. Organized by UNU-GTP and LaGeo in Ahuachapan and Santa Tecla. El Salvador. 17 – 30 October 2009.
- Roy, K.K., 2007. *Potential Theory in Applied Geophysics*. Springer Science and Business Media.
- Seha, 2001. Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Batur Berdasarkan Data Anomali Medan Magnetik. *Tesis S-2*. Program Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Seha, S. A. Raharjo, and M. A. Kurniawan, 2016. Distribution of Iron Sand in the Widarapayung Coast Area at Regency of Cilacap Based on Magnetic Anomaly Data. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6(2): 97 – 106.

- Sehah, S.A. Raharjo, and I. Andriyanto, 2017. Exploration of Iron Sand at The Eastern Coastal of Binangun in Cilacap Regency Using Magnetic Survey. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 7(2): 71 – 81.
- Sehah dan S.A. Raharjo, 2017. Eksplorasi Geofisika Metode Magnetik dan Geolistrik untuk Menginvestigasi Potensi Bijih Besi dan Dampak Eksploitasinya di Kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap. *Laporan Akhir Penelitian Produk Terapan*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.
- Sehah, S.A. Raharjo, dan S. Muntiqoh, 2017. Pemetaan Sebaran dan Potensi Bijih Besi Berdasarkan Data Anomali Magnetik dan Data Resistivitas di Pesisir Timur Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap. *Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers*. “Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan VII”. 17-18 November 2017. Purwokerto.
- Sehah and Raharjo, S.A., 2017. Application Of Magnetic Survey To Explore The Iron Ore Deposits In The Nusawungu Coastal Regency Of Cilacap Central Java. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, 7(2): 79 – 88.
- Sehah, S.A. Raharjo, dan M. Vickramdani, 2018. Karakteristik Akuifer di Kawasan Prospek Bijih Besi Pesisir Desa Karangtawang Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Resistivitas 2D. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 16(3): 195 – 204.
- Sehah, Z. Irayani, dan S. Sewiji, 2018. Investigasi Intrusi Air Asin Berdasarkan Profil Resistivitas-2D di Kawasan Prospek Bijih Besi Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap Jawa Tengah. *Jurnal Fisika FLUX*, 15(2): 128 – 138.
- Sehah, S.A. Raharjo, A. Risya and S. A. F. Nisa, 2019. Pemetaan Anomali Magnetik dan Log Resistivitas Batuan di Pesisir Timur Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap. *Jurnal Risalah Fisika*, 3(2): 37 – 42.
- Suprianto, 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika. Fakultas MIPA. Universitas Indonesia
- Telford W.M., Gedaart L.P., Sheriff R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge. New York.
- Wibowo, A.M., Sehah, dan Sugito, 2019. Interpretasi Batuan Bawah Permukaan Prospek Bijih Besi di Kawasan Desa Pagubugan dan Desa Pagubugan Kulon Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap Berdasarkan Survei Magnetik. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 15(3): 91–98.

Yahya A., 2019. *Conversations with the Earth: Darimana Asal Pasir Besi*. Website. Tersedia di: <http://www.andyyahya.com/search?q=pasir+besi>. Diakses 02 Oktober 2019.

INDEKS

- Momen dipol, 9
Anomali magnetik lokal, 34
Resistivitas, 54
magnetik lokal, 48
Survei Geofisika, 1, 21, 44, 46,
48, 50, 52
Nusawungu, 3
Bijih besi, 4
Base station, 22
google earth, 39
data anomali observasi, 34
kontras suseptibilitas magnetik,
36
Binangun, 3
Pasir besi, 4, 13
Mineral magnetit, 39
Magnetometer, 17
Akuisisi data, 19
Sudut inklinasi, 44, 46, 48, 50,
52
Panjang *strike*, 44, 46, 48, 50,
52
potensi pasir besi, 41
Paleomagnetik, 12
Kemagnetan remanen, 12, 49
Penampang Resistivitas. *See*
Pemodelan, 34
interpretasi kualitatif, 63
Batuan granit, 4
Interpretasi, 36
Peta kontur, 39
closure anomali, 34
Pesisir, 1
Magnetisasi, 9
litologi, 34, 54
Endapan sedimen, 4
Kuat medan magnetik, 11
Survei magnetik, 2, 11, 17
Koreksi harian, 21
Nilai IGRF, 20
Akuifer pantai, 66
Potensial listrik, 8
Titik *sounding*, 60
Teorema Helmholtz, 9, 43
Endapan *alluvium*, 38
anomali magnetik regional, 33
Pengangkatan ke atas, 28
Specific gravity, 1
Hukum Lorentz, 7, 14
Data anomali perhitungan, 35
formasi batuan, 38
Reduksi bidang datar, 25
Ferromagnetik, 14, 66



BIODATA PENULIS

Sebah, lahir tanggal 06 Agustus 1971 di Kabupaten Rembang Jawa Tengah. Penulis pernah menempuh pendidikan di MI Annashriyyah, lulus tahun 1984; SMP Negeri 1 Lasem, lulus tahun 1987; dan SMA Negeri Lasem, lulus tahun 1990. Setelah SMA, penulis melanjutkan studi pada Program Studi S1 Fisika di Universitas Diponegoro Semarang, dan lulus tahun 1997. Selanjutnya penulis melanjutkan studi di Program Magister S2 Fisika dengan bidang konsentrasi Fisika Bumi di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, dan lulus tahun 2001. Saat ini penulis berprofesi sebagai pengajar pada Program Studi

S1 Fisika FMIPA Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto dengan beberapa matakuliah seperti: Listrik Magnet, Algoritma dan Pemrograman Komputer, Gravitasi dan Geomagnet, Seismologi, Eksplorasi Geotermal, Workshop Geofisika, Kapita Selekta Geofisika, dan sebagainya. Selain mengajar, penulis juga aktif melakukan penelitian di bidang Fisika Bumi, antara lain:

- Tahun 2016 : Interpretasi Model Struktur Batuan Bawah Permukaan di Kawasan Pantai Widarapayung Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Anomali Magnetik
- Tahun 2017-2018 : Eksplorasi Geofisika Metode Magnetik dan Geolistrik untuk Menginvestigasi Potensi Bijih Besi dan Dampak Eksploitasinya di Kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap (Studi Kasus: Kawasan Pesisir Kecamatan Binangun dan Kecamatan Nusawungu, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah)
- Tahun 2018 : Penggambaran *Pseudosection* Sistem Hidrogeologi Pantai Berdasarkan Survei Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner
- Tahun 2019 : Pemetaan Sebaran dan Potensi Batuan Andesit Berdasarkan Data Anomali Magnetik Lokal di Desa Candiwulan dan Karangcegak Kecamatan Kutasari Kabupaten Purbalingga Jawa Tengah

Informasi lebih lanjut dapat dihubungi melalui email: sebah.geophysics@gmail.com



UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
G.d. UNSOED Press
Jalan Prof. Dr. H.R. Boenyamin 708 Purwokerto
Kode Pos 53122 Kotak Pos 115
Telepon (0281) 626070
Email: unsoedpress@unsoed.ac.id

ISBN 978-623-7144-67-0



9 786237 144670