

**IDENTIFIKASI SEBARAN GAS BIOGENIK BERDASARKAN
ANALISIS DATA GEOMAGNETIK
(Studi Kasus Desa Batang-Batang Laok Kecamatan Batang-Batang
Kabupaten Sumenep)**

SKRIPSI

Oleh:
WINDA NUR AFNI
NIM.16640050



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**IDENTIFIKASI SEBARAN GAS BIOGENIK BERDASARKAN
ANALISIS DATA GEOMAGNETIK
(Studi Kasus Desa Batang-Batang Laok Kecamatan Batang-Batang
Kabupaten Sumenep)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**WINDA NUR AFNI
NIM.16640050**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

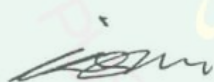
**IDENTIFIKASI SEBARAN GAS BIOGENIK BERDASARKAN
ANALISIS DATA GEOMAGNETIK
(Studi Kasus Desa Batang-Batang Laok Kecamatan Batang-Batang
Kabupaten Sumenep)**

SKRIPSI

Oleh:
Winda Nur Afni
NIM.16640050

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal: 19 November 2020

Pembimbing I



Irjan, M. Si

NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II



Ahmad Abtokhi, M. Pd

NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan



Abdul Basid, M. Si

NIP. 19650504 199003 1 003



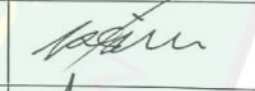
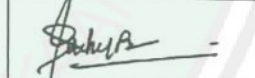
HALAMAN PENGESAHAN

**IDENTIFIKASI SEBARAN GAS BIOGENIK BERDASARKAN
ANALISIS DATA GEOMAGNETIK
(Studi Kasus Desa Batang-Batang Laok Kecamatan Batang-Batang
Kabupaten Sumenep)**

SKRIPSI

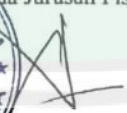
Oleh:
Winda Nur Afni
NIM. 16640050

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada tanggal: 21 Desember 2020

Penguji Utama	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	<u>Rusli, M.Si</u> NIDT. 19880715 20180201 1 245	
Sekretaris Penguji	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	



Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika


Abdul Basid, M. Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Winda Nur Afni

NIM : 16660050

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Identifikasi Sebaran Gas Biogenik Berdasarkan Analisis Data Geomagnetik (Studi Kasus Desa Batang-Batang laok Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dibuktikan skripsi ini hasil contekan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 05 November 2020

Yang membuat pernyataan:



Winda Nur Afni
NIM. 16640050

MOTTO

Pribadi yang kuat berasal dari tempaan yang kuat dan
Tidak ada berlian yang terbentuk tanpa adanya tekanan yang tinggi.

10 minutes of **doing** something is more valuable than 10 hours of **thinking** about
doing something.

Hadapi apa yang sekarang ada di depanmu, memikirkan masalah yang ada tidak
menjadikan solusi kecuali dengan bergerak. And do it enjoy. Setiap manusia
punya jalan, cobaan dan kenikmatan masing-masing. Jangan iri dan tetap
bersyukur.

Love your self

All is well, we have god.



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tuaku Bapak Jamain, S.Ag, M.Pd.I dan Ibu Tiyami, serta seluruh keluarga, terimakasih atas segala dukungan, doa dan motivasi sehingga mengantarkan saya mampu mendapatkan pendidikan hingga bangku perkuliahan. Terimakasih untuk segalanya kalian hebat.

.....

Kepada Cak Ri, Mas Rijal, Mas Anwar, Mas Hamdani, Mas Gun, Mas Rohmat, Mas Ryan, Mbak Kiki, Andika, Afin, Bagus, Rika, Amik, Ocha, Tiara, Nova serta teman-teman jurusan fisika terimakasih atas dukungan, bantuan motivasi dan semangat. Terimakasih pula saya ucapkan kepada teman-teman yang menghibur saya selama penulisan skripsi dan memberikan dukungan Ayu, Ijah, Chila, Cuke, Rinda, Finda, Ema, Putri, Ikak, Roni, Miftah, Abid. Saya memohon maaf bila saya ada salah laku maupun perbuatan.

.....

Tak lupa terimakasih kepada semua dosen Fisika yang telah memberikan, mengamalkan ilmu dan motivasi, serta pengalamannya selama perkuliahan.

.....

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Identifikasi Sebaran Gas Biogenik Berdasarkan Analisa Data Geomagnetik (Studi Kasus Desa Batang-Batang Laok Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)”. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang pencerahan dan penuh dengan ilmu pengetahuan yang luar biasa saat ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Khususnya penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang dengan sabar membimbing dengan teliti dan memberikan arahan untuk penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Bapak, Ibu, Adik dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
6. Sahabat-sahabat Fisika angkatan 2012, 2013, 2014, 2015 dan 2016 yang tiada henti memberikan bantuan, semangat dan dukungan dalam menyusun skripsi ini.
7. Serta terimakasih semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka dengan nikmat yang berlipat ganda baik di dunia maupun di akhirat kelak, aamiin. Penulisan berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca, dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 21 November 2020

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat	6
BAB II KAJIAN TEORI	
2.1 Minyak dan Gas	7
2.1.1 Gas Biogenik	8
2.1.2 Perangkap Reservoir	10
2.2 Prinsip Metode Geomagnetik	11
2.2.1 Medan Magnet Bumi	12
2.2.2 Medan Magnet Luar	13
2.2.3 Anomali Medan Magnet	14
2.3 Teori Dasar Kemagnetan	15
2.3.1 Gaya Magnetik	15
2.3.2 Kuat Medan Magnet	16
2.3.3 Induksi Magnetik	16
2.3.4 Momen Magnetik	17
2.3.5 Intensitas Kemagnetan	18
2.3.6 Suseptibilitas Kemagnetan	18
2.4 Koreksi Awal	20
2.4.1 Koreksi Harian	21
2.4.2 Koreksi IGRF (<i>Internasional Geomagnetics Reference Field</i>)	21
2.5 Transformasi	22
2.5.1 Reduksi Bidang Datar	22
2.5.2 Kontinuitasi ke Atas	23
2.5.3 Reduksi ke Kutub	24
2.6 <i>Proton Precision Magnetometer (PPM)</i>	25
2.7 Geologi Daerah Penelitian	26
2.7.1 Geografis Wilayah	26
2.7.2 Morfologi	28
2.7.3 Stratigrafi dan Struktur	29

BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2 Data Penelitian	32
3.3 Peralatan Penelitian	33
3.4 Akuisisi Data	33
3.5 Pengolahan Data	34
3.5.1 Koreksi Harian	35
3.5.2 Koreksi IGRF	35
3.5.3 Reduksi Bidang Datar	36
3.5.4 Kontinuasi ke Atas	37
3.5.5 Reduksi ke Kutub	37
3.6 Interpretasi Data	37
3.7 Diagram Alir	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Akuisisi Data	40
4.2 Pengolahan Data	41
4.2.1 Anomali Medan Magnet Total	41
4.3 Interpretasi Kualitatif	46
4.3.1 Reduksi Bidang Datar	46
4.3.2 Kontinuasi ke Atas	48
4.3.3 Reduksi ke Kutub	52
4.4 Interpretasi Kuantitatif	54
4.4.1 Penampang Sayatan A-A'	56
4.4.2 Penampang Sayatan B-B'	57
4.4.3 Penampang Sayatan C-C'	59
4.5 Model Penampang Tiga Dimensi (3D)	60
4.6 Gas Biogenik dalam Perspektif Al-Qur'an	62
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Perkembangan Hidrokarbon.....	9
Gambar 2.2	Elemen Medan Magnet Bumi	13
Gambar 2.3	Garis Gaya Magnet.....	15
Gambar 2.4	Kontinuasi ke Atas dari Permukaan Horizontal.....	23
Gambar 2.5	Implus Anomali Magnetik Sebelum dan Sesudah Reduksi	24
Gambar 2.6	Peta Geologi Daerah Penelitian.....	27
Gambar 2.7	<i>Slice</i> C-D Pada Daerah Penelitian	28
Gambar 2.8	Peta Sketsa Fisiografi Jawa Timur dan Madura.....	28
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian	32
Gambar 3.2	Website untuk Akses Nilai IGRF.....	36
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1	Tampilan Kalkulator dan Nilai IGRF.....	43
Gambar 4.2	Kontur Anomali Medan Magnet Total.....	44
Gambar 4.3	Kontur Topografi Beserta Titik Pengukuran.....	45
Gambar 4.4	Kontur Topografi Tiga Desember	45
Gambar 4.5	Kontur Hasil Reduksi Bidang Datar	48
Gambar 4.6	Kontur Anomali Regional	50
Gambar 4.7	Kontur Anomali Lokal	51
Gambar 4.8	Kontur Anomali Hasil Reduksi ke Kutub	52
Gambar 4.9	Sayatan pada Kontur Anomali Lokal	55
Gambar 4.10	Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan A-A'	57
Gambar 4.11	Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan B-B'	58
Gambar 4.12	Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan C-C'	60
Gambar 4.13	Model Tiga Dimensi Bawah Permukaan	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Batuan	18
Tabel 2.2 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian.....	30



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran I Data Hasil Penelitian
- Lampiran II Peta Geologi Daerah Penelitian
- Lampiran III Gambar Pengambilan Data
- Lampiran IV Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Afni, Winda Nur. 2020. **Identifikasi Sebaran Gas Biogenik Berdasarkan Analisis Data Geomagnetik** (*Studi Kasus Desa Batang-Batang Laok Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep*). Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Irjan, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci: Anomali Medan Magnet, Gas Biogenik, Suseptibilitas Batuan.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat magnetometer jenis *Proton Precession Magnetometer (PPM)* dengan tipe G-856. Luas daerah penelitian 700 meter x 700 meter dengan jarak antar titik pengukuran 50 meter. Interpretasi dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Untuk kualitatif dilakukan dengan bantuan *Software Surfer 13* dan *Software Magpick*. Sedangkan untuk interpretasi kuantitatif dilakukan dengan *Software Oasis Montaj*.

Hasil interpretasi kualitatif diperoleh peta kontur anomali lokal yang memiliki nilai variasi anomali antara -35 sampai dengan 40 nT. Berdasarkan nilai suseptibilitas batuan anomali magnetik rendah hingga sedang menunjukkan batuan sedimen yaitu batulempung yang mengandung gas biogenik. Persebaran gas biogenik berada di sebelah timur daerah penelitian. Berdasarkan hasil interpretasi kuantitatif daerah penelitian tersusun dari beberapa jenis batuan diantaranya yaitu batulempung dengan nilai suseptibilitas 0.0002 SI, napal dengan nilai suseptibilitas 0.018 SI, batugamping dengan nilai suseptibilitas 0,0003 SI dan batulempung yang diduga mengandung gas biogenik, dengan nilai suseptibilitas 0.0002 SI. Gas tersebut muncul di permukaan akibat adanya aktifitas pemboran sumur warga yang menembus ruang migrasi gas ke permukaan.

ABSTRACT

Afni, Winda Nur. 2020. **Identification of Biogenic Gas Distribution Based on Geomagnetic Data Analysis** (*Case Study Batang-Batang Laok Village Batang-Batang District Sumenep Regency*). Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Islamic State University of Maulana Malik Ibrahim Malang.
Supervisors: (I) Irjan, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Keywords: Magnetic Field Anomaly, Biogenic Gas, Rock Susceptibility.

Data were collected using a Proton Precession Magnetometer (PPM) type magnetometer with the G-856 type. The research area is 700 meters x 700 meters with a distance between measurement points of 50 meters. Interpretation is done qualitatively and quantitatively. Qualitative is done with the help of Software Surfer 13 and Software Magpick. Meanwhile, the quantitative interpretation is done with the Oasis Montaj Software.

The qualitative interpretation results obtained a local anomaly contour map that has anomaly variation values between -35 to 40 nT. Based on the susceptibility value of low to moderate magnetic anomaly, it shows sedimentary rock, namely claystone containing biogenic gas. The distribution of biogenic gas is in the east of the study area. Based on the results of the quantitative interpretation of the study area, it is composed of several types of rock, including claystone with a susceptibility value of 0.0002 SI, marl with a susceptibility value of 0.018 SI, limestone with a susceptibility value of 0.0003 SI and claystone which is thought to contain biogenic gas, with a susceptibility value of 0.0002 SI. The gas appears on the surface due to the activity of drilling community wells that penetrate the gas migration space to the surface.

نبذة مختصرة

أفي ، ويندا نور . ٢٠٢٠ . تحديد توزيع الغاز الحيوي بناءً على تحليل البيانات المغنطيسية الأرضية (دراسة حالة لقرية باتانج باتانج لاوك ، مقاطعة باتانج باتانج ، ريجنسي سومينيب). قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج

المستشارون: عرخان ، الما جستير . احمد ابطخي ، الماخستير

الكلمات المفتاحية: شذوذ المجال المغناطيسي ، الغاز الحيوي ، حساسية الصخور

تم جمع البيانات باستخدام نوع مقياس المغنطيسية Proton Precession Magnetometer (جزء في المليون) مع نوع g-856 منطقة البحث هي 700 متر × 700 متر مع مسافة بين نقاط القياس من 50 مترا. ويتم التفسير من الناحية النوعية والكمية. يتم ذلك النوعية مع مساعدة من متصفح البرمجيات والبرمجيات magpick. وفي الوقت نفسه، يتم التفسير الكمي مع برنامج الواحة.

نتائج التفسير النوعي حصل على خريطة كفاف الشذوذ المحلية التي لديها قيم التباين الشاذ بين -35 إلى 40 nT واستنادا إلى قيمة القابلية للحساسية من الشذوذ المغناطيسي المنخفض إلى المتوسط، فإنه يظهر الصخور الرسوبية، وهي حجر الطين التي تحتوي على الغاز الحيوي. توزيع الغاز الحيوي في الوسط، تتجه الشرق والشمال في منطقة الدراسة. استناداً إلى نتائج التفسير الكمي، يتكون مجال البحث من عدة أنواع من الصخور بما في ذلك التربة بقيمة قابلية الحساسية من SI0.0002 ، مارل مع قيمة قابلية SI0.018 ، الحجر الجيري مع قيمة القابلية للحساسية من SI 0.0003 وهايستون مع قيمة قابلية للحساسية من SI. 0.0002 ويعتقد أن الجسم الطيني تحتوي على الغاز الحيوي، وهذا الغاز يظهر على السطح بسبب أنشطة السكان، مما يترك مجالا للغاز للهروب إلى السطح.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi minyak bumi dan gas sebagai sumber energi utama yang memenuhi kebutuhan energi di sebagian negara terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Namun ketersediaan dan siklus pembentukannya yang relatif lama, serta kegiatan eksplorasi yang membutuhkan biaya yang sangat besar mengancam ketersediaan cadangan minyak bumi dan gas secara global. Berdasarkan data Pertamina tahun 2018, Indonesia dari tahun 1970 hingga 1990 tergabung dalam OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*) berstatus sebagai negara pengekspor minyak. Namun status itu berubah sejak tahun 2004 hingga sekarang, Indonesia berstatus sebagai negara pengimpor minyak dan gas, artinya Indonesia banyak mendatangkan minyak dari luar negeri untuk memenuhi kebutuhannya. Hal tersebut terjadi karena Indonesia masih mengandalkan lapangan minyak yang sudah tua rata-rata berproduksi lebih dari 30 tahun yang mana kapasitas produksi makin lama makin menipis. Oleh karena itu perlu dilakukan kegiatan eksplorasi guna menemukan sumber minyak dan gas baru atau sumber energi alternatif lainnya.

Sumber energi alternatif dibutuhkan dimasa yang akan datang. Sumber energi alternatif juga diharapkan dapat mendukung program *clean energy* yaitu program sumber energi yang memiliki tingkat emisi rendah dan ramah lingkungan, serta ketersediaannya yang mudah diperbarui (*renewable*). Salah satu sumber energi alternatif yang dimaksud adalah gas biogenik.

Gas Biogenik merupakan gas dangkal yang terbentuk pada zona *sub-surface* dangkal yang terjadi pada daerah cekungan, sama halnya dengan cekungan hidrokarbon. Gas biogenik dipengaruhi oleh metabolisme dari bakteri anaerob (Cokar, 2010). Proses pembentukan gas biogenik, merupakan hasil dekomposisi material organik oleh bakteri metanogenik pada suhu rendah yang sesuai dengan lingkungan pertumbuhan bakteri metanogenik. Umumnya gas biogenik terperangkap pada sedimen yang belum matang dan pada kedalaman yang dangkal dengan gradien geotermal rendah, termasuk gas biogenik yang terbentuk pada sedimen laut dengan lingkungan anaerob dan pada zona kandungan sulfat yang menurun (Rice & Claypool, 1981). Gas biogenik ditemukan pada kedalaman 10-20 meter relatif sedikit. Sedangkan pada kedalaman 20 - >40 meter kandungan gas biogenik dalam sedimen dasar laut relatif tinggi (Rahardiawan, 2003).

Komponen utama di dalam pembentukan gas biogenik meliputi material organik (moluska, tumbuh-tumbuhan) dan bakteri metanogenik sebagai katalisator. Gas metan biogenik akan terbentuk jika tersedia material organik yang cukup dan berada dalam lingkungan anaerobik (tidak ada oksigen) sehingga terjadi proses kimiawi reduksi. Media atau sedimen dengan porositas yang cukup merupakan salah satu lingkungan yang diperlukan oleh bakteri anaerob untuk bisa bebas berkembang seperti lanau atau pasir halus. Unsur karbon yang terlepas dari material organik dan hidrogen (H) yang berasal dari material organik, air tawar (H₂O) maka akan menghasilkan gas metan (CH₄) akibat aktivitas bakteri anaerob. Gas yang dihasilkan ini adalah gas metan biogenik (Hunt, 1996 dalam Zuraida, 2003).

Di pulau Madura pada beberapa waktu lalu terjadi semburan gas, salah satunya di Dusun Jendir Desa Batang-Batang Laok, Kecamatan Batang-Batang, Sumenep, Madura, Jawa Timur. Daerah Sumenep merupakan bagian dari Daerah Waru-Sumenep yang termasuk Lajur Rembang. Lajur ini merupakan punggungan yang terlipat dan membentuk antiklinorium yang memanjang pada arah barat-timur. Daerah ini pada umumnya termasuk perbukitan landai hingga pegunungan berlereng terjal (Situmorang, 1992). Pulau Madura juga termasuk bagian cekungan Jawa Timur Utara, secara geologi bagian selatan Madura berhubungan dengan aktivitas tektonik mulai Miosen hingga Holosen, yaitu dengan terjadinya pengangkatan dan penurunan berulang kali, yang mengakibatkan terbentuknya sejumlah formasi batuan terendapkan pada lingkungan laut dangkal (litoral-sublitoral) pada kurun yang berbeda. Morfologi dasar laut Selat Madura menunjukkan karakteristik cekungan berbentuk *enclosure* yang terekam pada kontur batimetri (Faturrachman, 2007).

Melihat fenomena yang terjadi serta keadaan geologi di daerah Sumenep perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan tujuan untuk mengeksplorasi lokasi semburan gas. Dari hasil eksplorasi nantinya dapat diketahui bagaimana struktur bawah permukaan dari lokasi semburan gas, serta dapat diperkirakan bagaimana sebaran batuan yang berpotensi mengandung gas di bawah permukaan. Kegiatan eksplorasi untuk menemukan sumber daya alam memang perlu dilakukan untuk menemukan sumber kehidupan yang telah dikaruniakan tuhan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Dimana sesuai firman Alloh dalam salah satu ayat dalam Al-Quran bahwa tuhan telah mengkaruniakan segala yang ada di bumi dan langit

untuk kehidupan manusia. Seperti yang tertulis Dalam Qur'an Surat Al-Baqoroh ayat 29 yang berbunyi:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ أَسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

Artinya : “Dia lah Alloh yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit dan Dia Maha mengetahui segala sesuatu” (Al Baqoroh: 29).

Ash-Shiddqie, 2000 menafsirkan ayat di atas bahwa Alloh telah menjadikan semua yang ada di bumi untuk manusia, dan dengan beragam cara manusia bisa mengambil kenikmatan tersebut untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Dari ayat di atas maka tersirat makna bahwa manusia harus berusaha untuk memenuhi kebutuhannya salah satunya yaitu dengan kegiatan eksplorasi minyak dan gas seperti pada penelitian ini.

Petunjuk lain untuk melakukan eksplorasi juga telah tersirat dalam ayat suci Al-Qur'an. Sebagaimana firman Allah dalam Surat Ar-Rahman ayat 33:

يٰۤمَعْشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنسِ إِنِ اسْتَعْظَمْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمٰوٰتِ وَالْأَرْضِ فَانفُذُوا لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطٰنٍ

Artinya : “Hai jama'ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka lintasilah, kamu tidak dapat menembusnya kecuali dengan kekuatan.” (Ar Rahman: 33).

Ayat di atas memberikan pemahaman bahwa sebagai hamba Allah, manusia telah diberikan kesempatan melakukan eksplorasi untuk mengetahui apa yang ada di langit maupun di bumi. Namun untuk dapat melakukan eksplorasi diperlukan kekuatan. Kekuatan yang di maksud disini dapat berupa ilmu pengetahuan yang memadai untuk bekal melakukan eksplorasi.

Salah satu metode eksplorasi yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan adalah metode geomagnetik. Metode geomagnetik

adalah salah satu metode geofisika pasif yang memanfaatkan sifat kemagnetan bumi, yang dapat digunakan untuk mengetahui kedalaman dan struktur bawah permukaan. Metode magnetik didasarkan pada perbedaan tingkat magnetisasi suatu batuan yang diinduksi oleh medan magnet bumi. Tingkat magnetisasi suatu batuan biasa dikenal dengan nilai suseptibilitas. Perbedaan nilai suseptibilitas terjadi sebagai akibat adanya perbedaan sifat kemagnetan suatu material batuan di dalam bumi. Berdasarkan nilai suseptibilitas batuan maka dapat diidentifikasi jenis batuan di bawah permukaan bumi. Sehingga dapat dilakukan pendugaan mengenai dimana daerah yang berpotensi mengandung gas biogenik.

Penelitian mengenai potensi gas biogenik di daerah Sumenep khususnya di Pantai Saronggi sebelumnya telah dilakukan oleh L. Arifin pada 2010, menggunakan metode geolistrik tahanan jenis. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil interpretasi bahwa gas biogenik terdapat pada kedalaman 26-65 meter di bawah permukaan. Berdasarkan analisis TOC (*Total Organic Carbon*) batuan lapisan lempung hitam diidentifikasi mengandung gas biogenik dengan kadar nilai TOC yang cukup tinggi, yaitu >2%.

Berkaitan dengan potensi gas di daerah Sumenep yang belum diketahui persebarannya, maka penelitian ini bermaksud mengidentifikasi sebaran batuan yang mengandung gas menggunakan metode geomagnetik. Hasil penelitian diharapkan dapat menentukan sebaran batuan yang berpotensi mengandung gas biogenik pada area penelitian. Melalui hasil analisis ini akan dilakukan studi lebih lanjut mengenai kemungkinan kandungan gas biogenik yang dapat berperan penting sebagai sumber energi alternatif pengganti minyak bumi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Dimana sebaran gas biogenik pada area penelitian berdasarkan interpretasi data magnetik?
2. Apa litologi di bawah permukaan pada area penelitian berdasarkan data magnetik?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui sebaran gas biogenik pada area penelitian menggunakan metode geomagnetik.
2. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan pada area penelitian menggunakan metode geomagnetik.

1.4 Batasan Masalah

1. Menggunakan alat magnetometer (*Proton Precision Magnetometer*).
2. Luasan area 700 meter x 700 meter, dengan area semburan gas di tengah.
3. Pengolahan data menggunakan *Software Surfer 13, Ms. Excel, Oasis Montaj, Magpick dan Matlab 2012*.

1.5 Manfaat

1. Menambah wawasan dan meningkatkan kemampuan dalam mengukur, mengolah dan interpretasi data geomagnetik.
2. Menjadi sumber informasi kepada pemangku kepentingan (*stakeholders*) mengenai persebaran gas biogenik pada daerah penelitian.

BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Minyak dan Gas

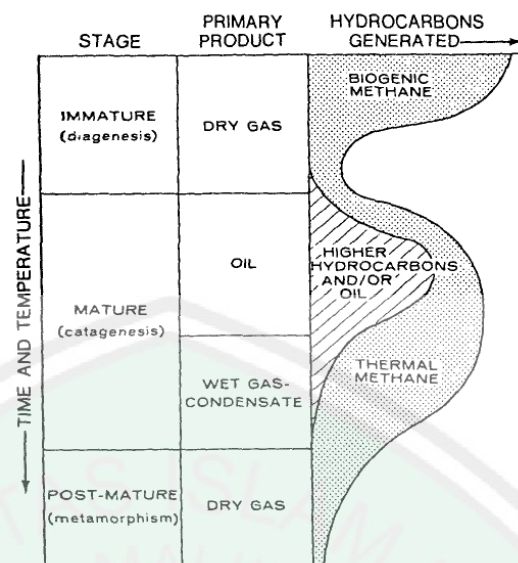
Hedberg, 1964 dalam Koesoemadinata, 1998 mendefinisikan senyawa hidrokarbon sebagai suatu campuran yang sangat kompleks terutama terdiri dari senyawa hidrokarbon yang terdapat di alam. Senyawa ini dapat berupa cairan (sebagai minyak mentah), gas (sebagai gas alam) atau padat (sebagai aspal). Secara umum terakumulasinya minyak dan gas bumi memiliki empat poin penting yaitu batuan induk (*source rock*), reservoir, jalur migrasi dan batuan penutup (*cap rock*).

Jutaan tahun yang lalu dalam lingkungan perairan bahan organik tertimbun di dasar laut, karena pengaruh tekanan dan perubahan suhu bahan-bahan tersebut terkonversi menjadi hidrokarbon. Minyak bumi dan gas terbentuk dari fosil-fosil hewan dan tumbuhan kecil yang hidup di laut dan tertimbun selama berjuta-juta tahun lampau. Ketika hewan dan tumbuhan laut mati, jasad mereka tertimbun oleh pasir dan lumpur di dasar laut. Setelah ribuan tahun tertimbun, akibat pengaruh tekanan dan suhu bumi yang tinggi, lapisan-lapisan lumpur dan pasir berubah menjadi batuan. Akibat tekanan dan panas bumi, fosil hewan dan tumbuhan yang terjebak di lapisan batuan secara perlahan berubah menjadi minyak mentah dan gas alam. Kedua bahan tersebut terperangkap diantara lapisan-lapisan batuan dan tidak dapat keluar. Batuan-batuan yang ada di dalam permukaan bumi memiliki jenis-jenis berbeda diantaranya terdapat batuan metamorf, sedimen dan beku. Batuan metamorf adalah batuan yang merupakan batuan alihan dari batuan sedimen ataupun beku akibat tekanan dan temperatur (Lutfia, 2012).

Gas alam adalah campuran dari berbagai gas, namun sebagian besar mengandung gas metan (CH_4) senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom C terkecil dan paling ringan. Gas alam dan gas bumi tampaknya adalah istilah yang sama namun bila dicermati terdapat perbedaan diantara keduanya. Gas alam merupakan gas yang keluar dari dalam tanah “murni” dalam bentuk fase gas. Gas itu dapat berasal dari batubara atau sisa-sisa organik. Sedangkan, gas bumi merupakan gas yang terdapat bersama-sama dengan minyak bumi, atau yang dominan terdapat gas dalam reservoir. Bila ditinjau cara terbentuk dan komposisi kimianya kedua gas tersebut tidak berbeda (Sukandarrumidi, 2013).

2.1.1 Gas Biogenik

Gas biogenik adalah salah satu jenis gas dangkal yang terperangkap pada lapisan sedimen laut berumur Holosen (<10.000 tahun yang lalu). Sumber gas ini berupa lapisan endapan yang mengandung fragmen organik yang kandungannya lebih dari 95% berupa gas metana dan sekitar 2% berupa gas karbondioksida dan nitrogen. Kemunculan gas biogenik ke permukaan dapat dipicu dari adanya rekahan-rekahan atau zona lemah yang ada di sekitarnya. Umumnya gas biogenik terperangkap pada sedimen yang belum matang (*immature*) dan pada kedalaman yang dangkal dengan gradien geotermal rendah, Kondisi-kondisi ini sangat spesifik sehingga gangguan sedikit terhadapnya akan berpengaruh terhadap pembentukan dan keberadaan gas biogenik (Rice & Claypool, 1981 dalam Arifin, 2010).



Gambar 2.1 Diagram Perkembangan Hidrokarbon (Rice D.D., 1981)

Ada dua komponen utama di dalam pembentukan gas metan biogenik yaitu: material organik (moluska, tumbuh-tumbuhan) dan bakteri metanogenik sebagai katalisator. Gas metan biogenik akan terbentuk jika tersedia material organik yang cukup dan berada dalam lingkungan anaerobik (tidak ada oksigen) sehingga terjadi proses kimiawi reduksi. Media atau sedimen dengan porositas yang cukup merupakan salah satu lingkungan yang diperlukan oleh bakteri anaerobik untuk bisa bebas berkembang seperti lanau atau pasir halus. Unsur karbon $C4^+$ yang terlepas dari material organik dan hydrogen (H^-) yang berasal dari material organik dan air tawar (H_2O) maka akan menghasilkan gas metana (CH_4) akibat aktivitas bakteri anaerobik. Gas yang dihasilkan dari reaksi ini yang dikenal dengan gas biogenik. Gas Biogenik adalah jenis gas alam atau gas rawa dengan gas metana merupakan komponen utama yang terbentuk secara alamiah dalam proses pembentukan metana oleh bakteri dengan menggunakan CO_2 & H_2 (Hunt, 1996 dalam Zuraida, 2003).

Kantong gas (*gas pockets*) umumnya terdapat pada kedalaman lebih dari sepuluh meter. Gas biasanya bermigrasi pada sedimen halus seperti lempung. Ciri-ciri indikasi keterdapatannya gas biogenik dari hasil interpretasi rekaman *strata box* adalah berupa kantong gas, *sediment cloud*, dan gundukan material sedimen dengan berbagai ukuran dan bentuk yang terdapat di dasar sungai (Astawa, 2016).

2.1.2 Perangkap Reservoir

Perangkap minyak dan gas merupakan tempat terkumpulnya minyak bumi yang berupa perangkap dan mempunyai bentuk konkav ke bawah sehingga minyak dan gas bumi dapat terjebak di dalamnya. Perangkap reservoir merupakan unsur paling penting dalam cara eksplorasi minyak dan gas bumi. Istilah perangkap atau jebakan (*trap*), mengandung arti seolah-olah minyak terjebak atau tersangkut dalam suatu keadaan sehingga tidak bisa lepas lagi (Koesoemadinata, 1998). Kehadiran minyak bumi tergantung pada cekungan dan sangat bergantung pada batuan sumber, perkembangan reservoir, jalur migrasi, pembentukan perangkap, dan keberadaan batuan penutup yang baik (Moehadi, 2011).

Pembentukan lapisan penyekat dan lapisan reservoir dapat terjadi secara struktur geologi, stratigrafi dan kombinasi. Perangkap struktur geologi adalah perangkap struktural, dimana perangkap ini banyak dipengaruhi oleh kejadian deformasi perlapisan dengan terbentuknya struktur lipatan dan patahan yang merupakan respon dari kejadian tektonik dan merupakan perangkap yang paling penting, pada bagian ini berbagai unsur perangkap yang membentuk lapisan penyekat sehingga lapisan reservoir dapat menangkap minyak atau gas,

disebabkan oleh gejala tektonik atau struktur seperti perlipatan dan patahan (Koesoemadinata, 1998).

Menurut Levorsen 1958 dalam Koesoemadinata 1998, perangkap stratigrafi adalah suatu istilah umum untuk perangkap yang terjadi karena berbagai variasi lateral dalam litologi suatu lapisan reservoir atau penghentian dalam kelanjutan penyaluran minyak dalam bumi. Prinsip perangkap stratigrafi adalah minyak dan gas bumi terjebak dalam perjalanannya keatas terhalang dari segala arah terutama dari bagian atas dan pinggir, karena batuan reservoir menghilang atau fasies menjadi batuan lain atau batuan yang karakteristik dari reservoir menghilang sehingga menjadi penghalang.

Menurut penelitian mengenai eksplorasi gas biogenik yang dilakukan di cekungan Qaidam (*Qaidam Basin*) China, Perangkap reservoir gas biogenik secara umumnya terkubur pada kedalaman kurang dari 1900 meter, terdapat pada batuan pasir (*sandstone*) tak terkonsolidasi dengan porositas rata-rata 24-40 %, dan diselingi dengan batulempung yang mengandung rata-rata 0,3% TOC (Dang, 2008).

2.2 Prinsip Metode Geomagnetik

Metode magnetik didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnet di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Variasi intensitas medan magnetik yang terukur kemudian ditafsirkan dalam bentuk distribusi bahan magnetik di bawah permukaan, yang kemudian dijadikan dasar bagi pendugaan keadaan geologi yang mungkin. Pada umumnya peta anomali medan magnetik bersifat agak kompleks, variasi medan lebih tak menentu dan terlokalisir sebagai akibat

dari medan magnetik dipole yang merupakan besaran vektor. Peta anomali magnetik menunjukkan sejumlah besar anomaly sisa (residu) yang merupakan hasil variasi mineral magnetik yang terkandung di dalam batuan dekat permukaan.

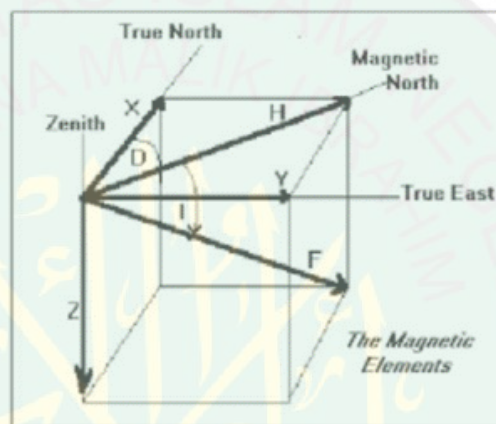
2.2.1 Medan Magnet Bumi

Bumi berlaku seperti sebuah magnet sferis dengan medan magnet yang mengelilinginya. Medan itu dihasilkan oleh suatu dipol magnet yang terletak pada pusat bumi. Beberapa teori menganggap inti bumi tersusun oleh besi dan nikel, dua materi yang dikenal sebagai konduktor yang sangat baik. Sumbu dipol ini bergeser sekitar 11° dari sumbu rotasi bumi yang berarti kutub utara geografis bumi tidak terletak pada tempat yang sama pada kutub selatan magnetik. Adapun penyusun inti bumi, sumber magnetik merupakan dinamo berkonduktivitas tinggi dan bergerak dengan mekanisme yang kompleks, seperti arus atau senyawa kimia dan variasi thermal beserta alirannya. Kombinasi gerak dan arus tersebut menyebabkan terjadinya medan magnet (Telford, 1990).

Medan magnet dinyatakan sebagai vektor yang memiliki besar dan arah. Komponen medan magnet bumi biasa disebut elemen medan magnet bumi yang dapat digambarkan dengan tiga komponen, yaitu komponen X (ke arah utara geografis), komponen magnet Y (ke arah timur) dan komponen Z (arah vertikal ke bawah). Apabila komponen X dan Y digabungkan akan diperoleh komponen intensitas medan magnetik (H) dengan $H = \sqrt{X^2 + Y^2}$ yang sejajar dengan arah jarum kompas. Dan apabila menambahkan komponen Z maka akan diperoleh komponen medan magnet total (F) dengan $F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$.

Adapun komponen medan magnet meliputi (Glabmeier, 2009 dalam Lubis dkk, 2018):

- a. Deklinasi (D), yaitu sudut yang dibentuk antara utara jarum kompas dengan utara geografis.
- b. Inklinasi (I), yaitu sudut yang dibentuk antara ujung jarum kompas dengan arah horizontal permukaan bumi..
- c. Intensitas Horizontal (H), yaitu besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.
- d. Medan magnetik total (F), yaitu besar dai vektor medan magnetik total.



Gambar 2.2 Elemen Medan Magnet Bumi
(Telford, 1990 dalam Lubis, 2018)

2.2.2 Medan Magnet Luar

Pengaruh medan magnet luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat. Beberapa sumber medan luar antara lain (Telford, 1990 dalam Wahyudi, 2001):

- a. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun.

- b. Variasi harian dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkauan 30 nT.
- c. Variasi harian 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai jangkauan 2 nT.
- d. Badai magnetik (*magnetic storm*) yang bersifat acak dan mempunyai jangkauan sampai 1000 nT.

2.2.3 Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet ini terjadi di dekat permukaan kerak bumi dan merupakan penyebab perubahan dalam medan magnet utama, yang mana anomali medan magnet jauh lebih kecil dari pada medan magnet utama serta relatif konstan terhadap waktu dan tempat. Perubahan ini dihubungkan dengan mineral magnetik dalam batuan-batuan dekat permukaan. Kadang-kadang anomali ini cukup besar dua kali lipat dari pada medan utama lokal (Telford, 1990).

Medan magnet anomali sering juga disebut medan magnet lokal (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti magnetit (Fe_7S_8), titanomagnetit (Fe_2TfO) dan lain-lain yang berada di kerak bumi. Dalam survei dengan metode geomagnetik yang menjadi target dari pengukuran adalah variasi medan magnetik yang terukur di permukaan (anomali magnetik). Secara garis besar anomali medan magnetik disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnetik induksi. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar terhadap magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetiknya serta berkaitan dengan peristiwa kemagnetan sebelumnya sehingga sangat rumit untuk diamati. Anomali yang

diperoleh dari survei merupakan hasil gabungan medan magnetik remanen dan induksi, bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar demikian pula sebaliknya. Dalam survei magnetik, efek medan remanen akan diabaikan apabila anomali medan magnetik kurang dari 25 % medan magnet utama bumi, sehingga dalam pengukuran medan magnet berlaku (Telford, 1990):

$$H_A = \bar{H}_{\text{Total}} - \bar{H}_M - \bar{H}_L \quad (2.1)$$

Dimana:

\bar{H}_T = medan magnetik total bumi

\bar{H}_M = medan magnet utama bumi

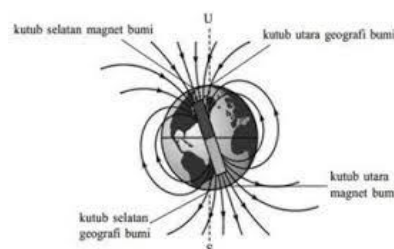
\bar{H}_L = medan magnet luar

\bar{H}_A = medan magnet anomali

2.3 Teori Dasar Kemagnetan

2.3.1 Gaya Magnetik

Gaya magnetik adalah satuan gaya tarik menarik atau tolak menolak antar dua kutub magnet pada jarak tertentu yang akan menimbulkan gari-garis gaya magnet. Garis-garis gaya magnet akan keluar dari kutub positif dan masuk pada kutub negatif, dalam kata lain keluar dari kutub utara magnet dan masuk ke kutub selatan.



Gambar 2.3 Garis Gaya Magnet (Sarkowi, 2010)

Dasar dari metode magnetik adalah Hukum Coulomb antara dua kutub magnet m_1 dan m_2 yang terpisah dengan jarak r yang memiliki muatan masing-masing, yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Telford, 1976):

$$\vec{F} = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (2.2)$$

Dimana F adalah gaya magnet yang ditimbulkan oleh dua kutub magnet yaitu m_1 dan m_2 , \vec{r} adalah vektor satuan. Konstanta μ_0 adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi dan berharga satu, yang besarnya dalam adalah $4\pi \times 10^{-7}$ newton /ampere² (Telford, 1976).

2.3.2 Kuat Medan Magnet

Medan magnet adalah suatu daerah yang dapat terdistribusi oleh gaya magnet. Kuat medan magnet (\vec{H}) didefinisikan sebagai gaya yang ditimbulkan oleh kutub magnetik (m) terhadap suatu titik yang berada pada medan magnet. Sehingga kuat medan magnet dihasilkan dari kutub magnetik terhadap titik tertentu dengan jarak (r). Secara matematis dapat dituliskan (Telford, 1976):

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m_2} = \frac{m_1}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (2.3)$$

2.3.3 Induksi Magnetik

Suatu bahan magnetik yang diletakkan dalam medan luar H akan menghasilkan medan tersendiri H' yang meningkatkan nilai total medan magnet bahan tersebut. Induksi magnetik yang didefinisikan sebagai medan magnet total bahan yang diletakkan pada suatu medan magnet eksternal ditulis sebagai (Wintolo, 2011):

$$\vec{B} = \vec{H} + \vec{H}' \quad (2.4)$$

Induksi magnetik dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Perdana dkk, 2016) :

$$\vec{B} = \vec{H} + \vec{H}' \quad (2.5)$$

$$\vec{B} = \vec{H} + 4 \pi I \quad (2.6)$$

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi k \vec{H} \quad (2.7)$$

$$\vec{B} = \vec{H} (1 + 4 \pi k) \quad (2.8)$$

$$\vec{B} = \vec{H} + \mu \quad (2.9)$$

satuan B dalam cgs adalah gauss, sedangkan dalam geofisika eksplorasi dipakai satuan gamma (g) dan dalam SI adalah tesla (T) atau nanoTesla (nT).

2.3.4 Momen Magnetik

Momen magnetik didefinisikan sebagai besaran vektor yang memanjang antara dua buah kutub magnet yaitu kutub positif (+ m) dan kutub negatif ($-m$) yang dipisahkan oleh jarak (l), yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Burger 1992 dalam Perdana, 2016):

$$\vec{M} = ml\hat{r} \quad (2.10)$$

dimana \vec{M} merupakan sebuah vektor pada arah vektor \hat{r} berarah dari kutub negatif menuju kutub positif. Arah momen magnetik dari atom-atom material yang bersifat non-magnetik adalah tidak beraturan, sehingga momen magnetik resultannya sama dengan nol. Sebaliknya, pada material yang bersifat magnetik, atom-atom materialnya teratur sehingga momen magnetik resultannya tidak sama dengan nol. \vec{M} sebagai momen magnetik dalam satuan SI adalah

amperemeter kuadrat ($A.m^2$), dan \hat{r} adalah jarak titik pengukuran terhadap kutub, dan l adalah jarak antar kuat kutub magnet (m).

2.3.5 Intensitas Kemagnetan

Benda magnet dapat dipandang sebagai sekumpulan dan sejumlah momen-momen magnetik. Intensitas kemagnetan didefinisikan sebagai tingkat kemampuan menyearahkan momen-momen magnetik dalam medan magnet luar. Intensitas kemagnetan dapat juga dinyatakan sebagai momen magnetik persatuan volume (Sarkowi, 2010).

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{V} \quad (2.11)$$

2.3.6 Suseptibilas Kemagnetan

Tingkat suatu benda magnetik untuk dapat termagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan (k) dan medan eksternal (\vec{H}), yang dituliskan sebagai berikut (Telford, 1990):

$$k = \frac{\vec{I}}{\vec{H}} \quad (2.12)$$

Besaran ini adalah parameter dasar yang dipergunakan dalam metode magnetik. Harga k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik.

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Batuan (Telford, 1990)

Type	Susceptibility $\times 10^{-3}$ (SI)	
	Range	Average
<i>Sedimentary</i>		
<i>Dolomite</i>	0-0.9	0.1
<i>Limestones</i>	0-3	0.3
<i>Sandstone</i>	0-20	0.4
<i>Shales</i>	0.01-15	0.6

<i>Av.48 sedimentary</i>	0-18	0.9
<i>Metamorphic</i>		
<i>Amphibolite</i>	0.3-3	0.7
<i>Schist</i>		1.4
<i>Phyllite</i>		1.5
<i>Gneiss</i>	0.1-25	
<i>Quartzite</i>		4
<i>Serpentine</i>	3-17	
<i>Slate</i>	0-35	6
<i>Av. 61 metamorphic</i>	0-70	4.2
<i>Igneous</i>		
<i>Granite</i>	0-50	2.5
<i>Rhyolite</i>	0.2-35	
<i>Dolorite</i>	1-35	17
<i>Augite-syenite</i>	30-40	
<i>Olivine-diabase</i>		25
<i>Diabase</i>	1-160	55
<i>Porphyry</i>	0.3-200	60
<i>Gobbro</i>	1-90	70
<i>Basalts</i>	0.2-35	70
<i>Diorite</i>	1-35	85
<i>Pyroxenite</i>		125
<i>Peridotite</i>	90-200	150
<i>Andesite</i>		160
<i>Av. Acidic igneous</i>	0-80	8
<i>Av. Basic igneous</i>	0.5-97	25
<i>Graphite</i>		0.1
<i>Coal</i>		0.02
<i>Clays</i>		0.2
<i>Magnetite</i>	1200-19200	6000

Setiap batuan yang terdiri dari bermacam-macam mineral, yang memiliki sifat magnetik dan suseptibilitas yang berbeda dan dikelompokkan pada beberapa bagian yaitu (Santoso, 2002):

a. Diamagnetik

Diamagnetik adalah bahan yang kulit elektronnya lengkap dan terisi oleh elektron yang berpasangan. Diamagnet memiliki nilai suseptibilitas $k < 0$ dalam satuan cgs. Contohnya adalah bismuth, gipsum, marmer, kuarsa, garam, seng dan emas.

b. Paramagnetik

Paramagnetik adalah bahan yang jumlah elektron pada kulit atomnya tidak lengkap (sebagian ada elektron yang tidak berpasangan). Tanpa pengaruh kuat medan magnet luar, momen magnet memiliki arah orientasi yang cukup acak. Paramagnet memiliki nilai suseptibilitas $0 < k < 10^{-6}$ dalam satuan cgs. Contohnya adalah pirite, dan hematit.

c. Ferromagnetik

Ferromagnetik adalah bahan yang sifat kemagnetannya dipengaruhi oleh temperatur, yaitu pada temperatur di atas temperatur curie akan kehilangan sifat kemagnetannya. Jika dimasukkan ke dalam medan magnet luar, magnetisasi bahan ini akan meningkat tajam. Ferromagnet memiliki nilai suseptibilitas $1 < k < 10^6$ dalam satuan cgs. Contohnya adalah besi, nikel, kobalt, dan baja.

2.4 Koreksi Awal

Untuk memperoleh nilai anomali medan magnetik yang diinginkan, maka dilakukan koreksi terhadap data medan magnetik total hasil pengukuran pada

setiap titik lokasi atau stasiun pengukuran, yang mencakup koreksi harian dan IGRF.

2.4.1 Koreksi Harian

Koreksi harian (*diurnal correction*) merupakan penyimpangan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Waktu yang dimaksudkan harus mengacu atau sesuai dengan waktu pengukuran data medan magnetik di setiap titik lokasi (stasiun pengukuran) yang akan dikoreksi. Untuk mendapatkan nilai variasi harian maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut (Glabmaier, 2009):

$$\Delta H_{\text{harian}} = \frac{t_n - t_a}{t_b - t_a} (H_b - H_a) \quad (2.13)$$

t_n : Waktu saat pengukuran (sekon)

t_a : Waktu saat pengukuran di base awal (s)

t_b : Waktu terukur di base akhir (s)

H_b : Nilai medan magnet total pada base akhir (nT)

H_a : Nilai medan magnet total pada base awal (nT)

2.4.2 Koreksi IGRF (*Internasional Geomagnetics Reference Field*)

Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Jika nilai medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi harian, maka kontribusi medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi IGRF. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan cara mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total yang telah terkoreksi harian pada setiap titik pengukuran pada posisi geografis yang sesuai. Nilai IGRF selalu diperbarui

setiap lima tahun sekali. Nilai IGRF tersebut diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar satu juta km yang dilakukan dalam waktu satu tahun. Adapun langkah pengolah data untuk mendapatkan nilai IGRF dapat diakses melalui website www.ngdc.noaa.gov/geomag-web.

2.5 Transformasi

2.5.1 Reduksi Bidang Datar

Untuk mempermudah proses pengolahan dan interpretasi data magnetik, maka data anomali medan magnetik total yang masih tersebar di topografi harus direduksi atau dibawa ke bidang datar. Proses transformasi ini mutlak dilakukan apabila data pengukuran berada pada topografi yang memiliki perbedaan ketinggian ekstrim, karena proses pengolahan data berikutnya mensyaratkan input anomali medan magnetik yang terdistribusi pada bidang datar. Beberapa teknik untuk mentransformasi data anomali medan magnetik ke bidang datar, antara lain: teknik sumber ekuivalen (*equivalent source*), lapisan ekuivalen (*equivalent layer*) dan pendekatan Deret Taylor (*Taylor series approximation*), dimana setiap teknik mempunyai kelebihan dan kekurangan (Blakely, 1995 dalam Santosa, 2002).

Deret Taylor merupakan fungsi turunan pada suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi ke sekitar titik tersebut sehingga Deret Taylor ini berfungsi untuk memprediksi nilai medan potensial pada titik di luar bidang observasi. Penerapan Deret Taylor ini sebagai suatu teknik dalam proses memodifikasi bentuk benda penyebab anomali magnetik, agar bisa diperoleh solusi dalam mengatasi permasalahan invers non linier dan dapat digunakan

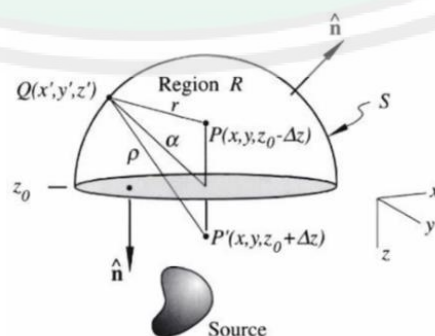
untuk memprediksi harga suatu medan potensial pada titik yang jauh dari permukaan lokasi observasi (Blakely, 1995).

2.5.2 Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas dilakukan dengan mentransformasikan medan potensial yang diukur pada permukaan tertentu menuju ke medan potensial pada permukaan lain yang jauh dari sumber. Transformasi ini mengurangi anomali sebagai fungsi panjang gelombang. Semakin pendek panjang gelombang maka semakin besar atenuasinya. Konsep dasar dari transformasi ini berasal dari identitas ketiga Teorema Green. Teorema ini menjelaskan bahwa apabila suatu fungsi U adalah harmonik, kontinu, dan mempunyai turunan yang kontinu di sepanjang daerah R , maka nilai pada suatu titik P di dalam daerah R dapat dinyatakan dengan persamaan (Blakely, 1995 dalam Darmawan, 2012):

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (2.14)$$

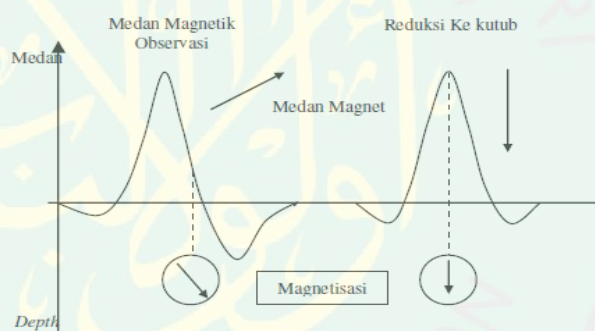
Dengan S menunjukkan permukaan daerah R , n menunjukkan arah normal keluar, dan r adalah jarak dari titik P ke suatu titik permukaan S pada persamaan (2.14) menjelaskan prinsip dasar dari kontinuasi ke atas, bahwa suatu medan potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan magnet pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut.



Gambar 2.4 Kontinuasi ke Atas dari Permukaan Horizontal (Blakely, 1995 dalam Darmawan, 2012)

2.5.3 Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub (*Reduction to Pole*) adalah suatu proses transformasi yang digunakan dalam proses interpretasi data magnetik. Fungsi dari proses transformasi ini adalah merubah sudut inklinasi ke arah vertikal, yang bertujuan untuk mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik (Blakely, 1995 dalam Hiskiawan, 2016). Transformasi ini dilakukan karena didasari adanya perbedaan nilai inklinasi dan deklinasi dari setiap daerah. Sehingga dengan proses transformasi ini dapat mengurangi salah satu tahapan rumit dari proses interpretasi data, dimana penentuan anomali magnetik memberikan informasi tentang posisi atau keberadaan dari benda magnetik.



Gambar 2.5 Implus Anomali Magnetik Sebelum dan Sesudah Reduksi (Blakely, 1995 dalam Darmawan dkk, 2012)

Proses transformasi reduksi ke kutub ini dilakukan dengan cara mengubah arah magnetisasi dan medan magnet utama ke arah vertikal, dimana sudut inklinasi benda akan diubah menjadi 90° dan sudut deklinasinya menjadi 0° . Hubungan antara medan potensial f dan distribusi sumber material s adalah (Blakely, 1995 dalam Darmawan dkk, 2012):

$$f(P) = \int_R s(Q) \psi(P, Q) dv \quad (2.16)$$

$f(P)$ adalah medan potensial atau anomali medan magnet total pada P , sedangkan $s(Q)$ adalah kuantitas fisis magnetisasi pada Q (distribusi sumber), dan $\psi(P, Q)$ suatu Teorema Green berupa anomali medan magnetik total dipole tunggal yang bergantung pada geometris tempat titik observasi P dan titik distribusi sumber Q .

2.6 *Proton Precision Magnetometer (PPM)*

Proton Precision Magnetometer (PPM) yang digunakan untuk mengukur nilai kuat medan magnetik total. Komponen sensor pada *Proton Precision Magnetometer* adalah tabung silinder yang berisi cairan penuh atom hidrogen yang dikelilingi oleh lilitan kabel. Cairan yang digunakan umumnya terdiri dari air, kerosin, dan alkohol. Sensor tersebut dihubungkan dengan kabel ke unit yang berisi sebuah *power supply*, sebuah saklar elektronik, sebuah amplifier, dan sebuah pencatat frekuensi.

Prinsip kerja *Proton Precision Magnetometer* adalah dengan proton yang ada pada semua atom berputar pada sumbu axis yang sejajar dengan medan magnet bumi. Setiap proton adalah massa yang berputar dan membawa muatan listrik positif. Putaran muatan partikel ini menghasilkan momen magnetik dan momen angular pada arah sumbu putarnya. Medan magnetik bumi akan menyearahan momen magnetik proton yang kemudian dilawan oleh momentum angular proton. Sebagai akibatnya, sumbu proton akan berpresisi di sekitar kerucut yang menunjukkan arah medan magnet bumi (Geofisika UGM, 2015).

Adapun cara kerja *Proton Precision Magnetometer* yaitu koil atau kumparan dihubungkan dengan sumber arus DC maka akan timbul kuat medan magnet dan mempolarisasikan proton pada arah koil. Pada saat arus diputus,

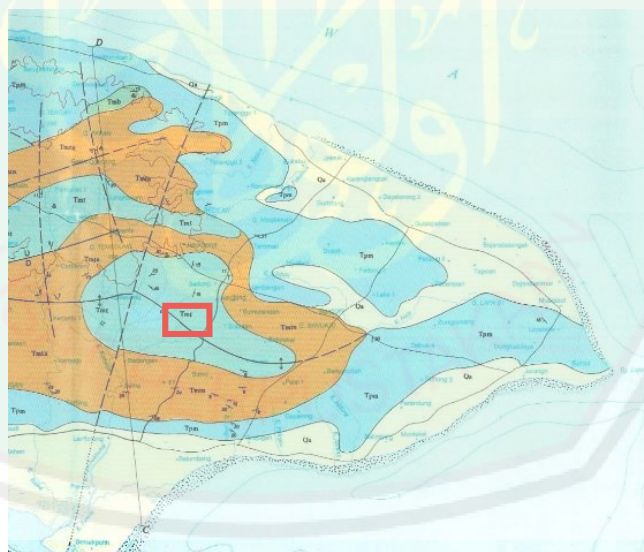
kumparan akan dihubungkan pada sirkuit penghitung frekuensi, sementara proton akan berpresisi pada arah medan magnet bumi. Gerakan momen magnetik proton akan menghasilkan medan magnet siklin yang menginduksi arus AC pada kumparan selama 2-3 detik sebelum proton berhenti berpresisi. Selama 2-3 detik tersebut, sirkuit penghitung frekuensi akan mengukur frekuensi presisi proton. Nilai frekuensi presisi proton ini dikonversi ke unit intensitas medan magnet dan ditransmisikan ke data logger yang dapat dibaca langsung (Geofisika UGM, 2015).

2.7 Geologi Daerah Penelitian

2.7.1 Geografis Wilayah

Daerah penelitian terletak di Dusun Jendir Desa Batang-batang Laok, Kecamatan Batang-batang, Sumenep, Madura, Jawa Timur. Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat $06^{\circ} 57' 44.69''$ LS dan $113^{\circ} 59' 18.83''$ BT. Daerah semburan gas terletak pada lahan milik warga yang semula akan dibuat sumur bor, namun ketika bor baru masuk menembus kedalaman 60 meter gas keluar dari sumur hingga memicu munculnya api. Pada bagian formasi yang lebih tua terjadi proses erosi dan terendapkan membentuk endapan aluvium yang tersusun oleh fraksi lepas berukuran lempung - kerakal dan terumbu koral hidup. Penampang cekungan Bawean–Madura menggambarkan stratigrafi daerah penelitian yang tercakup di dalamnya. Dari penampang ini terlihat adanya batuan dasar (*basement*) yang ekonomis, berumur Pra-Tersier (Pertamina, 1996). Struktur regional yang berpengaruh pada daerah penelitian dimulai pada kala Miosen Awal – Tengah di mana terjadi penurunan Pulau Madura dan pengendapan Formasi Tawun. Pada akhir Miosen Tengah, Pulau Madura

mengalami pengangkatan dan diendapkan Formasi Ngrayong pada lingkungan laut dangkal, diikuti oleh perlipatan yang berarah relatif barat-timur. Pada akhir pengendapan Formasi Ngrayong, Formasi Bulu dan Formasi Pasean, terjadi pengangkatan setempat. Kala Miosen Akhir – Pliosen, Pulau Madura mengalami penurunan dan genang laut pada lingkungan litoral – sublitoral mengakibatkan tumbuhnya terumbu koral. Pada Pliosen Akhir, seluruh Pulau Madura mengalami pengangkatan sampai di atas permukaan. Pada kala Pliosen ini, terjadi pengendapan Formasi Pamekasan berupa batulempung, batupasir, dan konglomerat dengan cangkang moluska yang melimpah. Pada kala Holosen – sekarang, Pulau Madura mengalami pengangkatan dan erosi sehingga terbentuk endapan aluvial dan terumbu koral di sepanjang pantai, terutama di selatan Pulau Madura.

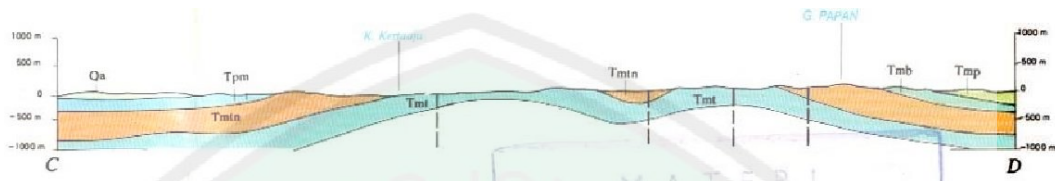


Gambar 2.6 Peta Geologi Daerah Penelitian (Situmorang, 1992)

Keterangan :

Tmt	Formasi Tawun : Batulempung, napal, batugamping lempungan dengan sisipan batu gamping orbitoid.
-----	---

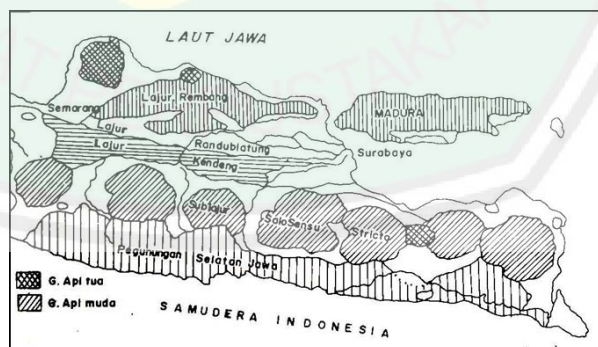
Berdasarkan peta geologi Lembar Waru - Sumenep daerah penelitian berada pada Formasi Tawun dengan kedalaman ± 500 meter di bawah permukaan. Hal itu dapat dilihat dari slice C-D yang melewati daerah penelitian yang secara rinci dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.7. Slice C-D Pada Daerah Penelitian

2.7.2 Morfologi

Menurut Bammalen 1949, Daerah Waru-Sumenep termasuk Lajur Rembang. Lajur ini merupakan punggung yang terlipat dan membentuk antiklonorium yang memanjang pada arah barat-timur, mulai dari Purwodadi (Jawa Tengah) menerus ke daerah Tuban-Surabaya (Jawa Timur) dan berakhir di daerah Madura sesuai gambar yang dipetakan (Gambar 2.7). Daerah ini pada umumnya termasuk perbukitan landai hingga pegunungan berlereng terjal. Mempunyai julang (ketinggian) dari 0-440 m di atas permukaan laut.



Gambar 2.8 Peta Sketsa Fisiografi Jawa Timur dan Madura (Bemmelen, 1949)

Berdasarkan bentang alamnya Madura dikelompokkan menjadi tiga satuan morfologi, yaitu dataran rendah, perbukitan dan kars. Morfologi bergelombang dengan ketinggian 0-200 m dpl menempati bagian utara, tengah dan selatan

memanjang dengan arah barat-timur, umumnya dibentuk oleh batuan sedimen yang terdiri dari batu lempung Formasi Tawun, batu pasir anggota Formasi Ngrayong dan batu gamping. (Sitomorang, dkk, 1992).

2.7.3 Stratigrafi dan Struktur

Lembar Waru-Sumenep, terdiri dari batuan sedimen Tersier dan Kuarter yang termasuk ke dalam Lajur Rembang. Penyebaran satuan batuan umumnya berarah barat-timur dan berfasies lempungan, pasiran dan gampingan. Batuan tertua di daerah ini adalah Formasi Tawun (Tmt), terdiri dari batulempung, napal dan batugamping orbitoid, berumur Miosen Awal-Miosen Tengah. Formasi Ngrayong (Tmtn) menindih selaras Formasi Tawun dan terdiri dari batupasir kuarsa berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, berumur Miosen Tengah. Formasi Ngrayong bertindih selaras oleh Formasi Bulu (Tmb) yang terdiri dari batugamping pelat dengan sisipan napal pasiran, berumur Miosen Tengah bagian atas. Formasi Pasean (Tmp) yang menindih selaras Formasi Bulu terdiri dari perselingan napal pasiran dan batugamping lempungan, berumur Miosen Akhir. Formasi Pasean tertindih tak selaras dan setempat selaras oleh Formasi Madura (Tmp) yang terdiri dari batugamping terumbu dan batugamping dolomitan, berumur Pliosen. Formasi Madura bertindih tak selaras oleh Formasi Pamekasan (Qpp) yang terdiri dari konglomerat, batupasir dan lempung, berumur Plistosen. Endapan paling muda adalah alluvium berumur Holosen.

Alluvium terdiri dari pasir kuarsa, lempung, lumpur, kerikil-kerikil; berupa endapan sungai, pantai dan rawa. Alluvium ini terhampar luas di daerah pesisir, seperti di daerah Pamekasan, Sumenep, Gapura dan Dungke. Di pantai utara

pulau Madura, alluvium berupa ongkongan-ongkongan pasir kuarsa hasil pengendapan oleh ombak dan angin dengan ketebalan 5 sampai 15 m.

Formasi Tawun terdiri dari batulempung, napal, batugamping lempungan dengan sisipan batugamping orbitoid. Lingkungan pengendapan formasi ini berada di lingkungan laut agak dangkal (zona sublittoral bagian dalam) dan tebal formasi ini lebih kurang 300 m. Sebaran Formasi Tawun terdapat di bagian tengah Lembar, memanjang dengan arah barat-timur, meliputi daerah Sumberwaru, Mandala, Batuputih dan Bandungan (Batang-batang) membentuk topografi perbukitan bergelombang.

Tabel 2.2 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian (Situmorang, dkk.1992)

UMUR	KALA	FORMASI	TEBAL (m)	LITOLOGI	PERIAN LITOLOGI	FOSIL						
HOLOSEN			5-15		Pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal dan batugamping koral							
PLISTOSEN		PAMEKASAN	50		Konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping							
PLIOSEN	MADURA		± 2,50		Batugamping terumbu, dolomitan terdiri dari batugamping kapuran, batugamping pasiran, batugamping halur dan batugamping oolit, setempat berlapis.	<i>Querculina</i> sp <i>Amphistegina</i> sp <i>Ephidium</i> sp <i>Pseudostella</i> sp <i>Ammonia</i> sp						
						PASEAN	± 6,00	Perselingan napal pasiran dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran dan batugamping oolit, berlapis baik, mengandung banyak foraminifera	<i>Lepidocyclina ruttieni</i> <i>Lepidocyclina</i> sp <i>Cyclocypus</i> sp <i>Querculina</i> sp <i>Globigerina acostaensis</i>			
									BULU	± 200	Batugamping pasiran dengan sisipan napal, putih-coklat, struktur pelat-pelat dan silang-siur berkembang baik, mengandung foraminifera besar dan foram kecil, moluska	<i>Lepidocyclina</i> sp <i>Cyclocypus</i> sp <i>Querculina</i> sp <i>Cyclocypus annulatus</i> <i>Lepidocyclina ruttieni</i>
												NGRAYONG
AWAL	TAWUN	± 300	Batulempung, napal, batugamping napal dan sisipan batugamping orbitoid	<i>Lepidocyclina</i> sp <i>Myogypina</i> sp <i>Cyclocypus</i> sp <i>Querculina</i> sp <i>Globigerinoides immatura</i>								

Adapun untuk struktur di daerah penelitian (Lembar Waru-Sumenep) merupakan bagian dari antiklinorium Rembang paling timur (Bemmelen, 1949). Struktur penting daerah ini adalah lipatan dan sesar. Struktur antiklin dan sinklin

berarah barat-timur, jurus sesar umumnya berarah baratdaya-timurlaut dan baratlaut-tenggara dan hanya beberapa yang berarah barat-timur.

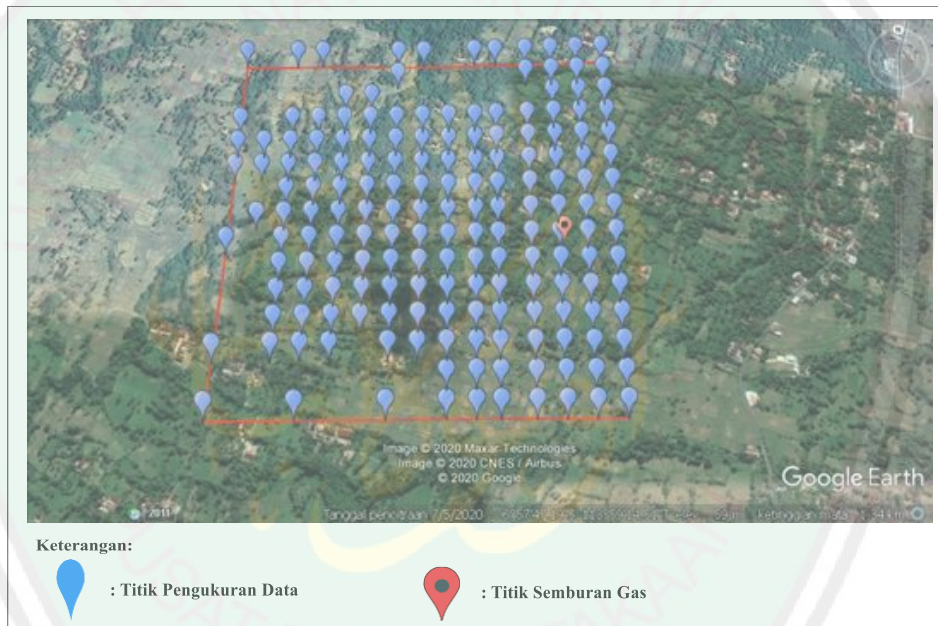
Struktur lipatan diantaranya: Antiklin Sumberwaru yang berada di bagian tengah Lembar dengan sumbunya berarah barat-timur sepanjang lebih kurang 34 km. Antiklin Tempajung ditemukan di utara Antiklin Sumberwaru yang sumbunya berarah barat-timur dengan panjang lebih kurang 22 km, sudut kemiringan lapisan batuan sayap utara dan sayap selatan hampir sama (10° – 20°), lipatan ini dapat digolongkan ke dalam lipatan lemah setangkup (simetris).



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 7-8 Maret 2020. Tempat penelitian terletak di Desa Batang-Batang Laok Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep yaitu di sekitar lokasi semburan gas. Pengolahan data bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Data Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Koordinat Lintang dan Bujur
2. Waktu pengambilan data (hari, jam, dan tanggal)
3. Ketinggian titik ukur
4. Intensitas medan magnet total

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- | | |
|---|--------|
| 1. Magnetometer | 1 buah |
| 2. GPS Garmin | 2 buah |
| 3. Peta geologi | 1 buah |
| 4. Penentu waktu (jam) | |
| 5. Alat tulis | |
| 6. <i>PC windows</i> | |
| 7. <i>Software (Magpick, Surfer, Matlab 2008, MS Excel, Geosoft Oasis Montaj)</i> | |

3.4 Akuisisi Data

Daerah penelitan berada pada koordinat $06^{\circ} 57' 34.98''$ LS - $06^{\circ} 57' 51.77''$ LS dan $113^{\circ} 59' 0.57''$ BT - $113^{\circ} 59' 17.20''$ BT. Pengukuran data magnetik dilakukan secara *closed loop*, yaitu suatu proses pengambilan data dimana pengambilan data awal dan data akhir dilakukan pada titik yang sama yang berada diluar daerah penelitian yang disebut dengan *base station*, sehingga koreksi harian dapat dilakukan terhadap data pengukuran yang didapatkan di lapangan.

Pengukuran data magnetik dilakukan dengan pola grid desain survei dibuat dengan menggunakan bantuan *Google Earth* dengan luasan area 700 meter x 700 meter dengan jarak antar spasi 50 meter. Sebelum melakukan akuisisi data, dilakukan survei lapangan guna mengetahui medan area penelitian. Setelah itu membuat marking koordinat pada target penelitian dengan bantuan *Google Earth*, sehingga dapat ditentukan lintasan pengukuran serta perkiraan sebaran titik-titik pengukuran. GPS digunakan untuk mengukur posisi titik pengukuran meliputi bujur, lintang, dan ketinggian. Dan melihat waktu saat pengambilan data pada

tiap-tiap titik pengukuran. Hasil dari pengukuran geomagnetik adalah berupa profil atau peta kontur magnetik. Pengambilan data, yaitu dengan melakukan kalibrasi alat dan menentukan titik acuan (*base station*) sebelum pengambilan data magnetik di titik-titik ukur lainnya. Lokasi titik acuan harus berupa titik atau tempat yang stabil atau mudah dijangkau. Penentuan titik acuan sangat penting, karena pengambilan data lapangan harus dilakukan secara *looping*, yaitu dimulai dari titik acuan yang telah ditentukan dan berakhir pada titik tersebut.

3.5 Pengolahan Data

Pengolahan data (*data processing*) adalah segala proses yang dilakukan terhadap data lapangan meliputi koreksi, transformasi, membuat kontur dan analisa. Dalam pengukuran di lapangan menggunakan metode geomagnetik akan mendapatkan medan magnet total bumi. Medan magnet total bumi merupakan gabungan dari tiga elemen yaitu medan medan magnet bumi yang dihasilkan oleh sifat-sifat elemen bumi (medan magnet utama), medan magnet yang dihasilkan oleh sumber medan magnet diatas permukaan bumi (medan magnet eksternal), dan medan magnet yang dihasilkan oleh ketidakhomogenan kerak bumi (anomali).

Data magnetik total hasil pengukuran di lapangan masih berbaur antara efek dari luar dan dari dalam sedangkan target survei adalah medan magnet yang berasal dari kerak bumi. Efek medan magnetik dari luar dihilangkan dengan koreksi harian (koreksi diurnal). Efek medan magnet utama dari data pengukuran dihilangkan dengan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*). Hasil koreksi IGRF berupa data anomali medan magnetik total pada topografi. Anomali medan magnet total kemudian dilakukan reduksi bidang datar dan

pengangkatan keatas (*upward continuation*) pada ketinggian tertentu untuk untuk memisahkan antara efek lokal dan efek regional, dan selanjutnya anomali magnet lokal direduksi ke kutub untuk memudahkan proses interpretasi. Data lapangan yang telah terkoreksi akan dibuat peta kontur daerah penelitian dengan bantuan *Software Surfer*.

3.5.1 Koreksi Harian

Koreksi harian perlu dilakukan karena adanya penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh perbedaan waktu pengukuran dan efek sinar matahari dalam satu hari. Koreksi harian dapat diperoleh dengan mengurangkan nilai intensitas magnet pada *base station* (interpolasi linier terhadap waktu), dengan rumusan sebagai berikut (Glabmeier, 2009):

$$\Delta H_{\text{harian}} = \frac{t_n - t_a}{t_b - t_a} (H_b - H_a) \quad (3.1)$$

Keterangan: t_n : Waktu saat pengukuran (sekon)

t_a : Waktu saat pengukuran di base awal (sekon)

t_b : Waktu terukur di base akhir (sekon)

H_b : Nilai medan magnet total pada base akhir (nT)

H_a : Nilai medan magnet total pada base awal (nT)

3.5.2 Koreksi IGRF

Koreksi IGRF dilakukan untuk menghilangkan kontribusi medan magnet utama pada hasil pengukuran di lapangan. Setelah mendapatkan nilai koreksi harian dan koreksi IGRF maka didapatkan nilai anomali medan magnet, yang secara matematis dapat ditulis (Sarkowi, 2010):

$$\Delta H = H_{\text{total}} - \Delta H_{\text{harian}} - H_{\text{IGRF}} \quad (3.2)$$

Adapun untuk mendapatkan nilai IGRF dapat diakses melalui website www.ngdc.noaa.gov/geomag-web dengan memasukkan nilai-nilai yang dibutuhkan pada kalkulator.

Gambar 3.2 Website untuk Akses Nilai IGRF
(www.ngdc.noaa.gov/geomag-web diakses pada 28 Januari 2020)

3.5.3 Reduksi Bidang Datar

Anomali medan magnet masih berada pada topografi yang tidak rata, sehingga data anomali masih perlu diproyeksikan kebidang datar dengan ketinggian yang sama. Suatu metode yang dapat dipergunakan untuk membawa data data medan potensial hasil observasi yang masih terdistribusi dibidang yang tidak horizontal kebidang horizontal adalah melalui pendekatan Deret Taylor yang diolah menggunakan *Software Matlab*.

Sebuah deret Taylor menggunakan turunan sebuah fungsi dihitung pada satu titik untuk mengekstrapolasi fungsi terhadap titik yang berdekatan. Deret Taylor diterapkan sebagai suatu teknik untuk memodifikasi bentuk benda penyebab anomali agar dapat memecahkan problem invers nonlinier. Deret Taylor juga dapat digunakan untuk memprediksi harga suatu medan potensial pada titik-titik yang jauh dari permukaan observasi.

3.5.4 Kontinuasi ke Atas

Pada pengolahan data magnetik proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan *Software Magpick*, transformasi ini berfungsi sebagai filter tapis rendah, yaitu untuk menghilangkan atau mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber yang tidak berkaitan dengan survei. Proses pengangkatan disarankan agar tidak terlalu tinggi karena dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei.

3.5.5 Reduksi ke Kutub

Reduksi ke Kutub atau *Reduction to Pole* merupakan transformasi yang digunakan dalam pengolahan data magnetik menggunakan *Software Magpick*. Adapun yang mendasari dilakukan transformasi ini adalah adanya perbedaan nilai inklinasi dan deklinasi pada setiap daerah, sehingga transformasi ini mencoba untuk mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik.

3.6 Interpretasi Data

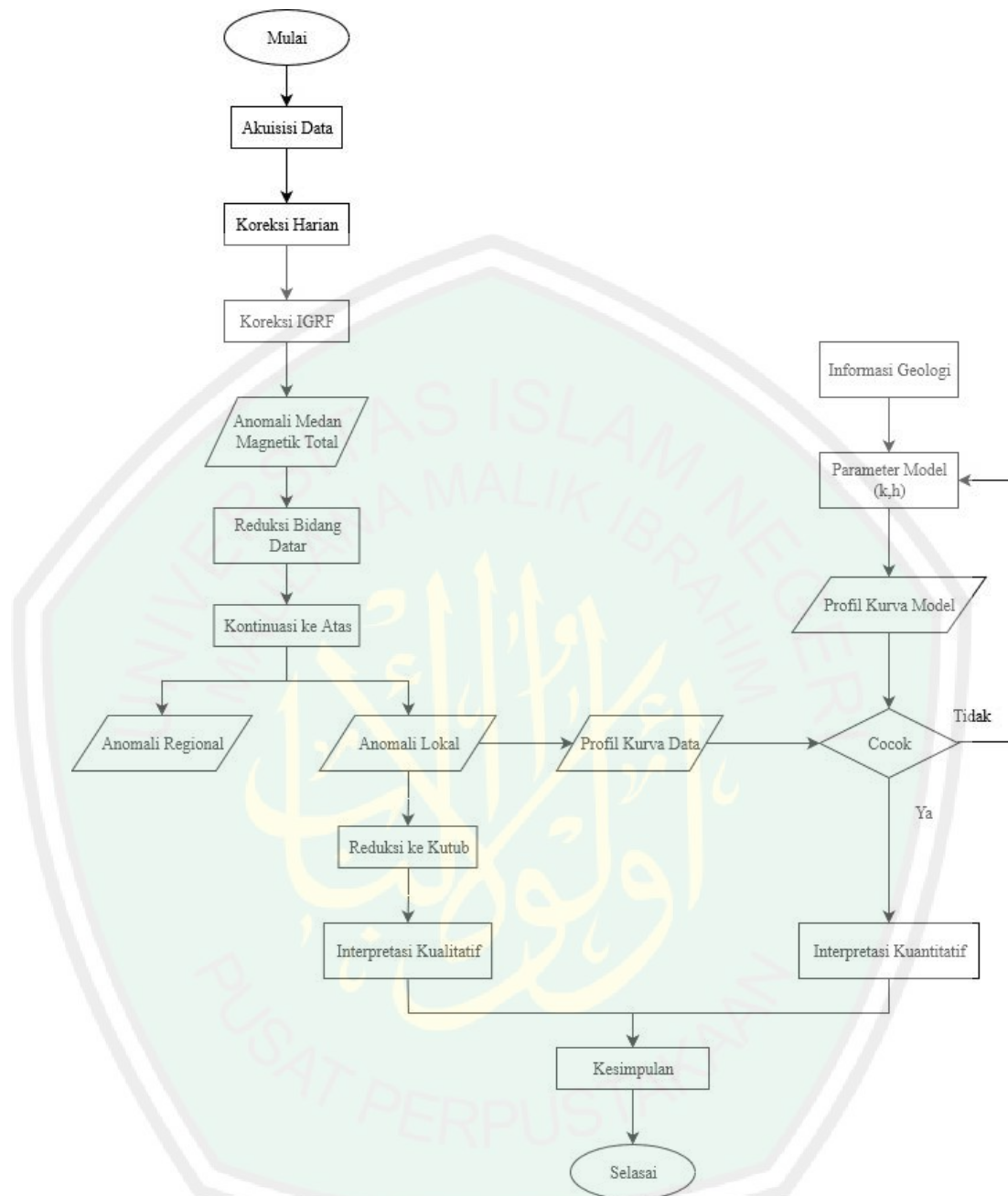
Tahap interpretasi dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan kontrol informasi geologi. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan menganalisis persebaran nilai anomali lokal pada area penelitian yang telah dikonturkan menggunakan *Software Surfer*. Interpretasi kualitatif bertujuan untuk menduga ada tidaknya benda penyebab anomali dan untuk melokalisir daerah yang mempunyai anomali. Sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan membuat penampang model dari kontur anomali lokal. Selanjutnya dilakukan dilakukan pemodelan bawah permukaan dengan menggunakan *Software Oasis*

Montaj. Pemodelan dapat menggunakan informasi dari peta geologi daerah penelitian sebagai acuan batuan penusun daerah penelitian. Kemudian memasukkan nilai suseptibilitas batuan berdasarkan tabel suseptibilitas batuan.

Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan matematis. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menggunakan *Software Oasis Montaj*. Pemodelan pada *Software Oasis Montaj* adalah menggunakan metode *forward modelling* (pencocokan profil model dengan profil data lapangan).



3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode magnetik merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika pasif untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan berdasarkan nilai anomali medan magnet bumi. Metode magnetik dapat digunakan untuk mengetahui kedalaman dan struktur bawah permukaan dengan melihat kontur di bawah permukaan bumi berdasarkan sifat kemagnetan batuan. Data hasil pengukuran di lapangan adalah nilai intensitas medan magnet total bumi yang terdiri dari elemen medan magnet utama bumi, medan magnet luar (medan magnet eksternal) dan medan magnet akibat ketidakhomogenan kerak bumi (anomali). Eksplorasi menggunakan metode magnetik memiliki tiga tahapan, diantaranya yaitu akuisisi data, pengolahan data dan interpretasi data hasil pengolahan data.

4.1 Akuisisi Data

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu *Proton Processing Magnetometer* (PPM) Tipe G-856. Jumlah data yang didapat di lapangan sebanyak 175 titik pengukuran (stasiun pengukuran), dengan jarak spasi antar titik 50 meter pada luasan daerah penelitian 700 meter x 700 meter, yang mana tiap titik dilakukan lima kali pengambilan data dan diambil tiga pengukuran dengan tingkat kesalahan yang kecil. Selain itu, di lapangan juga mencatat koordinat titik pengukuran serta waktu pengukuran. Hal tersebut dilakukan untuk plot persebaran data serta mendapatkan nilai IGRF dan melakukan koreksi harian (*diurnal*).

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada metode magnetik dilakukan untuk mendapat nilai anomali medan magnet total yang ditimbulkan oleh batuan akibat induksi medan magnet utama bumi, medan magnet luar dan medan magnet lokal. Pengolahan data dimulai dengan mengkonversi koordinat yang didapat pada saat akuisisi data di lapangan yang berbentuk *Decimal Degree* ke dalam bentuk *Universal Transfer Mercator (UTM)* dengan tujuan untuk mempermudah pembacaan pada *Software Surfer 13* dan pengolahan selanjutnya. Langkah selanjutnya yaitu melakukan koreksi harian (*diurnal*) dan koreksi IGRF dengan tujuan memperoleh nilai anomali magnetik total. Dari hasil konversi, koreksi, kemudian dilakukan plot data untuk dibuat peta kontur anomali magnetik, peta kontur anomali magnetik pada bidang datar, peta kontur anomali magnetik regional, peta kontur anomali magnetik lokal, dan peta kontur anomali magnetik lokal yang telah direduksi ke kutub.

4.2.1 Anomali Medan Magnet Total

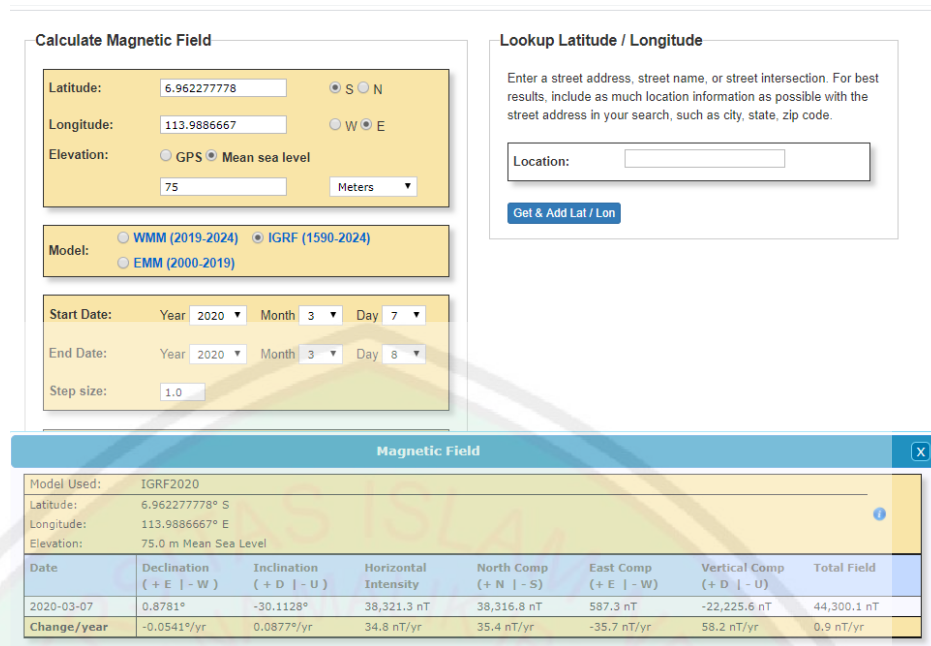
Anomali medan magnet merupakan nilai dari medan magnet di suatu titik pengukuran yang dihasilkan oleh batuan atau suatu benda yang bersifat magnetik yang berada di bawah permukaan bumi. Untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet total dilakukan koreksi harian dan koreksi IGRF. Hal tersebut dilakukan karena nilai intensitas medan magnet yang didapat di lapangan masih dipengaruhi oleh medan magnet utama bumi dan medan magnet luar bumi (eksternal).

Koreksi harian (*diurnal*) dilakukan dengan cara mengurangi nilai intensitas medan magnet di *base station* akhir dengan nilai intensitas medan

magnet di *base station* awal, kemudian dikalikan dengan hasil perhitungan selisih waktu saat pengambilan data pada masing-masing titik dan waktu saat pengambilan data di *base station* awal dibagi dengan hasil perhitungan selisih waktu saat pengambilan data di *base station* akhir dan waktu saat pengambilan data di *base station* awal. Hal itu dilakukan untuk menghilangkan penyimpangan nilai medan magnet bumi yang disebabkan oleh adanya perbedaan waktu akuisisi data dan adanya efek radiasi sinar matahari yang diterima oleh bumi selama pengukuran. Waktu yang dimaksudkan harus mengacu atau sesuai dengan waktu pengukuran data magnetik di setiap titik lokasi pengambilan data (stasiun pengukuran).

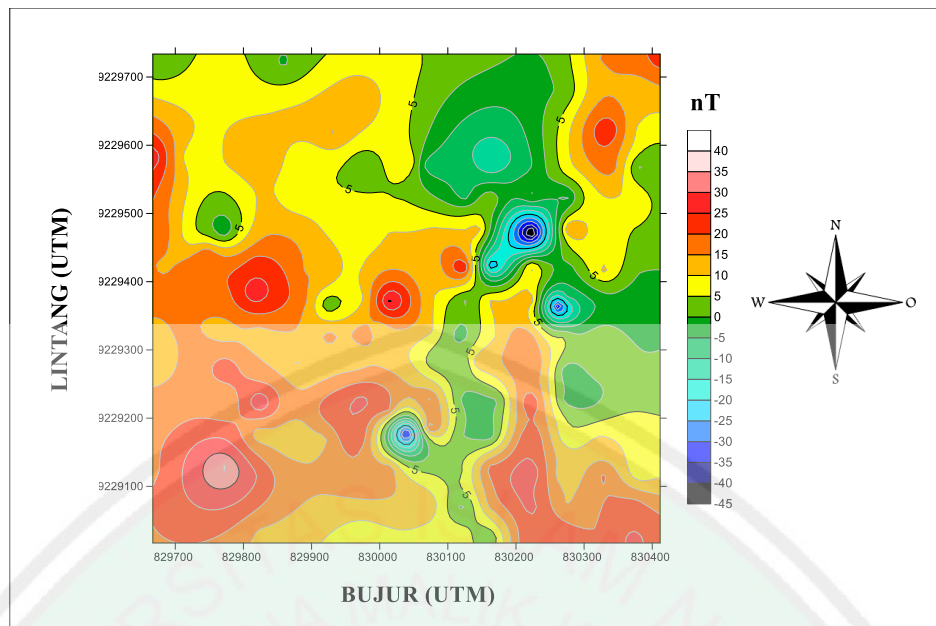
Koreksi IGRF dilakukan untuk menghilangkan efek medan magnet utama yang ikut terukur saat akuisisi data, sehingga didapatkan nilai anomali medan magnet total yang bersumber dari batuan atau benda magnetik yang menjadi target penelitian. Langkah untuk mendapatkan nilai IGRF cukup dengan memasukan koordinat salah satu titik pengukuran, tanggal pengambilan data dan elevasi titik pengukuran. Untuk mendapatkan nilai IGRF perlu memasukan tanggal pengambilan data karena nilai IGRF akan diperbarui setiap lima tahun sekali. Dan cukup memasukan koordinat satu titik pengukuran saja karena dianggap telah mewakili nilai IGRF di daerah penelitian. Untuk mendapatkan tampilan kalkulator IGRF dapat diakses melalui alamat website berikut ini <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml?useFullSite=true>,

berikut tampilannya:



Gambar 4.1 Tampilan Kalkulator IGRF dan Nilai IGRF

Pada penelitian ini nilai IGRF yang digunakan yaitu pada tahun 2020 dengan letak geografis salah satu titik pengukuran data ($113^{\circ} 59' 19.2''$ BT dan $6^{\circ} 57' 4.2''$ LS) dengan hasil nilai IGRF 44300.1 nT. Setelah dilakukan koreksi harian dan koreksi IGRF terhadap data-data medan magnetik yang terukur di lapangan, maka didapatkan data anomali medan magnetik total di topografi dengan cara mengurangi nilai intensitas medan magnet total terhadap nilai koreksi harian dan terhadap nilai IGRF. Untuk mengetahui pola anomali yang diperoleh maka data anomali disajikan dalam bentuk peta kontur yang terdiri dari garis-garis kontur yang menghubungkan titik-titik yang memiliki nilai anomali sama. Pembuatan peta kontur dilakukan dengan menggunakan *Software Surfer 13*. Berikut hasil kontur anomali medan magnet total:

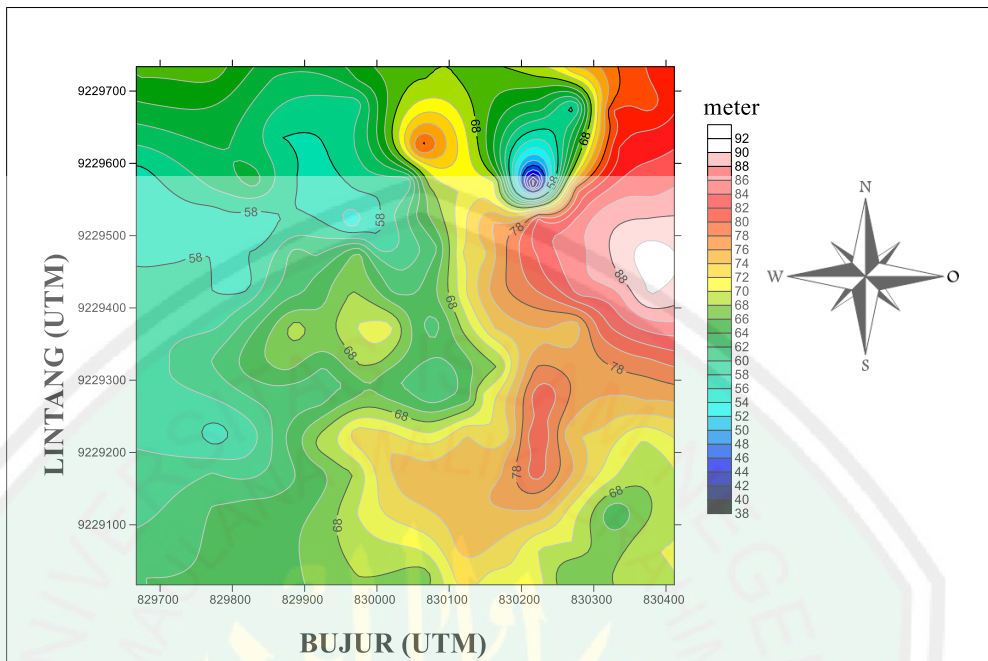


Gambar 4.2 Kontur Anomali Medan Magnet Total

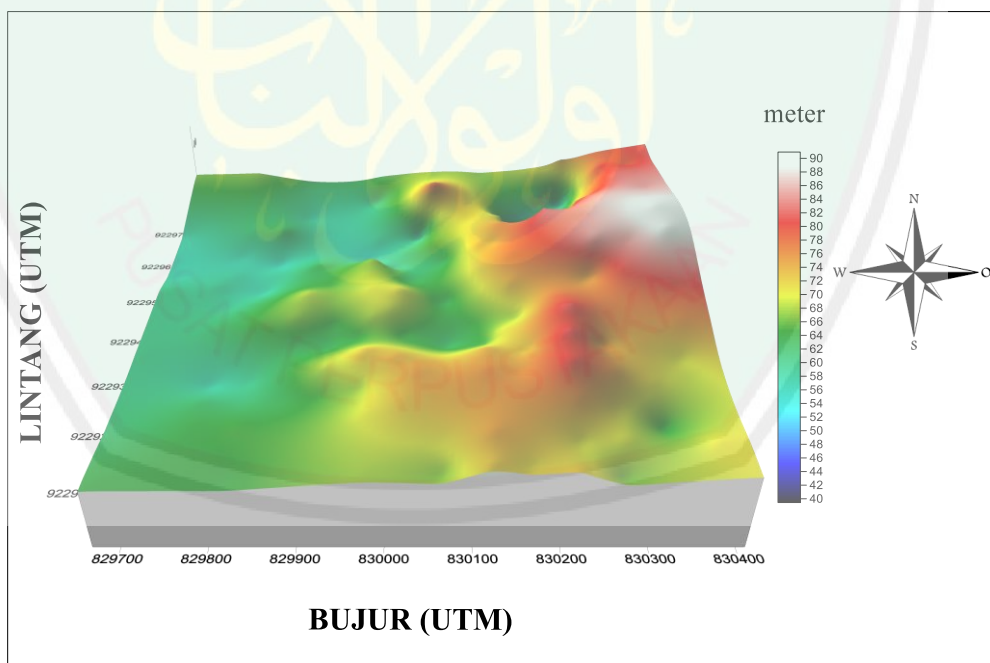
Gambar 4.2 merupakan nilai anomali medan magnet total pada daerah penelitian yaitu berkisar dari -45 nT hingga 40 nT. Anomali rendah ditunjukkan dengan warna biru tua hingga warna biru muda dengan nilai anomali -45 nT hingga -16. Anomali sedang ditunjukkan dengan warna biru muda hingga jingga dengan nilai anomali -15 hingga 15. Sedangkan untuk anomali tinggi ditunjukkan dengan warna merah hingga putih dengan nilai anomali 16 nT hingga 40 nT. Nilai-nilai tersebut menunjukkan perbedaan nilai anomali yang bervariasi yang menunjukkan sifat batuan yang berbeda. Adapun sifat batuan berdasarkan kemagnetannya secara umum dibagi menjadi tiga macam, yaitu *diamagnetic*, *paramagnetic*, dan *ferromagnetic*.

Peta kontur topografi dibuat dengan *Software Surfer 13* dengan cara memasukkan nilai koordinat lintang pada kolom X, koordinat bujur pada kolom Y dan ketinggian pada kolom Z. Peta kontur topografi dibuat dengan tujuan

menggambarkan informasi ketinggian serta perbedaan ketinggian antar lokasi di daerah penelitian. Berikut hasil kontur topografi daerah penelitian:



Gambar 4.3 Kontur Topografi Beserta Titik Pengukuran



Gambar 4.4 Kontur Topografi Tiga Dimensi

Kontur tersebut menunjukkan adanya daerah yang tinggi dan rendah. Warna biru tua hingga biru muda dengan elevasi 37-52 meter di atas permukaan laut merupakan daerah yang rendah. Warna biru muda hingga jingga dengan elevasi 53-78 meter di atas permukaan laut merupakan daerah yang sedang atau datar. Sedangkan warna jingga hingga putih dengan elevasi 79-91 meter di atas permukaan laut merupakan daerah yang lebih tinggi.

4.3 Interpretasi Kualitatif

Penelitian ini terdapat dua jenis interpretasi yaitu interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan pada peta kontur nilai anomali medan magnet total yang telah dilakukan transformasi reduksi bidang datar, kontinuasi ke atas, dan reduksi ke kutub.

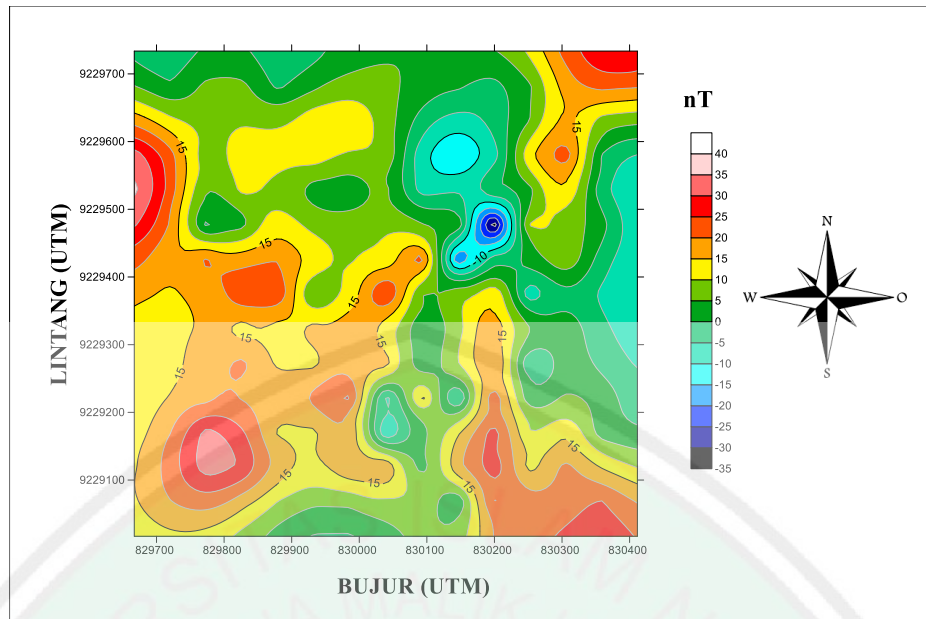
4.3.1 Reduksi Bidang Datar

Reduksi bidang datar perlu dilakukan apabila data anomali medan magnet total dari pengukuran di lapangan berada pada ketinggian topografi yang tidak rata atau berada pada perbedaan ketinggian yang ekstrim. Hal itu dikarenakan suatu benda termagnetisasi di bawah permukaan akan terbaca sesuai dengan pola topografi yang ada pada daerah penelitian. Dimana suatu nilai medan magnet yang terdapat pada topografi tidak rata akan mempengaruhi kesalahan dalam interpretasi atau pemodelan. Untuk menghindari hal itu maka anomali medan magnet total harus ditransformasikan pada suatu bidang dengan ketinggian yang sama (*level surface*) untuk mempermudah melakukan interpretasi atau pemodelan.

Pada penelitian ini data anomali yang diperoleh yang telah dilakukan koreksi harian dan koreksi IGRF masih terpengaruh efek variasi ketinggian

maka perlu dilakukan reduksi ke bidang datar pada ketinggian rata-rata topografi daerah penelitian. Transformasi reduksi bidang datar dilakukan dengan tujuan untuk mereduksi efek distorsi data akibat variasi ketinggian pada data anomali medan magnet total. Transformasi ini dilakukan seolah-olah membawa data ke suatu bidang permukaan dengan ketinggian yang sama (bidang datar) melalui pendekatan Deret Taylor dengan bantuan *Software Matlab*. Deret Taylor menggunakan fungsi turunan pada suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi ke sekitar titik tersebut. Sehingga Deret Taylor dapat digunakan untuk mengekstrapolasi fungsi di sekitar titik tersebut. Deret Taylor juga dapat digunakan untuk memprediksi harga suatu medan potensial pada titik yang jauh dari permukaan observasi (Blakely, 1995).

Dari proses transformasi ini didapatkan hasil anomali medan magnet total yang lebih halus (*smooth*) dan mengalami perluasan. Serta mendapatkan hasil dengan *range* nilai anomali yang lebih sedikit karena ada perapatan nilai anomali. Untuk peta hasil kontur dapat dibuka dengan bantuan *Software Surfer* 13. Hasil kontur anomali medan magnet total setelah direduksi bidang datar dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.5 Kontur Hasil Reduksi Bidang Datar

Proses transformasi ke bidang datar dilakukan pada ketinggian rata-rata daerah penelitian yaitu 69 meter di atas permukaan laut. Besar nilai anomali medan magnet total setelah direduksi ke bidang datar berkisar dari -35 nT sampai dengan 40 nT sesuai gambar 4.5 di atas. Berdasarkan hasil gambar di atas maka dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu anomali rendah, anomali sedang dan anomali tinggi. Anomali rendah ditunjukkan dengan warna biru tua hingga biru muda dengan nilai anomali -35 nT hingga -16 nT. Anomali sedang ditunjukkan dengan warna biru muda hingga jingga dengan nilai anomali -15 nT hingga 15 nT. Sedangkan untuk anomali tinggi ditunjukkan dengan warna merah hingga putih dengan nilai anomali 16 nT hingga 40 nT.

4.3.2 Kontinuitas Ke Atas

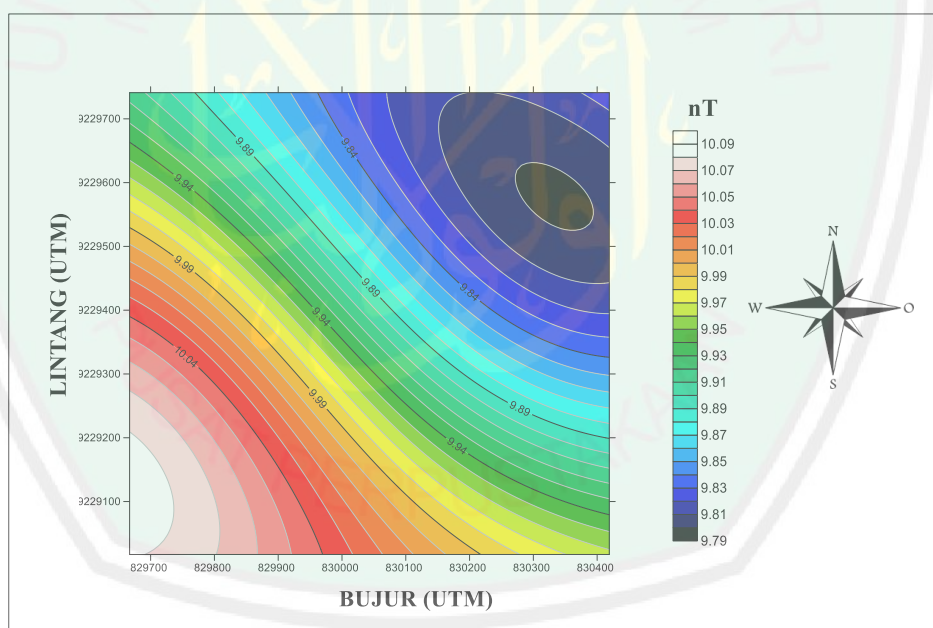
Hasil kontur anomali medan magnet total setelah dilakukan transformasi ke bidang datar masih terdiri dari gabungan dari nilai anomali regional dan nilai anomali lokal, sehingga perlu dilakukan proses pemisahan anomali antara

anomali lokal dan regional. Hal ini dilakukan karena dalam proses interpretasi dan pemodelan yang diperlukan adalah nilai anomali lokal. Karena nilai anomali lokal merupakan nilai yang benar-benar berasal dari target penelitian. Sedangkan saat pengambilan data masih didapatkan nilai anomali total dan regional. Oleh karena itu perlu dilakukan transformasi kontinuitas ke atas.

Kontinuitas ke atas (*Upward Continuation*) merupakan sebuah proses transportasi data untuk merubah data yang diukur pada suatu level permukaan menjadi seolah data terukur pada level permukaan yang lebih tinggi. Proses ini dilakukan untuk mengfilter data untuk mereduksi gangguan (*noise*) yang bersumber dari bawah permukaan yang disebabkan oleh benda-benda yang berada di dekat topografi yang tidak menjadi target penelitian. Selain itu, proses ini juga berfungsi untuk mengurangi efek dari sumber anomali dangkal (*residual*), dan lebih memunculkan efek dari anomali dalam (*regional*), sehingga didapatkan hasil berupa nilai anomali regional yang lebih representatif. Dari nilai anomali yang lebih representatif, akan menghasilkan nilai anomali lokal (*residual*) yang lebih jelas, sehingga dapat memudahkan proses interpretasi.

Proses kontinuitas ke atas dilakukan seolah-olah akuisisi data dilakukan pada ketinggian tertentu, dengan menggunakan bantuan *Software Magpick*. Dalam melakukan proses kontinuitas penentuan nilai ketinggian dapat disesuaikan tergantung efek yang akan ditampilkan atau dihilangkan. Sehingga pengangkatan tidak dapat dilakukan terlalu tinggi karena dapat mereduksi anomali medan magnet lokal yang bersumber dari batuan atau benda magnetik dan struktur geologi yang menjadi target penelitian.

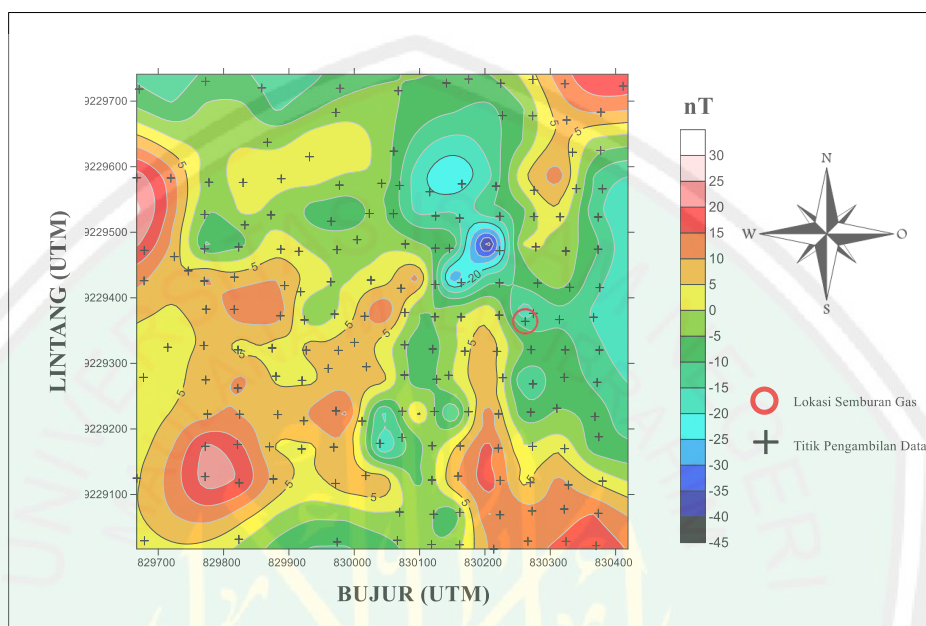
Dalam penelitian ini, proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan metode coba-coba (*trial and error*) pada ketinggian 100-1000 meter di atas permukaan laut. Hal tersebut dimaksudkan untuk melihat perbedaan anomali regional daerah penelitian pada tiap-tiap ketinggian kontinuasi yang diterapkan. Pola anomali yang sudah tidak menunjukkan perubahan secara signifikan dipilih sebagai dasar untuk proses berikutnya. Hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian 800 meter sudah menunjukkan nilai anomali regional yang cenderung tetap (stabil). Hal ini menunjukkan bahwa kontinuasi ke atas cukup dilakukan pada ketinggian 800 meter, karena pada ketinggian lebih dari 800 meter anomali lokal yang bersumber dari target penelitian akan hilang. Berikut hasil anomali regional setelah dilakukan kontinuasi ke atas:



Gambar 4.6 Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi ke Atas

Berdasarkan gambar 4.6 diketahui besar nilai anomali regional berkisar dari 9.79 nT sampai dengan 10.09 nT. Nilai tersebut menunjukkan besar nilai anomali regional yang relatif stabil dan menandakan telah tiada pengaruh dari

anomali lokal pada pengangkatan 800 meter. Untuk memperoleh nilai anomali lokal, dapat dilakukan dengan pengurangan nilai anomali regional yang telah diperoleh dari proses kontinuitas ke atas terhadap nilai anomali medan magnet total hasil reduksi bidang datar, berikut hasil kontur anomali lokal:



Gambar 4.7 Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuitas ke Atas

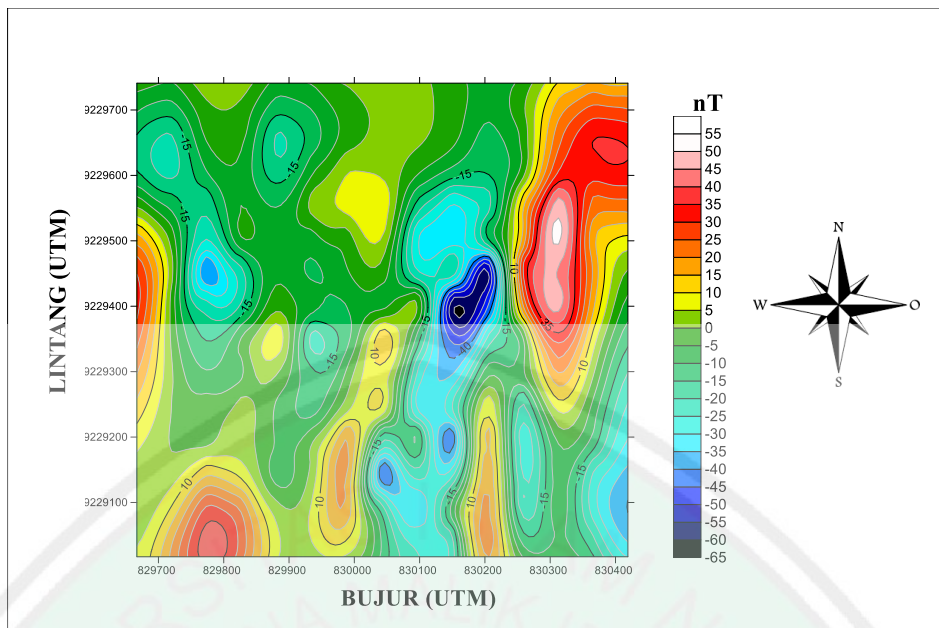
Berdasarkan gambar 4.7 di atas diketahui bahwa nilai anomali lokal berkisar dari 30 nT hingga -45 nT. Secara kualitatif pola kontur anomali lokal dibagi menjadi tiga yaitu anomali rendah, sedang dan tinggi. Anomali rendah ditunjukkan dengan warna biru tua hingga warna biru muda dengan nilai anomali -45 nT hingga -21 nT. Anomali sedang ditunjukkan dengan warna biru muda hingga jingga dengan nilai anomali -20 hingga 10 nT yang diduga didominasi oleh batuan sedimen batulempung (*clay*). Sedangkan untuk anomali tinggi ditunjukkan dengan warna jingga hingga putih dengan nilai anomali 11 nT hingga 30 nT yang diduga di dominasi dengan batugamping (*limestone*). Berdasarkan tiga kelompok tersebut daerah penelitian didominasi oleh nilai

anomali magnet tinggi dan sedang. Dari pola anomali lokal dapat diketahui bahwa batuan atau litologi yang terdapat pada daerah penelitian memiliki keseragaman. Hal tersebut didasarkan terhadap tinggi rendahnya nilai anomali yang dapat dipengaruhi oleh jenis batuan, posisi atau kedalaman batuan, atau volume batuan.

4.3.3 Reduksi Ke Kutub

Reduksi ke kutub (*Reduction to Pole*) merupakan sebuah proses transformasi untuk merubah nilai anomali yang awalnya berbentuk *dipol* (bermuatan positif dan negatif) ditransformasikan menjadi seolah-olah berbentuk *monopole* (bermuatan positif). Proses transformasi ini dilakukan dengan cara merubah arah medan magnet di daerah pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnet. Dimana sudut inklinasi di daerah penelitian yang bernilai -30.1128° dirubah menjadi 90° , dan sudut deklinasi yang bernilai 0.8781° dirubah menjadi 0° . Sehingga seolah-olah pengukuran dilakukan di kutub utara, dan tidak terpengaruh terhadap kutub selatan.

Reduksi ke kutub dilakukan dengan tujuan untuk memposisikan nilai anomali medan magnet, tepat berada diatas objek penyebab anomali magnetik yang menjadi target penelitian, sehingga memudahkan proses interpretasi. Reduksi ke kutub dilakukan dengan bantuan *Software Magpick*. Hasil pengolahan data reduksi di kutub seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.8 Kontur Anomali Hasil Reduksi ke Kutub

Berdasarkan gambar 4.8 di atas dapat diketahui perbedaan nilai anomali yang signifikan jika dibandingkan dengan nilai anomali magnetik lokal sebelum direduksi ke kutub, dimana setelah dilakukan reduksi ke kutub nilai kemagnetannya menjadi lebih tinggi. Hal ini dikarenakan setelah dilakukan reduksi ke kutub pada anomali lokal maka medan magnetnya mengalami penguatan, yang ditunjukkan adanya pola klosur anomali tinggi dan anomali rendah dari 55 nT hingga -65 nT, sehingga dapat diasumsikan bahwa batuan penyebab anomali berada di bawah pola klosur tersebut. Untuk pola klosur anomali rendah berada di tengah sedikit ke timur pada daerah penelitian. Pola tersebut tepat berada di atas semburan gas yang muncul di permukaan. Pola anomali rendah tersebut diduga sebagai batulempung yang mengandung gas biogenik.

Informasi keberadaan gas biogenik juga didasarkan pada peta geologi lembar Waru-Sumenep dimana lokasi penelitian berada pada Formasi Tawun

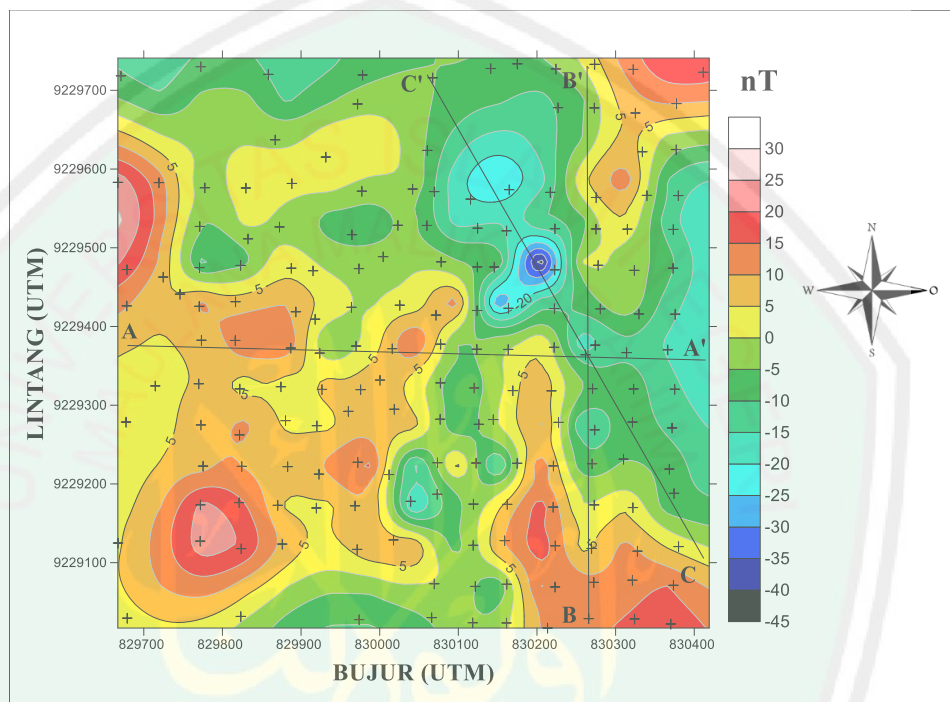
(Tmt) yang terdiri dari batulempung, batunapal, dan batugamping. Dimana sesuai penelitian sebelumnya di daerah pantai Saronggi Sumenep batulempung diidentifikasi sebagai batuan yang mengandung gas biogenik. Gas biogenik yang terbentuk dari tumbuhan rawa didukung oleh sejarah daerah penelitian yang mana dahulunya daerah penelitian merupakan daerah rawa yang kemudian terjadi aktifitas organisme di rawa dan menjadi cadangan gas biogenik.

Secara kualitatif, dapat diinterpretasi gas biogenik yang menjadi target penelitian ini berada pada pola klosur anomali rendah yang ditunjukkan pada peta kontur anomali lokal setelah di reduksi ke kutub (gambar 4.8). Pola anomali tersebut diperkirakan sebagai pola yang terbentuk sebagai akibat keberadaan batulempung yang menjadi tempat jebakan gas biogenik yang memiliki nilai suseptibilitas kecil.

4.4 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif merupakan suatu proses interpretasi yang didasarkan pada penafsiran kualitatif dengan menganalisa penampang anomali lokal sepanjang profil sayatan (*slice*), yang bertujuan untuk mengetahui model bawah permukaan yang menunjukkan posisi atau letak target (objek yang diteliti) dan struktur geologi di bawah permukaan di daerah penelitian. Target dari penelitian ini adalah persebaran gas biogenik di daerah penelitian yang mana dalam suatu penelitian sebelumnya yang dilakukan di dekat Pantai Saronggi Sumenep menyebutkan bahwa gas Biogenik berada pada batulempung hitam. Sedangkan menurut penelitian yang di lakukan di daerah Delta Changjiang China gas biogenik berada pada pasir yang berada pada batulempung. Oleh karena itu pada penelitian ini batulempung diduga sebagai gas biogenik.

Salah satu langkah untuk mengkonfirmasi persebaran gas biogenik di bawah permukaan pada sekitar daerah penelitian maka dibuat tiga sayatan anomali. Dimana profil sayatan tersebut memotong anomali lokal pada daerah yang terdapat semburan gas biogenik di daerah penelitian. Profil sayatan tersebut yaitu sayatan A-A', B-B' dan C-C' yang dapat dilihat pada gambar:



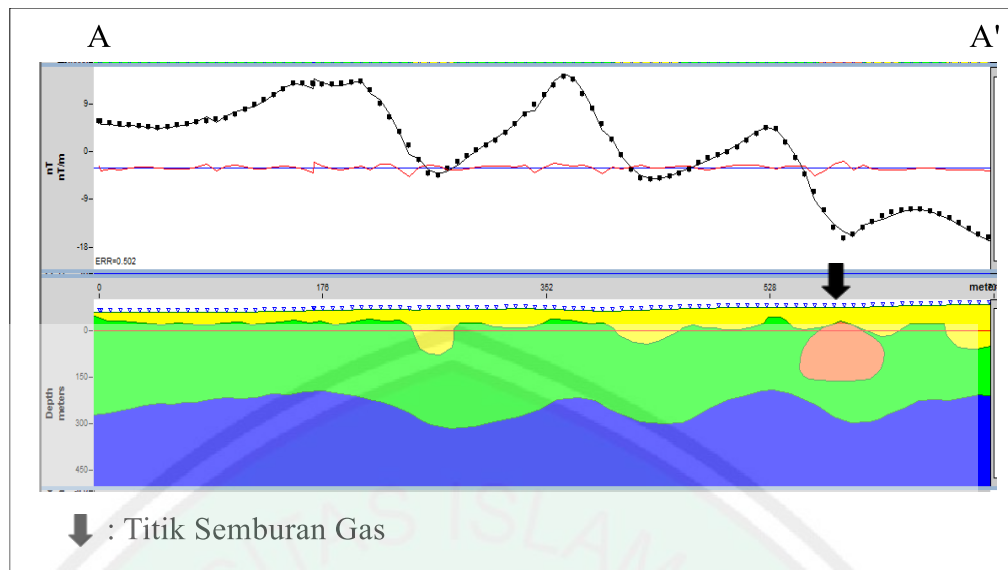
Gambar 4.9 Sayatan pada Kontur Anomali Lokal

Sayatan data dilakukan dengan menggunakan *Software Oasis Montaj*, kemudian data hasil sayatan digunakan sebagai inputan ketika melakukan pemodelan. Pemodelan juga menggunakan *software Oasis Montaj*, dimana prinsip kerja dari proses pemodelan ini menggunakan konsep *forward modelling* dengan menyamakan bentuk dari anomali pengamatan (*observed*) berupa garis putus-putus pada penampang sayatan anomali lokal dengan anomali perhitungan (*calculated*) berupa garis tegas pada penampang anomali model. Secara tidak langsung proses penyamaan tersebut menghasilkan gambaran model dan struktur

geologi bawah permukaan dari batuan penyebab anomali. Proses penyamaan tersebut menggunakan metode coba-coba (*trial and error*) sehingga dalam pengerjaannya diperlukan ketelitian dan diliterasi sampai didapatkan hasil error terkecil, karena semakin kecil nilai error perhitungan terhadap error referensi akan menunjukkan kevalidan data pada pemodelan yang dilakukan. Tahapan melakukan *slice* data yaitu melakukan *digitize* pada anomali lokal, selain itu juga input data deklinasi, inklinasi, nilai IGRF yang didapat dari kalkulator IGRF dan juga zona daerah penelitian. Pada penelitian ini bertempat di daerah Sumenep yang mana memasuki zona UTM 49S yang artinya Sumenep berdasarkan peta UTM berada pada zona 49 di daerah selatan. Tampilan pada *Software Oasis Montaj* untuk daerah dengan nilai negatif menunjukkan pemodelan diatas garis permukaan laut (*sea level*). Untuk nilai positif menunjukkan daerah dibawah permukaan laut. Pemodelan bawah permukaan dilakukan dengan kedalaman ± 580 di bawah permukaan.

4.4.1 Penampang Sayatan A-A'

Penampang anomali pada sayatan A-A' memotong pola anomali rendah yang terletak disebelah barat daerah penelitian dengan melewati daerah semburan gas hingga daerah dengan anomali tinggi di daerah penelitian sebelah timur, dengan panjang lintasan 728 meter. Dimana model dua dimensi (2D) pada sayatan A-A' diperoleh hasil seperti gambar:



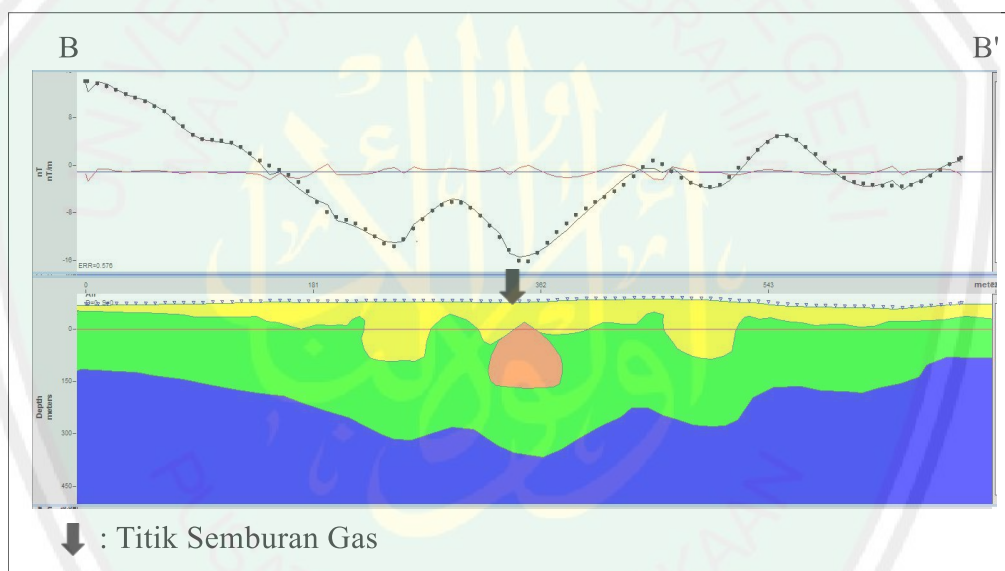
Gambar 4.10 Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan A-A'

Berdasarkan gambar 4.10 di atas dapat dilihat bahwa model bawah permukaan pada penampang sayatan A-A' terdiri dari tiga lapisan dan satu *body* batuan dengan nilai *error* 0.502. Pada lapisan pertama (warna kuning) memiliki nilai suseptibilitas 0.0002 SI yang diidentifikasi sebagai lapisan paling atas yaitu lempung. Lempung berada pada kedalaman $\pm 0-114$ meter di bawah permukaan dengan memiliki ketebalan lapisan yang bervariasi, ketebalan maksimal yaitu ± 114 meter dan ketebalan minimal tanah ± 24 meter. Pada lapisan yang kedua (warna hijau) memiliki nilai suseptibilitas 0.01799 SI yang diidentifikasi sebagai lapisan napal. Lapisan ini berada pada kedalaman $\pm 24-379$ meter di bawah permukaan. Pada lapisan ketiga (warna biru) memiliki nilai suseptibilitas 0.0003 SI yang diidentifikasi sebagai batugamping. Lapisan ini berada pada kedalaman $\pm 295-570$ meter di bawah permukaan. Di bagian timur daerah penelitian terdapat lapisan atau *body* batuan berbentuk mirip kantong (warna merah) dengan suseptibilitas 0.0002 SI yang diidentifikasi sebagai batulempung yang diduga mengandung gas biogenik. *Body* batuan tersebut berada pada kedalaman $\pm 40-$

230 meter dibawah permukaan dengan lebar kantong ± 66 meter. *Body* batulempung yang diduga mengandung gas biogenik tersebut berada tepat di bawah semburan gas yang terjadi beberapa waktu lalu di daerah penelitian.

4.4.2 Penampang Sayatan B-B'

Penampang anomali pada sayatan B-B' memotong pola anomali rendah yang terletak disebelah selatan daerah penelitian dengan melewati daerah semburan gas hingga daerah dengan anomali tinggi di sebelah utara daerah penelitian, dengan panjang lintasan 708 meter. Model dua dimensi (2D) pada sayatan B-B' diperoleh hasil seperti gambar:



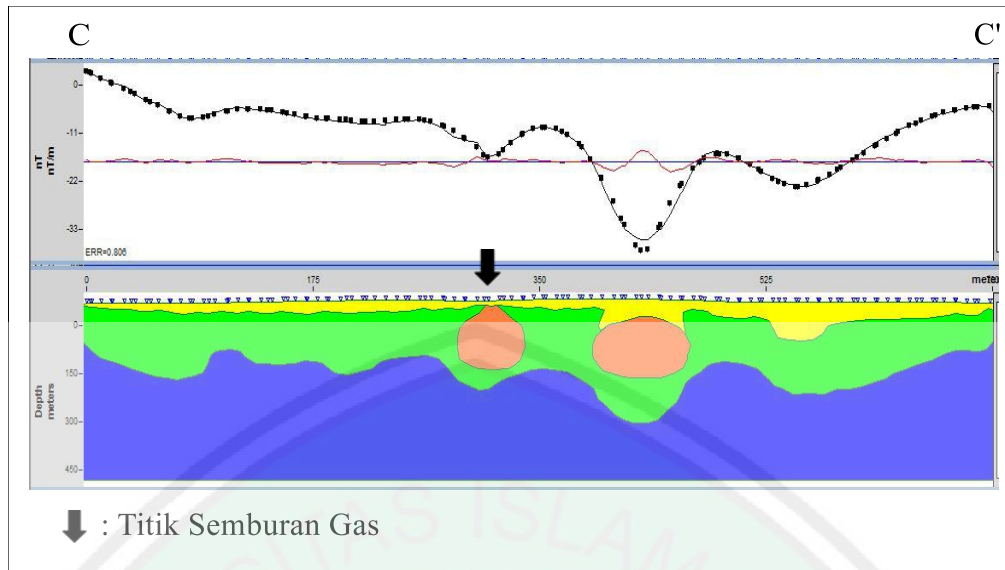
Gambar 4.11 Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan B-B'

Berdasarkan gambar 4.11 di atas, dapat dilihat bahwa model bawah permukaan pada penampang sayatan B-B' terdiri dari tiga lapisan dan satu *body* batuan dengan nilai *error* 0.575. Pada lapisan pertama (warna kuning) memiliki nilai suseptibilitas 0.0002 SI yang diidentifikasi sebagai lapisan paling atas yaitu lempung. Lempung berada pada kedalaman $\pm 0-156$ meter di bawah permukaan, dengan ketebalan lapisan yang bervariasi. Ketebalan maksimal ± 156 meter dan

ketebalan minimal ± 25 meter. Pada lapisan yang kedua (warna hijau) memiliki nilai suseptibilitas 0.0170 SI yang diidentifikasi sebagai lapisan napal. Lapisan ini berada pada kedalaman ± 20 -435 meter dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 240 meter dan ketebalan minimal napal ± 60 meter. Pada lapisan ketiga (warna biru) memiliki nilai suseptibilitas 0.0003 SI yang diidentifikasi sebagai batugamping. Batugamping berada pada kedalaman ± 153 -570 meter di bawah permukaan, dengan ketebalan lapisan yang bervariasi. Ketebalan maksimal ± 485 meter dan ketebalan minimal ± 205 meter. Di bagian tengah sayatan terdapat lapisan atau *body* batuan berbentuk mirip kantong (warna merah) dengan suseptibilitas 0.0002 SI yang diidentifikasi sebagai batulempung yang diduga mengandung gas biogenik. *Body* batuan tersebut berada pada kedalaman 65-240 meter di bawah permukaan dengan lebar kantong ± 60 meter. *Body* batulempung yang diduga sebagai gas biogenik tersebut berada tepat di bawah semburan gas yang terjadi beberapa waktu lalu di daerah penelitian.

4.4.3 Penampang Sayatan C-C'

Penampang anomali pada sayatan C-C' berada pada pola anomali rendah dan melewati daerah semburan gas dengan panjang lintasan 707 meter. Berikut model dua dimensi (2D) pada sayatan C-C' diperoleh hasil seperti gambar:



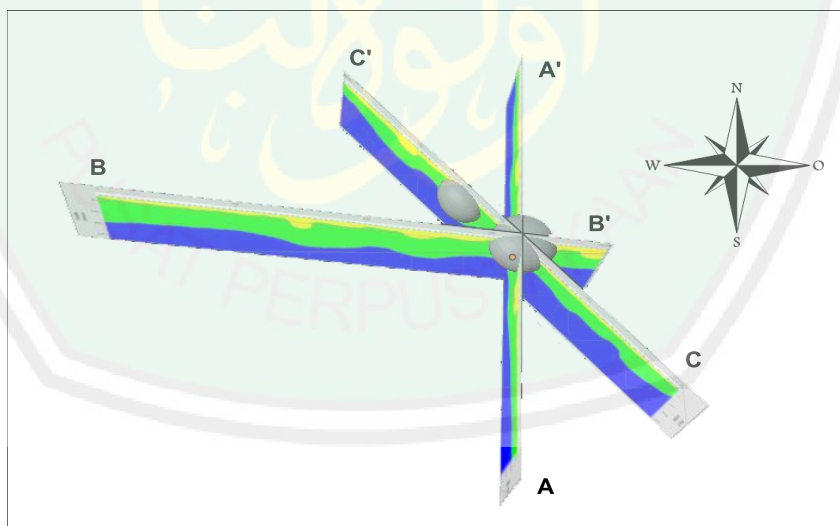
Gambar 4.12 Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan C-C'

Berdasarkan gambar 4.12 di atas, dapat dilihat bahwa model bawah permukaan pada penampang sayatan C-C' terdiri dari tiga lapisan dan satu *body* batuan dengan nilai *error* 0.806. Pada lapisan pertama (warna kuning) memiliki nilai suseptibilitas 0.0002 SI yang diidentifikasi sebagai lapisan paling atas yaitu lempung. Lempung berada pada kedalaman ± 0 -115 meter dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 115 meter dan ketebalan minimal ± 30 meter. Pada lapisan yang kedua (warna hijau) memiliki nilai suseptibilitas 0.0179 SI yang diidentifikasi sebagai lapisan napal. Lapisan ini berada pada kedalaman ± 15 -365 meter dan ketebalan lapisan yang bervariasi. Pada lapisan ketiga (warna biru) memiliki nilai suseptibilitas 0.0003 SI yang diidentifikasi sebagai batugamping. Lapisan ini berada pada kedalaman 140-575 meter dengan ketebalan lapisan yang bervariasi. Di tengah sayatan C-C' terdapat *body* atau lapisan batuan berbentuk mirip dengan dua kantong (warna merah) dengan suseptibilitas 0.0002 SI yang diidentifikasi sebagai batulempung yang diduga mengandung gas biogenik. *Body* batulempung yang diduga mengandung gas

biogenik berada di tengah sayatan C-C' berbentuk dua kantong, kantong sebelah kanan berada pada kedalaman $\pm 100-240$ meter dibawah permukaan dengan lebar kantong ± 70 meter. Untuk kantong sebelah kiri berada pada kedalaman $\pm 20-200$ meter di bawah permukaan dengan lebar kantong ± 48 meter. *Body* batulempung yang sebelah kiri berada tepat dibawah semburan gas yang terjadi beberapa waktu lalu di daerah penelitian.

4.5 Model Penampang Tiga Dimensi (3D)

Model penampang tiga dimensi (3D) merupakan hasil gabungan dari beberapa model dua dimensi (2D) yaitu sayatan A-A', B-B' dan C-C' yang saling berpotongan satu sama lain dan kemudian direkonstruksi menjadi bentuk tiga dimensi (3D) dengan bantuan *Software Blender*. Tujuan dilakukan pemodelan ini yaitu untuk melihat kesinambungan dan perpotongan kantong yang menjadi tempat terjebaknya gas biogenik. Berikut hasil gambar tiga dimensi (3D):



Gambar 4.13 Model 3D Bawah Permukaan

Daerah penelitian merupakan morfologi bergelombang dengan ketinggian 0-200 mdpl umumnya dibentuk dengan batulempung Formasi Tawun dan

batugamping. Daerah penelitian yang berada di bagian utara Pulau Madura pernah mengalami pengangkatan yang lebih kuat dibandingkan dengan di bagian selatan sehingga terjadi erosi sampai Formasi Tawun. Daerah penelitian yang termasuk daerah dataran rendah memungkinkan adanya rawa yang mendukung proses terbentuknya gas biogenik.

Potensi Gas biogenik ditemukan pada batulempung di bawah semburan gas yang keluar ke permukaan, dan pada batulempung di sebelah barat semburan. Hal tersebut menunjukkan bahwa gas bersifat setempat. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan pada tahun 2006 yang menyatakan bahwa gas biogenik di daerah tersebut ditemukan setempat-setempat serta tidak dalam jumlah besar. Keadaan ini menunjukkan hubungan antara pembentukan gas biogenik dan akumulasinya sangat dekat dalam skala ruang dan waktu, sehingga sebagai konsekuensinya akan terbentuk jalur migrasi yang pendek (Faturrachman, 2007).

Gas di daerah ini merupakan gas yang belum matang, hal tersebut ditunjukkan dengan keberadaan gas yang masih berada pada *body* batuan induk dan tidak jauh dari permukaan, artinya gas ini belum mengalami migrasi. Keberadaan *body* kantong yang diduga mengandung gas berada pada kedalaman yang cukup dangkal. Ia tertutup oleh lapisan di atasnya yaitu lempung, namun adanya aktivitas warga yang melakukan pengeboran sumur menyebabkan adanya ruang atau rekahan untuk jalan keluarnya gas sehingga gas dapat muncul di permukaan.

4.6 Gas Biogenik dalam Perspektif Al-Qur'an

Alam semesta memiliki berbagai jenis sumber daya alam, salah satunya yaitu minyak dan gas. Gas merupakan jenis wujud zat yang molekul-molekulnya bergerak bebas sehingga seluruh massa cenderung mengembang dan menempati seluruh volume wadahnya. Gas menjadi komponen vital untuk menjadi suplai energi dunia baik untuk produksi bahan bakar maupun amonia. Bahkan di masa depan gas direncanakan sebagai sumber energi primer menggantikan sumber energi minyak mentah dan batu bara. Gas dipilih sebagai sumber energi primer karena gas merupakan sumber energi yang paling bersih (memiliki intensitas karbon yang rendah), dan aman. Sehubungan dengan kebutuhan gas yang menjadi suplair primer kebutuhan energi di dunia maka kita perlu melihart cadangan gas yang ada saat ini. Indonesia memiliki cadangan gas alam yang besar. Saat ini, negara ini memiliki cadangan gas terbesar ketiga di wilayah Asia Pasifik (setelah Australia dan Republik Rakyat Tiogkok), berkontribusi untuk 1.5 % dari total cadangan gas dunia (*British Petroleum Statistical Review Of World Energy*, 2015). Adapun untuk cadangan gas di alam ini juga dijelaskan dalam Al-Quran Surat Fushshilat ayat 11 dan 10:

ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ وَهِيَ دُخَانٌ فَقَالَ لَهَا وَلِلْأَرْضِ ائْتِيَا طَوْعًا أَوْ كَرْهًا قَالَتَا أَتَيْنَا طَائِعِينَ

Artinya: “Kemudian Dia menuju kepada penciptaan langit dan langit itu masih merupakan asap, lalu Dia berkata kepadanya dan kepada bumi: “Datanglah kamu keduanya menurut perintah-Ku dengan suka hati atau terpaksa”. Keduanya menjawab: “Kami datang dengan suka hati”.

Kata دُخَانٌ dalam ayat di atas berarti asap, yang mana asap merupakan zat yang berwujud gas, sama wujudnya dengan gas alam. Begitupun menurut para ahli tafsir asap adalah kumpulan dari gas-gas dan pertikel-partikel halus baik dalam bentuk padat maupun cair pada temperatur yang tinggi maupun rendah dalam

suatu campuran yang lebih atau kurang stabil. Hal itu menunjukkan bahwa Tuhan telah menciptakan langit dan bumi yang mana di dalamnya terdiri dari berbagai komponen dari mulai tanah, air, gas dan lainnya.

Secara ilmiah pembentukan minyak bumi dan gas menurut para pakar geologi berdasarkan penelitian ilmiah mendukung teori biotik organik yaitu bahwa minyak dan gas terbentuk dari sisa makhluk hidup jutaan tahun yang lalu. Gas biogenik terbentuk dan terperangkap pada daerah rawa atau danau kecil. Rawa atau danau kecil terisi oleh tanaman rawa yang mana bila dedaunan ini membusuk akan menghasilkan gas rawa. Gas-gas rawa ini terus berkembang dan terbentuk ketika terkubur. Gas biogenik ini merupakan hasil aktifitas organisme. Hal tersebut juga dituliskan secara tersirat dalam Al-Qur'an Surat Yasin ayat 80:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِّنْهُ تُوقِدُونَ

Artinya: "Yaitu Tuhan yang menjadikan untukmu api dari kayu yang hijau, maka tiba-tiba kamu nyalakan (api) dari kayu itu" (Q. S. Yasin: 80).

Cadangan gas biogenik ditemukan di bawah permukaan bercampur dengan material penyusun bumi lainnya. Hasil interpretasi data magnetik selain menduga lapisan atau *body* batuan yang diidentifikasi sebagai batulempung yang diduga menjadi tempat terjebakanya gas biogenik, juga di diinterpretasi lapisan atau *body* batunapal dan batugamping yang memiliki karakteristik berbeda. Hal tersebut menunjukkan bahwa ada garis atau batas-batas tertentu pada penyusun lapisan bawah permukaan bumi. Garis atau lapisan tersebut juga di gambarkan dalam firman Allah Surat Al-Fathir ayat 27:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُّخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيضٌ وَحُمْرٌ مُّخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٍ

Artinya: "Tidakkah kamu melihat bahwasanya Allah menurunkan hujan dari langit lalu kami hasilkan dengan hujan itu buah-buahan yang beraneka macam

jenisnya. Dan diantara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada pula yang hitam pekat”.

Sayyid Quthb menjelaskan hal senada bahwa garis-garis yang dimaksud itu merupakan pembentukan batuan yang beragam, baik dalam keragaman tingkatan warnanya, bayangan dan komposisinya, begitu juga dengan warna yang hitam pekat. Warna hitam yang dimaksud adakalanya hitam pekat ada kalanya agak hitam. Makna tersebut sesuai dengan batuan yang ditemukan di daerah penelitian yang mana menemukan batulempung, batunapal dan batugamping yang mana warnanya berbeda-beda ada yang gelap, ada yang sedikit terang.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode geomagnetik dapat diambil kesimpulan sebagaimana berikut:

1. Berdasarkan hasil dari interpretasi kualitatif diduga bahwa gas biogenik berada pada anomali rendah hingga sedang, bersifat setempat dan berada di bagian timur daerah penelitian.
2. Berdasarkan hasil dari interpretasi kuantitatif daerah penelitian tersusun dari beberapa jenis batuan diantaranya yaitu lempung dengan nilai suseptibilitas 0.0002 SI, napal dengan nilai suseptibilitas 0.018 SI, batugamping dengan nilai suseptibilitas 0,0003 SI dan batulempung yang diduga mengandung gas biogenik dengan nilai suseptibilitas 0.0002 SI.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, gas biogenik hanya ditemukan di sebelah timur dan utara daerah penelitian. Alangkah lebih baiknya dilakukan penelitian lagi dengan memperluas luasan area ke arah timur dan utara daerah penelitian. Hal tersebut berdasarkan peta anomali di bagian timur dan utara daerah penelitian menunjukkan anomali rendah hingga sedang yang diduga mengandung gas biogenik. Selain itu, juga disarankan untuk merapatkan jarak antar titik akuisisi data agar didapatkan data yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qur'an al Karim. 2005. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: Departemen Agama RI.
- Arifin L. 2010. *Distribusi Lapisan Batuan Sedimen yang Diduga Mengandung Gas Biogenik dengan Metode Tahanan Jenis di Pantai Saronggi, Sumenep, Madura*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 2. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.
- Ash-Shiddjie, Tengku Muhammad Hasbi. 2000. *Tafsir Al-Quranul Majid An-Nur*. Jakarta: Cakrawala Publisshing.
- Astawa, I.N. 2016. *Indikasi Keberadaan Gas Biogenik Berdasarkan Pendugaan Geolistrik di Delta Cimanuk Indramayu, Jawa Barat*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.
- Bemmelen, R.W. Van., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol. 1A, Vol II, Martinus Nijhoff: The Hague Netherlands.
- Blakely, Richard J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. New York: Cambridge University Pres.
- British Petroleum. 2015. *Statistical Review of World Energy 2015*. Online. <https://www.bp.com>.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysiccs of the Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Cokar, M. Kallos, M. S Huang, H. Larter, S. R. Gates, I. D. 2010. *Biogenic Gas Generation From shallow Organic Metter Rich Shales*. Presentation of CSUG/ SPE 135323. Canada: University of Calgary.
- Dang Yuqi, Wenzhi Zhao, Aiguo Su, Shuichang Zhang, Maowen Li, Ziqiang Guan, Dase Ma, Xinling Chen, Yanhua Shuai, Huitong Wang, Yanhu Tan, Ziyuan Xu. 2008. *Biogenic Gas System In Eastern Qaidam Basin*. Marine and Petroleum Geology 25 344-356.
- Darmawan, Sigit, Hernowo Danu Saputro, Tony Yuianto. 2012. *Interpretasi Data Anomali Medan Magnetik Total untuk pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Mud Volcano (Studi Kasus Bledug Kuwu Grobogan)*. Jurnal Geofisika Vol. 13 No. 1/2012. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Faturachman, A., Arifin,L., Nasrun, dan Wijatmoko, B., 2007. *Survei Geolistrik Kelautan di Pesisir Pantai Selat Madura Kabupaten Sumenep*. Bandung: Laporan Intern Puslitbang Geologi Kelautan.
- Glabmeier, Karl Heinz. (2009). *Geomagnetic Field Variations*. Berlin: Springer.

- Geofisika UGM 2015. 2019. *Guidebook of Fielcamp 2019*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hedberg. 1964. *Geologic Aspects of the Origin of Petroleum*. Am. Assoc. Bull. Petroleum Geology.
- Hermansyah G. M., G.M. Lucki Junursyah, R.Rahardiawan, D.A.R Ranawijaya. 2018. *Penelitian Potensi Gas Biogenik Perairan Utara Bali Berdasarkan Korlasi Data Geofisika*. Proceeding Collocium.
- Hiskiawan, Puguh. 2016. *Pengaruh Pola Kontur Hasil Kontinuasi Atas Pada Data Geomagnetik Interpretasi Reduksi Kutub*. Jurnal Saintifika. Vol. 18 (01). Jember: Universitas Jember.
- Hunt, Christopher. P., Bruce, M., Moskowitz, Subir, K., and Banerjee. 1996. *Magnetic Properties of Rock and Mineral*. American Geophysical Union. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Koesoemadinata, R. P. 1998. *Geologi Minyak dan Gas Bumi edisi 2 jilid 1 dan 2*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Levorsen, A. I. 1958. *Geology of Petroleum*. Amerika Serikat: University of Virginia.
- Lubis, Syamsu Hidayat., Sutisno dan Litanya Oktonovrilna. 2018. *Analisa Gangguan Medan Magnet Kereta Api Listrik Terhadap Pengamatan Geomagnet*. Jurnal Fisika. Vol. 01 (02). Jakarta: Universitas Islam Negri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Lutfia P.I.A, Mahmud Musta'in, Mukhtashor, Syaiful Bachry. 2012. *Eksplorasi Parameter Fisik Cekungan Migas di Perairan Blok Ambalat Dengan Metode Gravitasi*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, 1-6.
- Moehadi, M. 2011. *Fundamental of Petroleum Geology and Exploration, 06 Cekungan Sedimetasi*.
- Perdana, O. A., Daeng A. S., and Sujito. 2016. *Application Geomagnetic Method To Identification Chromit Mineral's In Sukorejo Village, Kalidawir District, Tulungagung Regency*. Jurnal Fisika. Malang: Physics Departement, State University Of Malang.
- Pertamina, 1996. *Petroleum Geology of Indonesian Basin Volume IV: East Java Basin*. Jakarta: Pertamina BPPKA.
- Pertamina, 2018. *Strengthening Commitment Securing Energy*. Jakarta: Laporan Tahunan PT. Pertamina.
- Rahardiawan, R., 2003. *Laporan Penyelidikan Potensi Gas Biogenik Perairan Selat Madura*. Bandung: Pusat Penelitian Geologi Kelautan.

- Rice, D.D. and Claypool, G.E. 1981. *Generation. Accumulation and Resource Potential of Biogenic Gas*. The American Association of Petroleum Geologists.
- Santoso, Djoko. 2002. *Diktat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Jurusan Teknik Geologi. Bandung: ITB
- Sarkowi Muh. 2010. *Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung: Universitas Lampung.
- Situmorang, R.L., D.A agustianto dan M. suparman.1992. *Geologi Lembar Waru – Sumenep Madura. Bandung*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sukandarrumidi. 2013. *Geologi Minyak Dan Gas Bumi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Telford, W.M. 1976. *Applied Geophysics*. London: Cambridge University.
- Telford, W.M, Geldart, L.P., and Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics (2nd)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wahyudi. 2001. *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi Metode Magnetik)*. Yogyakarta: Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Gadjah Mada.
- Wintolo, Joko. 2011. *Buku Panduan Praktikum Geofisika Eksplorasi*. Yogyakarta: Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Gadjah Mada.
- www.ngdc.noaa.gov/geomag-web (diakses pada 28 Januari 2020).
- Zuraida, R., Budhi, A.S., Dharmawan, B., Hutagaol, J.P., Purwanto, C., 2003. *Kajian Penyebaran Gas Biogenik di Indonesia*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Data Hasil Penelitian

a) Tanggal Akuisisi: 07 Maret 2020

DIRAHASIAKAN

b) Tanggal Akuisisi: 08 Maret 2020

DIRAHASIAKAN



LAMPIRAN III

Gambar Pengambilan Data





KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN FISIKA

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341)57253

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : WindaNurAfni
NIM : 16640050
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Identifikasi Sebaran Gas Biogenik Berdasarkan Analisis Data Geomagnetik (Studi Kasus Desa Batang-Batang Laok Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)
Pembimbing I : Irjan, M. Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M. Pd

No	Tanggal	Materi Konsultasi	Tanda Tangan
1	10 Januari 2020	Konsultasi BAB I, II, III	1
2	04 Februari 2020	ACC BAB I, II, III	2
3	01 April 2020	Konsultasi Data Hasil Akuisisi	3
4	26 Agustus 2020	Konsultasi BAB VI	4
5	08 Oktober 2020	Konsultasi Kajian Agama	5
6	07 Oktober 2020	Konsultasi BAB VI dan ACC	6
7	06 November 2020	Konsultasi Revisi BAB VI, dan V	7
8	06 November 2020	Konsultasi Kajian Agama	8
9	11 November 2020	Konsultasi Semua BAB dan ACC	9

Malang, 21 Desember 2020

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Abdul Basid, M. Si
NIP. 19650504 199003 1 003