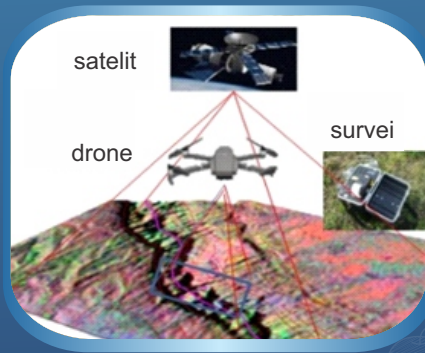


ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI MENJAGA KEBERLANJUTAN PEMBANGUNAN INDONESIA MELALUI EFISIENSI EKSPLORASI MIGAS DENGAN PENGINDERAAN JAUH DAN PEMBELAJARAN MESIN

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU GEODESI DAN GEOMATIKA
BIDANG APLIKASI PENGINDERAAN JAUH
KEPAKARAN APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK
EKSPLORASI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL**



**OLEH:
TRI MUJI SUSANTORO**

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**MENJAGA KEBERLANJUTAN PEMBANGUNAN
INDONESIA MELALUI EFISIENSI EKSPLORASI
MIGAS DENGAN PENGINDERAAN JAUH DAN
PEMBELAJARAN MESIN**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2025 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**MENJAGA KEBERLANJUTAN
PEMBANGUNAN INDONESIA
MELALUI EFISIENSI EKSPLORASI MIGAS
DENGAN PENGINDERAAN JAUH DAN
PEMBELAJARAN MESIN**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU GEODESI DAN GEOMATIKA
BIDANG APLIKASI PENGINDERAAN JAUH
KEPAKARAN APLIKASI PENGINDERAAN JAUH
UNTUK EKSPLORASI ENERGI DAN
SUMBER DAYA MINERAL**

**OLEH:
TRI MUJI SUSANTORO**

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Organisasi Riset Elektronika dan Informatika

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Menjaga Keberlanjutan Pembangunan Indonesia melalui Efisiensi Eksplorasi Migas dengan
Penginderaan Jauh dan Pembelajaran Mesin/Tri Muji Susantoro-Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

xvi + 112 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

1. Penginderaan jauh
3. Eksplorasi

2. Pembelajaran mesin
4. Minyak dan gas bumi

621.3678

Copy editor : Meita Safitri
Proofreader : Martinus Helmiawan
Penata Isi : Meita Safitri
Desainer Sampul : Meita Safitri

Edisi pertama : November 2025



Diterbitkan oleh:

Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id



PenerbitBRIN



@Penerbit_BRIN



@penerbit.brin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	xi
PRAKATA PENGUKUHAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
II. PERKEMBANGAN APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK KEGIATAN MIGAS	7
A. Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Eksplorasi Migas sebelum Tahun 2000	8
B. Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Eksplorasi Migas setelah Tahun 2000	12
C. Perkembangan Pembelajaran Mesin untuk Kegiatan Migas	14
III. PENGEMBANGAN METODE PENGOLAHAN DATA PENGINDERAAN JAUH UNTUK EKSPLORASI MIGAS ...	17
A. Pemetaan Geologi untuk Eksplorasi Migas di Indonesia	17
B. Pengembangan Metode Pembelajaran Mesin untuk Eksplorasi Migas.....	23
C. Pengembangan Metode Deteksi Anomali Permukaan untuk Membedakan Prospek atau non Prospek Migas	31
IV. KONTRIBUSI APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK EKSPLORASI MIGAS.....	37
V. REKOMENDASI DAN TANTANGAN APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK EKSPLORASI MIGAS ...	45
VI. KESIMPULAN	49
VII. PENUTUP.....	51

UCAPAN TERIMA KASIH	53
DAFTAR PUSTAKA.....	57
DAFTAR PUBLIKASI.....	73
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	87
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	91

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta cekungan sedimen di Indonesia.	3
Gambar 1.2	Kerangka berpikir naskah orasi.	6
Gambar 2.1	Tahapan kegiatan migas.	8
Gambar 3.1	Peta geologi cekungan Memberamo, Papua.	18
Gambar 3.2	Peta potensi batuan induk cekungan Memberamo.	19
Gambar 3.3	Berbagai kenampakan satuan batuan dari data penginderaan jauh.	20
Gambar 3.4	Kenampakan struktur batuan dan sungai purba.	21
Gambar 3.5	Peta potensi aspal di pulau Buton.	22
Gambar 3.6	Distribusi akurasi model berbasis <i>random forest</i>	25
Gambar 3.7	Peta prediksi area eksplorasi migas.	26
Gambar 3.8	Peta tumpang susun <i>paleograbens</i> dengan potensi migas.	28
Gambar 3.9	Peta potensi migas Pulau Jawa.	29
Gambar 3.10	Peta <i>grain size index</i> dan pola aliran.	32
Gambar 3.11	Peta <i>clay index</i>	33
Gambar 3.12	Peta distribusi smektit.	34
Gambar 3.13	Model anomali permukaan.	36

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Hasil pengujian parameter <i>Ntree</i> , <i>Mtry</i> dan <i>Node Size</i>	25
Tabel 3.2	Simulasi variabel untuk eksplorasi migas di pulau Jawa menggunakan <i>random forest</i>	30
Tabel 3.3	Jumlah potensi area eksplorasi migas berdasarkan klasifikasi random forest.	30

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Dr. Tri Muji Susantoro, S.T., M.Sc., lahir di Brebes, pada bulan Desember 1976 adalah anak ketiga dari Bapak H. Saryo A.Md. dan Ibu Hj. Watiah (almh) Menikah dengan A. Ni'mah S.Pd., M.M dan dikaruniai tiga orang anak, yaitu Muhammad Yusuf Al Azmi, Farras Fakhрил Anam, dan Fatimah Azzahra.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 56/M Tahun 2024 tanggal 27 Agustus 2024 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 199/1/HK/2025 tanggal 7 Oktober 2025 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Langkap II, tahun 1989, Sekolah Menengah Pertama Negeri I Bumiayu, tahun 1992, dan Sekolah Menengah Atas Negeri I Bumiayu, tahun 1995. Memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Universitas Diponegoro tahun 2000, gelar Master of Science dari Universitas Gadjah Mada tahun 2009, dan gelar Doktor bidang Geodesi dan Geomatika dari Institut Teknologi Bandung, tahun 2019.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: analisis pasang surut dan leveling di Jakarta (tahun 1998), penginderaan jauh dan SIG di Jakarta

(tahun 1999, 2003, 2004, 2013, 2018), ISO 14000 & OHSAS 18000 di Jakarta (tahun 2004), pembuatan dokumen paten migas dan lisensinya di Jakarta (tahun 2004), *Tim capacity building* di Jakarta (tahun 2004), *professional selling skills* di Bogor (tahun 2005), diklat peneliti di Bogor (tahun 2005 dan 2013), pemetaan topografi dengan *electric total station* di Cepu (tahun 2006), *mineral exploration and GIS/remote sensing* di Daijon (tahun 2009), *effective communication skill* di Jogjakarta (tahun 2012), *leadership training for middle managers* di Jakarta (tahun 2013), *image processing for geologic investigation* di Jogjakarta (tahun 2014), model bisnis dan penyusunan rencana bisnis berbasis teknologi di Padalarang (tahun 2014), penyusunan proposal penelitian di Cibinong (tahun 2015), *carbon capture and storage* di Jakarta (tahun 2015), *mobile mapping system* di Bandung (tahun 2016), penulisan karya tulis ilmiah di Bogor, Bandung dan Sentul (tahun 2017), *software Supermap* di Bandung (tahun 2017), *drilling operation for geologists* di Jakarta (tahun 2018), *clastic exploration & reservoir sedimentology* di Jakarta (tahun 2019), *the DJI Matrice 200 V2 with micasence & the DJI Matrice 600Pro with hyperspectral sensor* Jakarta (tahun 2020 & 2021), *risk management for public sectors* di Jakarta (tahun 2020), *petroleum geology* di Jakarta (tahun 2022), *communication effectiveness with social style* di Jakarta (tahun 2021), *petroleum geology* di Jakarta (tahun 2022), dan *upstream gas business* di Jakarta (tahun 2022).

Jabatan fungsional Peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/b tahun 2010, Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 2011, Peneliti Ahli Madya golongan IV/c tahun 2022, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/e bidang aplikasi penginderaan jauh tahun 2024.

Menghasilkan 82 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 48 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan 34 dalam bahasa Indonesia. Menghasilkan Kekayaan Intelektual sebanyak 7 buah yaitu 1 paten nasional terdaftar dan 6 hak cipta.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional Peneliti peneliti pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS dan Pusat Riset Geoinformatika, pembimbing penyusunan KTI Orasi Ilmiah Widyaiswara pada Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Daerah Provinsi Banten, pembimbing skripsi (S-1) pada Institut Teknologi Bandung, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Universitas Diponegoro, Universitas Hasanudin dan Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, pembimbing tesis (S-2) pada Institut Teknologi Bandung dan pembimbing disertasi (S-3) pada Institut Teknologi Bandung dan IPB *University*.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai ketua Bidang Aspirasi dan Advokasi PPI Jakarta (2023–2026), anggota Masyarakat Penginderaan Jauh (2005–2022), Ikatan geografi Gadjah Mada (2009–Sekarang), Ikatan Ahli Geologi (2011–2020), Ikatan Surveyor Indonesia (2016), Ikatan Sarjana Oseanologi (2016–2017), Himpunan Peneliti Indonesia (2019–2021), Ikatan Sarjana Kelautan Indonesia (2022–sekarang). Anggota Persatuan Periset Indonesia (2022–sekarang), dan Asosiasi Antariksa Indonesia (2025).

Menerima tanda penghargaan *the Best Leader* (tahun 2024), Periset Berkinerja Tinggi (tahun 2024), Juara 2 Penulisan Opini Media (tahun 2024), Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2013), dan Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2023) dari Presiden RI.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, alahmdulillah atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada hari ini menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“MENJAGA KEBERLANJUTAN PEMBANGUNAN
INDONESIA MELALUI EFISIENSI EKSPLORASI
MIGAS DENGAN PENGINDERAAN JAUH DAN
PEMBELAJARAN MESIN”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

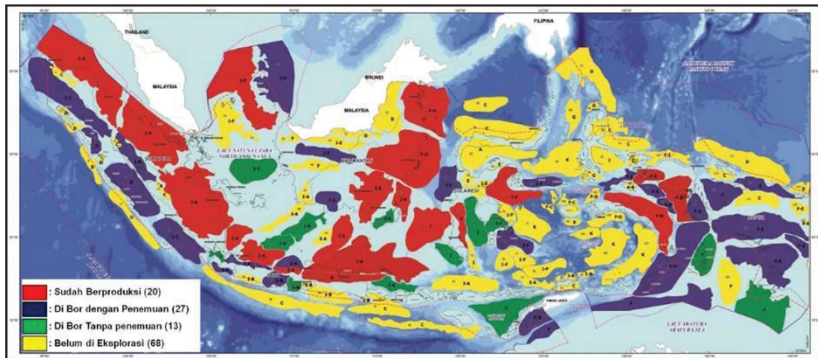
Minyak dan gas bumi (migas) merupakan sumber energi utama yang dipergunakan di permukaan bumi. Di negara-negara *Association of Southeast Asian Nations* (ASEAN), kontribusi energi migas mencapai 55% dari total pasokan energi primer yang ada. Dimana penggunaannya untuk energi terbarukan, batubara, minyak dan gas berturut-turut adalah 20%, 25%, 35% dan 20% (Lau et al., 2022). Kebutuhan energi berbasis migas di berbagai sektor diperkirakan masih dominan dan mencapai lebih 50% pada tahun 2050 (EIA, 2019). Kondisi ini mengakibatkan eksplorasi migas masih terus dilakukan dengan harapan dapat menemukan cadangan baru.

Pemerintah Indonesia mengandalkan migas sebagai sumber energi, dengan menargetkan produksi minyak 1 juta barel minyak per hari (BOPD) dan gas bumi sebesar 12 juta standar kubik *feet* per hari (BSCFD) pada tahun 2030. Hal ini ditegaskan dalam Siaran Pers Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral (ESDM) No. 276.Pers/ 04/SJI/2020. Target tersebut menjadi kebijakan dan strategi sub sektor sumber daya hulu migas yang tercantum dalam Pidato Kenegaraan Presiden Republik Indonesia pada HUT RI ke-76. Sebagai tindak lanjutnya, Kementerian ESDM melalui Siaran Pers No.20.Pers/04/SJI/2022 menjelaskan strategi untuk mencapai target tersebut: optimalisasi lapangan produksi, transformasi sumberdaya ke produksi, percepatan teknologi untuk *chemical enhanced oil recovery* (EOR), dan eksplorasi secara masif. Selain itu, pada Siaran Pers No. 408.Pers/04/SJI/2024, ditegaskan mengenai rencana EOR, pengeboran 1.000 sumur pengembangan per tahun, reaktivasi sumur *idle* sekitar 1.000–1.500 per tahun.

Beberapa proyek strategis nasional juga direncanakan dalam Peraturan Presiden Nomor 58 tahun 2017, yaitu proyek Indonesia *deepwater development* (IDD), pengembangan lapangan Abadi di wilayah kerja Masela, pengembangan lapangan unitisasi gas Jambaran-Tiung Biru dan proyek Tangguh LNG Train-3. Harapannya dapat meningkatkan produksi sekitar 3–5 % per tahun. Potensi lain yang dipertimbangkan dalam meningkatkan produksi minyak adalah eksplorasi minyak berat (Susantoro et al., 2022; Widarsono et al., 2021), ekstraksi *asphalt* (Susantoro et al., 2023a) dan sumber migas non konvensional lainnya.

Target peningkatan produksi migas diharapkan tetap memenuhi komitmen Indonesia untuk mencapai *net zero emission* (NZE) pada tahun 2060. Oleh karena itu, Indonesia juga melaksanakan program transisi energi ke energi terbarukan (Pambudi, 2018; Resosudarmo et al., 2023). Program *carbon capture and storage* (CCS) dan *carbon capture usage and storage* (CCUS) juga dilakukan agar tercapai karbon netral. CCS/CCUS merupakan proses penangkapan dan pemurnian CO₂ dari berbagai sumber CO₂, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), kilang pengolahan gas, dan industri lainnya untuk disimpan dan/atau digunakan untuk EOR atau industri lainnya yang menggunakan bahan baku CO₂ (Rakhiemah & Xu, 2022). Potensi lokasi penyimpanan CO₂ adalah laut dalam (Susantoro, 2015), lapangan migas *depleted* dan formasi *saline aquifers* (Nurkamelia et al., 2024; Susanto et al., 2016b, 2016a; Susantoro et al., 2023a), formasi batubara, dan lapangan geothermal (Fu et al., 2024). Program ini merupakan solusi penting untuk mempertahankan keamanan energi di Indonesia dengan tetap menggunakan bahan bakar fosil (Rakhiemah & Xu, 2022). Program ini juga memudahkan Indonesia dalam proses transisi energi menuju energi baru terbarukan (Susantoro et al., 2025a).

Salah satu aspek penting dalam meningkatkan produksi migas adalah eksplorasi untuk menemukan cadangan baru. Potensi migas di Indonesia masih besar, dimana dari 128 cekungan sedimen yang ada, baru 20 cekungan yang telah memproduksi migas, sedangkan 27 cekungan dengan penemuan migas, 12 cekungan prospek, dan 69 cekungan belum dieksplorasi (Gambar 1.1) (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2022).



Keterangan: Peta cekungan sedimen Indonesia dengan empat kategori. Warna merah sudah berproduksi, biru telah dilakukan pemboran dan ada penemuan, hijau telah dilakukan pemboran tanpa penemuan dan kuning belum di eksplorasi.

Sumber: Ministry of Energy and Mineral Resources (2022)

Gambar 1.1 Peta cekungan sedimen di Indonesia.

Eksplorasi migas biasanya menggunakan metode geologi-geofisika dengan memanfaatkan data seismik, geolistrik, gravitasi dan magnetik. Hasil kajian tersebut diperoleh informasi sumber daya migas berupa *lead* dan prospek yang kemudian ditindaklanjuti dengan pemboran eksplorasi (*wildcat*). Namun demikian terkadang kajian geologi dan geofisika tidak cukup untuk menemukan migas. Tingkat kesuksesan pemboran melalui

kajian tersebut di Indonesia sekitar 40,2% sampai 52,1% pada tahun 1985 sampai 1993. Khusus tahun 1993, terdapat sekitar 114 pemboran eksplorasi, dengan keberhasilannya mencapai 47,3%, yang meliputi penemuan 27 lapangan minyak, 27 lapangan gas, dan 60 sumur lainnya gagal menemukan migas (Romadhon, 2009). Kendala yang terjadi pada kajian geologi-geofisika meliputi proses akuisisi data yang kompleks, biaya yang tinggi dan terkadang terjadi problem sosial dengan masyarakat setempat (Shah, 2006). Metode survei seismik 2D terkadang gagal mendapatkan data seismik dengan kualitas tinggi sehingga tidak memenuhi syarat untuk eksplorasi migas pada strata menengah-dalam (Wei et al., 2012; Zhao et al., 2023). Problem lainnya adalah waktu yang lama untuk interpretasi dan analisisnya, karena datanya sangat besar dan terkadang ada gangguan saat akuisisi (Júnior et al., 2023).

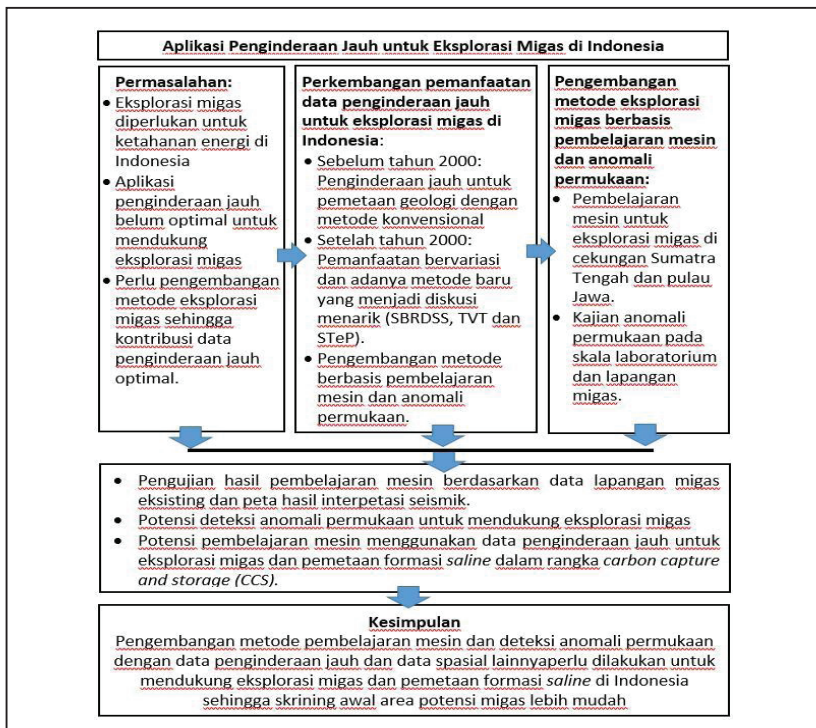
Kajian terintegrasi untuk memadukan kajian geologi-geofisika diperlukan dengan data penginderaan jauh. Penginderaan jauh berperan penting dalam eksplorasi migas sebagai sumber informasi geo-ilmiah spasial pada data geofisika, geokimia dan data log sumuran yang semuanya dapat diintegrasikan dengan sistem informasi geografis (Saha, 2022). Penginderaan jauh merupakan salah satu teknologi yang dapat diandalkan dan efisien untuk eksplorasi migas. Hal ini didukung dengan perkembangan teknologi yang baik dari segi resolusi spasial, resolusi spektral dan temporal (Susantoro & Wikantika, 2017). Teknologi penginderaan jauh untuk eksplorasi migas dapat digunakan untuk interpretasi batuan dan struktur geologi, rona awal lingkungan dan pemetaan potensi migas (Susantoro, Wikantika et al., 2025; Susantoro & Suliantara, 2014). Metode yang dapat digunakan dalam eksplorasi migas adalah pembelajaran mesin dan kajian anomali permukaan yang berpotensi untuk membedakan ada dan/atau tidak adanya migas di bawah

permukaan (Hong, 1999; Lakkaraju et al., 2010; Noomen et al., 2006; Schumacher, 1996; Susantoro, Saepuloh et al., 2020; Van Der Meer et al., 2002).

Di Indonesia, aplikasi penginderaan jauh diakui penting dan kuatkan melalui Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No. 1519 Tahun 1999 tentang Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh dalam Pengawasan dan Pemantauan Kegiatan Pertambangan dan Energi. Data penginderaan jauh juga dimanfaatkan oleh Kontraktor Kontrak Kerjasama (KKKS) migas untuk Kajian Rona Awal Lingkungan (*Environmental Baseline Assessment/EBA*) berdasarkan Pedoman Tata Kerja Nomor: PTK-005/SKKMA000/2018/S0 tentang Pengelolaan Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lindungan Lingkungan di Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi. Data tersebut dimanfaatkan untuk pemetaan geologi, ruang, lahan dan tanah, sebagai dasar pembuatan dokumen EBA. Data penginderaan jauh juga menjadi bagian yang wajib disertakan sebagai dokumen permohonan ijin pinjam pakai kawasan hutan, dan pengembalian lahan pada saat kegiatan migas sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.50/Menlhk/Setjen/Kum.1/6/2016 tentang Pedoman Pinjam Pakai Kawasan Hutan.

Naskah ini membahas penelitian-penelitian yang berkaitan dengan peranan penginderaan jauh untuk kegiatan migas, terutama untuk eksplorasi migas yang efisien di Indonesia. Penelitian tersebut mencakup pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mendukung eksplorasi migas dari awal sampai terminasi wilayah kerja migas. Harapannya hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah mengenai pemanfaatan data penginderaan jauh pada kegiatan migas di Indonesia.

Sistematika penulisan meliputi: (1) Bab 1 pendahuluan, yang berisi latar belakang dan perumusan masalah; (2) Bab 2 perkembangan teknologi penginderaan jauh untuk kegiatan migas; (3) Bab 3 pengembangan metode pengolahan data penginderaan jauh untuk eksplorasi migas; (4) Bab 4 kontribusi pemanfaatan data penginderaan jauh untuk eksplorasi migas; (5) Bab 5 implikasi dan rekomendasi pemanfaatan penginderaan jauh untuk eksplorasi migas; Bab 6 kesimpulan; dan (6) Bab 7 penutup. Kerangka berpikir pada orasi ini dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Keterangan: Alur berpikir penulisan naskah orasi berdasarkan literatur *review* dan pengalaman riset selama dua dekade lebih.

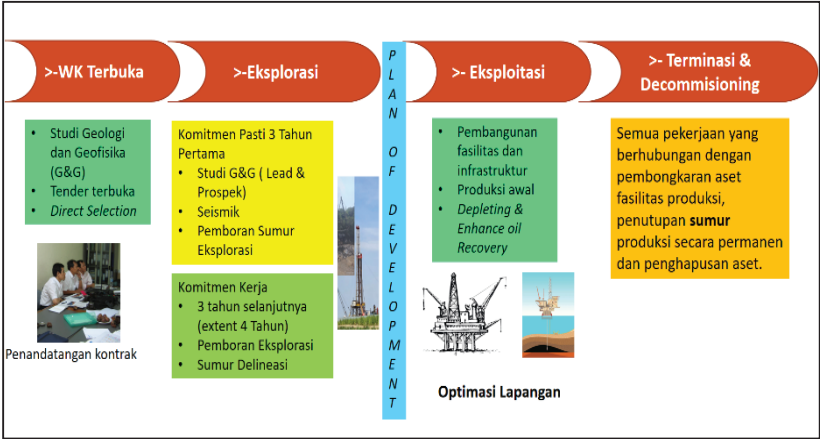
Gambar 1.2 Kerangka berpikir naskah orasi.

II. PERKEMBANGAN APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK KEGIATAN MIGAS

Penginderaan jauh telah digunakan di bidang migas untuk aplikasi geologi selama 3–4 dekade terakhir (Lasica, 2015; Lehman, 2014; Maruyama, 1994; Rivereau & Fontanel, 1976). Pada perkembangannya pemanfaatan penginderaan jauh untuk kegiatan migas dibedakan menjadi dua tahap, yaitu eksplorasi dan eksploitasi migas (Maruyama, 1994). Tahap eksplorasi terdiri dari 3 bagian, yaitu pra-wilayah kerja (WK), WK baru dan eksplorasi, dimana penginderaan jauh digunakan untuk pemetaan geologi, infrastruktur, rembesan migas dan area potensi eksplorasi migas. Kajian lainnya adalah pemetaan situasi dan kondisi lokasi rencana pemboran, *logistic support* untuk perencanaan seismik dan rona awal lingkungan (*environmental baseline assessment/EBA*). Selanjutnya, transisi antara tahap eksplorasi dan eksploitasi adalah tahap *plan of development* (PoD). Pada tahap ini penginderaan jauh digunakan untuk perencanaan detail pengembangan lapangan, seperti jalur pipa, penentuan area fasilitas produksi dan lainnya. Pada tahap eksploitasi, penginderaan jauh bermanfaat untuk monitoring deformasi, potensi kebocoran pipa migas dan monitoring area yang terkena kebocoran migas.

Akhir eksploitasi dan/atau apabila tidak ditemukan cadangan migas baru, WK migas dikembalikan ke pemerintah (terminasi). Pada WK yang telah dieksploitasi, untuk area di darat terkadang perlu dilakukan reklamasi untuk mengembalikan kondisi lahan seperti semula, sedangkan untuk di laut perlu dilakukan *decommissioning* (Pembongkaran peralatan, instalasi dan fasi-

litas penunjang platform). Ada beberapa alternatif dalam proses *decommissioning*, yaitu digunakan kembali untuk tujuan migas, dibongkar total, dibongkar sebagian, di buang pada kolom air yang dalam, dibiarkan ditempat dan ditinggalkan atau digunakan untuk tujuan lainnya, seperti lokasi karang buatan (Desrina et al., 2013). Secara umum tahapan eksplorasi dan eksploitasi migas dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Keterangan: Tahapan kegiatan dalam eksplorasi dan eksploitasi migas di Indonesia mulai dari wilayah terbuka sampai terminasi.

Sumber: Susantoro (2022)

Gambar 2.1 Tahapan kegiatan migas.

A. Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Eksplorasi Migas sebelum Tahun 2000

Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk eksplorasi migas mulai berkembang pesat dengan diluncurkannya Landsat tahun 1972. Data tersebut memudahkan para ahli geologi untuk mendapatkan informasi geologi yang lebih luas dan cepat

dibandingkan dengan teknik konvensional (Goetz & Rowan, 1981). Pemanfaatan penginderaan jauh pada masa ini dicirikan dengan interpretasi visual dari data Landsat series dan radar. Tujuan utamanya adalah untuk pemetaan unit batuan, interpretasi struktur (sesar dan kekar), singkapan batuan dari batuan reservoir dan batuan sumber, distribusi batuan karbonat, dan perencanaan survei lapangan dengan membuat *cross section* penampang geologi (Maruyama, 1994). Fungsi penginderaan jauh adalah sebagai pra-studi dan *reconnaissance* area yang akan dieksplorasi. Hal ini mampu mengurangi sekitar 30% biaya dari kegiatan migas, jika dibandingkan tanpa data penginderaan jauh (Maruyama, 1994).

Proses pengolahan data yang dilakukan pada citra optis meliputi koreksi geometrik, pembuatan *false color composite* (FCC), analisis komponen utama (*principal component analysis/PCA*) penisbahan saluran (*band ratio*), penajaman citra dan filter. Komposit yang digunakan adalah 1,2,7, 4,5,1 dan 4,5,7 RGB (Landsat TM), 7,5,4 RGB (Landsat MSS) (Drury, 1987; Maruyama, 1994; Sabins, 1987). PCA merupakan teknik rotasi spesifik untuk meningkatkan sebaran data melalui pendistribusian ulang dengan tujuan memaksimalkan perbedaan pada data (Drury, 1987). Hasilnya berupa PC1, PC2 dan PC3 yang dikompositkan dalam bentuk RGB sehingga dapat digunakan untuk interpretasi geologi. Penisbahan saluran yang digunakan pada Landsat MSS adalah 4/3 dengan tujuan untuk membedakan tipe vegetasi, dan tanah terbuka, 5/4 untuk membedakan batuan dan tipe tanah, serta 7/5 untuk menajamkan perbedaan tipe tanah seperti tanah kaya karbonat, pasir, lempung dan lanau (Drury, 1987; Sabins, 1987; Susantoro et al., 2009). Pada Landsat TM penisbahan saluran yang digunakan adalah 3/1, 5/7 dan 3/5 RGB sehingga dapat mengekspresikan informasi geologi dan mempunyai kontras yang besar untuk unit batuan yang berbeda

dibanding citra komposit konvensional (Drury, 1987; Sabins, 1987). Pemetaan dengan penisbahan saluran citra Landsat TM 3/1 mempertegas adanya batuan alterasi, dan 5/7 mempertegas adanya mineral alunit dan lempung (Sabins, 1987).

Penggunaan data penginderaan jauh sistem aktif sebelum tahun 2000 didominasi oleh data *synthetic aperture radar* (SAR). Data ini bermanfaat untuk deteksi struktur seperti *dip-slope* (arah dan kemiringan), kekar, sesar dan tipe litologi (Maruyama, 1994). Keuntungan data ini adalah bebas awan dan mampu menembus daun tanaman. Pengolahan data SAR dilakukan dengan metode *filter* untuk meningkatkan kontras suatu objek, dan meningkatkan kenampakan linear pada citra (Sabins, 1987).

Interpretasi data penginderaan jauh pada masa ini sangat dipengaruhi oleh pemahaman interpreter terhadap daerah yang dikaji. Ada empat fase dalam interpretasi (Verstappen, 1978), yaitu (1) deteksi objek-objek yang berbeda pada citra. Dimana objek yang berbeda dilakukan delineasi secara visual. (2) Pengenalan dan identifikasi objek, sehingga dapat dikelaskan sesuai dengan kategori yang diketahui. (3) Proses interpretasi sebagai analisis pada pola yang dibentuk dengan kenampakan objek. Hal ini memerlukan pertimbangan banyak parameter, seperti densitas, relief, pola aliran, vegetasi dan lainnya. (4) Proses interpretasi untuk memastikan semua area dapat diinterpretasi sesuai dengan kelas-kelasnya. Pada interpretasi visual unsur-unsur interpretasi sangat penting untuk dipahami oleh interpreter. Unsur-unsur tersebut antara lain, rona atau warna, tekstur, bentuk, ukuran, bayangan, lokasi, asosiasi dan pola (Gupta, 1991).

Langkah-langkah untuk interpretasi geologi adalah (1) digitasi pada batas perlapisan (*bedding*) yang jelas dan tegas dengan garis menerus, sedangkan pada lapisan yang kurang jelas

menggunakan garis putus-putus yang menunjukkan sebagai batas perkiraan. Pada interpretasi struktur dilakukan penarikan kelurusan, dimana untuk kekar biasanya kelurusan relatif pendek, sedangkan untuk sesar kelurusannya relatif panjang. (2) Interpretasi analisis, dilakukan untuk memastikan batasan perlapisan yang diinterpretasi telah sesuai. Hal ini didasarkan pada unsur pengenalan citra dan unsur interpretasi geologi. Pada interpretasi struktur, antiklin diinterpretasi berdasarkan arah *dip* perlapisan batuan keluar atau menuju arah pembaca atau ditandai adanya *triangle facet* dengan daerah bergelombang hingga berbukit. Pola sinklinal merupakan kebalikan dari antiklin arah *dip* perlapisan batuan ke arah dalam atau menjauhi pembaca, dengan kata lain arah *dip*-nya memusat ke dalam (Suliantara et al., 2021, 2010; Susantoro, 2009a).

Publikasi yang berkaitan dengan aplikasi penginderaan jauh untuk eksplorasi migas ditemukan sekitar 20 makalah pada prosiding *Indonesian Petroleum Association* (IPA) dari tahun 1976–2000 (Susantoro et al., 2023b). Publikasi pada Prosiding LEMIGAS-JICA tahun 1994 ditemukan 6 makalah yang mengulas teknik pengolahan data penginderaan jauh untuk eksplorasi migas dan aplikasinya. Penelitian yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS” dari tahun 1979–2000, ditemukan 7 kajian pemanfaatan penginderaan jauh untuk eksplorasi migas. Data yang digunakan untuk eksplorasi migas pada masa ini adalah Landsat series, SPOT, SAR, *shuttle imaging radar* (SIR) A dan B, foto udara, *Side Looking Airborne Radar* (SLAR), *airborne laser fluorosensor* (ALF) dan digital elevation model (DEM).

Kajian global menunjukkan bahwa sebelum tahun 2000 telah dilakukan uji coba pengenalan spektral untuk menajamkan objek yang berkaitan dengan komposisi bahan organik dan hidrokarbon

(Guo, 1995). Panjang gelombang 2,81 mikrometer (μm) dapat menajamkan kandungan *hydroxyl* oksigen-hidrogen (Cloutis, 1989), sedangkan spektrum yang kuat untuk mengidentifikasi serapan mineral lempung menggunakan panjang gelombang 1,4 μm dan 1,9 μm (Cloutis et al., 1995). Demikian juga kajian-kajian awal identifikasi rembesan mikro dan makro pada reservoirs migas telah dilakukan melalui pengamatan perubahan kondisi vegetasi dan mineral lempung (Guo, 1995; Schumacher, 1996).

B. Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Eksplorasi Migas setelah Tahun 2000

Penggunaan data penginderaan jauh setelah tahun 2000 untuk kegiatan migas cenderung lebih bervariasi. Pemetaan geologi masih memegang peranan penting, namun metodenya semakin berkembang. Selain interpretasi manual, PCA, dan penisbahan saluran juga telah dilakukan pemetaan geologi menggunakan *spectral angle mapper* (SAM) yang dapat memetakan geologi dengan baik dengan data Landsat TM (Girouard et al., 2004). Beberapa algoritma baru menggunakan data ASTER juga telah ditemukan, seperti indeks kaolinit, indeks batuan induk, indeks silica, indeks karbonat, indeks dolomit dan lainnya (Everett et al., 2002).

Kajian menggunakan penginderaan jauh juga dilakukan untuk deteksi fasilitas migas, rona awal lingkungan (Bao, 2024; Lord, 2017), *logistic support* untuk mendukung perencanaan seismik tiga dimensi sehingga peletakan *recording* dan dinamit bisa menghindari daerah terlarang, pemukiman, fasilitas umum, daerah padat bagan ikan dan daerah sensitif lainnya (Attwa et al., 2024; Bondur, 2011; Susantoro et al., 2005; Susantoro & Wikantika, 2015), dan perencanaan jalur pipa (Lord, 2017;

Susantoro & Suliantara, 2010). Pada kajian ini dilakukan menggunakan data penginderaan jauh resolusi spasial tinggi. Hal ini karena objek yang dianalisis relatif detail.

Penelitian lain yang dilakukan untuk mendukung kegiatan migas dan dampaknya antara lain: monitoring semburan lumpur Sidoarjo (Prasetyo & Susantoro, 2010; Susantoro, 2011; Wicaksono & Isa, 2022), kajian potensi permasalahan sosial dan lingkungan pada pengembangan lapangan migas (Abdoli et al., 2024; Crystiana & Susantoro, 2013), deteksi pencemaran minyak di laut (Faristyan, Suhadha et al., 2024; Matahelemual et al., 2020; Susantoro et al., 2010) dan dampak pertambangan terhadap perubahan lahan (U. C. Nugroho et al., 2024; Susantoro, 2010). Disamping itu dilakukan penelitian pola spektral untuk membedakan berbagai tipe *mud volcano* yang berasosiasi dengan migas (Susantoro et al., 2016b).

Pada masa ini terjadi perkembangan signifikan metode pengolahan data dan interpretasi geologi, antara lain (1) penggabungan penisbahan saluran dengan *digital elevation model* (DEM) untuk menajamkan efek topografi yang memudahkan dalam membedakan antiklin, sinklin dan berbagai jenis batuan (Suliantara et al., 2010; Susantoro, 2009b; Susantoro et al., 2009). (2) Identifikasi anomali topografi untuk memperkirakan kemenerusan struktur antiklin dari bawah permukaan, baik berdasarkan morfologi ataupun *water index*, dan *soil grain size* (Crystiana et al., 2014, 2015; Susantoro et al., 2023c; Yokoyama & Pike, 2002). (3) Mengkaji hubungan kelurusan (*lineament*) permukaan hasil interpretasi data Landsat 8 dan SRTM dengan data *gravity* untuk memperkirakan area potensi minyak berat (Susantoro et al., 2022). (4) Eksplorasi migas menggunakan pembelajaran mesin untuk mengidentifikasi area potensi migas dengan variabel yang diturunkan dari data penginderaan jauh,

gravity dan data bawah permukaan lainnya (Susantoro et al., 2023d). (5) Kajian anomali permukaan akibat adanya migas di bawah permukaan berupa alterasi mineral lempung (Petrovic et al., 2008; Van Der Meer et al., 2002), deteksi vegetasi yang mengalami cekaman/*stress* (Arellano et al., 2015; Noomen et al., 2006; Smith et al., 2004), dan anomali gas radon yang dihubungkan dengan kelurusan dan rembesan migas (Sikka & Shives, 2001; Susantoro et al., 2020a).

Kajian terintegrasi berbagai metode dan data telah dikembangkan juga, seperti deteksi potensi migas berdasarkan cekaman vegetasi dan kelurusan (Lestari et al., 2022; Saha, 2022; Van Der Meer et al., 2002), dan deteksi potensi area migas berdasarkan data geologi, *gravity*, peta alir bahang (*heatflow*), peta ketebalan sedimen dan peta batuan induk (*sources rock*) untuk melokalisir area eksplorasi (Susantoro & Suliantara, 2014).

C. Perkembangan Pembelajaran Mesin untuk Kegiatan Migas

Aplikasi pembelajaran mesin untuk eksplorasi migas menggunakan data penginderaan jauh masih sangat minim dan belum berkembang. Kajian berbasis pembelajaran mesin untuk kegiatan migas dominan digunakan untuk pemetaan karakteristik reservoir, simulasi seismik, dan prediksi data petrofisika (Yang et al., 2023), serta deteksi kemungkinan *failure* dalam pemboran dan sebagai program untuk koleksi data geologi dari log sumur (Sircar et al., 2021). Kajian pembelajaran mesin untuk pengolahan data seismik berdasarkan segmentasi semantik dengan model *convolutional long term memory* (convLSTM) menunjukkan hasil yang baik untuk eksplorasi gas (Júnior et al., 2023). Metode pembelajaran mesin lainnya adalah jaringan saraf

tiruan dan algoritma Viterbi yang efisien untuk pengolahan data seismik dan evaluasi struktur reservoir gas (Zhang et al., 2023). Kajian lainnya adalah penggunaan metode *convolutional neural network* (CNN) untuk prediksi parameter fisik, *lithofacies*, rekonstruksi data log, dan dikombinasikan dengan data seismik sehingga dapat mengenali kesalahan secara otomatis dan inversi data seismik (Li, 2023).

Data penginderaan jauh untuk eksplorasi migas menggunakan pembelajaran mesin dan deteksi anomali permukaan dapat diimplementasikan karena migas di bawah permukaan seringkali tercermin sampai permukaan melalui anomali geomorfologi dan pola drainase (Hong, 1999; Schumacher, 1996; Yokoyama & Pike, 2002), anomali botani dari cekaman vegetasi (Noomen et al., 2006; Van Der Meer et al., 2002), alterasi mineral lempung dan pemucatan lapisan tanah (Cloutis et al., 1995; Susantoro et al., 2020b) dan timbulnya rembesan migas (Hong, 1999; Noomen et al., 2006; Schumacher, 1996; Susantoro et al., 2020b; Van Der Meer et al., 2002). Adanya rembesan di permukaan juga menunjukkan berhubungan spasial dengan struktur geologi, dimana rembesan sering terjadi pada sesar naik dan puncak antiklin yang terkikis. Intensitas rembesan dipengaruhi oleh tektonik, dan terkonsentrasi pada diatas tektonik yang khas, seperti diaper aktif, patahan aktif dan tepian cekungan yang terangkat.

Kajian berbasis pembelajaran mesin untuk kegiatan migas dan pertambangan yang telah dilakukan adalah membedakan areal pertambangan dan non tambang (Nugroho et al., 2023). Adapun aplikasi penginderaan jauh dan pembelajaran mesin untuk eksplorasi migas telah dilakukan di cekungan Sumatra Tengah (Susantoro et al., 2023d), dan pulau Jawa (Susantoro et al., 2025a). Hasilnya menunjukkan akurasi yang baik dan sesuai dengan hasil interpretasi seismik dan eksisting lapangan di lokasi kajian.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

III. PENGEMBANGAN METODE PENGOLAHAN DATA PENGINDERAAN JAUH UNTUK EKSPLORASI MIGAS

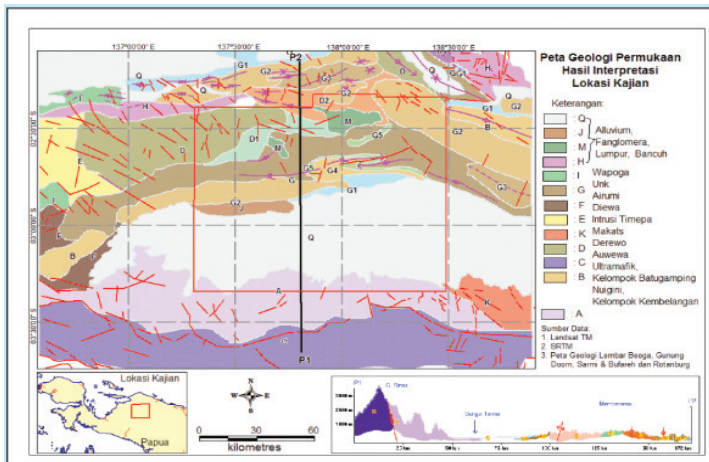
Pengembangan metode pengolahan data penginderaan jauh untuk efisiensi eksplorasi migas telah dilakukan pada berbagai macam kasus dan wilayah studi di Indonesia. Beberapa metode aplikasi penginderaan jauh untuk eksplorasi migas telah dikembangkan untuk berbagai permasalahan, antara lain: (1) Pemetaan geologi; (2) Pengembangan pembelajaran mesin; dan (3) Pengembangan metode deteksi anomali permukaan untuk membedakan prospek atau non prospek migas. Metode-metode tersebut baik berbasis interpretasi manual maupun digital dengan kajian yang bersifat laboratorium dan lapangan. Hasilnya memberikan pemahaman baru tentang optimalisasi pemanfaatan data penginderaan jauh untuk eksplorasi migas di Indonesia. Berikut ini dijabarkan sari-pati hasil-hasil riset yang telah dilakukan.

A. Pemetaan Geologi untuk Eksplorasi Migas di Indonesia

Kondisi geologi merupakan hal penting dalam eksplorasi migas. Oleh karena itu dalam eksplorasi migas, hal awal yang dilakukan adalah identifikasi geologi daerah kajian. Interpretasi data penginderaan jauh untuk pemetaan geologi dominan dengan interpretasi *visual*. Pada kegiatan ini pemahaman geologi suatu daerah sangat diperlukan oleh interpreter untuk menghasilkan peta geologi yang baik dan benar. Pemetaan geologi untuk eksplorasi migas telah dilakukan di *south upper* Kutai, Kalimantan Timur menggunakan citra PALSAR sehingga dapat menggambarkan kondisi geologi lokasi tersebut (Suliantara

et al., 2010). Hasil kajian mampu mengidentifikasi dua puluh empat unit litologi dan struktur geologi, dan dapat diidentifikasi area tersebut berkembang struktur antiklin, sinklin, sesar dan kekar, dengan arah *northeast-southwest* (NE-SW).

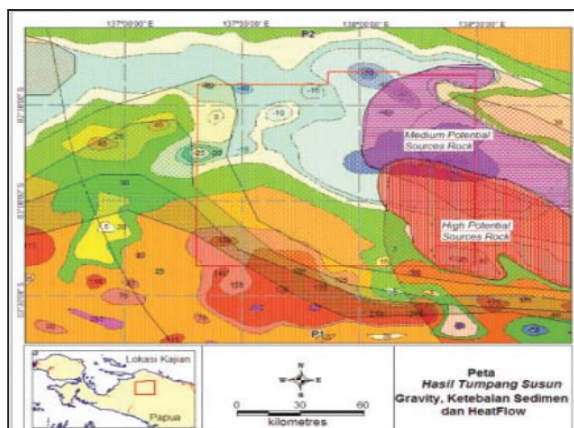
Kajian lain telah dilakukan pada cekungan *frontier* Memberamo menggunakan data Landsat *Thematic Mapper* (TM) dan SRTM (Susantoro & Suliantara, 2014). Hasilnya dapat mengidentifikasi potensi adanya gas yang diperkirakan muncul bersama *mud volcano* di daerah danau Bira. Hasil interpretasi geologi dan penampang permukaan cekungan Memberamo dapat dilihat pada Gambar 3.1. Analisis lebih lanjut dengan melakukan tumpang susun antara peta gaya berat, peta alir bahang (*heat-flow*) dan peta ketebalan sedimen dapat mengidentifikasi adanya potensi batuan induk berada di sebelah timur lokasi kajian (Gambar 3.2).



Keterangan: Peta geologi hasil interpretasi Landsat TM dan SRTM.

Sumber: Susantoro & Suliantara (2014)

Gambar 3.1 Peta geologi cekungan Memberamo, Papua.



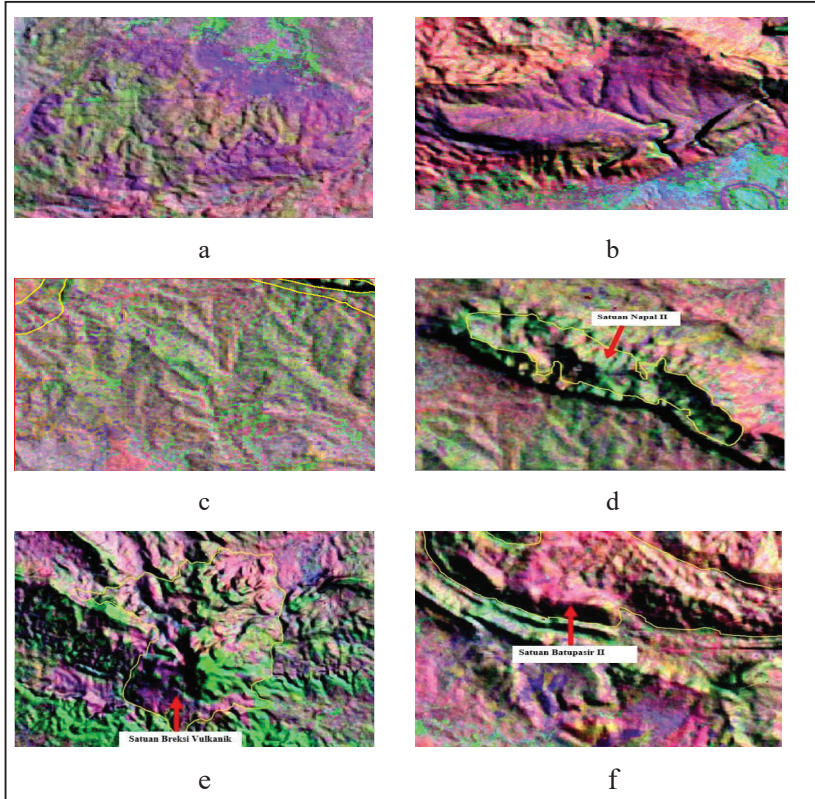
Keterangan: Peta hasil overlay berbagai data spasial untuk penentuan potensi batuan induk potensi migas.

Sumber: Susantoro & Suliantara (2014)

Gambar 3.2 Peta potensi batuan induk cekungan Memberamo.

Pada pemetaan geologi telah dilakukan kajian pengolahan data penginderaan jauh untuk optimalisasi data penginderaan jauh. Berbagai metode telah dilakukan, seperti citra komposit berbasis *optimum index factor* (OIF), *principal component analysis* (PCA) dan penisbanan saluran (*band ratio*) 3/1, 5/7 dan 3/5 (RGB) untuk mendapatkan hasil interpretasi terbaik. Demikian juga pengembangan metode fusi dari citra OIF, PCA dan penisbanan saluran dengan SRTM melalui proses *topographic modeling* (Susantoro, 2009b, 2009a; Susantoro et al., 2009). Hasil kajian ini menunjukkan citra penisbanan saluran merupakan citra komposit yang terbaik berdasarkan unsur interpretasi geologi, dan kenampakan geologinya. Hal ini didukung oleh pendapat para *geologist* berdasarkan kuesioner yang dibagikan. Hasil kajian di area Bojonegoro dan sekitarnya

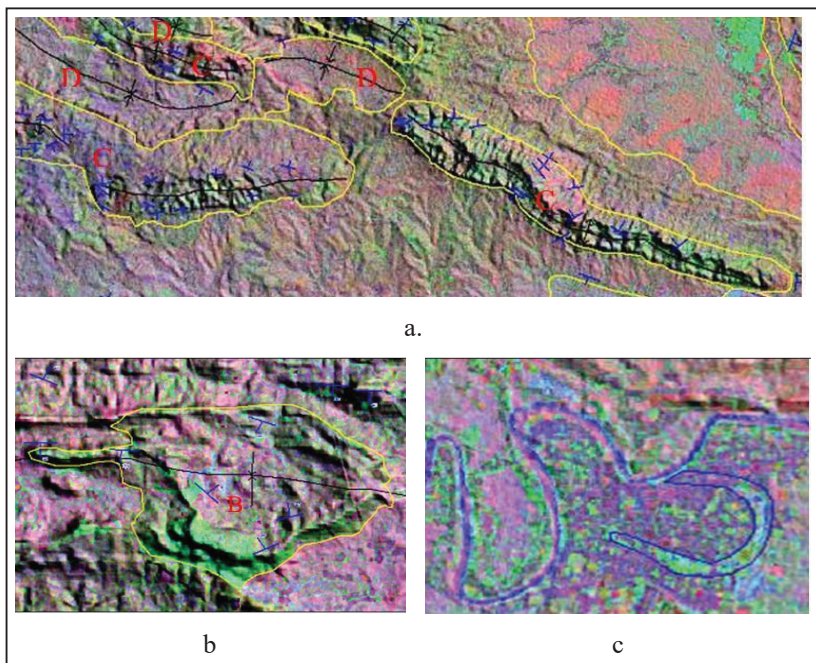
dapat membedakan beberapa satuan batuan, seperti batu gamping, batu lempung, batu lanau, breksi vulkanik dan lainnya (Gambar 3.3). Hasil kajian ini juga dapat membedakan antara struktur antiklin, sinklin, dan sungai purba (Gambar 3.4).



Keterangan: Kenampakan satuan batuan hasil pengolahan Landsat 7 ETM⁺ dan SRTM a. Batugamping anggota dander, Batugamping formasi paciran, c. Satuan batulempung formasi lidah, d. Satuan batu napal/lanau formasi Wonocolo, e. Satuan breksi vulkanik, f. Satuan batupasir.

Sumber: Susantoro (2009a)

Gambar 3.3 Berbagai kenampakan satuan batuan dari data penginderaan jauh.



Keterangan: Hasil pengolahan data Landsat 7 ETM+ dan SRTM
a. Kenampakan struktur antiklin dan sinklin, b. Kenampakan struktur sinklin,
c. Kenampakan sungai purba berbentuk tapal kuda.

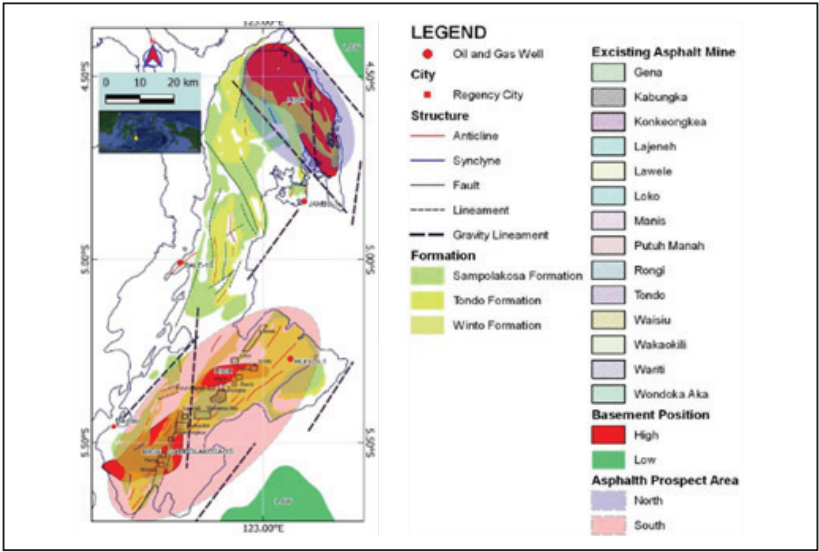
Sumber: Susantoro (2009a)

Gambar 3.4 Kenampakan struktur batuan dan sungai purba.

Kajian struktur geologi telah dilakukan juga untuk identifikasi potensi lokasi migas, berupa minyak berat dan aspal. Analisis geologi dari data Landsat series, selanjutnya dilakukan tumpang susun dengan hasil interpretasi geologi dari data gaya berat mampu menemukan hubungan antara kelurusan (*lineament*) permukaan dan bawah permukaan. Hasilnya menunjukkan keberadaan potensi minyak berat berada di tepi tinggian, ter-

utama di area kemenerusan struktur bawah permukaan ke struktur permukaan (Suliantara et al., 2021; Widarsono et al., 2021).

Kajian area potensi aspal di pulau Buton berdasarkan interpretasi kelurusan dari data SRTM telah dilakukan untuk menghasilkan peta struktur permukaan. Hasilnya kemudian dilakukan tumpang susun dengan kelurusan hasil interpretasi data gaya berat untuk mengidentifikasi potensi kandungan aspal. Hasil kajian dapat mengidentifikasi potensi keberadaan aspal Buton berkaitan erat dengan formasi batuan dan struktur geologi lipatan dan struktur patahan sebagai jalur migrasi. Adanya struktur lipatan yang terangkat menyebabkan formasi Tondo dan sampolakosa tersingkap yang erat kaitannya dengan keberadaan aspal (Widarsono et al., 2023). Peta potensi aspal di pulau Buton dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Keterangan: kiri, peta potensi aspal, kanan: legenda peta

Sumber: Widarsono et al. (2023)

Gambar 3.5 Peta potensi aspal di pulau Buton.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

B. Pengembangan Metode Pembelajaran Mesin untuk Eksplorasi Migas

Kajian pemanfaatan data penginderaan jauh menggunakan pembelajaran mesin untuk eksplorasi migas merupakan hal yang baru. Konsepnya, berdasarkan adanya anomali mineral sebagai adanya indikasi *microseepage* di lapangan migas (Susantoro et al., 2020b), adanya struktur geologi tertentu yang mencerminkan adanya migas, dan rembesan minyak dan gas, dan hubungan struktur geologi permukaan dan bawah permukaan (Suliantara et al., 2021; Susantoro et al., 2022; Widarsono et al., 2021).

Kajian ini dilakukan di cekungan Sumatera Tengah menggunakan data penginderaan jauh Landsat 8 OLI, SRTM, DEM dan didukung dengan peta *gravity*, peta geologi dari Pusat Survei Geologi dan peta bawah permukaan yang berasal PPPTMGB LEMIGAS. Data *training* dan *testing* pada kajian ini berupa data sumur migas dan lapangan migas yang bersumber dari PPPTMGB LEMIGAS dan SKK Migas. Verifikasi data tersebut dilakukan menggunakan *google earth* dan survei lapangan. Penentuan kelas data *training* dan *testing* dibedakan menjadi dua grup, area potensi migas dan non potensi migas. Data training dan testing area potensi migas merupakan sumur dan lapangan migas, sedangkan area non potensi migas berupa singkapan batuan, area vulkanik, area sinklin, area *flank* yang diperkirakan sebagai lokasi di luar lapangan migas. Hasil kajian menunjukkan *random forest* (RF) lebih baik dibandingkan dengan *support vector machine* (SVM). Akurasi keseluruhan RF mencapai 97%, sedangkan SVM sekitar 81,5%, dan statistik Kappa berturut-turut adalah 0,97 dan 0,79 (Susantoro, 2022a; Susantoro et al., 2023d). RF mampu memodelkan interaksi kompleks antara variabel input dan kuat dalam hal *outlier* sehingga menjadi salah satu metode prediksi yang paling tepat untuk klasifikasi dan regresi (Wang dkk., 2016). Keuntungan lainnya RF tidak mengalami

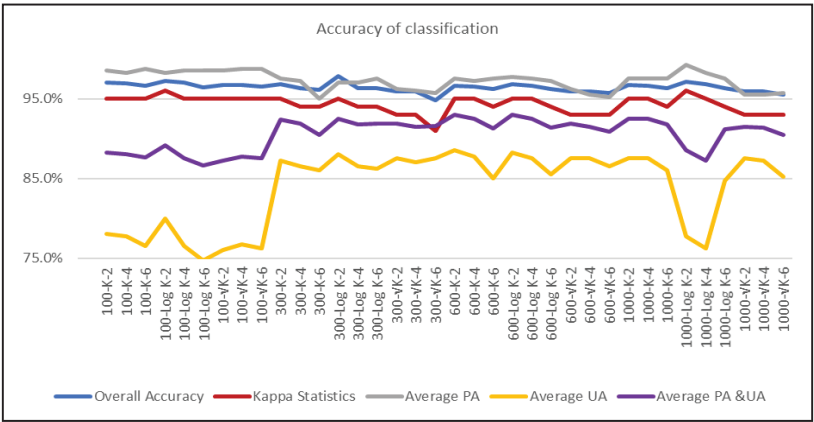
kendala dengan menggunakan variabel yang banyak, parameter yang diperlukan lebih simpel dan mudah untuk didefinisikan, dan dapat digunakan dengan kumpulan data yang besar (X. liang Jin et al., 2013; Speiser et al., 2015; Wikantika et al., 2023).

Simulasi parameter pada 12 model klasifikasi RF telah dilakukan dan menemukan parameter *Ntree*, *Mtry* dan *Node Size* terbaik adalah 600, K dan 2 (Tabel 3.1). Hasil lainnya menemukan bahwa parameter *Mtry* lebih berpengaruh pada hasil klasifikasi dibandingkan dengan parameter *Ntree*, dan *Node Size* (Susantoro et al., 2023d). Simulasi ulang di pulau Jawa dilakukan untuk menghasilkan parameter terbaik dalam klasifikasi RF menggunakan 36 model (Gambar 3.6). Hasilnya diperoleh 4 model terbaik untuk klasifikasi *random forest*, yaitu *Ntree*, *Mtry* dan *node size* berturut-turut adalah 600, K, 2; 600 log K, 2; 600, log K, 4; 1000, K, 4. Keempat model tersebut mempunyai rata-rata *producer's* akurasi dan *user's* akurasi yang sangat baik dibandingkan 32 model lainnya, yaitu 93%, akurasi keseluruhan dan statistik Kappa diatas 96% dan 0.95. Hasil simulasi ini menemukan bahwa *Ntree* yang kurang dari 300 menyebabkan *user's* akurasi menjadi rendah, yaitu kurang dari 80%, penggunaan *node size* 6 menyebabkan terjadinya penurunan akurasi keseluruhan, statistik Kappa, *producer's accuracy* dan *user's accuracy*. Penggunaan *node size* 2 dan 4 dapat menghasilkan akurasi yang lebih baik. Adapun perbedaan penggunaan *Mtry*, VK, K dan Log K menyebabkan fluktuasi akurasi yang sangat berbeda antara model. Hal ini menguatkan penemuan sebelumnya, dimana *Mtry* lebih berpengaruh terhadap hasil akurasi dibandingkan dengan *Ntree*. Hasil ini juga menemukan bahwa penggunaan *Ntree* 1000 tidak efisien, hanya menambah waktu dalam proses klasifikasinya.

Tabel 3.1 Hasil pengujian parameter *Ntree*, *Mtry* dan *Node Size*.

No	Ntree, Mtry dan Node Size	Kode	Uji Statistik	
			Kappa	Akurasi keseluruhan
1	300, K½, dan 6	(1)	91.8%	92.7%
2	600, K½, dan 6	(2)	91.9%	92.8%
3	1000, K½, dan 6	(3)	91.8%	92.7%
4	300, K½, dan 2	(4)	91.7%	92.7%
5	600, K½, dan 2	(5)	91.5%	92.4%
6	1000, K½, dan 2	(6)	92.9%	92.0%
7	300, K, dan 6	(7)	96.5%	96.9%
8	600, K, dan 6	(8)	96.7%	97.1%
9	1000, K, dan 6	(9)	96.4%	96.9%
10	300, K, dan 2	(10)	96.5%	96.9%
11	600, K, dan 2	(11)	96.9%	97.3%
12	1000, K, dan 2	(12)	96.5%	96.9%

Sumber: Susantoro et al. (2023d)

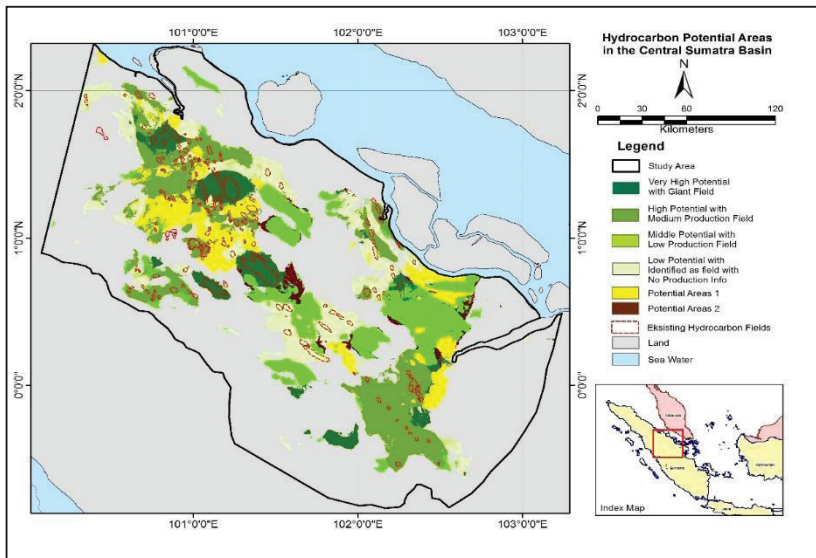


Keterangan: Analisis 36 model parameter random forest dengan variabel data penginderaan jauh dan geospasial lainnya

Sumber: Susantoro et al. (2025a)

Gambar 3.6 Distribusi akurasi model berbasis *random forest*.

Hasil klasifikasi RF untuk eksplorasi migas di cekungan Sumatera Tengah dengan 32 variabel yang diturunkan dari data penginderaan jauh menghasilkan akurasi keseluruhan 96,2% dan statistik Kappa 0,96. Efisiensi variabel dengan pengurangan variabel yang mempunyai nilai permutasi penting rendah menjadi 10 variabel menghasilkan akurasi keseluruhan yang sama, 96,5% dan statistik Kappa 0,96 (Gambar 3.7). Berdasarkan hasil tersebut tidak ada perbedaan yang signifikan antara penggunaan 32 variabel dan 10 variabel dengan nilai permutasi penting tinggi pada klasifikasi RF untuk eksplorasi migas.



Keterangan: Tumpang susun peta prediksi area potensi migas di cekungan Sumatera Tengah dengan lapangan migas eksisting

Sumber: Susantoro & Wikantika (2022)

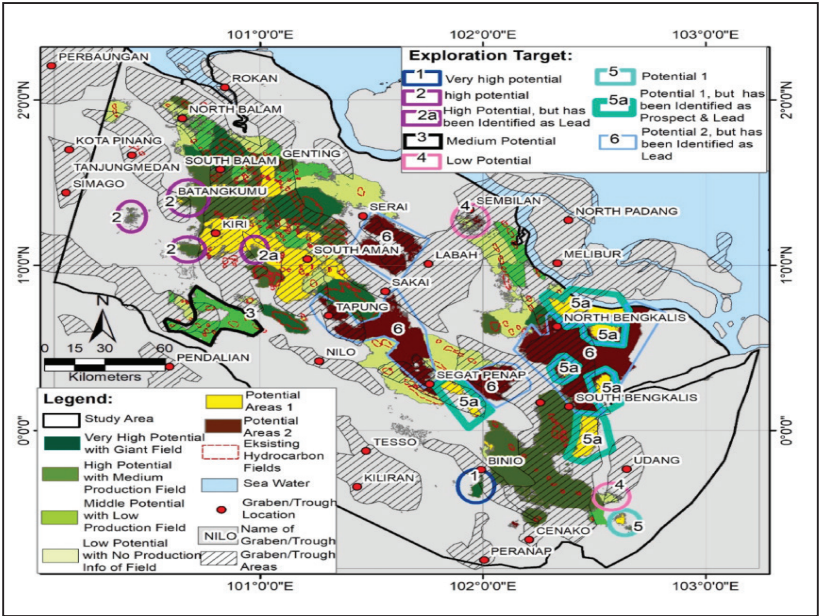
Gambar 3.7 Peta prediksi area eksplorasi migas.

Integrasi data penginderaan jauh dengan variabel bawah permukaan (*gravity* dan turunannya berupa kelurusan dengan azimuth 0° , dan 135° ; data peta batuan dasar) pada klasifikasi RF untuk eksplorasi migas menghasilkan peningkatan akurasi keseluruhan mencapai 97,3% dan statistik Kappa 0.97 (Susantoro et al., 2023d). Sebagai perbandingan pada klasifikasi SVM dengan variabel yang sama menunjukkan akurasi yang lebih rendah, yaitu akurasi keseluruhan 81,5% dan statistik Kappa 0,79.

Tumpangsusun hasil klasifikasi RF dengan peta paleograben menunjukkan bahwa potensi area migas baru di cekungan Sumatera Tengah berada di paleograben Balam Selatan, Serai Balam Utara, Aman Selatan, Tapung, Pendalian, Segat, Sembilan, Bengkalis Selatan, Bengkalis Utara dan Binio (Gambar 3.8). Kajian ini menemukan bahwa migas di cekungan Sumatera Tengah berada di sekitar batuan induknya, dengan migrasi yang tidak jauh (Susantoro et al., 2023d). Hasil ini juga menemukan bahwa di Sumatera Tengah keberadaan migas lebih dikontrol oleh struktur kelurusan. Analisis mengindikasikan bahwa kelurusan merupakan jalur migrasi minyak dari *kitchen* yang terletak di daerah *graben* terutama di Aman Trough.

Kajian pembelajaran mesin untuk eksplorasi migas juga dilakukan di Pulau Jawa menggunakan 51 variabel yang diturunkan dari data Landsat 8 Operational Land Imager (OLI), *The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan Gravity. Hasilnya menemukan bahwa variabel yang banyak dapat menyebabkan gangguan, yang dicirikan dengan variabel dengan nilai *permutation importance* rendah (Susantoro et al., 2023d). Hasil ini menemukan bahwa variabel tidak penting untuk eksplorasi migas dengan RF adalah turunan data ASTER,

yaitu indeks kuarsa, indeks *general alteration*, indeks *granite-diorite-gabro-peridotite*, indeks *ferric ion*, indeks dolomite, indeks carbonate chlorite epidolite, indeks *clay*, indeks kaolinit, indeks *ferrous ion*, indeks karbonat, turunan data Landsat, yaitu indeks *ferric*, dan turunan data SRTM, yaitu *aspect* (Susantoro et al., 2025a).



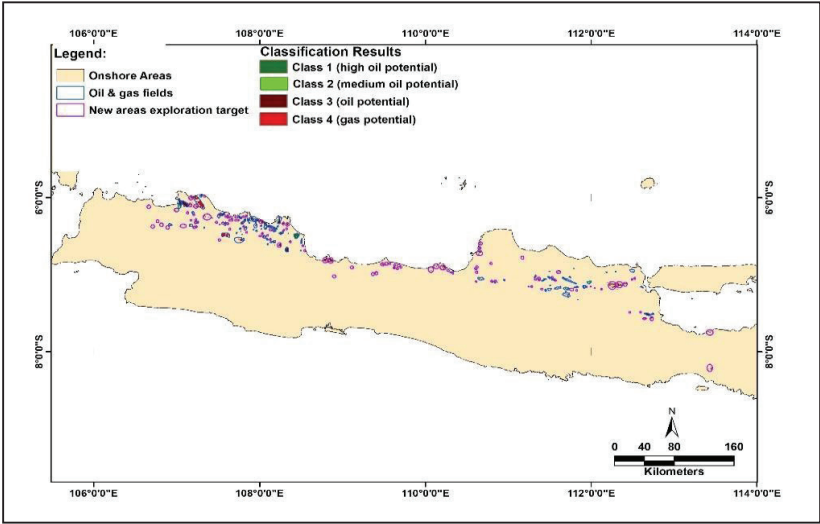
Keterangan: Peta yang menunjukkan kesesuaian hasil analisis potensi migas dengan paleograbén cekungan Sumatera Tengah.

Sumber: Susantoro et al. (2023d)

Gambar 3.8 Peta tumpang susun *paleograbén* dengan potensi migas.

Hasil kajian di pulau Jawa menemukan variabel optimum untuk eksplorasi migas adalah: (1) data *gravity* dan turunannya yang meliputi *slope*, *lineament density*, *Aspect*; (2) SRTM dan turunannya yang meliputi *Surface lineament density* (SLD) 0°,

SLD 45°, SLD 90°, SLD 135°, SLD all (gabungan SLD0°, 45°, 90°, and 135°), *positive openness*, *negative openness*, *slope*, and *drainage pattern density*; (3) turunan ASTER yang meliputi NDVI, *IV general*, *Ferric Oxide*, Temperatur; dan (4) turunan Landsat yang meliputi *Land surface temperature*, *clay index*, NDVI, and *Ferrous index*. Simulasi model juga telah dilakukan secara detail pada 22 variabel menggunakan klasifikasi RF untuk eksplorasi migas. Ada empat simulasi yang diperoleh, yaitu menggunakan 22 variabel, 20 variabel, 16 dan 13 variabel (Tabel 3.2). Hasil klasifikasi RF dapat mengidentifikasi 83 lapangan eksisting dan 102 are target baru eksplorasi (Tabel 3.3). Dimana area potensi eksplorasi baru terdiri dari 5 area dengan potensi tinggi; 5 area dengan potensi menengah; 60 areas potensi rendah; dan 32 dengan potensi gas (Gambar 3.9).



Keterangan: Hasil klasifikasi *random forest* untuk eksplorasi migas yang ditumpangsusunkan dengan lapangan *migas* eksisting.

Sumber: Susantoro et al. (2025a)

Gambar 3.9 Peta potensi migas Pulau Jawa.

Hasil kajian komprehensif menunjukkan metode pembelajaran mesin RF penting dilakukan untuk eksplorasi migas. Pembuktian-pembuktian hasil temuan ini dapat menjadi salah satu prioritas eksplorasi yang harus dilakukan untuk memastikan pentingnya peranan penginderaan jauh dan pembelajaran mesin untuk eksplorasi migas.

Tabel 3.2 Simulasi variabel untuk eksplorasi migas di pulau Jawa menggunakan *random forest*.

No.	Variabel	Overall Accuracy (%)	Kappa Statistic	PA and UA Oil and Gas Targets (%)							
				Gas		High oil		Medium oil		Low oil	
				PA	UA	PA	UA	PA	UA	PA	UA
1.	13	94	0.90	96	66	98	82	93	76	100	77
2.	16	92	0.87	94	55	100	64	93	63	94	62
3.	20	91	0.84	90	39	100	61	95	54	93	55
4.	22	91	0.84	91	40	100	61	94	52	93	57

Sumber: Susantoro et al. (2025a)

Tabel 3.3 Jumlah potensi area eksplorasi migas berdasarkan klasifikasi random forest.

Kategori/ Potensi	Existing Fields				Area New Exploration Target			
	West Part	Center Part	East Part	Total	West Part	Center Part	East Part	Total
High oil	1		2	3	1		4	5
Medium oil	1		2	3	1		4	5
Low oil	35	1	22	58	23	16	21	60
Gas	17		2	19	25	3	4	32
Total	54	1	28	83	49	19	35	102

Sumber: Susantoro et al. (2025a)

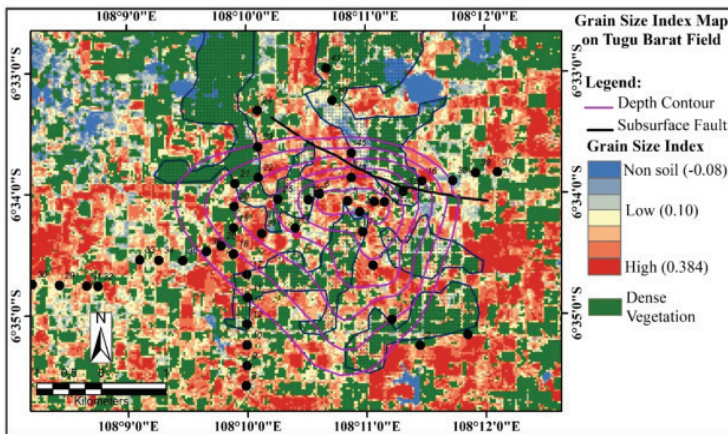
C. Pengembangan Metode Deteksi Anomali Permukaan untuk Membedakan Prospek atau non Prospek Migas

Hasil kajian berdasarkan pembelajaran mesin terbukti mampu mengidentifikasi area-area potensi migas, namun belum dapat memastikan ada atau tidak migas di bawahnya. Optimasi potensi area diperlukan melalui kajian anomali permukaan. Hal ini merupakan lanjutan kajian dari pembelajaran mesin. Anomali permukaan terjadi sebagai manifestasi migas di reservoirs berpotensi merembes ke permukaan melalui sesar, kelurusan dan kedudukan batuan yang tidak menerus serta pori-pori batuan atau lubang-lubang kecil, karena tudung yang tidak sempurna (Rubio, 2002; Schumacher, 1996). Adanya proses difusi memungkinkan migas merembes ke permukaan melewati bagian-bagian yang sepertinya tidak tembus untuk menghasilkan *micro-seepage* (Van Der Meer et al., 2002), dan kondisi ini mengakibatkan *micro-seepage* terjadi pada hampir semua lapangan migas (Etiopie & Klusman, 2010). Dampaknya adalah terjadinya anomali mineral lempung, cekaman vegetasi, anomali topografi, perubahan mineral oksida besi, *hydrocarbon alteration halo*, peningkatan kandungan helium, radon dan CO₂ di permukaan (Hong, 1999; Lakkaraju et al., 2010; Noomen et al., 2006; Schumacher, 1996; Smith et al., 2004).

Penelitian anomali permukaan menggunakan Landsat 8 OLI membuktikan bahwa pada lapangan migas Tugu Barat terjadi cekaman vegetasi, dan kerapatan rendah (Susantoro et al., 2024a), alterasi mineral lempung (Susantoro et al., 2020b) dan anomali oksida besi (Susantoro et al., 2024b). Kajian deteksi anomali permukaan untuk mengidentifikasi area potensi migas pada data penginderaan jauh dapat dilakukan melalui interpretasi visual dengan mengidentifikasi pola-pola geomorfologi, aliran sungai dan kelurusan. Verifikasi menggunakan data seismik dan lapangan migas pada hasil kajian di Indramayu dan sekitarnya

membuktikan dari 84 potensi area migas, 37 area terbukti merupakan lapangan migas, 22 kategori sangat berpotensi, 38 kategori potensi dan 24 kategori berpotensi rendah (Crystiana et al., 2014, 2015).

Kajian deteksi anomali permukaan menggunakan Landsat 8 OLI berdasarkan anomali geomorfologi *wetness index* dan *grain size index* telah dilakukan di lapangan Tugu Barat, Jawa Barat. Hasilnya menemukan bahwa lapangan migas yang bergelombang lemah masih dapat diidentifikasi pola aliran dengan hulunya adalah puncak struktur, dan hal ini dikonfirmasi dengan *grain size index* dan analisis ukuran butir, menunjukkan bahwa ukuran butir pada puncak struktur lebih kasar dibandingkan dengan di lembahnya (Gambar 3.10) (Susantoro et al., 2023c).

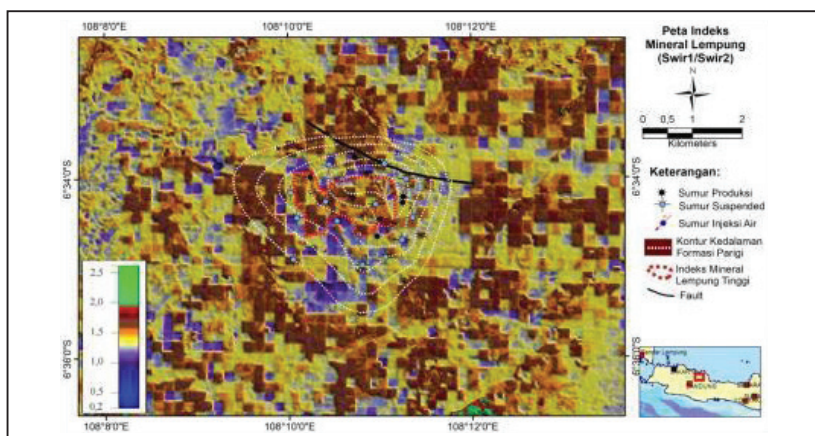


Keterangan: Analisis data penginderaan jauh pada lapangan Tugu Barat yang mencerminkan anomali geomorfologi.

Sumber: Susantoro et al. (2023c)

Gambar 3.10 Peta *grain size index* dan pola aliran.

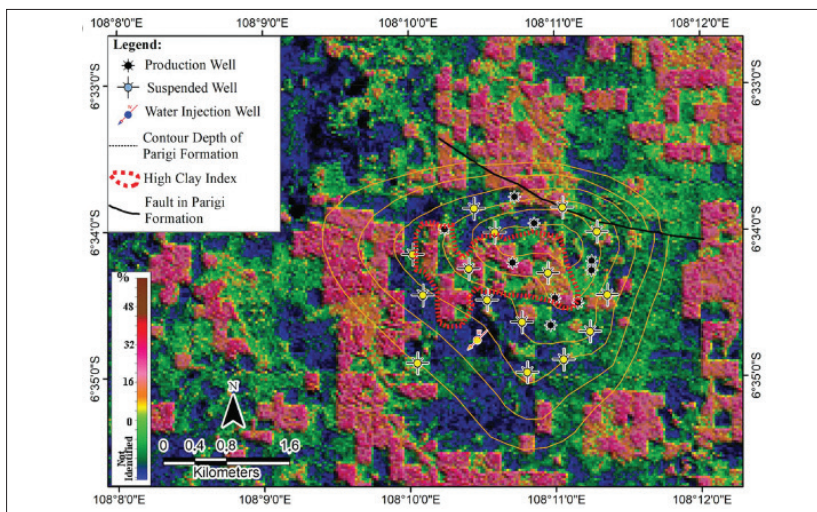
Kajian anomali mineral lempung secara kualitatif menggunakan *clay index* pada data Landsat 8 OLI, dan secara kuantitatif menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa anomali kandungan lempung total cenderung tinggi di puncak struktur dan rendah di tepinya. Namun pada kaolinit terjadi pengkayaan di tepi lapangan migas (Susantoro et al., 2020b). Anomali tersebut membentuk pola *apical* dan *halo*, ditandai dengan nilai yang lebih tinggi di atas reservoir/struktur, kemudian terjadi pola *halo* yang melingkar di tepi reservoir dengan nilai yang rendah. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa hampir semua tanda-tanda geokimia pada lapangan migas menunjukkan pola *apical* dan *halo* (Schumacher, 2008). Alterasi ini terjadi karena adanya rembesan migas dalam jangka panjang (*microseepage*). Dampaknya terjadi oksidasi hidrokarbon yang pada kondisi asam di tanah dan sedimen menyebabkan pelapukan diagenesis feldspar menjadi tanah liat dan perubahan smektit menjadi kaolinit yang stabil secara kimia, kecuali apabila terjadi perubahan lingkungan (Schumacher, 1996). Gambar 3.11 merupakan hasil analisis *clay index* di lapangan Tugu Barat dan Gambar 3.12 merupakan hasil analisis kuantitatif berdasarkan regresi linear antara kandungan smektit dengan spektral tanah.



Keterangan: Peta hasil analisis *clay index* data Landsat Landsat 8 OLI

Sumber: Susantoro et al. (2020b)

Gambar 3.11 Peta *clay index*



Keterangan: Peta hasil analisis distribusi smektit data Landsat 8 OLI.

Sumber: Susantoro et al. (2020b)

Gambar 3.12 Peta distribusi smektit

Kajian vegetasi di lapangan migas Tugu Barat juga menunjukkan adanya anomali vegetasi. Pada lapangan tersebut tanaman tebu di tepi lapangan migas tumbuh kerdil dan tidak normal sehingga tidak dapat dipanen. Kondisi ini diidentifikasi dengan jelas pada citra Landsat 8 OLI yang membentuk pola cekaman vegetasi yang dominan di tepi lapangan dengan diindikasikan oleh rendahnya nilai indeks vegetasi (Susantoro et al., 2024a), dan hal ini terjadi juga pada tanaman di dekat sumur migas (Susantoro et al., 2017).

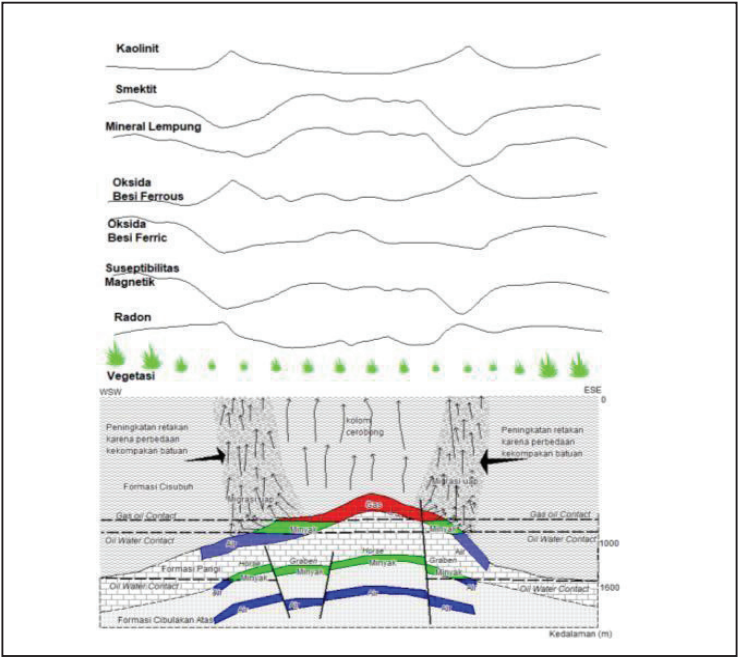
Pada kajian ini juga menemukan bahwa indeks vegetasi satu dengan lainnya mempunyai korelasi yang tinggi sehingga tidak perlu menggunakan banyak indeks untuk analisis vegetasi. Analisis vegetasi yang komprehensif cukup menggunakan indeks NDVI, GDVI, ENDVI, LAI, VARI dan SIPI, karena korelasi

antara indeks tersebut rendah (Susantoro et al., 2018). Hasil pengamatan skala lab melalui injeksi minyak mentah dengan volume 5 ml, 10 ml dan 15 menunjukkan tanaman jagung tidak menghasilkan buah. Beberapa jenis tanaman seperti durian, dan jambu kristal mengalami cekaman dan mati. Pada tanaman Ketapang kencana daun cenderung menguning. Adapun pada percobaan dengan metode menumpahkan minyak mentah tingkat kematian tanaman mencapai 43%. Analisis lanjutan juga mengidentifikasi perubahan kandungan klorofil daun akibat adanya migas di permukaan (Susantoro et al., 2023e).

Hasil kajian anomali oksida besi pada lapangan migas Tugu Barat menunjukkan konsentrasi hematit terjadi anomali, dimana ditepinya sangat rendah dan cenderung naik ditengahnya, walaupun perubahannya kurang signifikan (Susantoro et al., 2024b). Hasil analisis kualitatif terhadap konsentrasi oksida besi *ferrous* menggunakan data Landsat 8 OLI, menunjukkan adanya kenaikan di tepi lapangan migas (Susantoro et al., 2024b). Adapun konsentrasi oksida besi *ferric* menunjukkan pola yang berlawanan dengan konsentrasi oksida besi *ferrous*. Hasil tersebut didukung dengan hasil indeks oksida besi *ferrous* dari spektral pantulan tanah hasil perekaman menggunakan ASD. Dimana konsentrasi oksida besi *ferrous* rendah di tepi lapangan migas kemudian cenderung naik di tengah lapangan migas (Susantoro et al., 2024b).

Pengukuran suseptibilitas magnetik pada puncak struktur lapangan Tugu Barat menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan di sekitarnya, yaitu antara $1,03\text{--}5,71 \times 10^{-7}$ SI units, sedangkan di tepinya mempunyai nilai kurang dari 1×10^{-7} SI units (Susantoro, 2019). Pengukuran radon menunjukkan konsentrasi radon yang tinggi (lebih dari 100 bq/m^3) ditemukan di tepi lapangan migas dan di luar lapangan migas (Susantoro et al., 2020a). Berdasarkan anomali permukaan tersebut maka dapat

dianalisis bahwa hubungan adanya migas di bawah permukaan lapangan Tugu Barat tercermin di permukaan (Gambar 3.13). Model ini dapat digunakan untuk mengkaji area potensi migas/prospek *drillable* (siap bor) untuk meningkatkan faktor peluang geologi (*geological chance factor* = GCF).



Keterangan: Model anomali permukaan lapangan Tugu Barat akibat adanya migas dibawah permukaan.

Sumber: Susantoro (2019); Susantoro et al. (2020b)

Gambar 3.13 Model anomali permukaan.

IV. KONTRIBUSI APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK EKSPLORASI MIGAS

Rangkaian kajian pemanfaatan aplikasi penginderaan jauh selama dua dasawarsa terakhir untuk eksplorasi migas telah dilakukan dan menghasilkan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan IPTEK. Publikasi ilmiah, metode atau algoritma juga telah dilakukan sehingga dapat menunjukkan kontribusi penting peranan penginderaan jauh untuk kegiatan migas secara umum ataupun eksplorasi khususnya. Beberapa kajian juga telah dilakukan sesuai dengan permintaan stakeholder migas, sehingga hasilnya langsung digunakan untuk kegiatan eksplorasi migas. Hal ini menunjukkan data penginderaan jauh dengan berbagai resolusi spektral, dan resolusi spasial mampu menjadi bagian dari teknologi yang efisien untuk eksplorasi migas.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka kontribusi teknologi penginderaan jauh untuk eksplorasi migas dibedakan menjadi 4 kategori, yaitu: (1) Kontribusi aplikasi penginderaan jauh untuk pemetaan geologi dalam rangka eksplorasi awal migas. (2) Kontribusi aplikasi penginderaan jauh sebagai *logistic support* dan monitoring lingkungan dalam eksplorasi dan eksploitasi migas migas. (3) Kontribusi aplikasi penginderaan jauh untuk eksplorasi migas berbasis pembelajaran mesin. (4) Kontribusi aplikasi penginderaan jauh untuk pemetaan anomali permukaan dalam rangka meningkatkan keyakinan adanya migas di bawahnya,

Pemetaan geologi menggunakan data Landsat 8 OLI dan SRTM untuk eksplorasi awal migas menunjukkan hasil yang baik untuk skrining awal area eksplorasi dengan mengidentifikasi

sebaran unit batuan pada area yang dikaji. Kontribusi teknologi penginderaan jauh untuk eksplorasi migas Jawa Timur melalui pemetaan geologi berdasarkan data Landsat TM telah dimanfaatkan oleh ExxonMobil Indonesia tahun 2001 untuk kajian geologi dan geofisika wilayah kerjanya. Pada pemetaan geologi di cekungan Memberamo berhasil menemukan adanya potensi rembesan gas di sekitar danau Bira, sedangkan potensi batuan induk diperkirakan berada di sebelah timur cekungan. Hasil ini digunakan sebagai panduan survei yang dilakukan oleh Tim Survei Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS – Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, dimana survei untuk pengukuran elemen struktur dilakukan di daerah Pioneer Bivack dan Burumesa (Susantoro & Suliantara, 2014). Adapun kajian di cekungan Kutei bagian atas, pemanfaatan data PALSAR mampu membedakan batuan dasar pra-tercier, unit litologi dan struktur geologi (Suliantara et al., 2010).

Kajian geologi untuk identifikasi potensi minyak berat di Sumatra Tengah menggunakan data SRTM, Landsat 8 OLI dan gravity menemukan bahwa minyak berat berpotensi berada di tepi tinggian yang berhadapan dengan graben dan terdapat kemenerusan struktur geologi bawah permukaan ke permukaan. Pembentukan minyak berat ini terjadi karena adanya kontak air permukaan dengan minyak yang berada di reservoir dan juga memungkinkan bakteri aerobik hidup (Susantoro et al., 2022c). Hasil kajian ini ditemukan sekitar 6 area potensi migas area potensi minyak berat yang belum dieksplorasi (Suliantara et al., 2021; Widarsono et al., 2021). Pada kajian aspal Buton menemukan adanya struktur geologi lipatan dan struktur patahan sebagai jalur migrasi. Formasi Tondo dan sampolakosa terangkat dan tersingkap sebagai akibat adanya struktur lipatan yang terangkat (Widarsono et al., 2023). Hal ini digunakan oleh

PT Butonas Petrochemical Indonesia sebagai dasar perencanaan *Joint Study* Wilayah Kerja Migas baru dan pemanfaatan aspal.

Interpretasi data penginderaan jauh resolusi tinggi untuk *logistic support* dalam perencanaan seismik dan didukung survei lapangan menemukan bahwa area-area yang perlu dihindari untuk penanaman *geophone* dan dinamit adalah pemukiman, pemakaman, jalan, bangunan, fasilitas migas, dam/waduk. Pada pelaksanaan kegiatan seismik lokasi kamp sebaiknya berada di dekat sungai purba sehingga memudahkan pengambilan air tanah (Susantoro et al., 2005). Hal ini telah digunakan untuk dasar perencanaan seismik 3D secara presisi oleh Exxon Mobil Indonesia di wilayah kerja migas Cepu. Data penginderaan jauh juga telah digunakan untuk pengembangan sumur tua dengan studi kasus lapangan migas di Provinsi Jambi dan menemukan beberapa permasalahan sosial. Dimana lokasi sumur-sumur tua yang ada sebagian sudah menjadi milik warga. Bahkan beberapa sumur tua yang lokasinya berada di dalam rumah (Crystiana & Susantoro, 2013). Penemuan-penemuan ini menjadi dasar bagi PT Pertamina EP merencanakan penyelesaian problem sosial secara bijak sehingga dapat meminimalisir permasalahan sosial. Pengolahan dan interpretasi data IKONOS untuk *logistic support* dalam kegiatan migas juga telah dimanfaatkan oleh Pertamina DOH Sumbagsel tahun 2002 dan JOB Pertamina-PetroChina East Java tahun 2003. Pengolahan data resolusi tinggi Quickbird juga telah dimanfaatkan untuk monitoring sumur migas di Duri-Kulin oleh PT Chevron Pacific Indonesia.

Kontribusi penginderaan jauh pada awal eksplorasi adalah untuk analisis rona awal lingkungan melalui interpretasi tutupan lahan, infrastruktur dan fasilitas lainnya, dan digunakan sebagai variabel dalam analisis sensitivitas lingkungan. Hal ini untuk mendeteksi potensi dampak lingkungan yang terjadi akibat

adanya kegiatan migas (Susantoro et al., 2016a). Kajian rona awal lingkungan dalam rangka monitoring kondisi lingkungan sebelum eksplorasi dan eksploitasi migas dengan memanfaatkan data Landsat series telah dilakukan di sepanjang rencana jalur pipa Bojonegoro-Tuban dan Blok Cepu untuk digunakan sebagai rekomendasi ExxonMobil Indonesia dalam kegiatannya. Kajian rona awal lingkungan di Tanjung Santan-Kalimantan Timur telah digunakan oleh Unocal Indonesia Company untuk monitoring wilayah kerjanya. Kajian rona awal lingkungan di Blok South Block A, Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam telah digunakan oleh PT RENCO untuk perencanaan komitmen pasti tiga tahun pertama. Demikian juga kajian rona awal lingkungan di Blok West Air Komerling untuk digunakan oleh PT Tiarabumi Petroleum, di Blok East Jabung telah digunakan oleh Pan Orient Energy East Jabung Pte. Ltd. Kegiatan seismik PT Pertamina di laut juga telah memanfaatkan algoritma deteksi bangunan di laut seperti bagan yang telah dipublikasikan di jurnal Geomatika tahun 2015, sehingga dapat mengurangi konflik dengan nelayan dan/atau memudahkan dalam proses ganti untung ketika pelaksanaannya (Susantoro & Wikantika, 2015).

Pengolahan data untuk pemetaan geologi, menemukan bahwa metode pengolahan dengan penisbahan saluran (*band ratio*) 3/1, 5/7 dan 3/5 (RGB) yang selanjutnya digabungkan dengan SRTM mampu memberikan kenampakan geologi yang lebih tegas dan jelas dibandingkan dengan metode OIF ataupun PCA (Susantoro, 2009b, 2009a). Hasil kajian eksplorasi migas melalui pembelajaran mesin menemukan bahwa klasifikasi RF lebih baik dibandingkan dengan SVM, dengan perbedaan akurasi lebih dari 10%. Pada analisis *Ntree*, *Mtry* dan *Node Size* menemukan bahwa parameter terbaik untuk klasifikasi berturut-turut menggunakan 600, K dan 2 (Susantoro et al., 2023d). Kajian ini juga menemukan bahwa pada pembelajaran mesin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

RF untuk kajian satu cekungan menunjukkan penggunaan 32 variabel yang diturunkan dari data penginderaan jauh, *gravity* dan data geologi lainnya masih mempunyai akurasi yang baik seperti pada penggunaan 10 variabel utama. Namun, pada kajian yang bersifat multi cekungan, 13 variabel dapat digunakan untuk menghasilkan area potensi migas dengan akurasi yang baik.

Kajian eksplorasi migas dengan pembelajaran mesin di cekungan Sumatra Tengah berhasil menemukan 1 lokasi potensi migas tinggi di sekitar graben Bengkalis, 3 lokasi potensi migas sedang yang terletak di sekitar Kiri *Trough* dan graben Aman dan Balam dan 3 potensi migas lainnya di sekitar graben Bengkalis. Penemuan ini berpotensi dapat ditindaklanjuti oleh perusahaan yang beroperasi di wilayah kerja di Sumatra Tengah. Kajian menggunakan data penginderaan jauh dan pembelajaran mesin di Pulau Jawa berhasil mengidentifikasi sekitar 186 area eksplorasi migas. Identifikasi lanjut menunjukkan area tersebut terdiri dari 83 merupakan lapangan migas eksisting dan sekitar 103 merupakan area potensi migas yang belum dieksplorasi (Susantoro et al., 2025a). Penemuan area yang belum dieksplorasi ini merupakan potensi migas penting di pulau Jawa.

Hasil kajian anomali permukaan pada lapangan migas dapat diidentifikasi adanya model geobiokimia lapangan migas. Kondisi ini terjadi akibat adanya rembesan mikro yang lebih aktif di tepi lapangan migas dibandingkan di tengahnya. Kajian di lapangan Tugu Barat menemukan anomali permukaan antara lain: anomali vegetasi, dan anomali mineral. Pada anomali vegetasi, mampu mengidentifikasi adanya vegetasi yang tumbuh kurang subur, kandungan khlorofil berkurang dibandingkan dengan di area non migas dan bahkan terkadang vegetasi tidak dapat tumbuh dengan baik, terutama di tepi struktur migas (Susantoro et al., 2024e; Susantoro et al., 2024a). Analisis

anomali permukaan berdasarkan alterasi mineral lempung dan oksida besi menunjukkan mineral lempung total dan smektit pada tepi lapangan migas cenderung konsentrasinya lebih rendah dibandingkan dengan di tengahnya. Sedangkan mineral kaolinit konsentrasinya cenderung lebih tinggi di tepi lapangan migas dibandingkan dengan di tengahnya (Susantoro, 2019; Susantoro et al., 2020b). Anomali lainnya yang berhasil dianalisis menggunakan teknologi penginderaan jauh adalah anomali geomorfologi, yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya struktur antiklin yang berpotensi sebagai reservoir migas dibawahnya (Crystiana et al., 2014; Susantoro et al., 2023c). Hasil kajian anomali permukaan ini dapat digunakan untuk analisis prospek migas yang siap bor, sehingga ditemukan anomali permukaan pada prospek tersebut maka peluang untuk mendapatkan migas di bawah permukaannya semakin besar.

Kajian anomali permukaan dapat juga digunakan sebagai analisis lanjut terintegrasi dengan hasil analisis pembelajaran mesin untuk eksplorasi migas, dimana apabila potensi area migas tersebut mempunyai anomali permukaan, maka peluang adanya migas semakin besar. Bahkan peluang keberadaan migas di bawah permukaan dapat mencapai 80% (Schumacher, 2008).

Kajian deteksi tumpahan minyak dan dampaknya pada alterasi mineral dan vegetasi juga telah dilakukan baik skala lab maupun lapangan. Pada skala lab telah menghasilkan kekayaan intelektual berupa hak cipta program komputer estimasi kandungan klorofil untuk deteksi cekaman vegetasi akibat adanya tumpahan minyak (Susantoro et al., 2024c), dan aplikasi prediksi kandungan klorofil total dari citra satelit Landsat-8/9 (Nugroho et al., 2025a). Hasil kajian ini juga telah dipublikasikan pada jurnal *Modeling Earth Systems and Environment* (Nugroho et al., 2025b), dan dipresentasikan dalam konferensi internasional IEEE *Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology* (Kurdianto

et al., 2023). Kajian deteksi tumpahan minyak juga telah dilakukan pada skala lapangan di Bintan (Faristyan, Suhadha et al., 2024; Sulma et al., 2024) dan Karawang (Matahelemual et al., 2020). Kajian ini telah menghasilkan dua hak cipta program komputer *oil spills recognition and clustering automation* dan deteksi tumpahan minyak menggunakan data Sentinel-2 dengan *oil spill index* berbasis *Google Earth Engine* (Faristyan, 2024a; Sulma et al., 2023) dan 1 paten sederhana (Faristyan et al., 2024b). Sedangkan untuk mendukung pemanfaatan energi migas yang tetap memperhatikan program *net zero emission* dilakukan perhitungan potensi penyimpanan CO₂ pada formasi air asin (*saline formation*) dan telah didaftarkan sebagai kekayaan intelektual dataset (Usman et al., 2023).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

V. REKOMENDASI DAN TANTANGAN APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK EKSPLORASI MIGAS

Kajian yang telah dilakukan selama lebih dari dua dasawarsa terakhir mengenai aplikasi penginderaan jauh untuk eksplorasi migas telah digunakan untuk berbagai kegiatan di bidang migas dan *stakeholder* untuk eksplorasi migas. Hal ini membuktikan bahwa penginderaan jauh berperan penting secara nasional untuk keberlangsungan eksplorasi migas di Indonesia.

Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemetaan geologi telah digunakan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, dan perusahaan migas. Demikian juga pemanfaatan penginderaan jauh untuk kajian rona awal lingkungan sebelum eksplorasi migas telah dilakukan oleh perusahaan migas. Kajian anomali permukaan juga telah dilakukan melalui bekerjasama dengan *Upstream Innovation* PT Pertamina Hulu Energi.

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, maka dalam eksplorasi migas menggunakan data penginderaan jauh dan data geoinformasi lainnya direkomendasikan:

1. Pemetaan geologi, tutupan lahan dan infrastruktur perlu dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh untuk daerah *frontier*, sehingga memudahkan dalam perencanaan survei geologi dan geofisika (Suliantara et al., 2010; Susantoro & Suliantara, 2014).
2. Kajian rona awal lingkungan dan *logistic support* penting dilakukan menggunakan data penginderaan jauh sehingga dampak lingkungan akibat eksplorasi dan eksploitasi migas dapat diminimalisir dan memudahkan mitigasi.

3. Pengumpulan data lapangan migas nasional berbasis geospasial untuk pembuatan data training dan data testing sehingga dapat digunakan untuk eksplorasi migas menggunakan pembelajaran mesin. Pada kajian eksplorasi migas berbasis pembelajaran mesin juga perlu dianalisis parameter terbaik dan dataset/variabel terbaik untuk eksplorasi migas. Kajian berbasis pembelajaran mesin menggunakan data penginderaan jauh dan didukung data geoinformasi lainnya dapat dilakukan dalam lingkup cekungan, atau kluster sesuai dengan sistem perminyakan yang bekerja (Susantoro et al., 2025a; Susantoro et al., 2023d).
4. Adanya kajian komprehensif yang dilakukan untuk eksplorasi migas dengan teknologi penginderaan jauh didukung data geoinformasi lainnya, melalui skrining berdasarkan kondisi geologinya dan/atau pembelajaran mesin, yang kemudian dilanjutkan dengan analisis anomali permukaan sehingga dapat meningkatkan keyakinan adanya migas di bawah permukaan (Susantoro et al., 2020b; Susantoro et al., 2024a; Susantoro et al., 2024b; Susantoro et al., 2025a; Susantoro et al., 2023d).
5. Kajian detil geologi dan geofisika terhadap areas yang terpilih tetap perlu dilakukan. Hal ini disebabkan kajian berbasis penginderaan jauh dan pembelajaran mesin belum mampu mengidentifikasi kedalaman potensi reservoir target. Pengolahan data seismik atau data geofisika lainnya dapat memastikan ada/tidaknya reservoirs dan kedalamannya di area target eksplorasi tersebut. Pemboran diperlukan setelah kajian komprehensif geologi dan geofisika yang menguatkan adanya prospek pada areas target. Apabila sukses menemukan migas baru, maka kedepannya dapat mengubah paradigma eksplorasi migas, dan mampu menjawab tantangan ke-4 mengenai aplikasi *artificial intelligence* (AI) untuk memprediksi area eksplorasi migas (Z. Jin, 2023).

Pada perkembangannya, ada beberapa klaim metode untuk eksplorasi migas menggunakan penginderaan jauh yang masih menjadi perdebatan di Indonesia. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi 'scientists' di bidang penginderaan jauh. Metode tersebut antara lain: *Satellite Based Remote Deep Sensing Survey* (SBRDSS), yang merupakan suatu metode pencarian migas dan mineral berdasarkan citra satelit penginderaan jauh yang dikombinasikan dengan metode *remote sensing-nuclear magnetic resonance* (RS-NMR). Seperti metode penginderaan jauh lainnya, prinsip metode ini adalah merekam spektrum frekuensi sampel hidrokarbon pada tipe *play* yang sama untuk dijadikan sebagai referensi dengan peralatan *resonant-test* (POISK *geo holographic*) dan teknologi kimia radiasi. Selanjutnya hal ini dijadikan dasar untuk mengidentifikasi jenis anomali migas (Kovalev et al., 2023). Metode yang kedua adalah *thermovision tomography* (TVT) yang merupakan metode pengolahan citra termal infra merah pada panjang gelombang 8-14 mikron. Metode ini merupakan metode geofisika independen, kombinasi antara properties termal lingkungan geologi dan medan potensial bumi menggunakan citra Landsat dan MODIS dengan algoritma tertentu sehingga dapat mendeteksi penyebaran anomali sumber panas dan aliran panas di dalam bumi. Metode yang ketiga adalah *Sub Terrain Prospecting* (STeP) yang merupakan kombinasi dari delapan kombinasi pengolahan data penginderaan jauh untuk analisis litodinamik, geodinamik, spektrometri dan strukturuometri. Hasilnya adalah prediksi awal kandungan dugaan migas, lokasi struktur yang diindikasikan berprospek migas, anomali yang berhubungan dengan area migas dan skema tektonik area tersebut (Ariadji et al., 2017).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

VI. KESIMPULAN

Target satu juta barel minyak per hari pada tahun 2030 dan keberlanjutan kebutuhan minyak yang diperkirakan masih dominan pada tahun 2050 memerlukan strategi yang baik dalam eksplorasi migas. Berdasarkan hasil kajian ini maka aplikasi penginderaan jauh dapat berkontribusi penting untuk eksplorasi migas di Indonesia. Hal ini mulai dari awal eksplorasi untuk pemetaan geologi, terutama di daerah *frontier*, mendukung seismik dengan pemetaan infrastruktur, skrining awal area eksplorasi migas dengan pembelajaran mesin dan anomali permukaan untuk mendeteksi area yang terdapat migas di bawah permukaan tanah.

Hasil kajian menemukan bahwa pentingnya penerapan pembelajaran mesin RF untuk eksplorasi migas dan menghasilkan akurasi yang baik. Namun kajian juga menemukan pentingnya peranan variabel input yang digunakan dalam pembelajaran mesin RF untuk eksplorasi migas. Dimana aplikasi RF pada satu cekungan dapat menggunakan banyak variabel/dataset sebagai data masukkan. Namun pada kajian yang bersifat multi-cekungan perlu analisis lebih lanjut dalam penggunaan variabel yang digunakan. Pada kajian yang bersifat multi-cekungan penggunaan variabel yang terlalu banyak dapat menyebabkan terjadinya *error* pada proses klasifikasi.

Hasil analisis pembelajaran mesin untuk area potensi migas dapat ditindaklanjuti dengan kajian anomali permukaan. Dimana adanya migas di bawah permukaan tanah dapat diidentifikasi berdasarkan adanya cekaman vegetasi di permukaannya dan alterasi mineral menggunakan data penginderaan jauh. Hal

ini karena migas di bawah permukaan merembes sampai ke- atau mendekati permukaan melalui proses difusi sehingga memungkinkan migas merembes ke permukaan melewati bagian-bagian yang sepertinya tidak tembus menghasilkan *micro-seepage*. Potensi rembesan lainnya adalah melalui sesar, kelurusan dan kedudukan batuan yang tidak menerus serta pori-pori batuan atau lubang-lubang kecil, karena tudung yang tidak sempurna yang menghasilkan *macro-seepage*. *Micro-seepage* diindikasikan terjadi pada hampir semua lapangan migas.

Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa aplikasi penginderaan jauh sangat efisiensi dalam kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi. Analisis geologi, pembelajaran mesin dan anomali permukaan dengan data multisumber mampu mengidentifikasi area prospektif secara lebih terarah, sehingga wilayah target eksplorasi dapat difokuskan pada zona-zona potensial. Pendekatan ini secara signifikan dapat menurunkan biaya operasional dan mempercepat waktu eksplorasi dibandingkan metode konvensional. Selain itu, hasil ini dapat berkontribusi penting terhadap upaya pembangunan berkelanjutan di Indonesia, dimana efisiensi eksplorasi migas dapat memudahkan perencanaan energi nasional yang lebih tepat, ramah lingkungan, dan berkesinambungan di masa depan.

VII. PENUTUP

Perkembangan signifikan teknologi penginderaan jauh memunculkan berbagai produk data dengan beragam resolusi spasial, spektral, temporal dan radiometrik. Hal ini merupakan peluang untuk dapat dioptimalkan pemanfaatannya pada eksplorasi migas. Kontribusi data penginderaan jauh dapat dioptimalkan dengan diintegrasikan menggunakan data geologi dan geofisika. Analisis pembelajaran mesin memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang baik dalam hal skrining area potensi migas. Hasil analisis juga dapat mendeteksi area potensi formasi *saline* yang merupakan area penting untuk penyimpanan CO₂ di bawah permukaan. Hal ini karena formasi *saline* tersebut biasanya berada di dekat lapangan migas.

Tantangan kedepannya yang masih perlu dikaji adalah pemanfaatan pembelajaran mesin untuk eksplorasi migas pada area *frontier*, dimana data *training* dan data *testing* yang terbatas. Pada saat ini baru sekitar 20 cekungan yang sudah produksi migas. Hal ini mengakibatkan penggunaan sampel dari lapangan migas yang ada dari 128 cekungan memungkinkan terjadinya kendala dengan besarnya data yang digunakan. Penggunaan super komputer (*high performance computing/HPC*) sangat diperlukan untuk kajian tersebut.

Harapannya hasil kajian ini dapat memberikan gambaran yang baik mengenai pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk eksplorasi migas. Kedepannya seluruh pemangku kepentingan di bidang migas dapat melakukan optimalisasi dan efisiensi eksplorasi migas dengan menggunakan data penginderaan jauh yang diintegrasikan dengan data bawah permukaan dan data spasial lainnya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada Yang Terhormat, Presiden Republik Indonesia, Bapak Prabowo Subianto dan Presiden Republik Indonesia ke-7 Bapak Ir. Joko Widodo atas amanat dan penugasan saya sebagai peneliti ahli utama di BRIN.

Ucapan terima kasih kepada Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Prof. Dr. Arif Satria, S.P., M.Si. dan Kepala BRIN periode 2021 - 2025 Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc. Ucapan terima kasih kepada Wakil Kepala BRIN Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian M.Sc., DESD., ASEAN Eng., atas dukungan beliau dalam menciptakan ekosistem riset yang kondusif bagi para periset untuk berkarya dan berkembang secara profesional.

Ketua dan Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar M.S.C.E., Ph.D. dan Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc. dan Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah Prof. Dr. M Rokhis Khomarudin, S.Si. M.Si., Prof. Ir. Ketut Wikantika., Ph.D., dan Prof. Danang Surya Candra S.Si., M.Sc., Ph.D., dan Tim Penelaah internal Prof. Dr. Ratih Dewanti, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Dony Kushardono, M.Eng.

Terima kasih kepada Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas S.IP., M.A.; Kepala Organisasi Riset Elektronika dan Informatika, Dr. Eng. Budi Prawara; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia BRIN, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si.; Kepala Pusat Riset Geoinformatika, Prof. Dr. M. Rokhis Khomarudin, S.Si., serta Panitia Pelaksana Orasi Pengukuhan Profesor Riset. Terima kasih kepada Kepala Pusat Riset Penginderaan Jauh periode tahun 2022-2023 Dr. Rahmat Arief Dipl. Ing.; Ketua Kelris Geodata, Geoanalisis dan

Geovisualisasi: Prof. Danang Surya Candra, S.Si., M.Sc., Ph.D., Prof. Parwati, S.Si., M.Sc., Ph.D., Joko Widodo, S.Si., M.Si., Ph.D. serta dan rekan-rekan di Pusat Riset Geoinformatika.

Saya mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB) LEMIGAS periode tahun 2000–2022; Kepala Bidang Eksplorasi/Koordinator Penelitian dan Pengembangan Teknologi Eksplorasi periode tahun 2000–2022; rekan-rekan Kementerian ESDM tahun 2002, dan seluruh senior dan rekan saya di PPPTMGB LEMIGAS, dan PR Penginderaan Jauh, dan PR Geoinformatika BRIN.

Terima kasih saya ucapkan kepada: guru-guru TK Kemala Bhayangkari Bumiayu; SD N Langkap II – Bumiayu; SMP N 1 Bumiayu dan SMAN 1 Bumiayu; dan dosen-dosen S-1 Ilmu dan Teknologi Kelautan-Universitas Diponegoro; S-2 Penginderaan Jauh dan SIG Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada; dan S-3 Program Studi Geodesi dan Geomatika-Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung. Terima kasih kepada pembimbing skripsi, thesis dan disertasi: Ir Petrus Subardjo, Dr Rudhi Pribadi, Prof. Projo Danoedoro, Prof. Sutikno, Prof, Ketut Wikantika, Dr. Agus H. Harsolumakso, dan Dr. Asep Saepuloh.

Pada Kesempatan ini saya juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua tercinta Ibunda Hj. Watiah (almh)) dan Ayahanda H. Saryo, A.Md., Ibu sambung saya Hj. Muriya, serta ibu dan bapak mertua saya. H. Fathoni (alm) dan Hj Aisyah (almh) yang telah memberikan dukungan moral, moril dan doa yang tidak pernah terputus-putus. Ucapan terima kasih saya ucapkan juga kepada kakanda dan adinda kami, Eko Purwanto S.TP, M.AP, Dwi Puji Astuti, S.Pd, Catur Rahmawati A.Md, Suci Nur Afiyah S.TP, Faiq Muhammad

Amin S.E., Rifana Sobari, S.Kel. M.Han. Ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada semua saudara ipar saya baik dari pihak kakanda dan adinda maupun dari pihak istri.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas cinta, kasih sayang, doa dan dukungannya yang tiada putus-putusnya dari istri tercinta A. Ni'mah, anak-anak terkasih dan tersayang, Muhammad Yusuf Al Azmi, Farras Fakhrlil Anam dan Fatimah Az Zahra.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoli, N., Alipour, M., & Pasokhi, M. (2024). Mapping Energy Expansion: Remote Sensing Insights into Oil and Gas Infrastructure and Land Use Changes in Midland, TX. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 12(07), 89–108. <https://doi.org/10.4236/gep.2024.127006>
- Arellano, P., Tansey, K., Balzter, H., & Boyd, D. S. (2015). Detecting the effects of hydrocarbon pollution in the Amazon forest using hyperspectral satellite images. *Environmental Pollution*, 205, 225–239. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.05.041>
- Ariadji, F. N., Wikantika, K., & Ariadji, T. (2017). Analisis hasil metode potensi minyak bumi dengan teknologi STeP (Sub-Terrain Prospecting) (studi kasus blok Lampung). In *Bunga Rampai ForMIND 2017* (1 ed., hal. 51–67). ITB Press.
- Attwa, M., Elkafrawy, S. B., El Bastawesy, M., Abd El-wahid, K. H., Abotalib, A. Z., Talal, A., & Shehata, M. (2024). Oil spills characterization and modeling using remote sensing and geophysical techniques to protect the highly vulnerable coastal zones in Alexandria, Egypt. *Marine Pollution Bulletin*, 208, 117004. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117004>
- Bao, W. (2024). Application of GIS and RS in Petroleum Exploration. *E3S Web of Conferences*, 553. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455304003>
- Bondur, V. G. (2011). Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas areas and facilities. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 47(9), 1007–1018. <https://doi.org/10.1134/S0001433811090039>

- Cloutis, E. A. (1989). Spectral reflectance properties of hydrocarbons: Remote-sensing implications. *Science*, 245(4914), 165–168. <https://doi.org/10.1126/science.245.4914.165>
- Cloutis, E. A., Gaffey, M. J., & Moslow, T. F. (1995). Characterization of minerals in oil sands by reflectance spectroscopy. *Fuel*, 74(6), 874–879. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-2361\(95\)00016-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-2361(95)00016-X)
- Crystiana, I., & **Susantoro, T. M.** (2013). Pemanfaatan citra Ikonos untuk mengkaji permasalahan sosial pada pengembangan lapangan tua. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 47(2), 69–77. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.47.2.223>
- Crystiana, I., **Susantoro, T. M.**, & Firdaus, N. (2015). Pengolahan Data Citra Satelit untuk Mengidentifikasi Potensi Jebakan dalam Kegiatan Eksplorasi Migas. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 49(1), 41–51. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.49.1.235>
- Crystiana, I., **Susantoro, T. M.**, & Junaedi, T. (2014). Identifikasi potensi migas melalui citra satelit dengan pendekatan anomali topografi (Studi kasus daerah Indramayu dan sekitarnya). *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 48(2), 89–102. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.48.2.1214>
- Desrina, R., Anwar, C., **Susantoro, T. M.**, Desrina R, Anwar, C., & Susantoro, T. M. (2013). Environmental impact of the oil and gas platform decommissioning. *Scientific Contributions Oil & Gas*, 36(2), 97–103.
- Drury, S. (1987). *Image Interpretation in Geology*. Allen and Unwin.
- EIA. (2019). International Energy Outlook. In *U.S. Energy Information Administration*. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>.
- Etiopie, G., & Klusman, R. W. (2010). Microseepage in Drylands: Flux and Implications in the Global Atmospheric Source/Sink Budget of Methane. *Global and Planetary Change*, 72(4), 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.01.002>

- Everett, J. R., Staskowski, R., & Jengo, C. (2002). *Remote sensing and GIS enable future exploration success*. 223, 59–65.
- Faristyan, R., Putranto, M. F., Suhadha, A. G., Hastuti, M., Pranowo, W. S., **Susantoro, T. M.**, Wardana, T. K., Wicaksono, P., Arjakusuma, S., & Wardani, R. (2024a). *Metode identifikasi tumpahan minyak di laut secara tidak terselia menggunakan citra Synthetic Aperture Radar (SAR) di wilayah tropis* (Patent No. P00202415232). Metode.
- Faristyan, R., Putranto, Mu. F., Suhadha, A. G., Hastuti, M., Pranowo, W. S., **Susantoro, T. M.**, Wardana, T. K., & Ibrahim, A. (2024b). *BRIN-ORCA (Oilspills recognition and clustering automation)* (Patent No. EC002024248776). Program Komputer.
- Faristyan, R., Suhadha, A. G., Wardani, R., Hastuti, M., Putranto, M. F., Wardana, T. K., **Susantoro, T. M.**, & Pranowo, W. S. (2024c). Seasonal Mapping of Oil Spills Occurrences in Northern Bintan Waters. *2024 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICARES64249.2024.10767944>
- Fu, P., Li, X., Zhang, J., Ma, C., Wang, Y., & Meng, F. (2024). Remote sensing inversion on heavy metal content in salinized soil of Yellow River Delta based on Random Forest Regression—a case study of Gudao Town. *Scientific Reports*, 14(1), 11216. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62087-y>
- Girouard, G., Bannari, A., El-Harti, A., & Desrochers, A. (2004). Validated spectral angle mapper algorithm for geological mapping: comparative study between Quickbird and Landsat TM. *Proceedings of the 20th ISPRS Congress: Geo-Imagery Bridging Continents*, 1099–1113.
- Goetz, A. F. H., & Rowan, L. . (1981). Geologic Remote Sensing. *Science*, 211(4484), 781–791. <https://doi.org/10.1126/science.211.4484.781>

- Guo, D. . (1995). Direct Searching for Oil and Gas by Remote Sensing Technology. *Acta Petrolei Sinica*, 16(4), 9–16.
- Gupta, R. P. (1991). *Remote Sensing Geology* (1 ed.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-12914-2>
- Hong, Y. (1999). *Imaging spectrometry for hydrocarbon microseepage*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Jin, X. Liang, Diao, W. ying, Xiao, C. hua, Wang, F. yong, Chen, B., Wang, K. ru, & Li, S. kun. (2013). Estimation of Wheat Agronomic Parameters using New Spectral Indices. *PLoS ONE*, 8(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072736>
- Jin, Z. (2023). Hydrocarbon accumulation and resources evaluation: Recent advances and current challenges. *Advances in Geo-Energy Research*, 8(1), 1–4. <https://doi.org/10.46690/ager.2023.04.01>
- Júnior, D. A. D., Batista da Cruz, L., Otávio Bandeira Diniz, J., Silva, A. C., Cardoso de Paiva, A., Gattass, M., Rodriguez, C., Quispe, R., Ribeiro, R., & Riguete, V. (2023). Detection of potential gas accumulations in 2D seismic images using spatio-temporal, PSO, and convolutional LSTM approaches. *Expert Systems with Applications*, 215(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119337>
- Kovalev, N. I., Belyavsky, G. A., Sergeev, A., & Sahu, V. K. (2023). Direct hydrocarbon indication using remote sensing and nuclear magnetic resonance in the area of interest. *Geohorizons*, June, 116–130.
- Kurdianto, **Susantoro, T. M.**, Candra, D. S., Sulma, S., Hestrio, Y., Khomarudin, R. M., Suliantara, Setiawan, H., Maryanto, A., Nugroho, G., Arief, R., & Harto, A. B. (2023). *Impact of Oil Injection on Concentrations of Chlorophyll, Carotenoids, Anthocyanins in Banyan Leaves and Ketapang Dewa Leaves Using Hyperspectral Sensor*. <https://doi.org/10.1109/AGERS61027.2023.10490693>

- Lakkaraju, V. R., Zhou, X., Apple, M. E., Cunningham, A., Dobeck, L. M., Gullickson, K., & Spangler, L. H. (2010). Studying the Vegetation Response to Simulated Leakage of Sequestered CO₂ Using Spectral Vegetation Indices. *Ecological Informatics*, 5(5), 379–389.
- Lasica, R. (2015). *A New Age for Oil and Gas Exploration: Remote Sensing Data and Analytics Are Changing the Industry*. <http://eijournal.com>.
- Lau, H. C., Zhang, K., Bokka, H. K., & Ramakrishna, S. (2022). A Review of the Status of Fossil and Renewable Energies in Southeast Asia and Its Implications on the Decarbonization of ASEAN. *Energies*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/en15062152>
- Lehman, A. (2014). *Remote Sensing for Oil and Gas: Modern Data & Analytics for the New Age of Surface and Above-Surface Exploration, Operations, Environmental Monitoring, and Health and Safety Applications*. www.harrisgeospatial.com.
- Lestari, P., Harmoko, U., Nurwidyanto, M. I., & **Susantoro, T. M.** (2022). Kajian Potensi Hidrokarbon di Cekungan Sedimen Akimeugah Berdasarkan Pemetaan Anomali Permukaan Data Penginderaan Jauh Landsat 8 dan DEMNAS. *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi*, 55(3), 153–169. <https://doi.org/10.29017/lpmgb.55.3.705>
- Li, T. (2023). Research on Convolutional Neural Network in the Field of Oil and Gas Exploration. *Open Access Library Journal*, 10(03), 1–10. <https://doi.org/10.4236/oalib.1109738>
- Lord, B. (2017). Remote sensing techniques for onshore oil and gas exploration. *The Leading Edge*, 36(1), 24–32. <https://doi.org/10.1190/tle36010024.1>
- Maruyama, Y. (1994). How to apply the remote sensing for oil and gas exploration. *Remote Sensing Technology for Development of Natural Resources*, 1–10.

- Matahelemual, G. J. S., Harto, A. B., & **Susantoro, T. M.** (2020). Oil spill detection using Sentinel-1 Multitemporal Data in Offshore Karawang. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 43(2), 69–79. <https://doi.org/10.29017/SCOG.43.2.522>
- Ministry of Energy and Mineral Resources. (2022). *Sedimentary basin map of Indonesia*.
- Noomen, M. F., Skidmore, A. K., van der Meer, F. D., & Prins, H. H. T. (2006). Continuum removed band depth analysis for detecting the effects of natural gas, methane and ethane on maize reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 105(3), 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.009>
- Nugroho, G., Sofan, P., Pambudi, A. I., Yulianto, F., Nugroho, U. C., Suwarsono, S., Ichsan, N., **Susantoro, T. M.**, Suliantara, S., & Setiawan, H. L. (2023). Improving Open-Pit Mining Mapping Accuracy in the Tropics Using Enhanced Input Selection for Classification Process of Machine Learning. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 51(12), 2481–2494. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01783-0>
- Nugroho, G., **Susantoro, T. M.**, Khomarudin, M. R., Candra, D. S., Maryanto, A., Suliantara, Setiawan, H. L., Sulma, S., Arief, R., Harto, A. B., Kurdianto, Hestrio, Y. F., & Jayati, A. (2025). Empirical models for estimating total chlorophyll content in sugarcane using hyperspectral reflectance and Sentinel-2 imagery. *Modeling Earth Systems and Environment*, 11(446), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s40808-025-02598-3>
- Nugroho, G., **Susantoro, T. M.**, Kurdianto, Sulma, S., Suliantara, Setiawan, H. L., Candra, D. S., & Khomarudin, R. M. (2025). *Aplikasi Prediksi Kandungan Klorofil Total Tanaman dari Citra Satelit Landsat-8/9* (Patent No. EC002025132925).
- Nugroho, U. C., **Susantoro, T. M.**, Kushardono, D., Nugroho, G., Setiawan, H. L., Suliantara, S., & Ichsan, N. (2024). Semantic Deep Learning for Open-pit Mining Detection Using High Resolution SAR Data. *2024 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICARES64249.2024.10768071>

- Nurkamelia, Sugihardjo, Widarsono, B., Usman, Suliantara, Kepies, S., Dwiyantarti, D., Sunarjanto, D., Romli, M., & **Susantoro, T. M.** (2024). Potential of CCS in East Kalimantan's Coal-Power Sector for Achieving Net-Zero Emissions. *Evergreen*, 11(3), 2555–2566. <https://doi.org/10.5109/7236896>
- Pambudi, N. A. (2018). Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2893–2901. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.096>
- Petrovic, A., Khan, S. D., & Chafetz, H. S. (2008). Remote Detection and Geochemical Studies for Finding Hydrocarbon-Induced Alterations in Lisbon Valley, Utah. *Marine and Petroleum Geology*, 25(8), 696–705. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2008.03.008>
- Prasetyo, D. F., & **Susantoro, T. M.** (2010). Monitoring semburan lumpur Sidoarjo. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XVII*, 141–146.
- Rakhiemah, A. N., & Xu, Y. (2022). Economic viability of full-chain CCUS-EOR in Indonesia. *Resources, Conservation and Recycling*, 179 (November 2021), 106069. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106069>
- Resosudarmo, B. P., Rezki, J. F., & Effendi, Y. (2023). Prospects of Energy Transition in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 59(2), 149–177. <https://doi.org/10.1080/00074918.2023.2238336>
- Rivereau, J. C., & Fontanel, A. (1976). Remote Sensing as an Aid to Petroleum and Mining Exploration. *Proceedings Indonesian Petroleum Association, the 5th Annual Convention, June*, 133–149.
- Romadhon, T. M. (2009). Pengaturan Production Sharing Contract dalam undang undang Minyak dan Gas. *Jurnal Hukum*, 16(1), 88–105. <https://doi.org/10.20885/iustum.vol16.iss1.art6>

- Rubio, V. (2002). *Correlation of the Onshore Hydrocarbon Seepages with the Geo-structural Characterization in the Venura Basin, Santa Barbara area, California*. International Institute for Geo-Information Sciences and Earth Observation, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Sabins, F. F. (1987). *Remote Sensing Principles and Interpretation*. W. H. Freeman and Company.
- Saha, S. K. (2022). Remote Sensing and Geographic Information System Applications in Hydrocarbon Exploration: A Review. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(8), 1457–1475. <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01540-9>
- Schumacher, D. (1996). Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments. In D. Schumacher & A. M. A (Ed.), *AAPG Memoir* (Nomor 66, hal. 71–89). The American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/m66606c6>
- Schumacher, D. (2008). Non-seismic detection of hydrocarbon: an overview. *AAPG International Conference and Exhibition*.
- Shah, Z. (2006). Geographic information system - An ultimate tool for hydrocarbon exploration and exploitation. *Geology and Geophysics of Pakistan, Journal of the Virtual Explorer*, 23(2), 1–10. <https://doi.org/10.3809/jvirtex.2006.00152>
- Sikka, D. B., & Shives, R. B. (2001). Mechanisms to Explain the Formation of Geochemical Anomalies Over Oilfields. In Near-Surface Hydrocarbon Migration: Mechanisms and Seepage Rates. *AAPG HEDBERG CONFERENCE*, 1–4.
- Sircar, A., Yadav, K., Rayavarapu, K., Bist, N., & Oza, H. (2021). Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry. *Petroleum Research*, 6(4), 379–391. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009>
- Smith, K. L., Steven, M. D., & Colls, J. J. (2004). Spectral Responses of Pot-Grown Plants to Displacement of Soil Oxygen. *International Journal of Remote Sensing*, 25(00), 1–17. <https://doi.org/10.1080/01431160410001729172>

- Speiser, J. L., Durkalski, V. L., & Lee, W. M. (2015). Random forest classification of etiologies for an orphan disease. *Statistics in Medicine*, 34(5), 887–899. <https://doi.org/10.1002/sim.6351>
- Suliantara, S., Prasetyo, D. F., Isnawati, & **Susantoro, T. M.** (2010). Remote sensing geology of South Upper Kutai Basin, East Kalimantan based on Palsar imagery. *Proceedings PIT IAGI, the 39th IAGI Annual Convention and Exhibition*, 1–15.
- Suliantara, S., **Susantoro, T. M.**, Setiawan, H. L., & Firdaus, N. (2021). A preliminary study on heavy oil location in Central Sumatra using remote sensing and geographic information system. *Scientific Contributions Oil and Gas (SCOG)*, 44(1), 39–54. <https://doi.org/10.29017/SCOG.44.1.489>
- Sulma, S., Kusuma, F. B., Wijaya, A. D., Hastuti, M., Herdanis, C., Prayogo, T., Parwati, E., **Susantoro, T. M.**, Faristyan, R., Ibrahim, A., & Afgatiani, P. M. (2023). Deteksi tumpahan minyak dari data Sentinel-2 menggunakan oil spill index (OSI) berbasis Google Earth Engine (GEE) (Patent No. EC002023134469). In *Kementerian Hukum dan Hak Asasi manusia* (No. EC002023134469). Program Komputer.
- Sulma, S., Prayogo, T., Hartuti, M., Afgatiani, P. M., Herdanis, C., Wijaya, A. D., Parwati, E., Kusuma, F. B., **Susantoro, T. M.**, & Faristyan, R. (2024). Adaptive threshold from the Sentinel-2 oil spill index for oil spill detection. *Proc.SPIE*, 12977, 129770R. <https://doi.org/10.1117/12.3009372>
- Susanto, E., Hedriana, O., & **Susantoro, T. M.** (2016a). CO₂ Storage of Saline Aquifer. In *EOR Market and CO₂ Storage Capacity Study* (hal. 170). R&D Center for Oil and Gas Technology LEMIGAS.
- Susanto, E., Hedriana, O., & **Susantoro, T. M.** (2016b). Overview of Geology of South Sumatra and North West Java Basin. In *EOR Market and CO₂ Storage Capacity Study* (hal. 170). R&D Center for Oil and Gas Technology LEMIGAS.

- Susantoro, T. M.** (2009a). *Optimalisasi Data Landsat 7 ETM+ dan SRTM untuk Revisi Peta Geologi Lembar Bojonegoro*. Universitas Gadjah Mada.
- Susantoro, T. M.** (2009b). Penajaman topografi pada Landsat 7 ETM+ menggunakan SRTM. *Berita Inderaja*, 8(15), 15–19.
- Susantoro, T. M.** (2010). Implikasi otonomi daerah terhadap perubahan lahan berdasarkan data penginderaan jauh. *Geomatika*, 16(1).
- Susantoro, T. M.** (2011). Identifikasi Kondisi Terkini Semburan Lumpur Sidoarjo dari Citra Penginderaan Jauh. *Berita Inderaja*, 2(2), 27–35.
- Susantoro, T. M.** (2019). *Model geobiokimia permukaan lapangan migas berbasis penginderaan jauh dan geologi di cekungan sedimen produksi hidrokarbon Jawa Barat Utara*. Institut Teknologi Bandung.
- Susantoro, T. M.** (2022a). *Integrasi data penginderaan jauh, gravity dan geologi berbasis machine learning untuk eksplorasi migas di cekungan Sumatera Tengah*.
- Susantoro, T. M.** (2015). Carbon storage potential in Indonesia (Potensi carbon storage di Indonesia). *Prosiding Konferensi Teknologi Minyak dan Gas Bumi*, 237–243.
- Susantoro, T. M.** (2022b). The role of remote sensing for oil and gas exploration. *Webinar BRIN Bincang Penginderaan Jauh*, 54.
- Susantoro, T. M., Arief, R., Candra, D. S., Khomarudin, M. R., Sulma, S., Suliantara, S., Setiawan, H. L., Hestrio, Y. F., Kurdianto, K., Maryanto, A., Harto, A. B., Nugroho, G., Kuntoro, Y., Jayati, A., & Yanto, H.** (2024d). *Pengembangan Model Anomali Permukaan Lapangan Migas untuk Eksplorasi Migas dan Monitoring Lingkungan Berdasarkan UAH-Sensor Hiperspektral dan Laboratorium (Tahun ke-1)*.

- Susantoro, T. M.**, Arief, R., Candra, D. S., Khomarudin, M. R., Sulma, S., Suliantara, S., Setiawan, H. L., Hestrio, Y. F., Kurdianto, K., Maryanto, A., Harto, A. B., Nugroho, G., Kuntoro, Y., & Yanto, H. (2023e). *Pengembangan Model Anomali Permukaan Lapangan Migas untuk Eksplorasi Migas dan Monitoring Lingkungan Berdasarkan UAH-Sensor Hiperspektral dan Laboratorium*.
- Susantoro, T. M.**, Danoedoro, P., & Sutikno. (2009). Pengenalan aplikasi geologi daerah Bojonegoro dan sekitarnya menggunakan data Landsat-7 ETM+. *Berita Inderaja*, 8(14), 15–22.
- Susantoro, T. M.**, Puspitasari, A. S., & Wikantika, K. (2016a). Environmental baseline assessment in oil and gas activities in Indonesia. *Proceeding Geosea XIV and 45th IAGI Annual Convention 2016*, 6–10.
- Susantoro, T. M.**, Puspitasari, A. S., & Wikantika, K. (2016b). Pola Spektral Berbagai Tipe Mud Volcano Menggunakan Analytical Spectral Devices. In Y. Marini, Mukhoriyah, G. D. Yudha, F. Yulianto, & A. K. Hayati (Ed.), *Proceedings Seminar Nasional Penginderaan Jauh. Penguatan Kemandirian IPTEK dan Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Mendukung Pengelolaan Sumber Daya Alam, Lingkungan dan Mitigasi Bencana* (hal. 219–226). Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional-LAPAN.
- Susantoro, T. M.**, Saepuloh, A., Agustin, F., Wikantika, K., & Harsolumakso, A. H. (2020b). Clay mineral alteration in oil and gas fields: integrated analyses of surface expression, soil spectra, and X-ray diffraction data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 46(2), 237–251. <https://doi.org/10.1080/07038992.2020.1771174>
- Susantoro, T. M.**, Saepuloh, A., Wikantika, K., Maryanto, A., Harto, A. B., & Maryanto, A. (2024a). Hydrocarbon Seepage Analysis on a Hydrocarbon Field in Indonesia Based on Plant Stress Using Landsat-8 Operational Land Imager and Field Measurements. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, 11(2), 756–770. <https://doi.org/10.5109/7183356>

- Susantoro, T. M.,** Setiawan, H. L., Wikantika, K., Saepuloh, A., & Harsolumakso, A. H. (2020a). An integration of soil spectral and radon measurement for microseepage analysis on onshore hydrocarbon field in Indonesia. *International Journal of Tomography and Simulation*, 33(2), 1–13.
- Susantoro, T. M.,** Sugihardjo, Suliantara, Widarsono, B., Usman, Setiawan, H. L., Romli, M., Wahyudi, P., Nurkamelia, & Suhartono, R. (2025a). Geographic information system-based approaches for evaluating CO₂ storage in Kalimantan basins , Indonesia. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 38(2), 904–914. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v38.i2.pp904-914>
- Susantoro, T. M.,** Suliantara, Harto, A. B., Setiawan, H. L., Nugroho, G., Candra, D. S., Jayati, A., Sulma, S., Khomarudin, M. R., Arief, R., Maryanto, A., Hestrio, Y. F., & Kurdianto. (2023b). The Potential of Remote Sensing Data for Oil And Gas Exploration in Indonesia: a Review. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 46(1), 29–43. <https://doi.org/10.29017/SCOG.46.1.1346>
- Susantoro, T. M., &** Suliantara, S. (2010). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk perencanaan jalur pipa. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 44(1), 55–62. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.44.1.154>
- Susantoro, T. M., &** Suliantara, S. (2014). Pemetaan migas pada cekungan frontier Memberamo dengan citra satelit dan didukung data subsurface regional. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 48(3), 141–150. <https://doi.org/10.29017/LPMGB.48.3.1220>
- Susantoro, T. M.,** Suliantara, S., Setiawan, H. L., Widarsono, B., & Wikantika, K. (2022c). Heavy oil potentials in Central Sumatra Basin, Indonesia using remote sensing, gravity, and petrophysics data: from literature review to interpretations and analyses. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 7(3), 363–384. <https://doi.org/10.17509/ijost.v7i3.51288>

- Susantoro, T. M.,** Suliantara, S., Setiawan, H. L., & Wikantika, K. (2023c). Study of earth surface morphological anomalies based on Landsat OLI 8 data and soil grain size in oil and gas field in undulating morphology. *The 9th International Seminar on Aerospace Science and Technology (ISAST 2022)*, 1–10. <https://doi.org/10.1063/5.0181459>
- Susantoro, T. M.,** Suliantara, S., & Sunardjanto, D. (2010). Oil spill pollution detection using Palsar data in Timor Sea. *Lemigas Scientific Contributions*, 33(2), 135–142. <https://doi.org/10.29017/SCOG.33.2.817>
- Susantoro, T. M.,** Suliantara, S., Wikantika, K., Saepuloh, A., Harto, A. B., Setiawan, H. L., Agustin, F., Jayati, A., Kurdianto, Sulma, S., & Sukristiyanti, S. (2024b). Mapping of Iron Oxide Distribution on the Ground Surface of the Tugu Barat Oil and Gas Field Using Landsat 8 OLI and Field Data. *Scientific Contributions Oil & Gas*, 47(3), 189–203. <https://doi.org/10.29017/SCOG.47.3.1634>
- Susantoro, T. M.,** Suliantara, Setiawan, H. L., Khomarudin, M. R., Sulma, S., Candra, D. S., Arief, R., Nugroho, G., Hestrio, Y. F., Maryanto, A., Kurdianto, K., Jayati, A., & Silvan Anggia Bayu Setia. (2024c). Program Estimasi Kandungan Klorofil Total (Patent No. EC00202496175). In *Kementerian Hukum dan Hak Asasi manusia* (No. EC00202496175). Program Komputer.
- Susantoro, T. M.,** Tjiptono, A. G., & Suliantara, S. (2005). Use of high resolution satellite data (Ikonos Imagery) for logistic support. *Scientific Contributions Oil & Gas Gas*, 28(2), 39–45. <https://doi.org/10.29017/SCOG.28.2.1040>
- Susantoro, T. M.,** & Wikantika, K. (2015). Pengolahan data Landsat 8 untuk ekstraksi objek di permukaan laut. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 21(2), 2015.
- Susantoro, T. M.,** & Wikantika, K. (2017). Peranan teknologi penginderaan jauh pada kegiatan minyak dan gas bumi. In K. Wikantika, F. N. Ariadji, & P. A. D. Prastiwi (Ed.), *Bunga Rampai ForMIND 2017* (Nomor November, hal. 67–98). ITB Press.

- Susantoro, T. M.,** Wikantika, K., Puspitasari, A. S. S., & Saepuloh, A. (2017). Impact of oil and gas field in sugar cane condition using landsat 8 in Indramayu area and its surrounding, West Java province, Republic of Indonesia. *{IOP} Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54(012019), 12019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012019>
- Susantoro, T. M.,** Wikantika, K., Saepuloh, A., & Harsolumakso, A. H. (2018). Selection of vegetation indices for mapping the sugarcane condition around the oil and gas field of North West Java Basin, Indonesia. *{IOP} Conference Series: Earth and Environmental Science*, 149(1), 12001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/149/1/012001>
- Susantoro, T. M.,** Wikantika, K., Suliantara, S., Harto, A. B., Vetrira, Y., Setiawan, H. L., Nugroho, G., & Hadiyanto, A. L. (2025a). Identifying New Oil and Gas Exploration Targets Using Machine Learning in Java Island, Indonesia. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, March(3), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s12524-025-02170-7>
- Susantoro, T. M.,** Wikantika, K., Suliantara, S., Setiawan, H. L., Harto, A. B., & Sakti, A. D. (2023d). Applying random forest to oil and gas exploration in Central Sumatra basin Indonesia based on surface and subsurface data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101039. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101039>
- Susantoro, T. M.,** Wikantika, K., Sunarjanto, D., Pasarai, U., Widarsono, B., Rahmadi, A., Romli, M., Wahyudi, P., & Kepies, S. (2023a). CCUS-EOR optimization to achieve zero emission program targets in Northwest Java Basin. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia strategy*, 10(03), 1809–1818. <https://doi.org/10.5109/7151730>

- Usman, U., Romli, M., Widarsono, B., Sunarjanto, D., Sugihardjo, Sukarno, P. W., Suhartono, R., Suliantara, S., **Susantoro, T. M.**, Setiawan, H. L., Nurkamelia, Kepies, S., Dwiyanarti, D., Wijanarko, E., Grandis, G., Sugiantoro, J. J., Wangge, Y. B. D., Leksmansa, F. Y., Pandapotan, Y., & Aziz, M. G. R. (2023). *Dataset: Sumberdaya Penyimpanan CO₂ Indonesia Pada Lapangan Minyak Dan Gas Bumi Di Cekungan Sedimen Produksi* (Patent No. EC002023134463). CO₂.
- Van Der Meer, F., Van Dijk, P., van der Werff, H. M. A., & Hong, Y. (2002). Remote sensing and petroleum seepage: a review and case study. *Terra Nova*, 14(1), 1–17. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2002.00390.x>
- Verstappen, H. T. (1978). *Remote Sensing in Geomorphology*. . International Institute of Aerial Survey and Earth Science (I.T.C.) Elsevier.
- Wang, L., Zhou, X., Zhu, X., Dong, Z., & Guo, W. (2016). Estimation of biomass in wheat using random forest regression algorithm and remote sensing data. *Crop Journal*, 4(3), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.01.008>
- Wei, C., Hao, X., Yi, H., Wu, Z., Yang, S., & Gu, C. (2012). Design and application of seismic exploration source for the Mesozoic group in the northern South China Sea. *Oil Geophys. Prospect*, 47, 1–7.
- Wicaksono, W., & Isa, S. M. (2022). Predicting the Extent of Sidoarjo Mud Flow Using Remote Sensing. *Journal of ICT Research and Applications*, 16(1 SE-), 56–69. <https://doi.org/10.5614/itbj.ict.res.appl.2022.16.1.4>
- Widarsono, B., Setiawan, H. L., **Susantoro, T. M.**, Suliantara, S., Hadimuljono, J. S., Yensusminar, D., Julikah, J., & Prayoga, O. A. (2021). An integrated approach for revisiting basin-scale heavy oil potential of the Central Sumatera Basin. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 44(1), 01–20. <https://doi.org/10.29017/scog.44.1.493>

- Widarsono, B., Sunarjanto, D., **Susantoro, T. M.**, Suliantara, Setiawan, H. L., Wahyudi, P., Sugihardjo, Romli, M., & Dwiyanti, D. (2023). Integrated Approach to Investigate the Potential of Asphalt/Tar Sand on Buton Island, Indonesia. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 46(2), 65–85. <https://doi.org/10.29017/SCOG.46.2.1583>
- Wikantika, K., Ghazali, M. F., Dwivany, F. M., **Susantoro, T. M.**, Fajri, L. N., Sunarwati, D., & Sutanto, A. (2023). A Study on the Distribution Pattern of Banana Blood Disease (BBD) and Fusarium Wilt Using Multispectral Aerial Photos and a Handheld Spectrometer in Subang, Indonesia. In *Diversity* (Vol. 15, 10, hal. 1–19). MDPI. <https://doi.org/10.3390/d15101046>
- Yang, W., Xia, K., & Fan, S. (2023). Oil Logging Reservoir Recognition Based on TCN and SA-BiLSTM Deep Learning Method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 121(October 2022), 105950. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105950>
- Yokoyama, R., & Pike, R. (2002). Visualizing Topography by Openness: A New Application of Image Processing to Digital Elevation Models. *Photogram Eng Remote Sens*, 68(3).
- Zhang, K., Lin, N., Yang, J., Zhang, D., Cui, Y., & Jin, Z. (2023). An Intelligent Approach for Gas Reservoir Identification and Structural Evaluation by ANN and Viterbi Algorithm—A Case Study From the Xujiahe Formation, Western Sichuan Depression, China. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1–12. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3247183>
- Zhao, Z., Zhong, G., Sun, M., Feng, C., Tu, G., & Yi, H. (2023). Hydrocarbon Accumulation Analysis Based on Quasi-3D Seismic Data in the Turbulent Area of the Northern South China Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/jmse11020338>

DAFTAR PUBLIKASI

Buku Nasional

1. Sugihardjo, Susilo E., Hedriana O., **Susantoro TM**, Tobing EML, Sawitri k, Dwiyanti D, Susan D, Lubad AM, Junaedi E, Akbar WA, Sismartono D, Hickman D. EOR Market and CO₂ Storage Capacity Study. 2016. R&D Centre for Oil and Gas Technology,"LEMIGAS", Ministry of Energy and Mineral resources. ISBN 978-979-8218-36-1

Bagian dari Buku Nasional

2. Wikantika K, **Susantoro TM**, Dwivany FM. Peluang dan Tantangan Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh untuk Monitoring Biodiversitas Tumbuhan di Indonesia. Buku Bunga Rampai Sains dan Teknologi-ITB. Seratus Tahun. 2019. Penerbit ITB Press. ISBN 978-623-7165-62-0
3. **Susantoro TM**, Wikantika K. Peranan Teknologi Penginderaan Jauh pada Kegiatan Minyak dan Gas Bumi. Buku Bunga Rampai Forum Peneliti Muda Indonesia. 2017. Penerbit ITB Press. ISBN 978-602-5417-37-5
4. Susanto E, Hedriana O, **Susantoro TM**. CO₂ Storage of Saline Aquifer *in* EOR Market and CO₂ Storage Capacity Study. 2016. R&D Centre for Oil and Gas Technology, "LEMIGAS", Ministry of Energy and Mineral resources. ISBN 978-979-8218-36-1
5. Susanto E, Hedriana O, **Susantoro TM**. Overview of Geology of South Sumatra and North West Java Basin *in* EOR Market and CO₂ Storage Capacity Study. 2016. R&D Centre for Oil and Gas Technology,"LEMIGAS", Ministry of Energy and Mineral resources. ISBN 978-979-8218-36-1

Jurnal Internasional

6. Nugroho G, **Susantoro TM**, Khomarudin MR, Candra DS, Maryanto A, Suliantara, Setiawan HL, Sulma S, Arief R, Harto AB, Kurdianto, Hestrio YF, Jayati A. Empirical model for estimating total chlorophyll content in sugarcane using hyperspectral reflectance and Sentinel-2 imagery. (2025). Modeling Earth Systems and Environment. Doi: 10.1007/s40808-025-02598-3.
7. Subandiyah S, Prakoso AB, Berlian I, Joko T, Dwivany FM, Prasetyo Y, Wikantika K, **Susantoro TM**. Genome Sequence of *Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis*, The Causal Agent of Banana Blood Disease on *Musa balbisiana* cultivar Kepok in Bali, Indonesia. (2025). BMC Research Notes. Doi: 10.1186/s13104-025-07398-7.
8. **Susantoro TM**, Wikantia K, Suliantara, Harto AB, Vetrita Y, Setiawan HL, Nugroho G, Hadiyanto AL, Identifying New Oil and Gas Exploration Targets Using Machine Learning in Java Island, Indonesia. (2025). Journal of the Indian Society of Remote Sensing. Doi: 10.1007/s12524-025-02170-7.
9. Sukristiyanti, Pamela, Putra MHZ, Arifianti, Y, Rozie AF, Lestiana H, **Susantoro TM**, Sumaryono, Kristiawan Y, Putra IE. Hyperparameter tuning on machine learning –based landslide susceptibility mapping (case study: Palu City and its surrounding areas). (2025). Indonesian Journal on Geoscience. Doi: 10.17014/ijog.12.1.43.43-53.
10. Herlina L, Sakarani D, **Susantoro TM**, Agustini, Haris A, Yenti E, Adrian R, Herizal, Morina, Hidayati N, Suhartono R, Atmoko AD, Rahmadi A, Wahyudi P, Istiyanie D, Nardey S, Ardhyarini N. Indonesia's country-specific CO₂ emission factor based on gas fuels for greenhouse gas inventory in the energy sector. (2025). Environmental Pollution. Doi: 10.1016/j.envpol.2025.125749

11. **Susantoro TM**, Sugihardjo, Suliantara, Widarsono B, Usman, Setiawan HL, Romli M, Sukarno PW, Nurkamelia, Suhartono R. Geographic information system-based approaches for evaluating CO₂ storage in Kalimantan basins, Indonesia. (2025). Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJECS). Doi: 10.11591/ijeecs.v38.i2.pp904-914
12. Rahmila YI, Prasetyo LB, Kusmana K, Suyadi, Basyuni M, Pranoto B, Rahmania R, Halwany W, Faubiany F, **Susantoro TM**, Winarso G, Efiyanti L, Indrawan DA. Spatial analysis of mangrove ecosystem dynamics in Banyuwangi: a geographically weighted regression approach. (2024), Forest Science and Technology. Doi: 10.1080/21580103.2024.2438602.
13. **Susantoro TM**, Suliantara, Wikantika K, Saepuloh A, Harto AB, Setiawan HL, Agustin F, Jayati A, Kurdianto, Sulma S, Sukristiyanti. Mapping Iron Oxide Distribution on the Ground Surface of the Tugu Barat Oil and Gas Field Using Landsat 8 OLI and Field Data. (2024). Scientific Contributions Oil and Gas 47 (3), 167-175. Doi 10.29017/SCOG.47.3.1634
14. Nurkamelia, Sugihardjo, Widarsono B, Usman, Suliantara, Kepies S, Dwiyanarti D, Sunarjanto D, Romli M, **Susantoro TM**. Potential of CCS in East Kalimantan's Coal-Power Sector for Achieving Net-Zero Emissions. (2024). Evergreen 11(3), 2555–2566. Doi: 10.5109/7236896
15. **Susantoro TM**, Rosyidah A, Suliantara, Setiawan HL, Widarsono B, Hadimuljono JS. Identification of petroleum degrading bacteria and the status of oil pools in South of Minas Field, Central Sumatra Basin Indonesia. (2024). Egyptian Journal of Petroleum. 33(2), 1–14. Doi: 10.62593/2090-2468.1033
16. **Susantoro TM**, Saepuloh A, Wikantika K, Harto AB, Maryanto A. Hydrocarbon Seepage Analysis on a Hydrocarbon Field in Indonesia Based on Plant Stress Using Landsat-8 Operational Land Imager and Field Measurements. (2024). Evergreen 11 (2), 756–770. Doi: 10.5109/7183356

17. Nugroho G, Sofan P, Pambudi AI, Yulianto F, Nugroho UC, Suwarsono, Ichsan N, **Susantoro TM**, Suliantara, Setiawan HL. Improving Open-Pit Mining Mapping Accuracy in the Tropics Using Enhanced Input Selection for Classification Process of Machine Learning. (2023). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 51 (12), 2481–2494. Doi: 10.1007/s12524-023-01783-0
18. **Susantoro TM**, Wikantika K, Suliantara, Setiawan HL, Harto AB, Sakti AD. Applying random forest to oil and gas exploration in Central Sumatra basin Indonesia based on surface and subsurface data. (2023). *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 32, 101039. Doi: 10.1016/j.rsase.2023.101039
19. Wikantika K, Ghazali MF, Dwivany FM, **Susantoro TM**, Yayusman LF, Sunarwati D, Sutanto A. A Study on the Distribution Pattern of Banana Blood Disease (BBD) and Fusarium Wilt Using Multispectral Aerial Photos and a Handheld Spectrometer in Subang, Indonesia. (2023). *Diversity* 15 (10), 1046. Doi: 10.3390/d15101046
20. Widarsono B, Sunarjanto D, **Susantoro TM**, Suliantara, Setiawan HL, Wahyudi P, Sugihardjo, Romli M, Dwiyanti D. Integrated Approach to Investigate the Potential of Asphalt/Tar Sand on Buton Island, Indonesia. (2023). *Scientific Contributions Oil and Gas* 46 (2), 64–85. Doi: 10.29017/SCOG.46.2.1583
21. **Susantoro TM**, Suliantara, Harto AB, Setiawan HL, Nugroho G, Candra DS, Jayati A, Sulma S, Khomarudin MR, Arief R, Maryanto A, Hestrio YF, Kurdianto. The Potential of Remote Sensing Data for Oil and Gas Exploration in Indonesia: a Review. (2023). *Scientific Contributions Oil and Gas* 46 (1), 29–43. Doi: 10.29017/SCOG.46.1.1346
22. **Susantoro TM**, Sugihardjo, Wikantika K, Sunarjanto D, Pasarai U, Widarsono B, Rahmadi A, Romli M, Wahyudi P, Kepies S. CCUS-EOR Optimization to Achieve Zero Emission Program Targets in Northwest Java Basin. (2023). *Evergreen*. 10 (3), 1809–1818. Doi: 10.5109/7151730

23. Dammayatri R, **Susantoro TM**, Wikantika K. Green Open Space and Barren Land Mapping for Flood Mitigation in Jakarta, the Capital of Indonesia. (2023). *Indonesian Journal of Geography* 55 (2), 197–205. DOI: 10.22146/ijg.76452
24. **Susantoro TM**, Suliantara, Setiawan HL, Widarsono B, Wikantika K. Heavy Oil Potentials in Central Sumatra Basin, Indonesia Using Remote Sensing, Gravity, and Petrophysics Data: From Literature Review to Interpretations and Analyses. (2022). *Indonesian Journal of Science and Technology* 7 (3), 363–384. Doi: 10.17509/ijost.v7i3.51288
25. Widarsono B, Setiawan HL, **Susantoro TM**, Suliantara, Hadimuljono JS, Yensusminar D, Julikah, Prayoga OA. An integrated approach for revisiting basin-scale heavy oil potential of the Central Sumatera Basin. (2021). *Scientific Contributions Oil and Gas* 44 (1), 01–20. Doi: 10.29017/SCOG.44.1.493
26. Suliantara, **Susantoro TM**, Setiawan HL, Firdaus N. A Preliminary Study on Heavy Oil Location in Central Sumatra using Remote Sensing and Geographic Information System. (2021). *Scientific Contributions Oil and Gas* 44 (1), 39–54. Doi: 10.29017/SCOG.44.1.489
27. Tridawati A, Wikantika K, **Susantoro TM**, Harto AB, Darmawan S, Yayusman LF, Ghazali MF. Mapping the distribution of coffee plantations from multi-resolution, multi-temporal, and multi-sensor data using a random forest algorithm. (2020). *Remote Sensing* 12 (23), 3933. Doi: 10.3390/rs12233933
28. Matahelemual GJS, Harto AB, **Susantoro TM**. Oil Spill Detection using Sentinel-1 Multitemporal Data in Offshore Karawang. (2020). *Scientific Contributions Oil and Gas* 43 (2), 69–79. Doi: 10.29017/SCOG.43.2.522
29. **Susantoro TM**, Saepuloh A, Agustin F, Wikantika K, Harsolumakso AH. Clay mineral alteration in oil and gas fields: integrated analyses of surface expression, soil spectra, and X-Ray Diffraction data. (2020). *Canadian Journal of Remote Sensing* 46 (2), 237–251. Doi: 10.1080/07038992.2020.1771174

30. **Susantoro TM**, Setiawan HL, Wikantika K, Harsolumakso AH, Saepuloh A. An integration of soil spectral and random measurement for microseepage analysis on onshore hydrocarbon fields in Indonesia. 2020. *International Journal of Tomography and Simulation* 33 (2), 1–10.
31. Ghazali MF, **Susantoro TM**, Wikantika K, Harto AB, Nurtyawan R. Soil Moisture Mapping at Paddy Field in Indramayu Residence Using Landsat 8 OLI/TIRS. (2020). *HAYATI Journal of Biosciences* 27 (1), 71–71. Doi: 10.4308/hjb.27.1.71
32. **Susantoro TM**, Wikantika K, Harto AB, Suwardi D. Monitoring sugarcane growth phases based on satellite image analysis (a case study in Indramayu and its Surrounding, West Java, Indonesia). (2019). *HAYATI Journal of Biosciences* 26 (3), 117–117. Doi: 10.4308/hjb.26.3.117

Jurnal Nasional

33. **Susantoro TM**, Wikantika K, Yayusman LF, Tan A, Ghazali MF. Monitoring of mangrove growth and coastal changes on the North Coast of Brebes, Central Java, using landsat data. (2020). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)* 16 (2), 197–214. Doi: 10.30536/j.ijreses.2019.v16.a3221
34. Geurhaneu NY, **Susantoro TM**. Analisis Kanal-Kanal Landsat 8 OLI untuk Pemetaan Batimetri di Sekitar Pulau Putri, Kota Batam. (2020). *JURNAL GEOLOGI KELAUTAN* 18 (1). 11–22. Doi: 10.32693/jgk.18.1.2020.648
35. **Susantoro TM**, Andayani A. Kontaminasi logam berat di kawasan pesisir Tanjung Selor Kalimantan Utara. (2019). *OLDI (Oseanologi dan Limnologi di Indonesia)* 4 (1), 1–14. Doi: 10.14203/oldi.2019.v4i1.181

36. **Susantoro TM**, Wikantika K, Saepuloh A, Harsolumakso AH. Identifikasi Potensi Rembesan Mikro di Lapangan Migas Melalui Deteksi Mineral Lempung Menggunakan Citra Landsat 8 OLI/TIRS, Studi Kasus Lapangan Migas Cekungan Jawa Barat. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*. (2018) 15 (1), Doi: 10.30536/j.pjpdcd.2018.v15.a2779
37. Geurhaneu NY, **Susantoro TM**. Perubahan Garis Pantai Pulau Putri-Kota Batam Menggunakan data Citra Satelit tahun 2000–2016. (2016). *Jurnal Geologi Kelautan* 14 (2), 79–90. Doi: 10.32693/jgk.14.2.2016.276.
38. **Susantoro TM**. Dana Ketahanan Energi: Pembelajaran dari Norwegia. (2016). *Mineral & Energi* 14 (2), 11–21.
39. **Susantoro TM**, Sunarjanto D, Andayani A. Distribusi logam berat pada sedimen di perairan muara dan laut Provinsi Jambi. (2015). *Jurnal Kelautan Nasional* 10 (1), 1–11. Doi: 10.15578/JKN.V10I1.4
40. Suliantara, **Susantoro TM**. Hydrocarbon potential of Tolo Bay Morowali Regency: Qualitative analysis. *Scientific Contributions Oil and Gas*. (2015). 38(1): 13–24. Doi: 10.29017/SCOG.38.1.536
41. **Susantoro TM**, Wikantika K. Pengolahan Data Landsat 8 Untuk Ekstraksi Objek Di Permukaan Laut. (2015). *Jurnal Ilmiah Geomatika* 21 (2), 99–106.
42. Crystiana I, **Susantoro TM**, Firdaus N. Pengolahan Data Citra Satelit untuk Mengidentifikasi Potensi Jebakan dalam Kegiatan Eksplorasi Migas. (2015). *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi* 49 (1), 41–51. Doi: 10.29017/LPMGB.49.1.235
43. **Susantoro TM**, Setiawan HL. Percepatan Eksplorasi Migas Kawasan Timur Indonesia. (2014). *Mineral & Energi* 12 (3), 15–24.
44. **Susantoro TM**, Suliantara. Pemetaan Migas pada Cekungan Frontier Memberamo dengan Citra Satelit dan Didukung Data Subsurface Regional. (2014). *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi* 48 (3), 141–150.

45. Crystiana I, **Susantoro TM**, Junaedi T. Identifikasi Potensi Migas Melalui Citra Satelit dengan Pendekatan Anomali Topografi (Studi Kasus Daerah Indramayu dan Sekitarnya). (2014). Lembaran publikasi minyak dan gas bumi 48 (2), 89–102.
46. Suliantara, **Susantoro TM**. Pemetaan Cekungan Target Eksplorasi Migas Kawasan Timur Indonesia. (2013). Lembaran publikasi minyak dan gas bumi 47 (1), 9–17.
47. Crystiana I, **Susantoro TM**. Pemanfaatan Citra Ikonos untuk Mengkaji Permasalahan Sosial pada Pengembangan Lapangan Tua. (2013). Lembaran publikasi minyak dan gas bumi 47 (2), 69–77.
48. Desrina R, Anwar C, **Susantoro TM**. Environmental Impacts of the Oil and Gas Platform Decommissioning. (2013). Scientific Contributions Oil and Gas 36 (2), 97–103.
49. **Susantoro TM**, Suliantara. Metode Screening dan Ranking dalam Penentuan Lokasi Eksplorasi Migas di Kawasan Timur Indonesia. (2013). Mineral & Energi 11 (4), 15–23.
50. **Susantoro TM**, Suliantara. Pemetaan Sumber Daya kawasan Timur Indonesia. (2013). Mineral & Energi 11 (4), 51–60.
51. **Susantoro TM**. Identifikasi Kondisi Terkini Semburan Lumpur Sidoarjo dari Citra Penginderaan Jauh. (2011). Berita Inderaja-LAPAN 2 (2), 27–35.
52. **Susantoro TM**, Suliantara. Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Perencanaan Jalur Pipa. (2010). Lembaran publikasi minyak dan gas bumi 44 (1), 55–62.
53. **Susantoro TM**, Suliantara, Sunarjanto D. Oil Spill Pollution Detection Using Palsar Data in Timor Sea. (2010). Scientific Contributions Oil and Gas 33 (2), 135–142.
54. **Susantoro TM**. Implikasi Otonomi Daerah terhadap Perubahan Lahan Berdasarkan Penginderaan Jauh. (2010). GEOMATIKA 16 (1), 33–44.

55. **Susantoro TM**. Penajaman Topografi pada Landsat 7 ETM+ Menggunakan SRTM. *Berita Inderaja-LAPAN*. (2009). 8 (15), 15–19.
56. **Susantoro TM**. Aplikasi Data *Remote Sensing* untuk Pemetaan Geologi dan Geomorfologi di Kabupaten Kulon Progo bagian Selatan. (2009). *Majalah Mineral & Energi*.
57. **Susantoro TM**, Danoedoro P, Sutikno. Pengenalan Aplikasi Geologi Daerah Bojonegoro dan Sekitarnya Menggunakan Data Landsat-7 ETM+. (2009). *Berita Inderaja* 8 (14), 15–22.
58. **Susantoro TM**, Tjiptono AG, Suliantara. Use of High Resolution Satellite Data (IKONOS Imagery) for Logistic Support. (2005). *Scientific Contributions Oil and Gas* 28 (2), 39–45.

Prosiding Internasional

59. Faristyawan R, Suhadha AG, Wardani R, Hartuti M, Putranto MF, Wardana TK, **Susantoro TM**, Pranowo WS. Seasonal Mapping of Oil Spills Occurrences in Northern Bintan Waters. (2024). *IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES)*. Doi: 10.1109/ICARES64249.2024.10767944
60. Nugroho UC, **Susantoro TM**, Kushardono D, Nugroho G, Setiawan HL, Suliantara, Ichsan N. Semantic Deep Learning for Open-Pit Mining Detection Using High Resolution SAR Data. (2024) *IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES)*. Doi: 10.1109/ICARES64249.2024.10768071
61. Sunarjanto D, Widarsono B, Sugihardjo, Suliantara, Atmoko AD, Romli M, Setiawan HL, **Susantoro TM**, Suhartono R, Dwiyanarti D, Nurkamelia. Optimizing the Development of Renewable Energy and Fossil Energy during the Energy Transition in Indonesia: A Paper Review. (2024). *AIP Conference Proceedings* 3069 (1), 020093. Doi: 10.1063/5.0206075

62. Sulma S, Prayogo T, Hartuti M, Afgatiani PM, Herdanis C, Wijaya AD, Parwati E, Kusuma FB, **Susantoro TM**, Faristyawan R. Adaptive Threshold from the Sentinel-2 Oil Spill Index for Oil Spill Detection. (2024). Eighth Geoinformation Science Symposium 2023: Geoinformation Science for Sustainable Planet. 12977, 255–263. SPIE. Doi: 10.1117/12.3009372
63. Kurdianto, **Susantoro TM**, Candra DS, Sulma S, Hestrio YF, Khomarudin MR, Suliantara, Setiawan HL, Maryanto A, Nugroho G, Arief R, Harto AB. Impact of Oil Injection on Concentrations of Chlorophyll, Carotenoids, Anthocyanins in Banyan Leaves and Ketapang Dewa Leaves Using Hyperspectral Sensor. (2023). IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS). Doi: 10.1109/AGERS61027.2023.10490693
64. **Susantoro TM**, Suliantara, Setiawan HL, Wikantika K. Study of Earth Surface Morphological Anomalies Based on Landsat OLI 8 Data and Soil Grain Size in Oil and Gas Field in Undulating Morphology. (2023). AIP Conference Proceedings 2941 (1). Doi: 10.1063/5.0181459
65. Sukristiyanti, Arifianti Y, Rozie AF, Pamela P, **Susantoro TM**, Putra MHZ, Lestiana MHZ, Telaumbanua JA. Machine Learning for Landslide Susceptibility Mapping Using Phyton in Sigi Biromaru Area (Near Palu), Central Sulawesi, Indonesia. (2023). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1276 (1), 012024. Doi: 10.1088/1755-1315/1276/1/012024
66. **Susantoro TM**, Wikantika K, Saepuloh A, Harsulumakso AH. Selection of Vegetation Indices for Mapping the Sugarcane Condition around the Oil and Gas Field of North West Java Basin, Indonesia. (2018). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 149 (1), 0120. Doi: 10.1088/1755-1315/149/1/012001

67. **Susantoro TM**, Wikantika K, Saepuloh A, Harsolumakso AH. Utilization of Vegetation Indices to Interpret the Possibility of Oil and Gas Microseepages at Ground Surface. (2018). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 145 (1), 012012. Doi: 10.1088/1755-1315/145/1/012012
68. **Susantoro TM**, Wikantika K, Puspitasari AS, Saepuloh A. Impact of Oil and Gas Field in Sugarcane Condition Using Landsat 8 in Indramayu Area and its Surrounding, West Java Province, Republic of Indonesia. (2017). IOP conference series: earth and environmental science 54 (1), 012019. Doi: 10.1088/1755-1315/54/1/012019

Prosiding Nasional

69. Kuntoro Y, **Susantoro TM**, Setiawan HL, Wibowo A. Utilization of Multispectral Imagery for Exploration Activities. (2022). The 47th Annual Scientific Meeting of Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
70. Crystiana I, **Susantoro TM**, Junaedi T. Monitoring Perkembangan Mangrove di Pulau Lumpur Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo. (2021). Prosiding Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan 6 (1), 103–110.
71. **Susantoro TM**, Wikantika K, Saepuloh A, Harsolumakso AH. Analisis Letusan Gunung Agung untuk Mitigasi bencana dengan Memanfaatkan Teknologi Penginderaan Jauh. (2018). Seminar Nasional Penginderaan Jauh, 640–646.
72. **Susantoro TM**, Puspitasari AS, Wikantika K. Environmental Baseline Assessment in Oil And Gas Activities In Indonesia Using Remote Sensing. (2018).
73. **Susantoro TM**, Hidayat TA, Wikantika K, Harto AB Deteksi Perubahan Luas Pulau Terdepan Indonesia dengan Teknologi Inderaja (Studi Kasus: Pulau Putri, Kota Batam Tahun 2000–2016). (2017). Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan XIII 2016 1 (Ikatan sarjana Oseanologi Indonesia).

74. **Susantoro TM**, Agustin F. Rekonstruksi Batuan Dasar Laut Jawa, Bagian dari Struktur Pegunungan Meratus dengan Memanfaatkan Data Gravity Regional. (2017). Temu Ilmiah XIII dan Pameran Hasil Litbang ESDM, 77–87.
75. **Susantoro TM**, Wikantika K, Saepuloh A, Harsolumakso AH. Pemetaan Mineral Lempung untuk Identifikasi Anomali Potensi Rembesan Mikro di Lapangan Migas, Cekungan Jawa Barat Utara Menggunakan Data Landsat-8. (2017). Seminar Nasional Penginderaan Jauh-LAPAN.
76. **Susantoro TM**, Puspitasari AS, Wikantika K. Pola Spektral Berbagai Tipe Mud Volcano Menggunakan Analytical Spectral Devices. (2016). Seminar Nasional Penginderaan Jauh, 219–226.
77. Sunarjanto D, **Susantoro TM**. Pengembangan SNI Bidang Migas Melalui Standarisasi Pelaporan Sumber Daya Migas dan Sertifikasi Produk Hilir Migas. (2015). 10th Annual Meeting on Testing and Quality, 362–375.
78. **Susantoro TM**. Potensi Carbon Storage di Indonesia. (2015). Diskusi Ilmiah XII-Badan Litbang ESDM.
79. Hedriana O, Sugihardjo, Susanto E, Tobing EML, **Susantoro TM**. Penangkapan Karbon, Penggunaan dan Penyimpanan dalam Formasi Geologi di Sumatera Selatan dan Jawa Barat. (2015). Diskusi Ilmiah XII-Badan Litbang ESDM.
80. Prasetyo DF, Suliantara, **Susantoro TM**. Monitoring Semburan Lumpur Lapindo. (2010). Prosiding PIT MAPIN XVII, 141–146.
81. Suliantara, Prasetyo DF, Isnawati, **Susantoro TM**. Remote Sensing Geology of South Upper Kutai basin, East Kalimantan Based on PALSAR Imagery. (2010). PIT IAGI Lombok the 39th IAGI Annual Convention and Exhibition, 1–15.
82. **Susantoro TM**, Suliantara. Penggunaan data Citra Satelit ASTER untuk Mendeteksi Fasilitas Minyak dan Gas dan Rona Awal Lingkungan di kabupaten Subang dan Indramayu. (2005). Prosiding LEMIGAS Scientific Discussion X.

Paten Nasional

83. Metode Identifikasi Tumpahan Minyak di Laut secara tidak Berselia Menggunakan Citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR) di Wilayah Tropis. Paten. (2024). No. P00202415232.

Hak Cipta

84. Aplikasi Prediksi Kandungan Klorofil Total Tanaman dari Citra Satelit Landsat-8/9 (2025). Nomor Sertifikat EC002025132925.
85. Aplikasi Get LST VIIRS (GLV). Hak Cipta. Nomor Sertifikat EC002025156088.
86. BRIN-ORCA (Oilspills recognition and clustering automation). Hak Cipta. (2024). Nomor Sertifikat EC0020248776.
87. Aplikasi Estimasi Probabilitas Piksel Awan Satelit Optis. Hak Cipta. Nomor Sertifikat EC002024244167.
88. Program Estimasi Kandungan Klorofil Total. (2024). Hak Cipta. Nomor sertifikat EC00202496175.
89. Deteksi Tumpahan Minyak dari Data Sentinel-2 Menggunakan Oil Spill Index (OSI) Berbasis Google Earth Engine (GEE). (2023). Hak Cipta. Nomor sertifikat EC002023134469.
90. Dataset: Sumberdaya Penyimpanan CO₂ Indonesia pada Lapangan Minyak dan Gas Bumi di Cekungan Sedimen Produksi. (2023). Hak Cipta. Nomor sertifikat EC002023134463.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Susantoro TM**. Model Geobiokimia Permukaan Lapangan Migas Berbasis Penginderaan Jauh dan Geologi di Cekungan Sedimen Produksi Hidrokarbon Jawa Barat Utara. (2019). Disertasi. Program Doktor Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan-ITB. Bandung.
2. **Susantoro TM**. Optimalisasi Data Landsat 7 ETM+ and SRTM untuk Revisi Peta Geologi Lembar Bojonegoro. (2009). Tesis. Program Magister Prodi Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi. UGM, Yogyakarta.
3. **Susantoro TM**. Perubahan Luasan dan Kepadatan mangrove di Delta Wulan, Kabupaten Demak dan Sekitarnya Tahun 1994 – 1998 Menggunakan Landsat TM Multi Temporal dengan Analisis NDVI. (2000) Skripsi. Prodi Ilmu dan Teknologi Kelautan. Universitas Diponegoro, Semarang.
4. Widarsono B, Suliantara, Nurkamelia, Sugihardjo, Musu JT, **Susantoro TM**, Romli M, Setiawan HL, Herizal, Usman, Kepies S, Dwiyanti D, Rani DS, Wijayoko RS, Wahyudi P, Atmoko AD. Reduction of Carbon Emission in East Java Power Generation Sector Through the Use of Saline Aquifer as CO₂ Storage. Accepted for presenting at 12th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (2025).
5. Pasarai U, Suliantara, Romli M, **Susantoro TM**, Widarsono B, Setiawan HL, Wangge YBD. Suhartono R, Kimura S, Sidemen AGS, Utama NA. Indonesia's CO₂ Storage Resources Maturity to Support Low-Emission Energy System. Accepted for presenting at 12th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (2025), **Major Revision in Evergreen - Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy (EGREEN-02706-2025-01)**.

6. Sugihardjo, Rani DS, Widarsono B, Romli M, Wahyudi P, Kepies S, Nurkamelia, Suliantara, Dwiyanarti D, **Susantoro TM**. Conceptual Models of Hybrid CO₂-EOR Storage in East Kalimantan Based on Source-Sink Matching for Improving Oil Recovery and Pursuing Net Zero Emission. Accepted for presenting at 12th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (2025), **Minor Revision in Evergreen - Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy (EGREEN-02671-2025-01)**.
7. **Susantoro TM**, Nugroho G, Suliantara, Setiawan HL, Sulma S, Candra DS, Arief R, Khomarudin MR, Kurdianto, Maryanto A, Jayati A, Hestrio YF. Detecting plant stress by oil pollution using spectral reflectance and chlorophyll content: laboratory insight and field applications. (2025). **Status Minor Revision to International Journal of Remote Sensing**.
8. Ibrahim A, Hastuti M, **Susantoro TM**, Parwati E, Faristyan R. Improving Oil Spill Classification in the Tropical Waters through C-Band SAR Derived Multi-Textural Features Inputs Approach. **Status Major Revision in Journal of the Indian Society of Remote Sensing**.
9. Sakti AD, Prakoso T, Santoso C, Anggraini TS, Milliandza JA, Garniwa PMP, **Susantoro TM**, Harto AB, Spatial Modeling Framework for Biomass Energy Potential in Southeast Asia Using Remote Sensing and Machine Learning. **Status Major Revision in International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**.
10. **Susantoro, T. M.**, Arief, R., Candra, D. S., Khomarudin, M. R., Sulma, S., Suliantara, S., Setiawan, H. L., Hestrio, Y. F., Kurdianto, K., Maryanto, A., Harto, A. B., Nugroho, G., Kuntoro, Y., Jayati, A., Yanto, H., Jayati, A., & Yanto, H. (2024). Pengembangan Model Anomali Permukaan Lapangan Migas untuk Eksplorasi Migas dan Monitoring Lingkungan Berdasarkan UAH-Sensor Hiperspektral dan Laboratorium (Laporan Studi RIIM Tahun ke-2).

11. **Susantoro, T. M.**, Arief, R., Candra, D. S., Khomarudin, M. R., Sulma, S., Suliantara, S., Setiawan, H. L., Hestrio, Y. F., Kurdianto, K., Maryanto, A., Harto, A. B., Nugroho, G., Kuntoro, Y., & Yanto, H. (2023). Pengembangan Model Anomali Permukaan Lapangan Migas untuk Eksplorasi Migas dan Monitoring Lingkungan Berdasarkan UAH-Sensor Hiperspektral dan Laboratorium (Laporan Studi RIIM Tahun 1).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Tri Muji Susantoro, S.T., M.Sc.
Tempat, Tanggal Lahir	: Brebes, Desember 1976
Anak ke	: tiga dari tujuh bersaudara
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Nama Ayah Kandung	: H. Saryo, A.Md.
Nama Ibu Kandung	: Hj. Wati'ah
Nama Istri	: Afrohatun Ni'mah S.Pd. M.M
Jumlah Anak	: tiga
Nama Anak	: 1. Muhammad Yusuf Al Azmi : 2. Farras Fakhрил Anam : 3. Fatimah Azzahra
Nama Unit	: Pusat Riset Geoinformatika
Nama Organisasi	: Organisasi Riset Elektronika dan Informatika
Nama Instansi	: Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi	: Menjaga Keberlanjutan Pembangunan Indonesia melalui Efisiensi Eksplorasi Migas dengan Penginderaan Jauh dan Pembelajaran Mesin
Ilmu	: Geodesi dan Geomatika
Bidang	: Aplikasi Penginderaan Jauh

Kepakaran : Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Eksplorasi ESDM
 No. SK Pangkat Terakhir : Keputusan Presiden RI Nomor 2/K Tahun 2025, tanggal 9 Januari 2025
 No. SK Peneliti Ahli Utama : Keputusan Presiden RI Nomor 56/M/ Tahun 2024 tanggal 27 Agustus 2024.
 Tautan Scopus : <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193563170>
 Tautan Google Scholar : <https://scholar.google.com/citations?user=yAxGhkAAAAAJ&hl=en&oi=ao>

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SDN Langkap II	Bumiayu/Brebes/ Indonesia	1989
2.	SMP	SMPN 1 Bumiayu	Bumiayu/Brebes/ Indonesia	1992
3.	SMA	SMAN 1 Bumiayu	Bumiayu/Brebes/ Indonesia	1995
4.	S-1	UNDIP	Semarang/Indonesia	2000
5.	S-2	UGM	Jogjakarta/Indonesia	2009
6.	S-3	ITB	Bandung/Indonesia	2019

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Pengolahan Data Pasang Surut dan Leveling	Jakarta/Indonesia	1998
2.	Penginderaan Jauh dan SIG bagi Mahasiswa/Masyarakat/Pegawai	Jakarta/Indonesia	1999
3.	Diklat Prajabatan	Bandung/Indonesia	2003
4.	Extracting Spatial Information Using ER Mapper	Jakarta/Indonesia	2003
5.	MODIS and Hyperspectral Data Analysis and the Applications	Jakarta/Indonesia	2004
6.	Potentials and Applications of Microwave Remote Sensing	Jakarta/Indonesia	2004
7.	Kepedulian ISO 14000 & OHSAS 18000	Jakarta/Indonesia	2004
8.	Pembuatan Dokumen Paten dan Lisensi Paten Migas	Jakarta/Indonesia	2004
9.	The Team Capacity Building Program	Jakarta/Indonesia	2004
10.	Professional Selling Skills	Bogor/Indonesia	2005
11.	Pelatihan Fungsional Peneliti Tingkat Pertama	Bogor/Indonesia	2005
12.	Kaidah penulisan Karya Ilmiah	Jakarta/Indonesia	2006
13.	Pemetaan Topografi Menggunakan Electronic Total Station	Cepu/Indonesia	2006
14.	Pelatihan Penataan Pangkalan Minyak Tanah Bersubsidi	Depok/Indonesia	2007

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
15.	Matrikulasi Calon Mahasiswa Pasca Sarjana (S-2) Penginderaan Jauh-UGM	Jogjakarta/ Indonesia	2007
16.	Peningkatan karya Prestatif	Ciloto-Bogor/ Indonesia	2007
17.	Geo-Campus State of The Art Remote Sensing “Pengalaman Pemanfaatan Landsat dan ALOS untuk Pemanfaatan SDA dan LH”	Jogjakarta/ Indonesia	2008
18.	Strategi Pengelolaan dan Utilisasi Data Spasial untuk Perencanaan Pembangunan Regional Berbasis Model Dinamik	Jogjakarta/ Indonesia	2008
19.	Diklat Ketidakpastian Pengukuran	Jakarta/Indonesia	2009
20.	Mineral Exploration and GIS/ Remote Sensing	Daijon/Korea	2009
21.	<i>International Remote Sensing and GIS on Demography, Land Use-Land Cover and Disaster</i>	Bandung/Indonesia	2012
22.	<i>CCOP-Norway EPPM Program PIW16: North Sumatra-Mergui Basin Case Study: Risking Petroleum Plays and Prospect</i>	Labuhan/Malaysia	2012
23.	SNI ISO/IEC 17025:2008	Jakarta/Indonesia	2012
24.	Pelatihan Effective Communication Skill	Jogjakarta/ Indonesia	2012

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
25.	Sertifikasi Penginderaan jauh Kompetensi Klaster Analis Muda	Jakarta/Indonesia	2013
26.	<i>Training for Middle Manager</i>	Bandung/Indonesia	2013
27.	<i>Workshop Petroleum Potential in frontier areas of Indonesia: Opportunities, risks and ways of exploration</i>	Jakarta/Indonesia	2013
28.	Diklat Peneliti Lanjutan	Cibinong/Indonesia	2013
29.	<i>Training of Remote Sensing</i>	Jakarta/Indonesia	2013
30.	<i>Training of Geographic Information System</i>	Jakarta/Indonesia	2013
31.	<i>Leadership Training for Middle Managers</i>	Bandung/Indonesia	2013
32.	<i>Application of image processing for geologic investigation</i>	Jogjakarta/Indonesia	2014
33.	<i>Increasing awareness on energy conservation</i>	Serpong/Indonesia	2014
34.	Pelatihan dan Lokakarya: Model bisnis dan penyusunan rencana bisnis berbasis teknologi	Padalarang/ Indonesia	2014
35.	Pendidikan dan Pelatihan Teknis Penyusunan Proposal Penelitian	Cibinong/Indonesia	2015
36.	<i>Indonesia Carbon Capture and Storage Workshop “ The Role of CCS as Low Carbon Energy technology to Achieve Low Carbone Development Path: Associated Key Issues”</i>	Jakarta/Indonesia	2015

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
37.	Pelatihan dan Workshop: Carbon Capture and Storage: Learning from Global Project	Jakarta/Indonesia	2015
38.	<i>Used of SuperMap GIS Course</i>	Bandung/Indonesia	2017
39.	Workshop Kerja Bersama dalam Tata Kelola Keanekaragaman Hayati Indonesia secara Terpadu dan Berkelanjutan	Bandung/Indonesia	2017
40.	<i>Mobile Mapping System</i>	Bandung/Indonesia	2017
41.	<i>Short Course on Geoscience Remote Sensing, and Electronics.</i>	Jakarta/Indonesia	2018
42.	<i>Training and Workshop Clastic Exploration & Reservoir Sedimentology: Its Contribution for Petrophysic Analysis</i>	Tangerang/ Indonesia	2019
43.	Pelatihan & Workshop “Introduction to Drilling Operation for Geologists	Jakarta/Indonesia	2019
44.	Tantangan dan Peluang Penginderaan Jauh di Disruption Era dan Peran Data Remote Sensing untuk pencapaian SDGs dari Desa/Smart Villages	Jakarta/Indonesia	2020
45.	<i>Introduction X-Ray Diffraction (XRD) and Applications</i>	Jakarta/Indonesia	2020
46.	<i>The DJI Matrice 200 v2 with Micasense Multispectral Sensor Training</i>	Jakarta/Indonesia	2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
47.	Pelatihan <i>Risk Management for Public Sectors</i>	Jakarta/Indonesia	2020
48.	Perkembangan Penginderaan Jauh Aktif untuk Monitoring Muka Bumi berbasis <i>Cloud Computing</i> : Konsep InSAR, PS-InSAR dan Aplikasinya	Lampung/Indonesia	2020
49.	<i>R&D Carbon Capturing Utilization & Storage (CCUS)</i> di Indonesia & Dunia	Jakarta/Indonesia	2020
50.	Pelatihan Teknis Tekno Ekonomi: Sub Bidang Pengusahaan Pipa Gas Bumi	Jakarta/Indonesia	2021
51.	<i>Communication effectiveness with social style</i>	Jakarta/Indonesia	2021
52.	<i>The DJI Matrice 600 Pro with Hyperspectral Sensor Training</i>	Jakarta/Indonesia	2021
53.	Diklat <i>Upstream Gas Business</i>	Jakarta/Indonesia	2022
54.	Diklat <i>Petroleum Geology</i>	Jakarta/Indonesia	2022

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Palab Penginderaan Jauh	PPPTMGB LEMIGAS	2011–2012
2.	Ketua Kelris Penginderaan Jauh dan SIG	PPPTMGB LEMIGAS	2012–2015
3.	Ketua Kelris Geoinformasi	PRGI-OREI	2024–Sekarang

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama	1 April 2010
2.	Peneliti Ahli Muda	1 Desember 2011
3.	Peneliti Ahli Madya	1 April 2022
4.	Peneliti Ahli Utama	26 September 2024

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Koordinator Teknis <i>Law and Regulation Compliance for Banyu Urip Field Development</i>	Kep. Pusat PPPTMGB LEMIGAS	2003– 2004
2.	Koordinator Tim Studi Revitalisasi Pengelolaan Sumber Daya Migas Melalui Inventarisasi & Pemutakhiran Data Sumber Daya Migas KKKS	Kep. Pusat PPPTMGB LEMIGAS – BP MIGAS/SKK MIGAS	2012– 2014
3.	Koordinator Tim Kajian Pengembangan Sumberdaya Migas di Cekungan Indonesia Timur	Kep. Pusat PPPTMGB LEMIGAS	2013– 2013
4.	Eksplorasi migas pada prospek dangkal melalui pendekatan anomali topografi dengan remote sensing pada onshore area	Kep. Balitbang ESDM	2013– 2013
5.	Tim Kaji Ulang Data Geoscience untuk Peningkatan Kualitas Informasi Wilayah Kerja Baru Migas	Kep. Balitbang ESDM	2013– 2015

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
6.	Tim Evaluasi Bersama Intensifikasi Eksplorasi Migas di Kawasan Timur Indonesia	Kep. Balitbang ESDM	2014– 2015
7.	Tim Pemutakhiran Rencana Strategis (RENSTRA) SKK Migas 2014-2015 dan Penyusunan Rencana Strategis (RENSTRA) 2015-2020	Kep. Pusat PPPTMGB LEMIGAS	2014– 2014
8.	Tim Pemetaan Shale Gas Play di Daratan Indonesia (Cekungan Mature Sumatra Selatan 2014-2015)	Kep. Balitbang ESDM	2014– 2014
9.	Tim Pelaksana Implementasi Paten/ Pilot Plant/ Prototype/ Demo Plant/ Rancangan/ Rancang Bangun/Formula di Lingkungan KESDM	Menteri ESDM	2015– 2015
10.	Tim Studi mikroanalisis reservoir batupasir permeabilitas rendah dan penyebarannya berdasarkan mikroanalisis di cekungan Sumatra Tengah	Kep. Balitbang ESDM	2015– 2015
11.	Tim Studi Pemetaan rembesan minyak di daerah Timor, Indonesia Timur	Kep. Balitbang ESDM	2015– 2015
12.	Tim Pelaksana Kajian Potensi Minyak Berat (<i>Oil sands</i>) dan Bitumen di Cekungan Sumatra Tengah	Kep. Pusat PPPTMGB LEMIGAS	2020– 2020
13.	Tim Pelaksana Studi Pendahuluan Pembangunan Jaringan Gas Bumi untuk Rumah Tangga melalui Skema KPBU.	Kep. Pusat PPPTMGB LEMIGAS	2020– 2021
14.	Tim Pelaksana Kajian Feasibility Study Pembangunan Pipa Transmisi Cirebon – Semarang	Kep. Pusat PPPTMGB LEMIGAS	2021– 2021

G. Keikutsertaan Dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Pelatihan Singkat Aplikasi Mapinfo untuk SIG	Instruktur	Jakarta, Indonesia	2003
2.	utilization of remote sensing and GIS Technology for Environmental in Indonesia Oil and Gas Industry	Panitia	Jakarta, Indonesia	2004
3.	Pelatihan singkat SIG dengan menggunakan aplikasi Mapinfo	Instruktur	Jakarta, Indonesia	2004
4.	Diskusi Ilmiah X PPPTMGB LEMIGAS	Penyaji dan Notulis	Jakarta, Indonesia	2005
5.	Pelatihan Aplikasi Remote Sensing untuk Pengolahan Citra Satelit	Instruktur	Serpong, Indonesia	2011
6.	Forum Evaluasi Kegiatan Semester 1 Tahun Anggaran 2011	Presenter	Jakarta, Indonesia	2011
7.	Forum Perencanaan Kegiatan PPPTMGB LEMIGAS 2012	Presenter	Cipanas, Indonesia	2011
8.	Konferensi teknologi minyak dan gas bumi	Pemandu Poster	Jakarta, Indonesia	2011
9.	36 th HAGI and 40 th IAGI Joint Convention & Exhibition	Peserta	Makassar, Indonesia	2011

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
10.	Forum Evaluasi Hasil Kegiatan PPPTMGB LEMIGAS	Presenter	Jakarta, Indonesia	2012
11.	Pelatihan aplikasi remote sensing untuk pengolahan citra satelit	Instruktur	Serpong, Indonesia	2012
12.	41 st IAGI Joint Convention & Exhibition	Peserta	Yogyakarta, Indonesia	2012
13.	Reduce exploration risk through an improved understanding of 3D electromagnetic and its application	Peserta	Jakarta, Indonesia	2012
14.	Deep offshore forum	Peserta	Jakarta, Indonesia	2012
15.	Diskusi Publik Draft Naskah Akademik RUU tentang Landas Kontinen	Peserta	Jakarta, Indonesia	2012
16.	The 38 th HAGI and 42 nd IAGI Joint Convention & Exhibition	Peserta	Medan, Indonesia	2013
17.	Career Preparation Course, Himpunan Mahasiswa Ilmu Kelautan (HMIK) UNDIP	Speaker	Semarang, Indonesia	2013
18.	Diskusi Ilmiah XII LEMIGAS	Panitia	Jakarta	2015
19.	The 3 rd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite	Presenter	Bogor, Indonesia	2016

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
20.	Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2016	Presenter	Depok, Indonesia	2016
21.	GEOSEA XIV and 45 th IAGI Annual Convention 2016	Presenter	Bandung, Indonesia	2016
22.	Remote sensing for ocean science Seminar	Peserta	Bandung, Indonesia	2016
23.	Seminar Nasional Geomatika	Peserta	Cibinong, Indonesia	2016
24.	Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan XIII: Peran ISOI dalam mewujudkan Indonesia sebagai poros maritime dunia	Peserta	Surabaya, Indonesia	2016
25.	Status dan pemanfaatan drone di Indonesia: kontrol kualitas produk pemetaan	Panitia	Bandung, Indonesia	2016
26.	The 4 th International Symposium on LAPAN-IPB Satellite	Presenter	Bogor, Indonesia	2017
27.	1 st UPI International Geography Seminar 2017	Presenter	Bandung, Indonesia	2017
28.	Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2017	Pemakalah	Depok, Indonesia	2017
29.	Seminar Teknologi drone air untuk pengelolaan terpadu infrastruktur dan keanekaragaman hayati	Peserta	Jakarta, Indonesia	2017

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
30.	FGD “Kerja bersama analisis pisang Tongka Langit dalam perspektif biogeografi dan biodiversitas	Peserta	Bandung, Indonesia	2017
31.	Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2018	Pemakalah	Depok, Indonesia	2018
32.	Forum Riset Ideasi Riset Bersama Pertamina	Pengusul/ Presenter	Surabaya, Indonesia	2019
33.	Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XVII 2020 Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (ISOI)	Pemakalah	Jakarta, Indonesia	2020
34.	Pelatihan Teknis Tekno Ekonomi; Sub Bidang Pengusahaan Pipa Gas Bumi	Pengajar	Jakarta, Indonesia	2021
35.	Implementasi Kegiatan Program Kampus Merdeka (PKKM)	Narasumber	Online, Jakarta Indonesia	2021
36.	Webinar BRIN Bincang Penginderaan Jauh Seri #06 Penginderaan Jauh untuk Pertambangan	Narasumber	Jakarta, Indonesia	2022
37.	The 10 th International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) 2022	Presenter	Tangerang, Indonesia	2022

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
38.	The 9 th International Seminar on Aerospace Science and Technology (ISAST) 2022	Presenter	Jakarta, Indonesia	2022
39.	Seminar Riset dan Inovasi Tim Mitigasi dan Adaptasi Bencana Iklim (MABI) Bappeda DKI Jakarta	Presenter	Jakarta, Indonesia	2023
40	International workshop on small island research and development (SIRaD)	Peserta	Jakarta, Indonesia	2023
41	Tim Penilai lomba <i>One Map Policy</i> (OMP) <i>for Better Governance</i> dengan kategori “Pemerintah Pusat” dan “Pemerintah Daerah” pada kegiatan One Map Policy Summit 2024	Penilai	Jakarta, Indonesia	2024
42.	Tim Penilai lomba <i>One Map Thinker</i> (OMP) dengan kategori “umum” dan “Mahasiswa” pada kegiatan One Map Policy Summit 2024	Penilai	Jakarta, Indonesia	2024
43.	Tim Penilai lomba <i>Geospatial Challenge</i> pada kegiatan One Map Policy Summit 2024	Penilai	Jakarta, Indonesia	2024
44.	The Fourth Global Digital Trade Expo	Peserta	Hangzhou, China	2025

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Bulletin of Geology	ITB	Reviewer	2019
2.	DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan	Unsyiah	Reviewer	2019
3.	Scientific Contribution for Oil & Gas	PPPTMGB LEMIGAS	Associate Editor/Peer Reviewer	2020–sekarang
4.	Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi	PPPTMGB LEMIGAS	Editor Asosiasi/ Peer Reviewer	2020–Sekarang
5.	Jurnal Geosains dan Remote Sensing (JGRS)	Universitas Lampung	Peer Reviewer	2022–Sekarang
6.	Makila Jurnal Penelitian Kehutanan	Jurusan kehutanan FaPerta, Universitas Pattimura	Reviewer	2024
7.	Jurnal Geologi Kelautan	Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan	Editor	2024–Sekarang
8.	Geo-Spatial Information Science	Taylor & Francis	Reviewer	2024
9.	Indonesian Journal of Geoscience	Badan Geologi	Reviewer	2024–2025

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
10	Indonesian Journal of Energy	Purnomo Yusgiantoro Center	Reviewer	2025
11	Iraqi Geological Journal	The Union of Iraqi Geologists	Reviewer	2025

I. Capaian dalam Bidang Iptek, Riset, dan Inovasi

1. Karya Tulis Ilmiah

- Kualifikasi Karya

No.	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Buku Internasional	0
2.	Buku Nasional	1
3.	Bagian dari Buku Internasional	0
4.	Bagian dari Buku Nasional	4
5.	Jurnal Internasional	27
6.	Jurnal Nasional	26
7.	Prosiding Internasional	10
8.	Prosiding Nasional	14
9.	Paten Internasional	
	Terdaftar	0
	Tersertifikasi	0
10.	Paten Nasional	
	Terdaftar	1
	Tersertifikasi	0

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Kualifikasi Karya	Jumlah
11.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	0
12.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	0
13.	Hak Cipta	7
14.	Desain Industri	0
15.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	0
16.	Transaksi Lisensi	0

- Kualifikasi Penulis

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	6
2.	Bersama Penulis Lainnya	76
	Total	82

- Kualifikasi Bahasa

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	34
2.	Bahasa Inggris	48
3.	Bahasa Lainnya	0
	Total	82

2. Kekayaan Intelektual

No.	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Paten Internasional	
	Terdaftar	0
	Tersertifikasi	0
2.	Paten Nasional	
	Terdaftar	1
	Tersertifikasi	0
3.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	0
4.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	0
5.	Hak Cipta	7
6.	Desain Industri	0
7.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	0

3. Kerjasama bersama Mitra

No.	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Transaksi Lisensi	0

J. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti atau Perekrayasa

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Indah Crystiana	PPPTMGB LEMIGAS	Penulisan Paper	2014–2015
2.	Muhammad Firman Ghazali	Universitas Lampung	Penulisan Paper	2020

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
3.	Endan Suwandana	BPSDM Prov. Banten	Ko-promotor Naskah Orasi Widyaiswara Utama	2022
4.	Kurdianto	PRGI-OREI, BRIN	Ko-promotor program DBR	2025–sekarang

Mahasiswa

No.	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Nadya Rizki Dahlia	ITS	Membimbing Pengolahan data WK migas berbasis GIS	2014
2.	Septanadia Irszarahmi Qauliyah	ITS	Membimbing Pengolahan data WK migas berbasis GIS	2014
3.	Septanadia Irszarahmi Qauliyah	ITS	Membimbing Skripsi	2015
4.	Roy Rachman Sedik	UIN Syarif Hidayatullah Jakarta	Membimbing Skripsi	2016
5.	Firdausi Zahara Gandes	ITB	Penguji Skripsi	2019
6.	Retno Dammayatri	ITB	Pembimbing Skripsi dan penulisan paper	2020

No.	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
7.	Anggun Tridawati	ITB	Pembimbing Tesis dan penulisan paper	2020– 2021
8	Godfried J.S. Matahelenual	ITB	Pembimbing Skripsi dan penulisan paper	2020
9.	Salomo M.G. Simamora	ITB	Pembimbing Skripsi	2021
10.	Puspa Lestari	UNDIP	Pembimbing Skripsi Instansi dan penulisan paper	2021
11.	Fira Angraini Syamsul	UNHAS	Pembimbing Tugas Akhir Instansi	2022
12.	Parasmita Wulandari	ITB	Pembimbing Skripsi	2023
13.	Aufa Qoulan Karima	ITB	Pembimbing Skripsi Pendamping	2023
14.	Budi Siswanto	ITB	Pembimbing Disertasi	2023– Sekarang
15.	Angelina Yohana Romauli	Politeknik Kelautan dan Perikanan KKP	Pembimbing Tugas Akhir	2024
16.	Muhammad Rizqie Viandrawan	Uhamka	Pembimbing Skripsi	2024– 2025

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN)	2005–2022
2.	Anggota	Ikatan Geografiawan Universitas Gadjah Mada (IGEGAMA)	2009–Sekarang
3.	Anggota	Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI)	2011–2020
4.	Anggota	Ikatan Surveyor Indonesia (ISI)	2016
5.	Anggota	Ikatan Sarjana Oseanografi Indonesia (ISOI)	2016–2017
6.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo)	2019–2021
7.	Anggota	Ikatan Sarjana Kelautan Indonesia (ISKINDO)	2022–Sekarang
8.	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)	2022–Sekarang
9.	Ketua Bidang Aspirasi dan Advokasi	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI) Daerah Khusus Ibukota Jakarta	2024–Sekarang
10.	Anggota Komite Regulasi	Asosiasi Antariksa Indonesia (ARIKSA)	2025–Sekarang

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Wisudawan Terbaik dan Tercepat	Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada	2009
2.	Satya Lancana X tahun	Presiden Republik Indonesia	2013
3.	Satya Lancana XX tahun	Presiden Republik Indonesia	2023
4.	Periset Berkinerja Tinggi	Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional	2024
5.	Juara 2 Penulisan Opini Media	Ketua Perhimpunan Periset Indonesia DKI Jakarta	2024
6.	Best Leader	Kepala Pusat Riset Geoinformatika	2024

Di tengah transisi energi global menuju Net Zero Emission (NZE) 2060, minyak dan gas bumi (migas) diproyeksikan masih memegang peranan vital sebagai penopang utama ketahanan energi nasional hingga tahun 2050. Tantangan untuk mencapai target produksi 1 juta barel minyak per hari (BOPD) pada tahun 2030 menuntut adanya transformasi strategi eksplorasi yang lebih efektif, efisien, dan presisi.

Naskah orasi ilmiah ini mengelaborasi terobosan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) yang diintegrasikan dengan pembelajaran mesin (*machine learning*) untuk menjawab tantangan tersebut. Lebih lanjut, orasi ini memaparkan evolusi metode eksplorasi, mulai dari pemetaan geologi konvensional hingga penerapan algoritma Random Forest dan analisis anomali permukaan berbasis data multisumber. Pendekatan integratif ini terbukti mampu mendeteksi area prospek migas baru—termasuk di Cekungan Sumatera Tengah dan Pulau Jawa—serta mengidentifikasi potensi formasi saline untuk penyimpanan karbon (*carbon capture and storage*).

Melalui analisis mendalam mengenai anomali geobiokimia, cekaman vegetasi, dan alterasi mineral, karya ini menawarkan solusi konkret untuk meningkatkan faktor peluang geologi (*geological chance factor*) sekaligus menurunkan risiko dan biaya eksplorasi secara signifikan. Orasi ini merupakan referensi esensial bagi akademisi, praktisi industri energi, dan pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi pengelolaan sumber daya alam yang mendukung keberlanjutan pembangunan Indonesia.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.2327



ISSN 3090-8485



9

773090

848005

Buku ini tidak diperjualbelikan.