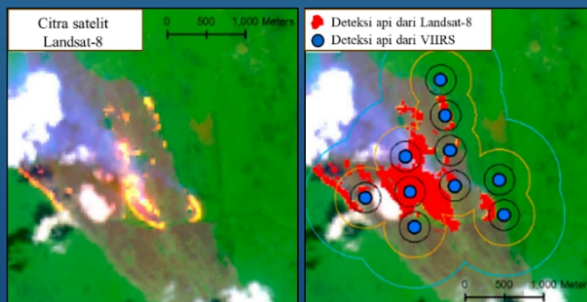


ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

SMART MONITORING BERBASIS TEKNOLOGI SATELIT PENGINDERAAN JAUH UNTUK PENGELOLAAN KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN DI INDONESIA

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNOLOGI KEANTARIKSAAN
BIDANG TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH
KEPAKARAN TEKNIK EKSTRAKSI INFORMASI
GEO-BIO-FISIK LINGKUNGAN TERESTRIAL



OLEH:
PARWATI

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

ISSN 3090-8485

***SMART MONITORING* BERBASIS TEKNOLOGI
SATELIT PENGINDERAAN JAUH UNTUK
PENGELOLAAN KEBAKARAN HUTAN DAN
LAHAN DI INDONESIA**

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,

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/>



SMART MONITORING BERBASIS TEKNOLOGI SATELIT PENGINDERAAN JAUH UNTUK PENGELOLAAN KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN DI INDONESIA

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNOLOGI KEANTARIKSAAN
BIDANG TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH
KEPAKARAN TEKNIK EKSTRAKSI INFORMASI
GEO-BIO-FISIK LINGKUNGAN TERESTRIAL**

**OLEH:
PARWATI**

Penerbit BRIN

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Pusat Riset Geoinformatika

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Smart Monitoring Berbasis Teknologi Satelit Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Kebakaran Hutan dan Lahan di Indonesia/Parwati–Jakarta: Penerbit BRIN, 2025

viii + 111 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1. Satelit Penginderaan Jauh | 2. Kebakaran Hutan dan Lahan |
| 3. Mitigasi Bencana | 4. <i>Smart Monitoring</i> |

629.46

<i>Copy editor</i>	: S. Imam Setyawan
<i>Proofreader</i>	: Martinus Helmiawan
Penata Isi	: S. Imam Setyawan
Desainer Sampul	: S. Imam Setyawan

Edisi pertama : Juli 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

BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN	7
II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SATELIT PENGINDERAAN JAUH OPTIS UNTUK PEMANTAUAN KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN (KARHUTLA)	11
A. Pra-Bencana Karhutla.....	11
B. Tanggap Darurat Karhutla.....	14
C. Pasca-Bencana Karhutla.....	19
D. Arah Pengembangan Teknologi dan Peluang Riset ke Depan .	20
III. PENGEMBANGAN MODEL PEMANTAUAN KARHUTLA BERBASIS SATELIT PENGINDERAAN JAUH.....	23
A. Model Pra-Bencana Karhutla	23
B. Pengembangan Model Tanggap Darurat Karhutla	32
C. Model Pasca-Bencana Karhutla	41
IV. KONTRIBUSI UMUM TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMANTAUAN KARHUTLA.....	45
A. Implementasi pada Tingkat Nasional.....	45
B. Implementasi pada Kancan Internasional.....	48
V. KESIMPULAN	51
PENUTUP.....	53
UCAPAN TERIMA KASIH	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	73
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	91
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Alur Ringkasan Isi Bab dalam Naskah Orasi	10
Gambar 2.1	Kronologi Perkembangan Teknologi Satelit Optis untuk Pemantauan Karhutla Tahap Pra-Bencana....	14
Gambar 2.2	Kronologi Perkembangan Teknologi Satelit Optis untuk Pemantauan Karhutla Tahap Tanggap Darurat	18
Gambar 2.3	Kronologi Perkembangan Teknologi Satelit Optis untuk Pemantauan Karhutla Tahap Pasca Bencana	20
Gambar 3.1	Contoh Distribusi Spasial Curah Hujan Aktual dan Prediksinya dari Data Trmm Bulan Juli 2009	24
Gambar 3.2	Plot Deret Waktu	25
Gambar 3.3	SPI berdasarkan data TRMM pada El Nino September 2009	26
Gambar 3.4	Hasil Analisis BFAST.....	27
Gambar 3.5	Indeks FWI.	28
Gambar 3.6	Hasil Teknik Fusi.....	29
Gambar 3.7	Distribusi Titik Panas dari Data VIIRS (2012-2021)	30
Gambar 3.8	Beberapa Contoh Kesalahan Deteksi Titik Panas ..	31
Gambar 3.9	Diagram Boxplot	33
Gambar 3.10	Citra Kanal	34
Gambar 3.11	Ekstraksi Nilai Reflektansi dan Suhu Kecerahan	35
Gambar 3.12	(A) Citra RGB 764, (B) Hasil Klasifikasi Kebakaran, (C) Verifikasi Kebakaran.....	36
Gambar 3.13	Interkomparasi Hasil Deteksi Lahan Gambut yang Membara.....	37

Gambar 3.14	Contoh Penerapan Algoritma Topecal Tanpa TIR.....	38
Gambar 3.15	Ilustrasi Penggunaan Teknik Radius Tunggal dan Radius Jamak	39
Gambar 3.17	Contoh Hasil Klasifikasi Asap.....	41
Gambar 3.18	Hasil Analisis Bekas Lahan Terbakar	42

BIODATA RINGKAS



Parwati, yang juga dikenal di kalangan ilmiah dan akademik sebagai Parwati Sofan, lahir di Jakarta pada 7 April 1976. Ia adalah anak keempat dari pasangan Aiptu (Purn.) Sofan dan Ibu Hasinah (alm). Menikah dengan Asep Setiawan dan memiliki dua anak, Satria Madani dan Pranedy Wiryatama.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 61/M Tahun 2023 tanggal 29 Desember 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama BRIN,

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 138/I/HK/2025 tanggal 2 Juni 2025 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri 03 Jakarta Barat, tahun 1988, Sekolah Menengah Pertama Negeri 88 Jakarta Barat, tahun 1991, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 16 Jakarta Barat, tahun 1994. Memperoleh gelar Sarjana Sains dari Institut Pertanian Bogor tahun 1999, gelar Magister Sains dari Beihang University, Tiongkok tahun 2008, dan gelar Doktor bidang Ilmu Lingkungan dari University of South Australia tahun 2021.

Mengikuti sebanyak 34 pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya baik di dalam dan di luar negeri, antara lain: *The International Charter Project Manager Training for Space and Major Disaster* di Jakarta (2014), *Masterclass in Research Writing* di Adelaide, Australia (2018), *The International Short*

Course on Fire Safety and Fire Behaviour di Coimbra, Portugal (2018), *Essentials of Statistics for Researchers* di Jakarta (2023), *Measuring Water Urban Security* di Thailand (2023), dan *Developing Great Project Proposals* di Jakarta (2024).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bidang Lingkungan dan Mitigasi Bencana di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (PUSFATJA) Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) (tahun 2014 – 2015) dan Kepala Bidang Diseminasi di PUSFATJA LAPAN (tahun 2015 – 2017).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/a tahun 2005, Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 2009, Peneliti Ahli Madya golongan IV/a tahun 2016, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/b bidang Teknologi Penginderaan Jauh tahun 2024.

Menghasilkan sembilan puluh (93) karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak empat puluh tujuh (46) KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan empat puluh empat (47) dalam bahasa Indonesia. Selain itu, juga menghasilkan 5 kekayaan intelektual yang terdiri dari 1 paten dan 4 hak cipta.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Pusat Riset Penginderaan Jauh dan Pusat Riset Geoinformatika BRIN, pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Institut Pertanian Bogor (IPB), Universitas Negeri Malang (UM), Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) dan Universitas Diponegoro, serta menjadi pembimbing tesis (S-2) pada Universitas IPB dan pembimbing disertasi (S-3) pada Universitas Indonesia.

Sejak tahun 2022 aktif sebagai Ketua Bidang 1 untuk Pengembangan Kapasitas SDM Periset pada Perhimpunan

2022 – 2026, sebagai anggota pada Masyarakat Penginderaan Jauh Nasional (MAPIN) sejak tahun 2003, dan sebagai anggota pada *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) sejak tahun 2019 – sekarang.

Menerima tanda penghargaan Prof. Jacob Rais Award untuk KTI terbaik di acara Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN (2004), penghargaan kelulusan ke-3 terbaik pada program MASTA – *Master program on Space Technology Applications for Asia Pacific Region* dari Beihang University (2007), Pejabat Fungsional Peneliti Terbaik LAPAN (2012), Juara ke-3 Lomba Penulisan KTI Nasional PVMBG Kementerian ESDM (2012), Pegawai Berprestasi LAPAN (2015), Penghargaan Reksa Utama Anindha (Tangguh Award) untuk Tim Tanggap Darurat Bencana dari Data Penginderaan Jauh dari BNPB (2015), *William T. Pecora Award on Project Manager Group for the International Charter Space and Major Disaster* (2017), penghargaan *The Most Engaging Higher Degree by Research Paper Award* dari Natural Built Environment Research Center (NBERC), University of South Australia/UniSA (2019), *the First Winner for 5MT Research Presentation* dari NBERC-UniSA (2019), dan Satyalancana Karya Satya 10 Tahun (2014), Satyalancana Wira Karya (2016), Satyalancana Karya Satya 20 Tahun (2023) dari Presiden RI, dan paper terbaik dalam The 2024 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS).

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 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 tanggal 16 Juli 2025 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“SMART MONITORING BERBASIS TEKNOLOGI SATELIT
PENGINDERAAN JAUH UNTUK PENGELOLAAN
KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN DI INDONESIA”**

I. PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) telah menjadi isu global yang kerap muncul di musim kering dan menimbulkan ancaman besar terhadap ekosistem, kesehatan manusia, serta perekonomian dunia (UNEP, 2022). Dalam empat dekade terakhir, karhutla di Indonesia menjadi perhatian global, terutama sejak peristiwa El Niño ekstrem pada tahun 1982 yang memicu kekeringan dan kebakaran besar di Indonesia (Schindele et al., 1989). Fenomena ini diperburuk oleh alih fungsi lahan akibat program transmigrasi dari Jawa ke Kalimantan dan Sumatra pada era 1980-an secara masif untuk mengurangi tekanan populasi di Pulau Jawa dan untuk meningkatkan produksi pangan (Legiani et al., 2018). Peristiwa karhutla terus berulang pada tahun 1997/1998, 2002, 2006, 2015, 2019, dan 2023 dengan intensitas El Niño yang meningkatkan risiko kebakaran di Indonesia (Hayasaka et al., 2020; KLHK, 2024).

Berdasarkan Bank Dunia, kerugian ekonomi Indonesia akibat karhutla pada tahun 1997/1998 adalah US\$2,7 miliar, meningkat menjadi US\$16 miliar pada 2015 (World Bank, 2016), dan kemudian menurun sebesar US\$5,2 miliar pada 2019 (World Bank, 2019). Selain itu, karhutla bersama dengan kegiatan sektor pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya adalah kontributor utama emisi gas rumah kaca di Indonesia, menyumbang 51% dari total emisi (Boer et al., 2018) yang berpotensi mempercepat perubahan iklim (Murdiyarso et al., 2019). Sementara itu, Indonesia dalam Perjanjian Paris 2015 telah berkomitmen untuk menurunkan emisi gas rumah kaca

sebesar 31.89% di tahun 2030 (<https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/ENDC%20Indonesia.pdf>).

Salah satu upaya untuk menurunkan emisi gas rumah kaca, Indonesia telah memperkuat pemantauan karhutla dengan memanfaatkan data satelit (KLHK, 2023). Teknologi satelit memiliki beberapa keunggulan, khususnya dalam karakteristik spasial, spektral dan temporal dibandingkan dengan pengamatan langsung di darat, sehingga lebih efektif dalam waktu dan biaya (Hope et al., 2024). Sensor inframerah mulai dari gelombang pendek hingga inframerah termal pada platform satelit dapat digunakan untuk mendeteksi kebakaran dan mampu menyediakan informasi karhutla secara rutin, mulai dari setiap sepuluh menit, setengah hari, hingga setiap 16 hari (Sofan, 2021; Wickramasinghe et al., 2016).

Pengembangan model pemantauan karhutla secara global (Giglio et al., 2016; Justice et al., 2002; Schroeder et al., 2014). Namun dalam pemantauan karhutla di Indonesia terdapat tantangan berupa kebakaran di lahan gambut tropis yang memiliki karakteristik api dan lingkungan terestrial yang unik, serta kondisi cuaca dan awan tropis yang membatasi observasi dari satelit (Kumar & Roy, 2018; Schroeder et al., 2016). Meskipun satelit penginderaan jauh memiliki kemampuan pemantauan dalam cakupan yang luas, konsisten, serta efisiensi waktu dan biaya, masih terdapat kendala seperti resolusi spasial yang rendah, keterbatasan spektral, dan gangguan dari awan tropis yang dapat mengurangi efektivitas pemantauannya (Sofan, 2021).

Dalam mengatasi permasalahan pemantauan karhutla dari data satelit khususnya di Indonesia, pada orasi ini dipaparkan rekam jejak hasil riset pemanfaatan data satelit multi-sensor

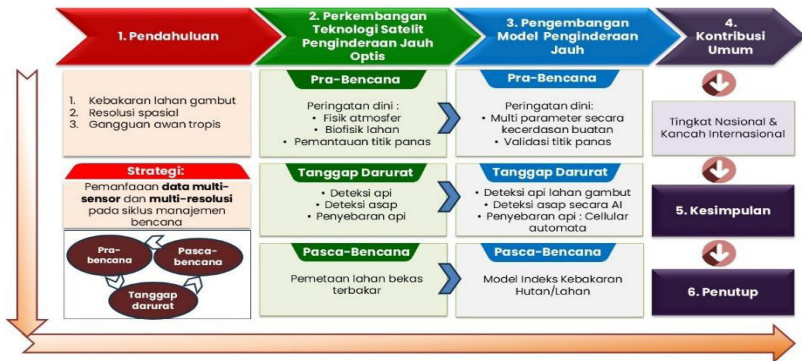
dan multi-resolusi untuk mengoptimalkan sistem pemantauan karhutla secara komprehensif. Strategi yang telah dilakukan yakni dengan melakukan pengembangan model pemantauan

bencana, mulai dari pra-bencana, tanggap darurat, hingga pasca-bencana.

Pengembangan model berbasis data satelit penginderaan jauh melalui pendekatan siklus manajemen bencana ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas mitigasi kebakaran hutan dan lahan di Indonesia, mengurangi emisi karbon, serta mendukung komitmen Indonesia dalam menurunkan emisi gas rumah kaca.

Naskah orasi ini terbagi menjadi enam bab utama, dimulai Bab 1, Pendahuluan, sebagaimana disampaikan sebelumnya. Selanjutnya, Bab 2 menguraikan perkembangan teknologi satelit dalam pemantauan karhutla, secara kronologis dari awal hingga perspektif perkembangannya di masa depan. Bab 3 membahas pengembangan model pemantauan karhutla dari data satelit. Bab 4 memaparkan kontribusi umum dan implementasi teknologi penginderaan jauh untuk pemantauan karhutla baik di tingkat nasional maupun di kancah internasional. Bab 5 kesimpulan, dan diakhiri Bab 6 sebagai penutup. Alur ringkasan isi bab dalam naskah orasi ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.

Sistematika Naskah Orasi



Gambar 1.1 Alur Ringkasan Isi Bab dalam Naskah Orasi

II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI SATELIT PENGINDERAAN JAUH OPTIS UNTUK PEMANTAUAN KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN (KARHUTLA)

Pengembangan model pemantauan berbasis data satelit pada setiap tahapan siklus manajemen bencana, mulai dari pra-bencana, tanggap darurat, hingga pasca-bencana, berkembang pesat. Perkembangan iptek masa lalu, sekarang dan yang akan datang pada masing-masing siklus diuraikan pada bab-bab berikut.

A. Pra-Bencana Karhutla

Pemantauan tahap pra-bencana karhutla dengan teknologi satelit bermula dari kebutuhan untuk memahami faktor-faktor iklim dan cuaca yang mempengaruhi potensi karhutla. Pada akhir 1960-an, dikembangkan indikator awal karhutla melalui kondisi kekeringan meteorologis seperti Indeks Kekeringan Keetch-Byram/KBDI (Keetch & Byram, 1968), dan Indeks Presipitasi Ternormalisasi/SPI di tahun 1990-an (McKee et al., 1993).

Pada tahun 2000-an, produk curah hujan dari data satelit mulai dimanfaatkan di Indonesia karena adanya keterbatasan distribusi jaringan stasiun pengamatan terutama di luar P. Jawa (Khomarudin & Parwati, 2000). Curah hujan menjadi unsur cuaca yang paling signifikan terhadap kejadian karhutla di Indonesia (Khomarudin et al., 2014a). Model pemantauan berbasis penginderaan jauh untuk prediksi curah hujan telah

dilakukan menggunakan data anomali Suhu Permukaan Laut (SPL) di wilayah Pasifik Tropik yang dikorelasikan dengan radiasi panas bumi (OLR) di wilayah Indonesia (Roswintiarti et al., 2000; Adiningsih et al., 2004). Upaya peningkatan resolusi spasial dilakukan dengan memanfaatkan data curah hujan dari *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM), yang memungkinkan prediksi curah hujan hingga 6 bulan ke depan di Indonesia (Parwati et al., 2010b). Prediksi ini penting sebagai dasar peringatan dini terhadap bencana hidrometeorologi, termasuk karhutla. Seiring waktu, produk satelit curah hujan TRMM diganti oleh *Global Precipitation Measurement* (GPM) sejak 2019 dan *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation* (CHIRPS) yang dirilis tahun 2014 (Funk et al., 2015; Huffman et al., 2024). Sejak tahun 2011, indeks curah hujan ternormalisasi (SPI) berbasis data satelit mulai digunakan luas di Indonesia untuk memantau potensi kekeringan (Parwati et al., 2011d; Shofiyati et al., 2017; Dimiyati et al., 2024).

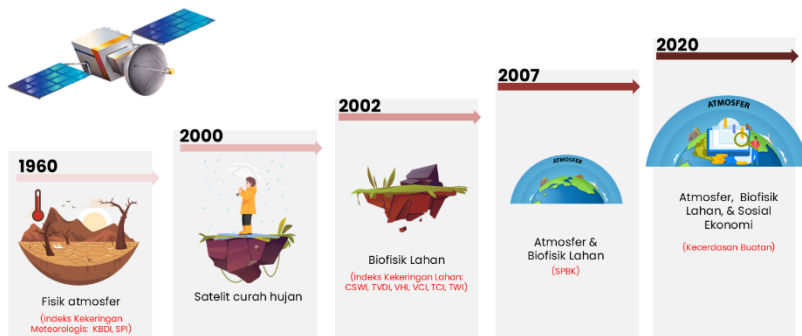
Seiring dengan berkembangnya pemanfaatan data curah hujan dari satelit, pada tahun 2002 juga mulai berkembang analisis karhutla dari faktor biofisik lahan dari data satelit optis melalui parameter suhu permukaan lahan, indeks kehijauan vegetasi, dan topografi. Beberapa indeks kekeringan lahan yang telah diimplementasikan di Indonesia antara lain adalah Indeks Stres Air Tanaman/*Crop Water Stress Index* (CWSI), Indeks Kekeringan Vegetasi Berbasis Suhu/*Temperature Vegetation* (TVDI), Indeks Kesehatan Vegetasi/*Vegetation Health Index* (VHI), Indeks Kondisi Suhu/*Temperature Condition Index* (TCI), Indeks Kondisi Vegetasi/*Vegetation Condition Index* (VCI), dan Indeks Kelengasan Topografi/*Topographic Wetness Index* (TWI) (Kogan, 2002; Sandholt et

al., 2002; Khomarudin & Parwati, 2006; Sofan, 2007; Parwati & Suwarsono, 2008; Parwati et al., 2011; Shofiyati et al., 2017).

Selanjutnya mulai tahun 2007, untuk mengintegrasikan faktor cuaca dan biofisik lahan dikembangkan model *Canadian Fire Danger Rating System* (FDRS) yang kemudian diadaptasi sebagai Sistem Peringatan Bahaya Kebakaran (SPBK) oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Indonesia (Groot et al., 2007; Parwati et al., 2011b; Parwati et al., 2012). SPBK ini kemudian disederhanakan dengan hanya menggunakan indikator curah hujan saja (Khomarudin et al., 2014a), lalu dikembangkan kembali dengan menambahkan lengas tanah dan perubahan penggunaan lahan (Khomarudin et al., 2024).

Perkembangan mutakhir mulai tahun 2020 ditandai oleh berkembangnya metode kecerdasan buatan/*Artificial Intelligence* (AI) yang mengintegrasikan *bigdata* sehingga memungkinkan pemodelan zonasi bahaya karhutla secara lebih komprehensif dan presisi tinggi (Heo et al., 2023). Namun parameter yang digunakan masih didominasi oleh faktor fisik atmosfer dan biofisik lahan, sedangkan faktor sosial ekonomi masih belum maksimal dimanfaatkan dalam pemetaan bahaya karhutla secara

Secara umum, kronologi perkembangan teknologi pemantauan karhutla pada tahap pra-bencana dari masa ke masa dapat dirangkum dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kronologi Perkembangan Teknologi Satelit Optis untuk Pemantauan Karhutla Tahap Pra-Bencana

B. Tanggap Darurat Karhutla

Pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh optis dalam fase tanggap darurat karhutla telah berlangsung sejak tahun 1980-an, ketika algoritma deteksi titik panas (*hotspot*) dikembangkan dengan pendekatan sederhana berbasis nilai ambang batas tetap pada kanal Infra Merah Tengah (MIR) dan Infra Merah Termal (TIR) dengan menggunakan data satelit beresolusi rendah *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) (Dozier, 1981). Namun, teknik ini terbukti kurang efektif saat diterapkan pada kondisi atmosfer dan karakteristik lahan yang beragam (Baum & Trepte, 1999).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pada tahun 1990-an, dikembangkan metode kontekstual, yaitu pendekatan yang membandingkan piksel-piksel api dengan piksel-piksel di sekitarnya (Giglio et al., 1999, 2003; Justice et al., 2002). Metode ini menjadi standar baru dan telah diadaptasi untuk sensor optis beresolusi rendah seperti *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), *Visible Infrared*

Imaging Radiometer Suite (VIIRS), dan *Advanced Himawari Imager* (AHI) (Giglio et al., 2016; Schroeder et al., 2014; Wickramasinghe et al., 2016).

Memasuki tahun 2000-an, mulai dilakukan studi spesifik kebakaran di lahan gambut Indonesia menggunakan satelit eksperimental Jerman *Hotspot Recognition System-Bi spectral Infra-Red Detector* (HRS-BIRD) yang beresolusi 370 m berbasis kanal MIR dan TIR untuk estimasi suhu kebakaran dan daya radiasi kebakaran (Siebert et al., 2004).

Tahun 2008, fokus pengembangan model deteksi api global bergeser pada resolusi spasial menengah (30 m) guna memperoleh informasi yang lebih detail. Modifikasi algoritma kontekstual diterapkan pada sensor ASTER dan Landsat-8 menggunakan kanal Infra Merah Gelombang Pendek (SWIR) tanpa kanal MIR (Giglio et al., 2008; Schroeder et al., 2016; Murphy et al., 2016; Kumar & Roy, 2018). Namun, algoritma dengan SWIR ternyata lebih optimal untuk mendeteksi api dengan suhu tinggi, sedangkan api dengan suhu rendah, seperti pada lahan gambut di Indonesia, tidak dapat terdeteksi secara optimal (Kumar & Roy, 2018).

Pada 2015, kolaborasi riset antara Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (PUSFATJA) Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dan National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) mulai mengeksplorasi data Landsat-8 malam hari dengan pendekatan hukum Planck untuk mendeteksi kebakaran di lahan gambut (Elvidge et al., 2015). Kemudian dikembangkan *Tropical Peatland Combustion Algorithm* (ToPeCAI) yang merupakan algoritma deteksi kebakaran lahan gambut di Indonesia menggunakan data Landsat-8 siang hari melalui kanal SWIR dan TIR (Sofan et al., 2018, 2019). Melalui kombinasi SWIR dan TIR, dapat dibedakan

api bersuhu tinggi dan rendah di lahan gambut tropis. Algoritma ToPeCAI kemudian disesuaikan untuk Sentinel-2 dengan hanya menggunakan kanal SWIR (Sofan et al., 2020a). Dalam perkembangannya model ini terus dimodifikasi dan divalidasi untuk meningkatkan akurasi deteksi api di lahan gambut (Sofan et al., 2022a; 2024a).

Tabel 1 menyajikan berbagai sensor satelit optis dengan kanal inframerah yang relevan untuk deteksi karhutla di Indonesia. Data multi sensor dan multi resolusi ini menyediakan frekuensi dan resolusi yang saling melengkapi untuk pemantauan titik panas (Sofan, 2021).

Tabel 1. Daftar satelit optis dengan kanal inframerah yang melintas wilayah Indonesia.

Sensor/ Satelit	Resolusi spasial (m)	Resolusi temporal	Spektrum Infra Merah (μm)	Waktu Akusisi	Saturasi Suhu (K)
Advanced Himawari Imager (AHI)/ Himawari	2,000	10 menit	3.74–3.96	Siang & Malam	400
			10.3–10.6		330
			11.1–11.3		330
			12.2–12.5		330
			13.2–13.4		300
MODIS/ Terra-Aqua	1,000	2 kali / hari	3.929–3.989	Siang &	500
			10.780– 11.280		400
SLSTR/ Sentinel-3	1,000	1–2 hari	3.74	Siang & Malam	500
			10.85		400
			(central wavelength)		
VIIRS/ SNPP & NOAA	375	2 kali / hari	3.55–3.93	Siang & Malam	367
			10.5–12.4		380
	750		3.97–4.13		634
			10.26–11.26		363

Sensor/ Satelit	Resolusi spasial (m)	Resolusi temporal	Spektrum Infra Merah (μm)	Waktu Akusisi	Saturasi Suhu (K)
MSI/ Sentinel-2)	20	5 hari	1.56–1.65 2.10–2.28	Siang	195
OLI & TIRS/ Landsat-8/9	30 100	16 hari	2.11–2.29 10.60–11.19 11.50–12.51	Siang (Malam sesuai permintaan)	360 360

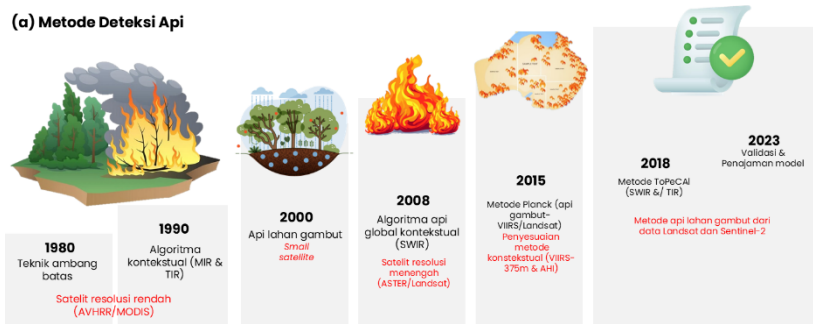
(Sumber: Sofan, 2021)

Selanjutnya untuk mendukung analisis deteksi api dilakukan deteksi asap kebakaran yang berkembang dari interpretasi visual hingga digital. Metode visual biasanya dilakukan berdasarkan komposit warna citra satelit yang diinterpretasi oleh seorang interpreter sehingga bersifat subyektif (Tosca et al., 2011). Untuk mengatasi kelemahan tersebut, metode digital dikembangkan berdasarkan ambang batas dari nilai spektral pada kanal sinar tampak (Li et al., 2001), rasio band spektral untuk indeks aerosol (Chulafak et al., 2022; Mukai et al., 2019), hingga ke klasifikasi terbimbing dengan metode pembelajaran mesin/ *machine learning* (Rahmi et al., 2024) dan pembelajaran dalam/ *deep learning* (Zheng et al., 2023).

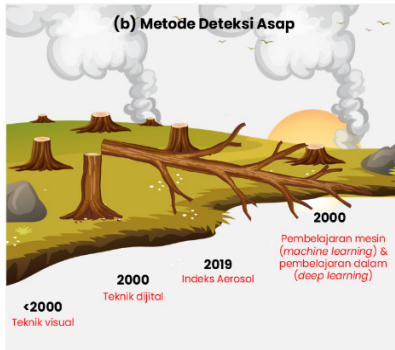
Selain untuk deteksi api dan asap, pada fase tanggap darurat juga dilakukan prediksi penyebaran api. Tahun 2000-an, estimasi kecepatan penyebaran api di lahan gambut dilakukan dalam skala percobaan lapangan di Kalimantan Tengah (Usup et al., 2004). Selanjutnya, dilakukan estimasi propagasi penyebaran kebakaran lahan gambut dengan data satelit berdasarkan data titik panas dengan metode garis linear posisi terdepan api (Atwood et al., 2016). Setelah itu, berkembang metode Monte Carlo untuk probabilitas penyebaran api berdasarkan aturan penyebaran dari kondisi lengas tanah dan vegetasi (Collin et al., 2011; Purnomo et al., 2023).

Secara ringkas, kronologi perkembangan teknologi pemantauan karhutla pada tahap tanggap darurat dapat dilihat dalam Gambar 2.2.

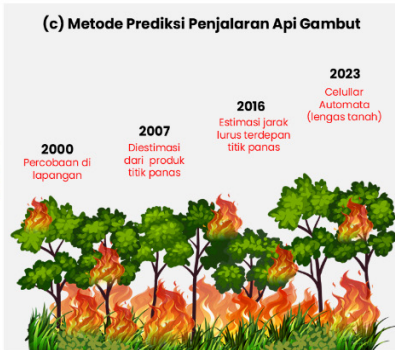
(a) Metode Deteksi Api



(b) Metode Deteksi Asap



(c) Metode Prediksi Penjarangan Api Gambut



Keterangan: (a) metode deteksi api, (b) metode deteksi asap, dan (c) metode prediksi penyebaran api.

Gambar 2.2 Kronologi Perkembangan Teknologi Satelit Optis untuk Pemantauan Karhutla Tahap Tanggap Darurat

C. Pasca-Bencana Karhutla

Pada fase pasca-bencana karhutla, pemanfaatan data satelit difokuskan untuk mendeteksi dan memetakan lahan bekas terbakar sebagai dasar kegiatan rehabilitasi ekosistem. Salah satu pendekatan paling umum dan efektif adalah penggunaan Indeks Lahan Terbakar Ternormalisasi (NBR) (Key dan Benson, 2006). Indeks ini memanfaatkan kombinasi kanal SWIR dan Near-Infrared (NIR) untuk membedakan area yang terbakar dari yang tidak terbakar.

Studi perbandingan menunjukkan bahwa NBR merupakan indeks paling akurat untuk mendeteksi area bekas terbakar dibandingkan indeks kebakaran lainnya (Escuin et al., 2008). Hal ini telah dibuktikan dalam berbagai penelitian di Indonesia untuk memvalidasi efektivitas NBR dalam memetakan area bekas kebakaran secara spesifik (Suwarsono et al., 2009c; Sofan et al., 2012), dan hasilnya konsisten dalam studi lanjutan (Suwarsono et al., 2015a; 2016a).

Metode NBR selanjutnya mendapatkan paten nasional (Khomarudin et al., 2020) dan terus ditingkatkan pemodelannya dengan mengacu pada data lapangan serta data sebaran titik panas di Indonesia (Vetrita et al., 2024), serta sudah diterapkan untuk pemetaan lahan bekas terbakar pada skala nasional. Hal

kebijakan pemulihan lahan dan perencanaan tata ruang pasca-bencana.

Secara ringkas, kronologi perkembangan teknologi pemantauan karhutla pada tahap pasca-bencana dapat dilihat dalam Gambar 2.3..

Gambar 2.3 Kronologi Perkembangan Teknologi Satelit Optis untuk Pemantauan Karhutla Tahap Pasca Bencana

D. Arah Pengembangan Teknologi dan Peluang Riset ke Depan

Berdasarkan ulasan perkembangan teknologi penginderaan jauh optis untuk pemantauan karhutla pada tahapan manajemen bencana, terlihat bahwa pemanfaatan data satelit terus berkembang, baik dalam aspek peringatan dini, deteksi, maupun pasca kebakaran. Ke depan, pengembangan model pemantauan karhutla berbasis satelit diperkirakan akan semakin maju seiring dengan kemajuan teknologi sensor satelit, khususnya sensor hiperspektral dengan kanal SWIR, MIR, dan TIR yang beresolusi spasial tinggi, sehingga berpotensi besar meningkatkan akurasi deteksi karhutla lebih detail, terutama di wilayah Indonesia yang memiliki lahan gambut dan tutupan awan tropis.

Sejalan dengan itu, pemanfaatan kecerdasan buatan dalam sistem deteksi dan peringatan dini juga menunjukkan perkembangan pesat. Integrasi model kecerdasan buatan langsung ke sistem satelit berpotensi dapat mengurangi

data, sehingga mempercepat penyampaian informasi kepada pengguna, dan memungkinkan respon yang lebih cepat.

Lebih lanjut, penggunaan kecerdasan buatan kini mulai mengintegrasikan berbagai variabel penting, tidak hanya faktor fisik atmosfer dan biofisik lahan, namun faktor ekonomi dan sosial lingkungan sekitar. Aspek lingkungan sosial-ekonomi ini perlu dielaborasi lebih lanjut agar sistem peringatan dini yang dikembangkan dapat benar-benar adaptif, kontekstual, dan responsif terhadap kebutuhan masyarakat terdampak.

Selain itu, sinergi informasi yang dihasilkan dari berbagai sensor satelit perlu terus diperkuat agar dapat saling melengkapi kekosongan data akibat perbedaan waktu perekaman maupun tutupan awan. Upaya ini penting untuk pemantauan yang lebih konsisten dan akurat, sehingga risiko keterlambatan deteksi atau kesalahan interpretasi dalam sistem peringatan dini karhutla dapat diminimalkan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

III. PENGEMBANGAN MODEL PEMANTAUAN KARHUTLA BERBASIS SATELIT PENGINDERAAN JAUH

Selama berkarier sebagai peneliti, berbagai riset pengembangan model pemanfaatan data satelit telah dilakukan untuk mendukung mitigasi bencana karhutla. Rangkuman hasil-hasil utama pada ketiga tahapan manajemen bencana diuraikan pada Bab berikut.

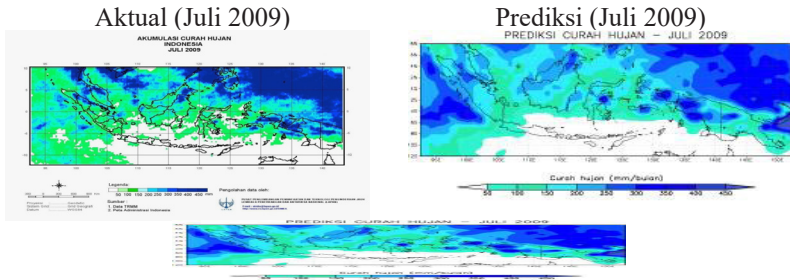
A. Model Pra-Bencana Karhutla

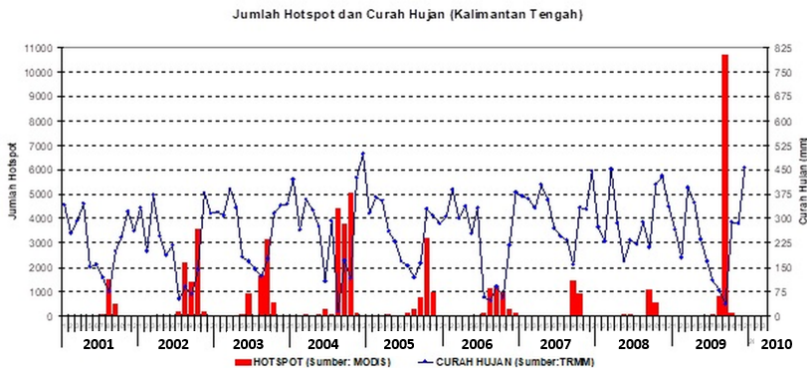
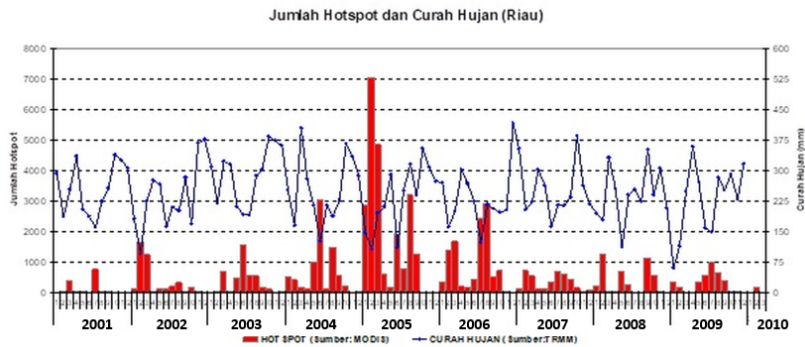
Pada fase pra-bencana telah dilakukan penelitian untuk pengembangan sistem peringatan dini karhutla dengan mengkaji karakteristik atmosfer, biofisik lahan dan lingkungan ekonomi sosial.

Pada kajian fisik atmosfer telah dilakukan penelitian untuk validasi model prediksi curah hujan di Indonesia yang dibangun dari data anomali SPL Pasifik Tropik dan OLR di wilayah Indonesia berdasarkan pembagian tipe iklim monsun, ekuatorial dan lokal, serta memperhatikan musim hujan dan kemarau (Adiningsih et al., 2004). Prediksi curah hujan yang dihasilkan telah diimplementasikan untuk pemantauan kekeringan dan banjir, serta estimasi kandungan air lahan di Indonesia (Khomarudin et al., 2001; Khomarudin & Parwati, 2000; Khomarudin et al., 2000).

Selanjutnya dilakukan pengembangan model prediksi untuk mendapatkan resolusi yang lebih baik menggunakan data anomali SPL Pasifik Tropik dan TRMM di wilayah Indonesia

berdasarkan metode analisis hubungan dua set data dan analisis pola utama data serta validasinya (Gambar 3.1) (Parwati et al., 2010b; Roswintiarti et al., 2009).



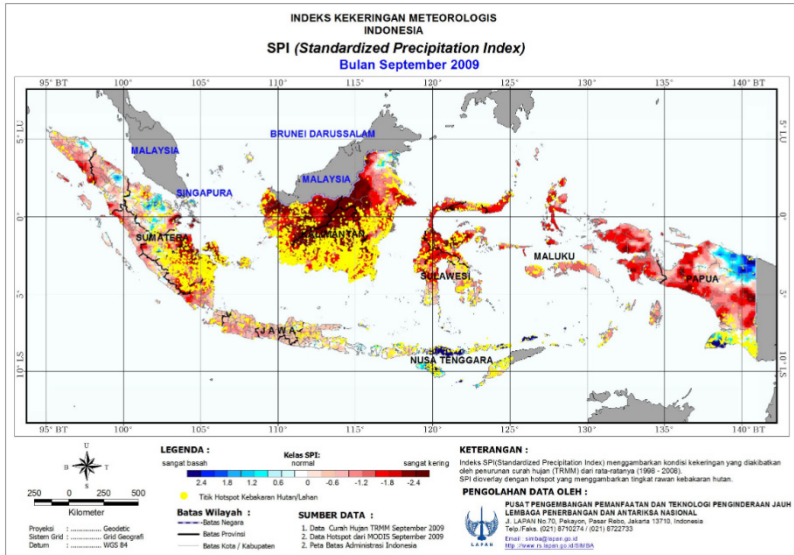


Sumber: Parwati et al., (2010b)

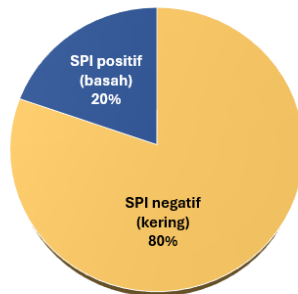
Keterangan: Plot deret waktu antara curah hujan (TRMM) dan titik panas (*hotspot*) (MODIS) periode 2001 -2009 di Provinsi Riau dan Kalimantan Tengah.

Gambar 3.2 Plot Deret Waktu

Selain itu, pemanfaatan TRMM dalam indeks kekeringan berada pada zona dengan tingkat kekeringan sedang hingga tinggi pada periode tahun iklim ekstrim El Nino 2009 (Gambar 3.3). Hal ini mengindikasikan hubungan yang relevan antara kekeringan dan risiko kebakaran (Parwati et al., 2011d).



Distribusi Hotspot pada Nilai SPI

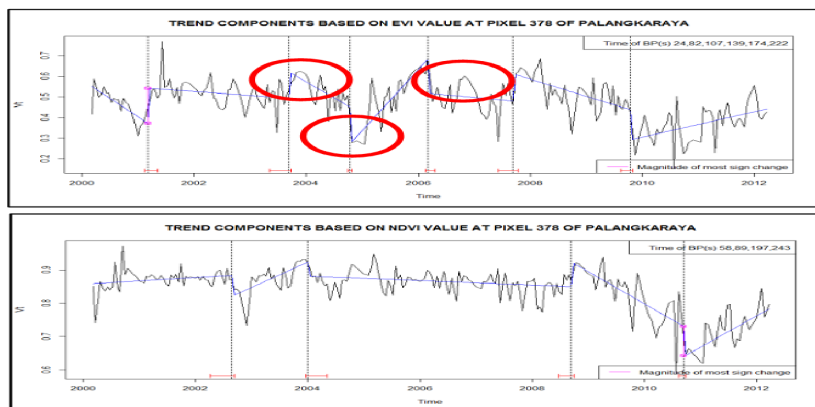


Sumber: Parwati et al., (2011d)

Keterangan: warna merah menunjukkan kering, dan warna kuning adalah titik panas (*hotspot*).

Gambar 3.3 SPI Berdasarkan Data Trmm pada El Nino September 2009

Pada kajian biofisik lahan telah dilakukan implementasi model TVDI untuk mendeteksi kekeringan lahan berdasarkan suhu permukaan tanah dan indeks kehijauan vegetasi di Sumatra (Parwati & Suwarsono, 2008; Sofan, 2007). Kondisi kekeringan juga diindikasikan melalui indeks VHI, yang dikalkulasi dari TCI dan VCI (Parwati et al., 2011c). Selain itu, telah dilakukan pemodelan untuk mendeteksi adanya perubahan kondisi hutan akibat kebakaran secara deret waktu dengan model Perubahan Pola Musiman dan Tren Data (BFAST) (Darmawan & Sofan, 2012), yang mendeteksi perubahan vegetasi berdasarkan tingkat kehijauan secara deret waktu (Gambar 3.4).



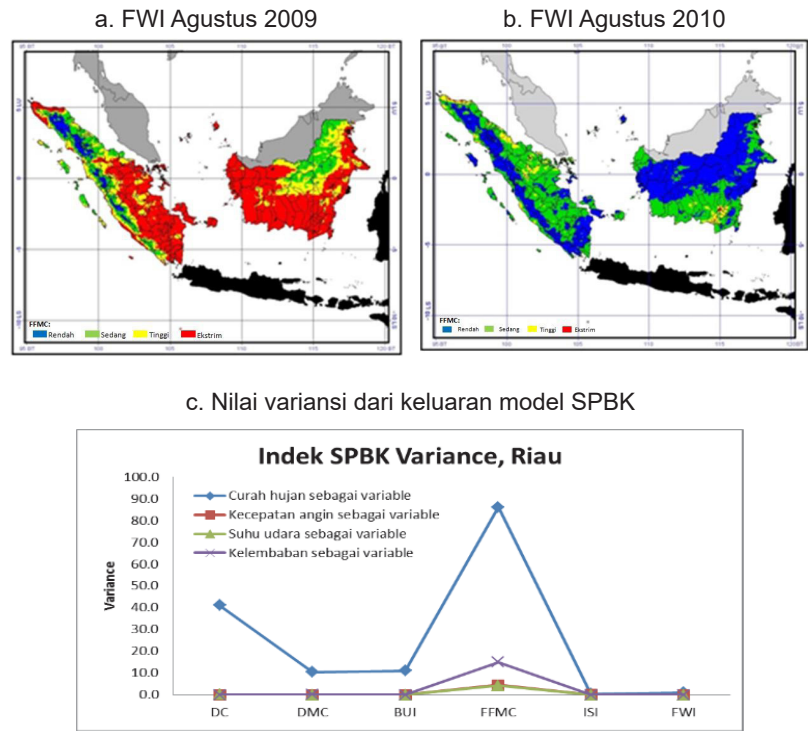
Sumber: Darmawan & Sofan (2012)

Keterangan: Hasil analisis BFAST pada data deret waktu NDVI dan pola penurunannya di area studi di Palangkaraya.

Gambar 3.4 Hasil Analisis BFAST

Indeks SPBK yang mengintegrasikan parameter fisik cuaca dan biofisik lahan yaitu Indeks Cuaca Kebakaran (FWI) telah divalidasi dan diterapkan untuk pemantauan bahaya karhutla

di Indonesia. Sebagai ilustrasi (Gambar 3.5a dan 3.5b), FWI menunjukkan tingkat bahaya tinggi pada kondisi El Nino 2019 dan rendah saat La Nina 2010 (Parwati et al., 2011b; Parwati et al., 2012). Selain itu, penyederhanaan indeks SPBK dengan hanya menggunakan parameter curah hujan terbukti cukup efektif dalam efisiensi pengolahan data (Gambar 3.5c) (Khomarudin et al., 2014a).



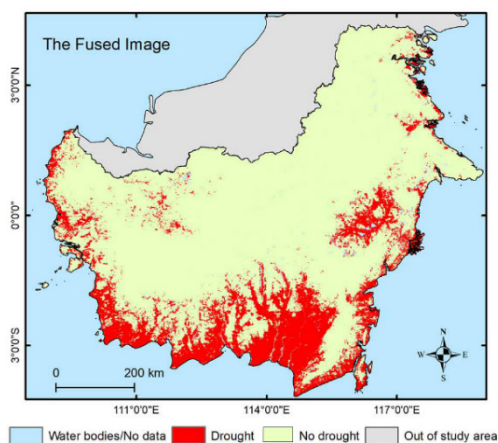
Sumber: Parwati et al., (2011), dan Khomarudin et al., (2014)

Keterangan: (a) Indeks FWI pada bulan Agustus 2009 (El Nino), (b) FWI Agustus 2010 (La Nina), dan (c) Nilai variansi dari output indeks SPBK dengan perlakuan input parameter cuaca.

Gambar 3.5 Indeks FWI

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pengembangan model dengan penggunaan *bigdata* penginderaan jauh dan geospasial lainnya yang terdiri dari parameter fisik atmosfer, biofisik lahan, dan sosial ekonomi seperti sebaran populasi, pekerja pertanian, jarak permukiman, dan jarak dari infrastruktur jalan untuk pemetaan zonasi bahaya kekeringan karhutla telah dilakukan berbasis algoritma pembelajaran mesin dengan menerapkan fusi hasil model *Random Forest* (RF), *Classification and Regression Trees* (CART), *Support Vector Machine* (SVM), dan *Gradient Tree Boost* (GTB) dengan metode regularisasi grafik yang menghasilkan akurasi 90%, sehingga berpotensi untuk diimplementasikan dalam kegiatan pemantauan karhutla (Gambar 3.6) (Sofan et al., 2024b).



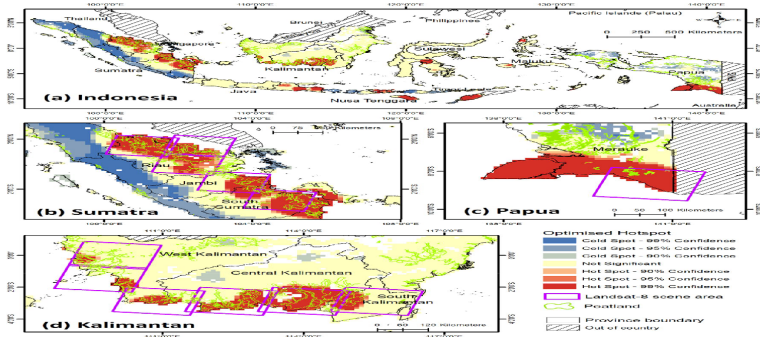
Sumber: Sofan et al., (2024b)

Keterangan: Hasil teknik fusi dengan metode regularisasi grafik terhadap informasi kekeringan karhutla dari berbagai metode pembelajaran mesin (RF, SVM, CART, GTB).

Gambar 3.6 Hasil Teknik Fusi

Informasi titik panas juga menjadi komponen penting dalam analisis pra-bencana. Titik panas diidentifikasi sebagai anomali suhu permukaan objek dibandingkan area sekitarnya. Secara harian informasi titik panas saat ini dapat diperoleh dari satelit beresolusi spasial rendah seperti dari sensor MODIS dan VIIRS. Perlu dipahami bahwa informasi titik panas dari data satelit adalah sebagai indikator adanya karhutla, sehingga direkomendasikan untuk menggunakan semua jenis tipe satelit yang memiliki waktu perekaman berbeda untuk memperkaya informasi titik panas (Khomarudin et al., 2014b; Suwarsono et al., 2009a).

Berdasarkan hasil analisis distribusi spasial dan frekuensi titik panas dengan metode geostatistik *Getis Ord* (Gambar 3.7) dapat ditunjukkan bahwa wilayah-wilayah dengan densitas titik panas yang padat, seperti di Riau, Jambi, Sumatra Selatan, lebih rentan terhadap kebakaran, sehingga kewaspadaan dapat diprioritaskan pada wilayah tersebut (Parwati et al., 2010a; Suwarsono et al., 2009b).



Sumber: Sofan et al., (2024)

Keterangan: Distribusi titik panas dari data VIIRS (2012-2021) berdasarkan analisis geospasial *Getis Ord* di Indonesia. Densitas titik panas yang tinggi berwarna merah, sedangkan rendah berwarna biru.

Gambar 3.7 Distribusi Titik Panas dari Data VIIRS (2012-2021)

Penting untuk dipahami bahwa titik panas tidak selalu menunjukkan kebakaran biomassa, tapi dapat berupa aktivitas vulkanik, area industri, lahan tambang terbuka, atap bangunan reflektif, dan tanah terbuka di dekat perairan. Hasil analisis menunjukkan bahwa sekitar 13% data titik panas berkaitan dengan sumber panas non-biomassa (Gambar 3.8). Oleh karena itu, seleksi informasi titik panas diperlukan untuk meningkatkan efisiensi patroli lapangan (Sofan et al., 2022b).



Sumber: Sofan et al., (2022b)

Keterangan: Beberapa contoh kesalahan deteksi titik panas yang bukan kebakaran biomas dari data VIIRS (2018–2020) yang ditumpang-susunkan dengan data citra resolusi tinggi.

Gambar 3.8 Beberapa Contoh Kesalahan Deteksi Titik Panas

Secara umum pada bab ini dapat diringkaskan bahwa rangkaian penelitian pada fase pra-bencana telah dihasilkan model pemantauan karhutla yang mencakup analisis fisik atmosfer, biofisik lahan dan sosial ekonomi melalui teknik pengolahan citra digital dari mulai berbasis spektral hingga klasifikasi berdasarkan algoritma kecerdasan buatan. Pendekatan ini memungkinkan pemetaan bahaya kebakaran secara lebih akurat dan efektif, untuk meminimalkan dampak kerugiannya. Upaya ini menjadi fondasi penting dalam mendukung mitigasi kebakaran hutan dan lahan di Indonesia.

B. Pengembangan Model Tanggap Darurat Karhutla

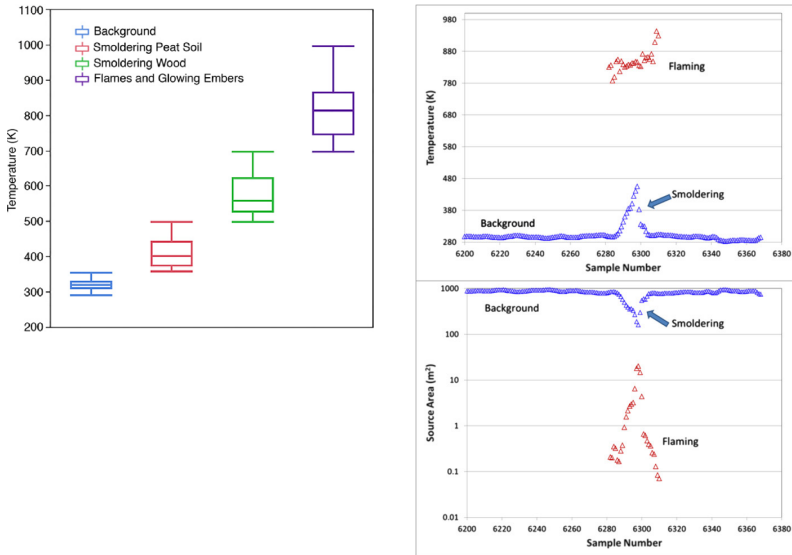
Pada fase tanggap darurat, informasi lokasi kebakaran hutan dan lahan dari data satelit menjadi krusial sebagai acuan untuk pemadaman api di lapangan dan meminimalkan dampak kabut asap, terutama di lahan gambut. Tantangan utama dalam deteksi kebakaran di lahan gambut adalah suhu api yang rendah dan skala luasan kebakaran yang kecil. Untuk menjawab tantangan ini telah dilakukan penelitian menggunakan data satelit optis beresolusi menengah yaitu Landsat-8 dan Sentinel-2.

Pada tahun 2014-2015, tim peneliti PUSFATJA - LAPAN bersama dengan tim periset NOAA mengkaji karakteristik suhu di lahan gambut yang terbakar di Palangkaraya, Kalimantan Tengah. Sebanyak 9.139 data suhu pengukuran dikumpulkan dan dikategorikan menjadi 4 kategori utama, suhu latar (290° - 360° K), suhu gambut membara (360° - 500° K), suhu kayu

K) (Elvidge et al., 2015).

Selanjutnya dengan menerapkan Hukum Planck dilakukan simulasi suhu objek yang terbakar menggunakan spektrum SWIR dan TIR, dimana ditemukan bahwa SWIR efektif untuk

mendeteksi api berkobar (*flaming*), sedangkan TIR mampu mendeteksi suhu gambut yang membara atau api bersuhu rendah (*smouldering*) meskipun masih berpotensi bercampur dengan suhu latar (Gambar 3.9) (Elvidge et al., 2015).



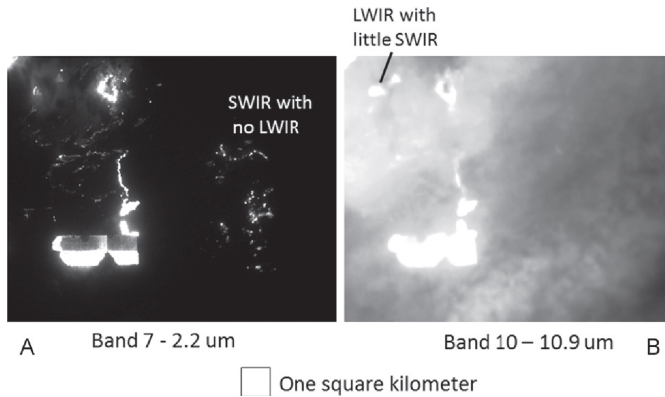
Sumber: Elvidge et al., (2015)

Keterangan: Diagram boxplot distribusi suhu dari empat jenis objek terbakar di lahan gambut (kiri). Simulasi suhu dan luasan area dari spektrum SWIR dan TIR berdasarkan pendekatan hukum Planck. Titik merah menunjukkan suhu dari SWIR, sedangkan titik biru berasal dari TIR

Gambar 3.9 Diagram Boxplot

Berdasarkan hasil simulasi Hukum Planck dari data pengukuran lapangan tersebut, telah diterapkan deteksi kebakaran di lahan gambut menggunakan data satelit Landsat-8 malam hari yang mempunyai kanal SWIR dan TIR. Hasil validasi lapangan

di Riau dan Palangkaraya menunjukkan bahwa data malam hari mampu mendeteksi kebakaran dengan suhu rendah dari kanal TIR dan suhu tinggi dari kanal SWIR (Gambar 3.10) (Elvidge et al., 2015).



Sumber: Elvidge et al., (2015)

Keterangan: (A) Citra kanal 7 menunjukkan deteksi api bersuhu tinggi dari SWIR, (B) Citra kanal 10 menunjukkan deteksi api bersuhu rendah dari kanal TIR atau *Long Wave InfraRed* (LWIR).

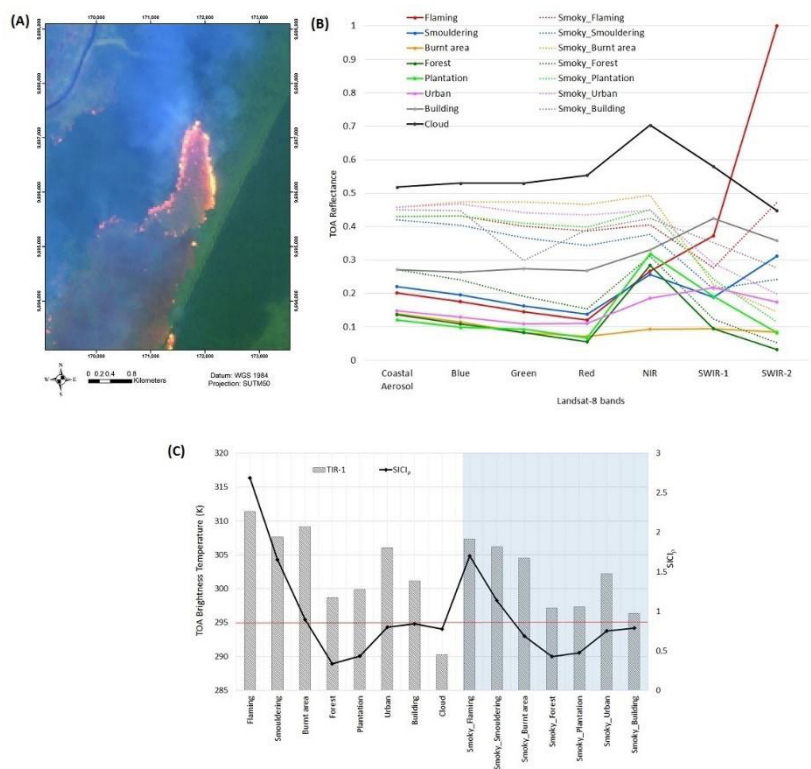
Gambar 3.10 Citra Kanal

Pengembangan model deteksi diimplementasikan pada data Landsat-8 yang direkam siang hari, dimana secara regular

Hal ini menjadi penting karena akuisisi data malam hari memiliki keterbatasan, yakni hanya dapat diperoleh melalui permintaan khusus, sehingga kurang ideal untuk kegiatan pemantauan rutin.

Algoritma *Tropical Peatland Combustion Algorithm* (ToPeCAI) diciptakan untuk mendeteksi kebakaran di lahan gambut menggunakan data Landsat-8 siang hari. ToPeCAI diformulasikan berdasarkan 4 parameter penting, yaitu indeks

kebakaran dari Infra Merah Gelombang Pendek (SICI), reflektansi SWIR (2,2 μm), suhu kecerahan dari kanal TIR (10,9 μm), dan reflektansi kanal aerosol (Gambar 3.11) (Sofan et al., 2018, 2019).

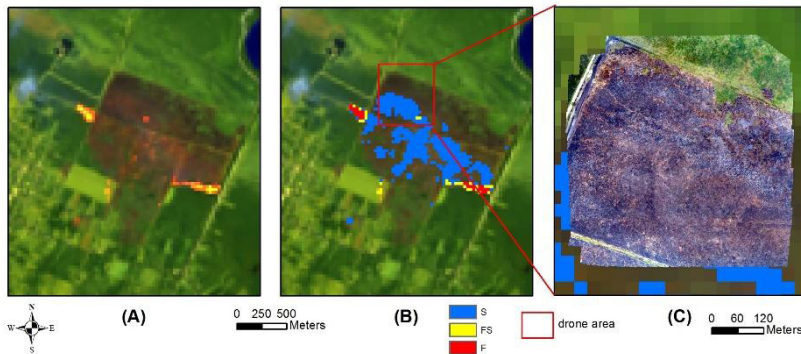


Sumber: Sofan et al., (2019)

Keterangan: Ekstraksi nilai reflektansi dan suhu kecerahan dari kanal data Landsat-8 pada berbagai objek di sekitar lahan gambut yang terbakar di Palangkaraya.

Gambar 3.11 Ekstraksi Nilai Reflektansi dan Suhu Kecerahan

Hasil deteksi api dari ToPeCAI telah divalidasi dengan data lapangan dan data historis kejadian kebakaran dari Badan Penanggulangan Bencana Nasional (BNPB), yang menunjukkan akurasi total sebesar 82%, dengan rincian 99% untuk api bersuhu tinggi, 73% untuk api bersuhu rendah, dan 96% untuk campuran keduanya (Sofan et al., 2019).



Sumber: Sofan et al., (2020)

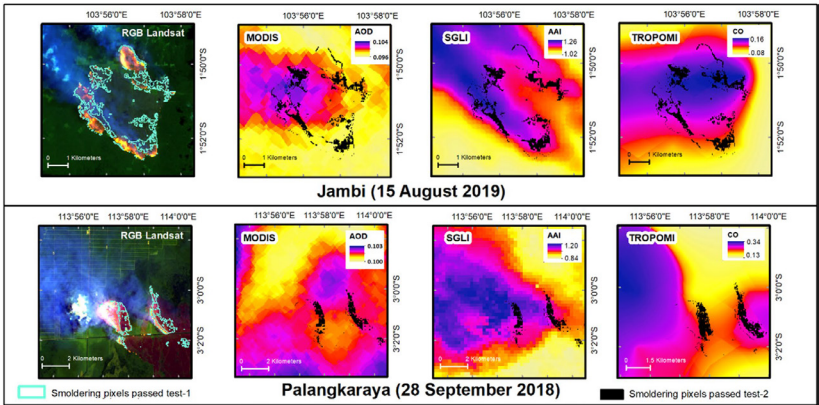
Keterangan: (A) Citra RGB 764 dari Landsat-8 pada 28 September 2018, (B) Hasil klasifikasi kebakaran dengan metode ToPeCAI dengan kode S=*Smouldering*, F=*Flaming*, FS=campuran kedua tipe api; (C) Verifikasi kebakaran tipe *smouldering* menggunakan drone pada 1 Oktober 2018. Warna hijau merepresentasikan vegetasi, hitam adalah badan air.

Gambar 3.12 (A) Citra RGB 764, (B) Hasil Klasifikasi Kebakaran, (C) Verifikasi Kebakaran

Selanjutnya, untuk meningkatkan akurasi deteksi api bersuhu rendah, telah dilakukan penyesuaian algoritma ToPeCAI dengan tingkat kepercayaan lebih rendah yaitu 1 sigma atau 68%, yang berhasil meningkatkan akurasi hingga 75% untuk deteksi api

telah dilakukan dengan membandingkan produk konsentrasi

karbon monoksida (CO) dari sensor *Tropospheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) dan aerosol dari sensor MODIS serta sensor *Second-Generation Global Imager* (SGLI) (Gambar 3.13). Korelasi tinggi sebesar 0,8 diperoleh antara data lapangan dari sensor Aerosol Robotic NETwork (AERONET) dan hasil observasi TROPOMI (Sofan et al., 2024a).



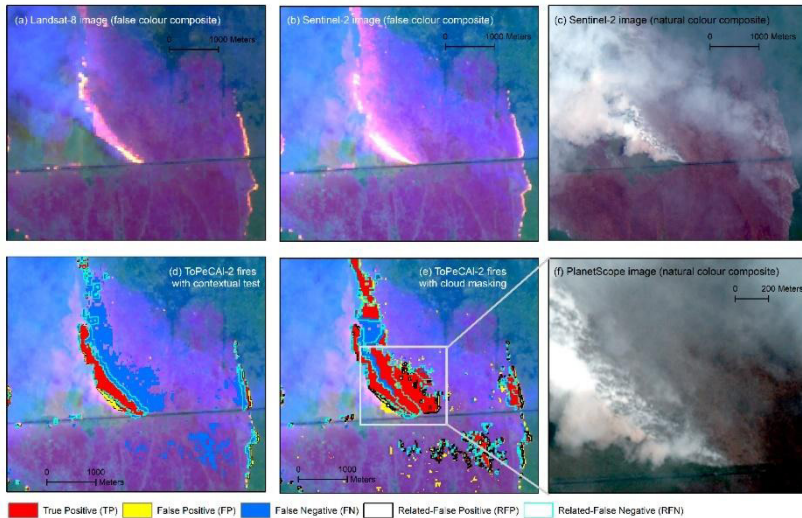
Sumber: Sofan et al., (2024a)

Keterangan: Interkomparasi hasil deteksi lahan gambut yang membara dengan data produk atmosfer yaitu CO dari sensor TROPOMI dan aerosol dari MODIS serta SGLI.

Gambar 3.13 Interkomparasi Hasil Deteksi Lahan Gambut yang Membara

Algoritma ToPeCAI kemudian dikembangkan untuk mendeteksi api dengan data Sentinel-2 MSI yang mempunyai kemampuan frekuensi observasi lebih baik dari Landsat yaitu setiap 5 hari sekali dengan resolusi spasial 20 m (Gambar 3.14). Karena Sentinel-2 MSI tidak memiliki kanal TIR, algoritma eliminasi objek terang yang permanen, dan eliminasi awan.

Akurasi ToPeCAI-2 untuk mendeteksi api bersuhu tinggi $>95\%$, namun dengan ketiadaan TIR, maka akurasi untuk api bersuhu rendah hanya mencapai 56% (Sofan et al., 2020a).



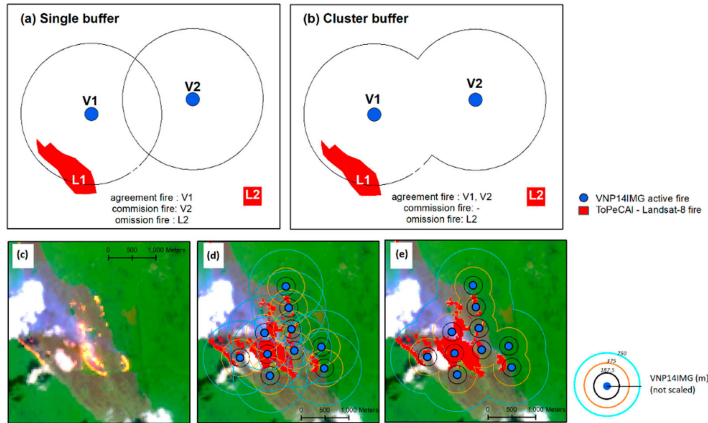
Sumber: Sofan et al., (2020a)

Keterangan: Contoh penerapan algoritma ToPeCAI tanpa TIR pada citra Sentinel-2 dan validasinya terhadap data resolusi tinggi PlanetScope dengan resolusi spasial 3.7 m. Lokasi di Kalimantan Tengah, 28 September 2018.

Gambar 3.14 Contoh Penerapan Algoritma Topecal Tanpa TIR

Sementara itu, asesmen dengan menggunakan teknik radius tunggal (*single buffer*) dan radius jamak (*cluster buffer*) telah dilakukan terhadap produk titik panas dari satelit optis beresolusi rendah yang saat ini tersedia secara publik dan paling tinggi resolusinya, yaitu titik panas dari VIIRS yang beresolusi spasial 375 m (Gambar 3.15). Hasil analisis menunjukkan bahwa kebakaran di lahan gambut dalam waktu 15 jam masih berada

dalam radius 750 m dari koordinat titik panas pada kondisi stabil. Penggunaan metode radius jamak mampu mendeteksi 80% kebakaran dengan luas <14 ha, dan 90% untuk kebakaran >14 ha (Sofan et al., 2020b).



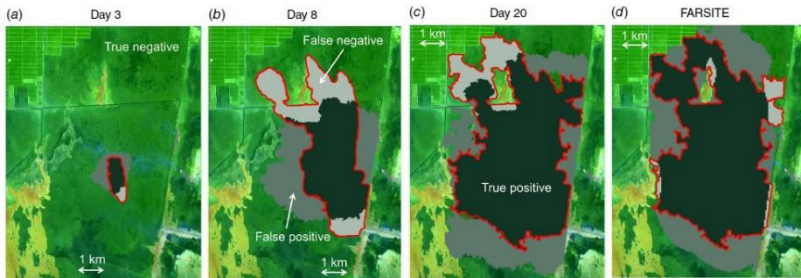
Sumber: Sofan et al., (2020b)

Keterangan: Ilustrasi penggunaan teknik radius tunggal dan radius jamak untuk optimalisasi interpretasi data titik panas VIIRS untuk pemantauan kebakaran.

Gambar 3.15 Ilustrasi Penggunaan Teknik Radius Tunggal dan Radius Jamak

Selain deteksi api, pengembangan model perambatan api berdasarkan variasi kelengasan lahan telah dilakukan menggunakan model *Cellular Automata* (CA) yang diintegrasikan dengan model *PEATCLSM* (*Catchment Land Surface Model*) bersama tim riset dari Imperial College London. Hasil perambatan api dari model ini telah disimulasikan dan dibandingkan dengan model perambatan lainnya yaitu *FARSITE* (*Fire Area Simulator-model Development and Evaluation*)

(Gambar 3.16) dengan nilai Kappa statistik yang mirip yaitu sebesar 0.6 (Purnomo et al., 2023). Melalui prediksi perambatan api ini diharapkan dapat membantu perkiraan menjalarnya api secara spasial di permukaan lahan untuk pencegahan meluasnya kebakaran di lapangan.



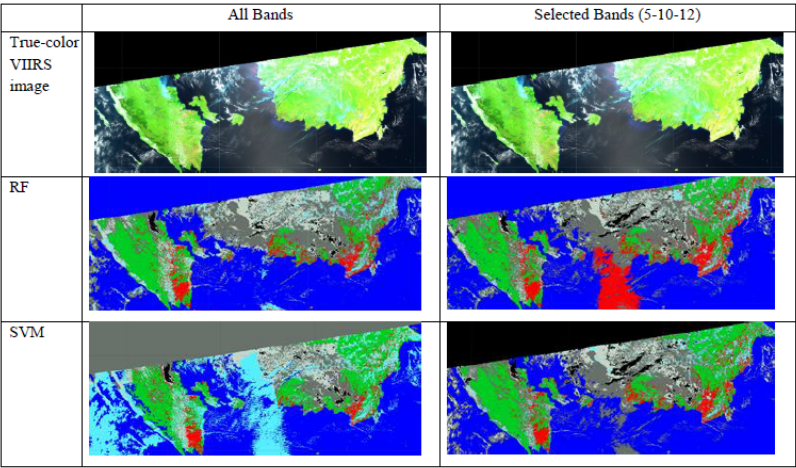
Sumber: Purnomo et al., (2023)

Keterangan: Simulasi hasil perambatan dengan metode CA (poligon merah) dibandingkan dengan lahan bekas terbakar dari data satelit dalam periode waktu (a) 3 hari, (b) 8 hari, dan (c) 20 hari. Gambar (d) menunjukkan hasil perambatan dengan metode FARSITE pada hari ke-20. Lokasi Kalimantan Tengah tanggal 28 September 2018.

Gambar 3.16 Simulasi Hasil Perambatan dengan Metode CA

Identifikasi adanya api juga dapat dideteksi melalui asap. Riset identifikasi asap karhutla telah dilakukan menggunakan data VIIRS yang beresolusi 375 m melalui berbagai teknik pembelajaran mesin yaitu *Random Forest* (RF), *Classification* (CART), *Support Vector Machine* (SVM), *Naive Bayes* (NB), dan *Gradient Tree Boost* (GTB). Hasil akurasi klasifikasi asap bervariasi antara 80% hingga 90%. Selanjutnya teknik pembelajaran mesin juga diimplementasikan untuk mendeteksi asap dari data SGLI dengan resolusi spasial 250 m. Model pembelajaran mesin berpotensi untuk digunakan

dalam memantau penyebaran asap dan mengidentifikasi lokasi sumber kebakaran (Chulafak et al., 2022; Rahmi et al., 2024).



Sumber: Rahmi et al., (2024)

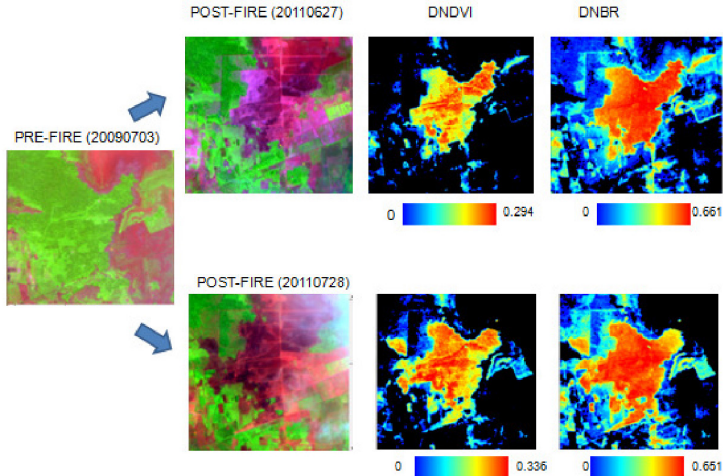
Keterangan: Contoh hasil klasifikasi asap menggunakan teknik pembelajaran mesin dengan algoritma RF dan SVM di Sumatera dan Kalimantan, tanggal 11 September 2019.

Gambar 3.17 Contoh Hasil Klasifikasi Asap

Secara umum dapat diringkas bahwa rangkaian penelitian pada fase tanggap darurat ini telah dihasilkan penajaman deteksi api di lahan gambut tropis melalui pemanfaatan data optis beresolusi menengah (Landsat-8 dan Sentinel-2), serta deteksi asap karhutla menggunakan data beresolusi rendah (VIIRS dan SGLI). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengelolaan kebakaran di lahan gambut, sekaligus dapat meminimalkan dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat.

C. Model Pasca-Bencana Karhutla

Pada fase pasca bencana, penelitian difokuskan untuk memetakan lahan bekas terbakar. Pemanfaatan data multitemporal telah dilakukan menggunakan data MODIS, Landsat-8 dan SPOT-4. Metode yang digunakan adalah indeks spektral, seperti Indeks Fraksi Ternormalisasi/*Normalized Difference Fraction Index* (NDFI), Indeks Kebakaran Ternormalisasi/*Normalized Burned Area* (NBR) dan Indeks Vegetasi Ternormalisasi/*Normalized* (NDVI) (Sofan et al., 2012; Sofan et al., 2016; Suwarsono et al., 2009c). Pada tahun 2020, metode NBR telah mendapat sertifikat Paten dari Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual (Khomarudin et al., 2020). Metode NBR tidak hanya memberikan gambaran tentang luas area yang terdampak, tetapi juga tingkat keparahan kebakarannya sehingga membantu mengidentifikasi lokasi prioritas dalam proses rehabilitasi lahan.



Sumber: Parwati et al., (2012)

Keterangan: Hasil analisis bekas lahan terbakar dari indeks delta NDVI (dNDVI) dan delta NBR (dNBR) di lokasi kebakaran Dumai.

Gambar 3.18 Hasil Analisis Bekas Lahan Terbakar

Selain itu, ditemukan bahwa reflektansi dan suhu permukaan lahan pada area bekas kebakaran adalah parameter penting dalam memantau dampak kebakaran di lahan gambut. Pendekatan analisis piksel campuran memberikan informasi lebih detail untuk menentukan prioritas rehabilitasi secara efektif (Sofan et al., 2022; Suwarsono et al., 2015a; Suwarsono et al., 2016a).

Dengan pendekatan berbasis satelit penginderaan jauh ini, fase pasca bencana dapat ditangani secara lebih efisien dan terarah. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya pemulihan lahan, meminimalkan dampak ekologis jangka panjang, dan mengembalikan fungsi ekosistem yang terdampak akibat kebakaran.

IV. KONTRIBUSI UMUM TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMANTAUAN KARHUTLA

Hilirisasi IPTEK yang telah dilakukan mencakup berbagai kegiatan untuk mendiseminasikan informasi dan metode deteksi karhutla kepada pemangku kepentingan dan publik, baik di tingkat nasional maupun internasional. Berikut adalah upaya yang telah dilakukan:

A. Implementasi pada Tingkat Nasional

Semenjak kejadian karhutla yang ekstrim pada tahun 2015, penggunaan informasi karhutla dari data satelit di Indonesia diperkuat dengan Surat Menteri LHK No. S.218 tahun 2016 terkait sinergitas data titik panas, di dalamnya diatur bahwa data titik panas bersumber dari stasiun bumi LAPAN yang kini menjadi milik BRIN. Pada saat itu, kandidat berperan untuk mengkoordinasikan distribusi data titik panas ke dalam sistem informasi KLHK dan BMKG untuk digunakan dalam kegiatan pemantauan karhutla di Indonesia.

Selain itu, model deteksi api dan asap telah diimplementasikan dalam penyediaan informasi spasial berbasis satelit untuk kegiatan tanggap darurat bencana BNPB serta pemantauan lapangan oleh tim Manggala Agni KLHK, sehingga dapat membantu penanganan bencana yang lebih presisi dan efisien. Pada pasca-bencana, model NBR telah diimplementasikan oleh

KLHK dalam standar pemetaan lahan bekas terbakar secara nasional.

Pada tahun 2015, tim tanggap darurat bencana pada Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh mendapatkan penghargaan Reksa Utama Anindha (Tangguh Award) dari BNPB untuk dukungan informasi tanggap darurat bencana karhutla berdasarkan data satelit pada kejadian karhutla tahun 2015.

Implementasi juga dilakukan melalui berbagai pelatihan teknis bagi pemerintah daerah di wilayah rawan karhutla, terutama di Sumatra dan Kalimantan bekerjasama dengan BNPB, BPBD Provinsi, dan KLHK untuk meningkatkan kapasitas pengetahuan dan pemantauan untuk mitigasi kebakaran di tingkat lokal.

Evaluasi terhadap keberterimaan informasi karhutla berbasis penginderaan jauh yang melibatkan 41 pengguna, termasuk kementerian, Lembaga, pemerintah daerah, dan sektor swasta menunjukkan bahwa informasi berbasis satelit diterima secara positif (Riyanto et al., 2022). Penerimaan ini terutama dipengaruhi oleh dua faktor utama:

- 1) Sikap terhadap Sistem (*Attitude Toward System* - ATT): Pengguna menganggap sistem ini relevan dan bermanfaat dalam mendukung pengambilan keputusan.
- 2) Kondisi Pendukung (*Facilitating Conditions* - FC): Faktor seperti ketersediaan sumber daya dan pemahaman pengguna berperan signifikan dalam mendorong penerimaan informasi.

Namun, variabel kepercayaan dan kualitas sistem belum menunjukkan pengaruh yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan penguatan pelatihan, peningkatan kualitas platform,

dan perluasan akses guna meningkatkan pengalaman pengguna serta penerimaan yang lebih luas (Riyanto et al., 2022).

Selain itu, teknologi ini berkontribusi signifikan terhadap efisiensi pengelolaan karhutla melalui:

- 1) Pengurangan Biaya Pemantauan: satelit dapat mengurangi kebutuhan patroli darat yang memakan waktu dan biaya.
- 2) Mengurangi Kerugian Ekonomi: Deteksi dini dan respon cepat memungkinkan alokasi sumber daya yang lebih efisien, yang dapat mengurangi kerugian akibat kebakaran.
- 3) Efisiensi Biaya Pemadaman: Informasi lokasi kebakaran yang presisi membantu efisiensi pemadaman.

Hasil laporan terkait pengendalian deforestasi dan karhutla yang dikeluarkan oleh KLHK (2024) menyatakan bahwa informasi karhutla berbasis satelit sangat bermanfaat untuk membantu kegiatan monitoring di lapangan, sehingga kondisi karhutla di Indonesia sejak tahun 2015 hingga 2023 mengalami penurunan. Hal ini dibuktikan dari data hasil validasi titik panas dan laporan pemadaman dari Manggala Agni. Dengan intensitas El Nino yang serupa, bencana karhutla tahun 2023 dapat ditekan lebih kecil 30.8% dibandingkan tahun 2019. Pada tahun 2021, Indonesia turun peringkat sebagai negara penyumbang emisi GRK dari peringkat 5 menjadi 9, dengan penurunan emisi sebesar 890 juta Ton CO₂eq. Berdasarkan data *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS) Uni Eropa, Indonesia kini tidak lagi termasuk ke dalam kelompok negara penyumbang emisi terbesar dari karhutla.

digiatkan di Indonesia mulai dari penguatan prediksi iklim, sistem pemantauan, regulasi dan penegakan hukum, teknik

modifikasi cuaca, dan pemberdayaan masyarakat, sehingga risiko bencana karhutla di Indonesia dapat diminimalkan.

Rencana ke depan, model pemantauan karhutla untuk pra-bencana, tanggap darurat, dan pasca bencana akan diintegrasikan ke dalam platform GEOMIMO (Geoinformatika Multi-Input Multi-Output), yang dikembangkan oleh BRIN. Platform ini bertujuan untuk mengumpulkan dan menganalisis data satelit penginderaan jauh serta data geospasial lainnya secara sistematis, guna mendukung pengambilan keputusan di berbagai sektor, termasuk pemantauan lingkungan, ketahanan pangan, kebencanaan, dan estimasi karbon.

B. Implementasi pada Kancan Internasional

Pada tingkat internasional, kandidat diberikan kepercayaan sebagai Manajer Proyek pada *International Charter for Space and Major Disasters* selama periode 2014–2016. Dalam peran tersebut, kandidat bertanggung jawab mengkoordinasikan kegiatan tanggap darurat bencana secara global, termasuk kejadian karhutla berbasis pada pemanfaatan data penginderaan jauh. Kegiatan ini dilaksanakan melalui komunitas relawan Sentinel-Asia, yang didukung oleh lembaga antariksa Jepang (JAXA).

Dalam pelaksanaannya, berbagai metode deteksi titik api dan asap, serta pemetaan lahan terbakar, telah diimplementasikan untuk mendukung penyediaan informasi secara cepat selama berlangsungnya bencana, khususnya saat kejadian kebakaran besar di Indonesia tahun 2015. Pada tahun 2017, *International Charter for Space and Major Disasters* menganugerahkan William T. Pecora Award kepada kandidat, sebuah penghargaan bergengsi dari NASA dan USGS, sebagai bentuk apresiasi

kemanusiaan.

Lebih lanjut, model deteksi karhutla yang mencakup tahap pra-bencana, tanggap darurat, hingga pascabencana, telah disarikan dalam buku berjudul *Lessons Learnt from Forest and Land Fires in Indonesia* (Suwarsono et al., 2016b) dan disosialisasikan melalui Platform PBB untuk Informasi Berbasis Antariksa dalam Penanggulangan Bencana dan Tanggap Darurat (UN-SPIDER).

Kandidat juga tergabung dalam tim ilmiah di Badan Penerbangan dan Antariksa Nasional Amerika Serikat (NASA) dalam riset yang memanfaatkan data satelit NASA untuk karakterisasi dan validasi produk titik panas di wilayah Indonesia (https://modis.gsfc.nasa.gov/sci_team/pubs/abstract_new.php?id=54316).

Diseminasi hasil penelitian dilakukan secara konsisten, baik sebagai pembicara dalam workshop, konferensi internasional, dan webinar, maupun sebagai dosen tamu di perguruan tinggi dalam dan luar negeri. Kontribusi ilmiah internasional diwujudkan melalui pengembangan model pemantauan karhutla berbasis satelit, yang dirancang khusus untuk ekosistem gambut tropis Indonesia, mengingat model deteksi global kurang optimal dalam memantau kebakaran gambut di Indonesia.

Hilirisasi ini tidak hanya menjembatani riset dengan kebutuhan pengguna, tetapi juga memperkuat sistem pemantauan karhutla berbasis data satelit di Indonesia. Diseminasi yang luas dan berkelanjutan diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif dan kolaboratif dalam pengelolaan kebakaran hutan dan lahan.

V. KESIMPULAN

Pengembangan teknologi penginderaan jauh berbasis satelit telah menghasilkan pendekatan terpadu dalam manajemen bencana karhutla di Indonesia. Model pemantauan ini meningkatkan akurasi deteksi serta memungkinkan mitigasi dan rehabilitasi yang lebih strategis. Selain itu, penelitian ini memperkuat peran penginderaan jauh sebagai pendekatan ilmiah yang instruktif dalam mitigasi karhutla.

Kontribusi utama penelitian ini terhadap pengelolaan karhutla mencakup:

- 1) **Pra-bencana:** Pengembangan model pemantauan bahaya karhutla mulai dari model bahaya berdasarkan masing-masing parameter fisik hingga komprehensif menggunakan banyak parameter yang meliputi parameter iklim/cuaca, biofisik lahan, dan sosial ekonomi secara kecerdasan buatan. Model bahaya karhutla secara kecerdasan buatan ini mencapai akurasi 90%, memungkinkan deteksi dini yang lebih efektif dan berkontribusi pada pengembangan teori
- 2) **Tanggap darurat:** Algoritma inovatif *Tropical Peatland Combustion Algorithm* (ToPeCAL) memungkinkan deteksi kebakaran di lahan gambut, dengan akurasi sekitar 73% untuk api bersuhu rendah dan di atas 80% untuk api bersuhu tinggi. Teknik klasterisasi dan zonasi area titik panas, serta eliminasi objek terang yang permanen, berhasil mengurangi 13% titik panas yang bukan berasal dari karhutla, sehingga meningkatkan efisiensi pengecekan lapangan. Model

Cellular Automata berdasarkan parameter lengas lahan dapat memprediksi penjaralan api, yang berguna untuk pencegahan perluasan karhutla. Model deteksi asap berbasis pembelajaran mesin terbukti meningkatkan akurasi di atas 90% dibandingkan metode konvensional.

- 3) **Pasca-bencana:** Metode indeks NBR memungkinkan pemetaan lahan bekas terbakar secara nasional dengan efisiensi tinggi, mendukung identifikasi tingkat keparahan kebakaran serta perencanaan rehabilitasi berbasis geospasial.

Secara keseluruhan, pengembangan model berbasis satelit ini mengatasi keterbatasan pengamatan langsung, mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca, serta menyediakan dasar kebijakan berbasis data untuk mitigasi dan respons karhutla yang lebih efektif. Ke depan, model ini dapat diperkuat dengan integrasi kecerdasan buatan dan sensor satelit generasi terbaru guna mendukung pengelolaan karhutla yang lebih berkelanjutan dan efisien.

PENUTUP

Masa depan pengelolaan karhutla di Indonesia menghadapi tantangan kompleks. Perubahan iklim global meningkatkan risiko kebakaran dengan suhu yang lebih tinggi dan musim kemarau yang lebih panjang. Tekanan antropogenik seperti alih fungsi lahan, ekspansi industri, dan praktik pertanian berbasis pembakaran memperparah kondisi tersebut. Untuk menjawab tantangan ini, diperlukan strategi inovatif berbasis ilmu pengetahuan, teknologi, serta kolaborasi berbagai pihak.

Teknologi penginderaan jauh berbasis satelit telah terbukti efektif dalam pemantauan dan mitigasi karhutla. Dari perspektif disiplin ilmu, penginderaan jauh harus berkembang lebih lanjut dalam aspek:

- 1) Peningkatan resolusi spasial dan temporal citra satelit untuk deteksi dini karhutla secara lebih detail dengan akuisisi citra yang lebih sering.
- 2) Kombinasi data dari sensor optis, *Synthetic Aperture Radar* (SAR), dan hiperspektral untuk mengatasi kendala atmosfer tropis.
- 3) Pengembangan model pra-bencana untuk peringatan dini bahaya karhutla yang mengintegrasikan faktor fisik atmosfer, biofisik lahan, dan sosial ekonomi secara kecerdasan buatan perlu dielaborasi lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi

- 4) Meningkatkan aksesibilitas teknologi pemantauan kepada pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat luas melalui platform digital interaktif.

Selain aspek teknologi, peran pemangku kepentingan sangat krusial:

- 1) Pemerintah diharapkan memperkuat regulasi berbasis data dan mendukung infrastruktur pemantauan.
- 2) Lembaga Riset dan Akademisi berperan dalam inovasi teknologi dan model deteksi yang lebih canggih.
- 3) Sektor Swasta dapat berkontribusi dalam investasi teknologi pemantauan serta praktik pengelolaan lahan berkelanjutan.
- 4) Masyarakat dan Komunitas Lokal harus lebih aktif dalam pencegahan dan pemadaman dini melalui edukasi serta peningkatan kapasitas lapangan.

Pengembangan platform Geoinformatika Multi Input Multi Output (GEOMIMO) oleh BRIN akan mengintegrasikan data multi-sensor dan algoritma canggih untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan karhutla mulai dari pra-bencana hingga pasca-bencana.

Dengan pendekatan kolaboratif dan inovatif, teknologi penginderaan jauh menjadi alat mitigasi yang lebih efektif sekaligus fondasi bagi perlindungan lingkungan dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Sinergi berbagai pihak akan memperkuat ketahanan ekosistem hutan dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia dan global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya serta ridho-Nya yang memungkinkan naskah orasi ilmiah ini selesai dengan baik.

Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada 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; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Wakil Kepala BRIN, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN.Eng; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Negroho Aspar, MSCE., Ph.D.; Sekretaris Majelis Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc. dan Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah, Prof. Dr. Ir. Dony Kushardono, M.Eng., Prof. Dr. Ratih Dewanti M.Sc., dan Prof. Dr. Ir. Rizaldi Boer, M.S., terima kasih atas arahan dan bimbingannya.

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., dan Kepala Pusat Riset Geoinformatika (PRGI), Prof. Dr. M. Rokhis Khomarudin, S.Si., M.Si.

Perjalanan karir ini tidak akan tercapai tanpa adanya peran gurupendidik mulai dari sekolah dasar hingga Universitas. Terima kasih kepada para pembimbing S1 saya, Prof. Dr. Ir. Rizaldi Boer serta Prof. Dr. Erna Sri Adiningsih, M.Si.; pembimbing S2

Prof. Bingfang WU dan Prof. Dr. Orbita Roswintiarti, M.Sc., dan pembimbing S3 Prof. David Bruce.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada para mantan pimpinan, senior, dan kolega saat saya di LAPAN dan yang saat ini di BRIN. Terima kasih kepada kolega internasional terutama JAXA atas kesempatan berkolaborasi riset dalam perjalanan karir saya. Terima kasih juga kepada para professor, senior, para periset, dan tim manajemen di PRGI OREI, yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, terima kasih atas dukungan dan kerja sama yang luar biasa selama ini.

Dedikasi ini saya persembahkan untuk orang tua saya, Bapak dan almarhum Ibunda tercinta, atas doa dan kasih sayangnya. Terima kasih juga kepada Ibu dan almarhum Bapak mertua yang telah mendukung saya. Untuk suami saya, Kang Asep Setiawan, terima kasih atas dukungan, kesabaran, doa, dan kebersamaannya yang tak ternilai, yang telah membantu saya hingga di titik ini. Ananda Satria Madani dan Pranedyta Wiryatama, terima kasih untuk selalu menjadi penyemangat dalam setiap langkah. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada saudara kandung tercinta, Komisaris Polisi Sayekti dan Mas Pranoto, serta saudara ipar saya atas dukungannya selama ini. Semoga Allah selalu memberkati dan melindungi kita.

Terakhir, terima kasih kepada Panitia Pelaksana Orasi Pengukuhan Profesor Riset, sehingga acara ini dapat berlangsung dengan baik.

Akhir kata, tak ada gading yang tak retak, kesempurnaan hanyalah milik Allah semata. Mohon maaf atas segala kekurangan. Ini menjadi babak baru bagi perjalanan karir saya untuk bisa memberikan yang lebih baik demi kemajuan IPTEK Indonesia. Terima kasih. Wassalamu'alaikum wr. wb.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, E. S., **Parwati**, & Suharsono, H. (2004). Pengujian model prediksi anomali out-going longwave radiation dan hubungannya dengan curah hujan di Indonesia. *Majalah LAPAN*, 52–70. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/22802/>
- Adiningsih, E. S., **Sofan**, P., & Prasasti, I. (2016). Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk monitoring kejadian iklim ekstrem di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2), 67–78.
- Atwood, E. C., Enghart, S., Lorenz, E., Halle, W., Wiedemann, W., & Siegert, F. (2016). Detection and characterization of low temperature peat fires during the 2015 fire catastrophe in Indonesia using a new high-sensitivity fire monitoring satellite sensor (FireBird). *PLoS ONE*, 11(8), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159410>
- Baum, B. A., & Trepte, Q. (1999). A grouped threshold approach for scene identification in AVHRR Imagery. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 16(6), 793–800. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1999\)016<0793:AGTAFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1999)016<0793:AGTAFS>2.0.CO;2)
- Boer, R., Dewi, R., Ardiansyah, M., & Siagian, U. (2018). Indonesia second biennial update report, under the united nations framework convention on climate change. Jakarta, Indonesia. <https://unfccc.int/documents/192165>
- Chulafak, G. A., Pambudi, A. I., & **Sofan**, P. (2022). Aerosol index and machine learning for fire smoke mapping using the second-generation global imager (SGLI) data over tropical peatland environments. *2022 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICARES56907.2022.9993492>

- Collin, A., Bernardin, D., & Séro-Guillaume, O. (2011). A physical-based cellular automaton model for forest-fire propagation. *Combustion Science and Technology*, 183(4), 347–369. <https://doi.org/10.1080/00102202.2010.508476>
- Darmawan, Y., & Sofan, P. (2012). Comparison of the vegetation indices to detect the tropical rain forest changes using breaks for additive seasonal and trend (BFAST) model. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 91. (June), 21–34. <https://jurnal.lapan.go.id/index.php/ijreses/article/view/1823>
- Dimiyati, M., Rustanto, A., Ash Shidiq, I. P., Indratmoko, S., Siswanto, Dimiyati, R. D., Auni, R. (2024). Spatiotemporal relation of satellite-based meteorological to agricultural drought in the downstream Citarum watershed, Indonesia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 22, 100339. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100339>
- Dozier, J. (1981). A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. *Remote Sensing of Environment*, 11, 221–229. [https://doi.org/10.1016/00344257\(81\)90021-3](https://doi.org/10.1016/00344257(81)90021-3)
- Elvidge, C. D., Zhizhin, M., Hsu, F. C., Baugh, K., Khomarudin, M. R., Vetruta, Y., Sofan, P., Suwarsono, Hilman, D. (2015). Long-wave infrared identification of smoldering peat fires in Indonesia with nighttime Landsat data. *Environmental Research Letters*, 10(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/6/065002>
- Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia. (2022). <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/ENDC%20Indonesia.pdf>
- Escuin, S., Navarro, R., & Fernández, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (normalized burn ratio) and NDVI (normalized difference vegetation index) derived from Landsat TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29

- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harisson, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Giglio, L., Kendall, J. D., & Justice, C. O. (1999). Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. *International Journal of Remote Sensing*, 20(10), 1947–1985. <https://doi.org/10.1080/014311699212290>
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C. O., & Kaufman, Y. J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87(2–3), 273–282. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00184-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00184-6)
- Giglio, L., Csizar, I., Restás, Á., Morisette, J. T., Schroeder, W., Morton, D., & Justice, C. O. (2008). Active fire detection and characterization with the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). *Remote Sensing of Environment*, 112(6), 3055–3063. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.003>
- Giglio, L., Schroeder, W., & Justice, C. O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.054>
- Groot, W. J. de, Field, R. D., Brady, M. A., Roswintiarti, O., & Mohamad, M. (2007). Development of the Indonesian and Malaysian fire danger rating systems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(1), 165–180. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-9043-8>
- Hayasaka, H., Usup, A., & Naito, D. (2020). New approach evaluating
Remote Sensing, Vol. 12.
<https://doi.org/10.3390/rs12122055>

- Heo, S., Park, S., & Lee, D. K. (2023). Multi-hazard exposure mapping under climate crisis using random forest algorithm for the Kalimantan Islands, Indonesia. *Scientific Reports*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40106-8>
- Hope, E. S., McKenney, D. W., Johnston, L. M., Johnston, J. M., & Leitner, S. (2024). A cost-benefit analysis of WildFireSat, a wildfire monitoring satellite mission for Canada. *PloS One*, 19(5), e0302699–e0302699. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302699>
- Huffman, G., McCarty, W., Cosner, C., & Reed, J. (2024, 29 Februari). The global precipitation measurement mission: GPM 10 Year Anniversary. NASA website: <https://gpm.nasa.gov/>
- Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., Decloîtres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., & Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 244–262. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7)
- Keetch, J. J., & Byram, G. M. (1968). *A Drought Index for Forest Fire Control*. USDA. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rp/rp_sc038.pdf
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA) sampling and analysis methods. In *USDA Forest Service - General Technical Report RMRS-GTR*.
- Khomarudin, M.R., & **Parwati**. (2006). Crop Water Stress Index (CWSI) Estimation Using MODIS Data. *International Journal Remote Sensing and Earth Sciences (IReSES)*. Vol.3. ISSN:0216-6739.<http://jurnal.lapan.go.id/index.php/ijreses/article/view/1203>
- Khomarudin, M. R., Sariwulan, B., **Parwati**, & Dalimunthe, W. (2000). Model prediksi banjir dan kekeringan berdasarkan data OLR. *Majalah LAPAN Edisi Penginderaan Jauh, Vol 02 No.01. ISSN 0126-0480*.

- Khomarudin, M.R., **Parwati**, & Dalimunthe, W. (2001). Analisis pola hujan bulanan dengan data outgoing longwave radiation (OLR) untuk menentukan kandungan air lahan pertanian. *Warta LAPAN Vol.3 No.2, Juni. LAPAN. ISSN 0126-9754*.
- Khomarudin, M. R., **Parwati**, Prasasti, I., Febrianti, N., & Suwarsono, S. (2014a). Penyederhanaan sistem “the canadian forest fire danger rating system” di wilayah indonesia dan implementasinya berbasis data penginderaan jauh. *Prosiding Seminar Sains Atmosfer; LAPAN Bandung*.
- Khomarudin, M. R., Vetrita, Y., & **Parwati**. (2014b). Hotspot hanyalah indikator bukan kejadian kebakaran hutan dan lahan. *Majalah Inderaja Vol. V. No.8. LAPAN. ISSN 2087-8141*.
- Khomarudin, M. R., Wiweka, W., & **Sofan, P.** (2014c). Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana di Indonesia. Bogor: Crespent Press. Retrieved from <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10846/>
- Khomarudin, M. R., Trisakti, B., Budhiman, S., **Parwati**, Winanto, Noersyamsu, & Priyatna, M. (2015). Sistem Pemantauan Bumi Nasional. Buku Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh. Jakarta: LAPAN, Jakarta. Retrieved from <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11129/>
- Khomarudin, M., Roswintiarti, O., Prasasti, I., Kartika, T., Nugroho, U. C., Aziz, K., & Seran, V. R. (2024). Enhancement of fire danger rating system for a better land/forest fire warning in South Sumatra Province, Indonesia. *Proc.SPIE, 12977, 129771T*. <https://doi.org/10.1117/12.3009541>
- KLHK. (2023). Jangan biarkan hutan kita terbakar, lindungi dengan tindakan nyata. Direktorat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan. <https://sipongi.menlhk.go.id/>
- KLHK. (2024). Pengendalian Deforestasi dan Karhutla di Indonesia. PPID KLHK. <https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/7594/pengendalian-deforestasi-dan-karhutla-di-indonesia>

- Kogan, F. N. (2002). World droughts in the new millennium from AVHRR-based vegetation health indices. *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 83(48), 562–563.
- Kumar, S. S., & Roy, D. P. (2018). Global operational land imager Landsat-8 reflectance-based active fire detection algorithm. *International Journal of Digital Earth*, 11(2), 154–178. <https://doi.org/10.1080/17538947.2017.1391341>
- Li, Z., Khananian, A., Fraser, R. H., & Cihlar, J. (2001). Automatic detection of fire smoke using artificial neural networks and threshold approaches applied to AVHRR imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(9), 1859–1870. <https://doi.org/10.1109/36.951076>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kliest, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 179–184. Boston MA, USA: American Meteorological Society.
- Mukai, S., Sano, I., & Nakata, M. (2019). Algorithms for the classification and characterization of aerosols: utility verification of near-UV satellite observations. *Journal of Applied Remote Sensing*, 13(01), 1. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.13.014527>
- Murdiyarso, D., Lilleskov, E., & Kolka, R. (2019). Tropical peatlands under siege: the need for evidence-based policies and strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(4), 493–505. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-9844-1>
- Murphy, S.W.; de Souza Filho, C.R.; Wright, R.; Sabatino, G.; Correa Pabon, R. Hotmap: Global hot target detection at moderate spatial resolution. *Remote Sens. Environ.* 2016, 177, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.027>
- Parwati & Suwarsono.** (2008). Model indeks TVDI (temperature berdasarkan data Modis-Terra. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 5,

35–44. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/viewFile/1167/1045

- Parwati**, Suwarsono, S., Ayu, K. D., & Kartasamita, M. (2009). Penentuan hubungan antara suhu kecerahan data mtsat dengan curah hujan data QMORPH. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 6, 32–42.
- Parwati**, Suwarsono, S., & Suprpto, T. (2010a). Analisis peran enso terhadap distribusi hotspot dan curah hujan di pulau Sumatra dan kalimantan. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer*, 391–406. LAPAN.
- Parwati**, Zubaidah, A., & Roswintiarti, O. (2010b). Model prediksi curah hujan di wilayah Indonesia dari data satelit TRMM berdasarkan anomali suhu permukaan laut pasifik tropik. In LAPAN (Ed.), *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer* (pp. 11–25).
- Parwati**, Khomarudin, M. R., & Priyatna, M. (2011a). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mendukung terbentuknya crisis room kebencanaan. *Prosiding Seminar Nasional Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Mendukung Pembangunan Nasional*, 53–66. LAPAN. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10673/>
- Parwati**, M. Priyatna, Kusumaning Ayu D.S, & Khomarudin, M. R. (2011b). Dinamika kondisi potensi bahaya kebakaran hutan/ lahan di Sumatra dan kalimantan tahun 2009 – 2011 berdasarkan fire weather index (FWI) dari data satelit penginderaan jauh. *Prosiding Seminar Nasional Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Mendukung Pembangunan Nasional*, pp. 83–90.
- Parwati**, Suwarsono, S., Hidayat, H., Zubaidah, A., & Anggraini, N. (2011c). Peringatan dini bahaya kekeringan di Indonesia berdasarkan indeks kekeringan agronomis dari data MODIS. *Prosiding Seminar Nasional Geospasial Dalam Pembangunan Wilayah Dan Kota, PIT MAPIN XVIII*, 123–133. Semarang. http://eprints.undip.ac.id/75952/1/C6_PROSIDING_MAPIN_2011.pdf

- Parwati**, Zubaidah, A., & Kusumaning Ayu D.S. (2011d). Indeks kekeringan meteorologis SPI (Standardized Precipitation Index) sebagai peringatan dini bahaya kebakaran hutan di Indonesia berdasarkan data satelit TRMM. *Proceeding of The International Seminar on GeoSARNasForum. Bogor, 12 September 2011. ISBN: 978-979-25-7259-9*, 257–274.
- Parwati**, Zubaidah, A., Priyatna, M., Vetrta, Y., Kusumaningayu D.S., Lintang, P.M., Ningrum, W., & Pribadi, U. A. (2012). Informasi tingkat bahaya kebakaran hutan/lahan dari data satelit. *Majalah Inderaja Vol. III, No.5. LAPAN. ISSN: 2087-8141*.
- Prasasti, I., Febranti, N., **Parwati**, & Mustiika NS. (2015). Analisis pemanfaatan data TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) untuk deteksi kejadian dan estimasi hujan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX Dan Kongres VI Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN)*, 375–382. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11073/>
- Purnomo, D. M. J., Apers, S., Bechtold, M., **Sofan, P.**, & Rein, G. (2023). KAPAS II: Simulation of peatland wildfires with daily variations of peat moisture content. *International Journal of Wildland Fire*, 32(6), 823–835. <https://doi.org/10.1071/WF22109>
- Rahmi, K. I. N., Nugroho, G., **Sofan, P.**, Vetrta, Y., Chulafak, G. A., & Santoso, I. (2024). Identification of smoke peatland fire using remote sensing data based on machine learning. *Proc.SPIE*, 12977, 1297717. <https://doi.org/10.1117/12.3009368>
- Riyanto, B., Judianto, C. T., Prihanto, I. G., **Sofan, P.**, Priyatna, M., Gunawan, H., Prasetyo, W., & Jayati, A. (2022). Acceptance of information on the distribution of smoke and locations of fire *IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology, ICARES 2022 -Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICARES56907.2022.9993509>

- Roswintiarti, O., Niyogi, D. S., & Raman, S. (2000). Comparative assessment of predictability over mid-latitudinal and tropical climate using statistical models: Example over North Carolina and Indonesia. *15th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences*. American Meteorological Society. https://ams.confex.com/ams/May2000/techprogram/programexpanded_23.htm
- Roswintiarti, O., **Sofan, P.**, & Zubaidah, A. (2009). Pemanfaatan data TRMM dalam mendukung pemantauan dan prediksi curah hujan di Indonesia. *Majalah Berita Inderaja. Volume VIII No.14, Juli. LAPAN. ISSN 1412-4564*.
- Roswintiarti, O., **Sofan, P.**, & Anggraini, N. (2011). Monitoring of drought-vulnerable area in Java Island, Indonesia using satellite remote-sensing data. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, Vol.8*, 21–34. https://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1610/1448
- Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79(2), 213–224. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00274-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00274-7)
- Schindele, W., Thoma, W., & Panzer, K. (1989). Investigation of the steps needed to rehabilitate the areas of East Kalimantan seriously affected by fire. The forest fire 1982/83 in east kalimantan. Part I: The fire, the effects, the damage and the technical solutions. *GTZ-PN: 38.3021. 3-11.000, ITTO: PD 17/87 (F)*.
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., & Csiszar, I. A. (2014). The new VIIRS 375m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.008>

- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., Quayle, B., Lorenz, E., & Morelli, F. (2016). Active fire detection using Landsat-8/OLI data. *Remote Sensing of Environment*, 185, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.032>
- Science Team Publications. MODIS-NASA. https://modis.gsfc.nasa.gov/sci_team/pubs/abstract_new.php?id=54316
- Shofiyati, R., Takeuchi, W., Darmawan, S., & Sofan, P. (2017). An effective information system of drought impact on rice production based on remote sensing. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 11(2), 153. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2014.v11.a2613>
- Siebert, F., Zhukov, B., Oertel, D., Limin, S., Page, S. E., & Rieley, J. O. (2004). Peat fires detected by the BIRD satellite. *International Journal of Remote Sensing*, 25(16), 3221–3230. <https://doi.org/10.1080/01431160310001642377>
- Sofan, P. (2007). *Agricultural Drought Based on Temperature Vegetation Dryness Index in Jambi Province using Terra-MODIS Data*. Pusat Survei Sumber Daya Alam Laut Bakosurtanal. ISBN 978-979-1266-18-5. <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpacBlank.aspx?id=336030>
- Sofan, P., Zubaedah, A., & Roswintiarti, O. (2008). Predictive skills of long-term convection prediction over Indonesia related to el nino/southern oscillation (ENSO). *Proceedings of International Symposium on Equatorial Monsoon System, 16-18 September 2008*. ISBN 978-979-15549-4-7.
- Sofan, P., Zubaidah, A., Vetrita, Y., Yulianto, F., Sukowati, K. A. D., & Khomarudin, M. R. (2012). Kapasitas indeks lahan terbakar normalized burn ratio (NBR) dan normalized difference vegetation index (NDVI) dalam mengidentifikasi bekas lahan terbakar berdasarkan data SPOT-4. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 18(1), 29–41.

- Sofan, P.** (2015). Karakteristik pola curah hujan di wilayah Indonesia berdasarkan data satelit TRMM (1998-2011). *Bunga Rampai Penginderaan Jauh Indonesia 2013*. Institut Teknologi Bandung, Bandung, pp. 2-21. ISBN 978-602-19911-3-8
- Sofan, P., Suwarsono, S., Febrianti, N., & Khomarudin, M. R.** (2014). Mewaspadaai fenomena iklim ekstrim el nino dan osilasi selatan (ENSO) pada musim kemarau 2014 di Indonesia berdasarkan data satelit penginderaan jauh. *Media Dirgantara. Vol.9 No.2. Juni. LAPAN. ISSN 1907-6169*.
- Sofan, P., Vetrira, Y., Yulianto, F., & Khomarudin, M. R.** (2016). Multi-temporal remote sensing data and spectral indices analysis for detection tropical rainforest degradation: case study in Kapuas Hulu and Sintang districts, West Kalimantan, Indonesia. *Natural Hazards*, 80(2), 1279–1301. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2023-0>
- Sofan, P., Bruce, D., Jones, E., & Marsden, J.** (2018). Detecting peatland combustion using shortwave and thermal infrared Landsat-8. In D. X. Viegas (Ed.), *Advances in Forest Fire Research*. Coimbra, Portugal: ADAI/CEIF, Universitu of Coimbra. https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_106
- Sofan, P., Bruce, D., Jones, E., & Marsden, J.** (2019). Detection and validation of tropical peatland flaming and smouldering using Landsat-8 SWIR and TIRS bands. *Remote Sensing*, 11(4), 465. <https://doi.org/10.3390/rs11040465>
- Sofan, P., Bruce, D., Jones, E., Khomarudin, M. R., & Roswintiarti, O.** (2020a). Applying the tropical peatland combustion algorithm to Landsat-8 operational land imager (OLI) and Sentinel-2 multi spectral instrument (MSI) imagery. *Remote Sensing*, 12(23), 1–37. <https://doi.org/10.3390/rs12233958>
- Sofan, P., Bruce, D., Schroeder, W., Jones, E., & Marsden, J.** (2020b). Assessment of VIIRS 375 m active fire using tropical peatland combustion algorithm applied to Landsat-8 over Indonesia's

peatlands. *International Journal of Digital Earth*, 13(12), 1695–1716. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1791268>

Sofan, P. (2021). Mapping tropical peatlands combustion from satellite remote sensing data. Doctoral Thesis. University of South Australia. <https://hdl.handle.net/11541.2/26033>

Sofan, P., Chulafak, G. A., Pambudi, A. I., & Yulianto, F. (2022a). Assessment of space-based tropical smouldering peatlands: Mixed pixel analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1109(1), 2–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012054>

Sofan, P., Yulianto, F., & Sakti, A. D. (2022b). Characteristics of false-positive active fires for biomass burning monitoring in Indonesia from viirs data and local geo-features. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/ijgi11120601>

Sofan, P., Chulafak, G. A., Yulianto, F., Suwarsono, S., Tonoto, P., Prasasti, I., Khomarudin, M.R., & Adiningsih, E. (2024a). Assessing space-based smoldering peatland in the tropics with atmospheric products from multi-sensor satellites. *Modeling Earth Systems and Environment*, 10(1), 465–481. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01793-4>

Sofan, P., Nugroho, G., Suwarsono, S., Widodo, J., Setyaningrum, N., Cahyana, D., Yulihastin, E., Qodrita, L., & Risyanto, R. (2024b). Multi-machine learning approach for mapping drought-driven fires in Kalimantan using geo-AI data. *2024 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICARES64249.2024.10767999>

Suwarsono, **Parwati**, & Suprpto, T. (2009a). Mendeteksi titik panas

Majalah Berita Inderaja. Volume VIII No.14, Juli. LAPAN. ISSN 1412-4564.

- Suwarsono, Yulianto, F., **Parwati**, & Suprpto, T. (2009b). Analisis persebaran titik panas (hotspot) indikasi kebakaran hutan dan lahan di wilayah Kalimantan sepanjang tahun 2001-2009. *Majalah Berita Inderaja Vol IX. No. 16. LAPAN. ISSN 1412-4564*.
- Suwarsono, Yulianto, F., **Parwati**, & Suprpto, T. (2009c). Pemanfaatan data MODIS untuk identifikasi daerah bekas terbakar (burned area) berdasarkan perubahan nilai NDVI di provinsi Kalimantan Tengah tahun 2009. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 6, 54–64. Retrieved from https://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1186/1064
- Suwarsono, Vetrita, Y., **Sofan, P.**, Priyatna, M., & Khomarudin, M. R. (2015a). Karakteristik reflektansi daerah bekas kebakaran hutan dan lahan (burned area) dari data Landsat-8 Operational Land Imager. *Seminar Nasional Sains Atmosfer 2015*, 252–261. Bandung: LAPAN. Retrieved from <https://karya.brin.go.id/id/eprint/15176/>
- Suwarsono, Vetrita, Y., **Parwati**, & Khomarudin, M. (2015). Deteksi Titik Api (Fire Spot) Kebakaran Hutan dan Lahan Menggunakan Citra Landsat-8 TIRS. *Prosiding Seinar Nasional Sains Atmosfer*. Bandung: LAPAN. Retrieved from <https://karya.brin.go.id/id/eprint/15179/>
- Suwarsono, Zubaidah, A., **Parwati**, & Khomarudin, M. R. (2016a). Analisis karakteristik temperatur area terbakar (burned area) menggunakan data Landsat-8 TIRS di Kalimantan. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital* 13(1), 13–22. <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2016.v13.a2558>
- Suwarsono, **Sofan, P.**, Khomarudin, M. R., & Ravan, S. (2016b). Lessons Learnt from Forest and Land Fires in Indonesia. UNSPIDER. <https://www.un-spider.org/news-and-events/news/booklet-forest-fires-lapan>

- Tang, R., Mao, J., Jin, M., Chen, A., Yu, Y., Shi, X., Zhang, Y., Hoffman, F.M., Xu, M., & Wang, Y. (2021). Interannual variability and climatic sensitivity of global wildfire activity. *Advances in Climate Change Research*, 12(5), 686–695.
- Tosca, M. G., Randerson, J. T., Zender, C. S., Nelson, D. L., Diner, D. J., & Logan, J. A. (2011). Dynamics of fire plumes and smoke clouds associated with peat and deforestation fires in Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116
- UNEP. (2022). Spreading like wildfire – The rising threat of extraordinary landscape fires. In *United Nations Environment Programme (UNEP)*. Nairobi.
- Usup, A. Y., Hashimoto, H., Takashi, and H. Hayasaka. 2004. “Combustion and Thermal Characteristics of Peat Fire in Tropical Peatland in Central Kalimantan, Indonesia.” *Tropics* 14 (1):1–19. doi:10.3759/tropics.14.1.
- Vetrita, Y., Albar, I., Santoso, I., Prasasti, I., Kartika, T., Usman, A. B., Tosiani, A., Haryanto, D., Endrawati, Famurianty, E., Ulfa K., & Purwanto, J. (2024). Monthly mapping of Indonesia’s burned areas: implementation, history, techniques, and future directions. *International Journal of Remote Sensing*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/01431161.2024.2421942>
- Wickramasinghe, C. H., Jones, S., Reinke, K., & Wallace, L. (2016). Development of a multi-spatial resolution approach to the surveillance of active fire lines using Himawari-8. *Remote Sensing*, 8(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/rs8110932>
- World Bank. (2016). The cost of fire: an economic analysis of Indonesia’s 2015 fire crisis (English). Indonesia sustainable landscapes knowledge note no. 1 Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/776101467990969768>

people (English). Indonesia Economic Quarterly Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/622281575920970133economic-quarterly-investing-in-people>

Zheng, Y., Zhang, G., Tan, S., Yang, Z., Wen, D., & Xiao, H. (2023). A forest fire smoke detection model combining convolutional neural network and vision transformer. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6. <https://www.frontiersin.org/journals/forests-and-global-change/articles/10.3389/ffgc.2023.1136969>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku Internasional

1. **Sofan, P.**, Bruce, D., Jones, E., & Marsden, J. (2018). Detecting peatland combustion using shortwave and thermal infrared Landsat-8 data (D. X. Viegas (Ed.). Chapter 5 - Decision Support Systems and Tools. *Advances in Forest Fire Research*. https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_106

Bagian dari Buku Nasional

2. Prasasti, I., **Sofan, P.**, Febrianti, N., & Suprpto, T. (2015). Penentuan distribusi spasial daerah bahaya banjir di 6 (enam) sub DAS wilayah DKI Jakarta menggunakan data penginderaan jauh. Dalam W. Asriningrum, W.K., Harsanugraha, & I. Prasasti (Ed). *Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana banjir*. IPB Press. ISBN 979-979-493-901-7. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11005/>
3. Pasaribu, J.M., Prasasti, I., & **Sofan, P.** (2015). Penurunan muka tanah dan hubungannya dengan daerah rawan banjir di Jakarta. Dalam W. Asriningrum, W.K., Harsanugraha, & I. Prasasti (Ed). *Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana banjir*. IPB Press, Bogor. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11009/>
4. Febrianti, N., **Sofan, P.**, & Prasasti, I. (2015). Aplikasi penginderaan jauh untuk menilai dampak penggunaan lahan terhadap surplus air di DAS Ciliwung. Dalam W. Asriningrum, W.K., Harsanugraha, & I. Prasasti (Ed). *Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana banjir*. IPB Press. ISBN 979-979-493-901-7. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11028/>

5. Khomarudin, M.R., Trisakti, B., Budhiman, S., **Parwati**, Winanto, Noersyamsu, & Priyatna, M. (2015). Sistem pemantauan bumi nasional. Buku Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh. LAPAN, Jakarta. ISBN 978-602-72335-1-5. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11129/>
6. Prasasti, I., **Sofan, P.**, Febrianti, N., & Suprpto, T. (2015). Sekapur sirih kajian fenomena banjir di Jakarta. Dalam W. Asriningrum, W.K., Harsanugraha, & I. Prasasti (Ed). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana banjir. IPB Press. ISBN 979-979-493-901-7. <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=1138770>
7. **Sofan, P.** (2015). Karakteristik pola curah hujan di wilayah Indonesia berdasarkan data Satelit TRMM (1998-2011). Dalam K. Wikantika & L. Fajri (Ed). Penginderaan jauh Indonesia. Pusat Penginderaan Jauh, Institut Teknologi Bandung, Bandung, pp. 2-21. ISBN 978-602-19911-3-8. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/14079/>
8. Khomarudin, M.R., Wiweka, & **Sofan, P.** (2014). Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana di Indonesia. Dalam D. Kushardono, W. Asriningrum, & W.K. Harsanugraha (Ed). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana. Crespent Press, Bogor. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10840/>
9. **Sofan, P.**, & Yulianto, F. (2014). Analisis resiko gunung api merapi berdasarkan data penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. Dalam D. Kushardono, W. Asriningrum, & W.K. Harsanugraha (Ed). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana Crespent Press, Bogor. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10846/>
10. Febrianti, N., Sukowati D.K.A., & . (2014). Analisis citra satelit penginderaan jauh untuk mengidentifikasi ruang terbuka hijau di daerah perkotaan. Dalam B. Hasyim, B. Trisakti, & W.K. Harsanugraha (Ed). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemantauan, deteksi, dan kajian lingkungan. Crespent Press,

Bogor. ISBN 978-602-14437-3-6. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10959/> _

11. Vetrta, Y., Suwarsono, & **Sofan, P.** (2014). Pemanfaatan penginderaan jauh untuk pemantauan lingkungan mangrove. Dalam B. Hasyim, B. Trisakti, & W.K. Harsanugraha (Ed). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemantauan, deteksi, dan kajian lingkungan. Crespent Press, Bogor. ISBN 978-602-14437-3-6. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10971/>
12. **Sofan, P.** (2007). Agricultural drought based on temperature vegetation dryness index in Jambi Province using Terra-MODIS Data. Buku Kumpulan Riset Kelautan Menuju Sumberdaya Alam yang Lestari, Pusat Survei Sumber Daya Alam Laut Bakosurtanal. ISBN 978-979-1266-18-5. <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpacBlank.aspx?id=336030>

Jurnal Internasional

13. Rahmi, K. I. N., **Sofan, P.**, Pratikasiwi, H. A., Adriany, T. A., Novresianti, D. A., Handika, R., Arief, R., Susilawati, H. L., Rohaeni, W. R., Cahyana, D., Fikriyah, V. N., Muhardiono, I., Asmarhansyah, Sobue, S., Oyoshi, K., Segami, G., & Hashemvand Khiabani, P. (2025). Utilization of multisensor satellite data for developing spatial distribution of methane emission on rice paddy field in Subang, West Java. *Remote Sensing*, 17(13), 2154. <https://doi.org/10.3390/rs17132154>
14. Nugroho, J.N., Lestari, A.I., Gustiandi, B., **Sofan, P.**, Suwarsono, Prasasti, I, & Rahmi, K.I.N. (2024). Groundwater potential mapping using machine learning approach in West Java, Indonesia. *Groundwater for Sustainable Development*, Volume 27, 2024, 101382, ISSN 2352-801X, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101382>
15. Sakti, A.D., Adillah, K.P., Santoso, C., Al Faruqi, I., Hendrawan, V.S.A., **Sofan, P.**, Rustam, Fauzi, A. I., Setiawan, Y., Utami, I.,

Zain, A.F.M., Kamal, M., (2024). Modeling proboscis monkey conservation sites on borneo using ensemble machine learning, *Global Ecology and Conservation*, Volume 54, 2024, e03101, ISSN 2351-9894, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03101>

16. **Sofan, P.**, Rahmi, K.I.N., Sari, N.M., Nugroho, J.T., Wati, T., & Sakti, A.D. (2024). Modeling the surface thermal discomfort index (STDI) in a tropical environment using multi sensors: A case study of east Kalimantan, The future new capital city of Indonesia. *J Indian Soc Remote Sens* 52, 1761–1776 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12524-024-01919-w>
17. **Sofan, P.**, Chulafak, G.A., Yulianto, F, Suwarsono, Tonoto, P., Prasasti, I., Khomarudin, M.R., & Adiningsih, E.S. (2024). Assessing space-based smoldering peatland in the tropics with atmospheric products from multi-sensor satellites. *Modeling Earth Systems and Environment*. 10, 465–481, Journal article. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-023-01793-4>
18. Nugroho, G., **Sofan, P.**, Pambudi, A. I., Yulianto, F., Nugroho, U. C., Suwarsono, S., Ichsan, N., Susantoro, T. M., Suliantara, S., & Setiawan, H. L. Setiawan. (2023). Improving open-pit mining mapping accuracy in the tropics using enhanced input selection for classification process of machine learning. *J Indian Soc Remote Sens* 51, 2481–2494. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01783-0>
19. Purnomo, D. M. J., Apers, S., Bechtold, M., **Sofan, P.**, & Rein, G. (2023) KAPAS II: Simulation of peatland wildfires with daily variations of peat moisture content. *International Journal of Wildland Fire*, Journal article. DOI: <http://10.1071/WF22109>
20. Yulianto, F., Khomarudin, M. R., Hermawan, E., Budhiman, S., **Sofan, P.**, Chulafak, G. A., Nugroho, N. P., Brahmantara, R. P., Nugroho, G., Suwarsono, S., Priyanto, E., Fitriana, H. L., & Setiyoko, A. (2023). The development of the raster-based probability flood inundation model (RPROFIM) approach for flood modelling in the upstream Citarum Watershed, West Java,

Indonesia. Natural Harzad, Springer, DOI: <http://10.1007/s11069-023-05933-y>

21. Yulianto, F., **Sofan, P.**, Nugroho, G., & Suwarsono, S. Artificial intelligence remote sensing for open-pit mining detection in the tropical environment of Indonesia. *Journal of Positive School Psychology*. 2022, Vol. 6, No. 3, 8922–8929. <https://www.journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/5211>
22. **Sofan, P.**, Yulianto, F., & Sakti, A. D. (2022). Characteristics of false-positive active fires for biomass burning monitoring in Indonesia from VIIRS data and local geo-features. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 11, 601. <https://doi.org/10.3390/ijgi11120601>
23. **Sofan, P.**, Bruce, D., Jones, E., Khomarudin, M. R., & Roswintiarti, O. (2020). Applying the tropical peatland combustion algorithm to Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) and Sentinel-2 Multi Spectral Instrument (MSI) Imagery. *Remote Sens.* 2020, 12, 3958. <https://doi.org/10.3390/rs12233958>
24. **Sofan, P.**, Bruce, D., Schroeder, W., Jones, E., & Marsden, J. (2020). Assessment of VIIRS 375 m active fire using tropical peatland combustion algorithm applied to Landsat-8 over Indonesia's peatlands. *Journal of Digital Earth*, 13(12), 1695–1716. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1791268>
25. **Sofan, P.**, Bruce, D., Jones, E., & Marsden, J. Detection and validation of tropical peatland flaming and smouldering using Landsat-8 SWIR and TIRS bands. (2019). *Remote Sensing*, 11(4), 465. <https://doi.org/10.3390/rs11040465>
26. Yulianto, F., Suwarsono, & **Sofan, P.** (2016). The utilization of remotely sensed data to analyze the estimated volume of pyroclastic deposits and morphological changes caused by the 2010-2015 eruption of Sinabung Volcano, North Sumatra, Indonesia. *Pure Appl. Geophys.* 173, 2711–2725 (2016). doi.org/10.1007/s00024-016-1342-8

27. Yulianto, F., Prasasti, I., Pasaribu, J.M., Fitriana, H.F, Zylshal, Haryani, S.H., & **Sofan, P.** (2016). The dynamics of land use/land cover change modelling and their implication for the flood damage assessment in the Tondano Watershed, North Sulawesi, Indonesia Modelling Earth Systems and Environment. Model. Earth Syst. Environ. 2, 47 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0100-3>
28. Zylshal, Sulma, S., Yulianto, F., Nugroho, J.T., **Sofan, P.** (2016). A Support vector machine object-based image analysis approach on urban green Space Extraction Using Pleiades-1A imagery. Model. Earth Syst. Environ. 2, 54 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0108-8>
29. **Sofan, P.**, Vetrita, Y., Yulianto, F., & Khomarudin, M. R. (2016). Multitemporal remote sensing data and spectral indices analysis for detection tropical rainforest degradation. Springer. Nat Hazards (2016) Vol 80:1279-1301. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2023-0>
30. Yulianto, F., **Sofan, P.**, Zubaidah, A., Ds, K. A., Puspitasari, J. M., & Khomarudin, M. R. (2015). Detecting affected areas by flood using multi-temporal ALOS PALSAR remotely sensed data in Karawang, West Java, Indonesia. Natural Hazard Journal. June 2015, Volume 77, Issue 2, pp 959-985. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1633-x>
31. Elvidge, C., Zhizhin, M., Hsu, F.-C., Baugh, K., Khomarudin, M. R., Vetrita, Y., **Sofan, P.**, Suwarsono, & Hilman, D. (2015). Long-wave infrared identification of smoldering peat fires in Indonesia with nighttime Landsat data. Environmental Research Letters, Vol 10, Number 6. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/6/065002>
32. Yulianto, F., **Sofan, P.**, Khomarudin, M. R., & Haidar, M.. (2013).

Volcano in Central Java, Indonesia. Natural Hazards, Volume 66,

Jurnal Nasional

33. Suwarsono, Zubaidah, A., **Parwati**, & Khomarudin, M. R. (2016). analisis karakteristik temperatur area terbakar (burned area) menggunakan data Landsat-8 TIRS di Kalimantan. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, 13 (1). pp. 13-22. ISSN 1412-8098. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11254/>
34. Adiningsih, E.S., **Sofan, P.**, Prasasti, I. (2016). Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk monitoring kejadian iklim ekstrem di Indonesia. Jurnal Sumberdaya Lahan, vol. 10, no. 2, doi:10.2017/jsdl.v10n2.2016.%p. <https://media.neliti.com/media/publications/133809-ID-pemanfaatan-teknologi-penginderaan-jauh.pdf>
35. Suwarsono, Hidayat, Nugroho, J.T., Wiweka, **Parwati**, & Khomarudin, M. R. (2015). Detecting the affected areas of mount Sinabung eruption using Landsat 8 imageries based on reflectance change. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences, 12 (1). pp. 49-62. ISSN 0216-6739. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11125/>
36. Suwarsono, Hidayat, Suprpto, T., Yulianto, F., Sari, N. M., **Parwati.**, & Asriningrum, W. (2015). Deteksi gejala erupsi strombolian gunungapi Raung Jawa Timur menggunakan normalized thermal index dari data Modis. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. Volume. 12, Number. 2 December. ISSN 1412-8098.LAPAN. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/2393
37. **Sofan, P.**, Suwarsono, S., Febrianti, N., & Khomarudin, M. R. (2014). Mewaspadaai fenomena iklim ekstrim el nino dan osilasi selatan (ENSO) pada musim kemarau 2014 di Indonesia

berdasarkan data satelit penginderaan jauh. Media Dirgantara. Vol.9 No.2. Juni. LAPAN. ISSN 1907-6169.

38. **Sofan, P.**, Febrianti, N., & Prasasti, I. (2014). Estimasi limpasan permukaan dari data satelit untuk mendukung peringatan dini bahaya banjir di wilayah Jabodetabek. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, 11 (1). pp. 43-62. ISSN 1412-8098. <https://journal.its.ac.id/index.php/inderaja/article/view/3299/2471>
39. Shofiyati, R., Takeuchi, W., Darmawan, S., & **Sofan, P.** (2014) An effective information system of drought impact on rice production based on remote sensing. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences, 11 (2). pp. 153-162. ISSN 0216-6739. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10848/>
40. Darmawan, Y., & **Sofan, P.** (2012). Comparison of the vegetation indices to detect the tropical rain forest changes using breaks for additive seasonal and trend (BFAST) model. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES), Vol 9, No 1, <http://jurnal.lapan.go.id/index.php/ijreses/article/view/1823>
41. **Parwati**, Zubaidah, A., Vetrita, Y., Yulianto, F., Ds, K. A., & Khomarudin, M. R. (2012). Kapasitas indeks lahan terbakar normalized burn ratio (NBR) dan normalized difference vegetation index (NDVI) dalam mengidentifikasi bekas lahan terbakar berdasarkan data SPOT-4. Jurnal Geomatika. Vol 18. Pp 29-41. Bakosurtanal. <https://onesearch.id/Record/IOS4608.--jurnal.big.go.id:article-193>
42. Yulianto, F., & **Parwati**. (2012). Aplikasi model probabilitas untuk simulasi aliran material erupsi studi kasus: Gunung Merapi, Jawa Tengah. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, Vol 9 No.1 Juni 2012. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1709
43. **Parwati**, Yulianto, F., & Khomarudin, M. R. (2012). Aplikasi model probabilitas dan energy cone untuk simulasi zona bahaya

gunung api. Jurnal Gunungapi dan Mitigasi Bencana Geologi, Vol 4. No.1, Januari. Kementerian ESDM. ISSN 2086-3411.

44. Roswintiarti, O., **Sofan, P.**, & Anggraini, N. (2011). Monitoring of drought-vulnerable area in Java island, Indonesia using satellite remote-sensing data. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. LAPAN, Vol 8. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1610
45. Yulianto, F., A. Marfai, **Parwati**, Suwarsono. (2009). Model simulasi luapan banjir sungai Ciliwung di wilayah Kampung Melayu–Bukit Duri Jakarta, Indonesia. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. LAPAN. Vol 6. ISSN 1412-8098. https://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1185/1063
46. **Parwati**, Suwarsono, Sukowati, K.A.D., & Kartasamita, M. (2009). Penentuan hubungan antara suhu kecerahan data MTSAT dengan curah hujan data QMORPH. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. LAPAN. Vol 6. ISSN 1412-8098. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1184
47. Suwarsono, Yulianto, F., **Parwati**, & Suprpto, T. (2009). Pemanfaatan data Modis untuk identifikasi daerah bekas terbakar (burned area) berdasarkan perubahan nilai NDVI di provinsi Kalimantan Tengah tahun 2009. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. LAPAN. Vol 6. ISSN 1412-8098. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1186
48. **Parwati** & Suwarsono. (2008) Model indeks TVDI (temperature vegetation dryness index) untuk mendeteksi kekeringan lahan berdasarkan data MODIS-Terra. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, 5: 4. pp. 35-44. ISSN 1412-8098. https://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1167

49. **Parwati**, Roswintiarti, O. & Jungang, M. (2008). Drought monitoring over paddy field area in Indramayu District, West Java using remotely sensed indices. *International Journal Remote Sensing and Earth Sciences (IReSES)*, September, Vol. 5. ISSN: 0216-6739) <http://jurnal.lapan.go.id/index.php/ijreses/article/view/1227>
50. **Parwati**, Suwarsono, & Yulianto, F. (2008). Penentuan nilai ambang batas untuk potensi rawan banjir dari data MTSAT dan QMORPH (studi kasus: banjir Bengawan Solo 2007). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. LAPAN*. Vol 5. ISSN 1412-8098. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1169
51. Dirgahayu, D., & **Parwati**. (2007). Verification of land moisture estimation model based on MODIS reflectances in agricultural land. *International Journal Remote Sensing and Earth Sciences (IReSES)*. Vol 4. ISSN: 0216-6739. <http://jurnal.lapan.go.id/index.php/ijreses/article/view/1216>
52. **Parwati**, Sugiharto, T., & Hasnaeni. (2007). Relative humidity estimation based on MODIS precipitable water for supporting spatial weather information over Java Island. *International Journal Remote Sensing and Earth Sciences (IReSES)*. Vol 4. ISSN: 0216-6739. <http://jurnal.lapan.go.id/index.php/ijreses/article/view/1215/1092>
53. Khomarudin, M.R., & **Parwati**. (2006). Crop water stress index (CWSI) estimation using MODIS data. *International Journal Remote Sensing and Earth Sciences (IReSES)*. Vol.3. ISSN:0216-6739.<http://jurnal.lapan.go.id/index.php/ijreses/article/view/1203>
54. Haryani NS, Kustiyo, Khomarudin M.R., & **Parwati**. (2006). penginderaan jauh dan SIG. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Digital*. Vol 3(1). https://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/503/432

55. **Parwati**, Hidayat, A., Sugiharto, T., & Hasnaeni. (2006). Estimasi air mampu curah menggunakan data modis sebagai informasi cuaca spasial di Pulau Jawa. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. LAPAN.Vol.3. No.1. ISSN 1412-8098. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/500
56. Hidayat, A., Adiningsih, E.S., & **Parwati**. (2004). Analisis pengembangan lahan untuk tanaman kacang tanah di Jawa Barat dari data landsat dengan sistem informasi geografis. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital. LAPAN. Vol. 1; p.46-55. ISSN: 1412-8098.http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/475
57. Adiningsih, E.S., **Parwati**, & H. Suharsono. 2004. Pengujian model prediksi anomali out-going longwave radiation dan hubungannya dengan curah hujan di Indonesia. Jurnal LAPAN. Vol. 6; p. 52-70. ISSN: 1412-8098. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/20957/>
58. **Parwati**. (2003). Arahana Pengembangan lahan untuk tanaman kacang tanah di kabupaten Garut dari data satelit dan sistem informasi geografis. Widyariset Vol. 5 tahun 2003. Pp. 63-76. LIPI. ISSN 1411-7932.
59. Khomarudin, M. R., Sariwulan, Betty., **Parwati**, Wardin Dalimunthe. 2000. Model prediksi banjir dan kekeringan berdasarkan data OLR. Jurnal LAPAN Edisi Penginderaan Jauh, Vol 02 No.01. ISSN 0126-0480.

Prosiding Internasional

60. Trihatmoko, E., Handika, R., Frederik, M., **Sofan, P.**, Wlbawanti, P. (2024). Rapid assessment of economic impacts from inundation in Karawang, Indonesia: A Multi-Platform Geospatial Approach. Proceeding of the 2024 IEEE Asia-Pacific Conference

on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS). <https://doi.org/10.1109/AGERS65212.2024.10932922>

61. **Sofan, P.**, Nugroho, G., Suwarsono, Widodo, J., Setyaningrum, N., et al. (2024). Multi-machine learning approach for mapping drought-driven fires in Kalimantan using geo-artificial intelligence (Geo-AI) data. IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES), Yogyakarta, Indonesia, 2024, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICARES64249.2024.10767999>
62. Rahmi, K. I. N., Nugroho, G., **Sofan, P.**, Vetrira, Y., Chulafak, G. A., & Santoso, I. (2024). Identification of smoke peatland fire using remote sensing data based on machine learning. Proc. SPIE 12977, Eighth Geoinformation Science Symposium 2023: Geoinformation Science for Sustainable Planet, 1297717 (29 January 2024). <https://doi.org/10.1117/12.3009368>
63. Lathiifunnisa, R., **Sofan, P.**, & Astuti, I. S. (2024). Climate change and surface urban heat islands in Jakarta: analysis of Landsat data and ground observations. Proc. SPIE 12977, Eighth Geoinformation Science Symposium: Geoinformation Science for Sustainable Planet, 129770M (29 January 2024). <https://doi.org/10.1117/12.3009649>
64. Mursalin, K., **Sofan, P.**, & Astuti, I. S. (2024). Comparative analysis of urban heat island phenomenon in residential and industrial areas of Jakarta and Surabaya. (2023). Proc. SPIE 12977, Eighth Geoinformation Science Symposium: Geoinformation Science for Sustainable Planet, 129770N (29 January 2024). <https://doi.org/10.1117/12.3009674>
65. Chulafak, G. A., Nugroho, G., **Sofan, P.**, Pambudi, A. I., & Kushardono, D. (2024). Monitoring land cover change and its estimated carbon loss in the Nusantara capital city Indonesia on high-resolution planet satellite imagery. (2024). Proc. SPIE 12977, Eighth Geoinformation Science Symposium: Geoinformation

Science for Sustainable Planet, 129770D (29 January 2024).
<https://doi.org/10.1117/12.3009550>

66. Chulafak, G. A., Pambudi, A. I., & **Sofan, P.** (2022). Aerosol Index and Machine Learning for Fire Smoke Mapping using The Second-generation Global Imager (SGLI) Data over Tropical Peatland Environments. ICARES proceeding, Yogyakarta, Indonesia, pp. 1-7. <https://10.1109/ICARES56907.2022.9993492>
67. Riyanto, B., Judianto, C. T., Prihanto, I. G., **Sofan, P.**, Priyatna, M., Gunawan, H., & Prasetyo, W. (2022). Acceptance of Information on the Distribution of Smoke and *Hotspots* (*Hotspot*) Resulted from Remote Sensing Data. ICARES proceeding, Yogyakarta, Indonesia, 2022, pp. 1-7. <https://10.1109/ICARES56907.2022.9993509>
68. **Sofan, P.**, Chulafak, G. A., Pambudi, A. I., & Yulianto, F. (2022). Assessment of space-based tropical smouldering peatlands: mixed pixel analysis. International Symposium on Disaster Risk Reduction, Mitigation and Environmental Sciences, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1109 012054. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1109/1/012054>
69. Nugroho, G., **Sofan, P.**, Nugroho, U. C., Suwarsono, Pambudi, A. I., Yulianto, F., & Ichsan, N. (2022). The use of texture analysis and band transformation on multispectral imagery to map open-pit mines using machine learning. International Symposium on Disaster Risk Reduction, Mitigation and Environmental Sciences, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1109 012071. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1109/1/012071>
70. **Sofan, P.**, Chulafak, G. A., & Yulianto, F. (2021). Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI spectral reflectance comparison in tropical environments: A preliminary research for data fusion. Proc. SPIE (22 December 2021). <https://doi.org/10.1117/12.2616844>

71. Suwarsono, Hidayat, Suprpto, T., Prasasti, I., **Parwati**, & Khomarudin, M. R. (2017). Detecting the brightness temperature from Landsat-8 thermal infrared scanner preceding the Rinjani strombolian eruption 2015. AIP Conference Proceedings 1857, 070006. <https://doi.org/10.1063/1.4987094>
72. Suwarsono, Hidayat, Suprpto, T., Yulianto, F., Zylshal, Prasasti, I., **Parwati**, & Khomarudin, M. R. (2016). Detecting the damaged areas caused by sinabung volcano eruption during 2013-2016 using Landsat-8 multitemporal. Proceedings The 2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing, 47. pp. 121-223. https://karya.brin.go.id/id/eprint/11326/1/Prosiding_Suwarsono%20dkk_Pusfatja_2016.pdf
73. Shofiyati, R., Takeuchi, W., **Sofan, P.**, Darmawan, S., Awaluddin, & Supriatna, W. (2014). Indonesian drought monitoring from space. A Report of safe activity: assessment of drought impact on rice production in Indonesia using satellite remote sensing and dissemination with Web-GIS. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 20 012048. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/20/1/012048>.
74. Yulianto, F., Khomarudin, M. R., & **Parwati**. (2011). A review of using SAR imagery for disaster emergency response. Proceeding of The International Seminar on GeoSARNas Forum. Bogor, 12 September 2011. ISBN: 978-979-25-7259-9.
75. Roswintiarti, O., & **Parwati**. (2010). Relationship between the Indonesian and Indian Monsoon. Proceeding of The International Symposium on Equatorial Monsoon System, Jakarta, 28-29 July 2010. BMKG. ISBN: 978-979-15549-7-8.
76. **Sofan, P.**, Zubaidah, A., & Roswintiarti, O. (2008). Predictive skills of long-term convection prediction over indonesia related International Symposium on Equatorial Monsoon System, 16-18 September 2008. ISBN 978-979-15549-4-7.

Prosiding Nasional

77. Prasasti, I., **Parwati**, Sari, N.M., & Febrianti, N. (2015). Analisis perubahan sebaran pulau panas perkotaan (urban heat island) di wilayah DKI Jakarta dan hubungannya dengan perubahan lahan, kondisi vegetasi dan perkembangan kawasan terbangun menggunakan data penginderaan jauh. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX dan Kongres VI Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN). pp. 383-391. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11074/>
78. Yulianto, F., Suwarsono, & **Sofan, P.** (2015). Pendekatan klasifikasi berbasis objek pada saluran pankromatik citra satelit SPOT 5: Implementasi pemetaan cepat area longsor tanggal 12 Desember 2014 di Kecamatan Karangobar, Banjarnegara, Jawa Tengah. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX dan Kongres VI Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN). pp. 275-283. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11067/>
79. Prasasti, I., Febrianti, N., **Parwati**, & Mustika, N.S. (2015) Analisis pemanfaatan data TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) untuk deteksi kejadian dan estimasi hujan. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX dan Kongres VI Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN). pp. 375-382. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/11073/>
80. **Sofan, P.**, Suwarsono, Yulianto, F., & Sukowati, K.A.D. (2015). Evaluasi hasil estimasi suhu udara dari data satelit NOAA-18 AVHRR di pulau Sumatra, Kalimantan dan Jawa. Seminar Nasional Sains Atmosfer 2015, Bandung. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/15004/>
81. Suwarsono, Vetrita, Y., **Parwati**, & Rokhis, M.R. (2015). Deteksi titik api (fire spot) kebakaran hutan dan lahan menggunakan citra LANDSAT-8 TIRS. Seminar Nasional Sains Atmosfer, Bandung. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/15179/>

82. Suwarsono, Vetrita, Y., **Sofan, P.**, Priyatna, M., & Khomarudin, M. R. (2015). Karakteristik reflektansi daerah bekas kebakaran hutan dan lahan (burned area) dari data Landsat-8 Operational Land Imager. Seminar Nasional Sains Atmosfer 2015, 252–261. Bandung: LAPAN. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/15176/>
83. Prasasti, I., **Sofan, P.**, Febrianti, N., & Suprpto, T. (2014). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk analisis pengaruh perubahan lahan terhadap distribusi spasial daerah bahaya banjir di DKI Jakarta dan koefisien aliran permukaan. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014. pp. 577-586. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10894/>
84. Febrianti, N & **Sofan, P.** (2014). Ruang terbuka hijau di DKI Jakarta berdasarkan analisis spasial dan spektral data Landsat 8. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014. pp. 498-504. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10959/>
85. Khomarudin, M.R., **Parwati**, Prasasti, I., Febrianti, N., & Suwarsono. (2014). Penyederhanaan sistem the canadian forestfire danger rating system di wilayah Indonesia dan implementasinya berbasis data penginderaan jauh. Prosiding Seminar Sains Atmosfer. LAPAN Bandung. https://www.researchgate.net/publication/323797457_Penyederhanaan_Sistem_The_Canadian_Forest_Fire_Danger_Rating_System_Di_Wilayah_Indonesia_Dan_Implementasinya_Berbasis_Data_Penginderaan_Jauh#fullTextFileContent
86. Khomarudin, M.R., Irawadi, D., Suwarsono, & **Parwati**. (2014). Pengkajian Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Multi Skala/ Resolusi untuk Kegiatan Mitigasi Bencana. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh. pp. 301-308. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10902/>
87. , Priyatna, M., Sukowati, K.D.A, & Khomarudin, M.R. (2011) Dinamika kondisi potensi bahaya kebakaran hutan/lahan di sumatra dan kalimantan tahun 2009 – 2011 berdasarkan fire weather index (FWI) dari data satelit penginderaan jauh. Prosiding

Seminar Nasional Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Mendukung Pembangunan Nasional. pp. 83-90. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10598/>

88. **Parwati**, Khomarudin, M.R., & Priyatna, M. (2011). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mendukung terbentuknya crisis room kebencanaan. Prosiding Seminar Nasional Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Mendukung Pembangunan Nasional. pp. 53-66. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/10673/>
89. **Parwati**, Yulianto, F., & Khomarudin, M.R. (2011). Simulasi bahaya pyroclastic gunung Merapi berdasarkan model energy cone dari data DEM SRTM. Proceeding of The Internasional Seminar on GeoSARNas Forum. Bogor, 12 September 2011. ISBN: 978-979-25-7259-9.
90. **Parwati**, Zubaidah, A., Sukowati, K.A.D. (2011). Indeks kekeringan meteorologis SPI (standardized precipitation index) sebagai peringatan dini bahaya kebakaran hutan di Indonesia. Proceeding of The International Seminar on GeoSARNasForum. Bogor, 12 September 2011. ISBN: 978-979-25-7259-9.
91. **Parwati**, Suwarsono, Hidayat, Zubaidah, A., & Anggraini, N. (2011). Sistem peringatan dini kekeringan berdasarkan indeks kekeringan pertanian di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Geospasial dalam Pembangunan Wilayah dan Kota, PIT MAPIN XVIII. UNDIP. Semarang. http://eprints.undip.ac.id/75952/1/C6_PROSIDING_MAPIN_2011.pdf
92. **Parwati**, Suwarsono, & Suprpto, T. (2010). Analisis peran ENSO terhadap distribusi *hotspot* dan curah hujan di Pulau Sumatra dan Kalimantan. Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer 2010: Indonesia, 16 Juni 2010, Bandung. https://karya.brin.go.id/id/eprint/19888/1/Prosiding_Parwati_LAPAN_2010.pdf
93. **Parwati**, Zubaidah, A., & Roswintiarti, O. (2010). Model prediksi curah hujan di wilayah Indonesia dari data satelit

TRMM berdasarkan anomali suhu permukaan laut pasifik tropik. Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer 2010: Kontribusi Sains Atmosfer dalam menghadapi Perubahan Iklim Indonesia, 16 Juni 2010, Bandung. <https://karya.brin.go.id/id/eprint/19687/>

Paten

94. Khomarudin, M.R., Prasasti, I., **Parwati**, Zubaidah, A., Suwarsono, Vetrita, Y., Sulma, S., Fitriana, H.L., & Chulafak, G.A. (2020). Metode untuk mendeteksi daerah terbakar menggunakan data satelit penginderaan jauh Nomor Patent: IDP000069130, tanggal 16 Juni 2020

Hak Cipta

95. **Parwati**, Nugroho, G., & Setyaningrum, N. (2024). Aplikasi potensi kekeringan berbasis Geo-AI (ApPiK Geo-AI). Nomor EC002024223225, tanggal 11 November 2024.
96. Widodo, J., Setyaningrum, N., Trihatmoko, E., Handika, R., Nugroho, G., Suhadha, A.G., **Parwati**, & Awaluddin. (2024) Sistem monitoring degradasi lahan gambut (MODE-G). Nomor EC002024233578, tanggal 25 November 2024.
97. Purbantoro, B., Setiyoko, A., Widodo, J., Yulianto, Yasin. A., Arief, R., Cahyana, D., **Parwati**, & Setyaningrum, N. (2024). Data spektoradiometer geobiofisik obyek lahan gambut di kawasan hidrologi gambut (KHG) Kahayan Sebangau – Kalimantan Tengah. Nomor EC002024233582, tanggal 25 November 2024.
98. Riyanto, B., Judianto, C.T., Prihanto, I.G, **Parwati**, Priyatna, M., Gunawan, H., Prasetio, W., & Jayati, A. (2023). Acceptance of information on the distribution of smoke and locations of fire (*hotspot*) resulted from remote sensing data. Nomor dan tanggal: EC002023120430, 29 November 2023.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Sofan, P.** (2024). Organizing and retrieving geo-data science. Bahan ajar mata kuliah: Pengantar geospasial database. Program praktisi mengajar Univeritas Negeri Malang. Fakultas Ilmu Sosial. Program Studi Geografi. Oktober 2024.
2. **Sofan, P.** (2024). Aplikasi google earth engine untuk pemantauan bumi. Bahan ajar mata kuliah: Pengantar geospasial database. Program praktisi mengajar Univeritas Negeri Malang. Fakultas Ilmu Sosial. Program Studi Geografi. Oktober 2024.
3. **Sofan, P.** (2022). Tropical peatland fires detection from satellite remote sensing. Remote Sensing Webinar. Leveraging remote sensing and geoinformatics fire and related emissions for environmental health. 27 September 2022, Online. Part of the MDPI Remote Sensing Webinar series. <https://sciforum.net/event/remotesensing-1?section=#introduction>
4. Tim penyusun naskah kebijakan pada pusat riset penginderaan jauh, Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Keputusan Kepala Riset Penginderaan Jauh No.6/III.1.5/HK/2022.
5. **Sofan, P.** (2021). Mapping tropical peatlands combustion from satellite remote sensing data', Thesis (PhD in Environmental Science))-- University of South Australia. UniSA STEM. <https://hdl.handle.net/11541.2/26033>
6. Suwarsono, **Sofan, P.**, Khomarudin, M.R. & Ravan, S.. (2016). Lessons learnt from forest and landfires in Indonesia. Booklet. UNSPIDER – LAPAN. www.un-spider.org. <https://www.un-spider.org/news-and-events/news/booklet-forest-fires-lapan>

7. Vetrita, Y., **Sofan, P.**, Zubaidah A., Suwarsono, Khomarudin, M. R., Kusumaningayu DS., & M. Priyatna. (2014). Pengamatan kebakaran dan penyebaran asapnya dari antariksa: Catatan kejadian kebakaran hutan/lahan di Sumatra Selatan sepanjang tahun 2014. *Majalah Inderaja* Vol. V. No.8. LAPAN. ISSN 2087-8141.
8. Khomarudin, M. R., Vetrita, Y., & **Parwati**. (2014). *Hotspot*: hanyalah indikator bukan kejadian kebakaran hutan dan lahan. *Majalah Inderaja* Vol. V. No.8. LAPAN. ISSN 2087-8141.
9. Suwarsono, Khomarudin, M. R., & **Parwati**. (2014). Aplikasi penginderaan jauh untuk bencana geologi. *Majalah Inderaja* Vol. V. No.8. LAPAN. ISSN 2087-8141.
10. Prasasti, I., Pasaribu, J.M., Yulianto, F., **Parwati**, & Khomarudin, M. R.. (2014). Analisis banjir awal tahun 2015 di DKI Jakarta dari data penginderaan jauh. *Majalah Inderaja* Vol. V. No.8. LAPAN. ISSN 2087-8141.
11. **Parwati**, Yulianto, F., Suwarsono, Zubaidah, A., Suprpto, T., & Wiweka. 2013. Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk analisis potensi aliran erupsi gunung api dan banjir lahar dingin. 8141.
12. **Parwati**, Zubaidah, A., Priyatna, M., Vetrita, Y., Kusumaningayu DS, Lintang PM, Ningrum, W., & Pribadi, U.A. (2012). Informasi tingkat bahaya kebakaran hutan/lahan dari data satelit. *Majalah Inderaja* Vol. III, No.5. LAPAN. ISSN: 2087-8141
13. Suwarsono, Yulianto, F, **Parwati**, & Suprpto, T. (2010). Analisis persebaran titik panas (*hotspot*) indikasi kebakaran hutan dan lahan di wilayah Kalimantan sepanjang tahun 2001-2009. *Majalah Berita Inderaja* Vol IX. No. 16. LAPAN. ISSN 1412-4564
14. Roswintiarti, O., **Sofan, P.**, & Zubaidah, A. (2009). Pemanfaatan data TRMM dalam mendukung pemantauan dan prediksi curah

Juli. LAPAN. ISSN 1412-4564.

15. Suwarsono, **Parwati**, & Suprpto, T. (2009). Mendeteksi titik panas (*hotspot*) kebakaran hutan dan lahan menggunakan data satelit. Majalah Berita Inderaja. Volume VIII No.14, Juli. LAPAN. ISSN 1412-4564.
16. **Parwati**, Haryani, N.H., Zubaidah, A., & Yulianto, F. (2008). Musim hujan dan bencana banjir/longsor 2008/2009. Berita Inderaja Vol. VII No. 13 LAPAN.
17. **Sofan, P.** (2008). Agricultural drought monitoring using remote sensing indices. Thesis. Master Program on Remote Sensing and GIS Applications. [Skripsi tidak diterbitkan]. International School. Beihang University, Tiongkok.
18. Khomarudin, M.R., **Parwati**, & Dalimunthe, W. (2001). Analisis pola hujan bulanan dengan data outgoing longwave radiation (OLR) untuk menentukan kandungan air lahan pertanian. Warta LAPAN Vol.3 No.2, Juni. LAPAN. ISSN 0126-9754.
19. **Parwati.** (1999). Verifikasi model prediksi anomali curah hujan di wilayah Indonesia berdasarkan anomali suhu permukaan laut pasifik tropis. Skripsi. Program Studi Agrometeorologi. Fakultas MIPA. [Skripsi tidak diterbitkan]. Institut Pertanian Bogor.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Parwati, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Tempat, Tanggal Lahir	: Jakarta, 7 April 1976
Anak ke	: 4 dari 4 Bersaudara
Jenis Kelamin	: Perempuan
Nama Ayah Kandung	: Aiptu (Purn). Sofan
Nama Ibu Kandung	: Hasinah
Nama Suami	: Asep Setiawan
Jumlah Anak	: 2
Nama Anak	: Satria Madani Pranedy Wiryatama
Nama Instansi	: Pusat Riset Geoinformatika, Organisasi Riset Elektronika dan Informatika, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Judul Orasi	: <i>Smart Monitoring</i> Berbasis Teknologi Satelit Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Kebakaran Hutan dan Lahan di Indonesia
Ilmu	: Ilmu Teknologi Keantariksaan
Bidang	: Bidang Teknologi Penginderaan Jauh
Kepakaran	: Kepakaran Teknik Ekstraksi Informasi Geo-Bio-Fisik Lingkungan Terrestrial

No. SK Pangkat Terakhir : Keputusan Presiden RI Nomor
17/K Tahun 2024
tanggal 1 Juni 2024

No. SK Peneliti Ahli : Keputusan Presiden RI Nomor
Utama 61/M Tahun 2023
tanggal 29 Desember 2023

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SDN 03 Slipi	Jakarta Barat/ Indonesia	1988
2.	SMP	SMPN 88 Slipi	Jakarta Barat/ Indonesia	1991
3.	SMA	SMAN 16 Palmerah	Jakarta Barat/ Indonesia	1994
4.	S1	Institut Pertanian Bogor	Bogor/ Indonesia	1999
5.	S2	Beihang University	Beijing/ Tiongkok	2008
6.	S3	Univesity of South Australia	Adelaide/ Australia	2021

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Prajabatan	LAN/ Jakarta/ Indonesia	2003
2.	Diklat Fungsional Peneliti Pertama	Indonesia	2003

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
3.	<i>Training on Fundamental of Sat-Communication</i>	LAPAN/Jakarta/ Indonesia	2011
4.	<i>Technical Training on Asean Cooperation Project on Utilization of Satellite Images for Disaster Management</i>	Jakarta/Indonesia	2011
5.	<i>JAXA Training Course on ALOS Data Use</i>	Jakarta/ Indonesia	2011
6.	Diklat Metodologi Survei Lapangan	Jakarta/ Indonesia	2011
7.	Diklat Penulisan Jurnal Ilmiah	Jakarta/ Indonesia	2011
8.	Diklat ‘ <i>Writing Report</i> ’ Angkatan I	Jakarta/ Indonesia	2012
9.	Diklat Pengembangan Kepribadian SDM Aparatur Negara	Jakarta/ Indonesia	2012
10.	<i>The International Charter Project Manager Training for Space and Major Disaster</i>	Jakarta/ Indonesia	2014
11.	Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Lanjutan	LIPI/ Cibinong/ Indonesia	2014
12.	Diklat Pengadaan Barang/ Jasa Pemerintah	Jakarta/ Indonesia	2015
13.	Diklat Sosialisasi Gratifikasi	Jakarta/ Indonesia	2015
14.	<i>Training of trainer on urban climate change adaptation in ASEAN</i>	Depok/Indonesia	2015

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
15.	Penulisan Karya Tulis Ilmiah	ESQ Bussiness School/Jakarta	2016
16	<i>Weather observations using free data from satellite imagery and model or reforecast analysis</i>	Jakarta/ Indonesia	2016
17.	<i>Hands on training of ALOS PALSAR for palm oil monitoring</i>	Jakarta/ Indonesia	2016
18.	<i>Simulation exercise on the procedural guidelines for sharing space-based information during emergency response</i>	Bogor/ Indonesia	2016
19.	<i>8th International Short Course on Fire Behaviour</i>	University of Coimbra/ Portugal	2018
20.	<i>5th International Short Course on Fire Safety</i>	University of Coimbra/ Portugal	2018
21.	<i>Basic Statistic and R programming</i>	University of South Australia/Adelaide	2018
22.	<i>Masterclass in research writing</i>	Australia/Adelaide	2018
23.	<i>Phyton for Everyone</i>	ESRI/online	2021
24.	<i>Spatial Data Science_ The New Frontier in Analytics</i>	ESRI/online	2021
25.	<i>Spatial Data Science</i>	ESRI/online	2021
26.	<i>Imagery in Action</i>	ESRI/online	2022
27.	<i>Remote Sensing</i>	MAXAR/online	2022
28.	<i>Essentials of statistics for researchers</i>	Univ. Airlangga / online	2023

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
29.	<i>Structuring and writing your manuscript to make it publish-worthy</i>	Universitas Airlangga/online	2023
30.	<i>Measuring Water Urban Security</i>	AIT/ Bangkok/ Thailand	2023
31.	<i>Proposal Development Training Workshop-APN</i>	AIT/Bangkok/ Thailand	2023
32.	<i>Research Tools for Collecting, Writing, Publishing, and Disseminating Research</i>	Universitas Airlangga /online	2023
33.	Pelatihan Penggunaan Penginderaan Jauh & GeoDigital Sumatra	Asian Development Bank/Medan	2024
34.	<i>Initiative Executive Action Plan on Early Warnings for All</i>	Jakarta/ Indonesia	2024

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Kepala Bidang Diseminasi, Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (PUSFATJA)	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)	2017
2.	Kepala Bidang Lingkungan dan Mitigasi Bencana, PUSFATJA	LAPAN	2014 – 2015

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Pertama – IIIa	01-06-2005
2.	Peneliti Ahli Muda – IIIc	01-07-2009
3.	Peneliti Ahli Muda – IIId	01-07-2013
4.	Peneliti Ahli Madya – IVa	01-02-2016
5.	Peneliti Ahli Utama – IVb	01-02-2024

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	<i>Data Analysis Node for Sentinel Asia in Disaster Emergency Response</i>	LAPAN	2008 – 2015
2.	<i>National Contact Point (NCP) GEOSS Asia-Pacific Symposium</i>	LAPAN	2010
3.	<i>NCP pada Space Application For Environment Working Group (SAFE WG) pada Asia-Pacific Regional Space Agency Forum (APRSAF)</i>	LAPAN	2012
4.	<i>Project Manager for supporting International Charter for Space and Major Disaster</i>	Japan Aerospace Agency (JAXA)	2014 – 2016

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
5.	NCP pada Fora dan Organisasi Internasional Keantariksaan di bawah PBB yaitu <i>Regional Centre for Space Science and Technology Education in Asia and the Pacific</i> (RCSSTEAP-China) & <i>Centre for Space Science and Technology Education in Asia and the Pacific</i> (CSSTEAP-India)	Secretariat Indonesian Space Agency (INASA-BRIN)	2022 - sekarang
6.	NCP pada <i>Space Application For Environment Working Group</i> (SAFE WG) pada APRSAF	INASA-BRIN	2023 - sekarang
7.	Delegasi Indonesia untuk <i>The 61th Scientific and Technical Subcommittee (STSC) of United Nation - Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPOUS)</i>	INASA-BRIN	2024

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	<i>The ASEAN Science and Technology Week Scientific</i>	Pembicara	Manila, Filipina	2008

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
2.	<i>The 17th Session APRSAF</i>	Delegasi Indonesia, pilot project SAFE- <i>drought monitoring</i>	JAXA (Melbourne, Australia)	2010
3.	<i>The third Space Applications for Environment (SAFE) Workshop</i>	Delegasi Indonesia, pilot project SAFE- <i>drought monitoring</i>	JAXA (Vientiane, Lao PDR)	2011
4.	<i>The 18th Session APRSAF</i>	Delegasi Indonesia, pilot project SAFE	JAXA (Singapura)	2011
5.	<i>The Asia-Pacific Space Cooperation Organization (APSCO) Training Course on Environment & Disaster Monitoring Through Space</i>	Pengajar	<i>Bangladesh Space Agency- SPARRSO (Dhaka, Bangladesh)</i>	2011
6.	<i>The 19th Session APRSAF</i>	Delegasi RI	Malaysian Space Agency (Kuala Lumpur, Malaysia)	2012

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
7.	<i>The 34th Asian Conference on Remote Sensing</i>	Pembicara	MAPIN (Bali, Indonesia)	2013
8.	<i>The 2nd Joint Project Team Meeting for Sentinel Asia 3</i>	Delegasi RI country report	JAXA (Yangon, Myanmar)	2014
9.	<i>The First Steering Committee (FSC) Meeting of the Sentinel Asia 3</i>	Delegasi RI country report	JAXA (Bangkok, Thailand)	2015
10.	The 22nd APRSAF	Delegasi RI – SAFE SAWG	JAXA (Bali, Indonesia)	2015
11.	<i>Training of Trainer on Urban Climate Change Adaptation in Southeast Asia</i>	Pengajar	APN (Depok, Indonesia)	2016
12.	<i>Rapid Mapping Technique for Disaster Observation and Global Change Data Acquisition. Summer School</i>	Pengajar	MAPIN (Bali, Indonesia)	2016
13.	<i>Indonesia-France Workshop in Aerospace Technology</i>	Pembicara	LAPAN (Jakarta, Indonesia)	2016

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
14.	<i>The 2017 Natural built Environment Research Colloquium</i>	Pembicara	<i>University of South Australia</i> (Adelaide)	2017
15.	<i>The VIII International Conference of Forest Fire Research</i>	Pembicara	<i>University of Coimbra</i> (Coimbra, Portugal)	2018
16.	<i>3MT Competition</i>	Pembicara	<i>University of South Australia</i> (Adelaide)	2018
17.	<i>The 2019 Natural and Built Environments Research Colloquium</i>	Pembicara	<i>South Australia</i> (Adelaide)	2019
18.	<i>The 3MT & Research Poster Competition School Heat</i>	Pembicara	<i>University of South Australia</i> (Adelaide)	2019
19.	<i>The 9th Southern Hemisphere Space Studies Program</i>	Pengajar	<i>University of South Australia</i> (Adelaide)	2020
20.	<i>The 7th GeoInformation Science Symposium 2021</i>	Pembicara	Universitas Gajah Mada (online)	2021

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
21.	<i>UN4DRR International Symposium on Disaster Risk Reduction, Mitigation and Environmental Sciences</i>	Pembicara	IPB (online)	2022
22.	<i>Space Based Fire Detection and Monitoring</i>	Guest Lecture	University of South Australia (online)	2022
23.	<i>Webinar on Leveraging Remote Sensing & Geoinformatics for mapping & monitoring of Fire & related emissions for Environmental Health</i>	Keynote speaker	MDPI (online)	2022
24.	<i>The 13th Southeast Asia Subregional Committee Meeting, Proposal Development Training Workshop</i>	Delegasi Indonesia, Pengajar	AIT, Asia Pacific Network for Research (APN) (Bangkok, Thailand)	2023

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
25.	Pelatihan Teknis penggunaan penginderaan jauh untuk pemetaan area terbakar bagi PEMDA	Pengajar	GIZ (Palembang Pontianak/ Indonesia)	2023
26.	Pemanfaatan Informasi Geospasial Provinsi Kalimantan Selatan	Pengajar	Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, (online)	2023
27.	<i>Discovery Camp for Indonesian Junior High School student Competition, featuring the theme "Racing Up Against Climate Change."</i>	Narasumber dan Juri	Indonesian Science Center (PP-IPTEK) - online	2024
28.	<i>2024 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology</i>	Pembicara	ICARES (online)	2024

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
29.	Lokakarya Program Kompetisi Kampus Merdeka (PKKM) bertema “Tata Kelola Bencana Berbasis Sains Data dan Kecerdasan Artifisial”	Pembicara	Universitas Gunadarma (Depok, Indonesia)	2024
30.	Praktisi Mengajar untuk Mata Kuliah: Pengantar Geospasial Database	Pengajar	Universitas Negeri Malang (online)	2024

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Internasional Journal of Remote Sensing and Earth Science (IJReSES)	Ikatan Geografi Indonesia (IGI)	Penelaah	2021 – sekarang
2.	GIScience & Remote Sensing	Taylor & Francis	Penelaah	2022 – sekarang
3.	International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation	Elsevier	Penelaah	2022 – sekarang
4.	Geo-spatial Information Science	Taylor & Francis	Penelaah	2022 – sekarang

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
5.	Science of Remote Sensing	Elsevier	Penelaah	2023 – sekarang
6.	Remote Sensing of Environment	Elsevier	Penelaah	2024 – sekarang
7.	Heliyon	Elsevier	Penelaah	2024 – sekarang
8.	ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing	Elsevier	Penelaah	2024 – sekarang

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	3
2.	Bersama Penulis Lainnya	90
	Total	93

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	47
2.	Bahasa Inggris	46
3.	Bahasa Lainnya	-
	Total	93

J. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Zylshal	LAPAN	Pembimbing	2016

2.	Galdita A. Chulafak	BRIN	Pembimbing	2022
3.	Gatot Nugroho	BRIN	Pembimbing	2022

Mahasiswa

No	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Noer Rochma Damayanti	ITS	Pembimbing Skripsi S1	2011
2.	Yahya Darmawan	University of Twente	Pembimbing internship	2012
3.	Dwi Putri Afrina	IPB	Pembimbing Skripsi S1	2013
4.	Linda Yulianti	IPB	Pembimbing Skripsi S1	
5.	Rufaidha Lathiifunnisa	Universitas Negeri Malang	Pembimbing MBKM	2023
6.	Khairil Mursalin	Universitas Negeri Malang	Pembimbing MBKM	2023
7.	Fradha Intan Arraysah	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing S2	2024
8.	Priyatna Kusumah	Universitas Indonesia	Pembimbing S3	2024
9.	Balqis Meiliana	Universitas Diponegoro	Pembimbing Skripsi S1	2025
10.	Muhammad Hilal Arrizqon	Universitas Diponegoro	Pembimbing Skripsi S1	2025

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO)	2019 - 2021
2.	Ketua Bidang 1 (Pengembangan Kompetensi SDM)	Perhimpunan Periset Indonesia Wilayah Provinsi DKI Jakarta	2022 – 2026
3.	Anggota	Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN)	2004 – sekarang
4	Anggota	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing	2019 - sekarang

L. Tanda Penghargaan

No	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Prof. Jacob Rais <i>Award</i> untuk paper terbaik di PIT MAPIN	MAPIN	2004
2.	Peringkat ke-3 terbaik pada program master tahun 2006-2008 pada program studi <i>Remote Sensing and GIS Applications</i>	Beihang University	2007
3.	Juara ke-3 Lomba Penulisan Paper Tingkat Nasional 2012	Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.	2012
4.	Pejabat Fungsional Peneliti Terbaik 2012	LAPAN	2012

5.	Satya Lancana Karya Satya 10 tahun	Presiden RI Susilo Bambang Yudhoyono	2014
6.	Pegawai Berprestasi 2015	LAPAN	2015
7	Penghargaan Reksa Utama Anindha (Tangguh Award) untuk Tim Tanggap Darurat Bencana dari Data Penginderaan Jauh	BNPB	2015
8.	Satyalancana Wirya Karya	Presiden RI Joko Widodo	2016
9.	William T. Pecora <i>Award on Project Manager Group for the event activation support</i>	<i>The International Charter Space and Major Disasters</i>	2017
10.	<i>First Winner – 5MT presentations</i>	<i>Natural Built Environment Research Center (NBERC). University of South Australia</i>	2019
11.	<i>Highly Commended Paper Award. NBERC Most Engaging Higher Degree by Research Paper Award</i>	<i>Natural Built Environment Research Center (NBERC). University of South Australia</i>	2019
12.	Satya Lancana Karya Satya 20 tahun	Presiden RI Joko Widodo	2023
13	<i>The best paper award</i>	<i>The 2024 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)</i>	2024

Indonesia telah berkomitmen dalam Perjanjian Paris 2015 untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 31,89% secara mandiri pada tahun 2030. Komitmen ini menjadi sangat penting mengingat kebakaran hutan dan lahan (karhutla) masih menjadi salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca nasional, di samping dampak kerusakan lingkungan, kerugian ekonomi, dan gangguan kesehatan masyarakat akibat asap.

Orasi ini menyampaikan model pemantauan karhutla berbasis teknologi satelit penginderaan jauh. Model ini diterapkan pada seluruh tahapan manajemen bencana, mulai dari pra-bencana, tanggap darurat, hingga pasca-bencana.

Secara keseluruhan, pengembangan model berbasis satelit ini mengatasi keterbatasan pengamatan langsung, mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca, serta menyediakan dasar kebijakan berbasis data untuk mitigasi dan respons karhutla yang lebih efektif. Ke depan, model ini dapat diperkuat dengan integrasi kecerdasan buatan dan sensor satelit generasi terbaru guna mendukung pengelolaan karhutla yang lebih berkelanjutan dan efisien.

Selanjutnya, dengan menjalin kolaborasi dan komunikasi dengan pemerintah, akademika, sektor swasta, dan masyarakat serta komunitas lokal, teknologi penginderaan jauh dapat menjadi alat mitigasi yang lebih efektif sekaligus fondasi bagi perlindungan lingkungan dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Sinergi berbagai pihak akan memperkuat ketahanan ekosistem hutan dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia dan global.

