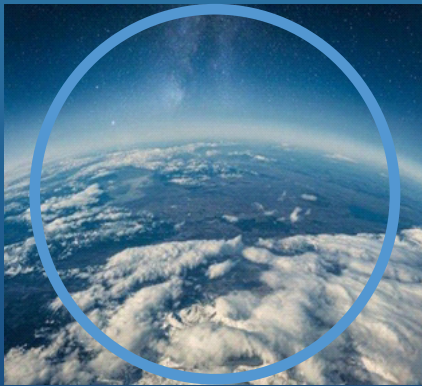


# **KONTRIBUSI CITRA SATELIT MULTIRESOLUSI TUTUPAN AWAN MINIMUM AKURASI TINGGI UNTUK MENDUKUNG KETERSEDIAAN DATA SIAP PAKAI DI INDONESIA**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
ILMU TEKNOLOGI KEANTARIKSAAN  
BIDANG TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH  
KEPAKARAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN DATA  
AWAL PENGINDERAAN JAUH**



**OLEH:  
DANANG SURYA CANDRA**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

**KONTRIBUSI CITRA SATELIT  
MULTIRESOLUSI TUTUPAN AWAN  
MINIMUM AKURASI TINGGI UNTUK  
MENDUKUNG KETERSEDIAAN DATA  
SIAP PAKAI DI INDONESIA**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
ILMU TEKNOLOGI KEANTARIKSAAN  
BIDANG TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH  
KEPAKARAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN DATA  
AWAL PENGINDERAAN JAUH**

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)



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

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

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



**KONTRIBUSI CITRA SATELIT  
MULTIRESOLUSI TUTUPAN AWAN  
MINIMUM AKURASI TINGGI UNTUK  
MENDUKUNG KETERSEDIAAN DATA  
SIAP PAKAI DI INDONESIA**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
ILMU TEKNOLOGI KEANTARIKSAAN  
BIDANG TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH  
KEPAKARAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN DATA  
AWAL PENGINDERAAN JAUH**

**OLEH:**

**DANANG SURYA CANDRA**

Reviewer:

Prof. Dr. Ir. Dony Kushardono, M.Eng.

Prof. Dr. Ratih Dewanti, M.Sc.

Prof. Dr. Eri Prasetyo Wibowo, M.M.S.I., S.S.I.

Penerbit BRIN



© 2024 Badan Riset dan Inovasi Nasional

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Kontribusi Citra Satelit Multiresolusi Tutupan Awan Minimum Akurasi Tinggi untuk Mendukung Ketersediaan Data Siap Pakai di Indonesia/Danang Surya Candra–Jakarta: Penerbit BRIN, 2024.

x + 100 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-6303-53-0 (*e-book*)




- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Teknologi Optik                  | 2. Citra Satelit Multiresolusi         |
| 3. <i>Analysis Ready Data</i> (ARD) | 4. <i>Artificial intelligence</i> (AI) |

621.36

|                    |  |
|--------------------|--|
| <i>Copy Editor</i> | : Siti Mutiara Fitry                     |
| <i>Proofreader</i> | : Donna Ayu Savanti & Martinus Helmiawan |
| Penata Isi         | : Donna Ayu Savanti                      |
| Desainer Sampul    | : S. Imam Setyawan & Rina Kamila         |

Edisi pertama : Desember 2024



Diterbitkan oleh:  
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi  
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah  
Gedung B. J. Habibie, 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](mailto:penerbit@brin.go.id)  
*Website*: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)  
 PenerbitBRIN  
 @Penerbit\_BRIN  
 @penerbit.brin

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| DAFTAR GAMBAR.....  | vii |
| DAFTAR TABEL.....   | ix  |
| BIODATA RINGKAS .....   | 1   |
| PRAKATA PENGUKUHAN .....  | 5   |
| I. PENDAHULUAN .....  | 7   |
| II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH<br>DETEKSI AWAN DAN PENGOLAHAN CITRA TUTUPAN<br>AWAN MINIMUM ..... | 13  |
| III. PENGEMBANGAN METODE PENGOLAHAN CITRA SATELIT<br>OPTIK MULTI-RESOLUSI TUTUPAN AWAN MINIMUM.....             | 21  |
| A. Pengembangan Metode Deteksi Awan untuk Citra Satelit<br>Resolusi Menengah .....                              | 21  |
| B. Pengembangan Metode Deteksi Awan untuk Data CSRT dan<br>CSRST.....   | 31  |
| C. Pengembangan Metode Deteksi Awan Menggunakan<br><i>Artificial Intelligence</i> (AI) .....                    | 36  |
| D. Pengembangan Metode Pengolahan Citra Satelit Tutupan<br>Awan Minimum.....                                    | 46  |
| IV. KONTRIBUSI TERHADAP PERKEMBANGAN IPTEK CITRA<br>SATELIT OPTIK MULTI-RESOLUSI TUTUPAN AWAN<br>MINIMUM .....  | 53  |
| V. HILIRISASI IPTEK PENGOLAHAN CITRA SATELIT TUTUPAN<br>AWAN MINIMUM .....                                      | 57  |
| VI. KESIMPULAN.....   | 59  |
| VII. PENUTUP.....   | 63  |
| VIII. UCAPAN TERIMA KASIH .....   | 65  |

DAFTAR PUSTAKA..... 69

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH..... 79

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA..... 89

DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... 91

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR GAMBAR

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Gambar 1  | Citra ekstraksi spasial tutupan awan minimum dari data Landsat 2000–2009 untuk pemetaan hutan seluruh Indonesia. ....   | 9  |
| Gambar 2  | Blok Diagram Kerangka Pikir Orasi .....   | 11 |
| Gambar 3  | (a) Perbandingan hasil akurasi deteksi awan, dan<br>(b) deteksi bayangan awan menggunakan MCM dan L8 CCA.....   | 26 |
| Gambar 4  | Hasil deteksi awan dan bayangannya di wilayah global dengan beragam tipe awan dan lingkungan berbeda di wilayah (a) subtropis selatan, (b) subtropis utara, dan (c) tropis.....   | 27 |
| Gambar 5  | Perbandingan hasil MCM dan hasil Fmask secara visual (per <i>scene</i> ) Sentinel-2.<br>(a) Citra Sentinel-2, (b) Hasil MCM, dan (c) Hasil Fmask. Warna merah menunjukkan awan dan warna biru menunjukkan bayangan awan. .... | 30 |
| Gambar 6  | Proses Deteksi Awan pada <i>Framework</i> yang Dikembangkan .....   | 37 |
| Gambar 7  | Hasil deteksi awan dengan menggunakan metode yang dikembangkan yaitu CNN + K-means yang dimodifikasi. Warna merah menunjukkan kelas awan. ....  | 39 |
| Gambar 8  | Arsitektur U-Net untuk Deteksi Awan Data CSRST .....  | 43 |
| Gambar 9  | Hasil deteksi multikelas awan dan akurasinya. Warna kuning: awan tebal, warna hijau: awan tipis, warna biru: bayangan awan, dan warna ungu: non-awan. ....  | 45 |
| Gambar 10 | Hasil proses MCR pada citra Landsat 8 <i>time-series</i> . TI adalah <i>target image</i> (citra yang mempunyai liputan awan), sedangkan RI adalah <i>reference image</i> (citra acuan)..                                      | 49 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Gambar 11 | (a) Citra SPOT 6/7 multitemporal pada <i>tile</i> yang sama, dan<br>(b) Pemilihan tile terbaik dan hasil mosaik <i>tile-based</i> . .... | 50 |
| Gambar 12 | Contoh hasil mosaik tutupan awan minimum citra satelit<br>SPOT 6/7 seluruh wilayah di Indonesia .....                                    | 51 |

## DAFTAR TABEL

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Tabel 1 | Perbandingan Akurasi Hasil Deteksi Awan .....  | 40 |
| Tabel 2 | Akurasi Hasil Deteksi Awan untuk Citra 1 ..... | 45 |
| Tabel 3 | Akurasi Hasil Deteksi Awan untuk Citra 2 ..... | 46 |



## BIODATA RINGKAS



Danang Surya Candra, lahir di Surakarta pada tanggal 10 Januari 1979 adalah anak ketiga dari Bapak Mulyanto dan Ibu Hermintarsih. Menikah dengan Raden Vitri Garvita Gandadikusumah. S.Si., M.Si.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 38/M Tahun 2023 tanggal 18 September 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai 10 Oktober 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 247/I/HK/2024 tanggal 8 November 2024 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Dawung Tengah, tahun 1991, Sekolah Menengah Pertama Negeri 4 Surakarta, tahun 1994, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 4 Surakarta, tahun 1997. Memperoleh gelar Sarjana Matematika dari Universitas Sebelas Maret (UNS) tahun 2002, gelar Magister of Science dari Beihang University, China tahun 2010, dan gelar Doktor bidang Penginderaan Jauh dari University of Queensland, Australia tahun 2019.



Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensi, antara lain: ASEAN-China Training Course di Beijing, China (2007), Basic Training Course Step 2 on ALOS Data Use di Jakarta (2010), JAXA Training on ALOS Data Use Advanced Course di Jakarta (2010), Building Advance Radar Capacity for Indonesia's National Forest and Carbon Accounting Systems di Jakarta (2011), Workshop on Developing Atmospheric Correction of Satellite Imagery for Future INCAS Program di Jakarta (2015), Bimbingan Teknis Drafting Paten di Bogor (2019), Mastering Practical GNU R System for Machine Learning (2021), Workshop Pengolahan Data Penginderaan Jauh dan Koreksi Topografi Menggunakan R Studio di Jakarta (2021), Pelatihan dan Operasional UAV (Drone) Multispektral RTK dan Aplikasinya di Jakarta (2021), International Conference and Workshop on Artificial Intelligence Remote Sensing for Forestry Applications di Jakarta (2021).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama III/a tahun 2010 dan Peneliti Ahli Muda III/c tahun 2013. Jabatan Peneliti Ahli Madya diperoleh tahun 2022, kemudian jabatan Peneliti Ahli Utama bidang Teknologi Penginderaan Jauh tahun 2023.

Menghasilkan 39 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk jurnal dan prosiding, serta 25 karya intelektual berupa paten dan hak cipta. Sebanyak 32 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan 7 dalam bahasa Indonesia. Sebanyak 11 KTI ditulis sendiri dan 28 KTI ditulis bersama.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada BRIN, pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Brawijaya. Pembimbing disertasi (S-3) dan sebagai Penguji disertasi (S-3) pada Universitas Gunadarma.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu anggota Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo) (2019-2022) dan anggota Perhimpunan Periset Indonesia (PPI) (2022–2024). Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya X Tahun (2015) dari Presiden RI.



## PRAKATA PENGUKUHAN

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.*

*Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.*

Salam sejahtera untuk kita semua.

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

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. 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 11 Desember 2024 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“KONTRIBUSI CITRA SATELIT MULTIRESOLUSI  
TUTUPAN AWAN MINIMUM AKURASI TINGGI UNTUK  
MENDUKUNG KETERSEDIAAN DATA SIAP PAKAI  
DI INDONESIA”

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang perkembangan, tantangan, penemuan, kontribusi dan hilirisasi citra satelit multi-resolusiutupan awan minimum akurasi tinggi

untuk mendukung ketersediaan data siap pakai di Indonesia. Penemuan-penemuan tersebut dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai pengolahan citra satelit multi-resolusi tutupan awan minimum akurasi tinggi di Indonesia sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi model deteksi awan yang menghasilkan tutupan awan minimum melalui teknologi berbasis *artificial intelligence* (AI). *Deep learning* yang merupakan subset dari AI digunakan untuk mendeteksi multikelas awan meliputi awan tebal, awan tipis, bayangan awan, dan non awan dengan menghasilkan akurasi tinggi. Hasilnya dapat digunakan untuk membuat citra tutupan awan minimum siap pakai yang dikenal dengan istilah *Analysis Ready Data* (ARD). Data ARD ini dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut secara langsung oleh *stakeholder* atau pengguna.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang metode pengolahan citra satelit multi-resolusi tutupan awan minimum akurasi tinggi untuk mengatasi tutupan awan yang merupakan kendala utama pada citra satelit optik. Dengan demikian, citra satelit tutupan awan minimum yang akurat dapat dihasilkan, sehingga dapat memenuhi kebutuhan nasional yaitu citra satelit siap pakai dan mendukung kemandirian teknologi pengolahan citra dari satelit-satelit yang sudah ada maupun yang akan dibangun sehingga tercipta kemandirian bangsa.

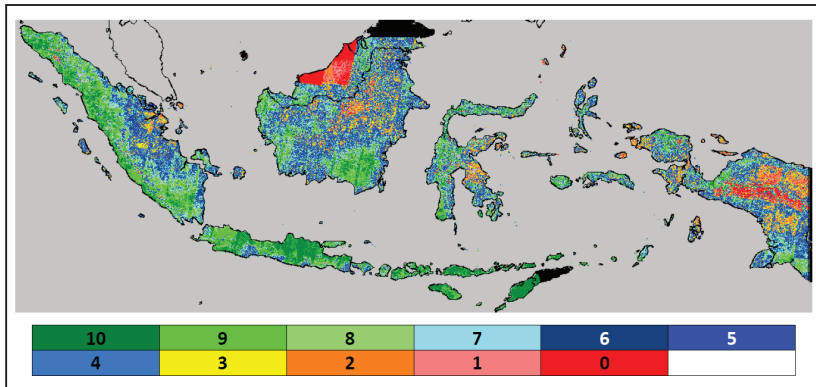
## I. PENDAHULUAN

Citra satelit penginderaan jauh siap pakai merupakan data yang sangat penting dan saat ini sudah banyak digunakan dalam mendukung berbagai sektor dalam pemenuhan kebutuhan nasional, antara lain mendukung Sistem Monitoring Hutan Nasional (SIMONTANA) dan Jendela Informasi Karhutla Terkini (SIPONGI) di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Di samping itu juga telah diimplementasikan metode pengolahan berbasis penelitian pada sektor perkebunan (Prabowo, et al., 2022), kehutanan (Candra, 2020), pertambangan (Susantoro et al., 2023), lingkungan (Kurdianto et al., 2023; Sakti et al., 2023), dan kebencanaan (Nugroho et al., 2023). Data satelit penginderaan jauh juga sangat berperan untuk monitoring *landuse-land cover* (LULC) (Talukdar et al., 2020; Zhao et al., 2023). Beberapa keunggulan dari data satelit penginderaan jauh adalah mempunyai cakupan yang luas, konsisten dalam perolehan data, dapat digunakan secara *near-real-time*, dan biaya yang relatif murah, bahkan ada yang tidak berbayar. Oleh karena, itu peran citra satelit penginderaan jauh siap pakai sangat dibutuhkan untuk analisis dan monitoring pembangunan di berbagai sektor di wilayah Indonesia yang sangat luas.

Berdasarkan sistem sensor, satelit penginderaan jauh dibagi menjadi dua yaitu optik dan *synthetic aperture radar* (SAR) (NASA, 2020). Citra satelit penginderaan jauh optik lebih banyak dipilih dan digunakan oleh ilmuwan (NASA, 2020)

karena tampilan visual natural dan mendekati kenampakan objek asli. Di sisi lain, citra satelit optik terdapat gangguan utama yaitu keberadaan tutupan awan yang dapat menghilangkan informasi objek permukaan bumi yang direkam pada citra tersebut (Liang et al., 2024). Terlebih lagi tutupan awan menutupi permukaan bumi dengan rata-rata sebesar 66% setiap tahun (Wang et al., 1999). Hal ini ditunjukkan pada Gambar 1 yang merupakan ekstraksi spasial tutupan awan minimum dalam sepuluh tahun dari tahun 2000 hingga 2009. Setiap piksel diwarnai menurut jumlah tahun di mana terdapat tutupan awan minimum. Warna hijau menunjukkan tutupan awan minimum paling tinggi dalam 10 tahun. Warna biru menunjukkan piksel dengan jumlah tutupan awan minimum sekitar setengahnya, sedangkan warna kuning (3), oranye (2), merah muda (1) dan merah (0) masing-masing mempresentasikan makin rendahnya kemungkinan tidak tertutup awan dalam 10 tahun. Hal ini menjadi kendala yang cukup serius, karena Indonesia adalah negara tropis yang persentase tutupan awan lebih tinggi dari negara subtropis.

Di sisi lain, untuk memperkuat penyelenggaraan penginderaan jauh dalam pemenuhan kebutuhan nasional yang merupakan salah satu misi dalam penyelenggaraan keantariksaan Indonesia yang mandiri, maju, dan berkelanjutan sebagaimana termaktub dalam Peraturan Presiden Nomor 45 Tahun 2017 tentang Rencana Induk Penyelenggaraan Keantariksaan Tahun 2016-2040, maka permasalahan tutupan awan ini harus dapat diatasi untuk menjamin ketersediaan data citra satelit optik siap pakai (*analysis ready data* – ARD) di Indonesia.



Sumber: Roswintiarti dkk. (2014)

**Gambar 1** Citra ekstraksi spasial tutupan awan minimum dari data Landsat 2000-2009 untuk pemetaan hutan seluruh Indonesia.

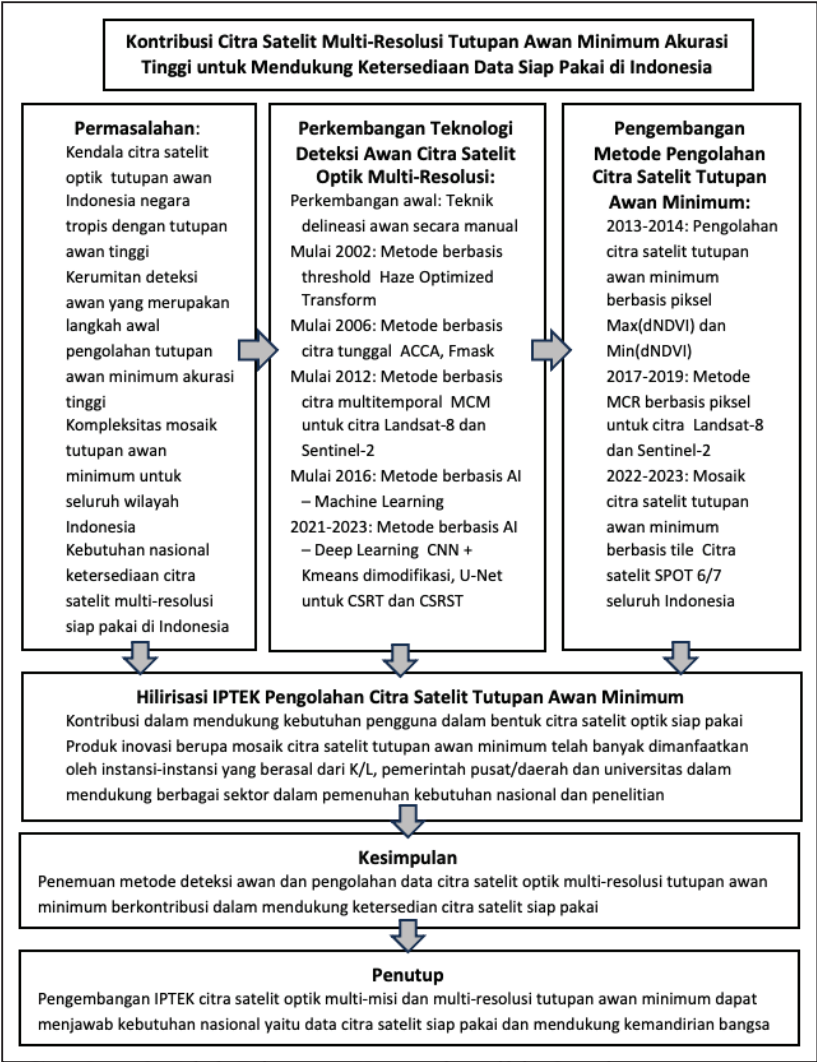
Untuk mengatasi permasalahan tersebut, selama berkarir menjadi peneliti, telah dilakukan riset, ditemukan, dan dikembangkan metode deteksi awan dan pengolahan citra satelit optik multi-resolusi tutupan awan minimum sehingga dapat digunakan sebagai solusi atas permasalahan tersebut. Pengembangan metode deteksi awan dan pengolahan tutupan awan minimum telah dilakukan untuk citra satelit optik multi-resolusi yaitu resolusi menengah, tinggi, dan sangat tinggi. Pada pengembangan untuk citra resolusi menengah, dipilih citra Landsat-8 dan Sentinel-2 yang sangat banyak digunakan hingga saat ini (USGS, 2024), sehingga metode yang dibangun kebermanfaatan lebih optimal. Agar metode yang dibangun terbukti kehandalan, metode tersebut telah diuji pada citra-citra yang memiliki tutupan awan dengan jenis yang beragam dan tutupan lahan yang bervariasi pada wilayah global yakni wilayah tropis dan sub-tropis (Candra et al., 2019, 2020). Di sisi lain,



pengembangan metode deteksi awan dan pengolahan tutupan awan minimal citra satelit optik resolusi tinggi dan sangat tinggi, digunakan teknologi *artificial intelligence* (AI) menggunakan model *deep learning* dalam mengatasi keterbatasan jumlah kanal pada citra-citra tersebut (Prabowo et al., 2021). Karena model ini mempunyai kemampuan belajar (*learning*) terhadap *dataset* yang menjadi data masukan pada *deep learning* sehingga dapat mendeteksi objek lebih baik. Temuan dan perbaikan metode telah dilakukan pada resolusi menengah, tinggi dan sangat tinggi memperlihatkan hasil akurasi tinggi, sehingga dapat digunakan untuk mendukung ketersediaan citra satelit siap pakai.

Orasi ini menjabarkan perkembangan teknologi penginderaan jauh deteksi awan dan pengolahan citra tutupan awan minimum, serta rekam jejak riset yang telah dilakukan, dan pandangan antisipatif terhadap tantangan ke depan. Esensi/saripati dari perjalanan panjang riset yang telah dilakukan yakni penemuan metode deteksi awan berbasis citra multitemporal untuk citra resolusi menengah Landsat-8 (Candra et al., 2019) dan Sentinel-2 (Candra et al., 2020), penemuan dan perbaikan metode deteksi awan untuk citra satelit resolusi tinggi SPOT 6/7 (Prabowo, Candra & Maulana., 2021) dan resolusi sangat tinggi WorldView-3 berbasis *artificial intelligence* (AI) (Candra et al., 2023), pengembangan pengolahan tutupan awan minimum citra resolusi menengah (Candra et al., 2017; Candra & Kustiyo, 2013; Candra & Prabowo, 2014) dan resolusi tinggi (Brahmantara, Candra et al., 2022), serta hilirisasinya sehingga menjadi bukti dalam mendukung pemenuhan ketersediaan citra satelit optik

multi-resolusi siap pakai. Kerangka pikir orasi ini disajikan dalam blok diagram pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Kerangka Pikir Orasi

Orasi ini menjadi khasanah baru utamanya dalam implementasi amanat Undang-undang Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan sesi pengolahan data penginderaan jauh, dan Peraturan Pemerintah Nomor 11 Tahun 2018 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Kegiatan Penginderaan Jauh. Orasi ini diharapkan juga dapat memperkuat kemandirian teknologi dalam mendukung pemenuhan kebutuhan nasional berbagai sektor berupa citra satelit optik multi-resolusi siap pakai dengan tutupan awan minimum, sehingga dapat menjamin ketersediaan data siap pakai (ARD) secara kontinyu di Indonesia.

## II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH DETEKSI AWAN DAN PENGOLAHAN CITRA TUTUPAN AWAN MINIMUM

Teknologi penginderaan jauh deteksi awan berkembang dalam dua dekade terakhir untuk menjawab permasalahan tutupan awan pada citra satelit optik. Berikut dijabarkan perkembangan teknologi penginderaan jauh metode deteksi awan dan pengolahan citra tutupan awan minimum hingga sekarang.

Sejak adanya citra satelit penginderaan jauh optik, teknik digitasi/delineasi manual digunakan sebagai solusi awal dari permasalahan keberadaan awan dengan cara mendelineasi awan secara manual. Teknik ini menggunakan interpretasi visual dan langsung membuat poligon awan dengan mendelineasi area awan tersebut pada citra satelit optik dengan menggunakan perangkat lunak yang mendukung. Teknik ini bersifat subjektif, memiliki kelemahan karena dilakukan interpretasi secara visual, tiap *interpreter* dapat melakukan interpretasi yang berbeda tergantung pada pengalaman, tingkat keahlian, dan kemahiran sehingga hasil yang didapatkan cenderung tidak konsisten.

Kelemahan lainnya yakni teknik ini memerlukan operator yang banyak dengan waktu pengerjaan yang sangat lama untuk untuk monitoring pada wilayah yang luas seperti di Indonesia yang memerlukan pemrosesan data citra satelit sangat banyak. Hal ini menimbulkan ketidakefisienan waktu, tenaga dan biaya. Untuk itu diperlukan metode yang lebih efisien dan cepat pemrosesan yakni dengan metode deteksi awan otomatis.

Teknologi penginderaan jauh deteksi awan otomatis dan pengolahan citra tutupan awan minimum berkembang untuk menjawab permasalahan ketidakefisien waktu, tenaga dan biaya pada teknik deliniasi manual. Perkembangan metode deteksi awan otomatis dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu berbasis *threshold* dan berbasis *artificial intelligence (AI)* (Prabowo et al., 2021). Metode deteksi awan berbasis *threshold* dapat dibedakan berdasarkan citra yang dipakai, yaitu citra tunggal dan citra multitemporal. Di sisi lain, metode deteksi awan berbasis AI dibagi menjadi dua kategori, yaitu berbasis *machine learning* dan berbasis *deep learning* (Li et al., 2019). Machine learning yang dimaksud adalah *machine learning* konvensional seperti *random forest*, *decision tree*, *support vektor machine*, dan lainnya.

Perkembangan metode berbasis *threshold* dimulai pada tahun 2002 yaitu metode *haze optimized transform* (HOT) yang dibangun oleh (Zhang et al., 2002, 2014) untuk mendeteksi awan tipis/*haze*. Metode ini menggunakan citra tunggal. Awan tipis merupakan jenis awan yang sulit untuk dideteksi karena transparan terhadap tutupan lahan (Richter et al., 2011). Metode ini dikembangkan lebih lanjut pada tahun 2014.

Pada tahun 2006, metode berbasis citra tunggal telah dikembangkan yakni *automatic cloud cover assessment* (ACCA). Metode ini telah digunakan secara luas untuk mendeteksi awan pada citra satelit Landsat-7 ETM+ (Irish et al., 2006). Pada tahun 2012, dibangun juga metode berbasis citra tunggal yakni *function of mask* (Fmask). Metode ini sangat populer

dan sudah digunakan *United States Geological Survey* (USGS) untuk membangun *cloud masking* dan *cloud shadow masking* pada citra Landsat-8. Metode ini mengintegrasikan pendekatan berbasis objek dengan menggabungkan pendekatan yang sudah ada untuk mendeteksi awan, bayangan awan dan tutupan salju. Metode ini dikembangkan lebih lanjut di tahun 2015 (Zhu et al., 2015; Zhu & Woodcock, 2012).

Di sisi lain, metode deteksi awan menggunakan citra multitemporal juga telah dikembangkan. Metode ini mempunyai kelebihan dibandingkan metode berbasis citra tunggal karena dapat menyoroti perubahan kecerahan pada suatu piksel dari waktu ke waktu (Kennedy et al., 2007) dan menghasilkan akurasi yang lebih tinggi (Li et al., 2017). Salah satu metode berbasis citra multitemporal dikembangkan pada tahun 2013 adalah metode *screening* awan multi-waktu pada wilayah Queensland, Australia (Goodwin et al., 2013). Metode ini mempunyai akurasi tinggi, tetapi hanya berlaku untuk wilayah tersebut.

Pada tahun 2012, metode deteksi awan berbasis citra multitemporal juga dikembangkan oleh (Hagolle et al., 2010). Pendekatan ini menggunakan nilai reflektan pada kanal biru dan jumlah hari antara citra terkoreksi untuk hamburan Rayleigh dan citra bebas awan sebelumnya. Pendekatan ini memberikan hasil yang baik dan lebih sederhana untuk diterapkan, tetapi pendekatan ini tidak bisa digunakan untuk mendeteksi bayangan awan.

Pada tahun 2016 metode deteksi awan berbasis citra multitemporal juga dikembangkan untuk mendeteksi awan dan

bayangannya pada Landsat-8 yang dinamakan *multitemporal cloud masking* (MCM) (Candra et al., 2016). Metode ini kemudian diperbaiki untuk meningkatkan akurasi pada tahun 2019 (Candra et al., 2019). Hasil deteksi awan dan bayangannya dari metode ini mempunyai akurasi yang tinggi. Metode ini mempunyai kelebihan karena dapat digunakan untuk deteksi jenis awan yang beragam pada tutupan lahan yang bervariasi, dan dapat digunakan tidak hanya untuk lingkungan tropis, namun juga untuk wilayah global di tropis, sub-tropis utara dan sub-tropis selatan.

Pada tahun 2020, metode berbasis citra multitemporal juga dikembangkan untuk citra satelit Sentinel-2 (Candra et al., 2020). Tantangan yang dihadapi dalam membangun metode ini yakni tidak adanya kanal termal pada citra satelit Sentinel-2 yang umumnya dapat menaikkan akurasi yang signifikan dalam mendeteksi awan. Hasil deteksi awan dan bayangannya dari metode ini mempunyai akurasi yang tinggi. Metode yang telah dibangun mempunyai kelebihan karena dapat digunakan untuk semua jenis awan. Selain itu, kelebihan lainnya yakni dapat digunakan untuk citra satelit dengan tutupan lahan yang beragam. Kelebihan lainnya, metode ini dapat digunakan untuk wilayah global yakni tropis, sub-tropis utara dan sub-tropis selatan.

Teknologi penginderaan jauh deteksi awan untuk citra satelit resolusi tinggi (CSRT) dan sangat tinggi (CSRST) yang telah berkembang berbasis *machine learning* untuk mengatasi keterbatasan jumlah kanal dan tidak adanya kanal termal pada

citra tersebut. Metode berbasis *threshold* mempunyai kelemahan untuk deteksi awan pada CSRT/CSRST karena metode berbasis *threshold-based* bergantung pada banyaknya kanal yang dimiliki citra satelit. Umumnya metode ini memanfaatkan kanal-kanal yang dimiliki citra satelit seperti kanal termal digunakan untuk deteksi awan tebal, dan kanal cirrus digunakan untuk deteksi awan tipis dan awan cirrus, sedangkan data CSRT dan CSRST tidak mempunyai kanal-kanal tersebut.

Metode berbasis *machine learning* merupakan bagian dari teknologi kecerdasan artifisial (*artificial intelligence* - AI) (Soori et al., 2023). Metode ini dapat diterapkan untuk deteksi awan pada citra satelit dengan memanfaatkan informasi nilai reflektan awan yang diwujudkan dalam *training dataset* sebagai data dan informasi pada proses belajar (*learning*) pada *machine learning* tersebut. Beberapa metode *machine learning* yang telah dibangun untuk deteksi awan, antara lain pada tahun 2016, *machine learning* dan *multi-feature fusion* dibangun (Bai et al., 2016) untuk mendeteksi awan pada data Gao Fen-1 dan Gao Fen-2. Kemudian, *Multi-feature embedded learning SVM* dibangun (Weidong Zhang et al., 2022) untuk mendeteksi awan pada data CSRST QuickBird-2 dan WorldView-4 guna meningkatkan efisiensi transmisi citra satelit tersebut.

Teknologi AI yaitu *deep learning* merupakan salah satu bagian dari *machine learning* (Soori et al., 2023) yang saat ini sangat populer dan berkembang pesat. Pada perkembangan teknologi deteksi awan untuk CRST menggunakan *deep learning* telah dibangun algoritma CNN dan K-means yang dimodifikasi



telah dibangun oleh (Prabowo, Candra & Maulana., 2021) untuk deteksi awan pada citra satelit SPOT 6/7. Metode ini bertujuan untuk deteksi awan dan non-awan pada citra satelit SPOT 6/7, hasilnya berupa kelas awan dan non-awan dengan akurasi yang tinggi (*overall accuracy* = 96 %).

Perkembangan metode deteksi awan untuk data CSRT/CSRST pada umumnya hanya metode untuk deteksi awan saja, dan biasanya awan tebal cenderung lebih mudah dilakukan pendeteksian daripada awan tipis. Awan tipis lebih sulit dideteksi karena terlihat sebagai objek transparan dan terpengaruh nilai reflektan tutupan lahan di bawahnya (Richter et al., 2011). Metode yang telah ada umumnya juga tidak dapat mendeteksi bayangan awan, padahal bayangan awan juga merupakan kendala pada kegiatan analisis lanjut pada CSRT/CSRST.

Pada tahun 2023, untuk menyelesaikan masalah-masalah terkait tutupan awan tersebut yang merupakan tantangan karena keterbatasan kanal pada CSRT/CSRST dan tidak adanya kanal termal maupun kanal cirrus, telah dikembangkan metode deteksi multi-kelas awan yaitu metode deteksi awan tebal, awan tipis, bayangan awan dan non-awan menggunakan *deep learning* (Candra et al., 2023) dengan hasil akurasi yang tinggi dengan akurasi deteksi awan tebal > 97%, awan tipis > 91%, dan bayangan awan > 93%.

Di sisi lain, metode pengolahan tutupan awan minimum telah dikembangkan berbasis piksel oleh (Candra & Kustiyo, 2013) dan dikembangkan lebih lanjut oleh (Candra & Prabowo, 2014) dengan memanfaatkan citra Landsat-8 multi-temporal dengan

mengambil nilai minimum dan maksimum dari *normalized difference vegetation index* (NDVI) untuk wilayah perairan dan daratan. Metode mosaik tutupan awan minimum berbasis piksel untuk citra Landsat-8 dikembangkan lebih lanjut dengan membangun metode *multitemporal cloud removal* (MCR) (Candra et al., 2017). Metode tutupan awan minimum untuk citra resolusi tinggi telah dilakukan berbasis *tile* multitemporal dengan memilih *tile* terbaik yang mempunyai awan paling minimum (Brahmantara, Candra et al., 2022).

Hingga saat ini, teknologi satelit berkembang sangat cepat di dunia internasional sehingga jenis satelit optik menjadi sangat banyak dengan sensor yang beragam. Hal ini merupakan tantangan besar untuk menangani masalah tutupan awan pada citra satelit-satelit optik tersebut. Ditambah lagi permasalahan kondisi atmosfer dan kelembaban udara yang berbeda untuk tiap lokasi yang berbeda, serta perubahan musim yang berpengaruh terhadap kondisi tutupan awan. Metode koreksi radiometrik saat ini belum bisa menangani permasalahan-permasalahan tersebut sekaligus dengan baik. Pandangan antisipatif terhadap tantangan ke depan yaitu dengan rencana mengembangkan metode tutupan awan minimum dengan mengembangkan deteksi awan multi-misi dan multi-resolusi untuk mendukung pengolahan tutupan awan minimum merupakan tantangan besar karena metode tersebut belum pernah ada. Metode deteksi awan multi-misi adalah metode deteksi awan untuk semua jenis satelit optik. Harapannya adalah satu metode deteksi awan yang dibangun akan dapat menangani citra dari semua jenis satelit optik. Tantangan besar lainnya adalah citra-citra satelit optik tersebut

sudah harus *harmonized*. Metode yang dibangun berbasis AI menggunakan *deep learning* dengan memanfaatkan kanal-kanal yang umumnya dimiliki oleh setiap jenis satelit seperti kanal biru, hijau, merah, dan infra-merah dekat (*near infrared*) sebagai dataset, sehingga model AI yang dihasilkan dapat digunakan untuk citra dari semua jenis satelit yang ada. Jawaban atas tantangan-tantangan ke depan diharapkan dapat mendukung kemandirian bangsa dalam memajukan teknologi pengolahan data citra satelit multi-misi dan multi-resolusi tutupan awan minimum.

### **III. PENGEMBANGAN METODE PENGOLAHAN CITRA SATELIT OPTIK MULTI-RESOLUSI TUTUPAN AWAN MINIMUM**

Pengembangan metode deteksi awan dan pengolahan tutupan awan minimum untuk citra satelit optik multi resolusi telah menghasilkan temuan-temuan baru guna menyelesaikan permasalahan keberadaan tutupan awan pada citra satelit optik. Temuan baru tersebut dihasilkan dari riset panjang yang telah dilakukan dengan fokus pada citra satelit optik multi-resolusi yaitu resolusi menengah, tinggi, dan sangat tinggi. Beberapa pendekatan digunakan seperti pendekatan berbasis citra multitemporal (Candra et al., 2016, 2017, 2019, 2020; Candra & Kustiyo, 2013; Prabowo et al., 2020), berbasis geometri (Candra et al., 2014), maupun berbasis AI (Candra, Prabowo, et al., 2023; Prabowo, Candra & Maulana, 2021) digunakan untuk memperoleh hasil akurasi tinggi. Saripati riset-riset dan pengembangannya mulai awal hingga terbaru disampaikan sebagai berikut.

#### **A. Pengembangan Metode Deteksi Awan untuk Citra Satelit Resolusi Menengah**

Pengembangan metode deteksi awan dan bayangannya sangat penting dan diperlukan (Mahajan & Fataniya, 2020) untuk citra satelit resolusi menengah karena tutupan awan dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan informasi yang dibutuhkan pada

citra tersebut. Studi dan pengembangan koreksi radiometrik untuk resolusi menengah yang telah dilakukan (Rahayu & Candra, 2014; Ulfa et al., 2020) bertujuan untuk memperbaiki nilai reflektan pada citra tersebut belum cukup untuk mengatasi tutupan awan dan bayangannya. Pengembangan metode deteksi awan dan bayangannya untuk citra satelit resolusi menengah yang dilakukan meliputi pengembangan metode deteksi awan dan bayangannya untuk citra satelit Landsat-8 dan Sentinel-2. Kedua citra satelit ini dipilih karena paling banyak digunakan oleh ilmuwan, peneliti dan pengguna lainnya. Untuk data Landsat level 1 telah diunduh sebanyak 195 juta pada tahun 2008-2023 (USGS, 2024). Disamping itu, kedua data di atas telah diimplementasikan berbasis penelitian pada sektor kehutanan (Candra, 2020), pertambangan (Susantoro et al., 2023), lingkungan (Candra, 2011a; Sakti et al., 2023), perubahan tutupan lahan (Fidiyawati & Candra, 2014), kesesuaian lahan (Marwoto & Candra, 2007), dan kebencanaan (Nugroho et al., 2023, 2021; Prabowo, Sakti, et al., 2022).

Metode deteksi awan untuk citra satelit penginderaan jauh resolusi menengah telah dikembangkan, menggunakan dua jenis citra satelit Landsat-8 dan Sentinel-2 yang banyak digunakan bukan hanya di Indonesia tetapi juga di dunia internasional (Candra et al., 2019, 2020). Pemilihan kedua jenis citra satelit tersebut yakni agar metode yang dibangun dapat memberikan kemanfaatan yang luas. Selain itu, pengembangan metode deteksi ini tidak hanya untuk awan saja, tetapi juga untuk bayangan awan (Candra et al., 2019, 2020). Bayangan awan juga menjadi gangguan dalam kegiatan analisis karena dapat

mengurangi atau bahkan dapat menghilangkan informasi yang dibutuhkan. Pengembangan metode deteksi awan dan bayangannya ini diterapkan tidak hanya untuk wilayah tropis seperti di Indonesia saja, tetapi di wilayah global dengan beberapa area yang mewakili negara-negara bagian sub-tropis selatan, tropis dan sub-tropis utara (Candra et al., 2019, 2020). Hal ini bertujuan untuk menguji kehandalan dari metode yang dibangun. Selain itu, juga untuk memberikan kemanfaatan yang lebih luas, karena dapat digunakan pada skala lokal ataupun regional, maupun global.

Pada riset yang telah dilakukan, ditemukan metode deteksi awan untuk citra Landsat-8 berbasis citra multitemporal yang dinamakan *multitemporal cloud masking* (MCM) (Candra et al., 2016) dan kemudian diperbaiki (Candra et al., 2019) guna meningkatkan akurasi dan peruntukan agar dapat digunakan tidak hanya untuk wilayah tropis saja, namun juga untuk wilayah global. Berbeda dengan metode deteksi awan berbasis data tunggal yang hanya menggunakan satu citra saja, metode berbasis multitemporal menggunakan lebih dari satu citra. Prinsip dasar dari metode MCM yang dikembangkan adalah memanfaatkan perbedaan antara nilai reflektan citra target dan citra referensi untuk deteksi awan dan bayangan awan.

Langkah pertama adalah deteksi awan tipis, *haze* dan *cirrus* menggunakan formula Hot-Test dan nilai reflektan pada kanal 9. Langkah kedua adalah mendeteksi awan tebal dengan memanfaatkan selisih nilai reflektan dari kanal 2, 3, dan 4, serta nilai temperatur kecerahan (*brightness temperature*). Langkah

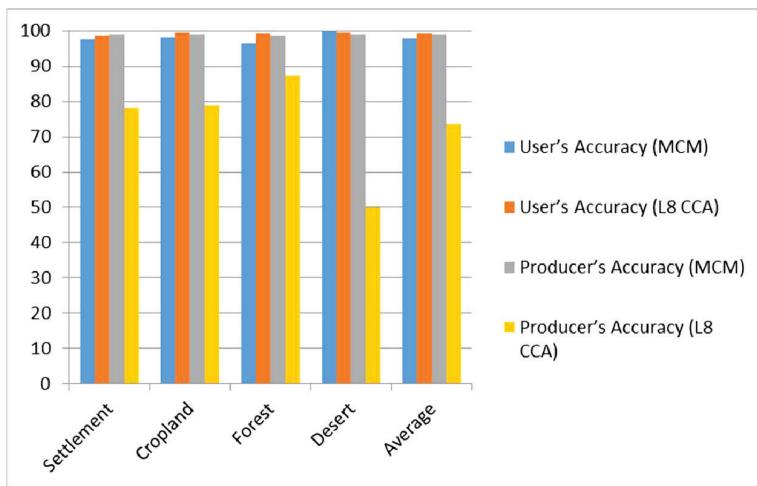
ketiga, yakni memisahkan daratan dan lautan menggunakan nilai ketinggian dari data ketinggian pada *digital elevation model* (DEM). Langkah keempat, yakni deteksi bayangan di atas lautan menggunakan selisih absolut dari kanal 2 dan 3, serta selisih dari kanal 3 dan kanal 5. Langkah terakhir yakni deteksi bayangan awan di atas daratan menggunakan selisih dari nilai reflektan kanal 5 dan 11, dan nilai reflektan dari kanal 2. Hasil akhirnya, yakni pengkelasan dengan kelas awan, bayangan awan dan non-awan untuk citra Landsat 8. Metode deteksi awan yang ditemukan ini dinilai handal karena mempunyai akurasi yang tinggi (akurasi rata-rata > 96%). Selain itu, metode ini dapat digunakan semua jenis awan, baik awan yang berada di atas daratan maupun lautan (Candra et al., 2019).

Untuk mengetahui kehandalan dari metode MCM, dipilih daerah penelitian di wilayah global yakni berbagai wilayah dengan kondisi lingkungan yang berbeda, baik tropis, sub-tropis utara, maupun sub-tropis selatan. Selain itu, citra satelit Landsat-8 dipilih dari citra-citra yang mempunyai tutupan awan beragam, baik awan tebal maupun awan tipis yang sulit untuk dideteksi karena transparan terhadap tutupan lahan di bawahnya (Richter et al., 2011). Citra-citra yang dipilih juga mempunyai tutupan lahan yang bervariasi, sehingga metode MCM dapat dibuktikan kehandalannya, baik dari sisi keragaman jenis awan, maupun tutupan lahan. Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk deteksi awan dan bayangannya yang berada di atas daratan maupun lautan yang jarang dilakukan metode lain. Hasil metode deteksi awan dan bayangannya ini mempunyai akurasi tinggi (akurasi rata-rata > 96%).

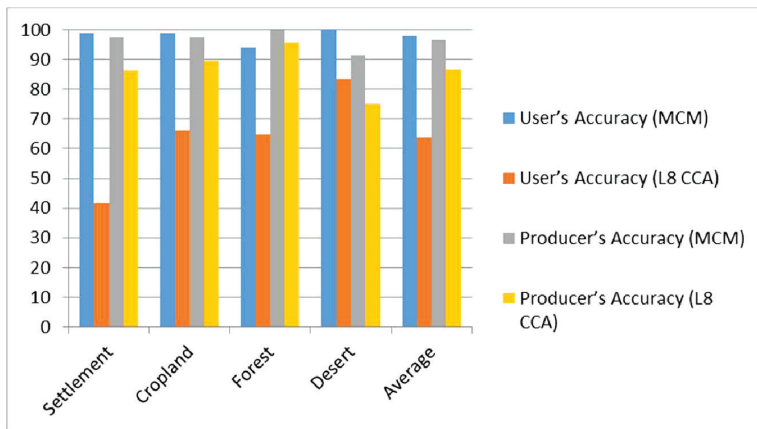
Untuk menunjukkan kehandalan dari MCM, dilakukan juga perbandingan hasil akurasi deteksi awan dengan menggunakan metode MCM dan L8 CCA yang merupakan metode standar yang dipakai oleh USGS (*United States Geological Survey*, sebagai produsen citra Landsat-8) dalam menghasilkan kanal *quality assessment* (QA) yang di dalamnya terdapat kanal *cloud masking* yang digunakan untuk mendeteksi awan dan bayangan awan pada citra Landsat-8. Hasilnya menunjukkan bahwa akurasi MCM lebih tinggi secara signifikan dibandingkan L8 CCA untuk deteksi awan pada berbagai penutup lahan, khususnya pada *producer's accuracy* (lihat Gambar 3(a)). Misalnya pada kelas *settlement*, MCM menghasilkan *producer's accuracy* 99%, sedangkan L8 CCA menghasilkan 78%. Pada deteksi bayangan awan, Gambar 3(b) menunjukkan bahwa MCM mempunyai akurasi lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan L8 CCA pada berbagai penutup lahan, baik pada *user's accuracy* maupun pada *producer's accuracy*. Misalnya pada kelas *settlement*, MCM menghasilkan *producer's accuracy* 97%, sedangkan L8 CCA menghasilkan 86% (Candra et al., 2019).

Di sisi lain, MCM juga dapat mendeteksi awan dan bayangannya dengan baik pada citra satelit Landsat-8 dengan berbagai jenis awan dan berbagai lingkungan baik tropis, subtropis selatan, maupun subtropis utara (Candra et al., 2019). Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Pada Gambar 4, warna merah menunjukkan hasil deteksi awan dan warna biru menunjukkan hasil deteksi bayangan awan.





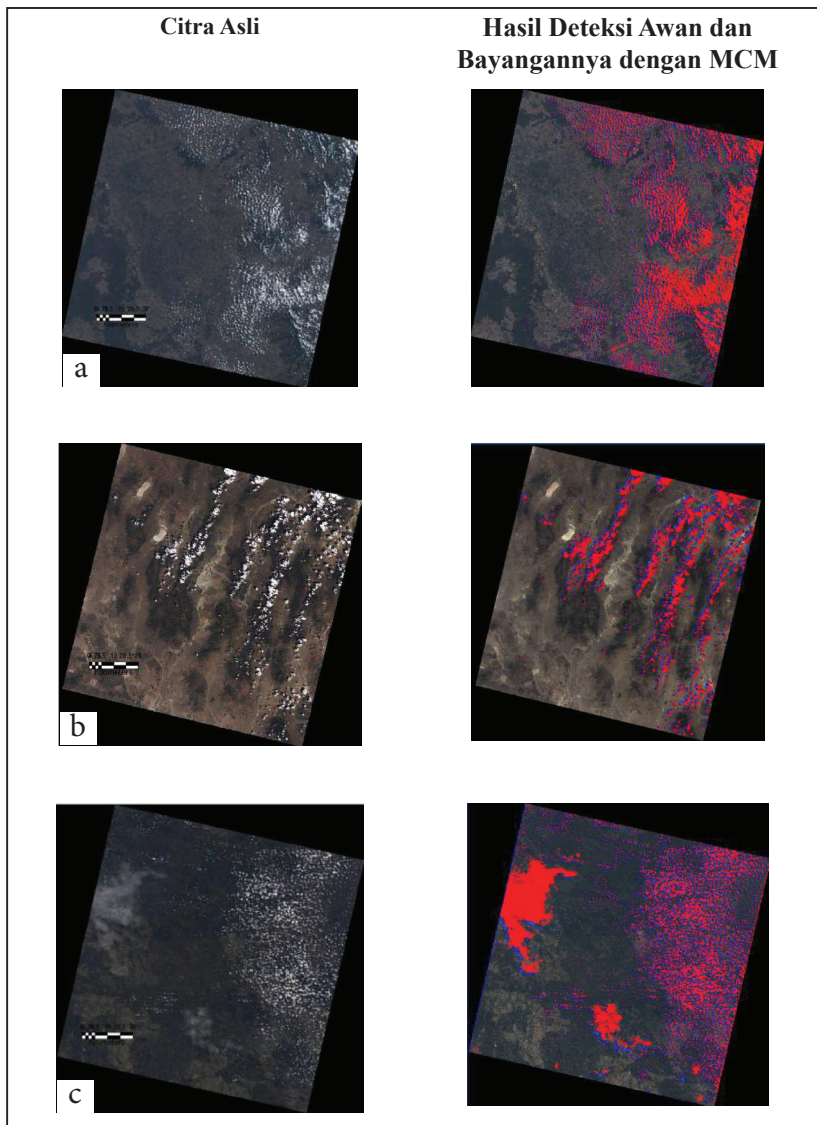
(a)



(b)

Sumber: Candra dkk. (2019)

**Gambar 3** (a) Perbandingan hasil akurasi deteksi awan dan (b) deteksi bayangan awan menggunakan MCM dan L8 CCA



Sumber: Candra dkk. (2019)

**Gambar 4** Hasil deteksi awan dan bayangannya di wilayah global dengan beragam tipe awan dan lingkungan berbeda di wilayah (a) subtropis selatan, (b) subtropis utara, dan (c) tropis.

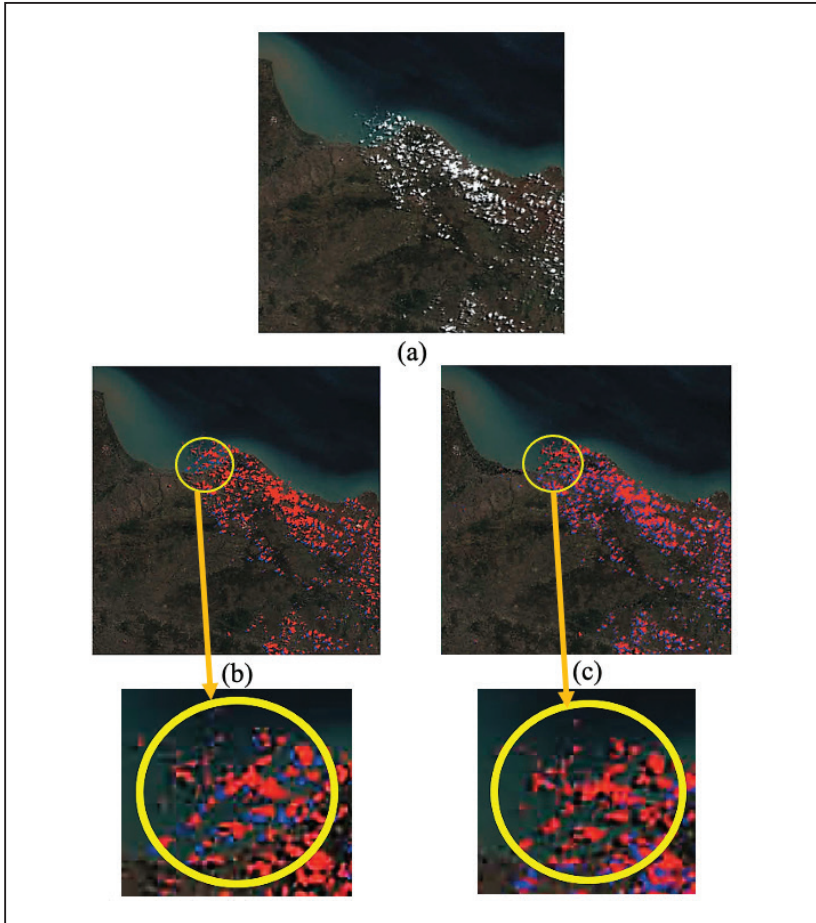
Selain itu, pengembangan metode deteksi awan dikembangkan juga pada citra satelit Sentinel-2 (Candra et al., 2020). Citra Sentinel-2 merupakan data yang sangat perlu dikaji untuk metode deteksi awan karena merupakan data komplemen bagi data yang sudah ada seperti Landsat-8 sehingga penggabungan secara *time series* kedua data tersebut membuat resolusi temporal menjadi lebih tinggi guna mendukung keperluan monitoring menggunakan analisis *time series*. Selain itu, citra satelit Sentinel-2 merupakan data yang tidak berbayar dan banyak penggunaannya. Meskipun demikian, tutupan awan pada citra Sentinel-2 merupakan kendala utama dalam pemanfaatan data tersebut khususnya pada lingkungan tropis. Perbedaan deteksi awan dan bayangannya untuk citra Sentinel-2 dibandingkan metode sebelumnya untuk citra Landsat-8 yakni pengoptimalan kanal-kanal yang dimiliki karena tidak dimilikinya kanal penting untuk deteksi awan yaitu kanal termal. Tantangan yang dihadapi dalam membangun metode ini adalah tidak adanya kanal termal pada citra satelit Sentinel-2 yang umumnya dapat menaikkan akurasi yang signifikan dalam mendeteksi awan. Pengoptimalan algoritma deteksi awan dengan menggunakan kanal cirrus dan kanal *visible* yang digunakan untuk deteksi awan.

Langkah pertama adalah mendeteksi awan tipis, *haze* dan cirrus menggunakan formula Hot-Test dan nilai reflektan pada kanal cirrus. Langkah kedua, deteksi awan tebal dengan memanfaatkan selisih nilai reflektan dari kanal 2, 3 dan 4. Langkah ketiga, memisahkan daratan dan lautan menggunakan nilai ketinggian dari data ketinggian yaitu *digital elevation model* (DEM). Langkah keempat, deteksi bayangan di atas

lautan menggunakan selisih absolut dari kanal 2 dan 3, selisih dari kanal 3, dan nilai reflektan pada kanal 5. Langkah kelima, deteksi bayangan awan di atas daratan menggunakan selisih dari nilai reflektan kanal 8A dan 11, dan nilai reflektan kanal 2. Langkah terakhir, menggunakan nilai selisih absolut nilai reflektan dari kanal 2 dan 3, selisih nilai reflektan kanal 3, dan informasi reflektan pada kanal 8A untuk deteksi bayangan di atas lautan. Hasil akhir berupa pengkelasan awan, bayangan awan dan non-awan untuk citra Sentinel-2. Metode deteksi awan yang ditemukan ini handal karena mempunyai akurasi yang tinggi (akurasi rata-rata  $> 97\%$ ). Selain itu, metode ini dapat digunakan semua jenis awan dan berlaku untuk awan yang berada di atas daratan dan lautan (Candra et al., 2020).

Untuk membuktikan kehandalan dari metode yang dibangun, dipilih area penelitian dari area global, yaitu mengambil area di negara-negara tropis, sub-tropis utara, dan sub-tropis selatan. Selain itu, citra satelit Sentinel-2 yang dipilih mempunyai jenis awan yang beragam dan tutupan lahan yang bervariasi yang menjadi tantangan lain dalam membangun metode ini. Hasil deteksi awan dan bayangannya pada area global ini mempunyai akurasi tinggi, yakni akurasi rata-rata deteksi awan  $> 97\%$  dan akurasi rata-rata deteksi bayangan awan  $> 98\%$ ). (Candra et al., 2020). Hasil deteksi awan dan bayangannya untuk citra satelit Sentinel-2 dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar ini menunjukkan perbandingan hasil deteksi awan dan bayangannya dari metode MCM dan Fmask secara visual (per scene) dari Sentinel-2 di wilayah global. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa metode MCM dapat mendeteksi awan dengan lebih akurat (akurasi

rata-rata  $> 97\%$ ) dibandingkan metode Fmask (akurasi rata-rata  $> 94\%$ ). khususnya pada wilayah perairan (ditunjukkan dengan lingkaran kuning).



Sumber: Candra dkk. (2020)

**Gambar 5** Perbandingan hasil MCM dan hasil Fmask secara visual (per *scene*) Sentinel-2. (a) Citra Sentinel-2, (b) Hasil MCM, dan (c) Hasil Fmask. Warna merah menunjukkan awan dan warna biru menunjukkan bayangan awan.

## B. Pengembangan Metode Deteksi Awan untuk Data CSRT dan CSRST

Pemanfaatan data CSRT/CSRST semakin luas di berbagai sektor misalnya pada sektor perkebunan (Prabowo, et al., 2022), klasifikasi penutup lahan (Wei Zhang et al., 2019), deteksi bangunan (You et al., 2018), kehutanan (Piermattei et al., 2018), pesisir dan lautan (Marcello et al., 2018; Marmorino & Chen, 2019), serta kebencanaan (J. Li et al., 2005). Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, ketersediaan data CSRT/CSRST siap pakai harus dijamin keberlanjutannya. Berbagai metode pengolahan data siap pakai CSRT/CSRST telah dikembangkan seperti koreksi geometrik (Candra, 2011b; Maftukhaturrizqoh et al., 2023; Sartika, Brahmantara, et al., 2023), koreksi radiometrik (Sartika, et al., 2023), koreksi topografi (Bayanuddin et al., 2021), teknik *color balancing* (Ulfa et al., 2023), teknik *denoising* (Candra, 2008), teknik *pansharpening* (Candra, 2013) dan kompresi data (Candra et al., 2023).

Pengembangan metode yang dilakukan (Candra, 2011b) yakni pengembangan teknik normalisasi dan denormalisasi pada metode RPC yang membuat proses *Rational Polynomial Coefficients* (RPC) lebih sederhana pada tahap normalisasi dan denormalisasi, sehingga proses orthorektifikasi citra satelit penginderaan jauh lebih cepat dan efisien, serta mudah diaplikasikan. Selain itu, telah dikembangkan evaluasi otomatis geometrik subpiksel untuk citra satelit resolusi sangat tinggi menggunakan algoritma *phase cross-correlation*, yang umumnya evaluasi geometrik dilakukan secara manual (Sartika, Brahmantara, Candra, et al., 2023). Pengembangan teknik

*color balancing* dilakukan (Ulfa, Candra et al., 2023) dengan menambahkan pendekatan baru yaitu *local mean adjustment* sebelum proses *histogram machining* menggunakan *histogram specification*. Hasilnya menunjukkan bahwa teknik tersebut memperbaiki keseimbangan warna dan kontras pada setiap *scene* citra satelit resolusi sangat tinggi Pleiades.

Guna mengurangi gangguan berupa *noise* pada citra satelit resolusi sangat tinggi WorldView-1, (Candra, 2008) digunakan *stationery wavelet transform* (SWT) untuk menghilangkan *noise*, memberikan hasil yang baik tanpa mengurangi kualitas citra secara signifikan. Guna meningkatkan resolusi spasial pada citra satelit penginderaan jauh, evaluasi teknik *pansharpen* dilakukan oleh (Candra, 2013) untuk merekomendasikan metode yang handal untuk proses *pansharpen*. Citra satelit resolusi sangat tinggi Pleiades Neo mempunyai volume sangat besar, sehingga untuk memprosesnya akan sangat berat, sehingga dilakukan evaluasi atas metode kompresi untuk citra Pleiades Neo (Candra et al., 2023). Hasilnya menunjukkan bahwa volume citra Pleiades Neo berkurang hingga 95% tanpa mengurangi kualitas citra secara signifikan.

Selain itu, untuk menjamin ketersediaan data siap pakai CSRT/CSRST, diperlukan pengembangan metode deteksi awan untuk mengatasi tutupan awan yang merupakan kendala utama dalam pemanfaatan dan analisis data CSRT/CSRST. Pengembangan metode deteksi awan untuk data CSRT/CSRST telah dilakukan guna mengatasi masalah tutupan awan pada citra satelit tersebut. Pengembangan ini meliputi pengembangan metode deteksi

awan untuk citra satelit resolusi tinggi SPOT 6 dan citra satelit resolusi sangat tinggi Pleiades.

Berbeda dengan citra satelit resolusi menengah yang mempunyai kanal banyak dan beragam, data CSRT/CSRST pada umumnya mempunyai kanal terbatas. Keterbatasan tersebut menjadi kendala dalam membangun metode deteksi awan karena kanal termal yang efektif digunakan untuk mendeteksi awan, tidak dimiliki CSRT/CSRST.

Metode deteksi awan untuk CSRT yang dikembangkan oleh (Candra et al., 2014) yakni mengkombinasi dua pendekatan, yakni berbasis nilai reflektan dan berbasis geometri. Pada pendekatan pertama, deteksi awan dan bayangannya dideteksi secara bertahap. Pertama, kanal *near-infrared* digunakan untuk memisahkan awan dengan air, bayangan awan, dan non-awan (*clear*), serta kelas bayangan awan yang mempunyai level ketidakpastian kelas bayangan awan (*uncertain*-bayangan awan). Kemudian, kanal biru digunakan untuk memisahkan awan dan non awan yang meliputi lahan terbuka, *clear objects* dan kelas awan yang mempunyai level ketidakpastian kelas awan (*uncertain*-awan).

Pendekatan berbasis nilai reflektan masih menghasilkan kelas yang mempunyai level ketidakpastian, dan poligon-poligon dengan ukuran sangat kecil yang umumnya merupakan kesalahan (*error*) dari hasil klasifikasi, sehingga perlu diperbaiki. Pendekatan berbasis geometri memperbaiki kekurangan tersebut dengan dua langkah utama, yaitu filter *minority* (minoritas) dan *confidence test* (uji kepercayaan). Filter minoritas pada proses ini



digunakan untuk menghilangkan poligon-poligon yang sangat kecil, sedangkan *confidence test* digunakan untuk memastikan kelas yang mempunyai level ketidakpastian menjadi kelas yang pasti yaitu awan maupun bayangan awan. Uji kepercayaan ini menggunakan fungsi geometri yaitu jarak antara *uncertain*-awan dan bayangan awan. Persyaratan jarak keduanya  $\leq 2$  piksel, atau luas *uncertain*-awan  $< 100$  piksel dan jarak antara *uncertain*-awan dan bayangan  $< 40$  piksel, atau luas *uncertain*-awan  $< 10$  piksel dan jarak antara *uncertain*-awan dan bayangan  $< 20$  piksel, maka kelas *uncertain*-awan menjadi kelas awan. Jika tidak memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut, maka kelas *uncertain*-awan menjadi kelas non awan atau *clear objects*.

Uji kepercayaan juga digunakan untuk memastikan kelas bayangan awan. Persyaratan jarak antara awan dan *uncertain*-bayangan awan  $\leq 200$  piksel, atau luas *uncertain*-bayangan awan  $< 1000$  piksel dan jarak antara awan dan *uncertain*-bayangan awan  $< 40$  piksel, atau luas *uncertain*-bayangan awan  $< 50$  piksel dan jarak antara awan dan *uncertain*-bayangan  $< 20$  piksel, maka kelas *uncertain*-awan menjadi kelas bayangan awan. Jika tidak memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut, maka kelas *uncertain*-bayangan awan menjadi kelas non bayangan awan atau *clear*.

Berdasarkan penilaian kuantitatif, hasil evaluasi menggunakan *confusion matrix* menunjukkan bahwa metode yang dikembangkan menghasilkan *ommision error* kecil, sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan untuk mendukung mosaik tutupan awan minimum. Di sisi lain, *commision error*

untuk deteksi awan juga kecil, sehingga dapat digunakan untuk menghitung tutupan awan pada SPOT-6 dengan akurat.

Untuk menilai keberhasilan dari metode deteksi awan dengan kombinasi pendekatan berbasis reflektan dan pendekatan berbasis geometri, maka dilakukan perbandingan antara metode tersebut dengan metode pendekatan berbasis reflektan saja. Hasil dari deteksi awan dan bayangannya dengan kombinasi pendekatan berbasis reflektan dan pendekatan berbasis geometri mempunyai akurasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode pendekatan berbasis reflektan saja.

Pengembangan teknologi deteksi awan metode deteksi awan untuk CSRT dilakukan oleh (Prabowo, Candra & Ali., 2020) menggunakan pendekatan indeks spektral menggunakan citra satelit Pleiades. Nilai spektral yang mempresentasikan awan yang beragam diidentifikasi dan dimodelkan sehingga dapat digunakan untuk deteksi awan dengan akurat. Tantangan yang dihadapi dalam membangun metode deteksi awan untuk CSRT/CSRST adalah keterbatasan jumlah kanal yang umumnya hanya mempunyai empat kanal multispektral yaitu tiga kanal *visible* dan satu kanal *near infrared* (NIR). Selain itu, keterbatasan data CSRT/CSRST yaitu tidak mempunyai kanal termal yang efektif digunakan untuk mendeteksi awan. Pada pengembangan metode ini digunakan citra satelit Pleiades yang mempunyai empat kanal multispektral dan satu kanal pankromatik. Metode deteksi awan untuk CSRT/CSRST yang dibangun menggunakan pendekatan indeks spektral dengan mengkombinasikan *Whiteness Test* dan *Modified Haze Optimized Transformation* (HOT) test.

Deteksi awan dengan metode yang dikembangkan diterapkan pada citra Pleiades yang memiliki tutupan lahan yang beragam untuk mengevaluasi keandalan metode tersebut. Hasil deteksi awan memperlihatkan bahwa metode yang dikembangkan dapat mendeteksi awan tebal dan awan tipis pada area hutan. Selain itu, metode ini juga berhasil mendeteksi awan pada lahan pertanian.

### **C. Pengembangan Metode Deteksi Awan Menggunakan *Artificial Intelligence* (AI)**

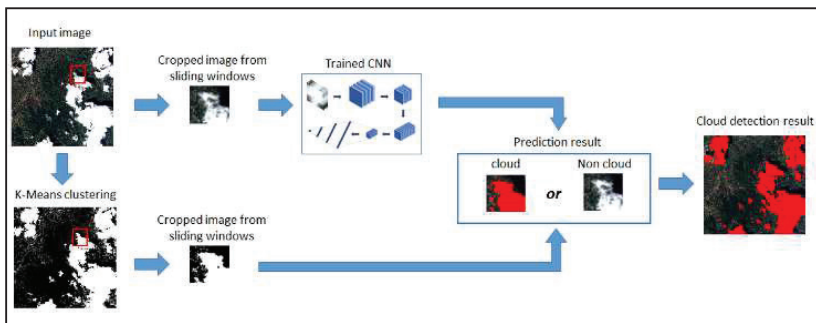
*Deep learning* adalah salah satu bagian dari *machine learning* yang saat ini sangat populer dan berkembang pesat. Metode *deep learning* yang telah digunakan untuk mendukung pengembangan riset metode deteksi awan untuk data CSRT adalah *convolution neural network* (CNN) dan U-Net. U-Net adalah skema segmentasi semantik berbasis CNN yang dirancang untuk belajar dari dataset yang lebih sedikit.

Pengembangan metode deteksi awan untuk data CRST menggunakan AI, (Prabowo, Candra & Maulana., 2021) telah dikembangkan CNN dan K-means yang dimodifikasi untuk deteksi awan pada citra SPOT 6/7 (lihat Gambar 6). Metode ini bertujuan untuk deteksi awan dan non-awan pada citra SPOT 6/7 dengan hasil akhir berupa pengkelasan awan dan non-awan. Metode ini mempunyai tiga proses utama, yakni (1) *clustering* citra SPOT 6/7 yang bertujuan untuk proses deteksi awal piksel-piksel yang berpotensi sebagai awan; (2) mencari bobot pada CNN sehingga diperoleh model CNN untuk deteksi awan; dan

(3) prediksi kelas awan dan non-awan dengan model CNN yang dihasilkan pada langkah kedua.

Citra satelit optik resolusi tinggi SPOT 6/7 digunakan sebagai data masukan pada proses deteksi awan. Citra tersebut digunakan untuk pengambilan *training dataset* yang berupa objek awan baik awan tebal maupun awan tipis, dan objek non-awan. *Training dataset* ini digunakan untuk mencari bobot dalam memperoleh model CNN. Awan tebal dan awan tipis dikelaskan menjadi satu yakni kelas awan, selain itu objek dikelaskan sebagai kelas non-awan.

Dataset yang digunakan untuk melatih model CNN ini dikumpulkan dari beberapa citra SPOT 6/7 dengan ukuran  $15 \times 15 \times 3$  piksel dengan tiga kanal merah, hijau, dan biru yang diskalakan dari 12-bit unsigned integer menjadi 8-bit. Jumlah total dataset training yang terkumpul mencapai 15000 citra dengan rasio citra positif dan citra negatif masing-masing 40% dan 60%.



Sumber: Prabowo, Candra & Maulana. (2021)

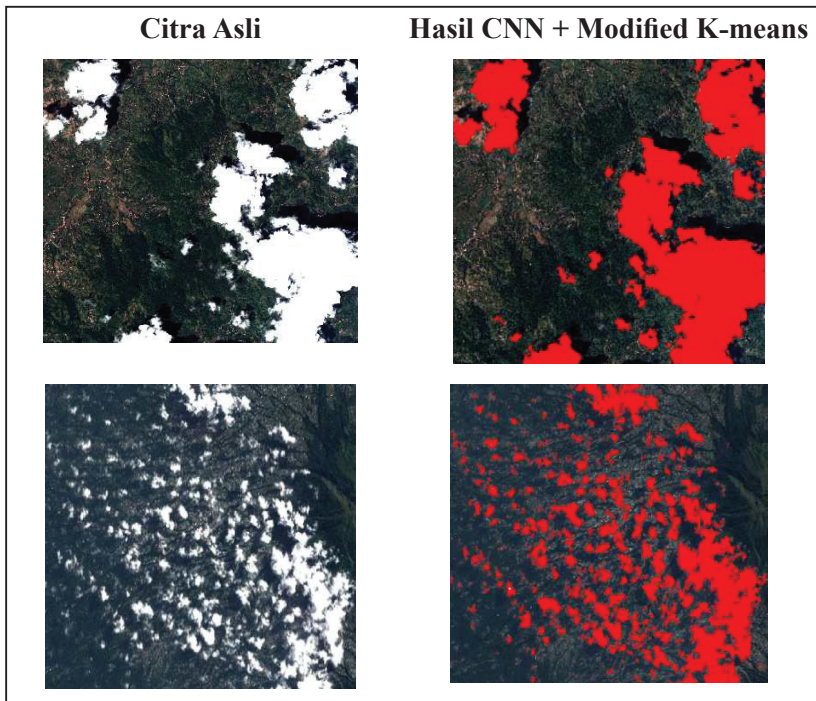
**Gambar 6** Proses Deteksi Awan pada *Framework* yang Dikembangkan

Pada proses pertama, proses *clustering* dilakukan pada citra satelit SPOT 6/7 dengan menggunakan K-means yang dimodifikasi untuk keperluan deteksi awan. Hasil dari proses ini adalah citra dengan dua *cluster*, yaitu *cluster* piksel-piksel yang berpotensi sebagai awan dan *cluster* piksel-piksel yang berpotensi sebagai non-awan. Kemudian hasil dari proses *clustering* tersebut diintegrasikan dengan hasil dari proses klasifikasi CNN untuk mendelineasi area awan pada citra SPOT 6/7 agar garis batas poligon awan lebih halus dan sama atau mendekati poligon awan sebenarnya. Hasil akhir proses ini berupa pengkelasan awan dan non-awan. Pembangunan algoritma K-means yang dimodifikasi merupakan *state of the art* pada metode deteksi awan ini.

Pada proses *clustering*, dilakukan perbandingan antara K-means orisinal dan K-means yang dimodifikasi. K-means orisinal mengelompokkan citra menjadi awan tebal, awan tipis, dan non-awan. Pada pengelompokan non awan, terjadi *over confident* yaitu mengklasifikasikan lahan terbuka dan permukiman menjadi kelas awan. Sebaliknya, K-means yang dimodifikasi berhasil mendeteksi lahan terbuka dan permukiman menjadi kelas non awan. Selain itu, K-means orisinal gagal mendeteksi awan tipis di beberapa lokasi, sedangkan K-means yang dimodifikasi berhasil mengidentifikasi awan tipis secara akurat, sehingga K-means yang dimodifikasi lebih akurat dibandingkan K-means orisinal.

Pada proses selanjutnya adalah melakukan pelatihan (*training*) model *deep learning* untuk mendapatkan parameter dengan kesalahan minimum pada hasil klasifikasi. Proses

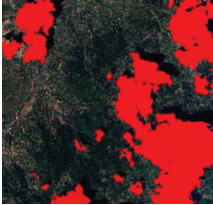
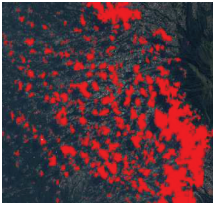
ini mempunyai dua bagian utama yaitu *feed forward* dan propagasi balik. Prediksi kelas yang diperoleh pada proses *feed forward* dapat dihitung nilai *loss error*. Nilai tersebut dapat diminimalkan dengan propagasi balik yang merupakan proses berulang menggunakan semua dataset *training* yang menghasilkan parameter jaringan yang diperbarui hingga sesuai untuk proses klasifikasi awan dan non awan. Hasil deteksi awan menggunakan CNN + K-means yang dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 7.

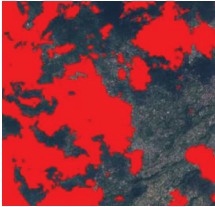


Sumber: Prabowo, Candra & Maulana. (2021)

**Gambar 7** Hasil deteksi awan dengan menggunakan metode yang dikembangkan yaitu CNN + K-means yang dimodifikasi. Warna merah menunjukkan kelas awan.

**Tabel 1.** Perbandingan Akurasi Hasil Deteksi Awan

| No | Hasil Deteksi Awan   | SLIC+CNN   | K-means + CNN  | Modified K-means + CNN   |
|----|--|--|--|--|
| 1  |   | Precision = 0.97<br><br>Recall = 0.91<br><br>Overall accuracy = 0.96<br><br>Kappa score = 0.92<br><br><b>F1 score = 0.94</b> | Precision = 0.99<br><br>Recall = 0.87<br><br>Overall accuracy = 0.96<br><br>Kappa score = 0.90<br><br><b>F1 score = 0.93</b> | Precision = 0.94<br><br>Recall = 0.95<br><br>Overall accuracy = 0.97<br><br>Kappa score = 0.93<br><br><b>F1 score = 0.95</b> |
| 2  |  | Precision = 0.82<br><br>Recall = 0.69<br><br>Overall accuracy = 0.89<br><br>Kappa score = 0.68<br><br><b>F1 score = 0.75</b> | Precision = 0.99<br><br>Recall = 0.55<br><br>Overall accuracy = 0.89<br><br>Kappa score = 0.65<br><br><b>F1 score = 0.71</b> | Precision = 0.95<br><br>Recall = 0.82<br><br>Overall accuracy = 0.94<br><br>Kappa score = 0.85<br><br><b>F1 score = 0.88</b> |

| No | Hasil Deteksi Awan  | SLIC+CNN   | K-means + CNN  | Modified K-means + CNN   |
|----|---|--|--|--|
| 3  |  | Precision = 0.77<br>Recall = 0.84<br>Overall accuracy = 0.82<br>Kappa score = 0.64<br><b>F1 score = 0.80</b> | Precision = 0.99<br>Recall = 0.46<br>Overall accuracy = 0.76<br>Kappa score = 0.48<br><b>F1 score = 0.63</b> | Precision = 0.91<br>Recall = 0.92<br>Overall accuracy = 0.92<br>Kappa score = 0.85<br><b>F1 score = 0.91</b> |

Untuk membuktikan kehandalan metode deteksi awan untuk CSRT yang dibangun, diperlukan metode pembandingan. *Simple linear iterative clustering* (SLIC) + CNN merupakan salah satu metode deteksi awan untuk citra satelit penginderaan jauh resolusi tinggi yang paling populer dan handal (*prior art*). Metode ini menggunakan metode SLIC pada tahap segmentasi untuk menghasilkan super-piksel yang tersegmentasi yang kemudian diprediksi menjadi kelas awan dan non-awan oleh CNN. Metode ini dapat mendeteksi awan dan non-awan dengan akurasi yang tinggi (overall accuracy = 0.91%). Walaupun demikian, metode ini mempunyai kelemahan yaitu hasil dari proses segmentasi berupa super-piksel yang dihasilkan kurang kompak dan kurang teratur, dan tidak melekat dengan baik pada batas wilayah awan.

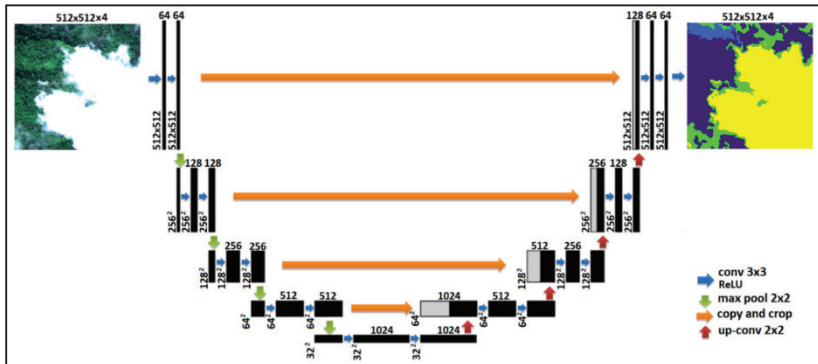


Kelebihan lain dari metode ini adalah mengatasi kendala keterbatasan jumlah kanal pada citra satelit resolusi tinggi, dan terbukti dapat mendeteksi awan pada citra SPOT 6/7 dengan akurasi yang tinggi (*overall accuracy* = 96%). Selain itu, metode deteksi awan yang dikembangkan ini sudah otomatis, sehingga prosesnya lebih efisien dalam implementasinya dan mendukung operasional deteksi awan untuk citra satelit resolusi tinggi khususnya SPOT 6/7.

Di sisi lain, pengembangan teknologi deteksi awan untuk data CSRST secara global pada umumnya hanya metode untuk mendeteksi awan saja, dan biasanya awan tebal yang cenderung lebih mudah di deteksi daripada awan tipis. Awan tipis lebih sulit dideteksi karena transparan dan terpengaruh nilai reflektans tutupan lahan di bawahnya (Richter et al., 2011). Metode yang telah ada umumnya juga tidak mendeteksi bayangan awan, padahal bayangan awan juga merupakan kendala pada kegiatan analisis lanjut CSRST karena mengurangi informasi atau bahkan menghilangkan informasi pada citra tersebut.

Selanjutnya, untuk menyelesaikan masalah-masalah tersebut merupakan tantangan karena keterbatasan kanal pada CSRST, telah dikembangkan metode deteksi multi-kelas awan meliputi awan tebal, awan tipis, bayangan awan dan non awan oleh (Candra et al., 2023). Data yang digunakan untuk membuktikan kehandalan metode yang dikembangkan adalah citra satelit WorldView-3 yang merupakan CSRST. Metode yang dikembangkan mempunyai empat proses utama yaitu (1) proses awal (*pre-processing*) untuk peningkatan kontras

citra; (2) proses membuat dataset citra; (3) membuat arsitektur U-Net (Gambar 8); dan (4) proses pembelajaran dan klasifikasi menggunakan U-Net.



Sumber: Candra dkk. (2023)

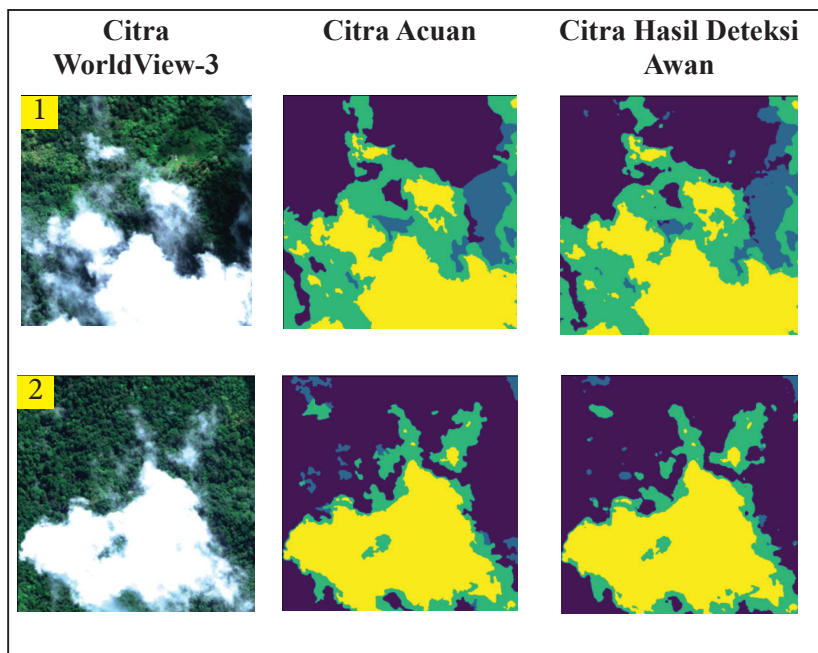
**Gambar 8** Arsitektur U-Net untuk deteksi awan data CSRST

Pada proses awal, proses peningkatan kontras (*contrast enhancement*) dilakukan pada citra WorldView-3 dengan memotong jumlah kumulatif (*cumulative count cut*) dari distribusi nilai digital citra sebesar 2% pada bagian paling kiri dan 2% paling kanan. Setelah itu, setiap nilai piksel diskalakan dari 12-bit *unsigned integer* menjadi 8-bit *unsigned integer* berdasarkan nilai batas diatas ke rentang 0-255. Kemudian hasil dari proses tersebut dijadikan sebagai data masukan untuk proses pembuatan training dataset. Training dataset meliputi kelas awan tebal, awan tipis, bayangan awan dan non awan.

Dataset yang digunakan untuk *training* model U-Net ini terdiri atas 2 jenis yaitu dataset citra dan dataset mask. Dataset

citra adalah dataset hasil dari pemotongan (*cropping*) citra satelit WorldView-3, sedangkan dataset mask adalah dataset yang berisi label kelas awan tebal, awan tipis, bayangan awan dan non awan. Untuk memperkaya dataset dilakukan proses augmentasi dengan teknik membalik citra dataset secara horizontal dan vertikal dan memutarnya dengan sudut  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  dan  $270^\circ$  dan hasil dari proses ini ditambahkan ke dalam dataset.

Proses selanjutnya adalah membuat arsitektur U-Net. Pada arsitektur yang dibuat, U-Net dirancang untuk melakukan proses klasifikasi multi-kelas yaitu mengklasifikasikan citra input 4 kanal (RGBN) menjadi citra output binary 4 kanal. Output dari proses klasifikasi ini merepresentasikan ke salah satu dari empat kelas yaitu awan tebal, awan tipis, bayangan awan, dan non-awan. Pada proses ini, dataset mask yang merupakan data citra *grayscale* yang awalnya terdiri dari 4 kelas diubah terlebih dahulu menjadi data citra binary 4 kanal dengan tiap-tiap kanal merepresentasikan tiap-tiap kelas. Proses perubahan dataset mask tersebut dilakukan sebelum dimasukkan ke model U-Net. Arsitektur model U-Net ini terdiri atas 4 *blok convolution* (*encoder*) dan 4 *blok up-convolution* (*decoder*), dan berakhir dengan citra *binary* yang terdiri atas 4 kanal di lapisan keluaran, baik *blok convolution* maupun *blok up-convolution*. Keluarannya dilewatkan melalui fungsi aktivasi ReLU (*Rectified Linier Unit*) untuk mengubahnya menjadi *non-linier*, sedangkan fungsi aktivasi pada lapisan terakhir adalah fungsi *softmax*. Hasilnya berupa nilai tingkat kepercayaan untuk masing-masing kelas yang mempresentasikan kelas awan tebal, awan tipis, bayangan awan, dan non-awan. Hasil deteksi multi-kelas awan ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Sumber: Candra dkk. (2023)

**Gambar 9** Hasil deteksi multi-kelas awan dan akurasinya. Warna kuning: awan tebal, hijau: awan tipis, biru: bayangan awan, dan ungu: non-awan.

**Tabel 2.** Akurasi Hasil Deteksi Awan untuk Citra 1

|                       | Awan<br>Tebal | Awan<br>Tipis | Bayangan<br>Awan | Non-<br>Awan |
|-----------------------|---------------|---------------|------------------|--------------|
| Omission error        | 0.01          | 0.09          | 0.10             | 0.08         |
| Comission error       | 0.04          | 0.07          | 0.23             | 0.04         |
| Producers<br>Accuracy | 0.98          | 0.91          | 0.90             | 0.92         |
| Users Accuracy        | 0.96          | 0.93          | 0.77             | 0.96         |
| Overall accuracy      | 0.93          |               |                  |              |

**Tabel 3.** Akurasi Hasil Deteksi Awan untuk Citra 2

|                       | <b>Awan<br/>Tebal</b> | <b>Awan<br/>Tipis</b> | <b>Bayangan<br/>Awan</b> | <b>Non-<br/>Awan</b> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| Omission error        | 0.01                  | 0.07                  | 0.11                     | 0.07                 |
| Comission error       | 0.02                  | 0.06                  | 0.15                     | 0.04                 |
| Producers<br>Accuracy | 0.99                  | 0.93                  | 0.89                     | 0.93                 |
| Users Accuracy        | 0.98                  | 0.94                  | 0.85                     | 0.96                 |
| Overall accuracy      | 0.95                  |                       |                          |                      |

Kelebihan dari metode yang dikembangkan yakni dapat digunakan untuk deteksi awan tebal, awan tipis, bayangan awan dan non awan pada citra satelit resolusi sangat tinggi yang mempunyai kanal yang terbatas. Hal tersebut dapat mengatasi masalah dalam membangun metode deteksi awan yang terkait keterbatasan jumlah kanal. Kelebihan lainnya adalah hasilnya memiliki akurasi tinggi (Tabel 2 dan 3) pada deteksi awan tebal (>97%), awan tipis (>91%, bayangan awan (>93%). Kelebihan lainnya yakni metode ini dapat digunakan untuk proses otomatisasi sehingga efisien dalam implementasinya dan dapat mendukung keperluan operasional.

#### **D. Pengembangan Metode Pengolahan Citra Satelit Tutupan Awan Minimum**

Deteksi awan merupakan bagian penting dalam pengolahan citra satelit tutupan awan minimum sehingga didapat data citra satelit yang sudah siap pakai (*analysis ready data*, ARD). Proses ini juga merupakan bagian penting dalam mendukung pembuatan citra satelit tutupan awan minimum.

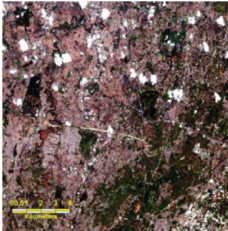





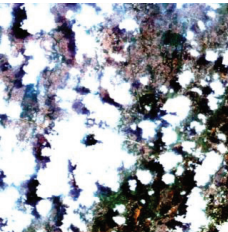

Pengembangan metode pengolahan citra satelit tutupan awan minimum dapat dibagi menjadi dua yaitu berbasis piksel dan berbasis *tile*. Pengembangan algoritma citra satelit tutupan awan minimum berbasis piksel telah dilakukan oleh (Candra & Kustiyo, 2013) dan dikembangkan lebih lanjut oleh (Candra & Prabowo, 2014) dengan memanfaatkan citra Landsat-8 multi-temporal dengan mengambil nilai maksimum *normalized difference vegetation index* (NDVI) untuk wilayah darat dan minimum NDVI untuk wilayah perairan, sehingga diperoleh hasil citra tutupan awan minimum baik di darat maupun di perairan.

Pada pengembangan lebih lanjut, (Candra et al., 2017) mengembangkan metode pengolahan citra satelit tutupan awan minimum berbasis piksel untuk citra satelit resolusi menengah Landsat-8 dengan membangun metode *multitemporal cloud removal* (MCR). Metode ini memanfaatkan hasil dari deteksi awan dan bayangannya pada citra Landsat-8 menggunakan MCM yang telah dikembangkan (Candra et al., 2016), kemudian dilakukan rekonstruksi citra dengan mengisi piksel-piksel awan dan bayangannya dengan piksel-piksel baru, melalui data *time-series*, sehingga meminimalkan efek perubahan lahan pada proses tersebut.

Hasil dari proses pengolahan citra satelit tutupan awan minimum menggunakan MCR menunjukkan bahwa citra-citra dihasilkan bebas awan, sehingga metode ini efektif dalam memproduksi citra satelit tutupan awan minimum (Gambar 10). Pada uji statistik untuk hasil proses MCR menunjukkan bahwa

*correlation coefficient* sebelum dan setelah proses tersebut tinggi, baik pada awan tebal maupun awan tipis. Hal ini menunjukkan bahwa proses MCR tidak merubah citra asli secara signifikan.

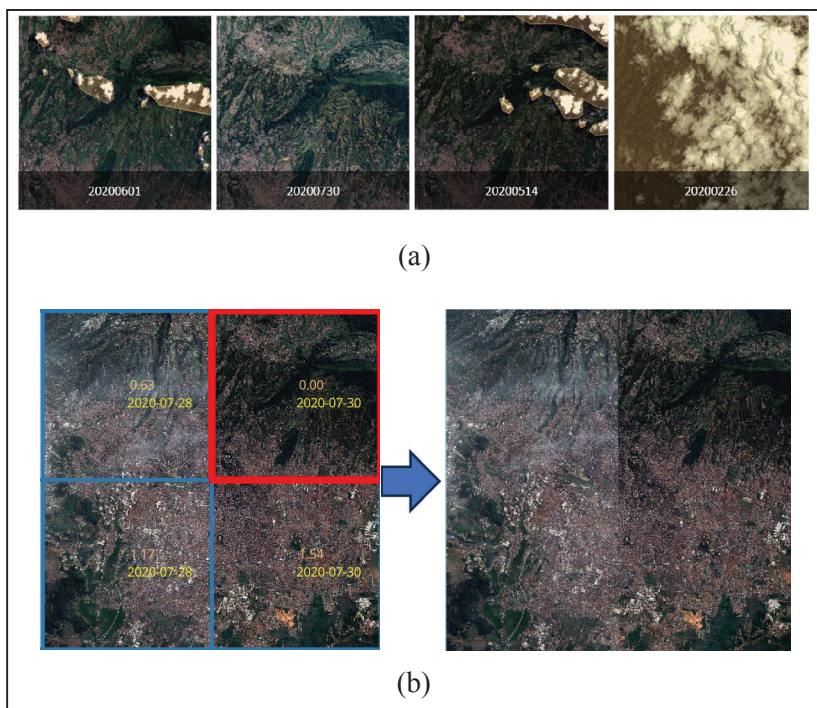
Selain itu, ada teknik lain dalam memperoleh citra satelit tutupan awan minimum, yakni menggunakan mosaik tutupan awan minimum berbasis *tile* (metode mosaik *tile-based*) dengan memanfaatkan informasi tutupan awan yang dapat digunakan untuk membangun produk mosaik tersebut. Perkembangan riset mosaik citra satelit tutupan awan minimum telah dilakukan untuk citra satelit resolusi tinggi (Brahmantara, Candra et al., 2022). Pada pengembangannya, telah dilakukan riset untuk metode mosaik *tile-based* citra SPOT 6/7 tutupan awan minimum. Metode mosaik tutupan awan minimum ini berbasis *tile*, dengan memanfaatkan informasi jumlah tutupan awan disetiap *tile* citra SPOT 6/7 multitemporal untuk memilih citra terbaik yaitu mempunyai tutupan awan minimum. *Tile-tile* yang terpilih kemudian dibuat mosaik dengan batas wilayah yang diinginkan, sehingga hasil akhirnya berupa mosaik *tile-based* SPOT 6/7 tutupan awan minimum. Proses dan hasil mosaik *tile-based* SPOT 6/7 tutupan awan minimum dapat dilihat pada Gambar 11.

| Tanggal<br>Akuisisi              | Citra Target  | Citra Hasil dari MCR  |
|----------------------------------|---|---|
| RI: 13/05/2016<br>TI: 30/06/2016 |    |    |
| RI: 30/06/2016<br>TI: 01/08/2016 |    |    |
| RI: 01/08/2016<br>TI: 17/08/2016 |   |   |
| RI: 17/08/2016<br>TI: 02/09/2016 |  |  |

Sumber: Candra dkk. (2017)

**Gambar 10** Hasil proses MCR pada citra Landsat 8 *time-series*. TI adalah target image (citra yang mempunyai liputan awan, sedangkan RI adalah reference image (citra acuan).



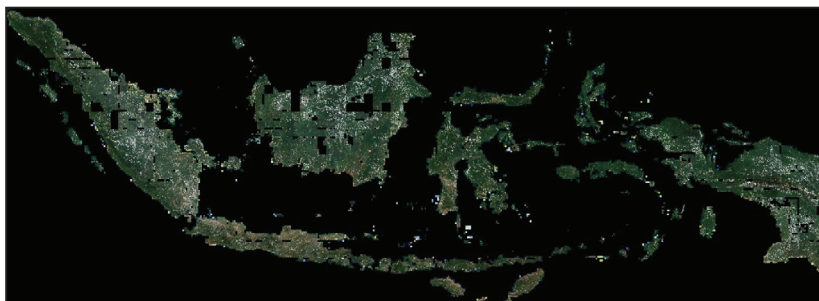


Sumber: Brahmantara, Candra dkk. (2022)

**Gambar 11** (a) Citra SPOT 6/7 multitemporal pada *tile* yang sama, dan (b) Pemilihan *tile* terbaik dan hasil mosaik *tile-based*.

Metode mosaik *tile-based* untuk citra SPOT 6/7 tutupan awan minimum yang dikembangkan menunjukkan bahwa metode ini berhasil menggabungkan *tile-tile* terbaik dengan tutupan awan minimum. *Tile-tile* terbaik tersebut dipilih dari *tile-tile* multitemporal yang mempunyai tanggal akuisisi yang berbeda pada posisi *tile* yang sama. Setelah *tile-tile* terbaik terpilih semua, langkah terakhir adalah menggabungkan *tile-tile* terbaik tersebut. Metode ini juga berhasil membuat

mosaik *tile-based* tutupan awan minimum untuk citra SPOT 6/7 seluruh Indonesia (Gambar 12). Metode ini mempunyai kelebihan dibandingkan metode mosaik konvensional karena mempunyai proses pengolahan lanjut yang lebih ringan dan cepat disebabkan file mosaik terbagi dalam potongan-potongan kecil yang berbentuk *tile*. Mosaik konvensional dengan satu file gabungan akan mempunyai proses pengolahan tingkat lanjut yang sangat berat jika wilayah yang dibuat mosaik luas seperti satuan kabupaten, provinsi, maupun seluruh Indonesia. Selain itu, metode mosaik *tile-based* tutupan awan minimum yang dikembangkan ini juga mempunyai kelebihan lain yaitu dapat menyimpan tanggal akuisisi untuk setiap *tile*, sehingga dapat dimanfaatkan lebih optimal terutama pada kegiatan analisis *time-series* seperti analisis perubahan lahan. Hasil *tile-based* tutupan awan minimum untuk citra SPOT 6/7 seluruh Indonesia ini telah dimanfaatkan oleh Kementerian/Lembaga (K/L), pemerintah daerah, serta perguruan tinggi untuk kebutuhan masing-masing instansi tersebut.



Sumber: Pusat Data dan Informasi (Pusdatin) BRIN

**Gambar 12** Contoh hasil mosaik tutupan awan minimum citra satelit SPOT 6/7 seluruh wilayah di Indonesia



#### IV. KONTRIBUSI TERHADAP PERKEMBANGAN IPTEK CITRA SATELIT OPTIK MULTI-RESOLUSI TUTUPAN AWAN MINIMUM

Rangkaian riset deteksi awan yang telah dilakukan menghasilkan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan IPTEK deteksi awan dan pengolahan tutupan awan minimum untuk citra satelit optik berupa pengembangan metode dan algoritma, serta invensi-invensi yang dipatenkan. Kontribusi ilmiah yang dihasilkan merupakan pemecahan masalah dari keberadaan tutupan awan pada citra satelit optik resolusi menengah, tinggi dan sangat tinggi yang merupakan kendala utama pada kegiatan analisis data penginderaan jauh dan pemenuhan ketersediaan data citra satelit optik siap pakai.

Keberadaan tutupan awan pada citra satelit optik resolusi menengah dengan jenis awan yang beragam dan tutupan lahan yang bervariasi merupakan masalah yang kompleks. Masalah ini menjadi lebih kompleks jika pemecahannya harus berlaku untuk wilayah global. Masalah ini dipecahkan dengan invensi berupa kebaruan/*novelty* yang dihasilkan dari pengembangan metode deteksi awan citra Landsat-8 dan telah dituangkan ke dalam Paten Reguler Nasional (dikabulkan/*granted*) dengan judul “Metode deteksi awan dan bayangannya untuk citra satelit Landsat 8” (Candra, 2022a). *Novelty* dari invensi ini berupa metode deteksi awan dan bayangannya yang berbasis citra multitemporal yang dapat mendeteksi semua jenis awan,

terdiri atas awan tebal, awan tipis, *cirrus* dan *haze* yang berada di atas daratan maupun lautan dari citra Landsat-8. Kelebihan dari invensi ini adalah antara lain dapat diterapkan pada wilayah global baik wilayah tropis, sub-tropis utara, maupun sub-tropis selatan. Kelebihan lain dari invensi ini adalah hasil deteksi awan dan bayangan yang mempunyai akurasi tinggi (akurasi rata-rata  $> 96\%$ ).

Selain itu, pemecahan masalah terhadap keberadaan tutupan awan pada citra satelit optik resolusi menengah juga berlaku pada citra satelit selain citra Landsat-8 yang sering dipakai oleh pengguna yakni citra Sentinel-2. Masalah ini dipecahkan dengan invensi berupa *novelty* yang dihasilkan dari pengembangan metode deteksi awan citra Sentinel-2 dan telah dituangkan ke dalam Paten Reguler Nasional (dikabulkan/*granted*) dengan judul “Metode deteksi awan dan bayangannya untuk citra satelit Sentinel-2” (Candra, 2022b). Deteksi awan dan bayangan pada citra Sentinel-2 merupakan tantangan lain karena tidak adanya kanal termal yang umumnya digunakan pada algoritma deteksi awan. Invensi ini dapat menjawab tantangan tersebut, dan telah terbukti dapat mendeteksi awan dan bayangan untuk citra Sentinel-2 dengan akurasi yang tinggi (akurasi rata-rata  $> 97\%$ ). Invensi ini dapat diterapkan pada lokasi di wilayah global baik di wilayah tropis, sub-tropis utara, maupun sub-tropis selatan.

Di sisi lain, pengembangan metode deteksi awan citra satelit resolusi tinggi, dan atau sangat tinggi menghadapi masalah yang lebih kompleks lagi karena keterbatasan jumlah kanal dan tidak adanya kanal termal pada citra tersebut. Pemecahan

masalah tersebut telah dilakukan dengan menggunakan teknologi AI yang memberikan kontribusi ilmiah dengan menghasilkan invensi untuk menghasilkan metode deteksi awan untuk citra satelit resolusi sangat tinggi. Invensi ini merupakan metode deteksi multi kelas awan menggunakan teknologi AI dan memberikan kontribusi ilmiah dengan menghasilkan invensi dan telah dituangkan ke dalam Paten Reguler Nasional (terdaftar) dengan judul “Metode deteksi multi-kelas awan dan bayangannya dengan menggunakan pembelajaran dalam untuk citra satelit Worldview-3” oleh (Candra et al., 2023). Invensi ini memiliki keunggulan dan meningkatkan kehandalan dari invensi sebelumnya karena dapat mendeteksi multi-kelas awan dan bayangan awan untuk citra satelit resolusi sangat tinggi yang mempunyai jumlah kanal terbatas. Hasil deteksi multi-kelas awan dan bayangannya dengan menggunakan invensi ini mempunyai akurasi tinggi yakni deteksi awan tebal  $> 97\%$ , awan tipis  $> 91\%$ , dan bayangan awan  $> 93\%$ .

Untuk menghasilkan citra tutupan awan minimum, telah ditemukan invensi pengembangan metode pengolahan citra satelit tutupan awan minimum berbasis piksel dari citra multitemporal untuk citra satelit Landsat-8 dengan membangun metode *Multitemporal Cloud Removal* (MCR). Metode ini memanfaatkan hasil dari deteksi awan dan bayangannya pada citra satelit Landsat-8 menggunakan MCM, kemudian melakukan rekonstruksi citra dengan mengisi piksel-piksel awan dan bayangannya dengan piksel-piksel baru, melalui citra multitemporal. Invensi tersebut telah dituangkan ke dalam Paten Reguler Nasional (dikabulkan/*granted*) dengan

judul “Metode Penghapusan awan dan bayangannya untuk citra satelit Landsat-8” (Candra, 2021). Inovasi pengembangan metode pengolahan citra satelit tutupan awan minimum berbasis piksel yang berasal dari citra multitemporal Sentinel-2. Tiap piksel yang hilang dari proses deteksi awan, direkonstruksi menggunakan piksel yang berasal dari citra multitemporal sehingga menghasilkan citra dengan tutupan awan minimal yang mulus (*seamless*). Inovasi ini telah dituangkan ke dalam Paten Reguler Nasional (dikabulkan/*granted*) dengan judul “Metode penghapusan awan dan bayangannya untuk citra satelit Sentinel-2” (Candra, 2021b)

## V. HILIRISASI IPTEK PENGOLAHAN CITRA SATELIT TUTUPAN AWAN MINIMUM

Rangkaian pengembangan IPTEK pengolahan citra satelit tutupan awan minimum telah menghasilkan metode, algoritma dan invensi-invensi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan keberadaan tutupan awan pada citra satelit optik. Hal ini berimplikasi pada dukungan terhadap pemenuhan kebutuhan ketersediaan citra satelit optik siap pakai yang dimanfaatkan langsung oleh pengguna dan *stakeholder* baik dari K/L, pemerintah daerah, perguruan tinggi, swasta, dan masyarakat, sehingga dapat berkontribusi secara nasional.

Kontribusi dalam mendukung kebutuhan pengguna berupa hilirisasi IPTEK pengolahan mosaik *tile-based* citra SPOT 6/7 tutupan awan minimum yang hasilnya telah dimanfaatkan oleh beberapa instansi, salah satunya yakni Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Hasil tersebut dimanfaatkan untuk mendukung pembuatan Peta Tutupan Lahan 23 Kelas yang diproduksi oleh KLHK setiap tahun. Produk citra mosaik *tile-based* citra SPOT 6/7 tutupan awan minimum ini dijadikan sebagai data pendukung dari citra Landsat-8 sebagai data utama, karena produk tersebut mempunyai resolusi spasial tinggi. Peta Tutupan Lahan 23 Kelas yang diproduksi oleh KLHK merupakan produk peta yang sangat penting untuk kegiatan pemantauan tutupan lahan di Indonesia, utamanya tutupan hutan.



Selain itu, berdasarkan Pusat Data dan Informasi (Pusdatin) – BRIN mengenai status pelayanan data citra mosaik SPOT 6/7 tutupan awan minimum, citra tersebut telah dimanfaatkan oleh instansi-instansi sektoral K/L seperti Kementerian Agraria dan Tata Ruang (ATR) untuk penataan ruang, Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk pemetaan, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) untuk bencana alam, TNI dan POLRI untuk pertahanan dan keamanan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (KEMEN PUPR) untuk pengelolaan infrastruktur, Kementerian Pertanian (KEMENTAN) untuk pertanian/perkebunan, dan lain-lain. Pemerintah provinsi/kabupaten/kota juga banyak menggunakan produk ini untuk penataan ruang. Produk tersebut juga dimanfaatkan oleh Perguruan Tinggi antara lain, UI, UGM, IPB, UNHAS, UNDIP untuk kebutuhan penelitian di berbagai bidang (Pusat Data dan Informasi, BRIN, 2023).

Selain hilirisasi IPTEK yang telah digunakan oleh pengguna, telah dibuat Standar Nasional Indonesia (SNI) 8996:2021 Pengolahan data penginderaan jauh - *cloud masking* citra optik satelit penginderaan jauh resolusi menengah. SNI ini dirumuskan dalam rangka standardisasi metode deteksi awan/*cloud masking* sehingga dapat dijadikan pedoman bagi pengguna untuk melakukan pengolahan data optik satelit penginderaan jauh. Selain itu, untuk mendukung proses deteksi awan, pengolahan awal yang berupa koreksi radiometrik juga telah dibuat Standar Nasional Indonesia (SNI) 8940:2020 Pengolahan data penginderaan jauh – Koreksi radiometrik data optik satelit penginderaan jauh.

## VI. KESIMPULAN

Penemuan metode MCM yang berbasis citra multitemporal untuk citra satelit resolusi menengah yaitu Landsat-8 dan Sentinel-2 mengatasi permasalahan awan dan bayangannya pada citra satelit tersebut yang mempunyai akurasi tinggi pada hasil deteksi awan dan bayangannya. Temuan ini memberikan perbaikan pada metode yang telah ada dan telah banyak digunakan pada skala internasional yaitu Fmask.

Perbaikan paling besar terletak pada deteksi bayangan pada perairan. Deteksi bayangan awan pada perairan yang tidak dapat dilakukan oleh Fmask, dapat dilakukan oleh MCM dengan hasil yang baik. Perbaikan lainnya terletak pada deteksi bayangan di daratan dengan peningkatan akurasi yang sangat signifikan. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan antara hasil MCM dan L8 CCA pada area uji, dengan peningkatan akurasi signifikan deteksi awan terutama *producer's accuracy* pada tutupan lahan berupa *desert* (gurun) dan deteksi bayangan awan terutama *user's accuracy* pada tutupan lahan berupa permukiman.

Keterbatasan kanal pada citra satelit optik resolusi tinggi dan sangat tinggi merupakan permasalahan rumit dalam mendeteksi awan yang tidak cukup diatasi dengan pendekatan berbasis nilai reflektan saja, ditemukan bahwa penambahan pendekatan berbasis geometri dapat mengatasi permasalahan tersebut. Penambahan pendekatan geometri pada pendekatan berbasis nilai reflektan ini terbukti meningkatkan akurasi secara signifikan pada citra satelit resolusi tinggi SPOT-6.

Penemuan solusi untuk mengatasi kendala keterbatasan kanal pada citra satelit optik resolusi tinggi dan sangat tinggi dilakukan menggunakan teknologi *artificial intelligence* (AI) yang saat ini populer terutama untuk deteksi objek. Teknologi AI ini telah dikembangkan untuk mendeteksi awan untuk citra satelit resolusi tinggi SPOT 6/7. Keterbaruan pada solusi ini terletak pada pengkombinasian antara deep learning *convolution neural network* (CNN) dan K-means yang dimodifikasi dengan hasil yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan akurasi yang signifikan dibandingkan dengan hanya menggunakan CNN saja. Selain itu, terjadi peningkatan juga pada garis batas pada poligon awan yang lebih halus, sehingga poligon tersebut sama atau mendekati poligon awan yang sebenarnya.

Penemuan selanjutnya adalah peningkatan kemampuan teknologi AI dalam mendeteksi multi-kelas awan yang meliputi awan tebal, awan tipis, bayangan awan dan non-awan untuk citra satelit resolusi sangat tinggi. Metode deteksi multi-kelas awan pada citra satelit resolusi sangat tinggi masih jarang ada. Metode U-Net yang dikembangkan terbukti berhasil mendeteksi multi-kelas awan dengan akurasi yang tinggi hingga mencapai rata-rata *overall accuracy* > 95%.

Pengembangan teknologi deteksi awan dapat digunakan untuk membangun teknologi pengolahan tutupan awan minimum citra satelit optik multi-resolusi. Pengembangan teknologi ini telah dilakukan dan menghasilkan produk inovasi berupa mosaik citra satelit optik multi-resolusi tutupan awan minimum. Produk inovasi ini telah banyak dimanfaatkan oleh

pengguna yang berasal dari K/L, instansi pemerintah daerah, serta perguruan tinggi. Kontribusi berupa produk inovasi ini utamanya untuk mendukung ketersediaan data citra satelit multi-resolusi siap pakai di Indonesia.



## VII. PENUTUP

Teknologi satelit penginderaan jauh berkembang sangat pesat dalam satu dekade terakhir, sehingga produk citra satelit telah hadir dalam jenis yang banyak dan beragam serta dalam berbagai resolusi. Tantangan ke depan yang dihadapi yakni pemecahan masalah terhadap keberadaan tutupan awan pada citra satelit optik dari berbagai jenis (multi-misi) yang telah ada maupun masa depan. Hal ini untuk menjawab kebutuhan pengguna yang hanya membutuhkan citra satelit siap pakai.

Rekomendasi untuk memecahkan masalah ini antara lain dengan mengembangkan pengolahan citra multi-misi tutupan awan minimum agar proses yang dilakukan ke depan akan lebih efisien baik dari sisi waktu maupun tenaga hanya membutuhkan satu metode untuk deteksi awan dari berbagai jenis satelit. Di sisi lain, metode deteksi awan multi-misi belum pernah ada sehingga hal ini merupakan tantangan besar dan harus dicarikan solusinya untuk memenuhi kebutuhan pengguna dalam pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan di Indonesia.

Pemecahan masalah yang direkomendasikan menggunakan teknologi AI yakni *deep learning*. Teknologi ini dapat menangani masalah-masalah yang kompleks seperti deteksi awan untuk citra satelit multi-misi. Strategi lainnya yakni menggunakan kanal-kanal yang umumnya dimiliki oleh setiap citra satelit optik seperti kanal biru, hijau, merah dan inframerah dekat (*near infrared*), sehingga metode yang dibangun dapat digunakan untuk setiap jenis satelit tersebut.

Pengembangan IPTEK pengolahan citra satelit optik multi-misi dan multi-resolusi tutupan awan minimum diharapkan dapat menjawab kebutuhan nasional yaitu citra satelit siap pakai dan mendukung kemandirian bangsa.

## VIII. UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah wa syukurillah. Segala puji bagi Allah Swt yang hanya dengan ridho-Nya naskah orasi ini dapat saya selesaikan dengan baik. Semoga naskah orasi ini dapat memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang penginderaan jauh.

Saya mengucapkan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Jenderal TNI (Purn) H. Prabowo Subianto, dan juga kepada Presiden Republik Indonesia (2019-2024), Ir. Joko Widodo atas penetapan saya sebagai Peneliti Ahli Utama. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Wakil Kepala BRIN, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN.Eng.; Ketua dan Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani, dan Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar M.S.C.E., Ph.D.; serta Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah Prof. Dr. Ir. Dony Kushardono, M.Eng., Prof. Dr. Ratih Dewanti M.Sc. dan Prof. Dr. Eri Prasetyo Wibowo, M.M.S.I., S.S.I atas dukungannya dalam penyelesaian naskah orasi ilmiah ini.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Sekretaris Utama BRIN, Rr Nur Tri Aries Suestiningtyas S.IP., M.A.; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia BRIN, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si, serta Panitia Pelaksana Orasi Pengukuhan Profesor Riset.



Pada kesempatan ini saya juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Organisasi Riset Elektronika dan Informatika, Dr. Eng. Budi Prawara; Kepala Pusat Riset Geoinformatika, Prof. Dr. M. Rokhis Khomarudin, S.Si., M.Si., dan Dr. Rahmat Arief Dipl. Ing. atas kesempatan dan dukungannya.

Perjalanan panjang ini tidak lepas dari peran guru-guru SD, SMP dan SMA, dosen-dosen S1, S2 dan S3, dan pembimbing skripsi, thesis dan disertasi saya yaitu Drs. Muslich, M.Si., Supriyadi Wibowo, S.Si, M.Si., Cao Xiaoguang., Ph.D, Prof. Stuart Phinn dan Dr. Peter Scarth. Terima kasih atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Dr., Drs. Kustiyo M.Si., Yudhi Prabowo M.Sc., Randy Prima Brahmantara S.T., M.T.I., Yohanes Fridolin Hestrio S.Si., Dr. Ahmad Luthfi Hadiyanto S.T., M.Sc., Dr. Tri Muji Susantoro S.T., M.Sc., Udhi Catur Nugroho S.T., M.Si., Dandy Aditya Novresiandi Ph.D., Fadillah Halim Rasyidy S.T., dan teman-teman di grup Teklahta dan Kelris Geodata saya ucapkan terima kasih atas diskusi-diskusinya selama ini. Saya mengucapkan terima kasih kepada seluruh pegawai yang dulu tergabung dalam Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), dan Pusat Riset Penginderaan Jauh BRIN, serta yang saat ini tergabung dalam Pusat Riset Geoinformatika BRIN atas dukungannya selama ini.

Saya menghaturkan sungkem dan terima kasih kepada kedua orang tua, Bapak Mulyanto dan Ibu Hermintarsih (alm.) yang telah mendidik, mendoakan tiada henti dan memberikan kasih

sayang serta dukungannya *unconditional* atas pencapaian saya selama ini. Untuk istriku, R. Vitri Garvita, M.Si terima kasih atas dukungan, kesabaran, doa dan pengertiannya selama ini. Untuk kedua mertua, Bapak Drs. R. Dadang Gaswara (alm.) dan Ibu Rosita Sri Muljati, M.S, juga kakak dan adikku, Hendri Desiana Lukitawati, Delfianum Meindra Sari, dan Antony Surya Saputra, S.T terima kasih atas dukungan dan doanya.

Terakhir diucapkan terima kasih kepada semua pihak dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bai, T., Li, D., Sun, K., Chen, Y., & Li, W. (2016). Cloud detection for high-resolution satellite imagery using machine learning and multi-feature fusion. *Remote Sensing*, 8(9), 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs8090715>
- Bayanuddin, A. A., Zylshal, Setia, F. N., Siwi, S. E., Rahayu, M. I., Azis, U. A., & **Candra, D. S.** (2021). Comparison of Topographic Correction methods on SPOT-6/7 Multispectral Data In Indonesia: an Initial Evaluation in Hilly to Undulating Area. *Proceedings of SPIE, 1208203*(December). <https://doi.org/10.1117/12.2619470>
- Brahmantara, R. P., Ulfa, K., Rahayu, M. I., Prabowo, Y., Hestrio, Y. F., Sartika, Kustiyo, **Candra, D. S.**, & Novresiandi, D. A. (2022). Cloud-free mosaic for high-resolution satellite to support natural resources and disaster monitoring. *International Symposium On Disaster Risk Reduction, Mitigation and Environmental Sciences, 1109*, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012053>
- Candra, D. S.**, Prabowo, Y., Hestrio, Y. F., Rasydy, F. H., Ulfa, K., & Rahayu, M. I. (2023). Metode Deteksi Multi-Kelas Awan Dan Bayangannya Dengan Menggunakan Pembelajaran Dalam untuk Citra Satelit Worldview-3. In *Paten Reguler Nasional (Terdaftar): Vol. Nomor: P00*.
- Candra, D. S.** (2008). Denoising of High Resolution Remote Sensing Data using Stationary Wavelet Transform. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 5:3, 27–34.
- Candra, D. S.** (2011a). Analysis of Critical Land in The Musi Watershed using Geographic Information Systems. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 8 (1).
- Candra, D. S.** (2011b). Pengembangan Teknik Normalisasi dan Denormalisasi pada Metode RPC untuk Orthorektifikasi Citra Satelit Penginderaan Jauh. *Geomatika*, 17 (2).

- Candra, D. S.** (2013). Analysis of SPOT-6 data fusion using Gram-Schmidt spectral sharpening on rural areas. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 10 (2), 839–844. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2013.v10.a1846>
- Candra, D. S.** (2020). Deforestation detection using multitemporal satellite images. *The Fifth International Conferences of Indonesian Society for Remote Sensing*, 500, 1–13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012037>
- Candra, D. S.** (2021a). *Metode Penghapusan Awan Dan Bayangannya Untuk Citra Landsat 8* (Patent No. IDP000079909). Tanggal Pemberian 12 November 2021. DJKI.
- Candra, D. S.** (2021b). *Metode Penghapusan Awan Dan Bayangannya Untuk Citra Sentinel-2* (Patent No. IDP000079910). Tanggal Pemberian 12 November 2021. DJKI.
- Candra, D. S.** (2022a). *Metode Deteksi Awan Dan Bayangannya Untuk Citra Landsat 8* (Patent No. IDP000082003). Tanggal Pemberian 08 Juli 2022. DJKI.
- Candra, D. S.** (2022b). *Metode Deteksi Awan Dan Bayangannya Untuk Citra Sentinel-2* (Patent No. IDP000081997). Tanggal Pemberian 07 Juli 2022. DJKI.
- Candra, D. S., & Kustiyo.** (2013). Metode Cloud Removal Citra Satelit Optik Menggunakan Maksimum NDVI dan Data Multitemporal. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 19, 6–9.
- Candra, D. S., Kustiyo, & Ismaya, H.** (2014). Cloud Masking Data SPOT-6 dengan Menggunakan Pendekatan Nilai Reflektansi dan Geometri. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*, 189–197.
- Candra, D. S., Phinn, S., & Scarth, P.** (2016). Cloud and cloud shadow masking using multi-temporal cloud masking algorithm in tropical environmental. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B2, 95–100. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B2-95-2016>

- Candra, D. S., Phinn, S., & Scarth, P. (2017).** Cloud and Cloud Shadow Removal of Landsat 8 Images using Multi-temporal Cloud Removal Method. *2017 6th International Conference on Agro-Geoinformatics, Fairfax, VA, USA*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2017.8047007>
- Candra, D. S., Phinn, S., & Scarth, P. (2019).** Automated cloud and cloud-shadow masking for Landsat 8 using multitemporal images in a variety of environments. *Remote Sensing, 11*(17). <https://doi.org/10.3390/rs11172060>
- Candra, D. S., Phinn, S., & Scarth, P. (2020).** Cloud and cloud shadow masking for Sentinel-2 using multitemporal images in global area. *International Journal of Remote Sensing, 41*(8), 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1697006>
- Candra, D. S., & Prabowo, Y. (2014).** Analysis of Cloud Removal Method on Sea Area using Landsat-8 Multi-Temporal. *12th Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference, 1*(November), 4–7.
- Candra, D. S., Prabowo, Y., Hestrio, Y. F., Rasyidy, F. H., Ulfa, K., & Rahayu, M. I. (2023).** *Metode Deteksi Multi-Kelas Awan dan Bayangannya dengan Menggunakan Pembelajaran Dalam untuk Citra Satelit Worldview-3* (Patent No. P00202314625). Tanggal Pendaftaran 24 Desember 2023. DJKI.
- Candra, D. S., Ulfa, K., Rasyidy, F. H., Hestrio, Y. F., Prabowo, Y., & Rahayu, M. I. (2023).** Evaluation of Very-high Resolution Satellite Image Compression to Support Agriculture Monitoring. *2023 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICARES60489.2023.10329899>
- Fidiyawati, & Candra, D. S. (2014).** Analisis Perubahan Pola dan Penutup Lahan Sungai Bengawan Solo dengan Menggunakan Citra Satelit Penginderaan Jauh Multitemporal. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 740–749.

- Goodwin, N. R., Collett, L. J., Denham, R. J., Flood, N., & Tindall, D. (2013). Cloud and cloud shadow screening across Queensland, Australia: An automated method for Landsat TM/ETM+ time series. *Remote Sensing of Environment*, 134, 50–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.019>
- Hagolle, O., Huc, M., Pascual, D. V., & Dedieu, G. (2010). A multi-temporal method for cloud detection, applied to FORMOSAT-2, VEN $\mu$ S, LANDSAT and SENTINEL-2 images. *Remote Sensing of Environment*, 114(8), 1747–1755. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.03.002>
- Irish, R. R., Barker, J. L., Goward, S. N., & Arvidson, T. (2006). Characterization of the Landsat-7 ETM Automated Cloud-Cover Assessment (ACCA) Algorithm. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72, 1179–1188. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:14451366>
- Kennedy, R. E., Cohen, W. B., & Schroeder, T. A. (2007). Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. *Remote Sensing of Environment*, 110(3), 370–386. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.03.010>
- Kurdianto, Susantoro, T. M., **Candra, D. S.**, Sulma, S., Hestrio, Y. F., Khomarudin, M. R., Suliantara, Setiawan, H. L., Maryanto, A., Nugroho, G., Arief, R., & Harto, A. B. (2023). Impact of Oil Injection on Concentrations of Chlorophyll, Carotenoids, Anthocyanins in Banyan Leaves and Ketapang Dewa Leaves Using Hyperspectral Sensor. *2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 149–155. <https://doi.org/10.1109/AGERS61027.2023.10490693>
- Li, J., Li, Y., & Chapman, M. A. (2005). *High-Resolution Satellite Image Sources for Disaster Management in Urban Areas BT - Geo-information for Disaster Management* (P. van Oosterom, S. Zlatanova, & E. M. Fendel (eds.); pp. 1055–1070). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-27468-5\\_74](https://doi.org/10.1007/3-540-27468-5_74)

- Li, Z., Shen, H., Cheng, Q., Liu, Y., You, S., & He, Z. (2019). Deep learning based cloud detection for medium and high resolution remote sensing images of different sensors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 150, 197–212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.02.017>
- Li, Z., Shen, H., Li, H., Xia, G., Gamba, P., & Zhang, L. (2017). Multi-feature combined cloud and cloud shadow detection in GaoFen-1 wide field of view imagery. *Remote Sensing of Environment*, 191, 342–358. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.026>
- Liang, K., Yang, G., Zuo, Y., Chen, J., Sun, W., Meng, X., & Chen, B. (2024). A Novel Method for Cloud and Cloud Shadow Detection Based on the Maximum and Minimum Values of Sentinel-2 Time Series Images. In *Remote Sensing* (Vol. 16, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/rs16081392>
- Maftukhaturrezqoh, O., Diwyacitta, K., Supriyani, I. S., Gustiandi, B., & **Candra, D. S.** (2023). Improving the Effectiveness of Remote Sensing Data Correction Using Phase Cross-Correlation Algorithm with Upsampling Factors Variable. *2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 231–235. <https://doi.org/10.1109/AGERS61027.2023.10490994>
- Mahajan, S., & Fataniya, B. (2020). Cloud detection methodologies: variants and development—a review. *Complex & Intelligent Systems*, 6(2), 251–261. <https://doi.org/10.1007/s40747-019-00128-0>
- Marcello, J., Eugenio, F., Martin, J., & Marques, F. (2018). Seabed Mapping in Coastal Shallow Waters Using High Resolution Multispectral and Hyperspectral Imagery. *Remote Sensing*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/rs10081208>
- Marmorino, G., & Chen, W. (2019). Use of WorldView-2 Along-Track Stereo Imagery to Probe a Baltic Sea Algal Spiral. *Remote Sensing*, 11(7), 1–9. <https://doi.org/10.3390/rs11070865>



- Marwoto, & **Candra, D. S.** (2007). Pembuatan Sistem Informasi Geografis Kesesuaian Lahan Tanaman Tebu Berbasis Web di Kabupaten Merauke. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 4(1), 60–71.
- NASA. (2020). *What is Synthetic Aperture Radar?* Earth Data. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/what-is-sar>
- Nugroho, F. S., Danoedoro, P., Arjasakusuma, S., **Candra, D. S.**, Bayanuddin, A. A., Heru, R., & Wicaksono, P. (2023). The Utilization of Multi-Sensor Remote Sensing and Cloud- Computing Platform for Mapping Burned Areas. *Proceedings of the 7th International Conference on Science and Technology*, 2654,(2), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0114317>
- Nugroho, F. S., Danoedoro, P., Arjasakusuma, S., **Candra, D. S.**, Bayanuddin, A. A., & Samodra, G. (2021). Assessment of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data for Landslides Identification using Google Earth Engine. *2021 7th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/APSAR52370.2021.9688356>
- Piermattei, L., Marty, M., Karel, W., Ressler, C., Hollaus, M., Ginzler, C., & Pfeifer, N. (2018). Impact of the Acquisition Geometry of Very High-Resolution Pléiades Imagery on the Accuracy of Canopy Height Models over Forested Alpine Regions. In *Remote Sensing* (Vol. 10, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/rs10101542>
- Prabowo, Y., **Candra, D. S.**, & Ali, S. (2020). Cloud detection method for Pleiades images using spectral indices. *Journal of Physics: Conference Series*, 1528(1), 12011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1528/1/012011>
- Prabowo, Y., **Candra, D. S.**, & Maulana, R. (2021). Cloud Detection for Pleiades and SPOT 6 / 7 Imageries Using Modified K-means and Deep Learning. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 11(6).

- Prabowo, Y., Pradono, K. A., Amriyah, Q., Rasyidy, F. H., Carolita, I., Setiyoko, A., **Candra, D. S.**, Musyarofah, Ulfa, K., & Hestrio, Y. F. (2022). Palm Trees Counting Using MobileNet Convolutional Neural Network in Very High- Resolution Satellite Images. *IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology*, 79–83. <https://doi.org/10.1109/AGERS56232.2022.10093287>
- Prabowo, Y., Sakti, A. D., Pradono, K. A., Amriyah, Q., Rasyidy, F. H., Bengkulah, I., Ulfa, K., **Candra, D. S.**, Imdad, M. T., & Ali, S. (2022). Deep Learning Dataset for Estimating Burned Areas : Case Study , Indonesia. *Data*, 7(6)(78). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/data7060078>
- Rahayu, & **Candra, D. S.** (2014). Koreksi Radiometrik Citra Landsat-8 Kanal Multispektral Menggunakan Top of Atmosphere (ToA) untuk Mendukung Klasifikasi Penutup Lahan. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 762–766.
- Richter, R., Wang, X., Bachmann, M., & Schlöpfer, D. (2011). Correction of cirrus effects in Sentinel-2 type of imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 32(10), 2931–2941. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.520346>
- Roswintiarti, O., Dewanti, R., Furby, S., Wallace, Jeremy, ....., **Candra, D. S.**, ....., & Hidayat, S. (2014). *The Remote Sensing Monitoring Program of Indonesia's National Carbon Accounting System: Methodology and Products* (version 1).
- Sakti, A. D., Sembiring, E., Rohayani, P., Fauzan, K. N., Anggraini, T. S., Santoso, C., Patricia, V. A., Titon, K., Ihsan, N., Ramadan, A. H., Arjasakusuma, S., & Candra, D. S. (2023). Identification of illegally dumped plastic waste in a highly polluted river in Indonesia using Sentinel - 2 satellite imagery. *Scientific Reports*, 13(5039), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32087-5>

- Sartika, S., Bayanuddin, A. A., Putri, F. A., Ulfa, K., Hadiyanto, A. L., **Candra, D. S.**, & Chulafak, G. A. (2023). Determining the Precision of Spectral Patterns Arising from Atmospheric Correction Utilizing MODTRAN-FLAASH and 6S Approaches on High- Resolution SPOT-6 Imagery. *The 9th International Seminar on Aerospace Science and Technology*, 2941(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0181398>
- Sartika, S., Brahmantara, R. P., Rahayu, M. I., **Candra, D. S.**, Hestrio, Y. F., Ulfa, K., Prabowo, Y., Novresiandi, D. A., & Veronica, K. W. (2023). A Sub-pixel Geometric Evaluation for Very High-Resolution Satellite Images using Phase Cross-Correlation Algorithm. *The 9th International Seminar on Aerospace Science and Technology*.
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. *Cognitive Robotics*, 3, 54–70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.04.001>
- Susantoro, T. M., Suliantara, Harto, A. B., Setiawan, H. L., Nugroho, G., **Candra, D. S.**, Jayati, A., Sulma, S., Khomarudin, M. R., Arief, R., Maryanto, A., Hestrio, Y. F., & Kurdianto. (2023). The Potential of Remote Sensing Data for Oil And Gas Exploration in Indonesia : a Review. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 46(1), 9–43. <https://doi.org/10.29017/SCOG.46.1.1346>
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y.-A., & Rahman, A. (2020). Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review. In *Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/rs12071135>
- Ulfa, K., Brahmantara, R. P., Oktavia, M. I., Prabowo, Y., Muchsin, F., **Candra, D. S.**, Rahayu, M. I., Rangkuti, C. N., Siwi, S. E., & Fibriawati, L. (2023). The Effect of Color Balancing on The Accuracy of Land Cover Classification for Pleiades Mosaic Data. *The 9th International Seminar on Aerospace Science and Technology*.

- Ulfa, K., Oktavia, M. I., Pradono, K. A., Fibriawati, L., Muchsin, F., **Candra, D. S.**, & Damanik, K. W. V. (2020). Evaluation of atmospheric correction algorithms for Sentinel-2 over paddy field area. *The Fifth International Conferences of Indonesian Society for Remote Sensing*, 500, 6–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012081>
- USGS. (2024). *Landsat Project Statistics*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-project-statistics>
- Wang, B., Ono, A., Muramatsu, K., & Fujiwara, N. (1999). Automated Detection and Removal of Clouds and Their Shadows from Landsat TM Images. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 82, 453–460. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:15111232>
- You, Y., Wang, S., Ma, Y., Chen, G., Wang, B., Shen, M., & Liu, W. (2018). Building Detection from VHR Remote Sensing Imagery Based on the Morphological Building Index. *Remote Sensing*, 10(8), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs10081287>
- Zhang, Wei, Tang, P., & Zhao, L. (2019). Remote Sensing Image Scene Classification Using CNN-CapsNet. *Remote Sensing*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/rs11050494>
- Zhang, Weidong, Jin, S., Zhou, L., Xie, X., Wang, F., Jiang, L., Zheng, Y., Qu, P., Li, G., & Pan, X. (2022). Multi-feature embedded learning SVM for cloud detection in remote sensing images. *Computers and Electrical Engineering*, 102, 108177. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108177>
- Zhang, Y., Guindon, B., & Cihlar, J. (2002). An image transform to characterize and compensate for spatial variations in thin cloud contamination of Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 82(2), 173–187. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00034-2)

- Zhang, Y., Guindon, B., & Li, X. (2014). A Robust Approach for Object-Based Detection and Radiometric Characterization of Cloud Shadow Using Haze Optimized Transformation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(9), 5540–5547. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2290237>
- Zhao, S., Tu, K., Ye, S., Tang, H., Hu, Y., & Xie, C. (2023). Land Use and Land Cover Classification Meets Deep Learning: A Review. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 21). <https://doi.org/10.3390/s23218966>
- Zhu, Z., Wang, S., & Woodcock, C. E. (2015). Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sensing of Environment*, 159, 269–277. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.014>
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.028>

## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Jurnal Internasional

1. **Candra, D. S.**, Phinn, S., & Scarth, P. (2019). Automated cloud and cloud-shadow masking for Landsat 8 using multitemporal images in a variety of environments. *Remote Sensing*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/rs11172060>
2. **Candra, D. S.**, Phinn, S., & Scarth, P. (2020). Cloud and cloud shadow masking for Sentinel-2 using multitemporal images in global area. *International Journal of Remote Sensing*, 41(8), 2020. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1697006>
3. Prabowo, Y., Sakti, A. D., Pradono, K. A., Amriyah, Q., Rasyidy, F. H., Bengkulah, I., Ulfa, K., **Candra, D. S.**, Imdad, M. T., & Ali, S. (2022). Deep Learning Dataset for Estimating Burned Areas : Case Study , Indonesia. *Data*, 7(6)(78).
4. Prabowo, Y., **Candra, D. S.**, & Maulana, R. (2021). Cloud Detection for Pleiades and SPOT 6 / 7 Imageries Using Modified K-means and Deep Learning. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 11(6).
5. Sakti, A. D., Sembiring, E., Rohayani, P., Fauzan, K. N., Anggraini, T. S., Santoso, C., Patricia, V. A., Titon, K., Ihsan, N., Ramadan, A. H., Arjasakusuma, S., & **Candra, D. S.** (2023). Identification of illegally dumped plastic waste in a highly polluted river in Indonesia using Sentinel - 2 satellite imagery. *Scientific Reports*, 13(5039), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32087-5>
6. Rafsyam, Y., Wibowo, E. P., **Candra, D. S.**, Talita, A. S., & Rinaldi, R. (2024). Prediction of cumulonimbus clouds in airport vicinity using NOAA satellite imagery and random forest models. *Journal of Logistics, Informatics and Service Science*, Vol. 11(6), 34-54. doi:10.33168/JLISS.2024.0603

7. Rafsyam, Y., Wibowo, E. P., **Candra, D. S.**, Talita, A. S., Nurjihan, S. F & Rinaldi, A. (2024). Cloud detection using geometry point square pixel algorithm to support aviation for flight safety. *Evergreen Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, Vol. 11

## Jurnal Nasional

8. Susantoro, T. M., Suliantara, Harto, A. B., Setiawan, H. L., Nugroho, G., **Candra, D. S.**, Jayati, A., Sulma, S., Khomarudin, M. R., Arief, R., Maryanto, A., Hestrio, Y. F., & Kurdianto. (2023). The Potential of Remote Sensing Data for Oil And Gas Exploration in Indonesia : a Review. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 46(1), 9–43. <https://doi.org/10.29017/SCOG.46.1.1346>
9. **Candra, D. S.**, & Kustiyo. (2013). Metode Cloud Removal Citra Satelit Optik Menggunakan Maksimum NDVI dan Data Multitemporal. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 19, 6–9.
10. **Candra, D. S.** (2013). Analysis of SPOT-6 data fusion using Gram-Schmidt spectral sharpening on rural areas. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 10 (2), 839–844. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2013.v10.a1846>
11. **Candra, D. S.** (2012). Orthorectification of SPOT-4 Data using Rational Polynomial Coefficients. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 9(1), 63–74.
12. **Candra, D. S.** (2011). Pengembangan Teknik Normalisasi dan Denormalisasi pada Metode RPC untuk Orthorektifikasi Citra Satelit Penginderaan Jauh. *Geomatika*, 17 (2).
13. **Candra, D. S.** (2011). Analysis of Critical Land in The Musi Watershed using Geographic Information Systems. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 8 (1).
14. **Candra, D. S.** (2010). SPOT-4 Data Classification Analysis Using Neural Network. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 7, 19–29.

15. **Candra, D. S.** (2008). Denoising of High Resolution Remote Sensing Data using Stationary Wavelet Transform. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 5:3, 27–34.
16. Marwoto, & **Candra, D. S.** (2007). Pembuatan Sistem Informasi Geografis Kesesuaian Lahan Tanaman Tebu Berbasis Web di Kabupaten Merauke. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 4(1), 60–71.

### Prosiding Internasional

17. Hadiyanto, A. L., Wikantika, K., Prihatmanto, A. S., Trilaksono, N. J., & **Candra, D. S.** (2024). Forecasting the Probability of Monthly Cloud Occurrence Over Eastern Java Using Deep Learning and Remote Sensing Data. *Procedia Computer Science*, 245, 441–449. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.270>
18. Hestrio, Y. F., Brahmantara, R. P., Ulfa, K., **Candra, D. S.**, Prabowo, Y., Budiono, M. E., ... & Suhendar, H. (2024). An Improved Cloud Detection Method for High-Resolution Satellite Imagery, Using U-Net Algorithm. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3116, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0210240>
19. **Candra, D. S.**, Ulfa, K., Rasyidy, F. H., Hestrio, Y. F., Prabowo, Y., & Rahayu, M. I. (2023). Evaluation of Very-high Resolution Satellite Image Compression to Support Agriculture Monitoring. *2023 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICARES60489.2023.10329899>
20. Maftukhaturrizqoh, O., Diwyacitta, K., Supriyani, I. S., Gustiandi, B., & **Candra, D. S.** (2023). Improving the Effectiveness of Remote Sensing Data Correction Using Phase Cross-Correlation Algorithm with Upsampling Factors Variable. *2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 231–235. <https://doi.org/10.1109/AGERS61027.2023.10490994>



21. Nugroho, F. S., Danoedoro, P., Arjasakusuma, S., **Candra, D. S.**, Bayanuddin, A. A., Heru, R., & Wicaksono, P. (2023). The Utilization of Multi-Sensor Remote Sensing and Cloud-Computing Platform for Mapping Burned Areas. *Proceedings of the 7th International Conference on Science and Technology*, 2654,(2), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0114317>
22. Sartika, S., Bayanuddin, A. A., Putri, F. A., Ulfa, K., Hadiyanto, A. L., **Candra, D. S.**, & Chulafak, G. A. (2023). Determining the Precision of Spectral Patterns Arising from Atmospheric Correction Utilizing MODTRAN-FLAASH and 6S Approaches on High- Resolution SPOT-6 Imagery. *The 9th International Seminar on Aerospace Science and Technology*, 2941(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0181398>
23. Sartika, S., Brahmantara, R. P., Rahayu, M. I., **Candra, D. S.**, Hestrio, Y. F., Ulfa, K., Prabowo, Y., Novresiandi, D. A., & Veronica, K. W. (2023). A Sub-pixel Geometric Evaluation for Very High-Resolution Satellite Images using Phase Cross-Correlation Algorithm. *The 9th International Seminar on Aerospace Science and Technology*.
24. Ulfa, K., Brahmantara, R. P., Oktavia, M. I., Prabowo, Y., Muchsin, F., **Candra, D. S.**, Rahayu, M. I., Rangkuti, C. N., Siwi, S. E., & Fibriawati, L. (2023). The Effect of Color Balancing on The Accuracy of Land Cover Classification for Pleiades Mosaic Data. *The 9th International Seminar on Aerospace Science and Technology*.
25. Kurdianto, Susantoro, T. M., **Candra, D. S.**, Sulma, S., Hestrio, Y. F., Khomarudin, M. R., Suliantara, Setiawan, H. L., Maryanto, A., Nugroho, G., Arief, R., & Harto, A. B. (2023). Impact of Oil Injection on Concentrations of Chlorophyll, Carotenoids, Anthocyanins in Banyan Leaves and Ketapang Dewa Leaves Using Hyperspectral Sensor. *2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 149–155.

26. Prabowo, Y., Pradono, K. A., Amriyah, Q., Rasyidy, F. H., Carolita, I., Setiyoko, A., **Candra, D. S.**, Musyarofah, Ulfa, K., & Hestrio, Y. F. (2022). Palm Trees Counting Using MobileNet Convolutional Neural Network in Very High- Resolution Satellite Images. *IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology*, 79–83. <https://doi.org/10.1109/AGERS56232.2022.10093287>
27. Brahmantara, R. P., Ulfa, K., Rahayu, M. I., Prabowo, Y., Hestrio, Y. F., Sartika, Kustiyo, **Candra, D. S.**, & Novresiandi, D. A. (2022). Cloud-free mosaic for high-resolution satellite to support natural resources and disaster monitoring. *International Symposium On Disaster Risk Reduction, Mitigation and Environmental Sciences*, 1109, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012053>
28. Nugroho, F. S., Danoedoro, P., Arjasakusuma, S., **Candra, D. S.**, Bayanuddin, A. A., & Samodra, G. (2021). Assessment of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data for Landslides Identification using Google Earth Engine. *2021 7th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/APSAR52370.2021.9688356>
29. Bayanuddin, A. A., Zylshal, Setia, F. N., Siwi, S. E., Rahayu, M. I., Azis, U. A., & **Candra, D. S.** (2021). Comparison of Topographic Correction methods on SPOT-6/7 Multispectral Data In Indonesia: an Initial Evaluation in Hilly to Undulating Area. *Proceedings of SPIE*, 1208203(December). <https://doi.org/10.1117/12.2619470>
30. Prabowo, Y., **Candra, D. S.**, & Ali, S. (2020). Cloud detection method for Pleiades images using spectral indices. *Journal of Physics: Conference Series*, 1528(1), 12011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1528/1/012011>
31. **Candra, D. S.** (2020). Deforestation detection using multitemporal satellite images. *The Fifth International Conferences of Indonesian Society for Remote Sensing*, 500, 1–13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012037>

32. Ulfa, K., Oktavia, M. I., Pradono, K. A., Fibriawati, L., Muchsin, F., **Candra, D. S.**, & Damanik, K. W. V. (2020). Evaluation of Atmospheric Correction Algorithms for Sentinel-2 Over Paddy Field Area. The Fifth International Conferences of Indonesian Society for Remote Sensing, 500, 6–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012081>
33. Widipaminto, A., Hestrio, Y. F., Monica, D., Safitri, Y. D., **Candra, D. S.**, Rokhmatuloh, Triyono, D., & Adiningsih, E. S. (2020). Analysis of modified STARFM As Suitable Fusion Method for Remote Sensing Satellite Data Between Pleiades-1b and Landsat-8. In ACRS 2020 - 41st Asian Conference on Remote Sensing. Asian Association on Remote Sensing
34. **Candra, D. S.**, Phinn, S., & Scarth, P. (2017). Cloud and Cloud Shadow Removal of Landsat 8 Images using Multi-temporal Cloud Removal Method. 2017 6th International Conference on Agro-Geoinformatics, Fairfax, VA, USA, 1–5. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2017.8047007>
35. **Candra, D. S.**, Phinn, S., & Scarth, P. (2016). Cloud and Cloud Shadow Masking Using Multi-Temporal Cloud Masking Algorithm in Tropical Environmental. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B2, 95–100. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B2-95-2016>
36. **Candra, D. S.**, & Prabowo, Y. (2014). Analysis of Cloud Removal Method on Sea Area using Landsat-8 Multi-Temporal. 12th Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference, 1(November), 4–7.

### Prosiding Nasional

37. **Candra, D. S.**, Kustiyo, & Ismaya, H. (2014). Cloud Masking Data SPOT-6 dengan Menggunakan Pendekatan Nilai Reflektansi dan Geometri. Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014, 189–197.

38. Fidiyawati, & **Candra, D. S.** (2014). Analisis Perubahan Pola dan Penutup Lahan Sungai Bengawan Solo dengan Menggunakan Citra Satelit Penginderaan Jauh Multitemporal. Seminar Nasional Penginderaan Jauh, 740–749.
39. Rahayu, & **Candra, D. S.** (2014). Koreksi Radiometrik Citra Landsat-8 Kanal Multispektral Menggunakan Top of Atmosphere (ToA) untuk Mendukung Klasifikasi Penutup Lahan. Seminar Nasional Penginderaan Jauh, 762–766.

### **Paten dan Hak Cipta**

40. Yenniwarti, R., Wibowo, E. P., Talita, A. S., **Candra, D. S.**, Jonifan. (2024). Metode Geometry Point Square Pixel untuk Deteksi Otomatis Keberadaan dan Lokasi Awan Cumulonimbus (Cb). (Nomor Paten P00202405869). Tanggal Pendaftaran 27 Juni 2024. DJKI.
41. Rasyidy, F. H., Prabowo, Y., **Candra, D. S.**, Hestrio, Y. F., Ulfa, K., Rahayu, M. I. (2024). *Software Pembuatan Dataset Awan Dan Bayangan Awan Untuk Deep Learning*. (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000631256). Tanggal Pencatatan 27 Juni 2024. DJKI.
42. Susantoro, T. M., Suliantara., Setiawan, H. L., Khomarudin, M. R., Sulma, S., **Candra, D. S.**, Arief, R., Nugroho, G., Hestrio, Y. F., Maryanto, A., Kurdianto., Jayati, A., Setia, S. A. B. (2024). *Program Estimasi Kandungan Klorofil Total*. (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000671395). Tanggal Pencatatan 30 Agustus 2024. DJKI.
43. **Candra, D. S.**, Prabowo, Y., Hestrio, Y. F., Rasyidy, F. H., Ulfa, K., & Rahayu, M. I. (2023). Metode Deteksi Multi-Kelas Awan dan Bayangannya dengan Menggunakan Pembelajaran Dalam untuk Citra Satelit Worldview-3 (Nomor Paten P00202314625). Tanggal Pendaftaran 24 Desember 2023. DJKI.
44. **Candra, D. S.** (2022). Metode Deteksi Awan Dan Bayangannya Untuk Citra Landsat 8 (Nomor Paten IDP000082003). Tanggal Pemberian 08 Juli 2022. DJKI.

45. **Candra, D. S.** (2022). Metode Deteksi Awan Dan Bayangannya Untuk Citra Sentinel-2 (Nomor Paten IDP000081997). Tanggal Pemberian 07 Juli 2022. DJKI.
46. Hestrio, Y. F., **Candra, D. S.**, Prabowo, Y., Brahmantara, R. P., Rahayu, M. I., Ulfa, K., Sartika, & Novresiandi, D. A. (2022). *Software Deteksi Awan Untuk Citra Satelit Resolusi Tinggi Menggunakan U-Net (Versi 1.0)*. (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000422956). Tanggal Pencatatan 1 November 2022. DJKI.
47. Rasyidy, F. H., **Candra, D. S.**, Hestrio, Y. F., Prabowo, Y., Ulfa, K., & Rahayu, M. I. (2022). *Software Kompresi Citra Satelit Resolusi Sangat Tinggi dengan JP2* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000569213). Tanggal Pencatatan 1 September 2022. DJKI.
48. Prabowo, Y., Hestrio, Y. F., **Candra, D. S.**, Setiyoko, A., Pradono, K. A., Rasyidy, F. H., Musyarofah, Ulfa, K., & Amriyah, Q. (2022). *Software Deteksi Pohon Kelapa Sawit pada Citra Satelit Resolusi Sangat Tinggi dengan menggunakan Deep Learning (Versi 1.0)* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000568340). Tanggal Pencatatan 1 Agustus 2022. DJKI.
49. **Candra, D. S.** (2021). Metode Penghapusan Awan Dan Bayangannya Untuk Citra Landsat 8 (Nomor Paten IDP000079909). Tanggal Pemberian 12 November 2021. DJKI.
50. **Candra, D. S.** (2021). Metode Penghapusan Awan Dan Bayangannya Untuk Citra Sentinel-2 (Nomor Paten IDP000079910). Tanggal Pemberian 12 November 2021. DJKI.
51. Musyarofah, Prabowo, Y., Hestrio, Y. F., Imdad, M. T., Augusto, S., Setiyoko, A., & **Candra, D. S.** (2021). *Software Klasifikasi Lahan Terbakar Menggunakan Metode U-Net Untuk Citra Satelit Landsat-8 Versi 1.0* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000338950). Tanggal Pencatatan 12 November 2021. DJKI.
52. **Candra, D. S.**, Brahmantara, R. P., & Prabowo, Y. (2021). Metode Fusi Multi-Sensor Citra Satelit Penginderaan Jauh Resolusi Tinggi Dan Sangat Tinggi (Nomor Paten P00202111494). Tanggal Pendaftaran 12 November 2021. DJKI.

53. Azis, U. A., Bayanuddin, A. A., Rahayu, M. I., Nugroho, F. S., Zylshal, Siwi, S. E., & **Candra, D. S.** (2021). *Software Koreksi Topografi Untuk Citra Satelit SPOT-6/7 Versi 1.0* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000338947). Tanggal Pencatatan 29 Oktober 2021. DJKI.
54. **Candra, D. S.**, Brahmantara, R. P., Rahayu, M. I., Oktavia, M. I., Fibriawati, L., Ulfa, K., & Rangkuti, C. N. (2021). *Software Fusion+ Untuk Fusi Citra Satelit Resolusi Tinggi Dan Sangat Tinggi* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000338948). Tanggal Pencatatan 14 Oktober 2021. DJKI.
55. Kustiyo, Sulyantara, D. H., Prabowo, Y., **Candra, D. S.**, Ulfa, K., Rangkuti, C. N., Siwi, S. E., & Brahmantara, R. P. (2021). *Software Perbaikan Warna Pada Batas Antar Perekaman Citra SPOT 6/7 Versi 1.0* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000338943). Tanggal Pencatatan 17 September 2021. DJKI.
56. **Candra, D. S.** (2020). Metode Pansharpen Citra Satelit Penginderaan Jauh Menggunakan Invers Fungsi Sebaran Titik (Nomor Paten P00202009899). Tanggal Pendaftaran 15 Desember 2020. DJKI.
57. Dewanti, R., Kustiyo, Pradono, K. A., Hendayani, **Candra, D. S.**, Muchsin, F., Dianovita, Ulfa, K., Damanik, K. W. V., Fibriawati, L., & Oktavia, M. I. (2020). *Software Pengolahan Data Citra Multitemporal Landsat-8 Versi 2.0: Pembuatan Citra Tile Based Mosaic (TBM)* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000213809). Tanggal Pencatatan 3 Juni 2019. DJKI.
58. **Candra, D. S.**, & Prabowo, Y. (2019). *Software Deteksi Awan dan Bayangannya untuk Citra Sentinel-2 Versi 1.0* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000166704). Tanggal Pencatatan 1 Oktober 2019. DJKI.
59. **Candra, D. S.**, & Prabowo, Y. (2019). *Software Deteksi Awan dan Bayangannya untuk Citra Landsat 8 Versi 1.0* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000147796). Tanggal Pencatatan 2 Mei 2019. DJKI.

60. Muchlis, M., Dyatmika, H. S., Indradjad, A., & **Candra, D. S.** (2019). *Software Pengolahan Citra Satelit NOAA 20 Untuk Ekstraksi Informasi Gas Rumah Kaca (LAPAN GRK-NOAA20 Versi 1.0)* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000166717). Tanggal Pencatatan 1 Juni 2019. DJKI.
61. **Candra, D. S.**, & Prabowo, Y. (2019). *Software Penghapusan Awan dan Bayangannya untuk Citra Sentinel-2 Versi 1.0* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000166705). Tanggal Pencatatan 1 Oktober 2019. DJKI.
62. **Candra, D. S.**, & Prabowo, Y. (2019). *Software Penghapusan Awan dan Bayangannya untuk Citra Landsat 8 Versi 1.0* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000147797). Tanggal Pencatatan 2 Mei 2019. DJKI.
63. Prabowo, Y., & **Candra, D. S.** (2019). *Metode Penyeimbangan Warna Citra Satelit SPOT 6 Dan SPOT 7 Menggunakan Spesifikasi Histogram Dan Pengaturan Mean Lokal* (Nomor Paten P00201910925). Tanggal Pendaftaran 26 November 2019. DJKI.
64. Indrajad, A., **Candra, D. S.**, & Kurnia Robiansyah. (2013). *Sistem Katalog Data MODIS (Versi 1.0)* (Nomor Sertifikat Hak Cipta 000174570). Tanggal Pencatatan 1 September 2013. DJKI.

## DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Candra, D. S.**, Dewanti, R., Kustiyo, Purbantoro, B., Prabowo, Y., Rahayu, M. I., Ulfa, K., & Rangkuti, C. N. (2021). Standar Nasional Indonesia 8996:2021 Pengolahan data penginderaan jauh - Cloud masking citra optik satelit penginderaan jauh resolusi menengah. Surat Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 623/KEP/BSN/12/2021 Tentang Penetapan SNI 8996:2021 Pengolahan Data Penginderaan Jauh – Cloud Masking Citra Optik Satelit Penginderaan Jauh Resolusi Menengah.
2. Dewanti, R., **Candra, D. S.**, Kustiyo, Muchsin, F., Maryanto, A., Prabowo, Y., & Dianovita. (2020). Standar Nasional Indonesia 8940:2020 Pengolahan data penginderaan jauh - Koreksi radiometrik data optik satelit penginderaan jauh. Surat Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 709/KEP/BSN/12/2020 Tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 8940:2020 Pengolahan Data Penginderaan Jauh – Koreksi Radiometrik Data Optik Satelit Penginderaan Jauh.
3. **Candra, D. S.** (2019). *Cloud removal analysis of remote sensing satellite imagery*. The University of Queensland. <https://doi.org/10.14264/uql.2019.908>
4. **Candra, D. S.** (2010). *Analysis of Multi-spectral Remote Sensing Data Classification Using SOFM Neural Network*. [Thesis tidak diterbitkan]. Beihang University.
5. **Candra, D. S.** (2002). *Fungsi Bervariasi Terbatas dan Fungsi Kontinu Mutlak*. [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Sebelas Maret.
6. Roswintarti, O., Dewanti, R., Furby, S., Wallace, Jeremy, ....., **Danang Surya Candra**, ....., & Hidayat, S. (2014). The Remote Sensing Monitoring Program of Indonesia's National Carbon Accounting System: Methodology and Products, version 1. Jakarta.





## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Nama                    | : Danang Surya Candra, S.Si.,<br>M.Sc., Ph.D.  |
| Tempat, Tanggal Lahir   | : Surakarta, 10 Januari 1979   |
| Anak ke                 | : 3 dari 4 Bersaudara  |
| Jenis Kelamin           | : Laki-laki  |
| Nama Ayah Kandung       | : Mulyanto   |
| Nama Ibu Kandung        | : Hermintarsih   |
| Nama Istri              | : Raden Vitri Garvita G. S.Si., M.Si   |
| Nama Instansi           | : Pusat Riset Geoinformatika,<br>Organisasi Riset Elektronika dan<br>Informatika BRIN  |
| Judul Orasi             | : Kontribusi Citra Satelit Multi-<br>resolusi Tutupan Awan Minimum<br>Akurasi Tinggi untuk Mendukung<br>Ketersediaan Data Siap Pakai di<br>Indonesia |
| Ilmu                    | : Teknologi Keantariksaan  |
| Bidang                  | : Teknologi Penginderaan Jauh  |
| Kepakaran               | : Teknologi Pengolahan Data Awal<br>Penginderaan Jauh  |
| No. SK Pangkat Terakhir | : Keputusan Kepala BRIN No.<br>6846/I/KP/2022, tanggal<br>30 September 2022  |

No. SK Peneliti Ahli Utama : Keputusan Presiden RI No 38/M  
Tahun 2023, tanggal 18 September  
2023

## B. Pendidikan Formal

| No. | Jenjang | Nama Sekolah/<br>PT/Universitas       | Tempat/Kota/<br>Negara | Tahun<br>Lulus |
|-----|---------|---------------------------------------|------------------------|----------------|
| 1.  | SD      | SDN Dawung<br>Tengah                  | Solo/Indonesia         | 1991           |
| 2.  | SMP     | SMPN 4                                | Solo/Indonesia         | 1994           |
| 3.  | SMA     | SMAN 4                                | Solo/Indonesia         | 1997           |
| 4.  | S-1     | Universitas<br>Sebelas Maret<br>(UNS) | Solo/Indonesia         | 2022           |
| 5.  | S-2     | Beihang<br>University                 | Beijing/China          | 2010           |
| 6.  | S-3     | University of<br>Queensland           | Brisbane/<br>Australia | 2019           |

## C. Pendidikan Nonformal

| No. | Nama Pelatihan/Pendidikan                             | Tempat/Kota/<br>Negara | Tahun |
|-----|---|------------------------|-------|
| 1.  | ASEAN-China <i>Training Course</i>                    | Beijing, China         | 2007  |
| 2.  | <i>Basic Training Course Step 2 on ALOS Data Use</i>  | Jakarta, Indonesia     | 2010  |
| 3.  | <i>JAXA Training on ALOS Data Use Advanced Course</i> | Jakarta, Indonesia     | 2010  |

| No. | Nama Pelatihan/Pendidikan   | Tempat/Kota/<br>Negara | Tahun |
|-----|---|------------------------|-------|
| 4.  | <i>Building Advance Radar Capacity for Indonesia's National Forest and Carbon Accounting Systems – Part 1: Radar Pre-processing Training</i>  | Jakarta, Indonesia     | 2011  |
| 5.  | <i>Building Advance Radar Capacity for Indonesia's National Forest and Carbon Accounting Systems – Part 2: Radar Classification Training</i>  | Jakarta, Indonesia     | 2011  |
| 6.  | <i>Building Advance Radar Capacity for Indonesia's National Forest and Carbon Accounting Systems – Part 3: Operational Test PALSAR System</i> | Jakarta, Indonesia     | 2012  |
| 7.  | <i>Workshop on Developing Atmospheric Correction of Satellite Imagery for Future INCAS Program</i>  | Jakarta, Indonesia     | 2015  |
| 8.  | <i>Bimbingan Teknis Drafting Paten</i>  | Bogor, Indonesia       | 2019  |
| 9.  | <i>Mastering Practical GNU R System for Machine Learning</i>  | Jakarta, Indonesia     | 2021  |
| 10. | Workshop Pengolahan Data Penginderaan Jauh dan Koreksi Topografi Menggunakan R Studio   | Jakarta, Indonesia     | 2021  |

| No. | Nama Pelatihan/Pendidikan   | Tempat/Kota/<br>Negara | Tahun |
|-----|---|------------------------|-------|
| 11. | Pelatihan dan Operasional UAV (Drone) Multispektral RTK dan Aplikasinya   | Jakarta, Indonesia     | 2021  |
| 12. | <i>International Conference and Workshop on Artificial Intelligence Remote Sensing for Foresty Applications</i> | Jakarta, Indonesia     | 2021  |

#### D. Jabatan Fungsional

| No. | Jenjang Jabatan          | TMT Jabatan     |
|-----|--------------------------|-----------------|
| 1.  | Peneliti Pertama - III/a | 1 April 2010    |
| 2.  | Peneliti Muda - III/c    | 1 Maret 2013    |
| 3.  | Peneliti Madya           | 1 Mei 2022      |
| 4.  | Peneliti Utama           | 10 Oktober 2023 |

#### E. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

| No. | Jabatan/Pekerjaan   | Pemberi Tugas                                      | Tahun |
|-----|---|--|-------|
| 1.  | Peserta ASEAN-China Training Course, Beijing, China                             | Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) | 2007  |
| 2.  | Presenter <i>International Workshop on Air Quality in Asia</i> , Hanoi, Vietnam | Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) | 2014  |

| No. | Jabatan/Pekerjaan   | Pemberi Tugas   | Tahun |
|-----|---|---|-------|
| 3.  | Tim Penyusun Rancangan Standar Nasional Indonesia “Pengolahan Data Penginderaan Jauh – Koreksi Radiometrik Citra Satelit Penginderaan Jauh Optik”             | Komite Teknis Perumusan Standar Nasional Indonesia 49-02 Sistem Informasi dan Akuisisi Data Keantariksaan | 2020  |
| 4.  | Tim Perumus Rancangan Standar Nasional Indonesia “Pengolahan Data Penginderaan Jauh – Koreksi Geometrik Data Penginderaan Jauh Citra Satelit Resolusi Tinggi” | Komite Teknis 07-01 Informasi Geografi/ Geomatika   | 2020  |
| 5.  | Tim Perumus Rancangan Standar “Pengolahan data penginderaan jauh – <i>Cloud masking</i> citra penginderaan jauh optik”  | Komite Teknis Perumusan Standar Nasional Indonesia 49-02 Sistem Informasi dan Akuisisi Data Keantariksaan | 2021  |
| 6.  | Tim Perumus Rancangan Standar “Pengolahan data penginderaan jauh – Mosaik tutupan awan minimum citra penginderaan jauh optik”                                 | Komite Teknis Perumusan Standar Nasional Indonesia 49-02 Sistem Informasi dan Akuisisi Data Keantariksaan | 2021  |
| 7.  | Peserta <i>The 3<sup>rd</sup> Seminar on China-ASEAN Satellite Remote Sensing</i> di Nanning, China   | Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)   | 2023  |

| No. | Jabatan/Pekerjaan   | Pemberi Tugas                           | Tahun     |
|-----|---|---|-----------|
| 8.  | Peserta <i>CropBio Project Inception Meeting &amp; Field Demonstration of Project Methodology</i> di Bintulu, Malaysia  | Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) | 2024      |
| 9.  | <i>Presenter Country Report</i> pada <i>The 16th Asia-Oceania Group on Earth Observation (AOGEO) Symposium</i> , Tokyo, Jepang  | Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) | 2024      |
| 10. | Peserta <i>Regional Capacity Building Workshop on Geospatial Applications for Crop Biodiversity &amp; Field Demonstration</i> di Mangshi, China   | Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) | 2024      |
| 11. | <i>National Contact Point (NCP)</i> pada <i>Fora dan Organisasi Internasional Keantariksaan: Group on Earth Observation-Global Earth Observation System of Systems (GEO-GEOSS)</i> pada <i>Indonesian Space Agency (INASA) - BRIN</i> | Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) | 2022–2024 |
| 12. | Representative dari Indonesia pada <i>Crop-Bio Project</i> yang diinisiasi oleh UNESCAP dan AIRCAS  | Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) | 2024–2026 |

## F. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

| No. | Nama Kegiatan  | Peran/<br>Tugas | Penyelenggara<br>(Kota, Negara) | Tahun |
|-----|--|-----------------|---------------------------------|-------|
| 1.  | <i>34th Asian Conference on Remote Sensing 2013</i>  | Pemakalah       | Bali, Indonesia                 | 2013  |
| 2.  | <i>12<sup>th</sup> Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC)</i>             | Pemakalah       | Bali, Indonesia                 | 2014  |
| 3.  | <i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) 2016 - XXIII ISPRS Congress</i> | Pemakalah       | Praha, Republik Ceko            | 2016  |
| 4.  | <i>2017 6th International Conference on Agro-Geoinformatics</i>  | Pemakalah       | Fairfax, USA                    | 2017  |
| 5.  | <i>The Fifth International Conferences of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS)</i>           | Pemakalah       | Bandung, Indonesia              | 2019  |



| No. | Nama Kegiatan   | Peran/<br>Tugas | Penyelenggara<br>(Kota, Negara) | Tahun |
|-----|---|-----------------|---------------------------------|-------|
| 6.  | <i>The 7th International Conference on Science and Technology</i> (ICST 2021) | Pemakalah       | Yogyakarta,<br>Indonesia        | 2021  |

### G. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

| No. | Nama Jurnal   | Penerbit                                   | Peran/Tugas    | Tahun     |
|-----|---|--|----------------|-----------|
| 1.  | <i>International Journal of Remote Sensing</i>                    | Taylor & Francis                           | Mitra Bestari  | 2020      |
| 2.  | Jurnal Inderaja dan Pengolahan Data Digital                       | Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional | Mitra Bestari  | 2020–2021 |
| 3.  | <i>International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences</i> | Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional | Proof Reader   | 2021      |
| 4.  | Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital             | Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional | Section Editor | 2020–2021 |
| 5.  | <i>GIScience &amp; Remote Sensing</i>                             | Taylor & Francis                           | Mitra Bestari  | 2021      |
| 6.  | <i>Geo-spatial Information Science</i>                            | Taylor & Francis                           | Mitra Bestari  | 2022      |

| No. | Nama Jurnal  | Penerbit         | Peran/Tugas   | Tahun     |
|-----|--|------------------|---------------|-----------|
| 7.  | <i>Egyptian Journal of Petroleum</i>                             | Elsevier         | Mitra Bestari | 2023      |
| 8.  | <i>Journal of Natural Resources and Environmental Management</i> | IPB              | Mitra Bestari | 2024      |
| 9.  | <i>International Journal of Remote Sensing</i>                   | Taylor & Francis | Mitra Bestari | 2022–2024 |

## H. Karya Tulis Ilmiah dan Paten/Hak Cipta

| No. | Kualifikasi Penulis     | Jumlah |
|-----|-------------------------|--------|
| 1.  | Penulis Tunggal         | 11     |
| 2.  | Bersama Penulis Lainnya | 53     |
|     | Total                   | 64     |

## I. Kualifikasi Bahasa

| No. | Kualifikasi Bahasa | Jumlah |
|-----|--------------------|--------|
| 1.  | Bahasa Indonesia   | 32     |
| 2.  | Bahasa Inggris     | 32     |
|     | Total              | 64     |

**J. Pembinaan Kader Ilmiah**

**Pejabat Fungsional Peneliti**

| No. | Nama          | Instansi | Peran/Tugas | Tahun         |
|-----|---------------|----------|-------------|---------------|
| 1.  | Kurnia Ulfa   | BRIN     | Pembimbing  | 2020          |
| 2.  | Yudhi Prabowo | BRIN     | Pembimbing  | 2021–<br>2022 |

**Mahasiswa**

| No. | Nama                  | Instansi                 | Peran/Tugas                 | Tahun         |
|-----|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1.  | Yenniwarti<br>Rafsyam | Universitas<br>Gunadarma | Ko-Promotor<br>Disertasi S3 | 2022–<br>2024 |
| 2.  | Elvin Savitri         | Universitas<br>Brawijaya | Pembimbing<br>Skripsi S1    | 2023–<br>2024 |

**K. Organisasi Profesi Ilmiah**

| No. | Jabatan | Nama Organisasi                                | Tahun         |
|-----|---------|--|---------------|
| 1.  | Anggota | Himpunan<br>Peneliti Indonesia<br>(HIMPENINDO) | 2019–2021     |
| 2.  | Anggota | Perhimpunan Periset<br>Indonesia (PPI)         | 2022–Sekarang |

**L. Tanda Penghargaan**

| No. | Nama Penghargaan                    | Pemberi Penghargaan            | Tahun |
|-----|-------------------------------------|--------------------------------|-------|
| 1.  | Satyalancana Karya<br>Satya X Tahun | Presiden Republik<br>Indonesia | 2015  |

Pada orasi ini disampaikan *state of the art* tentang perkembangan, tantangan, penemuan, kontribusi dan hilirisasi citra satelit multiresolusi tutupan awan minimum akurasi tinggi untuk mendukung ketersediaan data siap pakai di Indonesia. Penemuan-penemuan tersebut dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai pengolahan citra satelit multiresolusi tutupan awan minimum akurasi tinggi di Indonesia sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi model deteksi awan yang menghasilkan tutupan awan minimum melalui teknologi berbasis *artificial intelligence* (AI).

*Deep learning* yang merupakan subset dari AI digunakan untuk mendeteksi multikelas awan meliputi awan tebal, awan tipis, bayangan awan, dan non awan dengan menghasilkan akurasi tinggi. Hasilnya dapat digunakan untuk membuat citra tutupan awan minimum siap pakai yang dikenal dengan istilah *Analysis Ready Data* (ARD). Data ARD ini dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut secara langsung oleh *stakeholder* atau pengguna.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang metode pengolahan citra satelit multiresolusi tutupan awan minimum akurasi tinggi untuk mengatasi tutupan awan yang merupakan kendala utama pada citra satelit optik. Dengan demikian, citra satelit tutupan awan minimum yang akurat dapat dihasilkan, sehingga dapat memenuhi kebutuhan nasional yaitu citra satelit siap pakai dan mendukung kemandirian teknologi pengolahan citra dari satelit-satelit yang sudah ada maupun yang akan dibangun sehingga tercipta kemandirian bangsa.

BRIN Publishing  
*The Legacy of Knowledge*

Diterbitkan oleh:  
**Penerbit BRIN**, anggota Ikapi  
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,  
Jl. M.H. Thamrin No. 8,  
Kota Jakarta Pusat 10340  
E-mail: [penerbit@brin.go.id](mailto:penerbit@brin.go.id)  
Website: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)

DOI: 10.55981/brin-others.1692



ISBN 978-602-6303-53-0



9 786026 303530