

# Analisis Perubahan Dinamika Garis Pantai Watu Gedek dan Muara Gede Kabupaten Lumajang Menggunakan Data Satelit Multi-Temporal dan Analisis Spasial

## *Analysis of Changes in the Coastal Dynamics of Watu Gedek and Muara Gede in Lumajang Regency Using Multi-Temporal Satellite Data and Spatial Analysis*

**Anna Rosytha<sup>1</sup>, Zainal Abidin, Arifien Nursandah**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Jl. Sutorejo No. 59  
Surabaya Email : [anna.rosytha@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:anna.rosytha@ft.um-surabaya.ac.id)

### Abstrak

Wilayah pesisir selatan Kabupaten Lumajang memiliki dinamika garis pantai yang tinggi akibat pengaruh gelombang Samudera Hindia, arus laut, sedimentasi muara sungai, dan aktivitas manusia. Perubahan garis pantai berupa abrasi dan akresi berdampak pada geomorfologi pantai, ekosistem pesisir, serta aktivitas sosial ekonomi masyarakat. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan dinamika garis pantai di kawasan Watu Gedek dan Muara Gede, Kecamatan Tempursari, Kabupaten Lumajang menggunakan citra Landsat periode 2020–2025. Metode yang digunakan meliputi ekstraksi garis pantai dengan MNDWI, analisis kuantitatif menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS), serta pendekatan prediksi menggunakan QSCAT dan machine learning Random Forest. Parameter yang dianalisis meliputi NSM, EPR, LRR, dan SCE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abrasi mendominasi sekitar  $\pm 74\%$  transek dengan laju maksimum  $-11,49$  m/tahun. Zona abrasi terkuat berada pada segmen tengah, sedangkan akresi terbatas terjadi di bagian timur dan barat dengan laju hingga  $+2,45$  m/tahun akibat suplai sedimen lokal. Hasil QSCAT dan Random Forest menunjukkan pola yang konsisten dengan DSAS. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan pesisir yang adaptif dan berbasis data spasial.

**Kata Kunci:** Garis pantai; Abrasi; Akresi; DSAS; Random Forest.

### Abstract

*The southern coastal area of Lumajang Regency experiences high shoreline dynamics due to Indian Ocean waves, ocean currents, river mouth sedimentation, and human activities. Shoreline changes in the form of erosion and accretion affect coastal geomorphology, ecosystem stability, and socio-economic activities. This study aims to analyze shoreline dynamics in the Watu Gedek and Muara Gede areas, Tempursari District, Lumajang Regency, using Landsat imagery from 2020–2025. The methods include shoreline extraction using MNDWI, quantitative analysis with the Digital Shoreline Analysis System (DSAS), and prediction approaches using QSCAT and Random Forest machine learning. The analyzed parameters include NSM, EPR, LRR, and SCE. The results show that erosion dominates approximately  $\pm 74\%$  of the transects, with a maximum rate of  $-11.49$  m/year. The most severe erosion occurs in the central segment, while limited accretion occurs in the eastern and western parts with rates up to  $+2.45$  m/year due to local sediment supply. QSCAT and Random Forest results show consistent patterns with DSAS. These findings highlight the importance of adaptive and spatial-data-based coastal management.*

**Keywords:** Shoreline; Erosion; Accretion; DSAS; Random Forest

## PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan zona transisi yang sangat dinamis karena menjadi area pertemuan antara proses daratan dan lautan. Dinamika tersebut dipengaruhi oleh interaksi gelombang, arus laut, pasang surut, angin, sedimentasi, serta proses erosi yang berlangsung secara terus-menerus (Bird, 2008;

Boak, E. H., & Turner, 2005). Perubahan garis pantai merupakan salah satu indikator utama dari dinamika pesisir yang dapat terjadi dalam bentuk abrasi maupun akresi. Abrasi terjadi ketika material pantai mengalami pengikisan akibat energi gelombang dan arus yang tinggi, sedangkan akresi terjadi ketika proses pengendapan sedimen lebih dominan dibandingkan proses erosi. Kedua proses tersebut

secara langsung memengaruhi bentuk geomorfologi pantai, stabilitas ekosistem pesisir, serta keberlanjutan aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat yang bergantung pada wilayah pantai (Bird, 2008; Hapke, C. J., Himmelstoss, E. A., Kratzmann, M. G., List, J. H., & Thieler, 2013).

Selain faktor alami, perubahan garis pantai juga dipercepat oleh aktivitas antropogenik seperti pembangunan infrastruktur pesisir, reklamasi, konversi lahan, eksploitasi sumber daya pesisir, serta perubahan tata guna lahan di wilayah hulu. Aktivitas tersebut dapat mengubah keseimbangan suplai sedimen dan meningkatkan kerentanan terhadap abrasi maupun banjir rob. Menurut Hapke et al. (2013), perubahan penggunaan lahan dan pembangunan yang tidak terencana di wilayah pesisir menjadi salah satu penyebab utama percepatan perubahan morfologi pantai di berbagai wilayah dunia. Oleh karena itu, pemantauan perubahan garis pantai secara periodik menjadi sangat penting sebagai dasar dalam perencanaan pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan.

Kabupaten Lumajang yang terletak di Provinsi Jawa Timur memiliki garis pantai sepanjang kurang lebih  $\pm 25$  km yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Kondisi ini menyebabkan wilayah pesisir Lumajang menerima energi gelombang tinggi sepanjang tahun, sehingga memiliki tingkat kerentanan yang cukup besar terhadap abrasi pantai. Karakteristik pesisir selatan Jawa yang berhadapan langsung dengan laut lepas menjadikan dinamika garis pantai lebih kompleks dibandingkan wilayah pesisir utara Jawa yang relatif terlindungi. Kawasan pesisir Watu Gedek hingga Muara Gede di Kecamatan Tempursari merupakan salah satu wilayah yang menunjukkan indikasi perubahan garis pantai yang signifikan akibat kombinasi faktor oseanografi, sedimentasi muara sungai, dan aktivitas manusia di sekitar kawasan pesisir.

Meskipun demikian, kajian mengenai dinamika perubahan garis pantai di wilayah pesisir selatan Jawa, khususnya Kabupaten Lumajang, masih relatif terbatas dibandingkan penelitian di wilayah pesisir utara Jawa seperti Semarang, Pekalongan, maupun Surabaya. Keterbatasan data jangka panjang dan minimnya pemantauan spasial menyebabkan pemahaman terhadap pola perubahan garis pantai di wilayah ini belum optimal. Padahal, informasi mengenai tren abrasi, akresi, dan lokasi hotspot perubahan sangat diperlukan untuk mendukung kebijakan mitigasi bencana pesisir dan pengelolaan ruang wilayah pantai secara adaptif.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) memberikan solusi yang efektif dalam menganalisis perubahan

garis pantai secara multi-temporal. Citra satelit Landsat menjadi salah satu sumber data yang paling banyak digunakan karena memiliki cakupan temporal panjang, resolusi spasial yang memadai, serta ketersediaan data historis sejak tahun 1970-an (Gens, 2010). Melalui pendekatan indeks air seperti *Normalized Difference Water Index* (NDWI) dan *Modified NDWI* (MNDWI), batas darat-laut dapat diidentifikasi secara lebih akurat sehingga memudahkan proses ekstraksi garis pantai (Pardo-Pascual, J. E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L. A., & Palomar-Vázquez, 2012; Xu, Z., 2023).

Untuk menghitung laju perubahan garis pantai secara kuantitatif, metode Digital Shoreline Analysis System (DSAS) banyak digunakan karena mampu menghasilkan parameter statistik seperti *Shoreline Change Envelope* (SCE), *Net Shoreline Movement* (NSM), *End Point Rate* (EPR), dan *Linear Regression Rate* (LRR) (Hapke, C. J., Himmelstoss, E. A., Kratzmann, M. G., List, J. H., & Thieler, 2013; Himmelstoss, E. A., 2018). Metode ini memungkinkan identifikasi lokasi-lokasi yang mengalami abrasi dan akresi secara signifikan dalam periode waktu tertentu. Selain itu, integrasi pendekatan machine learning seperti Random Forest dapat meningkatkan akurasi klasifikasi spasial dan mendukung pengembangan model prediksi abrasi di masa mendatang. *Random Forest* dikenal efektif dalam menangani data spasial multi-variabel dan memiliki performa tinggi dalam analisis lingkungan pesisir (Belgiu, M., & Drăguț, 2016; Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Fang, 2018).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis dinamika perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Lumajang, khususnya kawasan Watu Gedek hingga Muara Gede, Kecamatan Tempursari, selama periode 1990–2025. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan garis pantai secara multi-temporal, menghitung laju abrasi dan akresi, mengidentifikasi hotspot perubahan, serta mengembangkan model prediksi abrasi berbasis *Artificial Intelligence* (AI). Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam mendukung pengelolaan wilayah pesisir yang adaptif, berkelanjutan, dan berbasis data spasial.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi: (1) bagaimana pola perubahan garis pantai di Lumajang periode 1990–2025; (2) berapa laju abrasi dan akresi serta lokasi hotspot perubahan; (3) faktor-faktor apa yang memengaruhi perubahan garis pantai; dan (4) bagaimana implikasi perubahan tersebut terhadap pengelolaan wilayah pesisir. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berorientasi pada analisis historis perubahan garis pantai, tetapi juga pada

penyusunan strategi pengelolaan pesisir yang lebih adaptif terhadap dinamika lingkungan pantai di masa mendatang.

## TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Dinamika Garis Pantai

Garis pantai merupakan batas dinamis antara daratan dan laut yang terus berubah akibat interaksi proses oseanografi, geomorfologi, dan aktivitas manusia (Bird, 2008; Boak & Turner, 2005). Perubahan ini dikontrol oleh keseimbangan antara energi gelombang, transport sedimen, dan kondisi morfologi pantai. Ketidakseimbangan sistem tersebut menyebabkan perubahan berupa abrasi (kemunduran garis pantai) dan akresi (penambahan daratan) (Hapke et al., 2013).

Faktor alami utama meliputi gelombang, arus sejajar pantai (longshore current), pasang surut, serta ketersediaan sedimen. Di sisi lain, faktor antropogenik seperti pembangunan struktur pantai, reklamasi, penambangan pasir, serta perubahan tata guna lahan dapat mengganggu keseimbangan sistem pesisir dan mempercepat abrasi (Hapke et al., 2013).

Secara temporal, perubahan garis pantai dapat terjadi dalam skala jangka pendek (harian–musiman), menengah (tahunan–dekadal), hingga jangka panjang (multi-dekade), sehingga diperlukan pendekatan analisis berbasis data multi-temporal untuk memahami tren perubahan secara komprehensif (Gens, 2010; Pardo-Pascual et al., 2012).

### 2. Penginderaan Jauh untuk Analisis Garis Pantai

Pendekatan Penginderaan Jauh menjadi metode utama dalam analisis dinamika garis pantai karena mampu menyediakan data spasial multi-temporal secara luas dan konsisten (Gens, 2010; Pardo-Pascual et al., 2012). Citra Landsat banyak digunakan karena memiliki resolusi spasial 30 m, resolusi temporal 16 hari, serta ketersediaan data historis yang panjang (Gens, 2010). Ekstraksi garis pantai dilakukan dengan membedakan daratan dan perairan berdasarkan karakteristik spektral menggunakan indeks seperti NDWI dan MNDWI (Xu, 2006). Proses ini melibatkan tahapan koreksi citra, masking awan, komposit data, hingga klasifikasi darat–laut dan ekstraksi vektor garis pantai (Pardo-Pascual et al., 2012; Gens, 2010).

### 3. Analisis Kuantitatif dengan DSAS

*Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) merupakan tool berbasis GIS yang digunakan untuk menghitung perubahan garis pantai secara kuantitatif

melalui pendekatan transek (Thieler et al., 2009; Himmelstoss et al., 2018). Metode ini bekerja dengan membandingkan posisi garis pantai pada berbagai waktu untuk menghasilkan parameter seperti:

- *Net Shoreline Movement (NSM)*
- *End Point Rate (EPR)*
- *Linear Regression Rate (LRR)*
- *Shoreline Change Envelope (SCE)*

DSAS memungkinkan analisis perubahan secara spasial dan temporal dengan tingkat akurasi yang tinggi, serta telah menjadi standar internasional dalam studi dinamika garis pantai.

### 4. Integrasi Metode dan Perkembangan Teknologi

Integrasi antara citra Landsat dan DSAS merupakan pendekatan umum dalam analisis perubahan garis pantai, yang memungkinkan identifikasi tren abrasi dan akresi secara kuantitatif (Thieler et al., 2009; Himmelstoss et al., 2018; Gens, 2010). Selain itu, perkembangan kecerdasan buatan seperti Random Forest meningkatkan akurasi ekstraksi garis pantai serta memungkinkan analisis pola non-linear dan prediksi perubahan di masa depan (Belgiu & Drăguț, 2016; Maxwell et al., 2018).

Pendekatan integratif ini memberikan keunggulan dalam menghasilkan informasi yang lebih akurat, sistematis, dan berbasis data, sehingga sangat relevan untuk mendukung mitigasi bencana pesisir dan perencanaan wilayah (Hapke et al., 2013; Gens, 2010).

### 5. State of the Art dan Research Gap

Studi global menunjukkan bahwa pemanfaatan citra Landsat dan metode DSAS efektif dalam menganalisis perubahan garis pantai secara kuantitatif dalam jangka panjang (Thieler et al., 2009; Himmelstoss et al., 2018; Gens, 2010; Pardo-Pascual et al., 2012). Di Indonesia, penelitian umumnya terfokus pada pesisir utara Jawa, sementara pesisir selatan—termasuk Lumajang—masih relatif minim kajian berbasis data spasial (Santoso, A., & Hidayat, 2020; Supriyadi, I. H., & Setiawan, 2019; Wicaksono, P., & Lazuardi, 2018). Selain itu, sebagian besar penelitian berfokus pada analisis jangka panjang ( $\geq 10$  tahun), sedangkan kajian perubahan cepat dalam periode pendek ( $\pm 5$  tahun) masih terbatas (Gens, 2010; Hapke et al., 2013). Padahal, perubahan garis pantai dapat terjadi secara signifikan dalam waktu singkat akibat kondisi

## METODOLOGI

### 1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di pesisir selatan Desa Bulurejo, Kecamatan Tempursari, Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Area pengamatan mencakup segmen pantai sepanjang  $\pm 1,5$  km yang membentang antara Pantai Watu Gedek hingga Muara Gede. Wilayah ini merupakan bagian dari sistem pantai terbuka (*open coast*) yang terpapar langsung oleh dinamika perairan Samudra Hindia, dicirikan oleh energi gelombang yang relatif tinggi, dinamika sedimentasi yang aktif, serta keberadaan muara sungai yang turut mempengaruhi distribusi sedimen dan perubahan garis pantai secara lokal.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (sumber: Google Earth, 2026)

## 2. Data dan Sumber Data

Data utama berupa citra satelit Landsat (Landsat 8 dan 9) periode 2020 – 2025, yang dipilih berdasarkan kualitas citra dan tutupan awan rendah. Data ini digunakan untuk analisis perubahan garis pantai secara multi-temporal.

## 3. Tahapan Penelitian

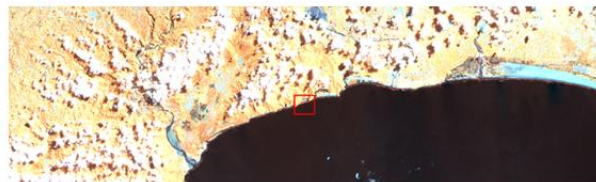
Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan utama sebagai berikut:

1. Pra-Proses Citra, meliputi masking awan, komposit median tahunan, dan pengolahan berbasis cloud menggunakan Google Earth Engine (GEE) untuk menghasilkan citra yang bebas dari tutupan awan sehingga permukaan bumi dapat terekam dan teridentifikasi secara jelas dan konsisten.
2. Ekstraksi Garis Pantai, dilakukan menggunakan indeks spektral NDWI/MNDWI untuk memisahkan darat dan laut, dilanjutkan dengan klasifikasi dan konversi menjadi data vektor garis pantai tiap tahun.
3. Analisis Perubahan Garis Pantai, Analisis dilakukan menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS) melalui pendekatan baseline dan transek (interval  $\pm 10-25$  m). Parameter yang dihitung meliputi:
  - NSM (*Net Shoreline Movement*)
  - EPR (*End Point Rate*)

- LRR (*Linear Regression Rate*)
- SCE (*Shoreline Change Envelope*)



Gambar Citra Lokasi Studi tahun 2020



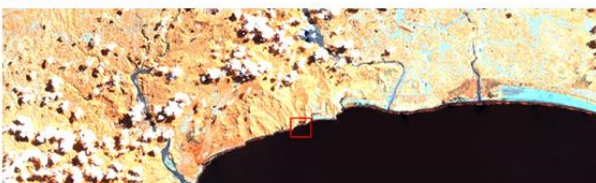
Gambar Citra Lokasi Studi tahun 2021



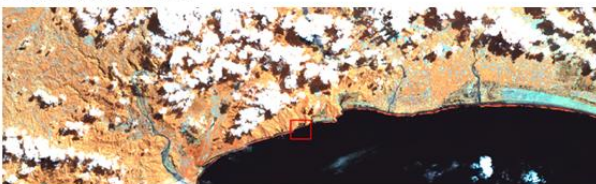
Gambar Citra Lokasi Studi Tahun 2022



Gambar Citra Lokasi Studi tahun 2023



Gambar Citra Lokasi Studi tahun 2024



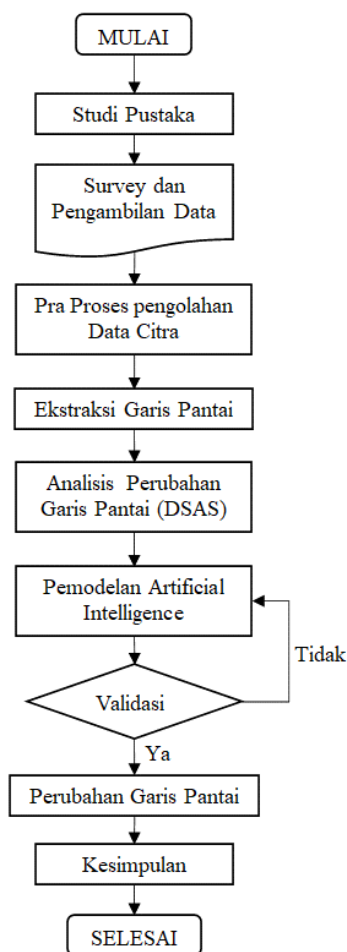
Gambar Citra Lokasi Studi tahun 2025

Gambar 2. Citra Landsat Lokasi Studi Tahun 2020 - 2025 (Sumber : Landsat, pengolahan data, 2026)

4. Pemodelan *Artificial Intelligence*, Pendekatan machine learning menggunakan Random Forest digunakan untuk meningkatkan akurasi klasifikasi dan memprediksi perubahan garis pantai.
5. Validasi, dilakukan menggunakan citra resolusi tinggi dan/atau data lapangan, dengan metode evaluasi seperti RMSE untuk menilai akurasi posisi garis pantai.
6. Penyajian Hasil, hasil analisis disajikan dalam bentuk spasial dan kuantitatif yang meliputi:

- Peta perubahan garis pantai : Menyajikan visualisasi spasial posisi garis pantai dari waktu ke waktu.
- Peta abrasi dan akresi : Menggambarkan sebaran wilayah yang mengalami kemunduran garis pantai (abrasi) maupun penambahan daratan (akresi)
- Identifikasi hotspot perubahan : Menentukan segmen-segmen pantai yang mengalami perubahan paling signifikan
- Analisis statistik laju perubahan : Menyajikan besaran laju perubahan garis pantai

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini :



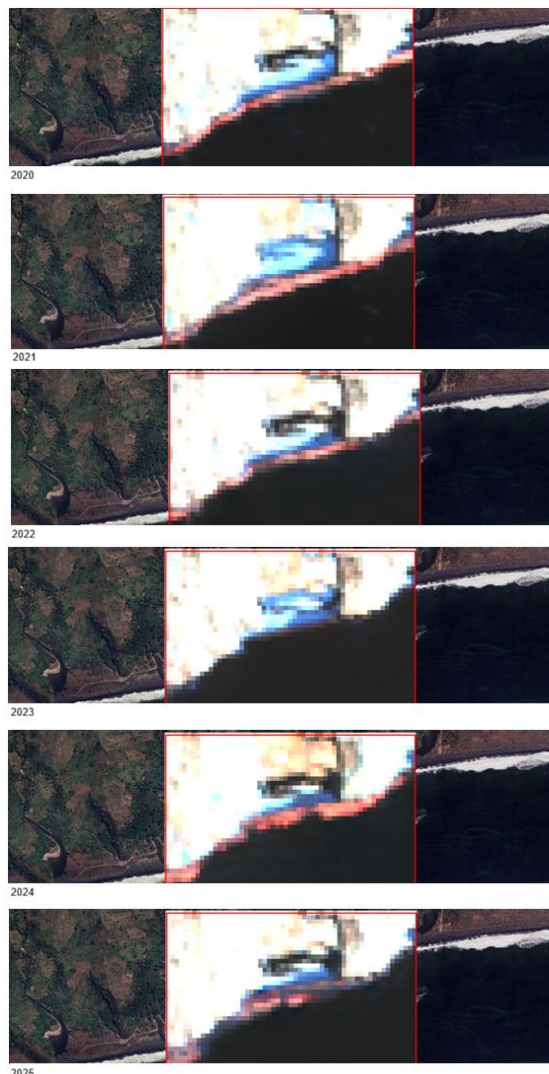
Gambar 3. Diagram alir penelitian analisa dinamika perubahan garis pantai

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perubahan Garis Pantai

Analisis awal dilakukan secara visual terhadap citra satelit Landsat periode tahun 2020 hingga 2025 pada wilayah studi pesisir Kabupaten Lumajang

daerah Watu Gedek dan Muara Gede, Kabupaten Lumajang. Berdasarkan rangkaian citra multi-temporal yang telah ditampilkan, terlihat bahwa wilayah studi mengalami dinamika garis pantai yang cukup signifikan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir, khususnya pada area sekitar muara sungai (ditandai kotak merah).



Gambar 4. Garis Pantai Lokasi Studi tahun 2020 - 2025 (Sumber : Landsat, pengolahan data, 2026)

### Analisis Detail Area Studi (Crop AOI Landsat 2020–2025)

Berdasarkan hasil cropping citra Landsat pada area studi (Watu Gedek dan Muara Gede), dilakukan analisis lebih detail terhadap dinamika garis pantai dalam skala lokal. Area cropping difokuskan pada segmen sepanjang  $\pm 1,5$  km yang mencakup zona pantai aktif dan area muara sungai.

1. Identifikasi batas darat–laut. Dari citra cropping terlihat kontras spektral yang cukup jelas antara area laut dengan berwarna gelap (biru tua–hitam), zona pantai (surf zone),

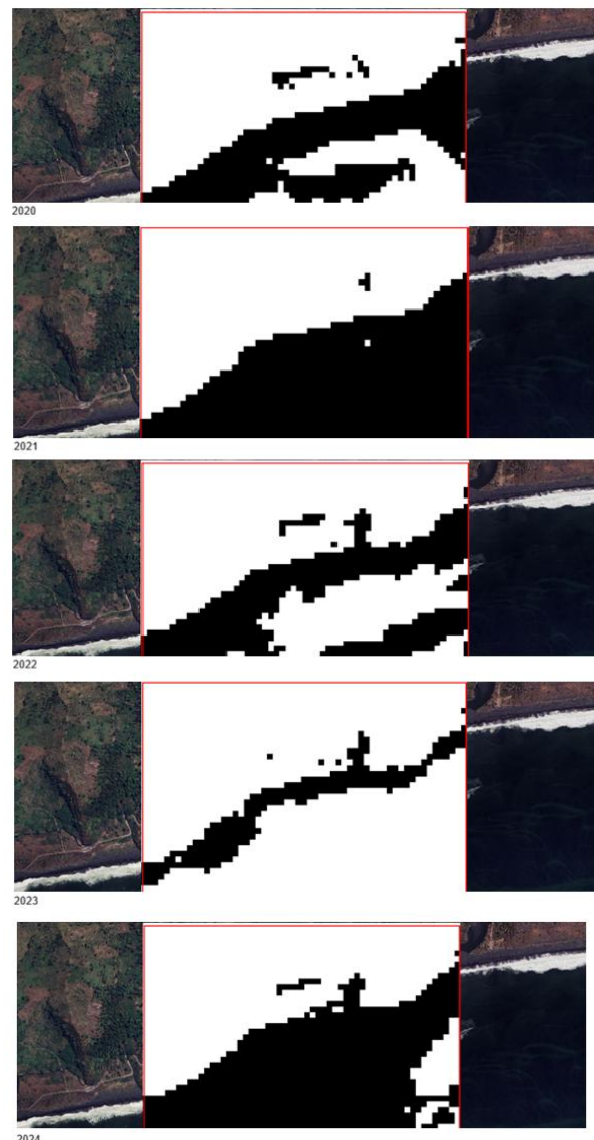
- warna terang (putih/abu), daratan, warna cerah hingga kehijauan
2. Dinamika garis pantai (indikasi visual). Dari perbandingan antar tahun (2020–2025), terlihat bahwa :
    - a. Garis pantai batas antara laut dan daratan mengalami pergeseran yang cukup jelas tetapi pergeseran ini tidak seragam di seluruh segmen. Hal ini menjadi indikasi terjadinya abrasi dan akresi secara bersamaan (*spatial variability*).
    - b. Perubahan intensitas *zona surf*. Zona gelombang (warna putih) terlihat kadang lebih lebar dan kadang lebih sempit. Hal ini mengindikasikan terdapat variasi energi gelombang serta kemungkinan perubahan kemiringan pantai (*beach slope*).
  3. Aktivitas sedimentasi di sekitar muara. Pada area tengah (dekat muara sungai) yang menunjukkan ciri khas warna kebiruan terang / keruh, pola menyebar ke arah laut dan bentuk yang tidak stabil antar tahun. Hal ini menunjukkan terjadi plume sedimen dari aliran sungai, terdapat proses deposisi (akresi) dan sekaligus redistribusi oleh gelombang.
  4. Indikasi abrasi. Pada beberapa segmen garis pantai tampak “mundur” ke arah darat, zona gelombang lebih masuk ke daratan yang menunjukkan terjadinya proses abrasi dominan pada segmen tertentu.
  5. Indikasi akresi. Sebaliknya, pada beberapa bagian yang terlihat penambahan area daratan dengan zona terang (pantai) melebar, hal ini mengindikasikan proses akresi akibat suplai sedimen
  6. Pola perubahan spasial. Perubahan garis pantai menunjukkan karakter:
    - Tidak homogen
    - Satu segmen mengalami abrasi
    - Segmen lain mengalami akresiHal ini merupakan tipikal pantai dengan kontrol muara sungai (*river-influenced coast*).
  7. Pengaruh resolusi citra. Dari hasil cropping terlihat piksel yang cukup besar (*blocky*), yang merupakan karakteristik resolusi Landsat (30 m). Untuk itu diperlukan kehati-hatian pada saat melakukan digitasi dan *smoothing* garis pantai.
  8. Indikasi perubahan cepat (*rapid change*). Perubahan visual antar tahun menunjukkan variasi bentuk garis pantai yang signifikan dengan perubahan yang terjadi dalam waktu relatif singkat ( $\leq 5$  tahun). Hal ini menguatkan bahwa wilayah ini termasuk zona dinamika tinggi (*high dynamic shoreline*)

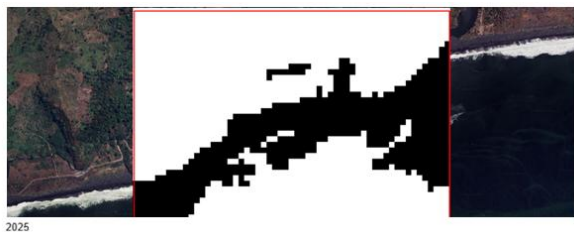
## Ekstraksi Garis Pantai dan Evaluasi Metode (NDWI vs MNDWI)

Ekstraksi garis pantai pada penelitian ini dilakukan menggunakan dua pendekatan indeks spektral, yaitu NDWI (*Normalized Difference Water Index*) dan MNDWI (*Modified NDWI*). Kedua metode diuji untuk menentukan pendekatan terbaik dalam memisahkan area darat dan perairan pada wilayah studi.

### Ekstraksi NDWI

Ekstraksi garis pantai dengan indeks spektral NDWI dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini :

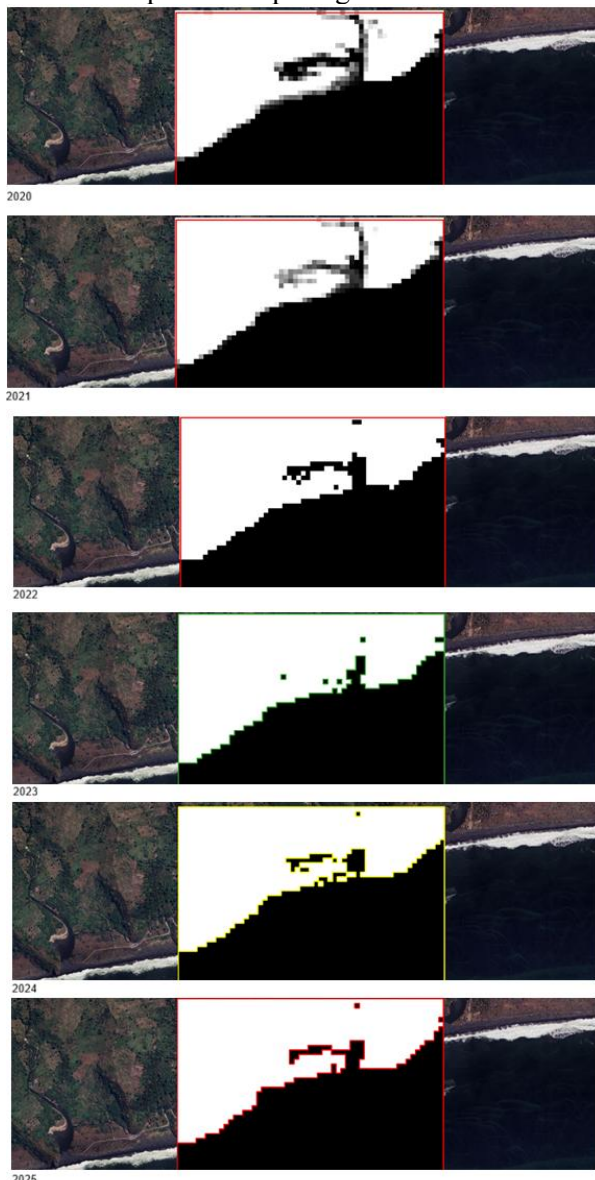




Gambar 5. Ekstrak NDWI tahun 2021-2025  
(Sumber : Pengolahan Data, 2026)

### Ekstraksi MNDWI

Ekstraksi garis pantai dengan indeks spektral MNDWI dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 7. Ekstrak MNDWI tahun 2020-2025  
(Sumber : Pengolahan Data, 2026)

### Analisa Hasil Ekstraksi NDWI vs MNDWI

Hasil pengolahan menunjukkan bahwa metode NDWI tidak memberikan hasil yang optimal, sedangkan metode MNDWI menghasilkan

klasifikasi yang lebih akurat dan representatif terhadap kondisi garis pantai aktual.

Metode MNDWI menunjukkan hasil yang jauh lebih baik, dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Pemisahan Darat–Laut Lebih Jelas
  - Air laut dan daratan dapat dibedakan dengan kontras tinggi
  - Zona pantai lebih terdefinisi
1. Reduksi noise yang signifikan karena Menggunakan band SWIR yang lebih sensitif terhadap kelembaban, sehingga mengurangi kesalahan klasifikasi pada:
  - Pasir basah
  - Vegetasi
  - Sedimen
2. Representasi Garis Pantai Lebih Akurat dengan garis pantai lebih halus dan kontinu, minim fragmentasi dan lebih sesuai dengan kondisi visual citra.
3. Konsistensi Antar Tahun, yakni hasil ekstraksi stabil pada seluruh periode (2020–2025) dimana hal ini sangat penting untuk analisis multi-temporal.

### Vektorisasi Garis Pantai

Berdasarkan hasil proses polygonize dari citra MNDWI tahun 2020–2025, diperoleh layer vektor yang merepresentasikan batas antara daratan dan perairan. Hasil vektorisasi menunjukkan bahwa garis pantai berhasil diekstraksi pada seluruh periode pengamatan. Untuk meningkatkan kualitas data sebelum analisis DSAS, dilakukan beberapa tahapan koreksi:

1. Seleksi Polygon
2. Ekstraksi Boundary
3. Editing Manual
4. Smoothing Garis Pantai

### Analisis Garis Pantai

Hasil dari perbaikan dan smoothing pada polygonize masing-masing foto citra dapat dilihat pada gambar 8-13 berikut :



Gambar 8. Garis Pantai tahun 2020 (Sumber : Analisa, 2026)



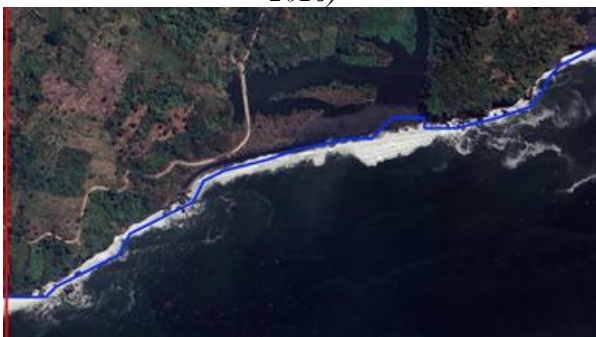
Gambar 9. *Garis Pantai tahun 2021 (Sumber : Analisa, 2026)*



Gambar 13. *Garis Pantai tahun 2025 (Sumber : Analisa, 2026)*



Gambar 10. *Pantai tahun 2022 (Sumber : Analisa, 2026)*



Gambar 11. *Garis Pantai tahun 2023 (Sumber : Analisa, 2026)*



Gambar 12. *Garis Pantai tahun 2024 (Sumber : Analisa, 2026)*

### **Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan DSAS**

#### **Pembuatan Baseline dan Transect**

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan QGIS dan DSAS, dibuat baseline yang sejajar dengan garis pantai dan berada di sisi laut. Baseline ini berfungsi sebagai acuan dalam analisis perubahan garis pantai. Selanjutnya, dibuat transect yang tegak lurus terhadap baseline dengan interval tertentu (seragam sepanjang pantai). Transect tersebut digunakan untuk mengukur perubahan posisi garis pantai dari tahun 2020 hingga 2025.



Gambar 14. *Baseline dan Transect Garis Pantai 2020-2025 (Sumber: Analisa, 2026)*

Pada Gambar 14, terlihat bahwa:

1. Garis kuning sebagai baseline
2. Garis merah sebagai transect
3. Garis berwarna (biru tua, biru muda, hijau, ungu) sebagai garis pantai tiap tahun

#### **Analisis Perubahan Garis Pantai**

Hasil overlay garis pantai tahun 2020–2025 menunjukkan adanya dinamika perubahan garis pantai di sepanjang wilayah studi.

- a. Pola umum perubahan. Secara umum, perubahan garis pantai terbagi menjadi dua pola utama:

1. Abrasi (kemunduran garis pantai), garis pantai bergerak ke arah darat
  2. Akresi (penambahan daratan), garis pantai bergerak ke arah laut
- b. Variasi spasial. Perubahan tidak terjadi secara merata di seluruh wilayah:
1. Bagian Barat
    - Garis pantai relatif stabil
    - Jarak antar garis tahun tidak terlalu signifikan
    - Menunjukkan energi gelombang yang lebih rendah atau perlindungan alami
  2. Bagian Tengah
    - Terjadi perubahan fluktuatif
    - Beberapa transect menunjukkan maju dan mundur bergantian
    - Mengindikasikan pengaruh musiman (gelombang & arus)
  3. Bagian Timur (dekat muara sungai)
    - Terlihat perubahan paling signifikan
    - Cenderung mengalami akresi yang diduga dipengaruhi oleh suplai sedimen dari sungai dan proses sedimentasi di muara

### Validasi Visual dan Keterbatasan

Meskipun analisis DSAS memberikan hasil kuantitatif, terdapat beberapa keterbatasan:

- Ketelitian dipengaruhi oleh resolusi citra
- Posisi garis pantai dipengaruhi kondisi pasang surut saat perekaman
- Proses smoothing dapat sedikit menggeser posisi garis

Namun demikian, secara keseluruhan metode ini cukup representatif untuk menggambarkan tren perubahan garis pantai.

### Klasifikasi Perubahan Garis Pantai Berdasarkan Nilai EPR

Berdasarkan hasil pengolahan menggunakan DSAS, nilai End Point Rate (EPR) diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama untuk mempermudah interpretasi perubahan garis pantai, yaitu abrasi, akresi, dan kondisi stabil.

#### a. Kriteria Klasifikasi

Klasifikasi dilakukan berdasarkan rentang nilai EPR dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Perubahan Garis Pantai Berdasar EPR

Kategori	Rentang EPR (m/tahun)	Keterangan
Abrasi	< -0,25	Terjadi kemunduran garis pantai

Konstan	-0,25 s.d. 0,25	Tidak mengalami perubahan signifikan
Akresi	> 0,25	Terjadi penambahan daratan

#### b. Visualisasi Klasifikasi

Pada hasil simbolisasi pada program QGIS:

- Merah (Abrasi), Menunjukkan wilayah yang mengalami kemunduran garis pantai
- Hijau (Akresi), Menunjukkan wilayah yang mengalami penambahan daratan
- Biru (Konstan), Menunjukkan wilayah yang relatif stabil

Penggunaan warna ini bertujuan untuk mempermudah identifikasi pola perubahan secara spasial di sepanjang garis pantai.

#### c. Interpretasi Hasil Klasifikasi

Berdasarkan hasil klasifikasi diperoleh dominasi warna tertentu pada transect menunjukkan kecenderungan perubahan di area tersebut.

Jika banyak transect berwarna:

- Merah : wilayah rawan abrasi
- Hijau : wilayah mengalami sedimentasi
- Biru : wilayah stabil

Pada lokasi penelitian :

1. Bagian dekat muara cenderung menunjukkan akresi
2. Beberapa bagian lain menunjukkan stabilitas
3. Terdapat titik-titik tertentu yang mengalami abrasi lokal

#### d. Kesimpulan Analisis EPR

Berdasarkan nilai EPR:

1. Wilayah penelitian mengalami perubahan garis pantai yang dinamis
2. Abrasi merupakan proses yang dominan di beberapa segmen
3. Akresi terjadi terutama di area dengan suplai sedimen tinggi
4. Sebagian wilayah menunjukkan kondisi stabil

### Prediksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan machine learning dengan QSCAT (Random Forest)

Berdasarkan hasil pengolahan QSCAT:

1. Garis merah, baseline prediksi / area analisis
2. Garis kuning (transect prediksi), arah proyeksi perubahan
3. Titik/orange, posisi prediksi garis pantai di masa depan

Hasil prediksi menunjukkan bahwa beberapa segmen pantai akan mengalami kemunduran garis pantai secara signifikan dalam 20 tahun ke depan,

yang mengindikasikan dominasi proses abrasi akibat energi gelombang yang tinggi. Interpretasi spasial berdasarkan peta hasil QSCAT:

1. Bagian Barat, Cenderung mengalami abrasi berkelanjutan dan Risiko kehilangan garis pantai cukup tinggi
2. Bagian Tengah, Bersifat dinamis, Terjadi kombinasi abrasi dan akresi
3. Bagian Timur (Muara), Didominasi akresi, Terjadi penumpukan sedimen

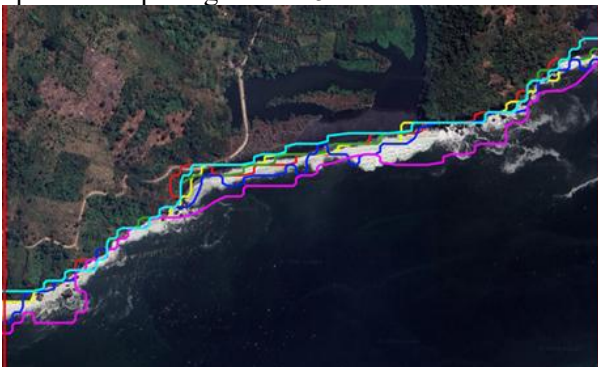
### Analisis Pembandingan Garis Pantai Menggunakan *Machine Learning (Random Forest)*

Metode *Machine Learning* yang digunakan dalam penelitian ini yakni pendekatan berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) diterapkan melalui metode *machine learning* menggunakan algoritma *Random Forest* untuk mengekstraksi garis pantai sebagai pembandingan terhadap metode DSAS dan QSCAT. *Random Forest* dipilih karena:

- Mampu menangani data spektral multi-band
- Robust terhadap noise
- Tidak memerlukan asumsi linear

Implementasi dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS dengan bantuan tool klasifikasi raster berbasis machine learning. Data yang digunakan adalah citra Landsat periode 2020–2025 yang sama dengan analisis sebelumnya.

Hasil ekstraksi dengan *Random Forest* menunjukkan bahwa metode *Random Forest* mampu menghasilkan garis pantai yang mengikuti kondisi alami dengan baik. Garis pantai yang dihasilkan relatif halus dan kontinu, serta mampu menangkap detail morfologi pantai seperti lekukan, tanjung kecil, dan area muara sungai. Hasil ekstraksi garis pantai hasil dari machine learning, *Random Forest* dapat dilihat pada gambar 15 berikut :



Gambar 15 *Garis Pantai 2020 - 2025 Hasil RF*  
(Sumber: Analisa Data, 2026)

### Analisis Spasial Perubahan Garis Pantai dengan *Machine Learning*

Berdasarkan overlay garis pantai tahun 2020–2025, diperoleh pola perubahan sebagai berikut:

1. Zona Barat menunjukkan kecenderungan mundurnya garis pantai ke arah darat, yang mengindikasikan dominasi proses abrasi.
2. Zona Tengah relatif stabil dengan perubahan garis pantai yang tidak signifikan, menunjukkan keseimbangan antara erosi dan sedimentasi.
3. Zona Timur (dekat muara) menunjukkan pergeseran garis pantai ke arah laut, yang mengindikasikan terjadinya akresi akibat suplai sedimen dari aliran sungai.

### Analisis Perbandingan metode DSAS dengan QSCAT

Hasil ekstraksi garis pantai menggunakan *Random Forest* menunjukkan kesesuaian pola dengan hasil analisis DSAS, khususnya dalam mengidentifikasi zona abrasi dan akresi. Selain itu, pola perubahan yang dihasilkan juga sejalan dengan prediksi QSCAT dalam jangka panjang.

### Validasi dan Konsistensi

Hasil menunjukkan bahwa:

1. Pola garis pantai *Random Forest* konsisten dengan DSAS
2. Perbedaan masih dalam toleransi resolusi citra Landsat

Metode *Random Forest* menunjukkan hasil yang konsisten dengan metode DSAS, sehingga dapat digunakan sebagai pendekatan alternatif dalam ekstraksi garis pantai.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perubahan garis pantai menggunakan metode DSAS, QSCAT, dan *Artificial Intelligence (Random Forest)*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dominasi Abrasi. Garis pantai pada lokasi studi didominasi oleh proses abrasi dengan proporsi sekitar  $\pm 74\%$  transect, dengan laju maksimum mencapai  $-11,49$  m/tahun. Hal ini menunjukkan kondisi pesisir yang berada dalam tekanan hidrodinamika tinggi dan defisit suplai sedimen.
2. Zona Kritis. Segmen tengah transect  $\pm 36-80$ m merupakan zona abrasi sangat kuat, yang berpotensi menyebabkan kerusakan infrastruktur pesisir, kehilangan lahan, serta gangguan terhadap ekosistem pantai.

3. Zona Akresi Lokal. Akresi terjadi terbatas pada bagian timur dan sebagian barat, dengan nilai hingga +2,45 m/tahun, yang dipengaruhi oleh suplai sedimen lokal (kemungkinan dari muara sungai).
4. Konsistensi Metode. Ketiga pendekatan (DSAS, QSCAT, RF) menunjukkan hasil yang konsisten secara spasial, sehingga meningkatkan keandalan analisis.
5. Prediksi Masa Depan. Berdasarkan simulasi QSCAT, tanpa intervensi teknis :
  - zona abrasi akan terus mundur signifikan
  - zona akresi berkembang terbatas
  - keseimbangan pantai semakin terganggu

## REFERENSI

- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114(24–31).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Bird, E. C. F. (2008). *Coastal geomorphology: An introduction (2nd ed.)*. John Wiley & Sons.
- Boak, E. H., & Turner, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 688–703.
- Gens, R. (2010). Remote sensing of coastlines: Detection, extraction and monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 31(7), 1819–1836.
- Hapke, C. J., Himmelstoss, E. A., Kratzmann, M. G., List, J. H., & Thieler, E. R. (2013). *National assessment of shoreline change: Historical shoreline change along the New England and Mid-Atlantic coasts*. U.S. Geological Survey Open-File Report.
- Himmelstoss, E. A., et al. (2018). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0*. USGS.
- Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Fang, F. (2018). Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. *International Journal of Remote Sensing*, 39(9), 2784–2817.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>
- Pardo-Pascual, J. E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L. A., & Palomar-Vázquez, J. (2012). Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision. *Remote Sensing of Environment*, 123, 1–11.
- Santoso, A., & Hidayat, R. (2020). Analisis perubahan garis pantai menggunakan citra Landsat multi temporal di wilayah pesisir Jawa Timur. *Urnal Teknik ITS*, 9(2), C123–C129.
- Supriyadi, I. H., & Setiawan, K. T. (2019). Analisis perubahan garis pantai menggunakan metode DSAS di pesisir utara Jawa. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(2), 87–98.
- Wicaksono, P., & Lazuardi, W. (2018). Mapping shoreline changes using Landsat imagery and DSAS in coastal area of Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 50(2), 145–155.
- Xu, Z., et al. (2023). Deep learning rainfall estimation. *Remote Sensing*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15092345>