



## Implementasi *Machine Learning* dalam Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan *Google Earth Engine* (GEE): Studi Kasus di Kabupaten Bangka Tengah

Nurlaila Saadah<sup>1</sup>, Yudistira Bagus Pratama<sup>2</sup>, Arvi Pramudyantoro<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Email: [nurlailasaadah533@gmail.com](mailto:nurlailasaadah533@gmail.com)

### Article Info

#### Article history:

Received Mei 24, 2026

Revised Juni 02, 2026

Accepted Juni 13, 2026

#### Keywords:

*Google Earth Engine, K-Means Clustering, MNDWI, Remote Sensing, Shoreline Change*

### ABSTRACT

*The coastal area of Central Bangka Regency, particularly the eastern part of Bangka Island, is a region vulnerable to shoreline changes caused by natural factors and human activities. These changes may occur in the form of abrasion and accretion that continuously affect coastal dynamics, making regular monitoring necessary. This study aims to analyze shoreline changes along the eastern coast of Central Bangka Regency using remote sensing and spatial analysis approaches. The data used in this study were Sentinel-2 satellite imagery from 2019–2025 processed through the Google Earth Engine (GEE) platform. The processing stages included cloud masking, Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) calculation, unsupervised learning classification using the K-Means algorithm, and shoreline extraction. Shoreline change analysis was conducted using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) with the End Point Rate (EPR) and Net Shoreline Movement (NSM) methods. The results showed that the coastal area of Central Bangka Regency experienced shoreline changes in the form of abrasion and accretion during the 2019–2025 period. Based on the Digital Shoreline Analysis System abrasion values obtained from the EPR method reached up to -67.89 meters/year, while accretion values reached up to 65.9 meters/year. Meanwhile, based on the NSM method, abrasion reached up to -392.28 meters and accretion reached up to 395 meters.*

*This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.*



### Article Info

#### Article history:

Received Mei 24, 2026

Revised Juni 02, 2026

Accepted Juni 13, 2026

#### Keywords:

*Google Earth Engine, K-Means Clustering, MNDWI, Perubahan Garis Pantai, Pengindraan Jauh*

### ABSTRACT

Wilayah pesisir Kabupaten Bangka Tengah, khususnya pada bagian timur Pulau Bangka, merupakan kawasan yang rentan mengalami perubahan garis pantai akibat pengaruh faktor alam maupun aktivitas manusia. Perubahan tersebut dapat berupa abrasi dan akresi yang terjadi secara terus-menerus sehingga diperlukan pemantauan untuk mengetahui dinamika wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan garis pantai di pesisir timur Kabupaten Bangka Tengah menggunakan pendekatan penginderaan jauh dan analisis spasial. Data yang digunakan berupa citra satelit Sentinel-2 tahun 2019–2025 yang diolah melalui platform *Google Earth Engine* (GEE). Tahapan pengolahan meliputi cloud masking, perhitungan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI), klasifikasi unsupervised learning menggunakan algoritma *K-Means*, serta ekstraksi garis pantai. Analisis perubahan garis pantai dilakukan menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) dengan metode *End Point Rate* (EPR) dan *Net Shoreline Movement* (NSM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah pesisir Kabupaten Bangka Tengah mengalami perubahan garis pantai berupa abrasi dan akresi pada periode tahun 2019–2025. Berdasarkan analisis



menggunakan *Digital Shoreline Analysis System*, nilai abrasi berdasarkan metode EPR mencapai hingga -67,89 meter/tahun, sedangkan nilai akresi mencapai 65,9 meter/tahun. Sementara itu, berdasarkan metode NSM, abrasi tercatat mencapai -392,28 meter dan akresi mencapai 395 meter.

*This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.*



---

**Corresponding Author:**

Nurlaila Saadah  
Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung  
Email: [nurlailasaadah533@gmail.com](mailto:nurlailasaadah533@gmail.com)

---

**PENDAHULUAN**

Indonesia dikenal sebagai negara maritim dan kepulauan yang memiliki keunikan geografis, lebih dari 17.000 pulau yang membentang dari Sabang hingga Merauke (Badan Informasi Geospasial, 2024). Dengan panjang garis pantai mencapai sekitar 95.181 kilometer, Indonesia menempati posisi kedua sebagai negara dengan garis pantai terpanjang di dunia, setelah Kanada (Kharimah & Ardiyansyah, 2021). Kawasan pesisir merupakan wilayah yang sangat dinamis dan rentan terhadap perubahan. Perubahan ini dapat dipicu oleh faktor alami seperti abrasi, sedimentasi, dan pasang surut, maupun oleh aktivitas manusia seperti reklamasi, pembangunan infrastruktur pesisir, serta penambangan (Rachman et al., 2024). Selain itu, perubahan iklim dan pemanasan global turut mempercepat dinamika garis pantai melalui kenaikan muka air laut dan meningkatnya frekuensi gelombang ekstrem serta badai tropis (Purwanti & Koestoer, 2024). Dampak dari perubahan garis pantai yang tidak terkendali mencakup kerusakan ekosistem, hilangnya lahan produktif, serta terganggunya kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat pesisir (Brovelli et al., 2020).

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung adalah salah satu kepulauan di Indonesia yang terdiri dari dua pulau utama, yaitu Pulau Bangka dan Belitung dengan total luas wilayah pesisir mencapai 1.725,14 km<sup>2</sup> (DKP Provinsi Kepulauan Bangka Belitung 2018). Pada tahun 2021, banjir rob merendam ribuan rumah di wilayah Bangka Belitung, termasuk Kabupaten Bangka Tengah, dengan ketinggian air mencapai 10–70 cm dan berdampak pada lebih dari 2.200 rumah (Ismi, 2023). Pada Desember 2021, Bangka Tengah mengalami banjir rob terparah dalam lima tahun terakhir, kejadian ini dipicu oleh kombinasi pasang laut tinggi, curah hujan ekstrem akibat *La Niña*, dan angin kencang yang memperparah gelombang laut, sehingga memaksa BPBD menetapkan status siaga darurat bencana (Kompas TV, 2021).

Penelitian menunjukkan bahwa wilayah pesisir timur Pulau Bangka mengalami perubahan garis pantai yang signifikan selama dua dekade terakhir. Studi oleh (Cahyo Ginanjar et al., 2021), menunjukkan bahwa abrasi di pesisir timur Pulau Bangka terjadi dengan laju hingga 34,07 meter per tahun menggunakan metode EPR dan mencapai 647,26 meter menggunakan metode NSM pada periode 2001–2020. Pada saat yang sama, akresi juga terjadi dengan laju hingga 34,14 meter per tahun, dengan pergeseran garis pantai mencapai 648,75 meter di wilayah tertentu sepanjang 175,42 kilometer garis pantai yang diteliti. Penelitian terbaru oleh (Dinnabhan et al., 2025) menunjukkan bahwa Kelurahan Arung Dalam, Kecamatan Koba, mengalami abrasi maksimum sebesar 28,53 meter dengan laju 1,75 meter per tahun serta akresi maksimum sebesar 8,56 meter dengan laju 0,53 meter per tahun pada periode 2013–2022. Kondisi ini diprediksi akan terus berlanjut, dengan proyeksi pada tahun 2045 menunjukkan abrasi hingga 47,72 meter dengan laju 1,03 meter per tahun di wilayah yang belum dilindungi



bangunan pengaman pantai. Kondisi topografi pantai yang landai serta kedekatan wilayah pesisir dengan permukiman penduduk menjadikan kawasan ini semakin rentan terhadap abrasi dan banjir rob.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) dan sistem informasi geografis (SIG) telah memberikan solusi dalam pemantauan wilayah pesisir secara efisien dan presisi (Liu, 2024). Salah satu platform yang mendukung analisis spasial berskala besar adalah *Google Earth Engine* (GEE), yang memungkinkan pemrosesan data citra satelit secara daring melalui komputasi awan (Gorelick et al., 2017). Dalam konteks klasifikasi citra tanpa data latih, algoritma K-Means terbukti mampu membedakan area daratan dan perairan secara otomatis. Studi oleh (Alcaras et al., 2022) menunjukkan bahwa penggunaan algoritma K-Means pada citra Sentinel-2 dengan indeks NDWI mampu mendeteksi garis pantai secara presisi, ditunjukkan oleh nilai RMSE yang lebih kecil dari ukuran piksel (~10 m). Selain itu, (Yilmaz, 2023) melaporkan bahwa kombinasi K-Means++ dengan indeks NDWI dan MNDWI pada platform GEE menghasilkan akurasi klasifikasi hingga 99%, dengan nilai Kappa dan F1-score mendekati 1.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dinamika perubahan garis pantai merupakan isu strategis yang memiliki implikasi terhadap keberlanjutan lingkungan serta aktivitas sosial-ekonomi di wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan garis pantai di Kabupaten Bangka Tengah melalui pemanfaatan algoritma K-Means pada platform *Google Earth Engine* (GEE) dalam mengidentifikasi pola dinamika pesisir secara spasial temporal berbasis citra satelit. Kebaharuan penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan *unsupervised learning* tanpa data latih yang masih jarang digunakan dalam studi perubahan garis pantai, khususnya di wilayah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan berupa ketergantungan pada kualitas data citra yang dipengaruhi kondisi atmosfer yang dapat mengaruhi hasil klasifikasi. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan metode analisis geospasial serta menjadi dasar dalam pengelolaan wilayah pesisir yang adaptif, khususnya dalam mendukung upaya konservasi serta mitigasi abrasi dan banjir rob secara berkelanjutan.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan dilaksanakan selama tiga bulan di kawasan pesisir Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Penelitian ini dilakukan secara *remote sensing* berbasis *cloud computing* dengan menggunakan platform *Google Earth engine* (GEE). Tahapan penelitian terdiri dari *persiapan*, yakni meliputi studi literatur terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan analisis perubahan garis pantai dan penggunaan citra satelit dalam sistem penginderaan jauh dan peneliti juga mencari trend kondisi perairan laut (pasang/surut) menggunakan data *sea surface elevation* rata-rata bulanan di wilayah perairan lokasi studi penelitian dengan metode HYCOM (Paoza et al., 2024). *Pra-pemrosesan*, yakni untuk menyiapkan data agar siap digunakan. Proses ini meliputi pemilihan citra satelit yaitu Landsat dan Sentinel, penggabungan (komposit) citra tahunan, pemotongan (*cropping*) sesuai dengan batas wilayah studi, *cloud masking*, serta penyesuaian format dan struktur data agar kompatibel dengan metode yang akan digunakan dalam GEE. Selanjutnya *pemrosesan*, yakni tahap untuk ekstraksi garis pantai dilakukan dengan menghitung nilai *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) dari citra satelit. MNDWI merupakan indeks spektral yang dirancang untuk menonjolkan fitur perairan dan menekan pengaruh lahan non-air seperti vegetasi dan permukiman. Setelah dilakukan perhitungan MNDWI dilanjutkan ketahap pengolahan K-Means Clustering untuk mengelompokkan piksel berdasarkan kemiripan nilai spektral dari citra satelit, air dan non air.



Terakhir *pasca pemrosesan*, yakni untuk memperoleh hasil ekstraksi garis pantai, selanjutnya diolah menggunakan DSAS untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola perubahan yang terjadi selama periode waktu yang diteliti (Zulkifle et al., 2024). Kemudian, analisis data yang dilakukan adalah analisis MNDWI, analisis K-Means, dan analisis Perubahan Garis Pantai

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Kondisi Umum Wilayah Penelitian

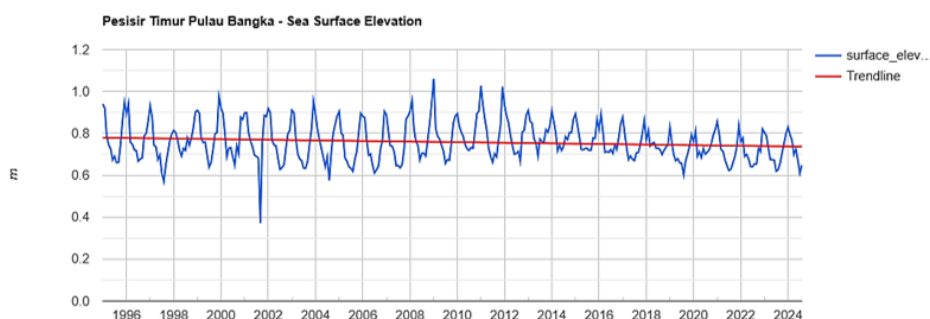
Penelitian ini berlokasi di Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang secara geografis berbatasan langsung dengan perairan, yaitu Selat Bangka di bagian barat serta Selat Karimata dan Selat Gaspar di bagian timur. Kondisi ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki kawasan pesisir yang cukup luas dan berpotensi mengalami dinamika perubahan garis pantai (Badan Pusat Statistik Kabupaten Bangka Tengah, 2023).

Wilayah studi penelitian ini meliputi pesisir Kabupaten Bangka Tengah, khususnya pada rentang wilayah pesisir pantai dari Desa Batu Belubang di Kecamatan Pangkalan Baru hingga kawasan pesisir Desa Berok di Kecamatan Koba. Secara umum, wilayah ini didominasi oleh topografi berombak dan dataran rendah yang turut mempengaruhi kondisi pesisir. Selain itu, terdapat permukiman masyarakat dan infrastruktur seperti jalan raya yang berdekatan dengan pesisir pantai, sehingga perubahan garis pantai berpotensi memberikan dampak terhadap lingkungan, infrastruktur, serta aktivitas masyarakat pesisir (Dinnabhan et al., 2025).

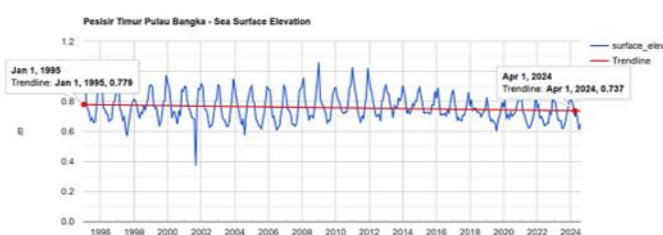
### B. Kondisi Perairan

Setelah menentukan lokasi penelitian yang akan diteliti, sangat penting untuk mengetahui bagaimana kondisi perairan di wilayah studi penelitian, khususnya terkait karakteristik pasang surut. Informasi mengenai pasang surut sangat diperlukan karena berpengaruh terhadap posisi garis pantai yang dapat berubah dalam priode waktu tertentu.

Dalam penelitian ini, kondisi perairan dianalisis menggunakan data model oseanografi dari HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*), yang menyediakan informasi arus laut dan tinggi permukaan laut (*sea surface elevation*). Peneliti menganalisis tren pasang surut menggunakan data *sea surface elevation* rata-rata bulanan di wilayah studi.

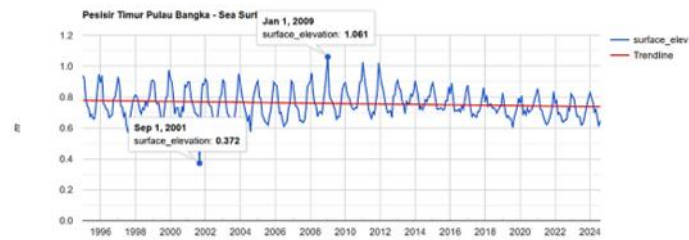


Gambar 1 Kondisi Perairan di lokasi studi



Gambar 2 Trendline kondisi perairan

Hasil analisis yang dapat dilihat dari trendline (garis merah) pada grafik menunjukkan bahwa kondisi ketinggian permukaan laut cenderung sedikit menurun selama periode tahun 1995 hingga 2024 di wilayah pesisir lokasi penelitian.



**Gambar 3** Pasang tertinggi dan surut terendah

Dengan pasang tertinggi berada di bulan Januari 2009 dengan ketinggian mencapai 1,061 m dan surut terendahnya berada di bulan September 2001 dengan ketinggian 0,372 m.

### C. Pra-Pemrosesan

Tahapan ini bertujuan untuk menyiapkan data citra satelit agar siap digunakan dalam tahapan proses. Tahapan ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas data serta memastikan keseragaman format. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

#### a. Pemotongan Area (*Cropping*)

Untuk membatasi area penelitian, perlu dilakukan pemotongan pada wilayah penelitian yang di pilih agar proses komputasi awan dapat bekerja lebih cepat dan ringan serta memastikan hasil dari penelitian hanya berfokus pada daerah yang di teliti saja.



**Gambar 4** Kondisi Perairan di lokasi studi

Pemotongan area dilakukan dengan menggunakan persegi atau ractangel yang akan menghasilkan geometry polygone yang akan menjadi area fokus studi penelitian.

#### b. Pemilihan Citra Satelit

Pada tahap ini dilakukan pemilihan sumber data citra yang sesuai dengan kebutuhan penelitian, yaitu Landsat atau Sentinel-2. Pemilihan kedua citra ini didasari pada ketersediaan data dan resolusi spasial yang cukup untuk analisis garis pantai. Pada penelitian ini peneliti menggunakan data dari Sentinel 2 dengan resolusi 10m dengan data surface reflectance.

#### c. Penghilangan Awan (*Cloud Masking*)

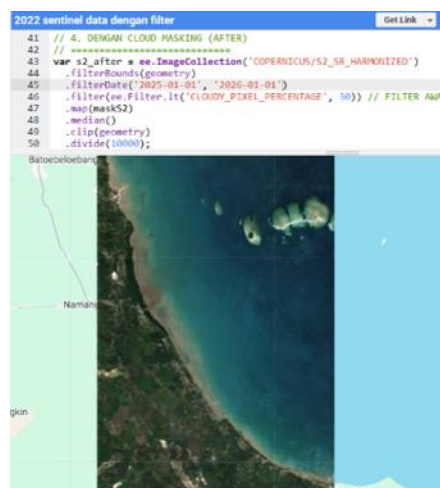
Proses penghilangan awan (*cloud masking*) merupakan tahapan pra-pemrosesan yang penting untuk dilakukan agar gangguan atmosfer pada citra satelit dapat diminimalisir.



**Gambar 5** Kondisi permukaan sebelum pembersihan awan

Keberadaan awan dapat menutupi objek permukaan bumi sehingga mengurangi kualitas visual maupun nilai spektral citra, adapun langkah-langkah dalam penghilangan awan ini yaitu:

1. Gunakan data citra dan area geometry yang sudah dipilih di awal.
2. Gunakan band QA60 untuk mendeteksi piksel yang teridentifikasi sebagai awan dan cirrus.
3. Menyeleksi citra dengan presentase tutupan awan yang baik yaitu 10-30% .
4. Pengabungan komposit media tahunan menggunakan metode median. Proses ini dilakukan dengan menggabungkan seluruh citra Sentinel-2 dalam priode tahun menjadi satu citra komposit. Metode median digunakan untuk mengurangi gangguan seperti sisa awan, noise dan perbedaan pencahayaan antara citra sehingga menghasilkan citra yang lebih stabil dan representative terhadap kondisi permukaan bumi.



**Gambar 6** Kondisi permukaan setelah pembersihan awan

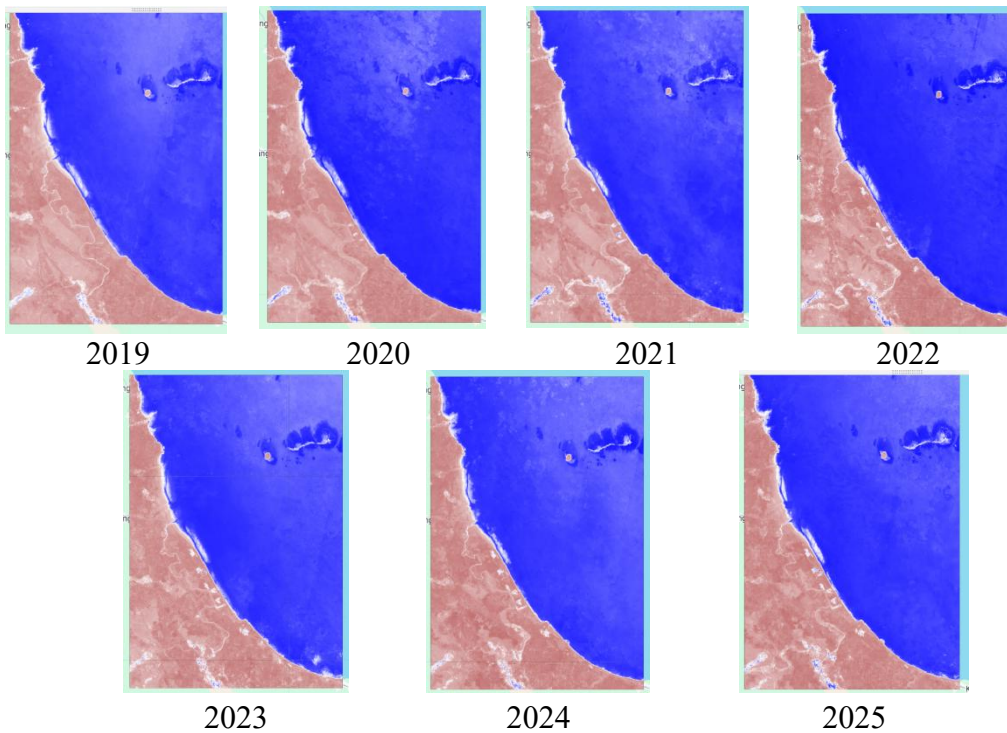
Proses ini dilakukan agar citra yang digunakan dapat mempresentasikan kondisi permukaan bumi dengan lebih jelas dan akurat.

#### D. Pemrosesan

Tahap pemrosesan bertujuan untuk mengekstraksi informasi garis pantai dari citra satelit serta mengidentifikasi perubahan wilayah pesisir. Proses ini dilakukan melalui perhitungan indeks air dan klasifikasi citra.

**a. Perhitungan MNDWI**

Dilakukan perhitungan nilai MNDWI menggunakan band hijau (*Green/B3*) dan SWIR1 (*B11*). Indeks ini digunakan untuk membedakan area perairan dan daratan berdasarkan nilai reflektansi citra. Hasil perhitungan MNDWI membantu dalam mengidentifikasi wilayah perairan secara jelas.



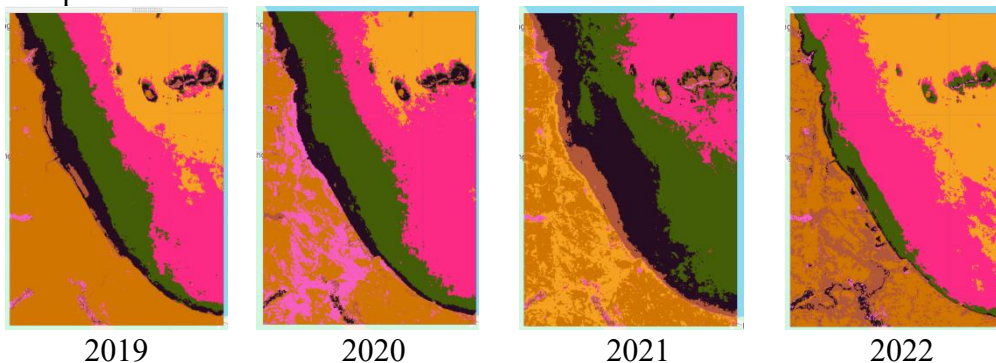
**Gambar 7** Kondisi permukaan setelah MNDWI

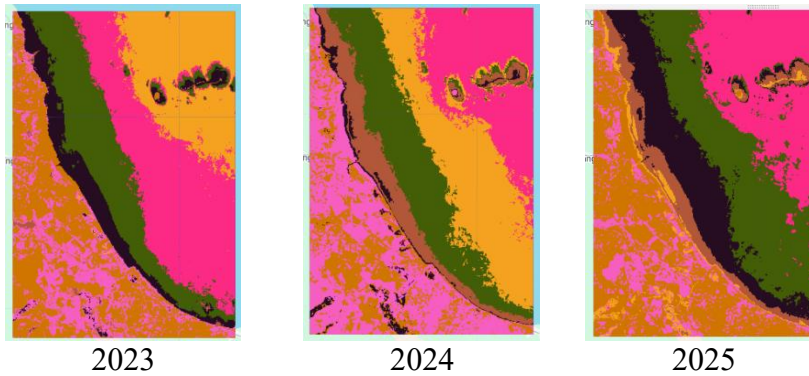
**b. K-Means Clustering**

Selanjutnya data citra dan hasil MNDWI kemudian digabungkan sebagai data masukan dalam proses klasifikasi K-Means. Lalu dilakukan pengambilan sampel sebanyak 5000 piksel dengan resolusi spasial 10 meter sebagai data pelatihan (*training sample*).

Dilanjutkan dengan proses klasifikasi yang dilakukan menggunakan algoritma K-Means dengan jumlah 7 klaster. Algoritma ini mengelompokkan piksel berdasarkan kemiripan nilai spectral sehingga menghasilkan beberapa kelas penutup lahan, termasuk kelas perairan dan daratan.

Hasil kalsifikasi K-Means kemudian digunakan untuk memilih klaster yang mempresentasikan area perairan. Pemilihan dilakukan berdasarkan hasil visualisasi klaster dan dikombinasikan dengan nilai MNDWI lebih besar dari 0,05 untuk meningkatkan akurasi identifikasi perairan.





**Gambar 8** Kondisi permukaan setelah K-Means

**c. Pembersihan Data (*Cleaning*)**

Tahap ini dilakukan untuk mengurangi noise pada hasil klasifikasi. Proses ini meliputi penghapusan area daratan kecil di dalam perairan serta penghapusan area perairan kecil di daratan menggunakan analisis keterhubungan piksel (*connected components*). Tahapan ini bertujuan menghasilkan Batasan daratan dan perairan yang lebih bersih.

**d. Konversi Data dan Ekstraksi Garis Pantai**

Hasil klasifikasi yang telah dibersihkan kemudian dikonversi dari format raster menjadi format vektor berbentuk polygon menggunakan proses *reduceToVectors*. Lalu poligon hasil konversi selanjutnya diubah menjadi garis Pantai (*shoreline*) dalam bentuk garis (*line*). Proses ini dilakukan dengan menyederhanakan bentuk geometri dan menyesuaikan batas wilayah penelitian.

**e. Ekspor Data**

Hasil akhir berupa garis Pantai yang diekspor dalam format SHP (*Shapefile*), sedangkan citra sentinel-2 hasil komposit diekspor dalam format GeoTIFF untuk digunakan pada tahap analisis selanjutnya.

**E. Pasca Pemrosesan**

Hasil ekstraksi garis pantai yang telah diperoleh dalam format shp selanjutnya dianalisis menggunakan DSAS. Adapun tahapan analisis yang akan dilakukan sebagai berikut:

**a. Input Data**

Tahap awal dilakukan dengan memasukkan data garis Pantai hasil ekstraksi dalam format shp dan GeoTIFF ke dalam perangkat lunak ArcGis. Lalu lakukan pengecekan koreksi atau bandingkan hasil shoreline dengan gambar data citra apakah sudah sesuai atau ada yang perlu dirapikan. Data garis Pantai dari setiap tahun pengamatan kemudian digabungkan dalam satu layer untuk memudahkan proses analisis.

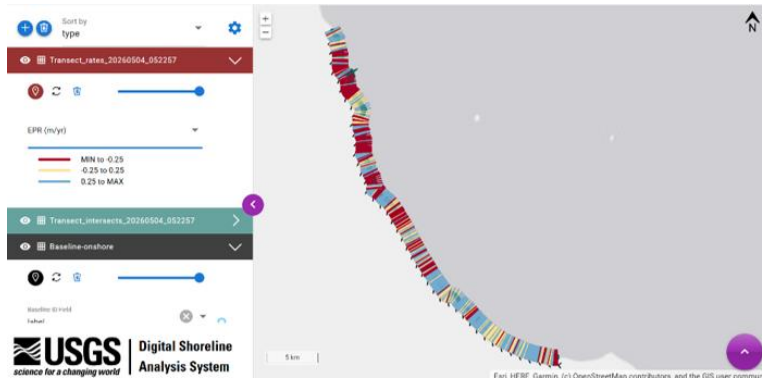
Lakukan penambahan atribut tahunan, Dimana setiap garis Pantai diberikan atribut waktu pengamatan. Atribut ini digunakan oleh DSAS untuk mengenali urutan waktu dari masing-masing garis Pantai sehingga garis Pantai dapat dihitung berdasarkan priode pengamatan.

**b. Pembuatan Baeline**

Tahap berikutnya Adalah membuat garis acuan (*baseline*) yang diletakkan sejajar dengan garis pantai yang berfungsi sebagai dasar dalam pembuatan transek dan pengukuran perubahan garis Pantai.

**c. Transek dan Perhitungan Perubahan garis pantai**

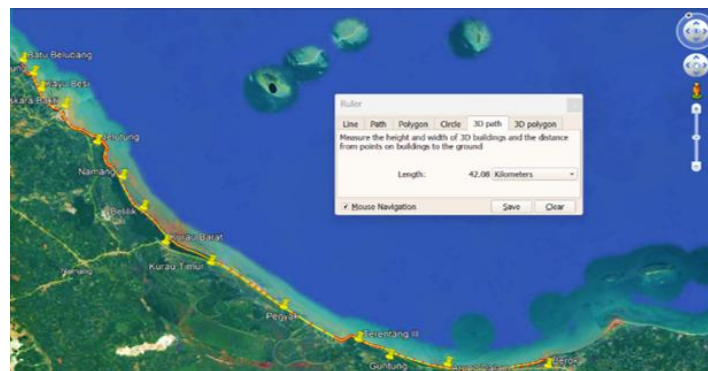
Setelah baseline dibuat, DSAS digunakan untuk menghasilkan transek secara otomatis. Transek dibuat tegak lurus terhadap garis Pantai dengan jarak tertentu antar transek. Transek ini digunakan untuk mengukur perubahan posisi garis Pantai dari tahun ke tahun.



Gambar 9 Hasil DSAS

### F. Hasil Analisis

Hasil dari pengolahan citra satelit selama periode tahun 2019-2025 menunjukkan adanya perubahan garis pantai yang terjadi, baik berupa pergeseran ke arah darat (abrasi) ataupun pergeseran ke arah laut (akresi).



Gambar 10 Pengukuran panjang lokasi penelitian

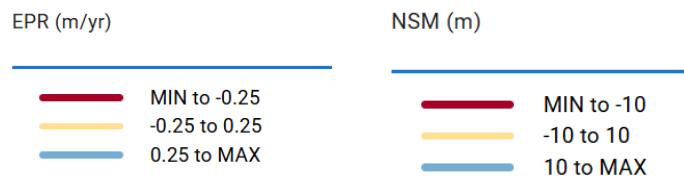
Analisis dilakukan pada wilayah pesisir timur Bangka tepatnya yaitu dari Batubelubang hingga Koba, sepanjang kurang lebih 42,08 km berdasarkan pengukuran pribadi menggunakan tools ruler di software google earth pro sepanjang pesisir pantai yang diteliti.

Berdasarkan hasil pengolahan data garis pantai tahun 2019-2025 menggunakan *Digital Shoreline Analysis System*, diperoleh nilai perubahan garis pantai berupa EPR (*End Point Rate*) dan NSM (*Net Shoreline Movement*) pada setiap transek yang telah dibuat dari baseline. Pada penelitian ini digunakan tujuh garis pantai hasil ekstraksi citra satelit yang kemudian digabungkan kedalam satu layer shoreline untuk dianalisis lebih lanjut pada DSAS. Setelah proses penggabungan shoreline, dilakukan pembuatan baseline dan transek sehingga DSAS dapat menghitung perubahan garis pantai secara otomatis berdasarkan posisi garis pantai dari tahun terlama hingga terbaru.

Metode EPR digunakan untuk menghitung laju perubahan garis pantai berdasarkan jarak perpindahan antara garis pantai tahun awal dan tahun akhir yang dibagi dengan selisih waktu pengamatan. Dalam penelitian ini, garis pantai awal menggunakan tahun 2019 dan garis pantai akhir menggunakan tahun 2025 sehingga selisih waktu pengamatan adalah 6 tahun. Hasil pada EPR pada DSAS ditampilkan dalam satuan meter per tahun (m/tahun). Nilai negatif menunjukkan terjadinya abrasi atau kemunduran garis pantai ke darat, sedangkan nilai positif menunjukkan akresi atau penambahan daratan ke arah laut. Semakin besar nilai negatif, maka semakin tinggi tingkat abrasi yang terjadi, sedangkan semakin besar nilai positif menunjukkan tingkat akresi yang semakin tinggi.

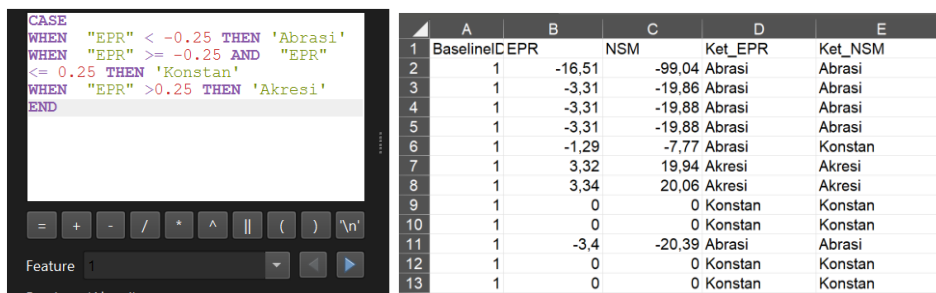


Selain EPR, penelitian ini juga menggunakan metode NSM (*Net Shoreline Movement*). Metode NSM digunakan untuk mengetahui total perpindahan garis pantai antara garis pantai awal dan garis pantai akhir tanpa memperhitungkan faktor waktu. Oleh karena itu, hasil NSM dinyatakan dalam satuan meter (m). nilai negatif pada NSM menunjukkan Abrasi, sedangkan nilai positif menunjukkan nilai akresi. Semakin besar nilai negatif maka semakin besar kemunduran garis pantai, sedangkan semakin besar nilai positif menunjukkan semakin besar penambahan daratan yang terjadi selama periode pengamatan.



Gambar 11 Rentang nilai hasil hitungan DSAS

Pada penelitian ini, penentuan kategori abrasi, konstan dan akresi dilakukan menggunakan nilai EPR melalui metode klasifikasi *CASE WHEN* pada QGIS dengan ambang batas  $\pm 0,25$  m/tahun mengikuti hasil dari *calculate rates* di DSAS seperti pada gambar di atas yaitu gambar 4.11 Rentang nilai hasil hitungan DSAS. Klasifikasi tersebut digunakan untuk mempermudah interpretasikan perubahan garis pantai pada setiap transek. Adapun klasifikasi yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 12 Perhitungan abrasi atau akresi

Dengan hasil yang diperoleh bahwa pergeseran pantai ke arah darat (abrasi) dengan metode EPR (*End Point Rate*) berada pada kisaran 0,00 hingga -67,89 meter/tahun. Sementara itu, berdasarkan metode NSM (*Net Shoreline Movement*), abrasi tercatat berkisar antara 0,00 hingga -392,28 meter. Sedangkan untuk akresi atau jarak pantai ke arah laut dengan metode EPR berkisar antara 0,00 sampai 65,9 meter/tahun dan dengan metode NSM akresi berkisar antara 0,00 sampai 395 meter.

Perubahan garis pantai yang terjadi di wilayah pesisir Kabupaten Bangka Tengah diduga dipengaruhi oleh kombinasi faktor alami dan faktor antropogenik. Faktor alami yang berperan antara lain gelombang, arus laut, pasang surut, serta proses transportasi dan deposisi sedimen yang berlangsung secara dinamis. Gelombang dan arus laut dapat mengikis material pantai sehingga menyebabkan terjadinya abrasi, sedangkan proses pengendapan sedimen pada lokasi tertentu dapat memicu terjadinya akresi. Perbedaan kondisi oseanografi pada setiap segmen pantai menyebabkan tingkat perubahan garis pantai yang berbeda-beda di sepanjang wilayah penelitian.

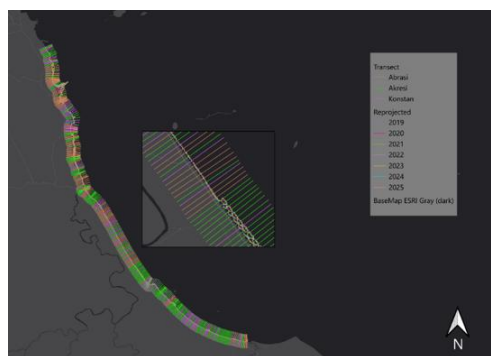
Selain faktor alami, aktivitas manusia juga diduga turut memengaruhi perubahan garis pantai yang terjadi. Berdasarkan kondisi eksisting di wilayah penelitian, terdapat beberapa area



pesisir yang dimanfaatkan untuk kegiatan penambangan. Aktivitas tersebut berpotensi memengaruhi keseimbangan sedimen di kawasan pantai sehingga dapat meningkatkan kerentanan terhadap abrasi. Selain itu, pada beberapa lokasi tidak ditemukan vegetasi pelindung pantai seperti mangrove maupun pohon kelapa dalam jumlah yang memadai, serta tidak terdapat bangunan pengaman pantai seperti pemecah gelombang. Kondisi tersebut menyebabkan garis pantai lebih rentan terhadap energi gelombang dan arus laut yang dapat mempercepat proses erosi.

Nilai abrasi maksimum yang diperoleh juga perlu dipahami dengan mempertimbangkan keterbatasan metode penelitian. Penggunaan citra Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10 meter, perbedaan kondisi pasang surut saat perekaman citra, serta potensi ketidakpastian pada proses ekstraksi garis pantai menggunakan algoritma K-Means dapat memengaruhi posisi garis pantai yang dihasilkan. Oleh karena itu, nilai EPR maksimum sebesar -67,89 meter/tahun tidak hanya dapat dikaitkan dengan proses abrasi yang terjadi di lapangan, tetapi juga kemungkinan dipengaruhi oleh faktor teknis dalam pengolahan dan analisis data. Meskipun demikian, hasil tersebut tetap menunjukkan adanya indikasi perubahan garis pantai yang signifikan pada lokasi tertentu di wilayah penelitian.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil perubahan garis pantai. Pertama, penelitian ini belum menggunakan data validasi lapangan maupun data garis pantai resmi sebagai pembanding untuk mengevaluasi tingkat akurasi hasil ekstraksi garis pantai yang diperoleh dari citra sentinel-2. Kedua, penggunaan citra landsat sebagai data pembanding tidak dapat dilakukan secara optimal karena sebagian besar citra pada wilayah penelitian mengalami tutupan awan yang cukup tinggi, sehingga mengurangi kualitas informasi yang dapat dimanfaatkan untuk analisis. Selain itu, penelitian ini belum mempertimbangkan koreksi pasang surut pada waktu perekaman citra, sehingga posisi garis pantai yang diekstraksi berpotensi dipengaruhi oleh perbedaan kondisi muka air laut pada masing-masing periode pengamatan. Oleh karena itu, hasil perubahan garis pantai yang diperoleh dalam penelitian ini perlu dipahami sebagai estimasi berbasis data penginderaan jauh yang masih memiliki tingkat ketidakpastian tertentu.



**Gambar 13** Visualisasi transect dan gabungan garis pantai



**Gambar 14** Visualisasi gabungan tiga garis pantai



Gambar diatas menampilkan visualisasi transek hasil analisis perubahan garis pantai yang diklasifikasikan ke dalam kategori abrasi, akresi, dan konstan, serta dilengkapi dengan informasi posisi garis pantai pada beberapa tahun pengamatan (2019–2025). Setiap transek ditampilkan dengan warna berbeda yang menunjukkan kondisi perubahan, dimana warna tertentu merepresentasikan abrasi, akresi, dan kondisi stabil. Selain itu, garis-garis berwarna yang sejajar menunjukkan posisi garis pantai pada masing-masing tahun, sehingga memperlihatkan pergeseran garis pantai secara temporal.

Berdasarkan visualisasi tersebut, terlihat bahwa perubahan garis pantai terjadi secara bertahap dari tahun ke tahun, yang ditunjukkan oleh pergeseran posisi garis pantai pada setiap transek. Pada beberapa segmen, jarak antar garis tahun terlihat cukup renggang, yang mengindikasikan adanya perubahan yang signifikan, baik berupa abrasi maupun akresi. Sementara itu, pada bagian lain, garis-garis tahun tampak lebih rapat, yang menunjukkan perubahan yang relatif kecil atau stabil. Keberadaan inset (perbesaran) pada gambar memperjelas pola perubahan pada salah satu segmen, di mana terlihat arah pergeseran garis pantai serta dominasi kategori perubahan pada lokasi tersebut.

## KESIMPULAN

Penelitian yang menggunakan Metode *unsupervised learning* dengan algoritma K-Means melalui platform Google Earth Engine ini terbukti efektif, efisien, dan praktis dalam mendeteksi perubahan garis pantai secara spasial di Kabupaten Bangka Tengah melalui tahapan *cloud masking*, perhitungan indeks air, dan klasifikasi kelas perairan serta daratan. Hasil analisis periode 2019–2025 menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) menunjukkan adanya dinamika abrasi dan akresi yang signifikan, di mana metode *End Point Rate* (EPR) mencatat laju perubahan per tahun (abrasi hingga -67,89 meter/tahun dan akresi 65,9 meter/tahun), sedangkan metode *Net Shoreline Movement* (NSM) mengukur total perpindahan keseluruhan tanpa faktor waktu (abrasi hingga -392,28 meter dan akresi 395 meter). Variasi nilai dan sebaran spasial perubahan ini dipengaruhi oleh faktor dinamika oseanografi, arus, gelombang, sedimentasi, serta aktivitas lingkungan pesisir, yang menegaskan bahwa kombinasi pengolahan citra satelit ini dengan konsistensi rentang waktu data mampu memberikan informasi temporal yang akurat mengenai mundurnya garis pantai maupun penambahan daratan di wilayah tersebut.

## Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, Untuk penelitian selanjutnya dan pengelolaan wilayah pesisir Kabupaten Bangka Tengah, disarankan untuk menggunakan rentang waktu pengamatan yang lebih panjang serta citra satelit beresolusi spasial lebih tinggi guna memperoleh analisis yang komprehensif dan teliti. Selain itu, optimalisasi pemilihan data citra dan *cloud masking* sangat diperlukan untuk meminimalkan pengaruh awan, yang disertai dengan pertimbangan koreksi pasang surut saat perekaman serta penggunaan data validasi lapangan atau data resmi demi meningkatkan akurasi hasil ekstraksi. Kajian lebih lanjut juga perlu dilakukan terhadap faktor oseanografi seperti arus laut, pasang surut, gelombang, suhu permukaan laut, dan salinitas untuk memahami pengaruhnya terhadap dinamika pesisir. Terakhir, pemantauan garis pantai secara berkala harus diterapkan sebagai upaya deteksi dini yang mendukung perencanaan dan pengelolaan kawasan pesisir secara lebih berkelanjutan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Alcaras, E., Amoroso, P. P., Figliomeni, F. G., Parente, C., & Prezioso, G. (2022). Accuracy Evaluation Of Coastline Extraction Methods In Remote Sensing: A Smart Procedure For Sentinel-2 Images. *International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(4/W3-2022), 13–19. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W3-2022-13-2022>
- Brovelli, M. A., Sun, Y., & Yordanov, V. (2020). Monitoring Forest Change In The Amazon Using Multi-Temporal Remote Sensing Data And Machine Learning Classification On Google Earth Engine. *ISPRS International Journal Of Geo-Information*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/ijgi9100580>
- Cahyo Ginanjar, Y., Yonvitner, & Wayan Nurjaya, I. (2021). Evaluation Of Changes In The Coastal Line Of East Bangka Using The Digital Shoreline Analysis System Method. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 11(2), 162–174.
- Dinnabhan, F., Pamungkas, A., Akhrianti, I., & Nugraha, M. A. (2025). Deteksi Dan Prediksi Perubahan Garis Pantai Kawasan Pesisir Kelurahan Arung Dalam Menggunakan Citra Satelit Multitemporal. *Jurnal Kelautan Tropis*, 28(2), 321–330. <https://doi.org/10.14710/jkt.v28i2.22714>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis For Everyone. *Remote Sensing Of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Kharimah, U., & Ardiyansyah, A. (2021). Partisipasi Masyarakat Dalam Menjaga Kelestarian Lingkungan Pesisir Melalui Program Jaga Pesisir Kita. *Jurnal Sosial Dan Teknologi (Sostech)*, 1(9). <https://greenvest.co.id/>
- Paoza, E., Dwi Karunia, R., Asher, J., Danisha, H. A., Praba, A., & Pinem, R. (2024). Visualisasi Kenaikan Permukaan Air Laut Di Wilayah Demak Menggunakan Citra Satelit HYCOM Dan Google Earth Engine. *Seminar Nasional Inovasi Dan Tren Teknologi (Sinatti)*, 1–9.
- Purwanti, R., & Koestoer, R. H. (2024). Tinjauan Perubahan Dan Prediksi Garis Pantai: Studi Perbandingan Kasus Di Sri Lanka Dan Indonesia. *Journal Of Marine Research*, 13(2), 203–211. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i2.40428>
- Rachman, R. M., Hidayat, A., Safar, A., Gunadi, H., Sahari, D. D., Padang, I., Patasik, D. F., Arrang, A. T., Loise, M., Sampebatu, L., ZR, I., & Fitriah. (2024). *Wawasan Kemaritiman (Strategi Pengelolaan Dan Pengembangan Wilayah Pesisir, Kelautan Dan Perdesaan)* (Yusman, Ed.).
- Yilmaz, O. S. (2023). Automatic Detection Of Water Surfaces Using K-Means++ Clustering Algorithm With Landsat-9 And Sentinel-2 Images On The Google Earth Engine Platform. *Bilge International Journal Of Science And Technology Research*, 7(2), 105–111. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.1262550>
- Zulkifle, N. A. N., Idris, N. H., & Ahmad, S. S. F. (2024). The Assessment Of Shoreline Changes Along The Johor Strait Using Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar Imagery And GIS. *International Journal Of Remote Sensing*, 45(23), 8703–8721. <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2232551>