Available online https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno

T E K N O

Volume 24, No. 97, Tahun 2026 p-ISSN: 0215-9617

Analisis Perubahan Garis Pantai Di Batu Putih Atas Dan Batu Putih Bawah Menggunakan Citra Satelit Dan Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

Immanuel J. E. De Breving[#a], Muhammad I. Jasin[#b], Arthur H. Thambas[#c]

[#]*Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia*
[a]immanuelbreving021@student.unsrat.ac.id, [b]muhammadjasin@unsrat.ac.id, [c]arthur.thambas@unsrat.ac.id

Abstrak

Garis pantai merupakan batas antara daratan dan perairan yang bersifat dinamis serta dapat mengalami perubahan posisi dari waktu ke waktu. Perubahan tersebut dapat diamati melalui pemanfaatan citra satelit dan analisis spasial untuk mengetahui arah, besaran, serta pola perubahan garis pantai dalam periode tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola perubahan garis pantai di Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah, Kota Bitung, dalam rentang waktu 35 tahun terakhir. Data yang digunakan berupa citra satelit tahun 1990, 2000, 2005, 2010, 2020, dan 2025. Setiap citra diinterpretasikan untuk memperoleh posisi garis pantai pada masing-masing tahun pengamatan. Selanjutnya, perubahan garis pantai dianalisis menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) v5.1.20230124.1520 yang terintegrasi dengan ArcGIS Desktop 10.8. Analisis dilakukan menggunakan empat parameter, yaitu *Shoreline Change Envelope* (SCE), *Net Shoreline Movement* (NSM), *End Point Rate* (EPR), dan *Linear Regression Rate* (LRR), untuk menggambarkan besaran dan laju perubahan garis pantai berdasarkan posisi garis pantai pada periode pengamatan. Hasil analisis periode 1990–2025 menunjukkan bahwa perubahan garis pantai secara umum didominasi oleh kemunduran ke arah daratan. Nilai NSM berkisar antara −13 hingga −138 meter, EPR antara −0,371 hingga −3,943 meter/tahun, dan LRR antara −0,729 hingga −3,600 meter/tahun. Berdasarkan distribusi spasialnya, bagian utara di sekitar Pantai Batu Putih Atas menunjukkan kemunduran garis pantai yang relatif lebih kecil, sedangkan bagian tengah hingga selatan dan tenggara di sekitar Pantai Batu Putih Bawah menunjukkan kemunduran yang lebih besar. Pola tersebut memperlihatkan bahwa perubahan garis pantai tidak berlangsung secara seragam pada seluruh wilayah penelitian, baik dari segi besaran maupun laju perubahannya. Dengan demikian, pemanfaatan citra satelit dan analisis DSAS dapat memberikan gambaran mengenai dinamika serta distribusi spasial perubahan garis pantai dalam jangka panjang sebagai informasi awal untuk pemantauan wilayah pesisir.

Kata Kunci: Garis Pantai, Citra Satelit, DSAS, NSM, EPR, LRR, SCE

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Garis pantai merupakan batas antara daratan dan lautan yang bersifat dinamis serta dapat mengalami perubahan posisi dari waktu ke waktu. Perubahan tersebut dapat berupa kemunduran garis pantai ke arah daratan yang dikenal sebagai abrasi maupun pergeseran garis pantai ke arah laut yang menunjukkan akresi. Besarnya perubahan garis pantai dapat berbeda pada setiap bagian wilayah pesisir karena kondisi fisik dan dinamika pantai yang tidak selalu sama. Oleh karena itu, diperlukan pengamatan secara berkala untuk mengetahui arah, besaran, laju, dan pola perubahan garis pantai dalam suatu periode tertentu.

Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah di Kota Bitung merupakan kawasan pesisir yang menjadi lokasi penelitian. Kawasan ini berdekatan dengan permukiman, akses jalan, fasilitas umum, dan kawasan wisata. Perubahan posisi garis pantai di kawasan tersebut perlu diketahui karena dapat memberikan gambaran mengenai dinamika wilayah pesisir serta bagian-bagian pantai yang mengalami kemunduran atau pergeseran dengan besaran berbeda. Informasi perubahan garis pantai juga penting sebagai data awal untuk memahami potensi keterpaparan

ruang pesisir yang dimanfaatkan masyarakat, termasuk permukiman, infrastruktur, kawasan wisata, dan lingkungan pantai.

Pemantauan perubahan garis pantai dapat dilakukan dengan memanfaatkan citra satelit multitemporal yang merekam kondisi permukaan bumi pada waktu berbeda. Dalam penelitian ini digunakan citra satelit tahun 1990, 2000, 2005, 2010, 2020, dan 2025 untuk memperoleh posisi garis pantai selama rentang waktu 35 tahun. Data garis pantai hasil interpretasi citra selanjutnya dianalisis menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS) yang terintegrasi dengan ArcGIS Desktop 10.8. Analisis dilakukan melalui parameter Shoreline Change Envelope (SCE), Net Shoreline Movement (NSM), End Point Rate (EPR), dan Linear Regression Rate (LRR). Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui rentang perubahan posisi garis pantai, perpindahan bersih, serta laju dan kecenderungan perubahan berdasarkan data garis pantai pada tahun pengamatan.

Hasil analisis DSAS dapat memberikan gambaran mengenai variasi perubahan garis pantai secara spasial di sepanjang Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah. Informasi tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk mengidentifikasi bagian kawasan pesisir yang mengalami kemunduran lebih besar serta melihat potensi keterpaparan ruang di sekitarnya. Meskipun demikian, identifikasi tersebut didasarkan pada perubahan posisi garis pantai dan kondisi spasial yang terlihat pada citra, bukan pada pengukuran langsung tingkat kerusakan bangunan, infrastruktur, maupun ekosistem pesisir. Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut: Mengetahui pola perubahan garis pantai di Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah, Kota Bitung, dalam rentang waktu 35 tahun terakhir.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di kawasan Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara**.** Kawasan penelitian memiliki panjang garis pantai sekitar 3.890 m, dengan dimensi wilayah sekitar 2.611 m pada arah utara–selatan dan 2.435 m pada arah barat–timur. Kawasan penelitian berbatasan dengan Laut Maluku di sebelah utara, permukiman dan akses jalan Batu Putih di sebelah selatan, kawasan wisata dan pintu masuk Taman Nasional Tangkoko di sebelah timur, serta kawasan pesisir, permukiman, dan fasilitas publik di sebelah barat.

Penelitian difokuskan pada perubahan posisi garis pantai di sepanjang kawasan Pantai Batu Putih Atas hingga Pantai Batu Putih Bawah. Peta lokasi digunakan sebagai dasar untuk menentukan batas kawasan penelitian, posisi garis pantai, baseline, dan transek yang digunakan dalam analisis DSAS.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Pantai Batu Putih Atas dan Batu Putih Bawah
Sumber: Hasil Analisis, 2026

2.2. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari sumber data yang telah tersedia. Data utama berupa citra satelit multitemporal yang digunakan untuk mengidentifikasi posisi garis pantai pada enam tahun pengamatan. Citra yang digunakan terdiri atas citra tahun 1990 yang diambil pada 19 Mei 1990, citra tahun 2000 pada 14 Desember 2000, citra tahun 2005 pada 12 Juli 2005, citra tahun 2010 pada 18 September 2010, citra tahun 2020 pada 23 Agustus 2020, dan citra tahun 2025 pada 16 Juni 2025. Keenam citra tersebut digunakan untuk memperoleh posisi garis pantai dan menganalisis perubahan garis pantai selama periode 1990–2025. Selain citra satelit, penelitian menggunakan peta dasar dan data spasial kawasan penelitian sebagai data pendukung dalam proses pengolahan dan analisis spasial. Citra yang digunakan memiliki tanggal pengambilan sebagai berikut:

Tabel 1. Tahun Dan Tanggal Citra Satelit Yang Digunakan

No.	Tahun Citra	Tanggal Citra	Keterangan
1	1990	19 Mei 1990	Garis pantai awal
2	2000	14 Desember 2000	Garis pantai pembanding
3	2005	12 Juli 2005	Garis pantai pembanding
4	2010	18 September 2010	Garis pantai pembanding
5	2020	23 Agustus 2020	Garis pantai pembanding
6	2025	16 Juni 2025	Garis pantai terbaru

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Data citra tersebut kemudian diinterpretasikan untuk memperoleh garis pantai pada masing-masing tahun. Tahapan pengolahan citra meliputi pengumpulan citra, pemeriksaan kualitas citra, penyiapan data spasial, identifikasi batas daratan dan perairan, digitasi garis pantai, pemberian atribut tahun pada setiap garis pantai, serta penyusunan data garis pantai sebagai input analisis DSAS.

Keterbatasan Interpretasi Citra Satelit

Dalam proses interpretasi dan digitasi garis pantai, terdapat keterbatasan dalam mengidentifikasi batas antara daratan dan perairan secara tepat. Hal ini disebabkan oleh kualitas dan resolusi spasial citra satelit yang digunakan, sehingga pada beberapa bagian pantai batas antara daratan dan perairan tidak terlihat secara jelas. Kondisi tersebut dapat terjadi, misalnya, pada area perairan dangkal, wilayah pantai yang memiliki karakteristik warna serupa antara daratan dan air, serta area yang tertutup bayangan atau objek tertentu.

Keterbatasan tersebut menyebabkan penentuan posisi garis pantai melalui proses digitasi masih memiliki unsur ketidakpastian, karena garis batas yang diinterpretasikan dapat berbeda bergantung pada kejelasan objek yang terlihat pada citra. Selain itu, perbedaan tanggal perekaman citra pada setiap tahun pengamatan juga berpotensi memengaruhi posisi batas air dan daratan yang teridentifikasi. Oleh karena itu, garis pantai yang dihasilkan dalam penelitian ini merupakan hasil interpretasi visual berdasarkan kenampakan objek pada citra satelit, sehingga tidak sepenuhnya menggambarkan posisi batas daratan dan perairan secara pasti di lapangan. Kondisi ini perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil analisis perubahan garis pantai menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Untuk meningkatkan ketelitian hasil penelitian, diperlukan validasi melalui survei lapangan serta penggunaan citra satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi.

2.3. Analisis Data

Analisis perubahan garis pantai dilakukan menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.1.20230124.1520 pada ArcGIS Desktop 10.8. Data garis pantai tahun 1990, 2000, 2005, 2010, 2020, dan 2025 dianalisis menggunakan sistem koordinat WGS 84 / UTM Zone 51N (EPSG:32651). Pengolahan dilakukan dengan baseline pada sisi daratan (*onshore*) dan transek menuju laut dengan panjang 500 m serta jarak antartransek 50 m.

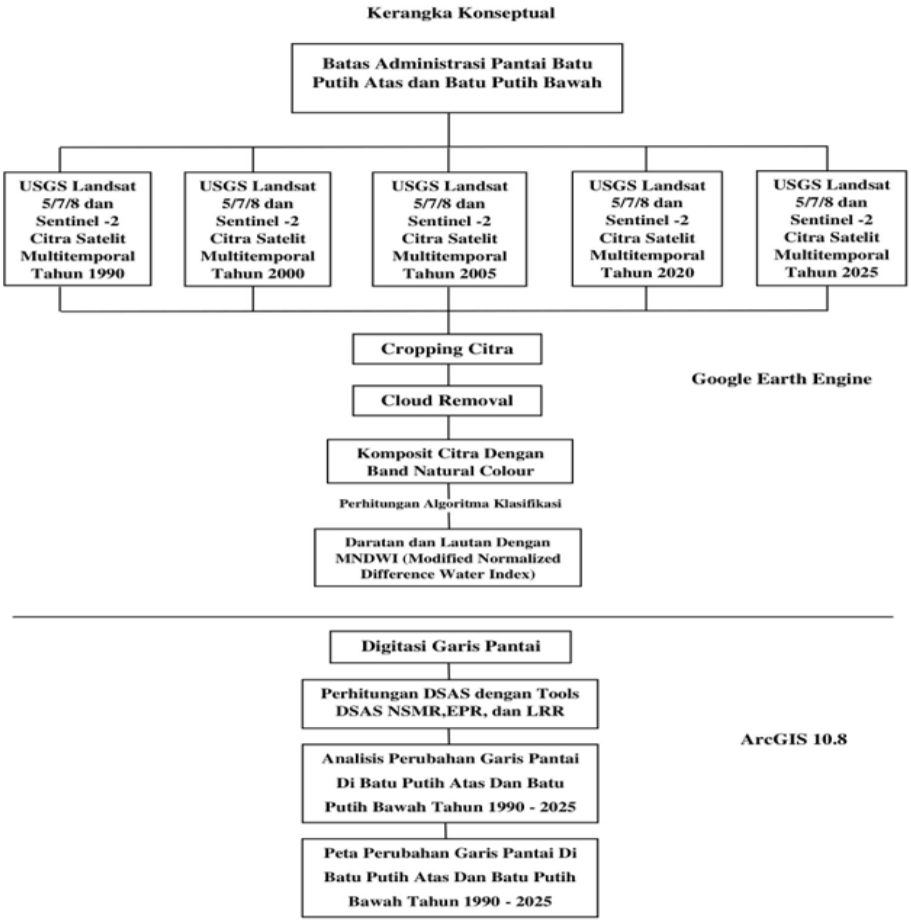
Tabel 2. Parameter Pengaturan DSAS
Sumber: Hasil Analisis, 2026

No.	Parameter	Pengaturan
1	Versi DSAS	DSAS v5.1.20230124.1520
2	Sistem koordinat	WGS 84 / UTM Zone 51N (EPSG:32651)
3	Posisi baseline	Sisi daratan (td*onshore*)
4	Panjang transek	500 m
5	Jarak antartransek	50 m
6	Jumlah transek	5 transek
7	Arah *casting*	Dari baseline menuju laut
8	*Smoothing distance*	200 m
9	*Search distance*	500 m
10	Atribut *uncertainty*	DSAS_uncy
11	*Confidence interval* LRR	90%

Selanjutnya, perubahan garis pantai dianalisis menggunakan empat parameter DSAS, yaitu Shoreline Change Envelope (SCE), Net Shoreline Movement (NSM), End Point Rate (EPR), dan Linear Regression Rate (LRR). SCE menunjukkan rentang perubahan posisi garis pantai, NSM menunjukkan besarnya perpindahan, EPR menunjukkan laju perubahan, sedangkan LRR menunjukkan kecenderungan perubahan berdasarkan seluruh data garis pantai.

2.4. Bagan Alur Penelitian

Bagan alur penelitian akan dibuat untuk menggambarkan tahapan penelitian dari pengumpulan data, pengolahan citra satelit, analisis perubahan garis pantai, hingga penyusunan rekomendasi strategi mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan garis pantai di batu putih atas dan batu putih bawah.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian
Sumber: Hasil Analisis, 2026

3. Kajian Literatur

3.1 Perubahan Garis Pantai

Garis pantai merupakan batas antara daratan dan perairan yang dapat mengalami perubahan posisi dari waktu ke waktu. Perubahan tersebut dapat berupa kemunduran ke arah daratan yang menunjukkan abrasi maupun pergeseran ke arah laut yang menunjukkan akresi. Besarnya perubahan dapat berbeda pada setiap bagian pantai sehingga diperlukan pengukuran pada beberapa transek untuk mengetahui variasi perubahan garis pantai.

3.2 Penginderaan Jauh dan Citra Satelit

Penginderaan jauh merupakan metode untuk memperoleh informasi mengenai permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan objek. Salah satu sumber data penginderaan jauh adalah citra satelit yang dapat digunakan untuk pemetaan dan pemantauan perubahan wilayah. Citra satelit dapat memberikan informasi mengenai posisi garis pantai pada waktu yang berbeda sehingga dapat digunakan untuk menganalisis perubahan posisi garis pantai.

Dalam penelitian ini digunakan citra satelit tahun 1990, 2000, 2005, 2010, 2020, dan 2025**.** Citra tersebut diinterpretasikan untuk memperoleh posisi garis pantai pada masing-masing tahun sebagai data dasar analisis perubahan garis pantai.

3.3 Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

Digital Shoreline Analysis System (DSAS) merupakan perangkat tambahan pada ArcGIS yang digunakan untuk menganalisis perubahan posisi garis pantai secara kuantitatif. DSAS menggunakan transek untuk mengukur perbedaan posisi garis pantai berdasarkan titik perpotongan antara transek dan garis pantai dari beberapa tahun pengamatan.

Dalam penelitian ini, baseline yang digunakan memiliki panjang 3.890 m, dan berfungsi sebagai garis acuan dalam pembentukan transek pengukuran sepanjang wilayah penelitian. Panjang baseline tersebut dipertimbangkan berdasarkan cakupan garis pantai yang menjadi objek pengamatan, sehingga seluruh bagian Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah yang termasuk dalam wilayah penelitian dapat dianalisis secara spasial. Baseline menjadi acuan untuk mengatur arah dan penempatan transek agar pengukuran perubahan posisi garis pantai dapat dilakukan secara konsisten pada setiap periode pengamatan.

Hasil pengukuran perubahan garis pantai selanjutnya dikelompokkan ke dalam lima kelas interval. Pemilihan lima kelas didasarkan pada pertimbangan penyajian data, yaitu untuk membedakan variasi magnitudo perubahan garis pantai secara bertahap tanpa menghasilkan kategori yang terlalu banyak sehingga menyulitkan pembacaan peta, maupun terlalu sedikit sehingga perbedaan nilai perubahan kurang tergambarkan. Dengan lima kelas, variasi perubahan garis pantai di sepanjang wilayah pengamatan dapat disajikan secara lebih sistematis dan memudahkan identifikasi perbedaan magnitudo perubahan secara spasial. Penentuan lima kelas tersebut bukan didasarkan pada pembagian panjang baseline 3.890 m menjadi lima bagian, melainkan pada rentang nilai perubahan garis pantai yang diperoleh dari hasil analisis DSAS.

Pembentukan kelas interval dilakukan menggunakan metode *Equal Interval*, yaitu membagi rentang nilai minimum dan maksimum Net Shoreline Movement (NSM) menjadi lima interval dengan lebar yang sama. Perhitungan lebar interval menggunakan persamaan: Pengelompokan kelas menggunakan nilai absolut NSM untuk menggambarkan besarnya perubahan, sedangkan tanda positif atau negatif pada nilai NSM tetap dipertahankan dalam penyajian hasil analisis untuk menunjukkan arah pergeseran garis pantai. Oleh karena itu, lima kelas interval yang digunakan merupakan kategori pengelompokan nilai perubahan garis pantai dan bukan menunjukkan jumlah transek pengukuran

Penentuan interval kelas dilakukan dengan menggunakan metode Equal Interval, yaitu membagi rentang nilai data menjadi beberapa kelas dengan lebar interval yang sama. Rumus yang digunakan adalah:

$$I = \frac{X_{max} - X_{min}}{K}$$

Keterangan:

- I = Lebar interval kelas

- X_{max} = Nilai maksimum data
- X_{min} = Nilai minimum data
- K = Jumlah kelas

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas Shoreline Change Envelope (SCE), Net Shoreline Movement (NSM), End Point Rate (EPR), dan Linear Regression Rate (LRR). SCE menunjukkan rentang perubahan posisi garis pantai, NSM menunjukkan besarnya perpindahan posisi garis pantai, EPR menunjukkan laju perubahan dalam m/tahun, sedangkan LRR menunjukkan kecenderungan perubahan berdasarkan seluruh posisi garis pantai yang dianalisis. Penggunaan citra satelit dan DSAS dalam penelitian ini menjadi dasar untuk mengetahui arah, besarnya, laju, dan variasi spasial perubahan posisi garis pantai di Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah selama periode 1990–2025.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2000

Berdasarkan hasil analisis perubahan garis pantai periode 1990–2000, diperoleh lima kelas interval dengan rentang perubahan antara -0,03–-17,00 meter. Pembagian kelas dilakukan menggunakan metode Equal Interval dengan lebar interval sekitar 3,40 meter. Hasil klasifikasi menunjukkan adanya perbedaan besaran perubahan posisi garis pantai pada setiap kelas.

Kelas 1 (-0,03–-3,40 meter) menunjukkan besaran perubahan paling kecil. Kelas ini menggambarkan bagian garis pantai yang mengalami pergeseran relatif terbatas selama periode pengamatan. Berdasarkan distribusi spasial pada peta, perubahan dengan besaran kecil ditemukan pada bagian utara kawasan penelitian. Kondisi ini menunjukkan bahwa posisi garis pantai pada bagian tersebut relatif lebih sedikit mengalami perubahan dibandingkan bagian lainnya. Kelas 2 (-3,41–-6,80 meter) menunjukkan besaran perubahan yang lebih besar dibandingkan Kelas 1. Perubahan pada kelas ini menggambarkan adanya pergeseran garis pantai secara bertahap. Keberadaan kelas ini memperlihatkan bahwa perubahan posisi garis pantai mulai menunjukkan variasi yang lebih jelas pada beberapa bagian kawasan penelitian. Kelas 3 (-6,81–-10,20 meter) menunjukkan besaran perubahan menengah. Pada kelas ini, pergeseran garis pantai terlihat lebih besar dibandingkan dua kelas sebelumnya. Pola tersebut memperlihatkan adanya variasi perubahan posisi garis pantai yang semakin jelas pada bagian tengah wilayah penelitian. Kelas 4 (-10,21–-13,60 meter) menunjukkan besaran perubahan yang relatif besar. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran garis pantai lebih jauh dibandingkan Kelas 1 hingga Kelas 3. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa distribusi perubahan posisi garis pantai tidak berlangsung secara seragam di sepanjang kawasan penelitian. Kelas 5 (-13,61–-17,00 meter) merupakan kelas dengan besaran perubahan terbesar pada periode 1990–2000. Berdasarkan peta perubahan garis pantai, kelas dengan nilai perubahan terbesar ditemukan pada bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah. Hal ini menunjukkan bahwa bagian tersebut memiliki perubahan posisi garis pantai yang lebih besar dibandingkan bagian utara dan tengah kawasan penelitian.

Secara keseluruhan, periode 1990–2000 memperlihatkan bahwa perubahan garis pantai memiliki variasi spasial dari Kelas 1 hingga Kelas 5. Bagian utara cenderung menunjukkan besaran perubahan yang lebih kecil, sedangkan bagian selatan hingga tenggara menunjukkan besaran perubahan yang lebih besar. Hasil ini memberikan gambaran awal mengenai distribusi perubahan garis pantai di Batu Putih Atas dan Batu Putih Bawah.

4.2 Hasil Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2005

Hasil analisis perubahan garis pantai periode 1990–2005 menunjukkan rentang perubahan sekitar -2–-121 meter. Berdasarkan metode Equal Interval, rentang tersebut dibagi menjadi lima kelas dengan lebar interval sekitar 23,80 meter. Pembagian ini bertujuan untuk menggambarkan distribusi besaran perubahan garis pantai selama lima belas tahun pengamatan.

Tabel 3. Output Hasil DSAS Tahun 1990–2000
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Transek	NSM (m)	EPR (m/tahun)	LRR (m/tahun)	SCE (m)	Kategori	Pola Perubahan
Transek 1	-0,03 – -3,40	-0,003 – -0,340	-1,73	3,40	Abrasi Rendah	Garis pantai relatif stabil dengan kemunduran kecil
Transek 2	-3,41 – -6,80	-0,341 – -0,680	-1,69	3,39	Abrasi Sedang	Mulai terjadi kemunduran bertahap mengikuti garis pantai
Transek 3	-6,81 – -10,20	-0,681 – -1,020	-1,69	3,39	Abrasi Sedang–Tinggi	Kemunduran garis pantai terlihat lebih jelas dan kontinu
Transek 4	-10,21 – -13,60	-1,021 – -1,360	-1,69	3,39	Abrasi Tinggi	Abrasi aktif pada area yang langsung menghadap laut terbuka
Transek 5	-13,61 – -17,00	-1,361 – -1,700	-1,69	3,39	Abrasi Sangat Tinggi	Kemunduran terbesar akibat paparan gelombang dan arus laut



Gambar 2. Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2000
Sumber: Hasil Analisis Tahun 2026

Kelas 1 (-2–-25 meter) menunjukkan besaran perubahan paling kecil pada periode ini. Kelas tersebut menggambarkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran posisi garis pantai relatif terbatas. Berdasarkan distribusi pada peta, perubahan dengan besaran tersebut umumnya ditemukan pada bagian utara kawasan penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan posisi garis pantai pada bagian tersebut lebih kecil dibandingkan bagian lainnya. Kelas 2 (-26–-49 meter) menunjukkan peningkatan besaran perubahan dibandingkan Kelas 1. Perubahan pada kelas ini memperlihatkan adanya pergeseran posisi garis pantai yang lebih besar. Secara spasial, kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami perubahan dengan besaran menengah dan menunjukkan variasi posisi garis pantai yang lebih jelas. Kelas 3 (-50–-73 meter) menunjukkan besaran perubahan yang lebih besar dibandingkan dua kelas sebelumnya. Perubahan ini memperlihatkan bahwa beberapa bagian wilayah penelitian mengalami pergeseran posisi garis pantai yang cukup jauh dari posisi awal tahun 1990. Berdasarkan distribusi spasial, kelas ini menggambarkan perubahan pada bagian tengah kawasan penelitian. Kelas 4 (-74–-97 meter) menunjukkan besaran perubahan yang relatif tinggi dalam pengelompokan periode ini. Kelas tersebut memperlihatkan adanya pergeseran posisi garis pantai yang lebih besar dibandingkan Kelas 1 hingga Kelas 3. Berdasarkan peta, perubahan dengan besaran tersebut lebih banyak ditemukan pada bagian pesisir yang memiliki rentang perubahan lebih besar. Kelas 5 (-98–-121 meter) merupakan kelas dengan besaran perubahan terbesar pada periode 1990–2005.

Berdasarkan hasil pemetaan, kelas ini terutama menunjukkan perubahan pada bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah. Besaran perubahan tersebut memperlihatkan bahwa bagian tersebut mengalami pergeseran posisi garis pantai paling besar dalam klasifikasi periode pengamatan ini.

Jika dibandingkan dengan periode 1990–2000, periode 1990–2005 memperlihatkan peningkatan rentang besaran perubahan dari maksimum sekitar 17 meter menjadi 121 meter. Perbedaan ini menggambarkan perubahan posisi garis pantai secara kumulatif dengan tahun 1990 sebagai tahun dasar. Oleh karena itu, peningkatan tersebut tidak dapat langsung diartikan sebagai peningkatan laju abrasi hanya berdasarkan perbedaan nilai maksimum. Secara keseluruhan, distribusi Kelas 1 hingga Kelas 5 menunjukkan bahwa perubahan posisi garis pantai pada periode 1990–2005 memiliki variasi spasial yang semakin besar. Bagian utara memperlihatkan perubahan yang relatif kecil, sedangkan bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah menunjukkan besaran perubahan yang lebih besar.

Tabel 4. Tabel Output Hasil DSAS Tahun 1990–2005
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Transek	NSM (m)	EPR (m/tahun)	LRR (m/tahun)	SCE (m)	Tingkat Abrasi	Pola Perubahan
Transek 1	-2 – -25	-0,133 – -1,667	-0,900	23	Abrasi Rendah	Kemunduran kecil
Transek 2	-26 – -49	-1,733 – -3,267	-2,500	23	Abrasi Sedang	Abrasi mulai berkembang
Transek 3	-50 – -73	-3,333 – -4,867	-4,100	23	Abrasi Sedang–Tinggi	Kemunduran cukup jelas
Transek 4	-74 – -97	-4,933 – -6,467	-5,700	23	Abrasi Tinggi	Abrasi aktif
Transek 5	-98 – -121	-6,533 – -8,067	-7,300	23	Abrasi Sangat Tinggi	Kemunduran sangat besar



Gambar 3. Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2005
Sumber: Hasil Analisis Tahun 2026

4.3 Hasil Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2010

Pada periode 1990–2010, hasil analisis menunjukkan rentang perubahan garis pantai sekitar -6–-130 meter. Berdasarkan metode Equal Interval, rentang tersebut dibagi menjadi lima kelas dengan lebar interval sekitar 24,80 meter, yang kemudian dibulatkan menjadi interval sekitar 25 meter untuk mempermudah penyajian hasil.

Kelas 1 (-6–-30 meter) menunjukkan besaran perubahan paling kecil. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran garis pantai relatif terbatas selama dua puluh tahun pengamatan. Berdasarkan distribusi spasial, perubahan dengan besaran tersebut umumnya ditemukan pada bagian utara kawasan penelitian. Kelas 2 (31–55 meter) menunjukkan

besaran perubahan yang lebih besar dibandingkan Kelas 1. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran posisi garis pantai secara lebih nyata. Perubahan tersebut menunjukkan adanya variasi besaran perubahan pada bagian wilayah penelitian yang memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan kelas sebelumnya. Kelas 3 (-56–-80 meter) menunjukkan besaran perubahan menengah hingga besar. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami perpindahan posisi garis pantai dengan rentang yang lebih luas. Berdasarkan distribusi spasial, kelas ini berkaitan dengan perubahan pada bagian tengah kawasan penelitian. Kelas 4 (-81–-105 meter) menunjukkan besaran perubahan yang tinggi dibandingkan kelas sebelumnya. Kelas ini memperlihatkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran garis pantai lebih besar. Berdasarkan peta perubahan, besaran tersebut lebih banyak ditemukan pada bagian pesisir yang menunjukkan perubahan relatif tinggi. Kelas 5 (-106–-130 meter) merupakan kelas dengan besaran perubahan terbesar pada periode 1990–2010. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran posisi garis pantai paling besar selama dua puluh tahun pengamatan. Berdasarkan distribusi spasial, perubahan dengan besaran terbesar terutama ditemukan pada bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah.

Perbandingan dengan periode 1990–2005 menunjukkan bahwa rentang maksimum perubahan meningkat dari sekitar 121 meter menjadi 130 meter. Hal tersebut memperlihatkan adanya perbedaan besaran perpindahan posisi garis pantai pada hasil pengamatan kumulatif hingga tahun 2010. Namun, perubahan nilai maksimum tersebut perlu dipahami bersama hasil pengukuran EPR dan LRR untuk mengetahui kecenderungan laju perubahan. Secara keseluruhan, periode 1990–2010 menunjukkan pola distribusi perubahan garis pantai yang semakin jelas berdasarkan lima kelas interval. Bagian utara memiliki besaran perubahan relatif kecil, bagian tengah menunjukkan perubahan menengah, sedangkan bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah memperlihatkan besaran perubahan terbesar.

Tabel 5. Tabel Output Hasil DSAS Tahun 1990–2010
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Transek	NSM (m)	EPR (m/tahun)	LRR (m/tahun)	SCE (m)	Tingkat Abrasi	Pola Perubahan
Transek 1	-6 – -30	-0,300 – -1,500	-0,900	24	Abrasi Rendah	Kemunduran kecil
Transek 2	-31 – -55	-1,550 – -2,750	-2,150	24	Abrasi Sedang	Abrasi mulai berkembang
Transek 3	-56 – -80	-2,800 – -4,000	-3,400	24	Abrasi Sedang–Tinggi	Kemunduran cukup jelas
Transek 4	-81 – -105	-4,050 – -5,250	-4,650	24	Abrasi Tinggi	Abrasi aktif
Transek 5	-106 – -130	-5,300 – -6,500	-5,900	24	Abrasi Sangat Tinggi	Kemunduran sangat besar



Gambar 4. Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2010
Sumber: Hasil Analisis Tahun 2026

4.4 Hasil Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2020

Hasil analisis perubahan garis pantai periode 1990–2020 menunjukkan rentang perubahan yang dikelompokkan sekitar -6–-130 meter pada tabel output DSAS. Berdasarkan metode Equal Interval, rentang tersebut dibagi menjadi lima kelas dengan lebar interval sekitar 24,80 meter atau dibulatkan menjadi sekitar 25 meter.

Kelas 1 (-6–-30 meter) menunjukkan besaran perubahan paling kecil. Kelas ini menggambarkan bagian garis pantai yang mengalami pergeseran posisi relatif terbatas selama tiga puluh tahun pengamatan. Berdasarkan distribusi spasial, perubahan dengan besaran tersebut umumnya terdapat pada bagian utara kawasan penelitian. Kelas 2 (-31–-55 meter) menunjukkan besaran perubahan yang lebih besar dibandingkan Kelas 1. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran posisi garis pantai dengan besaran menengah. Keberadaan kelas ini memperlihatkan bahwa perubahan garis pantai mulai menunjukkan perbedaan yang lebih nyata dibandingkan bagian dengan nilai perubahan terkecil. Kelas 3 (-56–-80 meter) menunjukkan besaran perubahan yang lebih besar dibandingkan Kelas 1 dan Kelas 2. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami perpindahan posisi garis pantai dalam rentang menengah hingga besar. Berdasarkan pola distribusi spasial, perubahan ini terlihat pada bagian tengah kawasan penelitian. Kelas 4 (-81–-105 meter) menunjukkan besaran perubahan yang tinggi. Kelas ini memperlihatkan bagian pesisir yang mengalami perpindahan posisi garis pantai relatif besar dibandingkan tiga kelas sebelumnya. Perubahan tersebut menunjukkan adanya variasi spasial yang semakin jelas pada bagian wilayah penelitian. Kelas 5 (-106–-130 meter) merupakan kelas dengan besaran perubahan terbesar berdasarkan rentang nilai pada tabel output DSAS periode 1990–2020. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami perpindahan posisi garis pantai paling besar. Berdasarkan pola pada peta, perubahan terbesar berada pada bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah.

Jika dibandingkan dengan periode 1990–2010, distribusi kelas perubahan pada kedua periode memperlihatkan rentang interval yang relatif serupa. Hal ini menunjukkan bahwa bagian-bagian wilayah yang memiliki besaran perubahan relatif besar tetap terlihat pada hasil pemetaan. Meskipun demikian, besaran perubahan pada setiap kelas perlu dilihat berdasarkan nilai hasil pengolahan masing-masing periode. Secara keseluruhan, periode 1990–2020 memperlihatkan bahwa perubahan garis pantai memiliki variasi spasial dari Kelas 1 hingga Kelas 5. Bagian utara menunjukkan perubahan yang lebih kecil, sedangkan bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah menunjukkan besaran perubahan yang lebih besar. Hasil ini memperlihatkan distribusi perubahan posisi garis pantai selama tiga puluh tahun pengamatan.

Tabel 6. Tabel Output Hasil DSAS Tahun 1990–2020
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Transek	NSM (m)	EPR (m/tahun)	LRR (m/tahun)	SCE (m)	Tingkat Abrasi	Pola Perubahan
Transek 1	-6 – -30	-0,300 – -1,500	-0,900	24	Abrasi Rendah	Kemunduran kecil
Transek 2	-31 – -55	-1,550 – -2,750	-2,150	24	Abrasi Sedang	Abrasi mulai berkembang
Transek 3	-56 – -80	-2,800 – -4,000	-3,400	24	Abrasi Sedang–Tinggi	Kemunduran cukup jelas
Transek 4	-81 – -105	-4,050 – -5,250	-4,650	24	Abrasi Tinggi	Abrasi aktif
Transek 5	-106 – -130	-5,300 – -6,500	-5,900	24	Abrasi Sangat Tinggi	Kemunduran sangat besar

4.5 Hasil Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2025

Periode 1990–2025 merupakan rentang pengamatan terpanjang dalam penelitian ini, yaitu selama tiga puluh lima tahun. Berdasarkan hasil analisis, perubahan posisi garis pantai dikelompokkan ke dalam lima kelas dengan rentang sekitar -13–-138 meter. Metode Equal Interval digunakan untuk membagi rentang perubahan tersebut menjadi lima kelompok dengan lebar interval sebesar 25 meter.



Gambar 5. Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2020
Sumber: Hasil Analisis Tahun 2026

Kelas 1 (-13–-38 meter) menunjukkan besaran perubahan paling kecil. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran posisi garis pantai relatif terbatas selama periode pengamatan. Berdasarkan distribusi spasial pada peta, kelas ini umumnya ditemukan pada bagian utara kawasan penelitian. Besaran perubahan tersebut menunjukkan bahwa bagian utara memiliki perpindahan posisi garis pantai lebih kecil dibandingkan kelas lainnya. Kelas 2 (-39–-63 meter) menunjukkan besaran perubahan yang lebih besar dibandingkan Kelas 1. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami pergeseran posisi garis pantai dengan besaran menengah. Keberadaan kelas tersebut memperlihatkan bahwa perubahan posisi garis pantai pada beberapa bagian wilayah penelitian lebih besar dibandingkan kelas sebelumnya. Kelas 3 (-64–-88 meter) menunjukkan besaran perubahan menengah hingga besar. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami perpindahan posisi garis pantai lebih jauh dibandingkan Kelas 1 dan Kelas 2. Berdasarkan distribusi spasial, perubahan dengan rentang tersebut ditemukan pada bagian tengah kawasan penelitian. Kelas 4 (-89–-113 meter) menunjukkan besaran perubahan yang tinggi. Kelas ini memperlihatkan bagian pesisir yang mengalami perpindahan posisi garis pantai relatif besar selama tiga puluh lima tahun pengamatan. Berdasarkan peta, kelas ini terutama ditemukan pada bagian selatan hingga tenggara kawasan penelitian. Kelas 5 (-114–-138 meter) merupakan kelas dengan besaran perubahan terbesar pada periode 1990–2025. Kelas ini menggambarkan bagian pesisir yang mengalami perpindahan posisi garis pantai paling besar dibandingkan empat kelas lainnya. Berdasarkan distribusi spasial, perubahan dengan besaran terbesar terutama terlihat pada bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah.

Jika dibandingkan dengan periode 1990–2020, periode 1990–2025 menunjukkan peningkatan rentang maksimum perubahan dari sekitar 130 meter menjadi 138 meter berdasarkan tabel output DSAS. Hal tersebut memperlihatkan adanya perbedaan besaran perpindahan posisi garis pantai pada sebagian lokasi hingga tahun 2025. Akan tetapi, peningkatan nilai maksimum tersebut belum cukup untuk menyimpulkan bahwa seluruh wilayah mengalami percepatan perubahan.

Secara keseluruhan, periode 1990–2025 menunjukkan bahwa perubahan posisi garis pantai memiliki variasi spasial yang jelas berdasarkan lima kelas interval. Kelas dengan besaran perubahan terkecil lebih banyak menggambarkan bagian utara, sedangkan kelas dengan besaran perubahan terbesar menggambarkan bagian selatan hingga tenggara Batu Putih Bawah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa distribusi perubahan garis pantai selama tiga puluh lima tahun tidak berlangsung secara seragam di seluruh wilayah penelitian.

Tabel 7. Output Hasil DSAS Tahun 1990–2025
Sumber: Hasil Analisis, 2026

Transek	NSM (m)	EPR (m/tahun)	LRR (m/tahun)	SCE (m)	Tingkat Abrasi	Pola Perubahan
Transek 1	-13 – -38	-0,371 – -1,086	-0,729	25	Abrasi Rendah	Kemunduran kecil
Transek 2	-39 – -63	-1,114 – -1,800	-1,457	24	Abrasi Sedang	Abrasi mulai berkembang
Transek 3	-64 – -88	-1,829 – -2,514	-2,171	24	Abrasi Sedang–Tinggi	Kemunduran cukup jelas
Transek 4	-89 – -113	-2,543 – -3,229	-2,886	24	Abrasi Tinggi	Abrasi aktif
Transek 5	-114 – -138	-3,257 – -3,943	-3,600	24	Abrasi Sangat Tinggi	Kemunduran sangat besar



Gambar 6. Pola Perubahan Garis Pantai Tahun 1990–2025
Sumber: Hasil Analisis Tahun 2026

4.5 Pembahasan

Perubahan garis pantai di Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah menunjukkan bahwa kondisi wilayah pesisir mengalami dinamika selama periode pengamatan. Perubahan tersebut ditandai dengan pergeseran batas antara daratan dan perairan yang secara umum memperlihatkan kecenderungan kemunduran ke arah daratan. Kondisi ini menunjukkan bahwa garis pantai merupakan bagian wilayah yang dapat berubah dari waktu ke waktu dan tidak selalu memiliki posisi yang tetap. Pola perubahan garis pantai pada kawasan penelitian memperlihatkan perbedaan kondisi antara bagian utara, tengah, hingga selatan dan tenggara. Bagian utara yang berada di sekitar Pantai Batu Putih Atas menunjukkan perubahan yang relatif lebih kecil. Sementara itu, bagian tengah hingga selatan dan tenggara yang mengarah ke Pantai Batu Putih Bawah memperlihatkan perubahan yang lebih besar. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kemunduran garis pantai memiliki distribusi spasial yang tidak seragam di sepanjang kawasan penelitian. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa setiap bagian pantai memiliki karakteristik perubahan yang berbeda. Oleh karena itu, pemantauan perubahan garis pantai perlu dilakukan secara menyeluruh, mulai dari kawasan Batu Putih Atas hingga Batu Putih Bawah. Pengamatan yang hanya berfokus pada satu bagian pantai belum tentu dapat menggambarkan kondisi perubahan pada keseluruhan wilayah pesisir. Perubahan garis pantai selama rentang waktu penelitian juga menunjukkan pentingnya pengamatan secara berkala. Perbandingan posisi garis pantai dari beberapa tahun pengamatan dapat memberikan gambaran mengenai perkembangan kondisi pesisir dalam jangka panjang. Melalui pemanfaatan citra satelit multitemporal, perubahan posisi garis pantai dapat diamati secara spasial, sedangkan penggunaan DSAS membantu mengidentifikasi kecenderungan perubahan berdasarkan garis pantai pada

tahun-tahun pengamatan.

Dalam menginterpretasikan perubahan tersebut, perlu diperhatikan bahwa posisi garis pantai yang diperoleh melalui interpretasi citra satelit memiliki keterbatasan. Perbedaan resolusi citra, tanggal perekaman, kondisi perairan, serta kejelasan batas antara daratan dan laut dapat memengaruhi ketepatan penentuan garis pantai. Dengan demikian, hasil analisis menggambarkan perubahan berdasarkan objek yang dapat diidentifikasi pada citra satelit dan masih memerlukan verifikasi melalui pengamatan langsung di lapangan. Secara umum, pola perubahan garis pantai di Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah memperlihatkan bahwa kemunduran garis pantai tidak terjadi secara merata. Perbedaan kondisi antara bagian utara, tengah, dan selatan hingga tenggara menjadi informasi penting dalam memahami dinamika wilayah pesisir Batu Putih. Bagian yang memperlihatkan kemunduran lebih besar perlu menjadi perhatian dalam kegiatan pemantauan dan pengelolaan kawasan pesisir selanjutnya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perubahan garis pantai di Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah, Kota Bitung, selama periode 1990–2025, dapat disimpulkan bahwa pola perubahan garis pantai secara umum didominasi oleh kemunduran ke arah daratan atau abrasi. Perubahan tersebut diketahui melalui perbandingan posisi garis pantai berdasarkan interpretasi citra satelit tahun 1990, 2000, 2005, 2010, 2020, dan 2025 yang dianalisis menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan garis pantai memiliki perbedaan besaran dan laju pada setiap bagian kawasan penelitian. Hal ini memperlihatkan bahwa perubahan posisi garis pantai selama 35 tahun tidak berlangsung secara seragam di sepanjang wilayah Pantai Batu Putih Atas hingga Pantai Batu Putih Bawah. Secara spasial, bagian utara kawasan penelitian yang berada di sekitar Pantai Batu Putih Atas menunjukkan kemunduran garis pantai dengan besaran relatif lebih kecil dibandingkan bagian lainnya. Bagian tengah kawasan penelitian memperlihatkan perubahan yang lebih besar, sedangkan bagian selatan hingga tenggara di sekitar Pantai Batu Putih Bawah menunjukkan kemunduran garis pantai yang paling besar. Pola tersebut memperlihatkan adanya perbedaan besaran perubahan posisi garis pantai dari bagian utara menuju bagian selatan dan tenggara kawasan penelitian. Dengan demikian, perubahan garis pantai di wilayah Batu Putih memiliki pola kemunduran yang bervariasi berdasarkan lokasi pengamatan.

Dalam pelaksanaan penelitian, terdapat keterbatasan pada proses interpretasi dan digitasi garis pantai dari citra satelit. Keterbatasan tersebut terutama berkaitan dengan kesulitan membedakan batas antara daratan dan perairan pada beberapa bagian citra. Kondisi ini terjadi karena kenampakan warna atau rona antara daratan dan air tidak selalu terlihat jelas, khususnya pada wilayah perairan dangkal, area pantai dengan karakteristik warna yang serupa, serta bagian citra yang dipengaruhi bayangan atau objek tertentu. Selain itu, perbedaan resolusi spasial dan tanggal perekaman citra pada setiap tahun pengamatan juga dapat memengaruhi ketepatan dalam menentukan posisi garis pantai. Oleh karena itu, garis pantai yang dihasilkan melalui proses digitasi masih memiliki unsur ketidakpastian karena penentuan batas daratan dan perairan bergantung pada kejelasan objek yang terlihat pada citra. Kondisi tersebut perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil analisis DSAS karena perbedaan penentuan garis pantai dapat memengaruhi hasil pengukuran perubahan posisi garis pantai. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan citra satelit multitemporal yang dikombinasikan dengan analisis DSAS dapat memberikan gambaran mengenai arah, besaran, laju, dan distribusi spasial perubahan garis pantai dalam jangka panjang. Bagian selatan hingga tenggara Pantai Batu Putih Bawah perlu mendapat perhatian lebih dalam kegiatan pemantauan karena menunjukkan kemunduran yang lebih besar dibandingkan bagian utara Pantai Batu Putih Atas. Namun, hasil penelitian ini tetap perlu dipahami dengan mempertimbangkan keterbatasan interpretasi citra satelit. Oleh karena itu, diperlukan verifikasi melalui survei lapangan serta penggunaan citra satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi untuk memperoleh penentuan posisi garis pantai yang lebih teliti pada penelitian selanjutnya.

6. Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perubahan garis pantai di Pantai Batu Putih Atas dan Pantai Batu Putih Bawah, Kota Bitung, serta keterbatasan yang ditemukan selama proses penelitian, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah dan instansi terkait**,** hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi awal dalam pemantauan dan pengelolaan kawasan pesisir. Bagian selatan hingga tenggara Pantai Batu Putih Bawah yang menunjukkan kemunduran garis pantai lebih besar perlu mendapat perhatian melalui pemantauan secara berkala. Selain itu, diperlukan kajian teknis lebih lanjut sebelum menentukan tindakan penanganan atau perlindungan pantai, sehingga upaya yang dilakukan sesuai dengan kondisi fisik dan karakteristik masing-masing bagian pantai.
2. Bagi masyarakat di kawasan pesisir, diharapkan dapat meningkatkan kepedulian terhadap kondisi dan kelestarian lingkungan pantai dengan menjaga kebersihan kawasan pesisir serta menghindari aktivitas yang dapat merusak lingkungan pantai. Masyarakat juga diharapkan berpartisipasi dalam melaporkan perubahan kondisi pantai yang terlihat, seperti kemunduran garis pantai atau perubahan kondisi daratan di sekitar pesisir, kepada pemerintah atau instansi terkait.
3. Bagi peneliti selanjutnya**,** disarankan untuk melakukan verifikasi posisi garis pantai melalui survei lapangan agar batas antara daratan dan perairan yang diperoleh dari interpretasi citra satelit dapat diperiksa ketepatannya. Penggunaan citra satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, tanggal perekaman yang lebih sesuai, serta kondisi pasang surut yang diketahui juga diperlukan untuk mengurangi ketidakpastian dalam proses interpretasi dan digitasi garis pantai. Selain itu, penelitian selanjutnya perlu mengkaji faktor-faktor yang memengaruhi perubahan garis pantai, seperti gelombang, arus laut, pasang surut, sedimentasi, dan aktivitas manusia. Kajian tersebut dapat dilengkapi dengan pengamatan langsung untuk mengetahui keterkaitan perubahan garis pantai dengan kondisi permukiman, infrastruktur, kawasan wisata, dan lingkungan pesisir.

Referensi

Alfyah Edina Endarsih, A. K. (2025). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System untuk Mendukung Mitigasi Pesisir Kota Pekalongan, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 019-030.

Amalia, F. Z. (2023). Perubahan Garis Pantai Selama 20 Tahun (2001-2021) dan Prediksi serta Adaptasi Masyarakat Pesisir Tahun 2041. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 45-60.

Arief, M. (2014). *Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Lautan.* Jakarta: PT RajaGrafindo Persada.

Cecep Ginanjar, E. M. (2023). Analisis Perubahan Garis Pantai dengan Pendekatan Penginderaan Jauh di Kecamatan Mempawah Hilir. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 150-157.

Citra Yurnidar Syah, A. J. (2024). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Citra Satelit Di Pantai Tanjung Bunga Kota Makassar Sulawesi Selatan. *Jurnal Media Konstruksi*, 181-188.

Dahuri, R. R. (2001). *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Laut.* PT.Pradnya Paramita.

Gornitz, V. (2009). *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments. Springer.*

Hajar Shofwatul Islam, A. A. (2022). Studi Perubahan Garis Pantai 2017 – 2021 di Pesisir Kabupaten Batang, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 19-33.

Kirana, C. &. (2022). Analisis Perubahan Garis Pantai pada Wilayah Pesisir Kecamatan Amurang. *Jurnal Ilmiah Wahana Laut Lestari*, 133-142.

Liwun, A. S. (2023). Dinamika Perubahan Garis Pantai dan Faktor yang mempengaruhinya. *Jurnal Geografi dan Lingkungan*, 112-125.

Maiti, S. &. (2009). *Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing based approach. Marine Geology.*

Nur Audina, S. A. (2022). Analisis Perubahan Tutupan Lahan Kaitanya Dengan Perubahan Garis Pantai Di Kabupaten Bintan Menggunakan Citra Satelit Landsat Dengan Klasifikasi Support Vector Machine. *Jurnal Inovtek Polbeng*, 202-206.

Pamumpuni, A. e. (2024). Teliti Perubahan Garis Pantai Selayar: Kolaborasi Interdisipliner Dosen Teknik Geodesi dan Geomatika, Teknik Geologi, Oseanografi, dan PWK ITB. *Institut Teknologi Bandung*.

Pamumpuni, A. e. (2024). Teliti Perubahan Garis Pantai Selayar: Kolaborasi Interdisipliner Dosen Teknik Geodesi dan Geomatika, Teknik Geologi, Oseanografi, dan PWK ITB. *Institut Teknologi Bandung*.

Prasetyo, S. Y. (2023). *Metode Penelitian Penginderaan Jauh.* Salatiga: Uwais Inspirasi Indonesia.

Purwanti, R. &. (2024). Purwanti, R., & Koestoer, R. H. *Tinjauan Perubahan dan Prediksi Garis Pantai*,

203-211.
Suaib, I. d. (2024). Analisis Perubahan Garis Pantai Mandalle Kabupaten Pangkep Menggunakan Citra Satelit. *Irwan1 dan Syatir Suaib*, Prosiding Semnas Politani Pangkep.
Thieler, E. R. (1994). Historical shoreline mapping: Improving techniques and reducingpositioning errors. *positioning errors. Journal of Coastal Research.*
USGS. (2019). *Landsat Science Products and Image Analysis.*
Usman & Irbani, M. A. (2019). Analisis Perubahan Garis Pantai Berdasarkan Data Citra Satelit di Wilayah Pesisir Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan. *Indonesian Journal of Fundamental Sciaences*, 122-130.
Wahyudi, B. &. (2018). Teknologi Penginderaan Jauh untuk Pemantauan Perubahan Garis Pantai. *Jurnal Teknologi Kelautan*, 32-49.
Wahyudi, B. &. (2018). Teknologi Penginderaan Jauh untuk Pemantauan Perubahan Garis Pantai. *Jurnal Teknologi Kelautan*, 32-49.
Wicaksono, P. (2017). Analisis perubahan garis pantai menggunakan citra satelit multitemporal. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*.