

BAB II
TINJAUAN PUSTAK

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

Penelitian tentang perubahan garis pantai telah dilakukan di berbagai macam lokasi dan kondisi. Dengan ini tujuan penulis dalam studi ini ialah untuk menganalisis perubahan garis pantai, mengetahui luasan area garis pantai yang berubah selama periode waktu tertentu, dan juga untuk mencari cara untuk mengurangi dampak negatif dari perubahan garis pantai.

Pada penelitian sebelumnya, oleh (Suharyo & Hidayah, 2019) membahas mengenai perubahan garis pantai pada Pesisir Surabaya utara. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui dan mengidentifikasi perubahan garis pantai yang terjadi di wilayah pesisir Surabaya Utara dengan menggunakan citra satelit resolusi tinggi. Metode yang digunakan adalah dengan membandingkan hasil digitasi foto udara tahun 2012 dengan citra satelit *World View-2* tahun 2017.

Pada penelitian sebelumnya, oleh (Pramudya, 2020) membahas mengenai perubahan garis pantai pada pesisir Kota Surabaya. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui perubahan luasan daratan Kota Surabaya, dan mengetahui kecepatan pada perubahan garis pantai yang ada di pesisir Kota Surabaya. Metode yang digunakan pada analisis ini adalah menggunakan *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*.

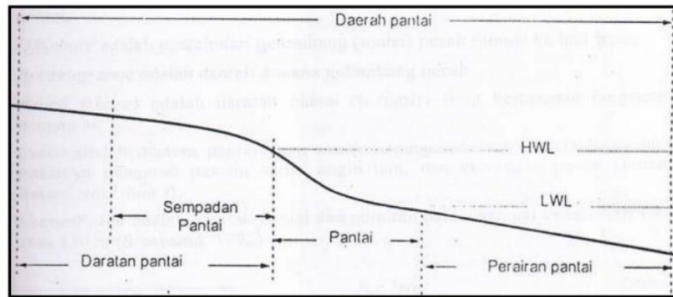
Pada penelitian sebelumnya, oleh (Suharyo & Hidayah, 2019) membahas mengenai perubahan garis pantai pada Pantai Sluke Rembang Jawa Tengah. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk pemantauan perubahan garis pantai wilayah kecamatan sayung. Metode penginderaan jauh yang digunakan untuk mengetahui perubahan garis pantai adalah dengan metode *overlay* (tumpang susun) garis pantai pada tahun yang berbeda dan *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*.

Pada penelitian sebelumnya, oleh (Garis *et al.*, 2023) membahas mengenai perubahan garis pantai di Pulau Pasaran. Data yang digunakan adalah data citra satelit *Google Earth Pro* tahun 2012, tahun 2016, dan tahun 2020 yang di digitasi yang kemudian di *overlay*. *Software* yang digunakan pada penelitian ini ialah *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* pada perangkat lunak *ArcGIS 10.8*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pantai

Menurut (Yuwono, 1982), Pantai adalah jalur yang membedakan darat dari laut, diukur pada saat pasang tertinggi dan surut terendah. Fisik laut dan sosial ekonomi bahari mempengaruhi pantai, sedangkan kegiatan manusia dan proses alami di darat membatasi pantai.

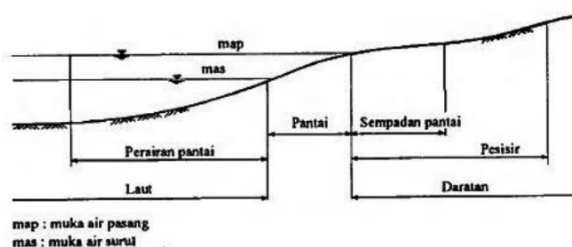


Gambar 2. 1 Definisi daerah pantai
Sumber : Yuwono, (1982)

1. Pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut.
2. Pantai adalah daerah di tepi perairan sebatas antara surut terendah dan pasang tertinggi.
3. Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi.
4. Sempadan pantai adalah daerah sepanjang pantai yang diperuntukkan bagi pengamanan dan pelestarian pantai.
5. Perairan pantai adalah daerah yang masih dipengaruhi aktivitas daratan.

Dalam pengertian lain menurut (Triadmodjo, 1999), Pantai terbentuk karena gelombang menghantam terus-menerus ke tepi daratan sehingga tepi pantai terkikis. Pantai adalah bentuk geografis yang terdiri atas pasir di daerah pantai yang membedakan daratan dari air. Pantai adalah tempat di tepi perairan dengan air pasang tertinggi dan air surut terendah. Pantai selalu mengubah bentuk profilnya untuk menyerap energi gelombang baru. Tanggapan alami pantai terhadap laut adalah penyesuaian bentuk ini.

Transportasi pantai sangat memengaruhi proses dinamis pantai. Transpor sejajar pantai (*longshore transport*) dan transpor tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*) adalah dua jenis transportasi litoral, di mana sedimen digerakkan oleh gelombang dan arus laut di wilayah dekat pantai atau dekat pantai. Transpor pantai bergantung pada pasang surut air laut. Transpor tegak lurus pantai terutama dipengaruhi oleh kemiringan gelombang terhadap garis pantai, ukuran sedimen, dan kemiringan pantai. Transpor sejajar pantai terutama dipengaruhi oleh pasang surut air laut



Gambar 2. 2 Definisi dan Batasan pantai
(Sumber :Triadmodjo, 1999)

2.2.2 Profil Pantai

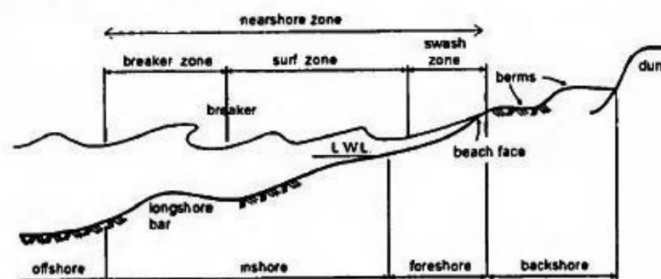
Berdasarkan material penyusunnya menurut (Haerany,2005) pantai dapat dibedakan atas:

1. Pantai berbatu, yaitu pantai yang didominasi oleh material bebatuan. Pantai berbatu biasanya tidak mudah tererosi oleh arus dan hempasan gelombang. Erosi di daerahpantai berbatu lebih banyak dipengaruhi oleh proses pelapukan batuan maupun proses geologi lainnya dalam waktu yang relatif lama.
2. Pantai berpasir, yaitu pantai dengan material penyusun didominasi oleh pasir.Pantai ini terbentuk oleh proses di laut akibat erosi gelombang, pengendapan sedimen dan material organik. Pantai berpasir umumnya banyak dijumpai di Indonesia, tersusun oleh pasir dan batu yang berasal dari daratan maupun terbawa oleh aliran sungai, juga berasal dari berbagai biota laut yang ada di daerah pantai tersebut.
3. Pantai berlumpur, yaitu pantai yaitu yang didominasi oleh material lumpur. Jenis pantai ini banyak dijumpai pada muara sungai yang ditumbuhi oleh hutanmangrove,banyak dijumpai pada daerah pantai utara Pulau Jawa, pantai timur Sumatera,Kalimantan dan Papua. Pantai ini relatif lebih mudah berubah bentuk dan erosi.
4. Pantai berkarang, yaitu pantai yang didominasi oleh material karang. Terumbu karang yang berfungsi sebagai pemecah gelombang bawah air akan pecah dan hancur di daerah terumbu karang dangkal.

2.2.3 Morfologi Pantai

Menurut (Triadmodjo, 1999), morfologi pantai dan dasar laut dekat pantai akibat pengaruh terhadap gelombang dibagi menjadi empat kelompok yang berurutan dari darat ke laut sebagai berikut:

1. *Backshore* merupakan bagian dari pantai yang tidak terendam air laut kecuali bila terjadi gelombang badai.
2. *Foreshore* merupakan bagian pantai yang dibatasi oleh *beach face* atau muka pantai pada saat surut terendah hingga *uprush* pada saat air pasang tinggi.
3. *Inshore* merupakan daerah dimana terjadinya gelombang pecah, memanjang dari surut terendah sampai ke garis gelombang pecah.
4. *Offshore* yaitu bagian laut yang terjauh dari pantai (lepas pantai), yaitu daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut.



Gambar 2. 3 Morfologi pantai
(Sumber:Triadmodjo, 1999)

2.2.4 Perubahan garis pantai

Perubahan garis pantai dapat disebabkan oleh faktor alami maupun antropogenik (manusia). Faktor alami berupa sedimentasi, abrasi, pemadatan sedimen pantai, kenaikan muka laut dan kondisi geologi. Faktor manusia berupa penanggulan pantai, penggalian sedimen pantai, penimbunan pantai, pembabatan tumbuhan pelindung pantai, pembuatan kanal banjir dan pengaturan pola daerah aliran Sungai (Sudarsono, 2011). Perubahan garis pantai dapat terjadi dari waktu ke waktu dalam skala musiman maupun tahunan, tergantung pada daya tahan kondisi pantai dalam bentuk topografi, batuan dan sifat-sifatnya dengan gelombang laut, pasang surut (pasut), dan angin (Opa, 2011).

Menurut (Garis et al., 2023) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya perubahan garis pantai antara lain :

1. Faktor Hidro-Oseanografi

Perubahan garis pantai berlangsung ketika proses geomorfologi yang terjadi pada setiap bagian pantai melebihi proses yang biasanya terjadi. Proses geomorfologi yang dimaksud antara lain, adalah gelombang, arus, dan pasang surut (pasut).

2. Faktor Antropogenik

Proses antropogenik adalah proses geomorfologi yang diakibatkan oleh aktivitas manusia. Aktivitas manusia dipantai cenderung mengganggu kestabilan lingkungan pantai. Adapun gangguan terhadap lingkungan pantai dapat dibedakan menjadi gangguan yang disengaja dan gangguan yang tidak disengaja.

2.2.5 Dinamika Perubahan Garis Pantai

Garis pantai, didefinisikan sebagai batas dinamis antara daratan dan laut yang dipengaruhi siklus pasang surut, mengalami perubahan terus-menerus akibat interaksi kompleks antara proses alamiah dan aktivitas manusia (Trinh et al., 2024). Perubahan ini tidak hanya berdampak pada morfologi pantai tetapi juga mempengaruhi ekosistem pesisir, infrastruktur, dan mata pencaharian masyarakat. Analisis multidisiplin diperlukan oleh penulis untuk memahami mekanisme perubahan garis pantai, mengklasifikasikan skalanya, dan merancang strategi pemantauan yang efektif.

2.2.6 Faktor Penggerak Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai dipicu oleh dua kategori utama yaitu proses alamiah dan intervensi antropogenik. Gelombang, angin, dan arus laut bertindak sebagai penyebab utama dalam redistribusi sedimen, di mana gelombang dengan energi densitas mencapai 20,02 Joule/m² mampu memindahkan material pantai secara masif (Wu et al., 2020). Arus *littoral* (sejajar pantai) yang dihasilkan gelombang miring dapat mengangkut lebih dari 5 juta meter kubik sedimen per tahun, menciptakan pola akresi dan erosi yang asimetris (Wu et al., 2020). Di sisi lain, aktivitas manusia seperti pembangunan pelabuhan, reklamasi pantai, dan konstruksi *breakwater* telah mengganggu keseimbangan sedimentasi alami. Studi di *Zhoushan Islands*, China, menunjukkan bahwa garis pantai alami berubah menjadi struktur buatan dalam empat dekade, dengan laju perubahan mencapai 12,83 m/tahun akibat ekspansi pelabuhan dan industri

(Wu et al., 2020). Secara sederhana proses perubahan garis pantai disebabkan oleh angin dan air yang bergerak dari suatu tempat ke tempat lain, mengikis tanah dan kemudian mengendapkannya di suatu tempat secara kontinu. Proses pergerakan gelombang datang pada pantai secara esensial berupa osilasi. Angin yang menuju ke pantai secara bersamaan gerak gelombang yang menuju pantai berpasir secara tidak langsung mengakibatkan gesekan antara gelombang dan dasar laut, sehingga terjadi gelombang pecah dan membentuk turbulensi kemudian membawa material disekitar pantai (Lahan et al., 2015).

2.2.7 Klasifikasi Temporal Perubahan garis Pantai

Klasifikasi temporal perubahan garis Pantai dapat dijelaskan, antara lain :

1. Perubahan Jangka Pendek (*Short-Term*).

Fluktuasi harian akibat pasang surut dan kejadian badai menyebabkan pergeseran garis pantai hingga puluhan meter dalam hitungan hari. Gelombang badai (*storm surge*) dengan ketinggian 3-5 meter dilaporkan mampu mengikis pantai berpasir hingga 15 meter dalam 24 jam (Wu et al., 2020). Fenomena ini bersifat reversibel jika sistem pantai memiliki suplai sedimen yang memadai, namun menjadi permanen jika diikuti oleh gangguan aliran sedimen dari darat.

Akumulasi dampak perubahan iklim, pergeseran pola arus laut, dan aktivitas manusia menyebabkan transformasi pantai yang bersifat *irreversibel*. Penelitian di Vietnam menggunakan citra *Sentinel-2 MSI* (2015-2023) mengungkapkan erosi kronis sepanjang 22 m pantai *Thanh Hoa* dengan laju 4,3 m/tahun, didorong oleh kenaikan muka air laut 3,7 m/tahun dan defisit sedimen dari sungai akibat pembangunan bendungan (Trinh et al., 2024). Di sisi lain, akresi jangka panjang di belakang struktur breakwater dapat membentuk tombolo (tanjung buatan) seluas 8 hektar dalam 10 tahun, seperti yang diamati di pantai berlumpur Malaysia (Helmy Ariffin et al., 2020).

Adapun Teknologi Pemantauan Perubahan Pantai dengan Kombinasi metode konvensional dan teknologi mutakhir digunakan untuk melacak dinamika pantai meliputi:

1. Survei Topografi-Batimetri Terintegrasi

Pemetaan detail elevasi darat dan dasar laut menggunakan *Echosounder Multibeam* dan *LiDAR (Light Detection and Ranging)* memungkinkan analisis kuantitatif volume sedimen yang tererosi atau terakresi. Metode ini mampu mendeteksi perubahan elevasi pantai hingga resolusi 10 cm, seperti yang diterapkan dalam proyek pemantauan pantai *Massachusetts* menggunakan *DSAS (Digital Shoreline Analysis System)* (Mousumi Dey et al., 2021).

2. Citra Satelit Multispektral

Citra *Sentinel-2 MSI* dengan resolusi spasial 10 meter dan temporal 5 hari memungkinkan pelacakan perubahan garis pantai secara near real-time. Studi di Vietnam mencapai akurasi 92,8% dalam ekstraksi garis pantai menggunakan indeks *Modified Normalised Difference Water Index (MNDWI)* (Trinh et al., 2024). Sementara itu, citra *Landsat* dengan resolusi 30 meter digunakan untuk analisis perubahan pantai skala regional

selama 30 tahun, seperti yang diterapkan di Madura untuk mengukur laju reklamasi sebesar 1,2 km²/tahun (Agustin & Syah, 2020).

3. Analisis Spasial dengan DSAS

Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versi 6.0 menjadi standar global dalam menghitung laju perubahan pantai melalui statistik *End Point Rate (EPR)* dan *Linear Regression Rate (LRR)* (Quang et al., 2021). Aplikasi ini mampu memproses data historis dari berbagai sumber meliputi citra satelit, peta topografi, survei lapangan untuk menghasilkan peta prediksi perubahan pantai 50 tahun ke depan dengan ketidakpastian (*uncertainty*) ±1,2 meter/tahun (Quang et al., 2021). Integrasi *DSAS* dengan model hidrodinamika seperti *Delft3D* memungkinkan simulasi dampak *breakwater* terhadap pola sedimentasi, seperti yang ditunjukkan dalam studi di Pantai Pramuka dengan akurasi simulasi 89% (Roberto Patar Pasaribu et al, 2023).

Pemahaman komprehensif tentang mekanisme perubahan pantai dan kapabilitas teknologi pemantauan mutakhir menjadi dasar perencanaan adaptif struktur pertahanan pantai. Desain *breakwater* yang mempertimbangkan data *DSAS* dan model sedimentasi 3D dapat mengurangi dampak *flanking erosion* hingga 70%, seperti yang diimplementasikan di pantai berpasir Italia (Ferrando et al., 2021). Namun, solusi teknis harus diimbangi dengan restorasi ekosistem pesisir, mengingat studi di *Zhoushan Islands* menunjukkan bahwa 1 hektar hutan mangrove mampu menahan sedimentasi setara dengan *breakwater* sepanjang 200 meter (Trinh et al., 2024). Kolaborasi lintas disiplin antara oceanografi, geomatika, dan kebijakan publik menjadi kunci dalam merancang strategi mitigasi perubahan garis pantai yang berkelanjutan.

Untuk menghitung laju perubahan garis pantai, digunakan rumus:

$$R = \frac{L_n - L_0}{T} \quad (2.1)$$

Dimana:

- R = Laju perubahan garis Pantai (m/Tahun)
- L_n = Posisi garis Pantai pada waktu ke-n
- L_0 = Posisi garis Pantai awal
- T = Selang waktu (Tahun)

2.2.8 Gelombang

Gelombang adalah gerak naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan laut sehingga membentuk kurva/gambar sinusoidal. Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di laut memindahkan energinya ke air sehingga menimbulkan gelombang dan riak yang disebut gelombang. (WMO, 1998).

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung dari gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan

gunung berapi atau gempa bumi di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak dan sebagainya (Triadmodjo, 1999).

2.2.9 Data Survei elevasi Pasang Surut

Pengamatan pasang surut dilakukan pada lokasi yang representatif dengan lama pengamatan 15 hari x 24 jam. Pengamatan dilakukan dengan cara memasang alat duga muka air yang dibaca setiap jam. Alat pengamatan pasut yang dipakai adalah peilschaal dengan interval skala 1 (satu) cm. Elevasi hasil pengamatan muka air selanjutnya diikatkan pada titik tetap yang ada (*Bench Mark*). Data hasil pengamatan akan digunakan untuk analisis tinggi muka air rata-rata dan konstanta-konstanta pasang surutnya. Hasil pengamatan ini diikatkan ke patok pengukuran topografi terdekat (*Levelling*), untuk mengetahui elevasi nol peilschaal dengan menggunakan waterpass sehingga pengukuran topografi, batimetri dan pasang surut mempunyai datum (bidang referensi) yang sama. Rumus pengikatan adalah sebagai berikut:

$$\text{Elevasi Nol Peilschaal} = T.P + BT.1 - BT.2 \quad (2.2)$$

Dengan:

- T.P = Tinggi patok terdekat dengan peilschaal.
- BT.1 = Bacaan benang Tengah di patok.
- BT.2 = Bacaan benang Tengah di peilschaal.

Hasil identifikasi data antara pengamatan dengan data *BIG* dapat disimpulkan tren naik turun muka air laut sama, sehingga pasang surut yang digunakan dalam pemodelan adalah pasang surut *BIG* selama 30 hari. Metode yang digunakan pada analisis data pasang surut adalah dengan metode *Admiralty* dan *Least Square* untuk mendapatkan 9 (sembilan) komponen utama pasang surut (*M2, S2, N2, K1, O1, M4, MS4, K2, dan P1*).

2.2.10 Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan, yaitu dari daerah dengan tekanan udara tinggi ke daerah dengan tekanan udara rendah. Perbedaan tekanan ini terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Angin merupakan unsur pembentuk gelombang yang paling dominan. Peramalan gelombang menggunakan data yang diperoleh dari lokasi pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat di dekat lokasi peramalan yang kemudian di konversi menjadi data angin di laut. Data angin dapat diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat atau dari Bandar udara terdekat dengan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan anemometer yang dipasang 10 meter diatas permukaan perairan dan recodernya di pasang di darat yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut. Biasanya dinyatakan dalam satuan knot, satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1,852 km/jam = 0,514 m/detik.

Pengamatan dilakukan selama setahun dengan data yang dicatat setiap jam dan biasanya berbentuk tabel. Data tersebut kemudian diproses berdasarkan statistik distribusi kecepatan dan arah angin serta persentasenya, atau lebih dikenal dengan istilah wind rose dengan periode bulanan, tahunan atau beberapa tahun pencatatan. Dengan diagram windrose ini maka

karakteristik angin dapat dibaca dengan tepat dan cepat seperti angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin, dan dapat pula dihitung kecepatan angin rata-rata harian.

Data angin dapat diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat atau dari pengukuran langsung diatas permukaan laut atau pengukuran di darat di dekat lokasi peramalan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan anemometer yang dipasang 10 meter diatas permukaan perairan dan recodernya di pasang di darat yang kemudian dikonversi menjadidata angin di laut. Apabila tidak tersedia anemometer, kecepatan angin dapat diperkirakan berdasarkan lingkungan dengan menggunakan skala Beaufort (Tabel 2.1).

Tabel 2. 1 Skala *Beufort*

Tingkat	Sifat angin	Keadaan Lingkungan	V (Knot)	P (kg/m ²)
0	Sunyi (Calm)	Tidak ada angin, asap mengumpul	0-1	0,2
1	Angin Sepoi	Arah angin terlihat pada arah asap, tidak ada bendera angin	1-3	0,8
2	Angin Sangat Lemah	Angin terasa pada muka, daun ringan bergerak	4-6	3,5
3	Angin Lemah	Daun/ ranting terus menerus bergerak	7-10	8,1
4	Angin Sedang	Debu/kertas tertiuip, ranting dan cabang kecil bergerak	11-16	15,7
5	Angin Agak Kuat	Pohon kecil bergerak, buah putih di laut	17-21	26,6
6	Angin Kuat	Dahan besar bergerak, suara mendesir kawat tikpun	22-27	41,0
7	Angin Kencang	Pohon seluruhnya bergerak, perjalanan diluar sukar	28-33	60,1
8	Angin Sangat Kuat	Ranting pohon patah, berjalan menentang angin	34-40	83,2
9	Badai	Kerusakan kecil pada rumah, genteng tertiuip dan terlempar	41-47	102,5
10	Badai Kuat	Pohon tumbang, kerusakan besar pada rumah	48-55	147,5
11	Angin Ribut	Kerusakan karena badai terdapat di daerah luas	56-63	188,0
12	Angin Topan	Pohon besar tumbang, rumah-rumah rusak berat	64	213,0

(Sumber: Olahan penulis, berdasarkan Triatmodjo,1999)

2.2.11 Arus

Arus adalah proses pergerakan massa air menuju kesetimbangan yang menyebabkan perpindahan horizontal dan vertikal massa air. Gerakan tersebut merupakan resultan dari beberapa gaya yang bekerja dan beberapa faktor yang mempengaruhinya. Arus laut (*sea current*) adalah gerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain baik secara vertikal (gerak ke atas) maupun secara horizontal (gerakan ke samping). Contoh-contoh gerakan itu seperti gaya *coriolis*, yaitu gaya yang membelok arah arus dari tenaga rotasi bumi. Pembelokan itu akan mengarah ke kanan di belahan bumi utara dan mangarah ke kiri di belahan bumi selatan. Gaya ini yang mengakibatkan adanya aliran *gyre* yang searah jarum jam (ke kanan) pada belahan bumi utara dan berlawanan dengan arah jarum jam di belahan bumi selatan. Perubahan arah arus dari pengaruh angin ke pengaruh gaya coriolis dikenal dengan spiral ekman (Pond, 1983).

Sedangkan menurut (Triatmodjo, 1999), Arus adalah Gelombang yang menjalar menuju pantai membawa massa air dan momentum dalam arah penjalaran gelombang. Transpor massa dan momentum tersebut menimbulkan arus di daerah dekat pantai. Pada daerah tertentu yang dilintasinya, perilaku gelombang dan arus yang ditimbulkannya berbeda. Daerah yang

dilintasi gelombang tersebut adalah *offshore zone*, *surf zone*, dan *swash zone*. Dari ketiga area tersebut, karakteristik gelombang pada *surf zone* dan *swash zone* merupakan yang paling penting. Arus yang dihasilkan di wilayah ini sangat bergantung pada arah datangnya gelombang. Apabila gelombang pecah membentuk sudut terhadap garis pantai, maka dapat terjadi arus sepanjang pantai (arus sejajar pantai). Aliran ini terjadi pada daerah antara pecahnya gelombang dan garis pantai (Triadmodjo, 1999). (Moore et al., 1983) menurunkan persamaan untuk menghitung arus laut di sepanjang pantai.

$$V = 1.17(gH_b)^{1/2} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (2.3)$$

Dimana :

V = Kecepatan arus sejajar pantai

g = Percepatan gravitasi

H_b = Tinggi gelombang pecah

α_b = Sudut datang gelombang pecah

Arus sejajar pantai dapat mengangkut sedimen yang telah digerakkan (erosi) oleh gelombang, dan terus terbawa sepanjang pantai. Sedimen yang terangkut tersebut dikenal dengan transpor sedimen sepanjang pantai.

2.2.12 Abrasi dan Erosi

Permasalahan abrasi dan erosi pesisir yang semakin intensif, ditambah dengan fenomena kenaikan muka air laut, telah menjadi tantangan serius bagi pengelolaan wilayah pesisir di Indonesia. Garis Pantai (*shoreline*) merupakan batas dinamis antara daratan dan laut yang secara spasial dapat bergeser akibat pengaruh proses hidrodinamika maupun aktivitas antropogenik. Secara ilmiah, garis Pantai tidak bersifat statis karena terus berubah sesuai kondisi pasang surut, energi gelombang, transport sedimen, dan perubahan muka air laut. Dalam konteks penginderaan jauh, garis Pantai didefinisikan sebagai pertemuan spectral antara objek air dan daratan pada waktu tertentu.

Berdasarkan literatur oseanografi dan Teknik Pantai, perubahan garis Pantai (*Shoreline change*) dapat dikategorikan dalam dua mekanisme yaitu:

1. Erosi (*Coastal Erosion*)

Mundurunya garis Pantai ke arah daratan akibat tergerusnya sedimen. Erosi dipicu oleh energi gelombang tinggi, arus sejajar Pantai (*longshore current*), kenaikan muka air laut, dan penurunan muka tanah.

2. Akresi (*Coastal Accretion*)

Maju ataupun bertambahnya daratan akibat penumpukan sedimen. Proses ini dapat terjadi secara alami melalui deposisi sedimen Pantai, maupun secara antropogenik akibat reklamasi atau Pembangunan tambak.

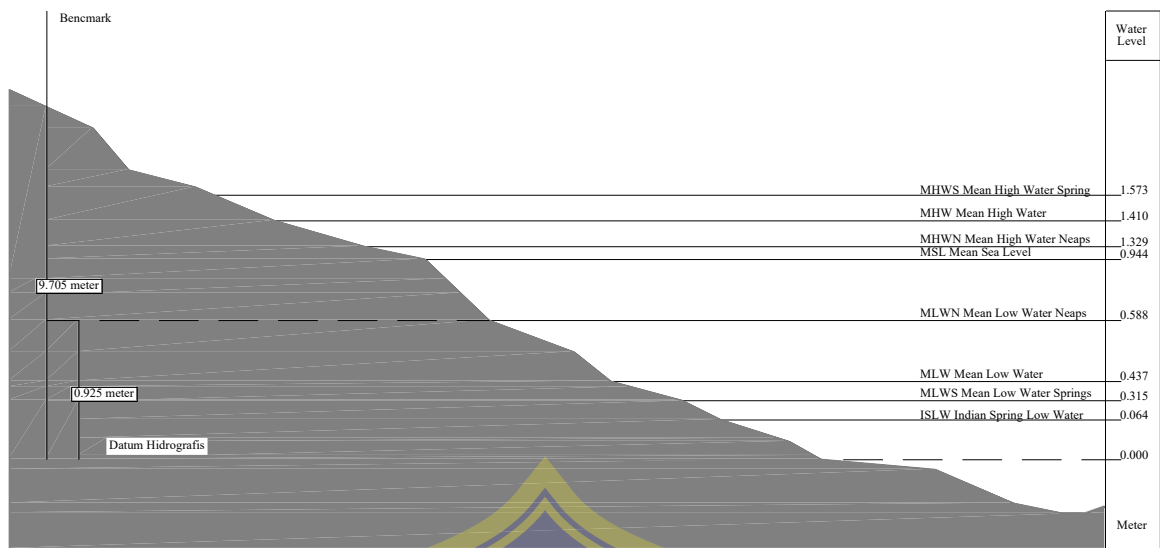
Proses ini dipengaruhi oleh faktor alami seperti pasang surut harian, gelombang musiman, arus laut, kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim, serta faktor antropogenik seperti Pembangunan tambak, reklamasi, Pelabuhan, dan struktur proteksi pesisir seperti seawall ataupun breakwater. Dalam kajian geomorfologi Pantai, perubahan garis Pantai dianalisis berdasarkan skala temporal meliputi jangka pendek, jangka menengah, jangka Panjang, serta skala spasial lokal, regional, dan global. Metode modern seperti penginderaan jauh dan analisis digital memungkinkan untuk pemodelan spasial-temporal secara presisi yang tinggi.

Erosi pantai merupakan proses pengikisan area pantai oleh energi gelombang, arus, pasang surut, dan aktivitas manusia yang menyebabkan mundurnya garis pantai ke arah darat. Sebaliknya, akresi adalah proses pengendapan material sedimen di zona pantai yang menyebabkan bertambahnya daratan ke arah laut. Kedua fenomena ini bersifat dinamis dan saling memengaruhi dalam sistem pesisir. Kedua proses ini sangat dipengaruhi oleh dinamika laut dan karakteristik morfologi pantai (Tarigan et al., 2020). Menurut (Octaviana Dinda et al., 2020), erosi terjadi akibat ketidakseimbangan antara suplai dan hilangnya sedimen di zona pantai. Jika volume sedimen yang dibawa keluar lebih besar dari yang masuk, maka akan terjadi erosi. Akresi terjadi sebaliknya, ketika akumulasi sedimen lebih besar dari yang terangkut keluar. Adapun Indikator garis Pantai dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 2 Acuan elevasi Pasang Surut (Tidal Datum)

<i>MHWS</i>	Rata-rata dua permukaan air pasang selama periode spring tide.
<i>MHW</i>	Rata-rata seluruh permukaan air pasang yang diamati pada periode tertentu.
<i>MHWN</i>	Rata-rata dua permukaan air tinggi selama periode neap tide.
<i>MSL</i>	Ketinggian permukaan laut rata-rata.
<i>MLWN</i>	Rata-rata seluruh permukaan air surut selama periode neap tide.
<i>MLW</i>	Rata-rata seluruh permukaan air surut selama periode neap tide.
<i>MLWS</i>	Rata-rata dua permukaan air surut selama pasang periode spring tide
<i>ISLW</i>	Elevasi permukaan turun bawah $MSL - (M2 + S2 + K1 + O1)$.

Sumber : Geoaccess Indonesia (2025).



Gambar 2. 4 Konstanta harmonic pasang surut
Sumber : Geoaccess Indonesia (2025).

2.2.13 Faktor Penyebab Erosi dan Akresi Pantai

Proses erosi dan akresi (pengendapan) di wilayah pesisir merupakan fenomena dinamis yang dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor alamiah dan antropogenik. Gelombang dan arus laut menjadi faktor alam dominan yang menggerakkan dinamika sedimentasi, sementara aktivitas manusia seperti pembangunan infrastruktur pesisir dan reklamasi turut mengubah keseimbangan alami sistem pantai. Struktur pelindung pantai seperti *breakwater*, meski dirancang untuk mitigasi erosi, seringkali menimbulkan efek samping berupa perubahan pola sedimentasi yang tidak merata. Penyebab erosi dan akresi pantai dapat dipicu dengan beberapa faktor meliputi :

1. Gelombang dan Arus Laut sebagai Penggerak Utama

Gelombang laut membawa energi kinetik yang mampu menggerakkan sedimen pantai, sementara arus laut bertindak sebagai "*konveyor*" yang mengangkut material tersebut sepanjang garis pantai. Pada musim tertentu, seperti saat angin barat kuat di Indonesia, gelombang dengan tinggi lebih dari 3 meter dapat mengikis pantai hingga 10-15 meter per tahun. Arus pasang surut, yang dipengaruhi gravitasi bulan dan matahari, menciptakan siklus harian yang mengikis sedimen saat pasang dan mengendapkannya kembali saat surut. Namun, ketidakseimbangan antara energi gelombang yang datang dan kapasitas pantai dalam menahan erosi dapat menyebabkan degradasi garis pantai secara signifikan. Sebagai contoh, penelitian di Pramuka Island menunjukkan bahwa gelombang dengan energi densitas mencapai 20,02 Joule/m² mampu memindahkan sedimen dalam volume besar, menciptakan zona akresi di belakang struktur *breakwater* (Roberto Patar Pasaribu et al., 2023).

2. Aktivitas Manusia yang Mengganggu Keseimbangan Alami

Pembangunan pelabuhan dan reklamasi pantai mengubah morfologi dasar laut dan pola arus, seringkali memicu erosi di area yang tidak terlindungi. *Jetty* (tanggul pelindung) di PLTU Lontar, misalnya, menyebabkan akresi di sisi barat sebesar 8,89 meter tetapi erosi 9,3 meter di

sisi timur selama 25 tahun (Kristin et al., 2018). Reklamasi yang tidak terencana, seperti yang terjadi di kawasan Asia Tenggara, mengganggu sirkulasi sedimentasi alami sekaligus menghancurkan habitat *mangrove* sampai dengan ekosistem alami penahan gelombang. Eksploitasi pasir laut untuk proyek konstruksi juga mengurangi suplai sedimen alami, memperparah laju erosi di wilayah hilir.

3. Dampak Ambivalen Struktur Pelindung Pantai

Meskipun efektif mengurangi energi gelombang hingga 70% namun menurut studi di Pramuka Island (Roberto Patar Pasaribu et al., 2023) mengatakan bahwa sering menciptakan ketidakseimbangan sedimentasi struktur ini membentuk zona tenang di belakangnya yang memicu akresi. Tetapi di sisi lain mengganggu *transport* sedimen sejajar pantai (*littoral drift*) sehingga daerah di luar breakwater mengalami erosi berkepanjangan (Kristin et al., 2018). Desain *breakwater* yang tidak mempertimbangkan kedalaman perairan dan arah gelombang dominan dapat memperburuk masalah (Kristin et al., 2018). Selain itu, penggunaan material batu pecah (*rubble mound*) yang tidak sesuai spesifikasi dapat mempercepat kerusakan struktur, mengurangi efektivitasnya dalam jangka Panjang (Roberto Patar Pasaribu et al., 2023).

2.2.14 Dampak Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis Pantai menimbulkan berbagai dampak yang signifikan baik secara ekologis, sosial, maupun ekonomi. Dampak ekologis mencakup hilangnya habitat pesisir seperti mangrove, padang lamun, dan terumbu karang yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut. Erosi yang terus menerus menyebabkan menurunnya biodiversitas pesisir, mengganggu rantai makanan, dan meningkatkan kerentanan terhadap bencana alam seperti banjir rob dan gelombang badai. Dari aspek sosial, perubahan garis Pantai berdampak langsung pada permukiman masyarakat pesisir. Abrasi dapat menyebabkan hilangnya lahan tempat tinggal serta mengganggu aktivitas ekonomi masyarakat seperti perikanan, tambak, dan pariwisata. Selain itu, perubahan garis Pantai dapat memicu konflik lahan akibat pergeseran batas wilayah administratif.

Secara ekonomi, kerusakan infrastruktur pesisir seperti Pelabuhan, fasilitas wisata, jalan pesisir, dan bangunan industri dapat menyebabkan kerugian finansial besar. Sektor perikanan juga terdampak akibat menurunnya produktifitas sumber daya laut. Di wilayah perkotaan pesisir seperti pekalongan, fenomena ini juga berkontribusi terhadap tingginya biaya adaptasi dan penanggulangan banjir rob.

2.3 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) dapat didefinisikan sebagai suatu teknik pengamatan dan pengumpulan informasi data fisik pada sasaran itu sendiri, karena dipisahkan oleh jarak tertentu (Helmy Ariffin et al., 2020). Helmy menyatakan bahwa penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena yang dikaji (Pertiwi, 2018). Tujuan dari penginderaan jauh adalah untuk menyadap data dan informasi dari citra foto dan nonfoto dari berbagai objek di permukaan bumi yang direkam atau digambarkan oleh alat pengindera buatan atau sensor. Sensor yang dimaksud

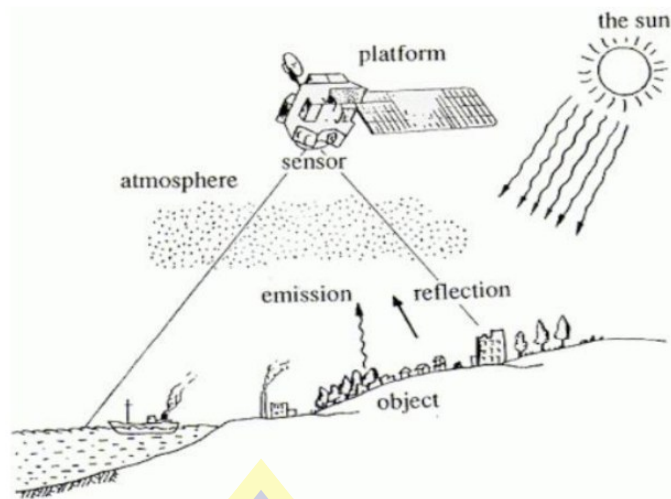
dalam batasan ini adalah alat pengindera seperti kamera, alat penyiam (*scanner*) dan alat radiometer yang masing-masing dilengkapi dengan detektor di dalamnya. Wahana untuk penempatan sensor bisa berupa balon udara, pesawat terbang, satelit, serta wahana lainnya. Pengindraan jauh dapat melihat berbagai objek dan kondisi di permukaan bumi dengan menggunakan sensor pada satelit. Kondisi iklim dan cuaca dapat terlihat serta kondisi objek dalam bentuk suhu, pergerakan dan ketinggian objek. Konsep pengindraan jauh melibatkan komponen-komponen yang di antaranya sensor, atmosfer, interaksi antara sensor dengan permukaan, wahana, sistem dan pengguna. Pengindraan jauh mengambil rekaman kondisi permukaan bumi melalui sensor secara *real-time*. (Pasaribu et al., 2024) mengutarakan lagi bahwa sistem pengindraan jauh menerima radiasi pancaran dan pantulan yang datang dari sasaran akibat radiasi yang datang padanya. *Fluks* radiasi yang dipantulkan atau yang dipancarkan oleh obyek umumnya berada dalam spektrum tampak (visibel) dan inframerah.

Dalam pengertian lain menurut (Muhsoni, 2015) dalam buku Pengindraan Jauh (Farid, 2015) pengindraan jauh menggambarkan ilmu dan seni yang digunakan untuk memperoleh informasi tentang suatu objek atau fenomena dengan menggunakan alat tanpa harus bersentuhan langsung dengan objek, area, atau fenomena tersebut. Perangkat yang dimaksud adalah sensor yang dipasang pada kendaraan (biasanya balon udara, pesawat terbang, pesawat ulang-alik, dan satelit. (Hadi, 2019) Menerapkan pemahaman terkait dengan pengertian pengindraan jauh dengan berbagai perspektif dan pengkelompokannya. Dari definisi-definisi yang didapat dinyatakan bahwa pengindraan jauh dikelompokkan menjadi 4 (empat) yaitu

1. Pendapat yang menyatakan pengindraan jauh sebagai ilmu
2. Pendapat yang menyatakan pengindraan jauh sebagai teknik
3. Pendapat yang menyatakan pengindraan jauh sebagai ilmu dan teknik
4. Pendapat yang mendefinisikan pengindraan menurut sudut pandang keperluan praktis tertentu.

(Liliesand, 2004) dalam bukunya Remote Sensing (Farid, 2015) menyatakan bahwa kajian terhadap objek, area, atau fenomena yang dipelajari dengan pengindraan jauh dapat dilakukan dengan menggunakan data digital atau visual. Menafsirkan data secara visual menggunakan keterampilan penalaran dan melakukan penilaian spasial subjektif terhadap elemen-elemen terpilih di wilayah studi. Namun analisis ini dipengaruhi oleh terbatasnya kemampuan mata manusia dalam membedakan nilai rona dalam suatu gambar. Di sisi lain, data digital adalah rekaman gambar digital.

Komponen dasar sistem pengindraan jauh adalah sumber energi, atmosfer, interaksi unik antara energi dan benda-benda di permukaan bumi, sensor, sistem pemrosesan data realtime, dan berbagai kegunaan data. Energi yang digunakan dalam pengindraan jauh adalah energi elektromagnetik. Energi elektromagnetik adalah kumpulan listrik dan magnet yang bergerak dengan kecepatan cahaya, frekuensi dan panjang gelombang tertentu, serta jumlah energi tertentu.



Gambar 2. 5 System penginderaan jauh
(Sumber : Liliesand, 2004)

Sedangkan pengertian lainnya menurut (Lindgren 1985 dalam Sutanto, 1987) mengungkapkan bahwa penginderaan jauh adalah berbagai teknik yang dikembangkan untuk perolehan dan analisis informasi tentang bumi, informasi ini khusus berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi. Dari pendapat beberapa ahli di atas dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh terdiri atas 3 komponen utama yaitu obyek yang diindera, sensor untuk merekam obyek dan gelombang elektronik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi. Interaksi dari ketiga komponen ini menghasilkan data penginderaan jauh yang selanjutnya melalui proses interpretasi dapat diketahui jenis obyek area ataupun fenomena yang ada. Perkembangan penginderaan jauh ini semakin cepat seiring dengan kemajuan teknologi dirgantara. Sebelumnya penginderaan jauh lebih banyak menggunakan pesawat udara dan balon udara dalam perekaman data permukaan bumi, tetapi seiring dengan perkembangan penerbangan antariksa dan penggunaan satelit untuk berbagai kepentingan termasuk didalamnya perekaman permukaan bumi, maka penginderaan jauh tumbuh berkembang semakin cepat. Demikian pula halnya dengan penggunaan sensor yang di bawa oleh berbagai wahana juga mengalami peningkatan baik dalam jenis sensor yang digunakan maupun tingkat kedetailan hasil penginderaan.

2.3.1 Citra Landsat Collection 2 level -2

Citra *Landsat* merupakan salah satu sumber data penginderaan jauh yang banyak digunakan dalam kajian lingkungan dan wilayah pesisir karena memiliki rekaman data jangka panjang, resolusi spasial menengah, serta ketersediaan data yang bersifat terbuka. Data *Landsat* disediakan oleh *United States Geological Survey (USGS)* dalam format *Collection 2*, yang merupakan pengembangan dari sistem sebelumnya dengan tujuan meningkatkan ketelitian geometrik, kualitas radiometrik, serta keseragaman data antar waktu dan antar sensor.

Produk *Landsat Collection 2 Level-2* merupakan citra yang telah mengalami tahapan koreksi geometrik dan koreksi radiometrik lanjutan, sehingga nilai pikselnya merepresentasikan reflektan permukaan (*Surface Reflectance*). Proses koreksi tersebut

dilakukan untuk mengurangi pengaruh kondisi atmosfer, sudut penyinaran matahari, serta karakteristik sensor, sehingga data yang dihasilkan lebih mencerminkan kondisi permukaan bumi yang sesungguhnya. Oleh karena itu, citra *Level-2* dinilai lebih sesuai untuk keperluan analisis kuantitatif dan kajian multitemporal.

Ditinjau dari resolusi spasial, citra *Landsat Collection 2 Level-2* memiliki resolusi sebesar 30 meter pada *band* multispektral yang mencakup spektrum tampak hingga inframerah. Dengan resolusi tersebut, setiap piksel merepresentasikan area permukaan seluas 30 × 30 meter. Resolusi spasial ini tergolong menengah dan dianggap memadai untuk analisis perubahan garis pantai pada skala regional hingga lokal, khususnya dalam kajian jangka menengah dan panjang.



Gambar 2. 6 Data *Landsat USGS*
(Sumber : *earthexplorer USGS*)

2.3.2 *Quantum Geographic Information System (QGIS)*

QGIS (Quantum Geographic Information System) merupakan *software* penginderaan jauh dan tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi spasial, namun telah berkembang menjadi *platform* permodelan spasial dinamis yang mampu mendukung analisis perubahan garis pantai secara komputasional ilmiah. *QGIS* memungkinkan penulis untuk:

1. Mengolah data citra satelit multitemporal *Landsat*.
2. Dapat melakukan digitasi garis pantai secara presisi, manual maupun semi otomatis seperti *Normalized Difference Water Index (NDWI)*, *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)*, dan *thresholding*.
3. Mengintegrasikan model perubahan temporal dengan metode *DSAS*
4. Visualisasi Geografis terhadap hasil analisis perubahan shoreline dengan kondisi geospasial konfigurasi garis Pantai eksisting.

Penjelasan tentang *NDWI* dan *MNDWI* dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 *Water Indeks Spektral*

<i>Water Indices</i>	<i>Equations</i>	<i>References</i>	<i>Explanation</i>
<i>NDWI</i> (<i>Normalized Water Index</i>)	$NDWI = \frac{Green - Nir}{Green + Nir}$	<i>McFeeters, S.k.</i> (1996)	Digunakan Untuk Mendeteksi kandungan air dalam tanaman atau tanah. <i>NDWI</i> menghitung perbedaan reflektansi antara <i>Band</i> hijau dan <i>Band</i> infra merah dekat.

MNDWI
(*Modified*
Normalized
Water Index)

$$MNDWI = \frac{Green - Swir}{Green + Swir} \quad Xu, h. (2006)$$

Modifikasi *NDWI* yang dirancang untuk meningkatkan akurasi dalam mendeteksi air, terutama di area urban. *MNDWI* menggunakan *Band* hijau dan *SWIR* untuk mengurangi pengaruh area non-air, seperti bangunan dan tanah.

Sumber : Geoaces Indonesia.

Berikut adalah rumus *NDWI* untuk citra tiap *Landsat* yang akan di olah dengan *QGIS calculation* untuk membedakan daratan dan air (*water Index*).

$$Landsat 1995 = \frac{Band 2 - Band 4}{Band 2 + Band 4} \quad (2.4)$$

$$Landsat 2005 = \frac{Band 2 - Band 4}{Band 2 + Band 4} \quad (2.5)$$

$$Landsat 2015 = \frac{Band 3 - Band 5}{Band 3 + Band 5} \quad (2.6)$$

$$Landsat 2025 = \frac{Band 3 - Band 5}{Band 3 + Band 5} \quad (2.7)$$

Dapat dilihat pada Tabel 2.3 merupakan parameter untuk setiap *Band* yang akan digunakan sebagai dasar analisis *GIS*.

Tabel 2. 4 *Landsat-8 OLI & TIRS Sensors 1*

<i>Band Number</i>	<i>Description</i>	<i>Wavelength</i>	<i>Resolution</i>
<i>Band 1</i>	<i>Coastal/Aerosol</i>	0.433 to 0.453 μm	30 meter
<i>Band 2</i>	<i>Visible Blue</i>	0.450 to 0.515 μm	30 meter
<i>Band 3</i>	<i>Visible Green</i>	0.525 to 0.600 μm	30 meter
<i>Band 4</i>	<i>Visible Red</i>	0.630 to 0.680 μm	30 meter
<i>Band 5</i>	<i>Near-InfraRed</i>	0.845 to 0.885 μm	30 meter
<i>Band 6</i>	<i>Short wafelengh infraRed</i>	1.56 to 1.68 μm	30 meter
<i>Band 7</i>	<i>Shord wavelengh infraRed</i>	2.10 to 2.30 μm	60 meter
<i>Band 8</i>	<i>Panchromatic</i>	0.50 to 0.68 μm	15 meter
<i>Band 9</i>	<i>Cirrus</i>	1.36 to 1.39 μm	30 meter
<i>Band 10</i>	<i>Long wavelengh infraRed</i>	10.3 to 11.3 μm	100 meter
<i>Band 11</i>	<i>Long wavelengh infraRed</i>	11.5 to 12.5 μm	100 meter

Sumber : Geoaces Indonesia (2025).

2.6.2 Delinasi Batas Darat dan Laut

Delinasi daratan dan laut dilakukan dengan tujuan sebagai tanda batas antara daratan dan perairan yang digunakan untuk memperjelas posisi dan letak garis Pantai pada citra. Delinasi darat dan laut dilakukan dengan *MNDWI* untuk *Landsat 8-9 OLI, TIRS C2 L2* yaitu:

$$MNDWI = \frac{green - SWIR 1}{green + SWIR 1} \quad (2.8)$$

MNDWI merupakan suatu metode yang digunakan untuk mempertegas perbedaan antara darat dengan laut. *Band* yang digunakan dengan Panjang gelombang 0,52-0,60 mikrometer dan *Band* dengan Panjang gelombang 1,55-1,75 mikrometer.

2.3.3 Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

DSAS merupakan ekstensi *ArcGIS* yang dikembangkan oleh *USGS* (Ruggiero et al., 2013) untuk menghitung laju perubahan garis Pantai (*shoreline change rate*) secara kuantitatif. *DSAS* menggunakan beberapa metode statistik, di antaranya:

1. *EPR (End Point Rate)* merupakan perbedaan posisi awal garis Pantai awal dan akhir dibagi dengan rentang waktu (m/tahun).
2. *LRR (Linear Regression Rate)* merupakan perhitungan tren linier dari beberapa garis Pantai multi temporal
3. *WLR (Weighted Linear Regression)* merupakan versi daripada *LRR* dengan bobot ketidakpastian
4. *LMS (Least Median of Square)* disebut juga median kuadrat terkecil, *LMS* ditentukan dari perhitungan semua kemungkinan Tingkat perubahan dalam rentang sudut yang dibatasi.
5. *NSM (Net Shoreline Movement)* digunakan untuk mengukur jarak perubahan garis Pantai antara garis Pantai yang terlama dan garis Pantai terbaru. Metode *NSM* hanya melibatkan dua garis Pantai yaitu garis tahun terlama dan terbaru.
6. *SCE (Shoreline Change Envelope)* digunakan untuk mengukur total perubahan garis Pantai dengan mempertimbangkan semua posisi Pantai yang tersedia dan melaporkan jarak tanpa acuan tanggal tertentu.

Berikut adalah rumus statistik *DSAS* untuk menghitung setiap parameter yang ada terhadap perubahan garis pantai dari tahun 1995, 2005, 2015, dan 2025.

$$SCE = X_{Maximum} - X_{Minimum} \quad (2.9)$$

$$NSM = X_{akhir} - X_{awal} \quad (2.10)$$

$$EPR = \frac{NSM}{T_{awal} - T_{akhir}} \quad (2.11)$$

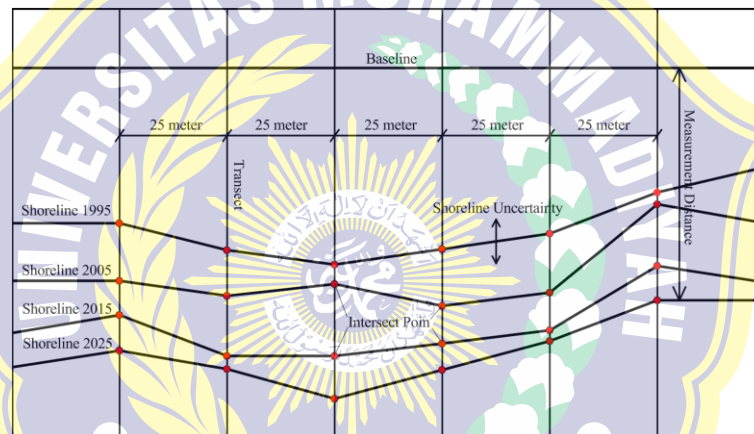
$$LRR = \frac{\sum (t_i - t)(x_i - x)}{\sum (t_i - t)^2} \quad (2.12)$$

$$WLR = \frac{\sum w_i(t_i - t_w)(x_i - x_w)}{\sum w_i(t_i - t_w)^2} \quad (2.13)$$

2.3.3.1 Transect

Transect merupakan garis lurus yang ditarik lurus terhadap garis pantai dan digunakan sebagai garis pengukuran tetap untuk mengetahui berapa jauh garis pantai bergeser abrasi atau akresi dari waktu ke waktu. Setiap *transect* mewakili satu sampling analisis sehingga seluruh perubahan garis Pantai dapat dihitung secara kuantitatif dan seragam di sepanjang wilayah kajian.

Dalam *DSAS*, *transect* dihasilkan secara otomatis berdasarkan *baseline* yang telah ditentukan sebelumnya. *Baseline* tersebut dibuat secara sejajar dengan garis Pantai, namun diletakkan sedikit ke arah daratan agar menghasilkan orientasi *transect* yang tegak lurus terhadap garis Pantai. setiap *transect* kemudian akan memotong garis Pantai dari berbagai tahun pengamatan, dan *software* akan menghitung jarak serta arah pergeseran garis Pantai pada titik potong tersebut secara matematis untuk menghasilkan laju perubahan misal dalam satuan meter per tahun.



Gambar 2. 7 Parameter *shoreline* dan *transect* *DSAS*
 Sumber : Olahan Penulis (2025), berdasarkan Geoaces Indonesia.

Pada Gambar 2.7 menunjukkan parameter *shoreline* dan *transect* yang digunakan dalam analisis perubahan garis pantai menggunakan perangkat lunak *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. Garis pantai hasil digitasi dari berbagai tahun pengamatan digunakan sebagai data vektor *shoreline* yang telah diseragamkan sistem koordinat serta atribut temporalnya.

Transect ditarik secara tegak lurus terhadap garis pantai dengan jarak antar *Transect* sebesar 25 meter, sehingga setiap segmen pantai dianalisis secara merata dan konsisten sepanjang wilayah penelitian. Penentuan jarak *Transect* ini bertujuan untuk memperoleh resolusi analisis spasial yang cukup detail tanpa mengabaikan kestabilan hasil perhitungan perubahan garis pantai. Parameter *Transect*, termasuk arah penarikan, panjang *Transect*, dan jarak antar *Transect*, ditetapkan secara seragam untuk seluruh periode pengamatan agar setiap *Transect* merepresentasikan perubahan posisi garis pantai pada lokasi yang sama secara temporal. Pengaturan parameter *shoreline* dan *transect* menjadi dasar dalam perhitungan laju perubahan garis pantai menggunakan metode *DSAS* pada tahap analisis selanjutnya.

2.4 Analisis Perubahan Garis Pantai

Analisis perubahan garis Pantai dapat dilakukan melalui pendekatan spasial dan temporal menggunakan teknologi penginderaan jauh dan system informasi geografis (*SIG*). salah satu metode yang digunakan adalah *DSAS*, yaitu ekstensi pada perangkat lunak *QGIS* yang dirancang khusus untuk menganalisis perubahan garis Pantai secara kuantitatif.

DSAS bekerja dengan membuat *Transect* tegak lurus terhadap garis Pantai dari garis baseline, kemudian menghitung pergeseran garis Pantai berdasarkan seri waktu (*Time Series*) citra satelit atau data historis. Parameter yang dihasilkan antara lain *End poin rate (EPR)*, *Linier Regression Rate (LRR)*, dan *Weighted Linier Regression (WLR)* yang memberikan informasi kecepatan abrasi atau akresi. *QGIS* digunakan sebagai platform untuk mengolah citra satelit, melakukan digitasi garis Pantai, dan menyiapkan data spasial sebelum dianalisis menggunakan *DSAS*. Kombinasi *QGIS* dan *DSAS* memungkinkan analisis perubahan garis Pantai secara akurat, efisien, serta dapat divisualisasikan dalam bentuk peta perubahan spasial maupun profil longitudinal yang menggambarkan perubahan dari waktu ke waktu.

