

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI PESISIR KABUPATEN
PEKALONGAN PROVINSI JAWA TENGAH**

SKRIPSI

Oleh

**REVO AULIA RAHMANDO
NPM 2254221004**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI PESISIR KABUPATEN
PEKALONGAN PROVINSI JAWA TENGAH**

Oleh

REVO AULIA RAHMANDO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI DI PESISIR KABUPATEN PEKALONGAN PROVINSI JAWA TENGAH

Oleh

REVO AULIA RAHMANDO

Perubahan garis pantai merupakan fenomena dinamis yang dipengaruhi oleh faktor oseanografi dan aktivitas antropogenik. Pantai Sunter Depok Indah, Kabupaten Pekalongan, mengalami abrasi yang cukup signifikan akibat pengaruh gelombang dan minimnya pelindung alami pantai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh faktor oseanografi dan hubungan perubahan tutupan lahan terhadap perubahan garis pantai di Pantai Sunter Depok Indah, Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah. Data primer berupa *tracking* garis pantai, batimetri, pasang surut, sedimen, dan foto udara *drone* diperoleh melalui survei lapangan, sedangkan analisis parameter oseanografi dilakukan menggunakan Mike21. Hasil penelitian menunjukkan dominasi abrasi di sepanjang garis pantai dengan nilai terbesar *Linear Regression Rate* (LRR) -41,35 m/tahun dan *Net Shoreline Movement* (NSM) -413,5 m/10 tahun. Hasil analisis parameter oseanografi menunjukkan faktor paling dominan penyebab abrasi adalah gelombang yang membangkitkan arus sejajar pantai sehingga meningkatkan intensitas transpor sedimen dan mempercepat kemunduran garis pantai. Kondisi batimetri yang landai serta minimnya pelindung alami pantai turut memperparah abrasi di wilayah penelitian.

Kata kunci: Abrasi, Faktor Oseanografi, Kabupaten Pekalongan, Perubahan Garis Pantai, Tutupan lahan

ABSTRACT

ANALYSIS OF SHORELINE CHANGE IN THE COASTAL AREA OF PEKALONGAN REGENCY CENTRAL JAVA PROVINCE

By

REVO AULIA RAHMANDO

Shoreline change is a dynamic phenomenon influenced by oceanographic factors and anthropogenic activities. Sunter Depok Indah Beach, located in Pekalongan Regency, has experienced significant coastal abrasion due to wave action and the lack of natural coastal protection. This study aims to analyze the influence of oceanographic factors and the relationship between land cover change and shoreline change at Sunter Depok Indah Beach, Pekalongan Regency Central Java Province. Primary data, including shoreline tracking, bathymetry, tides, sediment samples, and drone aerial photographs, were collected through field surveys, while oceanographic parameter analysis was conducted using Mike21. The results indicated that abrasion dominates along the shoreline, with the highest Linear Regression Rate (LRR) reaching -41,35 m/year and the Net Shoreline Movement (NSM) reaching -413,5 m over 10 years. The oceanographic parameter analysis shows that waves are the most dominant factor causing abrasion by generating longshore currents, which increase sediment transport intensity and accelerate shoreline retreat. In addition, the gentle bathymetric conditions and the lack of natural coastal protection further exacerbate abrasion in the study area.

Keywords: Abrasion, Land Cover, Oceanographic Factors, Pekalongan Regency, Shoreline Change

Judul Skripsi : Analisis Perubahan Garis Pantai di
Pesisir Kabupaten Pekalongan Provinsi
Jawa Tengah

Nama Mahasiswa : Revo Aulia Rahmanto

NPM : 2254221004

Program Studi : Ilmu Kelautan

Fakultas : Pertanian



1. Komisi Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Anna'.

Anna Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.
NIP. 199001202019031011

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Imelda'.

Ir. Imelda Rosalia Spalahi.
NIP. 196710191993032001

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Munti'.

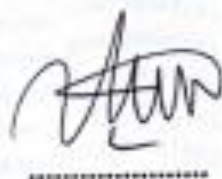
Munti Sarida, S.Pl., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198309232006042001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

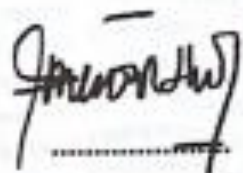
Ketua

: Anna Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.



Sekretaris

: Ir. Imelda Rosalia Silalahi.



Penguji Bukan Pembimbing

: Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanto Futas Hidayat, M.P.
NIP. 1964111181989021002

Tanggal lulus ujian skripsi : 12 Juni 2026



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN PERIKANAN DAN KELAUTAN

Prof. Dr. Sunantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Telp (0721) 704946 Fax (0721) 770347

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi yang berjudul "**Analisis Perubahan Garis Pantai di Pesisir Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah**" tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh pihak lain untuk mendapatkan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur fabrikasi, falsifikasi, plagiat dan konflik kepentingan saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Bandar Lampung, 19 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Revo Aulia Rahmando
NPM. 2254221004

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sekampung, Lampung Timur pada tanggal 10 Februari 2004, sebagai anak ketiga dari pasangan Bapak Arlis dan Ibu Sutarti. Penulis memulai Pendidikan formal di Taman Kanak-Kanak Aisyiyah Bustanul Athfal Sekampung, kemudian melanjutkan Pendidikan di SDN 1 Giriklopomulyo pada tahun 2010-2016. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan di SMP Negeri 4 Kota Metro dan SMA Al-kautsar Bandar Lampung. Pada tahun 2022, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Universitas Lampung (SIMANILA).

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Kimia Dasar dan Praktik Laut. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi di Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) Unila. Penulis menjabat sebagai Ketua Umum Himapik pada tahun 2025 (Januari-Juni). Selain itu penulis juga pernah mendapatkan peringkat 3 Mahasiswa Berprestasi (Mapres) tingkat fakultas pada tahun 2025. Penulis juga memiliki pengalaman magang praktik umum di Balai Besar Survei Pemetaan dan Geologi Kelautan (BBSPGL) Bandung pada tahun 2025 dengan judul “Identifikasi Abrasi dan Akresi Akibat Perubahan Garis Pantai di Pantura Bagian Barat Periode 2015-2024 dengan Menggunakan Citra Sentinel 2-A dan *Google Earth Pro*”. Selain itu, penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sri Tejo Kencono, Kecamatan Kota Gajah, Kabupaten Lampung Tengah pada tahun 2025.

Bismillahirrahmanirrahim

Untuk kedua orang tua tercinta

Bapak Arlis dan Ibu Sutarti

Terima kasih atas segala cinta yang tulus serta doa yang tidak pernah putus

Terima kasih atas segalanya yang tidak dapat diungkapkan satu per satu.

"Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah. Sungguh, Allah Maha Melihat
akan hamba-hamba-Nya."

(QS. Ghafir: 44)

"Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya"

(HR. Ahmad)

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi dengan judul “*Analisis Perubahan Garis Pantai di Pesisir Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah*” dapat diselesaikan dengan baik sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di Universitas Lampung.

Pada proses penyusunan skripsi, penulis menyadari sepenuhnya bahwa untuk menyelesaikan proses ini tidak mudah, banyak tantangan yang harus dihadapi. Namun, berkat doa, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, semua kesulitan dapat teratasi dengan baik. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan FP Unila;
2. Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
3. Eko Efendi, S.T., M.Si. selaku Koordinator Program Studi Ilmu Kelautan;
4. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing Utama;
5. Ir. Imelda Rosalia Silalahi. selaku Dosen Pembimbing Pembantu/Sekretaris;
6. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Penguji Utama;
7. Yusuf Adam Priohandono, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Lapang;
8. Ir. Arlis dan Sutarti. selaku kedua orang tua;
9. Risti Amalia Sari, S.Pd. dan Aditya Luthfi Fauzan, S.T. selaku kakak.

Bandar Lampung, 06 Juli 2026

Revo Aulia Rahmando

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Kerangka Pikir	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Perubahan Garis Pantai	4
2.1.1 <i>Digital Shoreline Analysis System (DSAS)</i>	5
2.2 Batimetri	5
2.2.1 <i>Sounding</i> Batimetri	7
2.3 Gelombang	8
2.4 Arus	9
2.5 Pasang Surut.	11
2.6 Sedimen.	12
2.7 Tutupan Lahan	14
III. METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	16
3.2 Bahan dan Alat	17
3.3 Prosedur Penelitian	19
3.3.1 Pengumpulan Data	21
3.3.2 Pengolahan Data	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Perubahan Garis Pantai	31
4.2 Batimetri	33
4.2.1 Batimetri Kondisi LWS	35
4.2.2 Batimetri Kondisi MSL	37

4.2.3 Batimetri Kondisi HWS.....	39
4.3 Pasang Surut	40
4.4 Angin.....	41
4.5 Gelombang	43
4.6 Arus	49
4.7 Sedimen	56
4.8 Tutupan Lahan.....	61
4.8.1 Tutupan Lahan Tahun 2015	61
4.8.2 Tutupan Lahan Tahun 2020	62
4.8.3 Tutupan Lahan Tahun 2025	63
4.8.4 <i>Orthomosaic</i>	65
4.8.5 <i>Land Subsidence</i>	66
4.9 <i>Sea Level Rise</i>	69
V. SIMPULAN DAN SARAN	70
5.1 Simpulan	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bahan.....	17-18
2. Alat	18-19
3. Hasil analisis besar butir sedimen	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	3
2. Pantauan perubahan garis pantai dari citra satelit.....	4
3. Morfologi dasar laut (batimetri).....	6
4. Prinsip kerja <i>singlebeam echosounder</i>	8
5. <i>Longshore current</i>	8
6. Pola arus musiman, musim barat (a), musim timur (b).....	10
7. Periode pasang surut	11
8. Transpor sedimen.....	13
9. Skala Wentworth.....	14
10. Peta wilayah penelitian	16
11. Diagram alir prosedur penelitian.....	20
12. <i>Sounding</i> batimetri.....	24
13. Stasiun pengamatan pasut	25
14. Alur pelaksanaan analisis PSA.....	26
15. <i>Drone</i> DJI Phantom 4	27
16. Citra Landsat 8 Lv. 2	29
17. Peta perubahan garis pantai.....	32
18. Bukti abrasi	33
19. Peta lintasan survei.....	34
20. Peta hasil perekaman batimetri	35
21. Peta batimetri kondisi LWS 2D	36
22. Penampang batimetri kondisi LWS 3D.....	37
23. Peta batimetri kondisi MSL 2D.....	38
24. Penampang batimetri kondisi MSL 3D.....	38
25. Peta batimetri kondisi HWS 2D	39
26. Penampang batimetri kondisi HWS 3D	40
27. Grafik validasi pasut prediksi MapSource dan <i>levelling</i> bacaan	41
28. Vektor angin musiman 2025	42
29. Tinggi dan arah gelombang musim barat.....	44
30. Tinggi dan arah gelombang musim peralihan 1	45-46
31. Tinggi dan arah gelombang musim timur	47
32. Tinggi dan arah gelombang musim peralihan 2	48
33. Kecepatan dan arah arus pasang tertinggi.....	50
34. Kecepatan dan arah arus surut terendah.....	51
35. Kecepatan dan arah arus menuju pasang tertinggi.....	52

36. Kecepatan dan arah arus menuju menuju surut terendah.....	53
37. Arus musim barat	55
38. Arus musim peralihan 1	55
39. Arus musim timur	56
40. Arus musim peralihan 2	56
41. Peta titik sampling sedimen	57
42. <i>Grain Size Distribution</i> DPK 1 – DPK 6	58
43. <i>Grain Size Distribution</i> DPK 7 – DPK 12	59
44. <i>Grain Size Distribution</i> DPK 13 – DPK 16	59
45. Distribusi sampel sedimen berdasarkan diagram (<i>sand, silt, clay</i>) Folk.....	60
46. Peta sebaran sedimen	61
47. Peta tutupan lahan tahun 2015	62
48. Peta tutupan lahan tahun 2020	63
49. Peta tutupan lahan tahun 2025	64
50. Foto <i>orthomosaic</i>	65
51. Citra <i>multitemporal Google Earth Pro</i>	67
52. Bukti indikasi <i>land subsidence</i>	68
53. Tren tinggi muka air laut pesisir Pekalongan.....	69

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan garis pantai merupakan proses alami yang dipengaruhi oleh faktor hidrodinamika seperti gelombang, arus, dan pasang surut (Bird, 2008), namun aktivitas manusia seperti reklamasi, alih fungsi lahan, dan pembangunan pelabuhan turut mempercepat proses perubahan garis pantai (Anthony, 2014). Fenomena perubahan garis pantai dapat menimbulkan dampak berupa abrasi dan akresi yang berdampak pada kondisi lingkungan serta sosial-ekonomi masyarakat pesisir (Masselink & Hughes, 2003). Pantai utara Jawa, termasuk Kabupaten Pekalongan, menjadi wilayah yang sangat rentan terhadap fenomena abrasi akibat faktor oseanografi, penebangan mangrove, serta konversi lahan pesisir menjadi tambak dan industri (Arifin & Pramono, 2019). Kondisi ini menyebabkan hilangnya lahan produktif, kerusakan infrastruktur, hilangnya mata pencaharian dan menurunnya pendapatan masyarakat setempat (Chaussard et al., 2013).

Selain perubahan garis pantai, kondisi batimetri juga berperan besar dalam proses dinamika pesisir, kondisi batimetri memiliki kaitan dengan proses sedimentasi yang dapat memengaruhi pola arus serta energi gelombang (Triatmodjo, 2012). Penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) kini menjadi metode efektif untuk menganalisis perubahan garis pantai dan pemetaan batimetri (Wicaksono & Hafizt, 2013). Melalui pendekatan ini, penelitian di Kabupaten Pekalongan diharapkan mampu memberikan pemahaman menyeluruh mengenai hubungan antara perubahan garis pantai dan proses oseanografi, serta pemetaan batimetri wilayah pesisir Kabupaten Pekalongan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh faktor oseanografi dan hubungan perubahan tutupan lahan terhadap perubahan garis pantai di Pantai Sunter Depok Indah, Pesisir Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah.

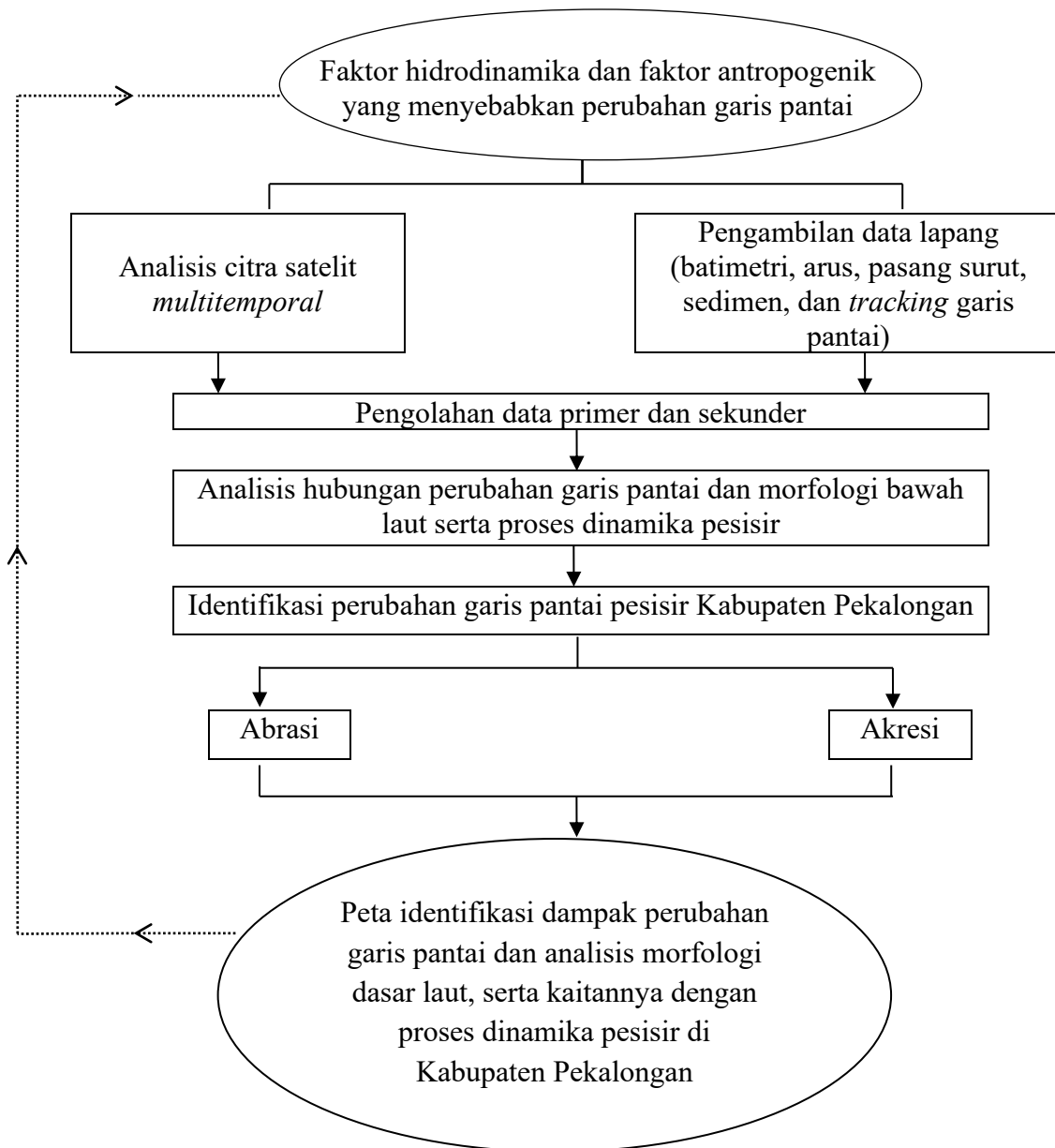
1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perubahan garis pantai yang terjadi dan faktor yang memengaruhinya guna menyediakan data spasial dan deskriptif sebagai dasar pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

1.4 Kerangka Pikir

Perubahan garis pantai merupakan fenomena yang terjadi secara alami akibat proses dinamika pesisir seperti gelombang, arus, pasang surut, dan sedimentasi. Namun dalam beberapa dekade terakhir, aktivitas manusia seperti reklamasi, pembangunan infrastruktur pesisir, penebangan mangrove, dan alih fungsi lahan tambak turut mempercepat laju perubahan garis pantai. Kabupaten Pekalongan sebagai bagian dari pantai utara Jawa (Pantura) menjadi wilayah yang rentan karena sering mengalami abrasi, akresi, serta banjir rob yang berdampak pada hilangnya lahan produktif, kerusakan infrastruktur, dan terganggunya aktivitas sosial-ekonomi masyarakat. Selain garis pantai, kondisi batimetri juga memegang peran penting karena kondisi batimetri dan pola sedimentasi dapat memengaruhi distribusi energi gelombang dan arah arus yang pada akhirnya memengaruhi proses dinamika pesisir, salah satu upaya untuk memahami fenomena ini adalah dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) yang mampu memberikan informasi spasial secara akurat dan *multitemporal* mengenai perubahan garis pantai, serta dilakukannya pengambilan data lapang untuk kondisi dinamika pesisir yang terjadi seperti batimetri, arus, pasang surut, dan sedimen di pesisir Kabupaten Pekalongan. Diagram alir dari

kerangka pikir penelitian yang memperjelas uraian diatas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai merupakan hasil dari interaksi proses hidrodinamika seperti gelombang dan arus serta tekanan yang ditimbulkan dari antropogenik seperti reklamasi dan alih fungsi lahan. Sebuah fenomena yang juga terbukti terjadi di pesisir Kabupaten Pekalongan melalui studi DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) yang mendokumentasikan abrasi dominan dari 2016 hingga 2022 (Endarsih et al., 2025). Metode penginderaan jauh, terutama penggunaan citra *Landsat 8* dan analisis garis pantai *multitemporal*, Endarsih et al (2025) telah berhasil memetakan zona abrasi dan akresi di pesisir Kabupaten Pekalongan, sehingga dapat dijadikan tolak ukur untuk studi lanjutan. Analisis geografis tersebut memperlihatkan bahwa meskipun sebagian wilayah mengalami abrasi, terdapat juga segmen yang akresinya terkait aktivitas sedimentasi lokal dan pengelolaan vegetasi pantai. Identifikasi awalan bisa dilakukan dengan melihat citra satelit *multitemporal* seperti yang bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pantauan perubahan garis pantai dari citra satelit
Sumber : *Google Earth Pro*

Validasi lapangan melalui survei langsung untuk melengkapi dan memvalidasi data satelit, memastikan bahwa estimasi pergeseran garis pantai mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian mengenai perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Pekalongan sebaiknya menggunakan kombinasi metode pemantauan SIG dengan citra *multitemporal* dan survei lapangan agar rekomendasi pengelolaan pesisir menjadi lebih valid dan efektif (Amalia et al., 2023).

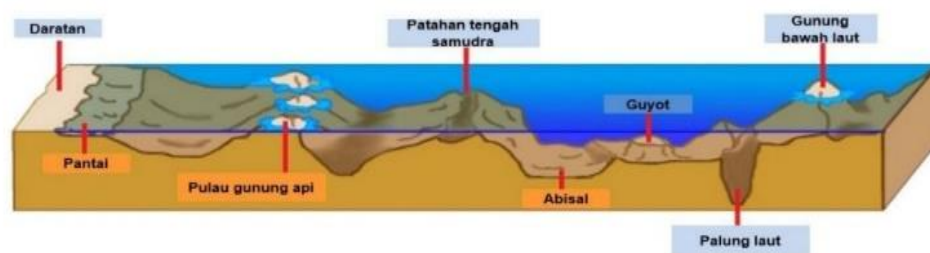
2.1.1 *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*

Digital Shoreline Analysis System (DSAS) merupakan *software* yang digunakan untuk menganalisis perubahan garis pantai secara kuantitatif berdasarkan data *multitemporal*. Prinsip kerja DSAS dilakukan dengan membentuk garis acuan (*baseline*) yang sejajar dengan garis pantai, kemudian sistem secara otomatis dapat menghasilkan transek tegak lurus terhadap *baseline* pada interval tertentu untuk memotong setiap posisi garis pantai dari periode waktu yang diinginkan. Titik-titik perpotongan tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter statistik perubahan garis pantai seperti *Net Shoreline Movement (NSM)*, *End Point Rate (EPR)*, dan *Linear Regression Rate (LRR)*, yang menggambarkan laju perubahan garis pantai secara temporal (Astuti & Arrofiqoh, 2024).

2.2 Batimetri

Batimetri merupakan representasi morfologi dasar laut yang menggambarkan kedalaman dan bentuk dasar laut dan berperan penting dalam analisis dinamika pesisir dan transpor sedimen (Fahrian et al., 2015). Kajian batimetri di kawasan utara Jawa menunjukkan bahwa morfologi dasar laut sangat dipengaruhi oleh suplai sedimen dari sungai dan aktivitas pasang surut, yang menyebabkan terbentuknya pola akumulasi dan abrasi yang kompleks (Satriadi, 2012). Di wilayah Kabupaten Pekalongan, perubahan batimetri terbukti berkorelasi dengan tingginya laju sedimentasi di muara sungai Pekalongan serta penurunan elevasi dasar laut di sekitar pantai utara akibat abrasi jangka panjang (Al Fattah et al., 2023).

Penelitian oleh Fahrian et al (2015) menjelaskan bahwa kondisi tersebut berdampak langsung terhadap kestabilan struktur pantai dan peningkatan risiko genangan rob. Pengukuran batimetri yang dilakukan secara berkala melalui *echosounding* dapat memberikan visualisasi penampang batimetri untuk menampilkan profil batimetri (Bahar et al., 2025). Ilustrasi sederhana mengenai batimetri dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Morfologi dasar laut (batimetri)

Sumber : <https://www.geovolcan.com/morfologi-laut/>

Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan pemodelan spasial memungkinkan pemantauan batimetri dilakukan lebih efisien dan akurat (Hanuransyah et al., 2020). Pemanfaatan citra satelit multispektral seperti Sentinel-2 atau *Landsat-8* terbukti efektif dalam mengestimasi kedalaman perairan dangkal melalui algoritma inversi batimetri berbasis reflektansi spektral (Satriadi, 2012). Kombinasi data satelit dan *ground-truthing* dari hasil *sounding* menghasilkan model digital dasar laut/*Digital Elevation Model* (DEM) yang mampu menggambarkan pola perubahan kontur di Pantura secara spasial (Hanuransyah et al., 2020). Hal ini relevan dengan wilayah pesisir Kabupaten Pekalongan, di mana perubahan kedalaman dasar laut sering dikaitkan dengan peningkatan debit sedimen dari DAS setempat serta perubahan morfologi akibat aktivitas pasang surut dan pembangunan tambak (Gasica & Pratomo, 2022). Dengan demikian, integrasi metode penginderaan jauh dan survei lapangan menjadi strategi utama dalam studi batimetri modern di kawasan pantai utara Jawa.

2.2.1 *Sounding* Batimetri

Sounding batimetri merupakan metode utama dalam survei kelautan yang digunakan untuk mengukur kedalaman laut secara langsung menggunakan peralatan akustik seperti *echosounder* (BIG, 2023). Pengukuran ini menghasilkan data kedalaman yang akurat untuk pembuatan peta batimetri dan analisis morfologi dasar laut (Lubis et al., 2019). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), data hasil *sounding* dikombinasikan dengan hasil survei *Global Navigation Satellite System* (GNSS) menghasilkan model elevasi laut yang lebih representatif.

Dalam praktik survei batimetri modern, penggunaan teknologi *echosounder* menjadi komponen utama untuk memperoleh data kedalaman laut yang akurat dan efisien (Kusmanto et al., 2024). *Echosounder* bekerja dengan memancarkan gelombang akustik ke dasar laut dan menghitung waktu pantulan kembali gelombang tersebut untuk menentukan kedalaman perairan. Menurut penelitian Kusmanto et al (2024), penggunaan *singlebeam echosounder* dinilai efektif untuk survei perairan dangkal seperti di kawasan pesisir Kabupaten Pekalongan karena kemudahan operasional dan biaya yang relatif rendah. Sementara itu *multi-beam echosounder* digunakan pada penelitian berskala besar karena mampu menghasilkan model tiga dimensi permukaan dasar laut dengan akurasi tinggi dan cakupan area yang luas (BIG, 2023). Penjelasan mengenai prinsip kerja *single-beam echosounder* dapat dilihat pada Gambar 4.

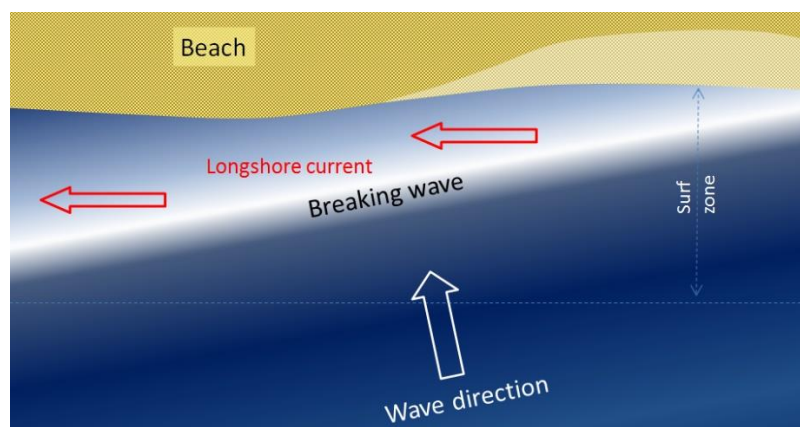


Gambar 4. Prinsip kerja *singlebeam echosounder*

Sumber: <https://share.google/images/k5NNnMftvIH01oyzP>

2.3 Gelombang

Gelombang laut merupakan proses perpindahan energi air laut, yang bergerak dalam bentuk gerak bolak balik dan menjadi salah satu komponen hidro-dinamika yang berperan dalam proses degradasi garis pantai (Holthuijsen, 2007). Gelombang yang datang dengan arah sejajar terhadap garis pantai, energi yang dibawanya menciptakan *longshore current*, yaitu arus sejajar pantai yang timbul akibat komponen gaya dari gelombang pecah yang tidak tegak lurus terhadap garis pantai. Penjelasan singkat mengenai *longshore current* dapat dilihat pada Gambar 5.



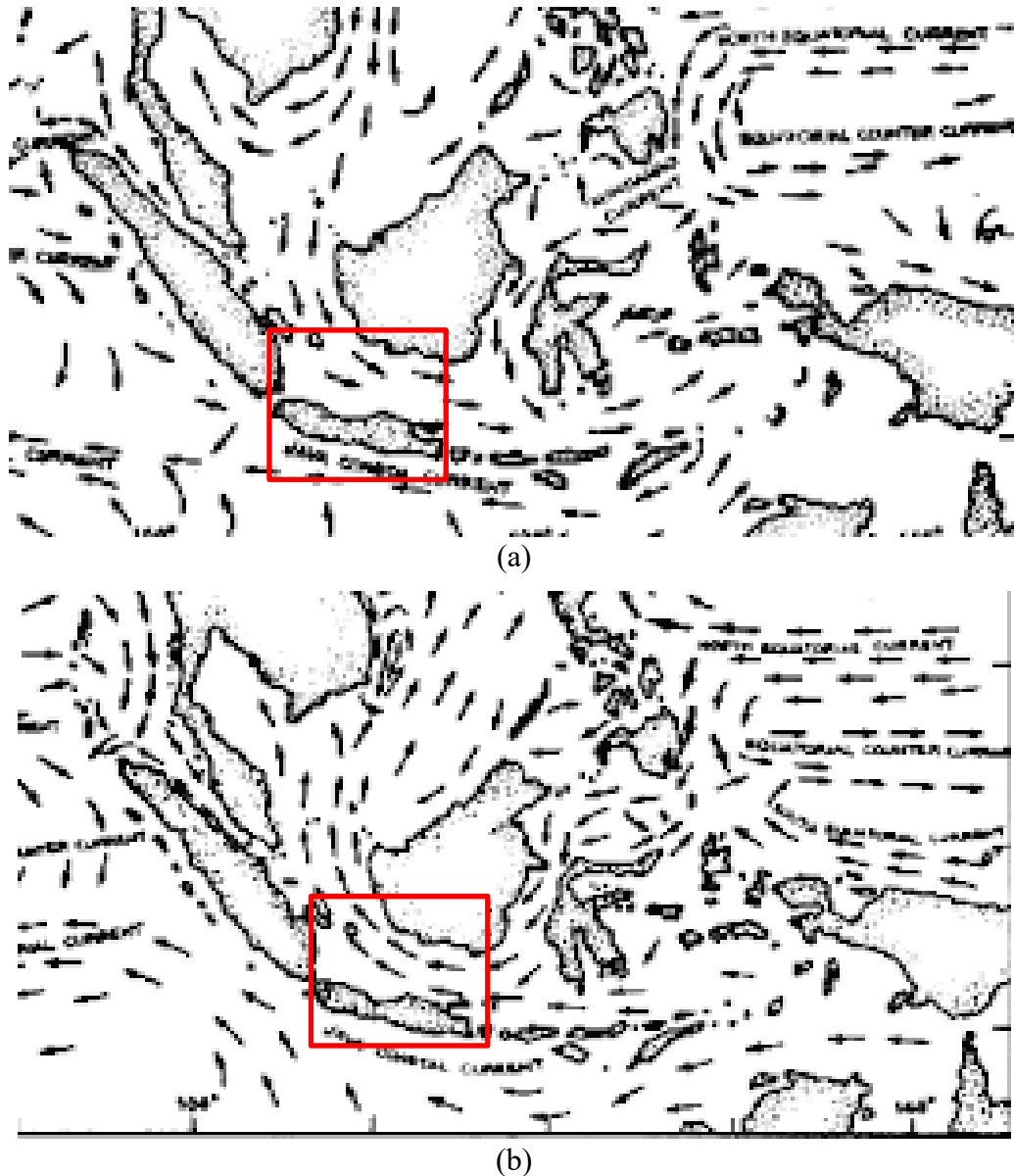
Gambar 5. *Longshore current*

Sumber : <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/13-2-longshore-transport/>

Gelombang ini berperan penting dalam proses *longshore sediment transport*, yaitu perpindahan sedimen secara lateral di sepanjang pantai yang menjadi salah satu faktor utama dalam proses sedimentasi/transpor sedimen yang memengaruhi perubahan garis pantai (Holthuijsen, 2007). Ketika energi gelombang tinggi dan arah datangnya dominan dari satu sisi, sedimen akan terangkut terus-menerus ke satu arah, menyebabkan terjadinya abrasi di satu area dan akresi di area lainnya (Islam et al., 2022). Studi eksperimental menunjukkan bahwa *longshore current* menghasilkan gradien tekanan di zona pecah gelombang (*surf zone*), yang mendorong massa air dengan arah sejajar garis pantai dan memicu pergerakan sedimen dari daerah dengan energi tinggi menuju daerah energi yang lebih rendah (Mentaschi et al., 2018). Dalam jangka panjang, proses ini membentuk morfologi pantai yang dinamis, memunculkan pola abrasi-akresi yang kompleks, terutama di wilayah pantai berenergi tinggi seperti pantai utara Jawa (Anthony, 2014).

2.4 Arus

Arus laut merupakan salah satu faktor yang memengaruhi dinamika garis pantai dan transpor sedimen di wilayah pesisir (Atmadipoera et al., 2015). Arah dan kecepatan arus sangat dipengaruhi kondisi pasang surut, angin musiman, serta morfologi dasar laut (Lubis et al., 2020). Di perairan Pekalongan, pola arus permukaan didominasi oleh angin muson barat ke timur pada musim penghujan, sedangkan arus muson timur bergerak sebaliknya saat musim kemarau (Safikri et al., 2025). Variasi arus memiliki kontribusi terhadap akumulasi sedimen di muara sungai dan abrasi di sepanjang pantai utara Kabupaten Pekalongan (Atmadipoera et al., 2015). Analisis model arus menggunakan *software Ocean Data View* (ODV) dan hasil simulasi hidrodinamika menunjukkan korelasi tinggi antara kecepatan arus dan tingkat perubahan garis pantai (Kartadikaria et al., 2011). Pola arus musiman Pantai Utara Jawa dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pola arus musiman, musim barat (a), musim timur (b)

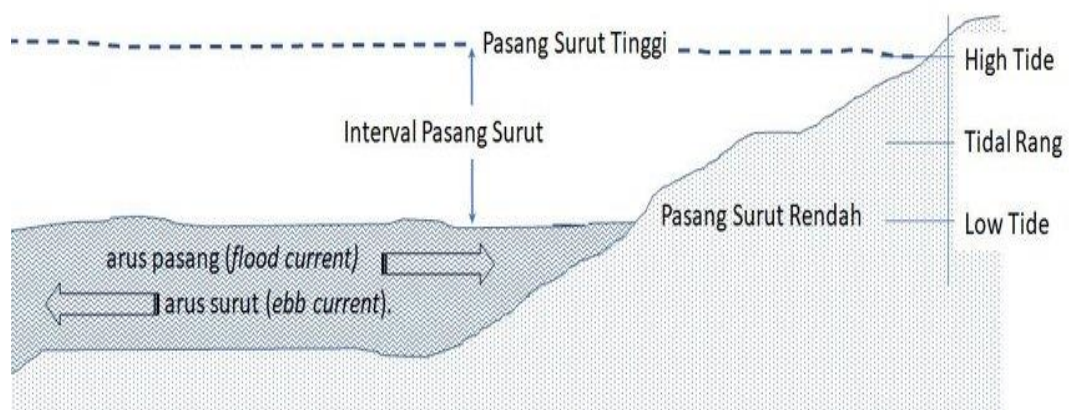
Sumber : <https://arnudin.blogspot.com/2012/11/arus-monsoon-indonesia-armondo-akibat.html>

Arus pada kolom air tidak hanya membawa material padat, tetapi juga memengaruhi pola kekeruhan dan distribusi sedimen tersuspensi yang pada gilirannya memperkuat pengendapan di area muara (Supiyati et al., 2022). Dalam studi kasus pantai Bengkulu, penggunaan model hidrodinamika dan data lapangan menunjukkan bahwa arah arus mendominasi menuju timur laut dan kecepatan rata-rata mencapai 0,5 m/s, yang secara signifikan memengaruhi morfologi pesisir melalui redistribusi sedimen (Irmawan et al., 2024). Kecepatan arus yang tinggi cenderung memicu erosi di zona terbuka, sementara arus lemah dapat memung-

kinkan akumulasi sedimen di bagian terlindung (Supiyati et al., 2022). Dengan demikian, pemodelan arus lokal dengan resolusi temporal dan spasial tinggi menjadi alat penting untuk memetakan pengaruh arus terhadap perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Pekalongan.

2.5 Pasang Surut

Pasang surut laut merupakan fluktuasi periodik muka air laut akibat gaya gravitasi bulan dan matahari terhadap bumi (Katavouta et al., 2022). Proses ini berperan penting dalam transpor sedimen dan dinamika arus di wilayah pesisir (Kusuma et al., 2024). Di Kabupaten Pekalongan, tipe pasang surut yang terjadi yaitu tipe campuran condong ke harian ganda, yang berarti terdapat dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari dengan tinggi pasang tidak selalu sama (Bahar et al., 2025). Variasi pasang surut yang ekstrem juga menyebabkan peningkatan pengikisan di garis pantai terbuka seperti Panjang Wetan dan Degayu (Yulianto et al., 2019). Terdapat dua periode pasang surut, pasang surut tertinggi atau pasang tertinggi disebut *high tide*, pasang surut terendah atau surut terendah disebut *low tide*. Tunggang pasut atau *tidal range* merupakan selisih antara pasang tertinggi dan surut terendah. Pasang surut tidak hanya memengaruhi lapisan di permukaan saja, melainkan seluruh massa air dengan energi yang sangat besar. Hal ini bisa dijelaskan secara sederhana seperti yang bisa dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Periode pasang surut

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Gambar-111-Illustrasi-Pasang-Surut-Tinggi-pasang-surut-adalah-jarak-vertikal-antara-air_fig14_351351187

Selain memengaruhi elevasi muka air laut, pasang surut juga menentukan pola distribusi sedimen tersuspensi dan memperkuat interaksi antara arus dan gelombang di perairan dangkal (Supiyati et al., 2022). Saat fase pasang, energi gelombang yang teredam di zona intertidal cenderung meningkat, sehingga memperbesar potensi transportasi sedimen menuju darat. Sebaliknya, saat surut material halus terbawa kembali ke laut dan membentuk pola sebaran sedimen yang khas pada area muara (Syarifudin et al., 2022). Studi yang dilakukan di pantai utara Jawa menunjukkan bahwa kombinasi antara pasang surut campuran dan gelombang lokal dapat mempercepat perubahan garis pantai di lokasi yang tidak memiliki perlindungan alami seperti vegetasi mangrove (Prayogo et al., 2024).

2.6 Sedimen

Sedimen merupakan material padat hasil pelapukan batuan atau aktivitas biotik yang diangkut oleh arus, gelombang, atau pasang surut menuju wilayah pesisir (Pratama et al., 2023). Proses transportasi dan pengendapan sedimen menjadi indikator penting dalam perubahan morfologi pantai (Hafizh et al., 2021). Di Pekalongan, tingginya muatan sedimen tersuspensi berasal dari sungai besar seperti Sungai Pekalongan dan Sengkarang, yang membawa material halus ke laut dan membentuk zona akresi di wilayah pesisir (Safikri et al., 2025). Oleh karena itu, analisis tekstur dan sebaran sedimen menjadi komponen penting untuk memahami dinamika abrasi dan akresi di wilayah ini (Maramis et al., 2022). Ilustrasi proses transpor sedimen dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Transpor sedimen

Sumber : <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/sediment-transport>

Selain berasal dari daratan, sedimen di pesisir Kabupaten Pekalongan juga dipengaruhi oleh proses resuspensi akibat gelombang dan arus pasang surut yang kuat (Supiyati et al., 2022). Pada periode musim barat, peningkatan energi gelombang menyebabkan material halus di dasar laut kembali teraduk dan berpindah ke zona pantai, menghasilkan pola sedimentasi musiman yang khas (Purwanto et al., 2021). Analisis citra satelit Sentinel-2 oleh Amran & Daming (2023) menunjukkan adanya fluktuasi nilai *turbidity* yang tinggi di sekitar muara Sungai Sengkarang selama bulan Desember hingga Februari, yang mengindikasikan peningkatan konsentrasi sedimen tersuspensi. Kondisi tersebut berimplikasi langsung terhadap penurunan kualitas perairan dan produktivitas ekosistem pesisir, terutama di wilayah tambak dan ekosistem mangrove di Pekalongan bagian timur.

Jenis dan ukuran sedimen juga menjadi faktor kunci dalam menafsirkan energi hidrodinamika dan tingkat kestabilan pantai (Hermawan et al., 2025). Penelitian oleh Lahopang et al (2023) mengungkap bahwa sebagian besar pesisir Pekalongan didominasi oleh sedimen berukuran lanau halus dengan tingkat sortasi buruk (*poorly sorted*), yang menandakan adanya kondisi deposisi cepat akibat sedimentasi tinggi dari muara sungai. Sebaliknya, di wilayah yang mengalami abrasi, seperti Panjang Wetan dan Kandang Panjang, sedimen yang ditemukan berukuran lebih kasar dengan nilai *skewness* positif, menunjukkan dominasi gelombang yang lebih kuat. Oleh karena itu, pemetaan sebaran sedimen secara spasial melalui

kombinasi data laboratorium, citra satelit, dan analisis batimetri menjadi langkah penting dalam memahami dinamika pesisir Pekalongan secara menyeluruh. Untuk memudahkan penjelasan mengenai jenis dan ukuran butir sedimen dapat dilihat melalui Skala Wentworth pada Gambar 9.

Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (ϕ)	Wentworth size class	Rock type
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble	
64		-6.0	Pebble	
4		-2.0	Granule	
2.00		-1.0		
1.00		0.0	Very coarse sand	Sandstone
1/2	0.50	1.0	Coarse sand	
1/4	0.25	2.0	Medium sand	
1/8	0.125	3.0	Fine sand	
1/16	0.0625	4.0	Very fine sand	
1/32	0.031	5.0	Coarse silt	Siltstone
1/64	0.0156	6.0	Medium silt	
1/128	0.0078	7.0	Fine silt	
1/256	0.0039	8.0	Very fine silt	
0.00006	0.06	14.0	Clay	Claystone

Gambar 9. Skala Wentworth

Sumber : <https://geohazard009.wordpress.com/2009/10/20/skala-wentworth/>

2.7 Tutupan Lahan

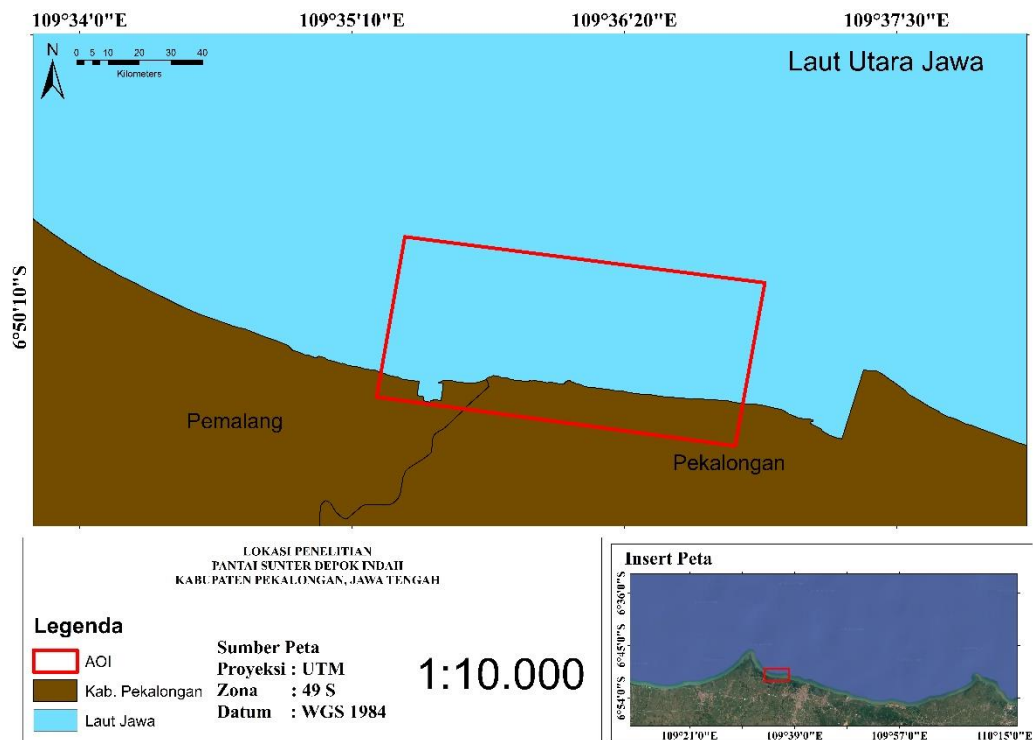
Tutupan lahan (*land cover*) merupakan representasi fisik permukaan bumi yang mencakup berbagai jenis penutup seperti vegetasi, badan air, lahan terbangun dan tanah terbuka. Informasi tutupan lahan berperan penting dalam kajian lingkungan karena berfungsi sebagai dasar dalam pengelolaan sumber daya dan wilayah pesisir (Yuliana & Risqiana, 2024). Perubahan tutupan lahan merupakan fenomena dinamis yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia dan faktor alami, seperti urbanisasi, pertumbuhan penduduk, serta proses alami lingkungan. Perubahan ini dapat berdampak signifikan terhadap kondisi ekosistem, termasuk peningkatan lahan terbangun dan penurunan vegetasi alami, yang berimplikasi pada degradasi lingkungan dan perubahan keseimbangan hidrologi. Analisis tutupan

lahan menjadi pendekatan yang efektif untuk memantau perubahan tersebut, karena mampu menggambarkan tren perubahan spasial (Rohman et al., 2025).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama lima bulan, yakni pada bulan Desember hingga April 2025. Kegiatan penelitian dilakukan di pesisir Kabupaten Pekalongan, dengan fokus wilayah kajian berada di Pantai Sunter Depok, Kecamatan Siwalan, Pekalongan, Jawa Tengah, Indonesia untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Peta wilayah penelitian

Selain itu, khusus untuk pengolahan sedimen dilakukan di Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL), Kota Bandung. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada dinamika pesisir Pekalongan yang cukup vari-

atif dan berdampak signifikan terhadap perubahan garis pantai serta kondisi sosial masyarakat setempat. Sedangkan analisis laboratorium sampel sedimen dilakukan di BBSPGL karena, ketersediaan peralatan serta fasilitas yang memadai untuk mendukung kajian.

3.2 Bahan dan Alat

Adapun bahan dan alat digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 1. Bahan, konsentrasi, merek, dan fungsi

No.	Nama Bahan	Konsentrasi	Merek	Fungsi/Kegunaan
1.	Sampel sedimen	16 titik sampel	-	Untuk melihat fraksi dan sebaran sedimen di wilayah penelitian
2.	Foto udara <i>drone</i>	Ketinggian 150 m, <i>overlap</i> 60	-	Untuk visualisasi peta tutupan lahan <i>existing</i>
3.	Data <i>tracking</i> garis pantai	Akurasi 5 m	-	Untuk validasi garis pantai <i>existing</i>
4.	Citra <i>Landsat</i> -8 Lv. 2 tahun 2015, 2020, dan 2025	Resolusi 30 m	<i>Landsat</i>	Untuk analisis perubahan garis pantai <i>multitemporal</i>
5.	Citra Sentinel 2 tahun 2015, 2020, dan 2025	Resolusi 10 m	Sentinel	Untuk visualisasi tutupan lahan <i>multitemporal</i>
6.	Data angin	Periode 2025	<i>Climate Data Store</i>	Untuk visualisasi vektor angin, serta input data pembangkit arus dan gelombang
7.	Data batimetri	Interval 5 m	Rekaman pribadi	Untuk visualisasi peta dan penampang batimetri
8.	Data pasang surut	Interval 1 jam	Rekaman Pribadi	Untuk visualisasi grafik pasut dan komponen pembangkit arus
9.	Larutan Hidrogen Klorida (HCl)	0,1 N	-	Untuk menghilangkan unsur karbonat pada sedimen
10.	Larutan H ₂ O ₂	10%	-	Untuk menghilangkan unsur organik pada sedimen

Tabel 1. Bahan, konsentrasi, merek, dan fungsi (lanjutan)

No.	Nama Bahan	Konsentrasi	Merek	Fungsi/Kegunaan
11.	Sodium Hexametaphosphate (SHMP)	5 g/L	-	Untuk menghilangkan aglomerasi (penggumpalan) sedimen
12.	Aquades	-	-	Untuk membilas sampel sedimen

Tabel 2. Alat, spesifikasi, merek, dan fungsi

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Merek	Fungsi/Kegunaan
1.	GPS <i>handheld</i>	Akurasi 5 m	Garmin	Untuk perekaman data <i>tracking</i> garis pantai dan titik koordinat
2.	Grab <i>sampler</i>	Panjang tali 10 m	-	Untuk mengambil sampel sedimen dasar
3.	Garmin 585	Sonar CHIRP dan ClearVü	Garmin	Untuk Perekaman data batimetri
4.	Drone DJI Phantom 4	Resolusi kamera 12MP, video 4K	DJI	Untuk pengambilan foto udara
5.	Rambu ukur	Panjang rambu 5 M	-	Untuk perekaman data pasang surut
6.	Laptop	RAM 8 GB, Intel Core i7	MSI	Untuk pengolahan data survei
7.	Software ArcGIS	Versi 10.8	ArcMap	Untuk visualisasi peta hasil data survei
8.	Software DSAS	Versi 6.0	DSAS	Untuk analisis perubahan garis pantai
9.	Software Agisoft Metashape	Profesional 64 bit	Agisoft	Untuk mengolah foto udara drone menjadi <i>orthomosaic</i>
10.	Software Drone Harmony	Versi 2.3.0	Drone Harmony	Untuk pembuatan lintasan dan misi <i>drone</i>
11.	Software Surfer	Versi 28	Surfer	Untuk pembuatan penampang batimetri

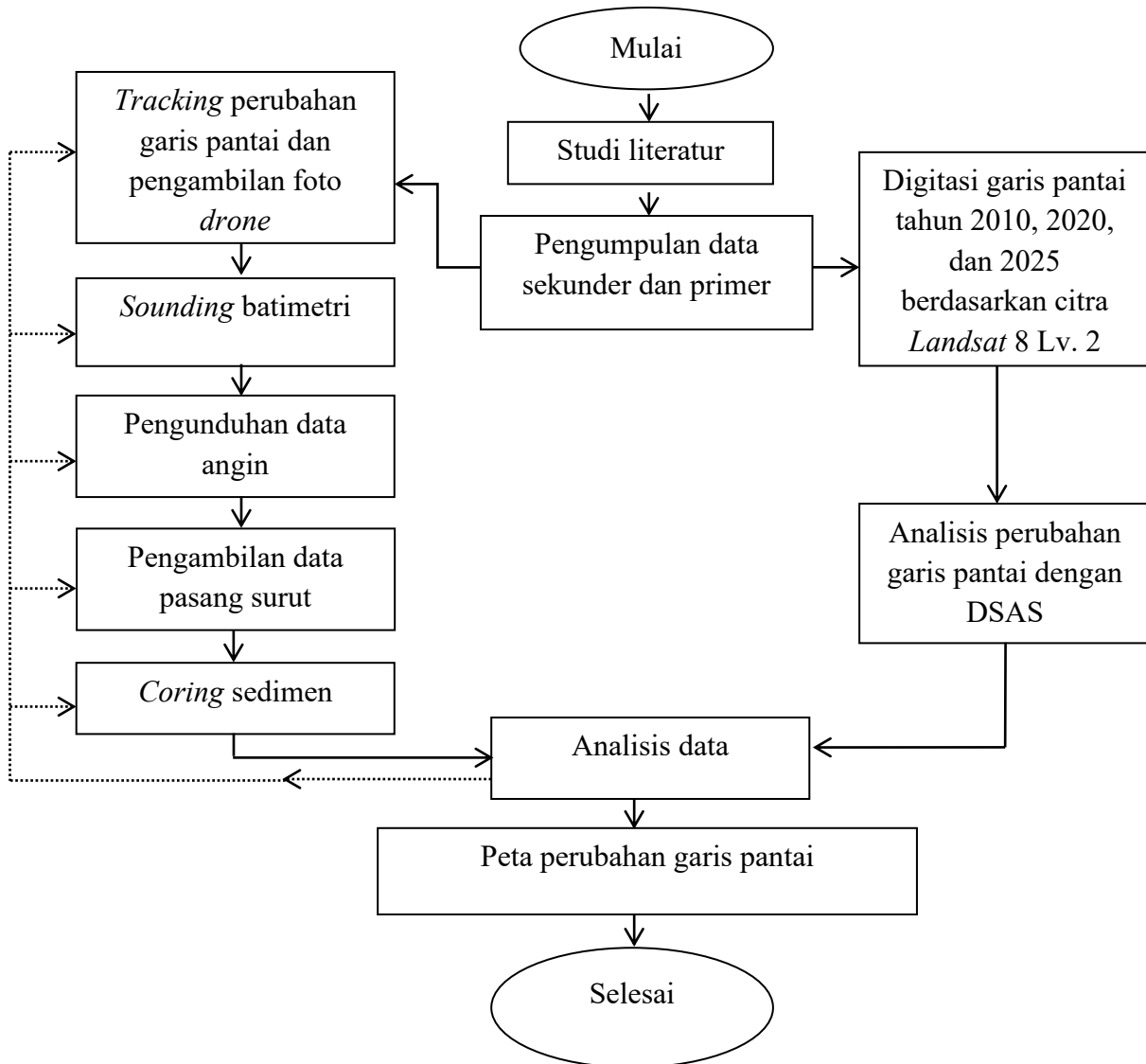
Tabel 2. Alat, spesifikasi, merek, dan fungsi (lanjutan)

No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Merek	Fungsi/Kegunaan
13.	<i>Software</i> Mike 21	Mike 21-3	DHI Mike Zero	Untuk pengolahan data arus, gelombang, dan angin
14.	<i>Software</i> Ms. Excel	Versi 2021	Microsoft	Untuk pengolahan data numerik hasil survei
15.	<i>Software</i> ODV	Versi 5.7.2	Ocean Data View	Untuk visualisasi data kecepatan dan arah arus musiman
16.	Gelas <i>beaker</i>	50 ml, 100 ml, 200 ml, dan 1.000 ml	Pyrex	Untuk preparasi sampel sedimen
17.	Oven	Rentang suhu 20°C - 300°C	Memmert	Untuk mengeringkan sampel sedimen
18.	Timbangan analitik	Ketelitian 0,002 mg – 1 mg	Mettler Toledo	Untuk menghilangkan aglomerasi (penggumpalan) sedimen.
19.	<i>Hotplate</i>	Rentang suhu 380°C - 500°C	Daihan Scientific	Untuk membilas sampel sedimen.
20.	<i>Particle Size Analyzzer</i>	Rentang ukur partikel 10 nm - 3.500 µm	Malvern Panalytical	Untuk analisis <i>grain size</i>

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu pengumpulan data, pengolahan data dan terakhir menganalisis data. Pengolahan citra dilakukan dengan cara digitasi manual garis pantai dengan menggunakan *software* ArcGIS. Selanjutnya pengumpulan data primer (*tracking* garis pantai, pengambilan foto *drone*, batimetri, pasang surut, dan sedimen) dengan melakukan survei di lapangan dan pengunduhan data sekunder (citra satelit *Landsat* 8 Lv. 2 tahun 2015, 2020, dan 2025, gelombang, arus, angin, dan tutupan lahan). Terakhir dilakukan pengolahan data primer dan sekunder dengan *output* visualisasi dalam bentuk peta

serta menganalisis keterkaitan hubungan antara parameter dengan dinamika perubahan garis pantai. Kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir prosedur penelitian.

3.3.1 Pengumpulan Data

Data pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan melalui pengamatan lapang, meliputi: data *tracking* garis pantai, batimetri, pasang surut, sedimen, foto udara *drone* dan dokumentasi lapang. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data angin, gelombang, arus, tutupan lahan, dan citra satelit pesisir Kabupaten Pekalongan tahun 2015-2025.

1. Data Primer

Data primer didapatkan dengan melakukan *marking* lokasi, dokumentasi, survei lapang (pengambilan data *tracking* garis pantai, batimetri, pasang surut, sedimen) dan *ground check*. Sebelum melakukan survei lapang dilakukan pengolahan analisis citra terlebih dahulu untuk mengetahui gambaran awal kondisi daerah penelitian dan menentukan titik-titik *ground check*.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra *Landsat 8* Lv. 2 periode 2015-2025 dengan interval lima tahun. Sebelum dilakukan analisis, dilakukan tahapan koreksi radiometrik, atmosferik, dan geomterik untuk meningkatkan akurasi spasial dan spectral citra satelit. Koreksi radiometrik ditetapkan dengan mengubah nilai *Digital Number* (DN) menjadi reflektansi *top-of-atmosphere* (TOA) sehingga nilai piksel mewakili karakteristik permukaan sebenarnya. Koreksi atmosferik dilakukan menggunakan metode *Dark Object Subtraction* (DOS) untuk mengurangi efek hamburan atmosfer akibat kabut, aerosol, dan uap air. Sementara itu, koreksi geometrik memastikan posisi spasial citra sejajar dengan koordinat bumi menggunakan *Ground Control Point* (GCP) dan sistem proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM). Setelah melakukan proses koreksi dilakukan pemotongan citra untuk membatasi daerah yang akan diolah sesuai dengan lokasi penelitian. Setelah tahap pra pengolahan selesai, proses eks-

traksi garis pantai dilakukan secara otomatis menggunakan metode *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI). MNDWI dihitung dengan persamaan matematis berikut:

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

Di mana *Green (band 3)* mewakili reflektansi pada badan air dan *SWIR (band 6)* yang sensitif terhadap kandungan air dan cenderung menyerap reflektansi pada area perairan, Nilai MNDWI dihitung untuk meningkatkan kontras antara daratan dan perairan, sehingga lebih efektif dibandingkan NDVI dalam identifikasi badan air di wilayah pesisir. Nilai MNDWI yang tinggi (mendekati +1) menunjukkan area perairan, sedangkan nilai rendah atau negatif menunjukkan area daratan atau vegetasi. Batas antara kedua zona inilah yang digunakan untuk penentuan garis pantai (Maulana & Mataburu, 2024). Proses ekstraksi garis pantai dilakukan dengan menggunakan *software* ArcGIS, dengan memanfaatkan *tools Raster Calculator* untuk menghitung nilai MNDWI berdasarkan kombinasi *band 3* dan *band 6* citra *Landsat 8 Lv. 2*, *Reclassify* untuk mengelompokkan hasil MNDWI menjadi dua kelas utama yaitu daratan dan perairan, *Raster to Polygon* untuk mengonversi hasil reklasifikasi raster menjadi vektor poligon, dan *Polygon to Line* untuk mengekstrak batas antara daratan dan perairan menjadi garis pantai.

3.3.2 Pengolahan Data

Survei lapang dilakukan untuk memperoleh data primer yang bersifat aktual dan representatif terhadap kondisi *existing* di lokasi penelitian. Proses *ground check* dilakukan dengan tujuan untuk memvalidasi hasil interpretasi data citra satelit serta memastikan ketelitian posisi geografis dan karakteristik lingkungan pesisir. Semua pengambilan data primer dilakukan dengan mengacu pada protokol survei hidrografi dan oseanografi sesuai standar Badan Informasi Geospasial (BIG, 2023).

1. Data Primer

a). Data *tracking* garis pantai

Data *tracking* garis pantai diperoleh melalui pengukuran batas darat dan laut menggunakan GPS *handheld* dengan akurasi tinggi (≤ 5 m). Pengambilan data dilakukan saat kondisi pasang tertinggi agar batas pantai yang direkam merepresentasikan batas basah yang aktual. Hasil pengukuran disimpan dalam format .gpx atau .csv, yang berisi informasi posisi geografis serta waktu perekaman. Data tersebut kemudian diproses menggunakan *software* ArcGIS untuk menghasilkan *polyline* yang menggambarkan bentuk garis pantai aktual. Proses *overlay* dilakukan dengan data garis pantai dari citra *Landsat 8* Lv. 2 untuk evaluasi akurasi hasil ekstrasi citra melalui metode *shoreline extraction* (Boak et al., 2005).

b). Data batimetri

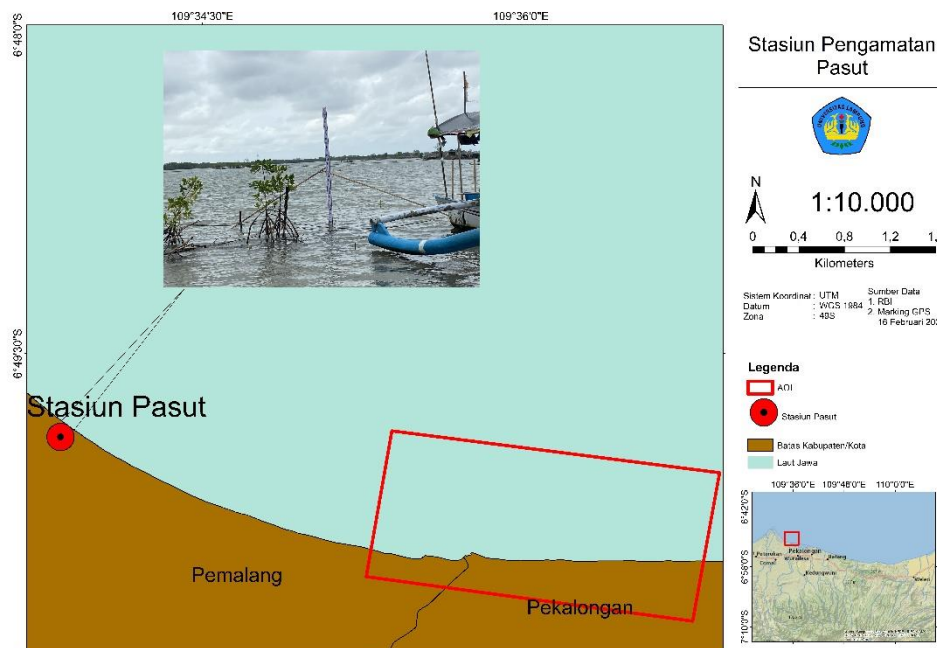
Data batimetri direkam menggunakan Transduser Garmin *sounder 585* yang dipasang pada perahu survei (Gambar 12.). Data hasil perekaman disimpan dalam format .txt atau .csv, yang memuat informasi kedalaman (Z), posisi horizontal (X,Y), dan waktu perekaman. Data posisi dikoreksi menggunakan GPS diferensial untuk mengurangi kesalahan spasial (Laily et al., 2024). Tahap selanjutnya adalah melakukan koreksi pasang surut, menggunakan data pengamatan pasang surut agar hasil kedalaman mengacu pada datum pasang surut terendah (*Lowest Tide*). Data hasil koreksi kemudian diolah dengan *software* Surfer dan ArcGIS untuk menghasilkan peta kontur batimetri.



Gambar 12. *Sounding* batimetri

c). Data pasang surut

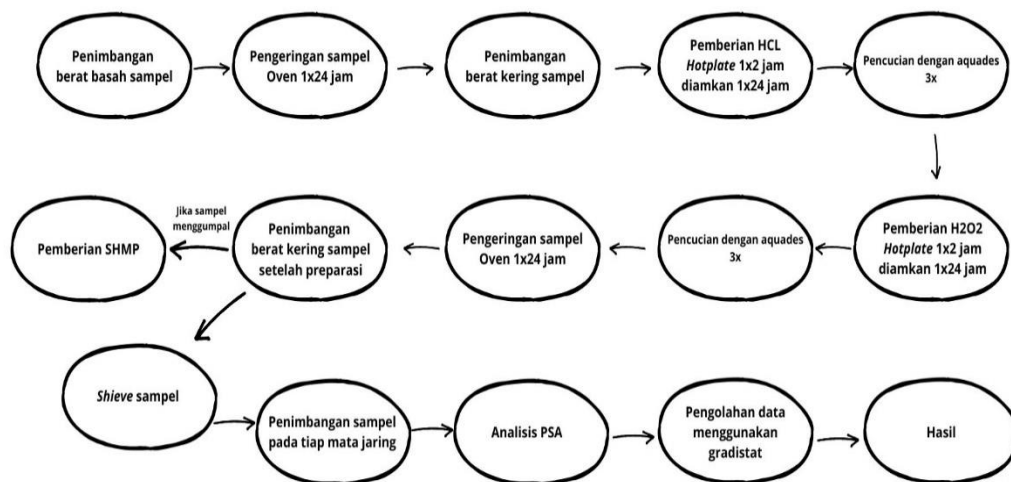
Data pasang surut diperoleh melalui pengamatan langsung menggunakan rambu ukur pasut (*tide staff gauge*) yang dipasang di lokasi pengamatan selama 4 hari saat periode *spring tide*. Pembacaan muka air dilakukan secara periodik setiap 1 jam dengan mencatat waktu pengamatan, tinggi muka air, dan kondisi pasang atau surut. Data hasil pengamatan harian kemudian dikompilasi dalam format .csv untuk memudahkan proses pengolahan. Analisis pasang surut dilakukan menggunakan *software* Excel untuk dilakukan koreksi dengan pasut prediksi dari *software* Garmin MapSource guna menentukan tipe pasut (Kusuma et al., 2024). Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar untuk melakukan koreksi batimetri, sehingga seluruh data kedalaman mengacu pada datum pasut terendah (*Lowest Tide*). Stasiun pasut dipasang di Pantai Kertosari yang berjarak 4 km ke arah barat dari Pantai Sunter Depok Indah. Pemilihan lokasi ini dilakukan untuk menempatkan rambu ukur pada lokasi yang optimal, tidak terkena gangguan seperti gelombang ataupun jalur kapal nelayan, selain itu pemilihan titik penempatan juga dilakukan pada lokasi yang mudah untuk melakukan pemantauan. Peta lokasi titik stasiun pengamatan pasut dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Stasiun pengamatan pasut

d). Data sedimen

Data sedimen diambil menggunakan *grab sampler* pada titik-titik pengamatan yang telah ditentukan dengan menyesuaikan titik pengamatan arus dan gelombang. Setiap sampel sedimen diambil untuk mengetahui lapisan permukaan dasar laut serta distribusi sedimen pada lokasi penelitian. Sampel kemudian disimpan dalam wadah tertutup dan diberi label koordinat lokasi pengambilan. Analisis *Particle Size Analyzer* dilakukan untuk menentukan jenis sedimen, ukuran besar butir, warna dan komposisi mineralnya. Sebelum dilakukan analisis PSA, sampel sedimen harus di preparasi terlebih dahulu dengan tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 14. Hasil analisis kemudian diklasifikasikan menggunakan Skala Wentworth dan segitiga Folk dengan bantuan *software* Gradistat untuk mengidentifikasi tipe sedimen dominan serta keterkaitannya dengan pola arus dan proses sedimentasi di lokasi penelitian (Umar et al., 2020).



Gambar 14. Alur pelaksanaan analisis PSA

f). Data Foto Udara

Pengambilan foto udara dilakukan menggunakan *drone* DJI Phantom 4 (Gambar 15.) sebagai data validasi hasil klasifikasi tutupan lahan di wilayah pesisir Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. Akuisisi data dilakukan saat kondisi cuaca cerah dengan tinggi terbang konstan di 150 m dan jalur terbang berbentuk grid dengan *overlap* 60 untuk memastikan cakupan area yang optimal. Pengambilan foto udara dilakukan secara otomatis dengan membuat perencanaan jalur terbang otomatis menggunakan bantuan *software* Drone Harmony. Citra hasil perekaman kemudian diolah menggunakan *software* Agisoft Metashape melalui proses *align photos* hingga pembuatan *orthomosaic* sehingga menghasilkan citra yang telah terkoreksi geometrik. Selanjutnya, *orthomosaic* digunakan sebagai data referensi untuk membandingkan hasil klasifikasi dengan kondisi aktual guna mengevaluasi akurasi klasifikasi tutupan lahan (Maulidiya et al., 2024).



Gambar 15. *Drone* DJI Phantom 4

2. Data Sekunder

a). Data Angin

Analisis data angin dilakukan sebagai data pendukung untuk memahami dinamika pesisir yang berkontribusi terhadap perubahan garis pantai. Data angin diunduh melalui website <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets>, yang menyediakan parameter kecepatan serta arah angin dalam resolusi temporal dan spasial. Data yang telah diunduh kemudian diolah menggunakan *software* MIKE21 untuk menghasilkan *wind rose*, yang menggambarkan distribusi frekuensi arah dan kecepatan angin selama periode pengamatan. Hasil *wind rose* digunakan untuk mengidentifikasi arah angin dominan yang membangkitkan gelombang dan arus sejajar pantai, sehingga dapat dihubungkan dengan pola abrasi dan akresi yang terjadi (Inaku et al., 2021).

b). Data gelombang

Data gelombang diperoleh secara sekunder melalui pengunduhan data melalui *website Copernicus Climate Data Store (CDS)*, yang menyediakan data oseanografi global berbasis model numerik dan observasi satelit. Parameter gelombang yang digunakan meliputi ketinggian gelombang individu maksimum (*maximum individual wave height*) dan rata-rata arah gelombang (*mean wave direction*) dalam rentang waktu periode 2025 (Astuti & Arrofiqoh, 2024).

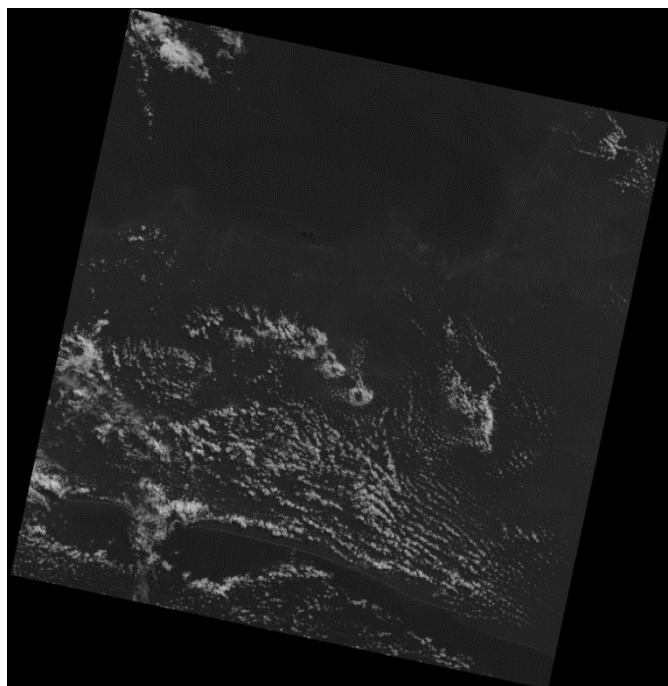
Data yang telah diunduh kemudian dilakukan proses *data cleaning* dan *data processing* menggunakan Excel, meliputi penghapusan *missing values* serta penyeragaman format waktu dan satuan. Selanjutnya, data gelombang diintegrasikan ke dalam sistem informasi geografis menggunakan *software Mike 21* untuk proses visualisasi spasial. Visualisasi dilakukan dalam bentuk model distribusi tinggi dan arah gelombang guna mengidentifikasi pola energi gelombang yang memengaruhi dinamika pesisir (Aldiansyah & Saputra, 2023).

c). Data arus

Analisis dan visualisasi arus serta gelombang dilakukan menggunakan *software MIKE21* dengan pendekatan *Coupled Model FM* yang dapat mengintegrasikan modul hidrodinamika dan spektral gelombang. Model ini mensimulasikan interaksi dua arah antara gelombang dan arus, di mana pembangkitan gelombang oleh angin mengikuti prinsip *wind wave generation* melalui transfer energi angin ke permukaan laut, sementara arus yang dibangkitkan oleh pasang surut. Input model berupa data angin, batimetri, dan kondisi batas diproses untuk menghasilkan *output* tinggi gelombang signifikan, periode, dan arah gelombang, serta kecepatan dan arah arus dalam bentuk peta kontur dan vektor (Causio et al., 2025).

d). Data citra

Garis pantai dari citra *Landsat 8* Lv.2 (Gambar 16.) tahun 2015-2025 dengan interval 5 tahun, kemudian dioverlay untuk dianalisis menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Analisis dilakukan dengan metode *Net Shoreline Movement* (NSM) untuk menghitung jarak perubahan antara garis pantai terlama (*baseline*) dengan garis pantai terbaru, serta metode *Linear Regression Rate* (LRR) untuk mengetahui nilai perubahan garis pantai pada interval periode tahun pengamatan.



Gambar 16. Citra *Landsat 8* Lv.2

e). Data Tutupan Lahan

Metode pengolahan data tutupan lahan dilakukan menggunakan citra Sentinel-2 yang diunduh melalui *website Esri Land Cover*, yang menyediakan data klasifikasi tutupan lahan berbasis *machine learning* dengan resolusi spasial ± 10 m (Gülci et al., 2025). Data raster yang telah diunduh kemudian diolah menggunakan *software* ArcGIS melalui beberapa tahapan, yaitu *clip* untuk membatasi area sesuai wilayah penelitian, *reclassify* untuk menyederhanakan kelas tutupan lahan, serta *raster to polygon* untuk mengonversi data raster menjadi vektor.

Selanjutnya, hasil pengolahan divisualisasikan dalam bentuk peta untuk menggambarkan distribusi tutupan lahan dan dapat digunakan sebagai data pendukung dalam penelitian ini.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Pekalongan periode 2015 – 2025 didominasi oleh proses abrasi yang terjadi secara merata di seluruh transek, dengan nilai *Linear Regression Rate* (LRR) berkisar -41,35 m/tahun hingga -0,55 m/tahun dan rata-rata -8,4 m/tahun, serta nilai *Net Shoreline Move-ment* (NSM) berkisar -413,5 m/10 tahun hingga -55,5 m/10 tahun dengan rata-rata -84,36 m/10 tahun, dengan total wilayah terdampak abrasi mencapai 6.727 ha. Faktor yang paling dominan memengaruhi perubahan garis pantai tersebut adalah gelombang khususnya gelombang pada musim timur yang memiliki energi gelombang lebih besar. Gelombang ini membangkitkan arus sejajar pantai yang berperan dalam proses transpor sedimen sepanjang pantai, menyebabkan perpindahan sedimen secara terus-menerus dan memicu kemunduran garis pantai. Kondisi tutupan lahan pesisir yang minim vegetasi dan konversi lahan yang cukup masif turut memperparah abrasi karena berkurangnya fungsi alami vegetasi dalam meredam energi gelombang dan mengikat sedimen.

5.2 Saran

Pengelolaan wilayah pesisir Kabupaten Pekalongan perlu dilakukan secara terpadu dengan mempertimbangkan dinamika perubahan garis pantai sebagai dasar mitigasi abrasi dan perencanaan kawasan. Pemantauan berkala berbasis penginderaan jauh dan survei lapangan penting untuk mendukung pengelolaan berkelanjutan, serta diperlukan penelitian lanjutan yang mengintegrasikan pengaruh antropogenik, pemodelan numerik, dan fenomena *land subsidence* guna memprediksi perubahan garis pantai di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Fattah, Z., Sangkawati, S., & Suharyanto. (2023). The study of the impact of onshore harbor layout on coastal sedimentation and erosion at Pekalongan Beach. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 25(2), 117-127. 117-127. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v25i1.34922>
- Aldiansyah, S., & Saputra, R. A. (2023). Monitoring shoreline changes for evaluation of regional spatial plans using Google Earth Engine in West Wawonii District. *Jurnal Geografi*, 20(1), 1-8. <https://doi.org/10.15294/jg.v20i1.36768>
- Amalia, F., Zairion, Z., & Atmadipoera, A. S. (2023). Perubahan garis pantai selama 20 tahun (2001-2021) dan prediksi dan adaptasi masyarakat pesisir tahun 2041. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 12(1), 102-110. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i1.53107>
- Amran, M. A., & Daming, W. S. (2023). Estimation of coastal waters turbidity using Sentinel-2 imagery. *Journal of Geodesy and Cartography*, 49(4), 180-185. <https://doi.org/10.3846/gac.2023.18132>
- Anthony, E. (2014). Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: A review. *Journal of Marine Geology*, 361, 53-78. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.12.004>
- Astuti, W. R., & Arrofiqoh, E. N. (2024). Pemetaan perubahan garis pantai menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* di wilayah pesisir Kabupaten Bantul dan Kulon Progo tahun 2019 s/d 2023. *Journal of Geospatial Science and Technology*, 2(2), 35-44. <https://doi.org/10.22146/jgst.v2i2.16172>
- Arifin, Z., & Pramono, G. (2019). Analisis dampak abrasi pantai terhadap ekosistem mangrove di pesisir utara Jawa. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(2), 71-82.

- Atmadipoera, A., Kusmanto, E., Purwandana, A., & Nurjaya, I. (2015). Observation of coastal front and circulation in the northeastern Java Sea, Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(1), 91-108. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v7i1.9786>
- Bahar, H. S., Helmi, M., & Hidayat, J. W. (2025). Analysis of coastal vulnerability to tidal flood disasters using geospatial modelling CVI (Coastal Vulnerability Index) in the coastal areas of Pekalongan district and city. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research*, 4(3), 1439-1450. <https://doi.org/10.55927/fjmr.v4i3.129>
- Badan Informasi Geospasial (BIG). (2023). *Standar operasional survei batimetri perairan dangkal*. Badan Informasi Geospasial
- Bird, E. (2008). *Coastal geomorphology an introduction*. John Wiley & Sons.
- Boak, Elizabeth, H., Turner, & Ian, L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 688-703. [10.2112/03-0071.1](https://doi.org/10.2112/03-0071.1)
- Causio, S., Shirinov, S., Fredico, I., Cillis, G. D., Clementi, E., Mentaschi, L., & Coppini, G. (2025). Coupling ocean currents and waves for seamless cross-scale modeling during Medicane Ianos. *Ocean Science*, 21(3), 1105-1123. <https://doi.org/10.5194/os-21-1105-2025>
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., & Hong, S. (2013). Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 128, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.015>
- Diana, V. F., Prasetyawan, I. B., & Wijaya, Y. J. (2025). Analisis perubahan garis pantai menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) di Pesisir Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 7(2), 128-139. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i2.26219>
- Endarsih, A., Kurniasih, A., & Khomarudin, M. (2025). Analisis perubahan garis pantai menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* untuk mendukung mitigasi pesisir kota Pekalongan, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 26(1), 019-030. <https://doi.org/10.55981/jtl.2025.3960>
- Fahrian, N. A., Ismanto, A., & Saputro, S. (2015). Studi pemetaan batimetri untuk perencanaan pembuatan sabuk pantai di perairan Semarang Utara. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 358-365.

- Gasica, T., & Pratomo, D. (2022). Shallow waters depth estimation using empirical satellite derived bathymetry and sentinel-2 data, case study: east coastal waters of Java Island. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43(3), 93-99. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-93-2022>
- Gülci, S., Wing, M., & Akay, A. E. (2025). Land Use and Land Cover (LULC) mapping accuracy using single-date Sentinel-2 MSI imagery with random forest and classification and regression tree classifiers. *Journal of Geomatics*, 5(3), 1-20. <https://doi.org/10.3390/geomatics5030029>
- Hafizh, A., Sasmito, B., & Awaluddin, M. (2021). Pemetaan sedimen perairan dangkal menggunakan data *multibeam echosounder* (studi kasus: Pantai Kartini, Jepara. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 124-130. [10.14710/jgundip.2021.29633](https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.29633)
- Hanuransyah, M. R., Satriadi, A., Kunarso, Putra, E. B., & Marwoto, J. (2020). Bathymetry and seabed morphology study for determination of ASDP shipping line in Tanjungsau Island Waters, Batam. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(1), 1-6. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i1.7289>
- Hasan, M. Z., Citra, I. A., & Nugraha, A. A. (2019). Monitoring perubahan garis pantai di Kabupaten Jembrana tahun 1997 - 2018 menggunakan *Modified Difference Water Index* (MNDWI) dan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 7(3), 93-102. <https://doi.org/10.23887/jjpg.v7i3.21507>
- Hatayama, T., Awaji, T., & Akitomo, K. (1996). Tidal currents in the Indonesian Seas and their effect on transport and mixing. *Journal of Geophysical Research*, 101(5), 12.353-12.373.
- Hermawan, I., Anggoro, S., Saputra, S., Suherman, A., Gemilang, W., & Wisna, U. (2025). Model based estimation of coastal morphodynamic changes caused by sea toll road development in the northern coast of Java, Indonesia: its implications for sediment dynamics. *Journal of Water Conservation and Management*, 9(3), 481-489. <https://doi.org/10.26480/wcm.03.2025.481.489>
- Himawan, E., Natalie, M. S., Nurholis, Pertiwi, R. P., Khoirunnisa, A., Arrochim, & Iswantono. (2025). Analisis pola arus pasang surut dan perannya dalam transpor sedimen menggunakan *Couple Model* di perairan Pamekasan, selatan Madura, pada bulan Juni 2023. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 7(1), 33-42. <https://doi.org/10.62703/jhi.v7i1.135>

- Holthuijsen, L. (2007). *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge University Press.
- Inaku, D. F., Nurdin, N., & Satari, D. Y. (2021). Perubahan garis pantai pada musim timur dan barat kaitannya dengan karakteristik gelombang di pesisir Kabupaten Takalar. Sulawesi Selatan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(3), 302-310. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i3.11095>
- Irmawan, M., Imaaduddiin, M. H., Alam, R. R., Refani, A. N., & Aini, A. N. (2024). Hydrodynamic analysis-based modeling of coastal abrasion prevention (case study: Pulau Baai Port, Bengkulu). *Journal of Applied Sciences*, 14(2), 940. <https://doi.org/10.3390/app14020940>
- Islam, M. S., Akita, N., Nakamura, T., Cho, Y.-H., & Mitzutani, N. (2022). Experimental investigation on the mechanism of longshore sediment transport using a circular wave basin. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(9), 1-18. <https://doi.org/10.3390/jmse10091189>
- Julianto, F. D., Fathurohman, C. R., Rahmawati, S. D., & Ihsanudin, T. (2020). Shoreline changes after the Sunda Strait tsunami on the coast of Pandeglang Regency, Banten. *International Journal of Remote Sensing and Earth Science*, 17(2), 201-208. <https://doi.org/10.30536/ijreses.v17i2.13820>
- Kartadikaria, A., Miyazawa, Y., Varlamov, S., & Nadaoka, K. (2011). Ocean circulation for the Indonesian seas driven by tides and atmospheric forcings: Comparison to observational data. *Journal of Geophysical Research*, 116(9), 1-21. <https://doi.org/10.1063/1.5055465>
- Katavouta, A., Polton, J. A., Harle, J. D., & Holt, J. T. (2022). Effect of tides on the Indonesian seas circulation and their role on the volume, heat and salt transports of the Indonesian throughflow. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(8), 1-29. <https://doi.org/10.1029/2022JC018524>
- Khakhim, N., Kurniawan, A., Pranowo, W. S., Khasanah, E. U., & Halilintar, P. (2024). Shoreline morphological change prognostic model based on spatiotemporal framework imagery data on the northern coast of Java, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*, 51(4), 100274. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100274>
- Kristanto, O., Ismanto, A., Satriadi, A., Setiyono, H., & Atmodjo, W. (2022). Analisis *longshore current* dan pengaruhnya terhadap transpor sedimen dasar di Perairan Teluk Awur, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 4(1), 59-68. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i1.13163>

- Kusmantoro, Y., Harsono, G., Trismadi, & Fatoni, K. I. (2024). Bathymetric survey using singlebeam echosounder for calculation of dredging volume in Pertamina IV Cilacap port channel. *Formosa Journal of Science and Technology*, 3(12), 2551-2568. <https://doi.org/10.55927/fjst.v3i12.12481>
- Kusuma, A. H., Efendi, E., & Mayagues, H. (2022). Identifikasi sampah anorganik di Desa Gebang, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran. Provinsi Lampung. *Jurnal Perikanan*, 12(4), 575-587. <http://doi.org/10.29303/jp.v12i4.370>
- Kusuma, H. A., Egistian, F., Cintra, A. K., & Setyono, D. E. (2024). Tidal analysis and implementation of an Internet of Things (IoT) sea level monitoring device in coastal region. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(1), 93-102. <https://doi.org/10.14710/jkt.v27i1.21983>
- Lahopang, V. R., Widada, S., & Atmodjo, W. (2023). Sebaran ukuran butir sedimen di muara sungai Sragi baru-Wonokerto, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(1), 18-27. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i1.15628>
- Laily, H. H., Setyawan, F. O., Fuad, M. Z., & Nandika, M. R. (2024). Analisis tingkat akurasi data batimetri menggunakan *Singlebeam Echosounder* system (SBES) dan citra Satelit Spot-7 di perairan Gili Ketapang, Kabupaten Probolinggo. *Jurnal Kelautan*, 19(1), 57-70. <https://doi.org/10.15578/jkn.v19i1.13381>
- Lubis, A. M., Veronica, N., Saputra, R., Sinaga, J., Hasanudin, M., & Kusmanto, E. (2020). Investigasi arus sejajar pantai (*longshore current*) di daerah abrasi Bengkulu Utara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(3), 316-324. <https://doi.org/10.14710/jkt.v23i3.8045>
- Lubis, M. Z., Pujiyati, S., Prasetyo, B. A., & Choanji, T. (2019). Review: bathymetry mapping using underwater acoustic technology. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 4(2), 135-138. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2019.4.2.3127>
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., & Aarninkhof, S. (2018). The State of the World's Beaches. *Scientific Reports*, 8(6641), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>
- Manikape, T. S., Radjawane, I. M., & Mubarrok, S. (2025). Identifikasi komponen pasang surut di perairan dangkal dan periode panjang di wilayah perairan Indonesia. *Jurnal Riset Kelautan Tropis*, 7(2), 147-157. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v7i2.121>

- Maramis, M., Widada, S., & Handoyo, G. (2022). Pengaruh influks sedimen dari sungai terhadap distribusi ukuran butir sedimen dasar di perairan Slamaran, Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2), 1-11. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i2.14007>
- Martin, R. J., Kurniawan, A., Nugroho, E. O., Wijaya, F. S., Muhammad, I. F., Yola, & Fauzi, N. (2022). The effect of land subsidence on hydrodynamic conditions in Pekalongan coast. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* (pp. 1065(1), 012009). IOP Publishing.
- Ma'rufatin, A., Yananto, A., & Pandoe, W. W. (2024). Karakteristik angin wilayah Pesisir Utara Jawa berdasarkan variabilitas monsun. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(1), 20-30. <https://doi.org/10.55981/jtl.2024.2039>
- Masselink, G., & Hughes, M. (2003). *Intoduction to coastal processes and geomorphology*. Hodder Arnold.
- Maulana, A. P., & Mataburu, I. (2024). Shoreline change using digital shoreline analysis system in the coastal district of Banggae. *Jurnal Sains Geografi*, 2(2), 25-38. <https://10.2210/jsg.vx1ix.xxx>
- Maulidiya, E., Fatichah, C., Suciati, N., & Baskoro, F. (2024). Klasifikasiutupan lahan UAV menggunakan *convolutional neural network feature map* dengan kombinasi *machine learning*. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 22(1), 45-55. <https://doi.org/10.12962/j24068535.v22i1.a1214>
- Mentaschi, L., Vousdoukas, M. I., Pekel, J.-F., Voukouvalas, E., & Feyen, L. (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific Reports*, 8(12876), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30904-w>
- Munawaroh, S., Widada, S., Atmodjo, W., & Arifa, A. N. (2025). Analisis granulometri sedimen dasar di muara sungai Kaliancar Kota Mataram Nusa Tenggara Barat. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 7(2), 107-116. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i2.18160>
- Pratama, R. Y., Sulaksana, N., Sukiyah, E., Iskandarsyah, T. W., Novico, F., Zulfahmi, Z., Sudjono, E. H., Ranawijaya, D. (2023). Short-term coastal landscape evolution in Cirebon bay using coastline environment analysis. *Journal of Environment Engineering and Landscape Management*, 31(3), 186-195. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2023.19468>

- Prayogo, L. M., Yuliardi, A. Y., & Spanton, P. I. (2024). Tidal characteristics in the northern coast of Central Java (a case study in Semarang, Indonesia). *Jurnal Ilmu kelautan dan Perikanan*, 3(2), 65-69.
<https://doi.org/10.35891/lempuk.v3i2.5643>
- Purwanto, Sugianto, D. N., Zainuri, M., Permatasari, G., Atmodjo, W., Rochaddi, B., Ismanto, A., Wetchayont, P., Wrasatriya, A. (2021). Seasonal variability of waves within the Indonesian seas and its relation with the monsoon wind. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 26(3), 189-196. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.26.3.189-196>
- Quashigah, P.-N. J., Staneva, J., Chen, W., & Djath, B. (2025). Assessing the role of mangroves in shoreline stabilisation through a what-if modelling framework. *Discover Applied Sciences*, 7(982), 1-24.
<https://doi.org/10.1007/s42452-025-07623-9>
- Rampengan, R. M. (2024). Interpretasi peubah ukuran butir sedimen. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 12(1), 37-45.
<https://doi.org/10.35800/jplt.12.1.2024.55950>
- Retika, F., Sugianto, D. N., & Widiarati, R. (2024). Analisis terjadinya gelombang tinggi akibat pola pergerakan angin terkait keselamatan pelayaran di Perairan Utara Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4), 334-343.
<https://doi.org/10.14710/ijoc.v6i4.24678>
- Rohman, M. S., Afrinaldi, Syauqani, A., & Safira, M. (2025). Prediksi perubahan tutupan lahan di Kabupaten Bogor tahun 2026 menggunakan random forest dengan citra Sentinel-2 terkalifikasi. *Jurnal Tunas Agraria*, 8(2), 192-218. <https://doi.org/10.31292/jta.v8i2.413>
- Roelvink, D., Ormond, M. v., Reyns, J., & Lugt, M. v. (2025). SnapWave: fast, implicit wave transformation from offshore to nearshore. *Journal of Geoscientific Model Development*, 18(23), 9469-9495.
<https://doi.org/10.5194/gmd-18-9469-2025>
- Safikri, I., Zainuri, M., & Ismanto, A. (2025). Hydro-morphological conditions of the coastline post-construction of sea dikes in Pekalongan, Central Java. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(2), 299-308.
<https://doi.org/10.14710/buloma.v14i2.72357>
- Satriadi, A. (2012). Studi batimetri dan jenis sedimen dasar laut di perairan Marina, Semarang, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 1, 53-62.
<https://doi.org/10.14710/buloma.v1i5.6917>

- Solano, C., Turki, E., Mendoza, E., Barceló, A., Hamdi, Y., Laignel, B., & Lafite, R. (2024). Hydrodynamic modelling for simulating nearshore waves and sea levels: classification of extreme events from the English Channel to the Normandy coast. *Journal of Natural Hazards*, 120, 13951-13973. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06699-7>
- Suci, D. R., Widada, S., & Indrayanti, E. (2026). Prediksi Genangan Banjir Rob di Kota Pekalongan Pasca Pembangunan Tanggul Laut. *Indonesian Journal of Oceanography*, 8(1), 91-102. [10.14710/ijoce.v8i1.31162](https://doi.org/10.14710/ijoce.v8i1.31162)
- Sutjipto, Pranowo, W. S., & Prasita, V. D. (2025). Analisis karakter gelombang laut di Selat Madura periode tahun 2024. *J-Tropimar*, 7(2), 79-93. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v7i2.169>
- Supiyati, S., Suwarsono, S., Abdullah, M., & Setiawan, I. (2022). Beach morphology changes due to sediment transport generated by wave and current in the sea waters of Bengkulu City, Indonesia. *Ilmu kelautan*, 27(3), 240-252. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.27.3.240-252>
- Supriyanto, A., Diartonor, D. A., Hartono, B., Jananto, A., & Afandi. (2025). Classification of sea wave heights on the North Coast of Central Java using random forest. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, 6(4), 2263-2280. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2025.6.4.5108>
- Syarifudin, A., Satyanaga, A., Wijaya, M., Moon, S.-W., & Kim, J. (2022). Sediment transport patterns of channels on tidal lowland. *Fluids*, 7(8), 277. <https://doi.org/10.3390/fluids7080277>
- Thirtasari, R. D., Rifai, A., & Atmodjo, W. (2015). Dinamika transformasi gelombang menggunakan model CMS-Wave (*Coastal Modelling System - Wave*) di Pantai Boom Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Oseanografi*, 4(1), 195-205.
- Triatmodjo, B. (2012). *Teknik Pantai*. Beta Offset.
- Turner, I. L., Harley, M. D., & Drummond, C. D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Journal of Coastal Engineering*, 114, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.011>
- Umar, H., Rachman, T., Rahman, S., Paotonan, C., Baeda, A., Taufiqurrahman, & Alkhaer, I. (2020). Analisa ukuran butiran sedimen pantai Desa Aeng Kabupaten Takalar dan Pantai Padongko Kabupaten Barru. *Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 1(1), 15-20. <https://doi.org/10.62012/zt.v1i1.9653>

- Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth-Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>
- Warsidah, Risko, Saputra, D. W., Muliadi, Zibar, Z., & Susianti, H. (2021). Sebaran sedimen berdasarkan analisis parameter ukuran butir di muara sungai Sambas Kalimantan Barat. *Jurnal Geologi Kelautan*, 19(2), 61-71.
[10.32693/jgk.19.2.2021.723](https://doi.org/10.32693/jgk.19.2.2021.723)
- Wicaksono, P., & Hafizt, M. (2013). Integrating remote sensing, GIS, and hydrodynamic model for coastal habitat mapping and change analysis. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 10(1), 1-14.
- Wijaya, F. S., Kurniawan, A., Yuanita, N., Nugroho, E. O., Martin, R. J., Muhammad, I. F., Yola., Fauzi, N. (2022). Numerical modelling of land subsidence effect on coastal sediment transport in Pekalongan. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* (pp. 1065(1), 012022). IOP Publishing. [10.1088/1755-1315/1065/1/012022](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1065/1/012022)
- Wu, Y., Zhao, E., Li, X., & Zhang, S. (2025). Application of wave current coupled sediment transport models with variable grain properties for coastal morphodynamics: a case study of the Changhua River, Hainan. *Ocean Science*, 21(1), 473-495. <https://doi.org/10.5194/os-21-473-2025>
- Yuliana, H., & Risqiana, Z. C. (2024). Analisis metode klasifikasi pemetaan tutupan lahan (*land cover*) di area Kota Bandung menggunakan algoritma *random forest* pada *Google Earth Engine*. *Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 22(2), 97-106.
<https://doi.org/10.55893/epsilon.v22i2.119>
- Yulianto, F., Suwarsono, Maulana, T., & Khomarudin, M. R. (2019). The dynamics of shoreline change analysis based on the integration of remote sensing and geographic information system (GIS) techniques in Pekalongan coastal area, Central Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 6(3), 1789-1802.
<https://doi.org/10.15243/jdmlm.2019.063.1789>