

Dampak Variasi Tinggi Gelombang Laut terhadap Laju Erosi Pantai di Wilayah Pesisir Kalumeme Kabupaten Bulukumba

Andi Yusnandar Pratama^{*1} | Israil² | Andi Makbul Syamsuri²

1 Mahasiswa Program Studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Negara Indonesia.
andiyusnandar3@gmail.com

2 Program Studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Negara Indonesia.
drisrail42770767@gmail.com
amakbulsyamsuri@unismuh.co.id

Korespondensi
*Andi Yusnandar Pratama
andiyusnandar3@gmail.com

ABSTRAK

Abrasi pantai merupakan ancaman serius bagi keberlanjutan wilayah pesisir, khususnya di Kelurahan Kalumeme, Bulukumba, yang mengalami dinamika garis pantai signifikan. Penelitian ini menganalisis pengaruh perubahan tinggi gelombang terhadap abrasi selama 2020–2024 menggunakan pendekatan kuantitatif: analisis data sekunder (angin, gelombang, pasang surut dari BMKG) dan pemodelan spasial dengan *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* di *ArcGIS*. Hasil menunjukkan dominasi arah angin dan gelombang dari Timur (32,87%–50,95%) dan Barat (15,84%–21,64%), dengan fetch efektif terpanjang 29.198 m dari arah barat daya. Tinggi gelombang maksimum 0,56 m terjadi pada Februari 2021, menghasilkan energi gelombang tertinggi. Pemodelan garis pantai mengungkap abrasi sebesar –87,2 m (rata-rata –26,21 m/tahun) dan akresi +194,6 m (+58,5 m/tahun). Korelasi spasial menunjukkan pengaruh kuat tinggi gelombang terhadap laju abrasi, terutama di segmen pantai yang langsung terekspos gelombang dominan. Temuan ini menjadi dasar ilmiah untuk perencanaan mitigasi abrasi berbasis ekosistem maupun struktur pantai yang adaptif terhadap dinamika gelombang.

Kata Kunci:

Abrasi, Tinggi gelombang, *Fetch*, *DSAS*, Kalumeme

ABSTRACT

Coastal abrasion poses a serious threat to the sustainability of coastal areas, particularly in Kalumeme Village, Bulukumba, which experiences significant shoreline dynamics. This study analyzes the effect of wave height changes on abrasion during 2020–2024 using a quantitative approach: secondary data analysis (wind, waves, tides from BMKG) and spatial modeling with the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) in ArcGIS. The results show dominant wind and wave directions from the East (32.87%–50.95%) and West (15.84%–21.64%), with the longest effective fetch of 29,198 m from the southwest. The maximum wave height of 0.56 m occurred in February 2021, generating the highest wave energy. Shoreline modeling revealed abrasion of –87.2 m (average –26.21 m/year) and accretion of +194.6 m (+58.5 m/year). Spatial correlations demonstrate a strong influence of wave height on abrasion rates, particularly in coastal segments directly exposed to dominant waves. These findings provide a scientific basis for ecosystem-based abrasion mitigation planning and coastal structures that adapt to wave dynamics.

Keywords:

Erosion, Wave height, Fetch, DSAS, Kalumeme

1 | PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan kawasan strategis yang memiliki nilai ekologis, ekonomi, dan sosial budaya yang tinggi sebagai zona transisi antara daratan dan lautan (Dahuri, 2001). Keberadaan kawasan ini sering dijadikan pusat berbagai aktivitas manusia, mulai dari perikanan, pariwisata, hingga permukiman, sehingga pengelolaannya memerlukan pendekatan yang berkelanjutan (Bappenas, 2021). Namun, wilayah pesisir juga sangat rentan terhadap dinamika alam, khususnya proses abrasi atau erosi pantai yang mengancam keseimbangan morfologi garis pantai (Armono, 2021). Abrasi didefinisikan sebagai pengikisan daratan oleh energi hidrodinamika laut, seperti gelombang, arus, dan pasang surut, yang secara terus-menerus memindahkan sedimen ke arah laut (Triatmodjo, 2008). Fenomena ini tidak hanya mengurangi luas daratan, tetapi juga berpotensi merusak infrastruktur dan mengganggu mata pencaharian masyarakat pesisir (Sulaiman & Soehardi, 2008).

Proses terjadinya abrasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik gelombang yang terbentuk akibat transfer energi dari angin ke permukaan laut (Setiyono, 2008). Tinggi gelombang, periode, dan arah datangnya gelombang menjadi parameter kunci

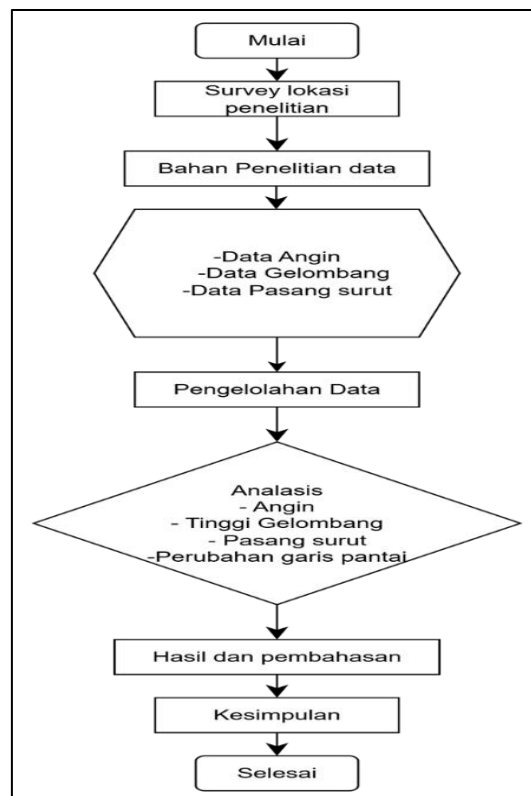
dalam menentukan intensitas energi yang menghantam garis pantai. Selain faktor hidrodinamika, perubahan iklim global dan aktivitas antropogenik turut memperparah laju abrasi melalui kenaikan muka air laut, penurunan suplai sedimen, dan kerusakan ekosistem pelindung alami (BNPB, 2023). Dampak jangka panjang dari ketidakseimbangan ini dapat memicu degradasi habitat pesisir dan perubahan pola sedimentasi yang sulit dipulihkan (Dharma et al., 2022). Oleh karena itu, pemantauan rutin dan analisis kuantitatif terhadap perubahan garis pantai menjadi langkah krusial dalam merumuskan strategi mitigasi yang tepat (Kusumastuti et al., 2023).

Di Indonesia, studi mengenai dinamika pantai telah banyak dilakukan, namun variasi karakteristik lokal menuntut kajian yang lebih spesifik untuk setiap wilayah pesisir (Israil et al., 2023). Penelitian sebelumnya di beberapa lokasi Sulawesi Selatan menunjukkan bahwa dominasi arah angin musim barat dan timur berpengaruh signifikan terhadap pembentukan gelombang dan pola abrasi-akresi (Mappatoba et al., 2024). Analisis frekuensi gelombang dan pemodelan spasial menggunakan teknologi geospasial telah terbukti mampu memberikan gambaran akurat mengenai laju perubahan garis pantai dari waktu ke waktu (Indiani et al., 2018). Namun, data temporal yang terbatas dan kurangnya integrasi antara parameter oseanografi dengan pemetaan digital masih menjadi tantangan dalam penilaian kerentanan pesisir skala lokal (BMKG, 2022).

Pantai Kelurahan Kalumeme, Kabupaten Bulukumba, merupakan salah satu kawasan pesisir yang mengalami indikasi perubahan morfologi akibat dinamika gelombang dan pasang surut. Wilayah ini memiliki karakteristik fetch yang terbuka terhadap arah angin dominan, sehingga potensi energi gelombang yang menghantam pantai cukup signifikan (Ukkas, A 2009). Fluktuasi tinggi gelombang yang terjadi secara musiman maupun tahunan diduga menjadi pendorong utama terjadinya penyusutan daratan di beberapa segmen pantai (Utoyo, 2007). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tinggi gelombang dan pengaruhnya terhadap proses abrasi di pesisir Pantai Kalumeme. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan dalam merancang kebijakan pengelolaan pesisir yang adaptif dan berkelanjutan.

2 | METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis data sekunder. Data primer diperoleh melalui analisis menggunakan perangkat lunak, sedangkan data sekunder berupa data kecepatan angin, arah angin, tinggi gelombang, dan pasang surut selama lima tahun terakhir (2020-2024) yang diperoleh dari BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Paotere Makassar.



GAMBAR 1. Flowchart

2.1 | Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kawasan Pesisir pantai kelurahan kalumeme kecamatan ujung bulu, dengan kurung waktu ± 6 bulan, Kabupaten Bulukumba pada titik koordinat antara 120.13'40,293" BT dan 5.32'1,557" lintang selatan Pantai ini memiliki kondisi pasir yang bertekstur halus dan berwarna putih.



GAMBAR 2. Lokasi Penelitian

2.2 | Jenis Penelitian, Sumber data

Jenis penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif, merupakan metode penelitian menggunakan data berupa angka-angka yang bersifat sistematis dan menggunakan analisis statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Hasil penelitian kemudian diolah dan dianalisis untuk membuat kesimpulan, Penelitian menggunakan data yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) 5 tahun terakhir yaitu 2020- 2024, meliputi kecepatan angin, ketinggian gelombang laut, serta pasang surut.

2.3 | Prosedur Penelitian

- Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan:
- Pengolahan Data Angin: Data angin diolah menggunakan WRPLOT *View* untuk menghasilkan visualisasi *windrose* dan *waverose*, yang menggambarkan distribusi frekuensi arah dan kecepatan angin.
- Perhitungan *Fetch*: Panjang *fetch* efektif dihitung untuk arah angin yang berpotensi menimbulkan gelombang, yaitu barat, barat daya, selatan, tenggara, timur.
- Analisis Data Gelombang: Tinggi gelombang maksimum dianalisis berdasarkan data BMKG, dan periode gelombang dihitung menggunakan metode *hindcasting*.
- Analisis Pasang Surut: Data pasang surut dianalisis menggunakan *Metode Admiralty* untuk menentukan tipe pasang surut dan parameter-parameter seperti HHWL (*Highest High Water Level*) dan LLWL (*Lowest Low Water Level*).
- Pemodelan Perubahan Garis Pantai: Citra satelit dari Google *Earth Pro* didigitasi untuk mendapatkan garis pantai tahunan (2020-2024). Data ini kemudian diimpor ke ArcGIS untuk dianalisis menggunakan fitur *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) guna menghitung laju abrasi dan akresi.

3 | HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 | Angin

Hasil analisis data angin menunjukkan bahwa arah angin dominan di lokasi penelitian adalah dari Timur, dengan frekuensi berkisar antara 32,87% hingga 50,95% selama periode 2020–2024. Arah angin ini, bersama dengan angin dari Barat, memiliki potensi besar dalam pembentukan gelombang karena *fetch* efektif yang panjang. Perhitungan *fetch* efektif menghasilkan nilai tertinggi untuk arah Timur-Barat (29.198 m) dan terendah untuk arah Barat (7.438 m).

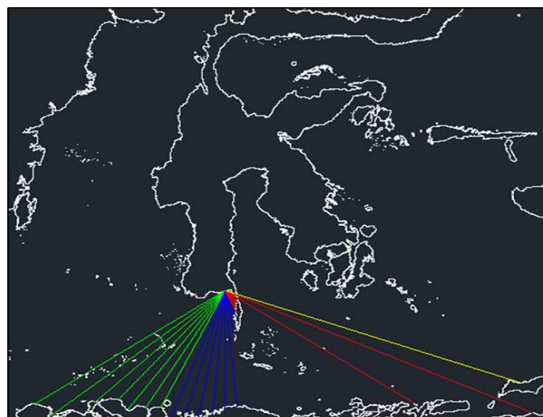
TABEL 1. Persentase kejadian angin berdasarkan interval kecepatan dan mawar angin terendah

No	Directions / Wind Classes (m/s)	0.50–2.10	2.10–3.60	3.60–5.70	5.70–8.80	8.80–11.10	≥11.10	Total (%)
1	337.5–22.5	1.09589	1.36986	2.46575	0	0	0	4.93151
2	22.5–67.5	1.36986	3.56164	5.75342	2.46575	0	0	13.1507
3	67.5–112.5	1.91781	7.94521	15.3425	7.67123	0	0	32.8767
4	112.5–157.5	2.73973	1.91781	0.82192	0	0	0	5.47945
5	157.5–202.5	1.36986	0	0.54795	0	0	0	1.91781
6	202.5–247.5	1.09589	2.19178	5.20548	1.91781	0.82192	0	11.2329
7	247.5–292.5	1.09589	2.73973	3.56164	9.0411	3.83562	1.36986	21.6438
8	292.5–337.5	0.82192	1.91781	2.19178	2.46575	0	0	7.39726
	Sub-Total	11.5068	21.6438	35.8904	23.5616	4.65753	1.36986	98.6301
	Calms							0.27397
	Missing/Incomplete							1.09589

TABEL 2. Persentase kejadian angin berdasarkan interval kecepatan dan mawar angin tertinggi

No	Directions / Wind Classes (m/s)	0.50–2.10	2.10–3.60	3.60–5.70	5.70–8.80	8.80–11.10	≥11.10	Total (%)
1	337.5–22.5	0.54795	1.36986	0.54795	0	0	0	2.46575
2	22.5–67.5	0.27397	1.64384	4.38356	0.27397	0	0	6.57534
3	67.5–112.5	2.46575	7.12329	29.589	11.2329	0.54795	0	50.9589
4	112.5–157.5	1.64384	0.82192	0.82192	0.82192	0	0	4.10959
5	157.5–202.5	0.82192	0	0.54795	0	0	0	1.36986
6	202.5–247.5	0.54795	2.19178	1.64384	2.46575	0.54795	0	7.39726
7	247.5–292.5	1.09589	1.64384	2.46575	12.3288	3.83562	0.54795	21.9178
8	292.5–337.5	0.54795	0.27397	2.19178	1.91781	0	0	4.93151
	Sub-Total	7.94521	15.0685	42.1918	29.0411	4.93151	0.54795	99.726
	Calms							0.27397
	Missing/Incomplete							0
	Total							100

3.2 | Fetch



GAMBAR 3. Panjang *fetch* yang berpotensi menimbulkan gelombang dari arah barat, barat daya, selatan, tenggara, timur

TABEL 3. Perhitungan *fetch* efektif arah barat daya

Arah	Length (m)	α	$\cos \alpha$	F. $\cos \alpha$	F effective (m)
BARAT DAYA	30410	-20	0.93969	28576.05260	29198
	31774	-15	0.96593	30691.32720	
	34127	-10	0.98481	33608.53419	
	33435	-5	0.99619	33307.76973	
	36963	0	1.00000	36963.00000	
	46614	5	0.99619	46436.61966	
	46615	10	0.98481	45906.81341	
	469	15	0.96593	453.01921	
	235	20	0.93969	220.82777	
	Total			8.77324	

$$f_{eff} = \frac{\sum xi \cdot \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = \frac{256164}{8.773242} = 29198 \text{ m}$$

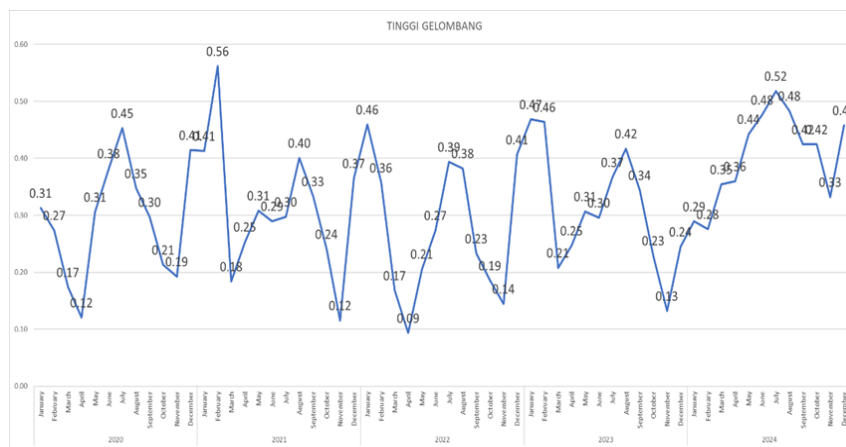
Berikut tabel rekapitulasi *fetch* efektif:

TABEL 4. Rekapitulasi *fetch* efektif

Arah	Derajat	Ferch efektif(m)
Barat	250 s/d 260	186
Barat Daya	205 s/d 245	29198
Selatan	160 s/d 200	22307
Tenggara	115 s/d 155	15373
Timur	95 s/d 110	16447

3.3 | Analisa Data Gelombang

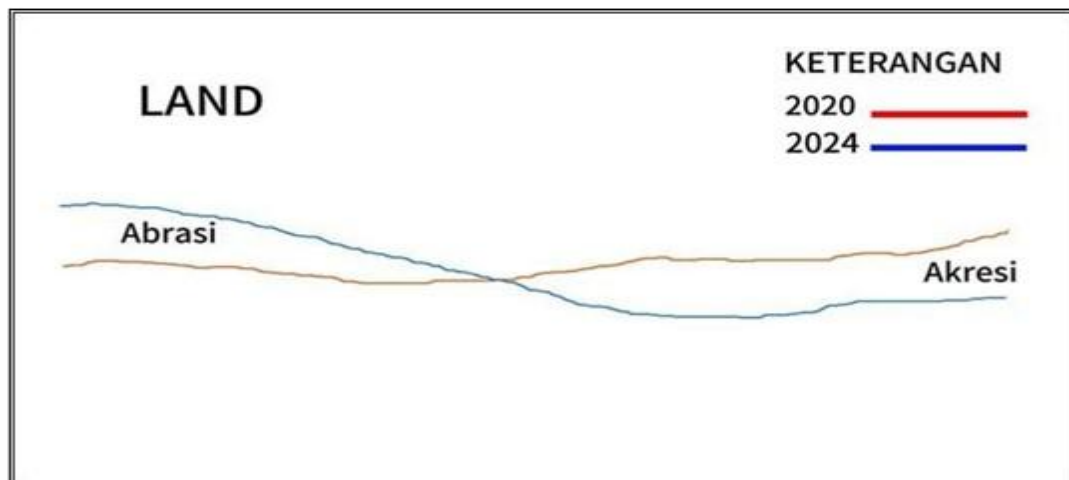
Analisis tinggi gelombang menunjukkan adanya variasi tahunan. Tinggi gelombang maksimum tercatat pada 0,45 m (Juli 2020), meningkat menjadi 0,56 m (February 2021), kemudian 0,46 m (January 2022), 0,47 m (Januari 2023), dan mencapai 0,52 m (Juli 2024). Visualisasi menggunakan *wave rose* memperlihatkan bahwa gelombang dengan tinggi signifikan (0,56 m) berasal dari arah Barat, sementara gelombang tertinggi pada 2024 (0,52 m) berasal dari arah Timur).



GAMBAR 4. Grafik Tinggi Gelombang di pantai Kalumeme

3.5 | Pemodelan Perubahan Garis Pantai dan mengetahui Abrasi dan Akresi pada Aplikasi ArcGIS

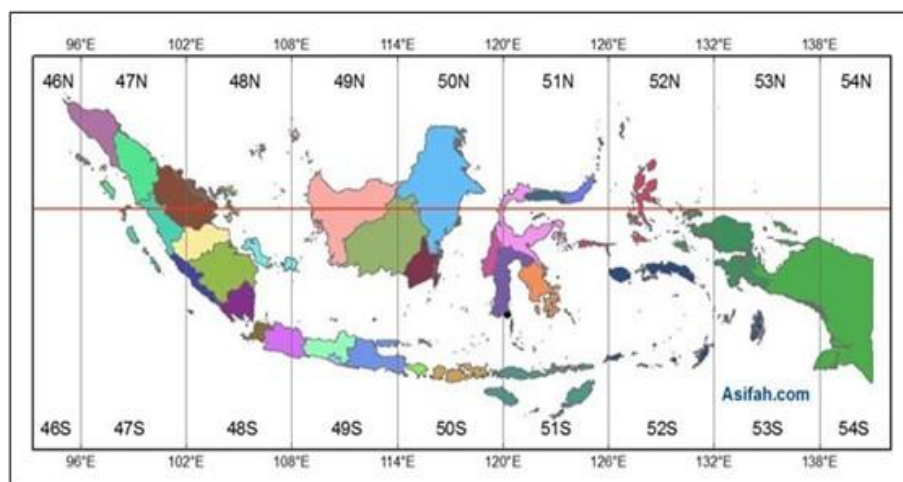
3.5.1 | Tampak Garis Pantai Ujung Batu Yang Telah Di Export Ke ArcGIS



GAMBAR 5. Garis pantai yang telah di Export ke ArcGIS

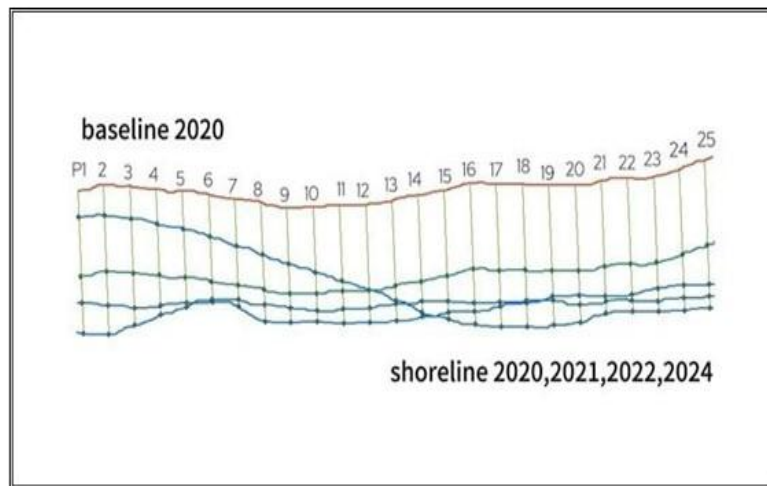
3.5.2 | Membuat Baseline dan Shoreline dan transect (patok) dengan menggunakan pembagian zona UTM wilayah Indonesia

Sistem proyeksi (UTM) *Universal Transverse Mercator* digunakan untuk mempertahankan bentuk, distorsi minimal pada sudut bukan pada luas dan jarak. Masyarakat di Indonesia menggunakan proyeksi UTM tidak hanya diperlukan untuk perhitungan panjang garis pantai, akan tetapi digunakan juga untuk penentuan luas dan visualisasi peta. Oleh karena itu, kita harus mencari dahulu Pantai kalumeme kabupaten bulukumba berada pada zona UTM berapa.



GAMBAR 6. Peta pembagian zona UTM Wilayah Indonesia

Berdasarkan pembagian zona UTM wilayah Indonesia, Pantai Kalumeme berada pada zona 51S. Sehingga yang digunakan dalam pembuatan *baseline* menggunakan WGS 1984 UTM Zone 51S. Dalam pembuatan *shoreline* hampir sama dengan pembuatan *baseline*. *Baseline* menggunakan garis pantai tahun pertama (2020). Sedangkan, *shoreline* tidak. Perbedaan juga ada pada penginputan *Field Name* pada *Feature Class*.



GAMBAR 7. Tampilan garis baseline dan shoreline dan transect (patok)

Garis yang berwarna merah merupakan garis *baseline* yang diambil dari tahun awal garis pantai tahun 2020. Sedangkan, garis yang berwarna biru merupakan garis *shoreline* yang diambil dari garis pantai tahun 2020, 2021, 2022 dan 2024. *Baseline* dijadikan patokan untuk menghitung perubahan garis pantai, dan *shoreline* digunakan untuk menghitung seberapa besar perubahan garis pantai.

3.5.3 | Tabel Analisis pada ArcGIS

TABEL 5. Hasil analisis pada ArcGIS

PATOK	TCD	SCE	NSM	EPR	KET
1	10	36.21	-18.47	-5.55	Abrasi
2	20	36.93	-17.39	-5.23	Abrasi
3	30	33.05	-16.89	-5.08	Abrasi
4	40	28.16	-15.93	-4.79	Abrasi
5	50	24.26	-15.08	-4.53	Abrasi
6	60	20.57	-13.97	-4.2	Abrasi
7	70	18.95	-12.24	-3.68	Abrasi
8	80	20.88	-10.87	-3.27	Abrasi
9	90	18.36	-9.28	-2.79	Abrasi
10	100	15.31	-6.55	-1.97	Abrasi
11	110	13.29	-3.24	-0.97	Abrasi
12	120	10.06	-0.04	-0.01	Abrasi
13	130	11.03	4.56	1.37	Akresi
14	140	11.09	9.67	2.91	Akresi
15	150	13.39	13.39	4.02	Akresi
16	160	17.02	17.02	5.12	Akresi
17	170	17.61	17.61	5.29	Akresi
18	180	17.6	17.6	5.29	Akresi
19	190	16.96	16.96	5.1	Akresi
20	200	16	16	4.81	Akresi
21	210	14.67	14.67	4.41	Akresi
22	220	14.78	14.78	4.44	Akresi
23	230	15.27	15.27	4.59	Akresi
24	240	17.48	17.48	5.25	Akresi
25	250	19.61	19.61	5.89	Akresi

Tabel hasil yang telah dianalisis pada ArcGIS akan ditambahkan keterangan jika nilai NSM < 0 maka terjadi abrasi, dan jika NSM > 0 maka terjadi akresi. Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa terjadi perubahan garis pantai dengan nilai abrasi sebesar -87,2 meter dan akresi sebesar 194,6 meter. Jika dihitung rata-rata perubahan garis pantai akibat pengaruh tinggi gelombang setiap tahunnya, maka diperoleh nilai abrasi sebesar -26,21 meter per tahun dan akresi sebesar 58,5 meter per tahun.

Keterangan:

- *Shoreline Change Envelope* (SCE) menunjukkan jarak perubahan garis pantai dari tahun pertama ke tahun terakhir.
- *Net Shoreline Movement* (NSM) menunjukkan informasi tentang seberapa jauh abrasi dan akresi yang terjadi.
- *End Point Rate* (EPR) menunjukkan data perubahan rata-rata per tahun pada setiap *transect*.

4 | KESIMPULAN

Perubahan Tinggi Gelombang di Pantai Kalumeme Hasil analisis menunjukkan bahwa arah angin dominan di lokasi penelitian (2020–2024) adalah dari Timur (frekuensi 32,87%–50,95%), bersama arah Barat, Barat Daya, Utara, dan Barat Laut, berkontribusi signifikan terhadap pembentukan gelombang karena *fetch* panjang. Tinggi gelombang bervariasi tiap tahun: tertinggi 0,45 m (Juli 2020), 0,56 m (Feb 2021), 0,46 m (Jan 2022), 0,47 m (Jan 2023), dan 0,52 m (Juli 2024), dipengaruhi angin dominan dan pasang surut. Visualisasi *windrose* dan *waverose* mengonfirmasi korelasi kuat antara angin Timur dan barat arah gelombang dominan.

Pengaruh Tinggi Gelombang terhadap Proses Abrasi Hasil analisis perubahan garis pantai di pesisir Pantai Kalumeme periode 2020–2024 dengan menggunakan ArcGIS dan DSAS menunjukkan adanya dinamika pantai yang signifikan berupa abrasi dan akresi. Nilai abrasi tercatat sebesar -87,2 meter dengan rata-rata -26,21 meter per tahun, sedangkan akresi mencapai 194,6 meter dengan rata-rata 58,5 meter per tahun. Perubahan ini terutama dipengaruhi oleh tinggi gelombang dari arah timur dan barat dengan *fetch* yang panjang, sehingga mengakibatkan pengikisan garis pantai hingga 107,77 meter di beberapa segmen yg terjadi abrasi, sekaligus diiringi dengan penambahan daratan akresi 142,23 meter pada segmen lainnya.

Daftar Pustaka

- Armono, H. D. (2021). *Manajemen Pesisir dan Laut*. Surabaya: ITS Press.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2023). *Laporan Bencana Pesisir dan Penanganan Abrasi Nasional*. Jakarta: BNPB.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2022). *Statistik Klimatologi dan Pasang Surut*. Jakarta: BMKG.
- Bappenas. (2021). *Strategi Nasional Penanganan Wilayah Pesisir*. Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas.
- Dahuri, R. (2001). *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Dharma, I. G. P., Wibowo, D. A., & Sari, N. M. (2022). *Dinamika Lingkungan Pesisir dan Laut*. Bandung: CV. Cipta Media.
- Israil, I., Makbul, A., & Kasmawati. (2023). *Kajian Abrasi Pantai di Sulawesi Selatan*. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Indiani, P., Jasin, P. M. 1., & Halim, F. (2018). Analisis Karakteristik Gelombang Di Teluk Amurang Kabupaten Minahasa Selatan. *Jurnal Sipil Statik*, 6(8), 559-568.
- Kusumastuti, Y., Subekti, S., & Ardiansyah, A. (2023). *Analisis Dampak Abrasi Terhadap Infrastruktur Pantai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Mappatoba, A., Fajar, M., Al Imran, H., & Syamsuri, A. M. (2024). Proses Abrasi Akibat Karakteristik Gelombang di Pantai Ujung Batu Kabupaten Barru. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(1), 142-151.
- Setiyono, S. (2008). *Sedimentasi dan Dinamika Pantai*. Bandung: ITB Press.
- Sulaiman, R., & Soehardi, M. (2008). *Ilmu Kelautan Dasar*. Jakarta: Pustaka Rakyat.
- Triatmodjo, B. (2008). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Ukkas, A. (2009). *Studi Tentang Abrasi di Kawasan Pesisir*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Utoyo, H. (2007). *Oseanografi Fisik Dasar*. Bandung: ITB Press.