



Analisis Perbandingan Pengaruh Kedalaman Terhadap Transformasi Gelombang Di Pantai Mokupa Dan Pantai Makatana

Zefanya A. V. Torar^{#a}, Muhammad I. Jasin^{#b}, Jeffry D. Mamoto^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^azefazefanya05@gmail.com, ^bmuhammadjasin@unsrat.ac.id, ^cjeffry.mamoto@unsrat.ac.id

Abstrak

Gelombang laut yang terbentuk dari interaksi antara angin, topografi dasar laut, dan struktur pesisir memiliki dampak signifikan terhadap pantai. Penelitian ini membahas perbedaan transformasi gelombang di Pantai Mokupa dan Pantai Makatana, Kabupaten Minahasa dan Minahasa Utara. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua pantai memiliki perbedaan signifikan dalam proses refraksi, shoaling, tinggi gelombang, dan gelombang pecah. Pada pantai Mokupa berdasarkan hasil Analisis ditemukan, bahwa daerah pembangkit Gelombang terjadi di bulan februari dan di dominasi oleh arah Barat Laut dengan Tinggi Gelombang Signifikan (H_0) sebesar 0,992 m dan Periode gelombang signifikan (T_0) Sebesar 4,785 detik. Sedangkan untuk Pantai Makatana, berdasarkan hasil Analisis ditemukan, bahwa daerah pembangkit Gelombang terjadi juga pada bulan februari dan di dominasi oleh arah Barat Laut dengan Tinggi Gelombang Signifikan (H_0) sebesar 0,481 m dan Periode gelombang signifikan (T_0) Sebesar 3,471 detik. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan bathimetri dan kedalaman laut di kedua pantai. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang mendalam mengenai perbandingan dalam transformasi gelombang di kedua lokasi, serta untuk merumuskan rekomendasi yang dapat memperbaiki pengelolaan pesisir dan infrastruktur terkait di kedua pantai tersebut.

Kata kunci: transformasi gelombang, Pantai Mokupa, Pantai Makatana

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Proses transformasi gelombang berupa proses refraksi, refleksi, difraksi, shoaling, dan gelombang pecah. Proses – proses tersebut mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai (Triatmodjo, 1999). Pantai Mokupa dan Pantai Makatana, yang terletak di Kabupaten Minahasa dan Minahasa Utara ini masing-masing menghadapi tantangan terkait transformasi gelombang. Pantai Mokupa, yang terletak sepanjang jalan Trans Sulawesi, sering mengalami gelombang tinggi pada bulan November hingga Februari akibat angin kencang (Paskal, 2024). Di sisi lain, Pantai Makatana, yang terletak di Kampung Ambong dan berfungsi sebagai tempat bersandarnya kapal nelayan, menghadapi masalah serupa. Menurut peneliti terdahulu (Cecilia s, 2024) Gelombang tinggi yang sering terjadi pada akhir tahun memperburuk kondisi pesisir, terutama karena kurangnya struktur pengaman pantai dan dampak erosi yang mengurangi garis pantai setiap tahunnya. Analisis perbandingan pengaruh kedalaman terhadap transformasi gelombang di kedua pantai ini sangat penting untuk memahami perbedaan dampak dan karakteristik gelombang yang terjadi. bertujuan untuk memberikan wawasan yang mendalam mengenai perbandingan dalam transformasi gelombang di kedua lokasi, serta untuk merumuskan rekomendasi yang dapat memperbaiki pengelolaan pesisir dan infrastruktur terkait di kedua pantai tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pengaruh kedalaman, bagaimana perbandingan Transformasi Gelombang yang terjadi di Pantai Mokupa dan Pantai Makatana?

1.3 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah yang dipakai dalam penelitian ini, dalam rangka membatasi ruang lingkup penelitian yaitu sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini terbatas pada ruang lingkup daerah Pantai Mokupa dan Pantai Makatana
2. Penelitian ini hanya terbatas pada pengaruh kedalaman terhadap Transformasi gelombang.
3. Tidak menganalisa Proses Difraksi.
4. Data analisis menggunakan data sekunder.

1.4 Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui Perbandingan Pengaruh Kedalaman Terhadap Transformasi Gelombang yang terjadi di Pantai Mokupa dan Pantai Makatana.

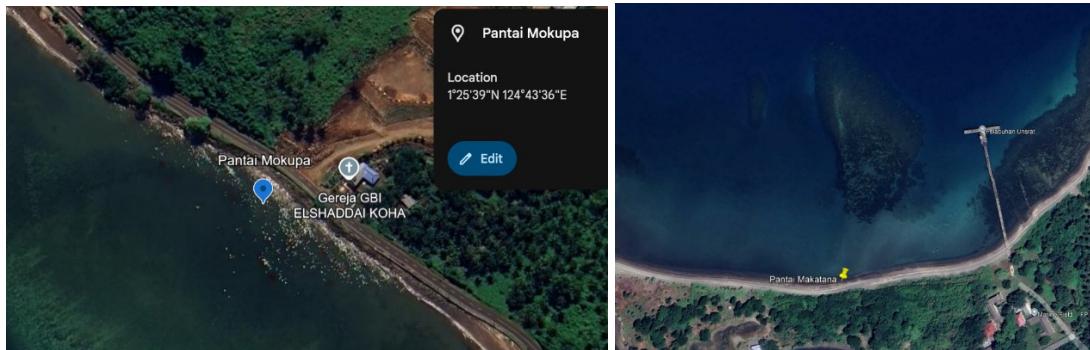
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari Penelitian yang dilakukan, untuk mendapatkan pemahaman mendalam mengenai Transformasi Gelombang dalam teknik pantai, sehingga dapat menjadi sumber informasi untuk perencanaan dan desain teknik sipil yang lebih baik dan juga sebagai sumber informasi untuk masyarakat sekitar dalam manajemen sumber daya pesisir yang berkelanjutan.

2. Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Pantai Mokupa, Kec. Tombariri, Kab. Minahasa dan Pantai Makatana, Kampung Ambong, Kec. Likupang Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian; Google Earth

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilaksanakan dengan cara mengunjungi lembaga-lembaga atau instansi-instansi terlibat sebagai sumber data untuk dimintai keterangan dan data-data yang berhubungan dengan studi ini, ataupun dengan menggunakan software-software penunjang.

Data – data yang dimaksud meliputi:

- Data kecepatan angin minimal 10 tahun terakhir dari data sekunder.
- Peta satelit dari software Google Earth.
- Foto citra satelit dari software Google Earth.
- Data Batimetri dari Gebco menggunakan software Global Mapper

2.3 Metode Analisis Pengumpulan Data

- Data Angin

Untuk peramalan gelombang diperlukan data angin. Data angin yang akan dipakai minimal data bulanan dalam 10 tahun. Data angin dalam studi ini diambil dari data sekunder. Yang diperlukan dari data angin untuk digunakan dalam peramalan gelombang yaitu kecepatan, arah dan durasi. Kecepatan angin dinyatakan dalam satuan knot, dimana 1 knot = 0,515 meter/detik. Arah angin dinyatakan dalam 8 penjuru arah angin (Utara, Timur laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, Barat Laut).

- Peta Lokasi

Dalam peramalan gelombang, perlu diketahui berapa panjang fetch efektif dari tiap arah utama. Sehingga dalam perhitungan fetch memerlukan peta lokasi.

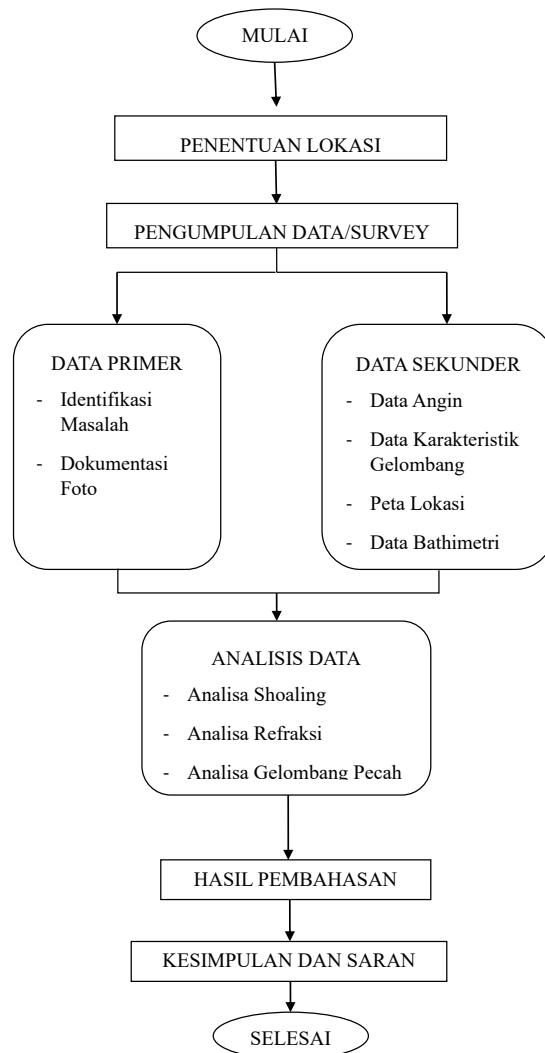
- Foto Citra Satelit

Foto Citra Satelit dari software Google Earth diperlukan untuk mengetahui posisi daerah studi.

- Data Bathimetri

Data Bathimetri didapat dari Website <https://download.gebco.net/> kemudian akan dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan Global Mapper

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1 Gambaran Umum Pantai

Pantai sering rancu dalam pemakaiannya yaitu antara coast (pesisir) dan shore (pantai). Definisi coast (pesisir) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan shore (pantai) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi dan surut terendah.

Berdasarkan karakteristiknya, daerah yang terbentang ke arah pantai memiliki definisi yaitu:

- a. Offshore yaitu daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut.
- b. Breakear zone yaitu daerah dimana gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketidak-stabilan dan pecah. Daerah ini juga sering disebut sebagai daerah gelombang pecah.
- c. Surf zone yaitu daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik-turunnya gelombang di pantai. Pantai yang landai memiliki surf zone yang lebar.
- d. Swash zone yaitu daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai.

3.2 Angin

Angin merupakan sirkulasi yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi (Bambang Triyatmodjo, 1999). Angin terjadi akibat adanya perubahan ataupun perbedaan suhu antara suatu tempat dengan tempat yang lain. Salah satu contoh yang dapat diambil adalah perubahan suhu yang terjadi antara daratan dan lautan. Daratan cenderung lebih cepat menerima dan melepaskan panas. oleh sebab itu, maka siang hari terjadi angin laut yang diakibatkan oleh naiknya udara daratan yang digantikan oleh udara dari darat. Dan pada malam hari terjadi sebaliknya, yaitu terjadi angin darat yang di akibatkan oleh naiknya udara di laut dan di gantikan oleh udara dari darat.

3.3 Gelombang Laut

Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang. Gelombang juga dapat diakibatkan oleh gaya tarik benda – benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi yang disebut gelombang pasang surut.

Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air, Gelombang yang bergerak dari laut dalam menuju pantai mengalami berbagai perubahan akibat interaksi dengan kedalaman perairan yang bervariasi.

Perubahan ini meliputi perubahan tinggi gelombang, kecepatan gelombang, dan bentuk gelombang, yang semuanya berdampak pada karakteristik dan dinamika pantai.

Perubahan tersebut atau yang disebut Transformasi Gelombang dapat berupa:

- Refraksi Gelombang
- Difraksi Gelombang
- Shoaling
- Gelombang Pecah

a. Refraksi

Refraksi gelombang adalah proses berbeloknya arah gerak gelombang akibat perubahan kedalaman pada daerah yang di lewati gelombang tersebut. Proses berbeloknya arah gelombang ini dapat menyebabkan perubahan tinggi gelombang. Refraksi gelombang adalah proses berbeloknya arah gerak gelombang akibat perubahan kedalaman pada daerah yang di lewati gelombang tersebut. Proses berbeloknya arah gelombang ini dapat menyebabkan perubahan tinggi gelombang.

b. Shoaling

Shoaling adalah peningkatan tinggi gelombang akibat perubahan kecepatan gelombang pada saat gelombang merambat dari air dalam ke air dangkal. Pada kondisi air dalam, gerakan partikel hanya mencapai separoh kedalaman. Tetapi pada air dangkal gerakan partikel gelombang makin berkurang, hal ini diikuti oleh peningkatan tinggi gelombang.

c. Gelombang Pecah

Jika gelombang menjalar dari tempat yang dalam menuju ke tempat yang makin lama makin dangkal, pada suatu lokasi tertentu gelombang tersebut akan pecah. Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang. Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3.3 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{1/3}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.10)$$

Kedalaman air di mana gelombang pecah diberikan oleh rumus berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{a H_b}{g T} \right)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai m dan di berikan oleh persamaan berikut:

$$a = 43.75(1 - e^{19m}) \quad \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

$$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5m})} \quad \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

Di mana:

H_b : tinggi gelombang pecah

H'_0 : tinggi gelombang laut dalam ekivalen

L_0 : panjang gelombang di laut dalam

d_b : kedalaman air pada saat gelombang pecah

m : kemiringan dasar laut

g : percepatan gravitasi

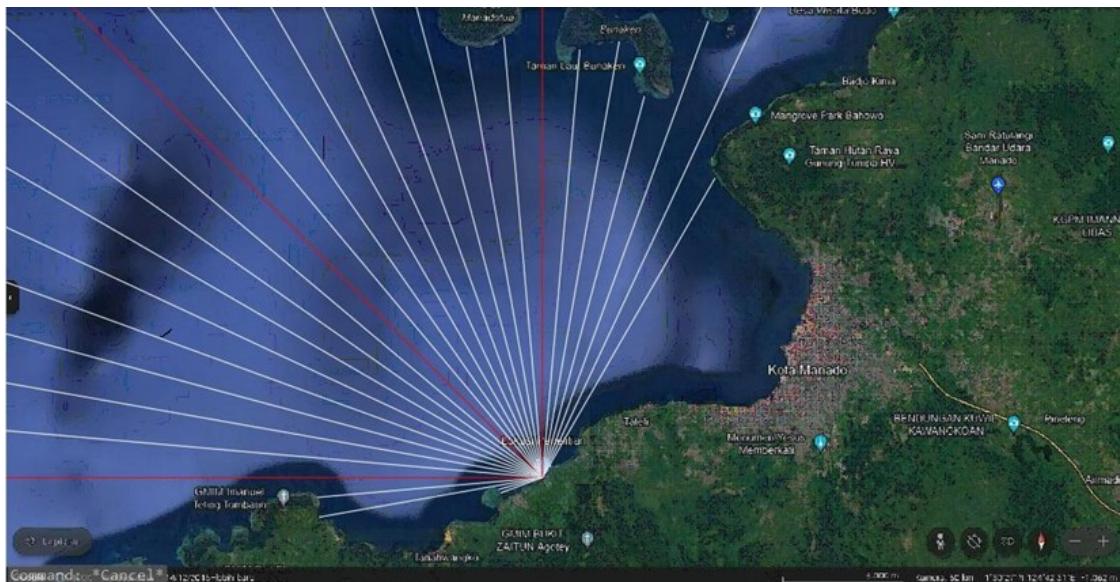
T : periode gelombang

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Fetch Efektif

Perhitungan Fetch dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3, dan Tabel 1 dan Tabel 2.

4.1.1 Perhitungan Fetch Pantai Mokupa

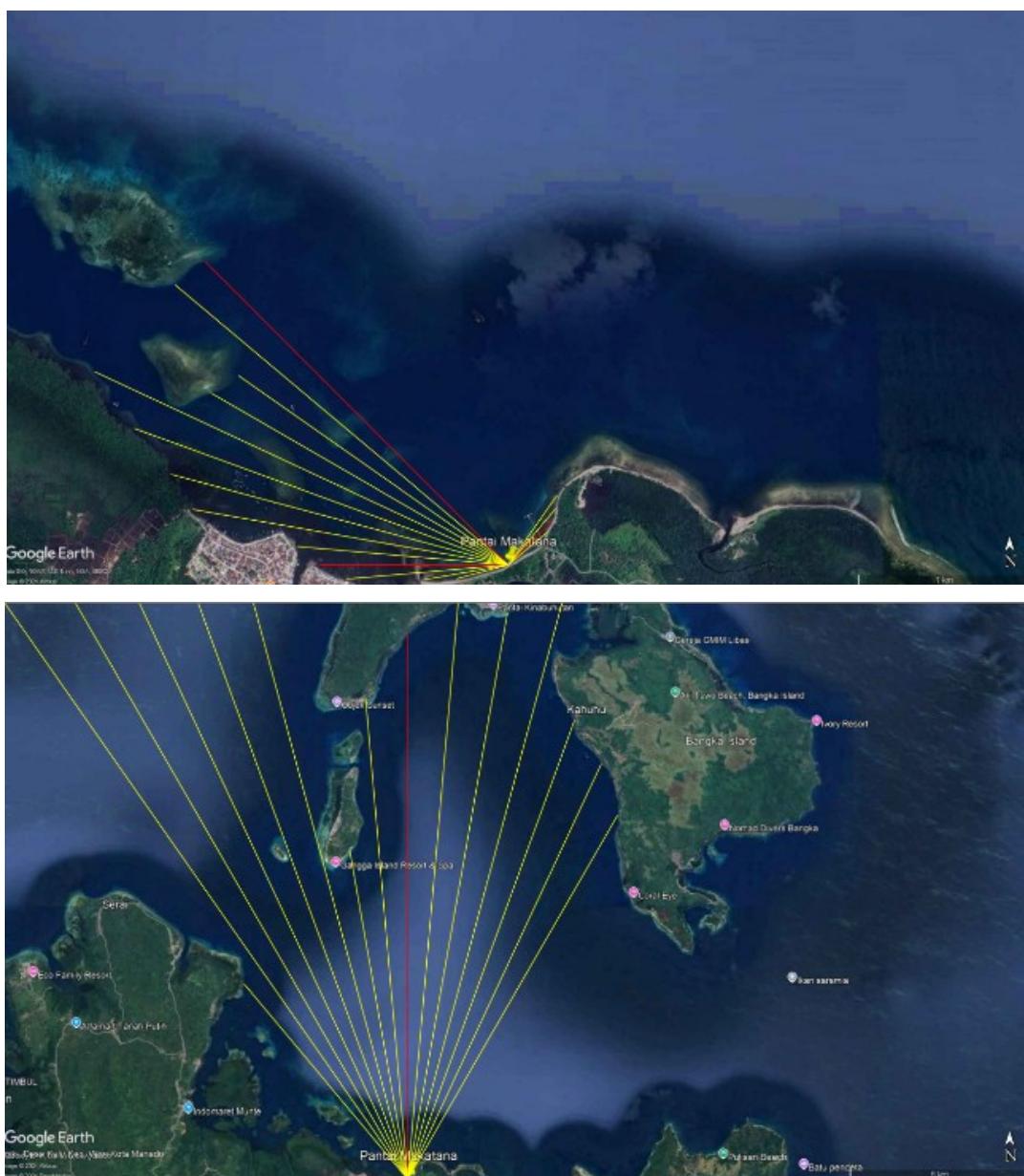


Gambar 3. Fetch Pantai Mokupa

Tabel 1. Perhitungan Fetch Efektif Pantai Mokupa
(Sumber: Aryandi P. Sumajow)

PERHITUNGAN FETCH						
Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya (m)	Jarak Sebenarnya (km)	Fcos(α)	cos(α)	Feff (km)
UTARA (N)	-20	200000	200	188	0,94	80,85
	-15	200000	200	193	0,966	
	-10	21788	21,788	21	0,985	
	-5	22008	22,008	22	0,996	
	0	200000	200	200	1	
	5	21429	21,429	21	0,996	
	10	22053	22,053	22	0,985	
	15	19672	19,672	19	0,966	
	20	24200	24,2	23	0,94	
TIMUR LAUT (NE)	-20	200000	200	188	0,94	43,442
	-15	200000	200	193	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,94	
TIMUR (E)	-20	0	0	0	0,94	0
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,94	
TENGGARA (SE)	-20	0	0	0	0,94	0
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,94	
SELATAN (S)	-20	0	0	0	0,94	0
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,94	
BARAT DAYA (SW)	-20	0	0	0	0,94	0
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
	20	0	0	0	0,94	
BARAT (W)	-20	200000	200	188	0,94	114,427
	-15	200000	200	193	0,966	
	-10	200000	200	197	0,985	
	-5	200000	200	199	0,996	
	0	200000	200	200	1	
	5	11249	11,249	11	0,996	
	10	11292	11,292	11	0,985	
	15	2273	2,273	2	0,966	
	20	2184	2,184	2	0,94	
BARAT LAUT (NW)	-20	200000	200	188	0,94	200
	-15	200000	200	193	0,966	
	-10	200000	200	197	0,985	
	-5	200000	200	199	0,996	
	0	200000	200	200	1	
	5	200000	200	199	0,996	
	10	200000	200	197	0,985	
	15	200000	200	193	0,966	
	20	200000	200	188	0,94	
Feff (total)					438,718	
Feff (dominan)					200	

4.1.2 Perhitungan Fetch Pantai Makatana



Gambar 4. Fetch Pantai Makatana

Tabel 2. Perhitungan Fetch Efektif Pantai Makatana
(Sumber: Hasil Analisis 2024)

PERHITUNGAN FETCH						
Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya		Fc $\cos(\alpha)$	$\cos(\alpha)$	F e_{eff} (km)
		(m)	(km)			
UTARA (N)	-20	200000	200	188	0,940	76,679
	-15	200000	200	193	0,966	
	-10	11110	11,11	11	0,985	
	-5	16070	16,07	16	0,996	
	0	18160	18,16	18	1,000	
	5	19260	19,26	19	0,996	
	10	19140	19,14	19	0,985	
	15	200000	200,00	193	0,966	
TIMUR LAUT (NE)	20	16250	16,25	15	0,940	3,349
	-20	15250	15,25	14	0,940	
	-15	13990	13,99	14	0,966	
	-10	490	0,49	0	0,985	
	-5	420	0,42	0	0,996	
	0	350	0,35	0	1,000	
	5	290	0,29	0	0,996	
	10	0	0,00	0	0,985	
TIMUR (E)	15	0	0,00	0	0,966	0,000
	20	0	0,00	0	0,940	
	-20	0	0,00	0	0,940	
	-15	0	0,00	0	0,966	
	-10	0	0,00	0	0,985	
	-5	0	0,00	0	0,996	
	0	0	0,00	0	1,000	
	5	0	0,00	0	0,996	
TENGGARA (SE)	10	0	0,00	0	0,985	0,000
	15	0	0,00	0	0,966	
	20	0	0,00	0	0,940	
	-20	0	0,00	0	0,940	
	-15	0	0,00	0	0,966	
	-10	0	0,00	0	0,985	
	-5	0	0,00	0	0,996	
	0	0	0,00	0	1,000	
SELATAN (S)	5	0	0,00	0	0,996	0,000
	10	0	0,00	0	0,985	
	15	0	0,00	0	0,966	
	20	0	0,00	0	0,940	
	-20	0	0,00	0	0,940	
	-15	0	0,00	0	0,966	
	-10	0	0,00	0	0,985	
	-5	0	0,00	0	0,996	
BARAT DAYA (SW)	0	0	0,00	0	1,000	0,000
	5	0	0,00	0	0,996	
	10	0	0,00	0	0,985	
	15	0	0,00	0	0,966	
	20	0	0,00	0	0,940	
	-20	0	0,00	0	0,940	
	-15	0	0,00	0	0,966	
	-10	0	0,00	0	0,985	
BARAT (W)	-5	0	0,00	0	0,996	1,138
	0	1090	1,09	1	1,000	
	5	1230	1,23	1	0,996	
	10	1860	1,86	2	0,985	
	15	2030	2,03	2	0,966	
	20	2310	2,31	2	0,940	
	-20	2650	2,65	2	0,940	
	-15	1990	1,99	2	0,966	
BARAT LAUT (NW)	-10	1910	1,91	2	0,985	68,143
	-5	2530	2,53	3	0,996	
	0	2490	2,49	2	1,000	
	5	8480	8,48	8	0,996	
	10	200000	200	197	0,985	
	15	200000	200	193	0,966	
	20	200000	200	188	0,940	
		F e_{eff} (total)			149,310	
		F e_{eff} (dominan)			76,679	

4.2 Analisa Angin

Perhitungan Analisa Angin diperlukan untuk mendapatkan nilai Faktor Tegangan Angin (UA) di kedua Pantai yaitu, Pantai Mokupa dan Pantai Makatana. Perhitungan Faktor Tegangan Angin Pada Tahun 2019.

4.2.1 Perhitungan Faktor Tegangan Angin Pantai Mokupa

Tabel 3. Faktor Tegangan Angin Pantai Mokupa
(Sumber: Aryandi P. Sumajow)

Perhitungan Wind Stress Factor / Faktor Tegangan Angin					Z =	10
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	$U_{10} = Uz \left(\frac{10}{Z} \right)^{\frac{1}{7}}$	Z =	±
					RT	1,1
2019						
Januari	S	5,067	5,10	5,07	1,40	7,80
Februari	NW	5,496	5,50	5,5	1,38	8,34
Maret	S	4,167	4,20	4,17	1,48	6,78
April	SE	3,459	3,50	3,46	1,55	5,90
Mei	S	2,357	2,40	2,36	1,69	4,38
Juni	S	2,224	2,20	2,22	1,71	4,18
Juli	S	3,201	3,20	3,2	1,59	5,60
Agustus	S	3,884	3,90	3,88	1,51	6,45
September	S	3,855	3,90	3,86	1,51	6,40
Oktober	S	1,947	1,90	1,95	1,79	3,83
November	SW	2,699	2,70	2,7	1,65	4,90
Desember	SW	3,482	3,50	3,48	1,55	5,94

4.2.2 Perhitungan Faktor Tegangan Angin Pantai Makatana

Tabel 4. Faktor Tegangan Angin Pantai Makatana
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Perhitungan Wind Stress Factor / Faktor Tegangan Angin					Z =	10
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	$U_{10} = Uz \left(\frac{10}{Z} \right)^{\frac{1}{7}}$	Z =	±
					RT	1,1
2019						
Januari	S	2,785	2,80	2,79	1,63	4,99
Februari	N	2,881	2,90	2,88	1,62	5,13
Maret	S	2,473	2,50	2,47	1,68	4,57
April	SE	1,940	1,90	1,94	1,79	3,82
Mei	S	1,363	1,40	1,36	1,87	2,80
Juni	S	1,610	1,60	1,61	1,84	3,26
Juli	S	2,259	2,30	2,26	1,70	4,22
Agustus	S	2,758	2,80	2,76	1,63	4,95
September	S	2,565	2,60	2,57	1,66	4,68
Oktober	S	1,261	1,30	1,26	1,89	2,62
November	SW	1,295	1,30	1,30	1,89	2,69
Desember	SW	1,995	2,00	2,00	1,78	3,91

4.3 Hindcasting Gelombang

Hindcasting gelombang dilakukan untuk setiap data angin maksimum harian selama 5 tahun. Dari hasil hindcasting ini disusun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan dari tahun 2019 s/d 2023.

4.3.1 Hindcasting Gelombang Pantai Mokupa

Tabel 5. Rekapitulasi arah, tinggi dan periode gelombang dari Masing–masing Fetch berdasarkan Hindcasting Gelombang tahun 2019 s/d 2023 Pantai Mokupa
(Sumber: Aryandi P. Sumajow)

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Tiap Bulan	
		NW	W	-	-	Arah	H - T
JANUARI	H (m)						0
	T (det)						0
FEBRUARI	H (m)	0,992				NW	0,992
	T (det)	4,785					4,785
MARET	H (m)						0
	T (det)						0
APRIL	H (m)						0
	T (det)						0
MEI	H (m)						0
	T (det)						0
JUNI	H (m)						0
	T (det)						0
JULI	H (m)						0
	T (det)						0
AGUSTUS	H (m)						0
	T (det)						0
SEPTEMBE R	H (m)						0
	T (det)						0
OKTOBER	H (m)						0
	T (det)						0
NOVEMBER	H (m)						0
	T (det)						0
DESEMBER	H (m)	0,787				W	0,787
	T (det)	4,176					4,176
MAX TIAP ARAH	H (m)	0,992	0,787	0	0	NW	0,992
	T (det)	4,785	4,176	0	0		4,785

Dari tabel rekapitulasi yang ada di atas, kemudian diketahui bahwa gelombang dominan dan maksimum berasal dari arah Barat Laut. Dengan tinggi Gelombang Sgnifikan (H_0) sebesar 0,992 m dan periode Gelombang Signifikan (T_0) sebesar 4,785 detik. Dengan daerah pembangkit dominan arah Barat Laut.

4.3.2 Hindcasting Gelombang Pantai Makatana

Hindcasting gelombang pantai Makatana ditunjukkan pada Tabel 6. Dari tabel rekapitulasi yang, kemudian diketahui bahwa gelombang dominan dan maksimum berasal dari arah Utara. Dengan tinggi Gelombang Sgnifikan (H_0) sebesar 0,481 m dan periode Gelombang Signifikan (T_0) sebesar 3,471 detik. Dengan daerah pembangkit dominan arah Utara.

4.4 Analisa Transformasi Gelombang

Analisa Transformasi Gelombang ini menggunakan Data Sekunder dan Data yang di Analisis. dimana Data tersebut digunakan sebagai dasar perbandingan Transformasi gelombang di lokasi Pantai Mokupa dan Pantai Makatana.

Tabel 6. Rekapitulasi Arah, Tinggi dan Periode Gelombang dari Masing–masing Fetch berdasarkan Hindcasting Gelombang tahun 2019 s/d 2023 Pantai Makatana
(Sumber: Aryandi P. Sumajow)

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang				Max Ting Bulan	
		N	E	SE	W	Arah	H - T
JANUARI	H (m)				0,116	N	0,116
	T (det)				1,355		1,355
FEBRUARI	H (m)	0,481			0,110	W	0,481
	T (det)	3,471			1,335		3,471
MARET	H (m)					E	0,000
	T (det)						0,000
APRIL	H (m)					E	0,000
	T (det)						0,000
MEI	H (m)					SE	0,000
	T (det)						0,000
JUNI	H (m)					SE	0,000
	T (det)						0,000
JULI	H (m)					SE	0,000
	T (det)						0,000
AGUSTUS	H (m)					S	0,000
	T (det)						0,000
SEPTEMBER	H (m)					S	0,000
	T (det)						0,000
OKTOBER	H (m)					SE	0,000
	T (det)						0,000
NOVEMBER	H (m)				0,074	SE	0,074
	T (det)				1,204		1,204
DESEMBER	H (m)				0,103	S	0,103
	T (det)				1,314		1,314
MAX TIAP ARAH	H (m)	0,481	0,000	0,000	0,116	N	0,481
	T (det)	3,471	0,000	0,000	1,355		3,471

4.4.1 Analisa Transformasi Gelombang Pantai Mokupa

Tabel 7. Perhitungan Refraksi untuk Arah Barat Laut
(Sumber: Aryandi P. Sumajow)

a _o	d	H _o	T	L _o	d/L _o	d/L
45	10	0,992	4,773	35,541	0,2814	0,29512
42,3880	8	0,907	4,582	32,746	0,2443	0,26181
38,9824	5	0,814	4,325	29,178	0,1714	0,20081
32,4685	2	0,743	4,095	26,164	0,0764	0,11954
20,0767	1	0,867	4,477	31,264	0,0320	0,07385
8,5505	0,5	1,641	4,894	37,365	0,0134	0,04612

Tabel 8. Lanjutan Perhitungan Refraksi untuk Arah Barat Laut

L	C _o	C	sin a	a	cos ao/cos a	K _r
33,885	7,446	7,099	0,674	42,388	1,062	1,030
30,557	7,147	6,669	0,629	38,982	1,087	1,043
24,899	6,747	5,757	0,537	32,468	1,201	1,096
16,731	6,389	4,085	0,343	20,077	1,617	1,272
13,541	6,984	3,025	0,149	8,550	2,348	1,532
10,841	7,635	2,215	0,043	2,472	3,458	1,860

Tabel 9. Perhitungan Shoaling
(Sumber: Aryandi P. Sumajow)

L _o	d/L _o	d/L	L	n _o	n	K _r	K _s	H
35,541	0,281	0,295	33,885	0,500	0,591	1,030	0,887	0,907
32,746	0,244	0,262	30,557	0,500	0,623	1,043	0,860	0,814
29,178	0,171	0,201	24,899	0,500	0,704	1,096	0,833	0,743
26,164	0,076	0,120	16,731	0,500	0,852	1,272	0,918	0,867
31,264	0,032	0,074	13,541	0,500	0,935	1,532	1,235	1,641
37,365	0,013	0,046	10,841	0,500	0,973	1,860	1,771	5,403

Tabel 10. Perhitungsn Gelombang Pecah
(Sumber: Aryandi P. Sumajow)

H	H'o	H'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb
0,9072	1,1181	0,0050	0,0065	1,15	1,286
0,8140	1,0543	0,0051	0,0071	1,14	1,202
0,7427	0,9775	0,0053	0,0089	1,13	1,105
0,8669	0,8092	0,0049	0,0098	1,16	0,939
1,6405	0,7020	0,0036	0,0101	1,27	0,892
5,4028	0,9264	0,0039	0,0102	1,25	1,158

Tabel 11. Perhitungan Gelombang Pecah pada Kedalaman
(Sumber: Aryandi P. Sumajow)

Hb/gT ²	m	db/Hb	db
0,0058	0,0065	1,27	1,633
0,0058	0,0071	1,27	1,526
0,0060	0,0089	1,29	1,425
0,0057	0,0098	1,26	1,183
0,0045	0,0101	1,24	1,106
0,0049	0,0102	1,25	1,447

4.4.2 Analisa Transformasi Gelombang Pantai Makatana

Tabel 12. Perhitungan Refraksi untuk Arah Utara
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

a _o	d	H _o	T	L _o	d/L _o	d/L
45	10	0,481	3,467	18,750	0,5333	0,5346
44,8623	8	0,475	3,463	18,712	0,4275	0,4313
44,3623	5	0,460	3,450	18,567	0,2693	0,2844
41,4643	2	0,418	3,380	17,824	0,1122	0,1515
29,3688	1	0,425	3,394	17,970	0,0556	0,1000
15,8448	0,5	0,584	3,372	17,740	0,0282	0,0690

Tabel 13. Lanjutan Perhitungan Refraksi untuk Arah Utara

L	Co	C	sin a	a	cos ao/cos a	Kr
18,704	5,408	5,395	0,705	44,862	1,003	1,002
18,547	5,403	5,355	0,699	44,362	1,011	1,006
17,583	5,382	5,097	0,662	41,464	1,070	1,034
13,201	5,273	3,906	0,490	29,369	1,412	1,188
10,004	5,295	2,948	0,273	15,845	1,854	1,361
7,244	5,261	2,148	0,111	6,402	2,475	1,573

Tabel 14. Perhitungan Shoaling
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Lo	d/Lo	d/L	L	no	n	Kr	Ks	H
18,750	0,533	0,535	18,704	0,500	0,508	1,002	0,986	0,475
18,712	0,428	0,431	18,547	0,500	0,524	1,006	0,963	0,460
18,567	0,269	0,284	17,583	0,500	0,600	1,034	0,879	0,418
17,824	0,112	0,152	13,201	0,500	0,790	1,188	0,854	0,425
17,970	0,056	0,100	10,004	0,500	0,889	1,361	1,010	0,584
17,740	0,028	0,069	7,244	0,500	0,942	1,573	1,299	1,194

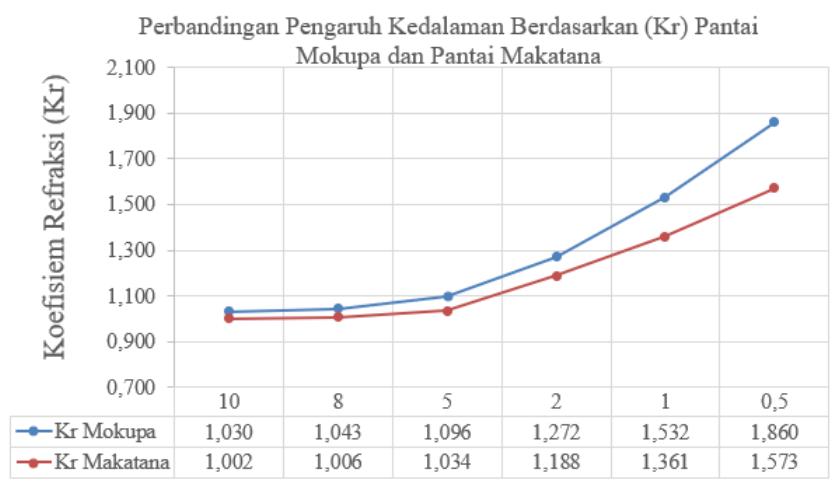
Tabel 15. Perhitungan Gelombang Pecah
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

H	H'o	H'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb
0,4751	0,4876	0,0041	0,0376	1,10	0,536
0,4600	0,4936	0,0042	0,0390	1,099	0,542
0,4185	0,5230	0,0045	0,0294	1,10	0,575
0,4248	0,4897	0,0044	0,0118	1,10	0,539
0,5842	0,4207	0,0037	0,0185	1,20	0,505
1,1940	0,4496	0,0040	0,0195	1,20	0,540

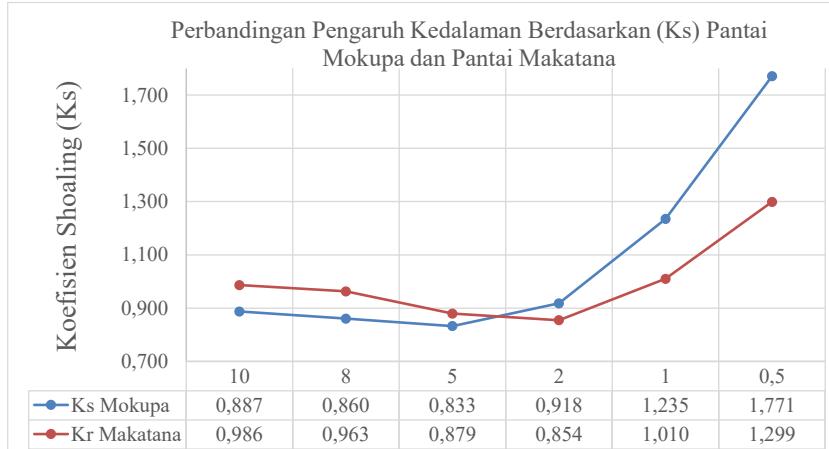
Tabel 16. Perhitungan Gelombang Pecah pada Kedalaman
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Hb/gT ²	m	db/Hb	db
0,0045	0,0376	1,21	0,649
0,0046	0,0390	1,22	0,662
0,0049	0,0294	1,25	0,719
0,0048	0,0118	1,29	0,695
0,0045	0,0185	1,28	0,646
0,0048	0,0195	1,27	0,685

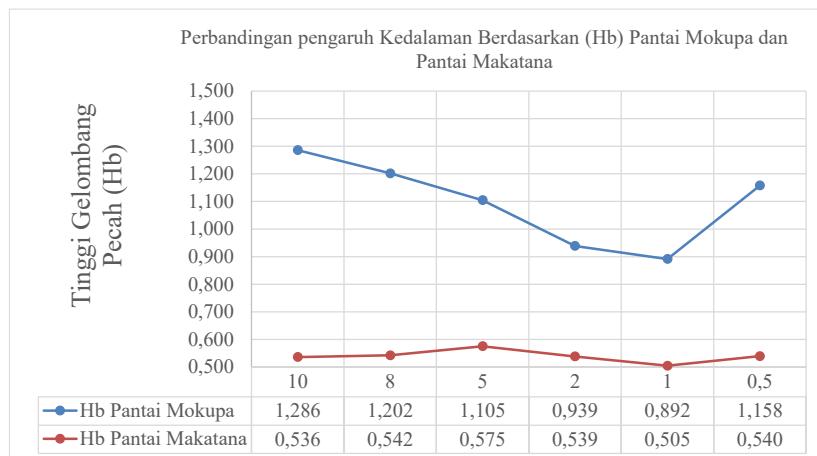
4.5 Perbandingan Pengaruh Kedalaman Pantai Mokupa dan Pantai Makatana



Gambar 5. Grafik Perbandingan Pengaruh Kedalaman berdasarkan Refraksi (Kr) Pantai Mokupa dan Pantai Makatana
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)



Gambar 6. Grafik Perbandingan Pengaruh Kedalaman berdasarkan Shoaling (Ks) Pantai Mokupa dan Pantai Makatana
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)



Gambar 7. Grafik Perbandingan Pengaruh Kedalaman berdasarkan Tinggi Gelombang Pecah (Hb) Pantai Mokupa dan Pantai Makatana
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis serta berdasarkan data sekunder yang digunakan, perbedaan Transformasi gelombang yang terjadi dipantai Mokupa dan pantai Makatana adalah sebagai berikut.

- Proses Refraksi (Kr) di kedua pantai menunjukkan peningkatan dengan berkurangnya kedalaman, Pantai Mokupa menunjukkan peningkatan yang Konstan dibandingkan Pantai Makatana yang meningkat secara signifikan.
- Kedua pantai menunjukkan variasi Koefisien Shoaling (Ks) Pantai Mokupa cenderung memiliki perubahan bathimetri yang menyebabkan penumpukan energi yang lebih Tajam sebelum gelombang mencapai pantai, sedangkan Pantai Makatana memiliki perubahan yang bervariasi kemudian mengalami kenaikan.
- Tinggi Gelombang (H) dan Tinggi Gelombang Laut Dalam (H0) Pantai Mokupa menunjukkan Tinggi Gelombang yang lebih besar dibandingkan Pantai Makatana
- Pada proses Gelombang Pecah (Hb) Pantai Mokupa menunjukkan Tinggi Gelombang pecah lebih besar dibandingkan Pantai Makatana
- Kedalaman Gelombang pecah (db) pada Pantai Mokupa jauh lebih tinggi dibandingkan Pantai Makatana karena adanya keadaan bathimetri masingmasing yang membuat perbedaan tersebut.
- Pantai Mokupa menunjukkan Perlambatan Cepat Rambat Gelombang (C) yang lebih konsisten dibandingkan Pantai Makatana dimana kedalaman laut sangat mempengaruhi Cepat Rambat gelombang dimana semakin dangkal perairan maka akan semakin lambat gelombangnya merambat.

Pada dasarnya kedua Pantai menunjukkan bagaimana proses Transformasi Gelombang yang terjadi akibat pengaruh kedalaman, namun Pantai Mokupa menunjukkan pengaruh akibat kedalaman yang lebih besar bandingkan Pantai Makatana.

Referensi

- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.
 Triatmodjo, B. 2012. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta Offset. Yogyakarta.
 Faron V. H. Sumampouw, Arthur H. Thambas, M. Ihsan Jasin, (2023) *Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Bahoi Kecamatan Likupang Barat*. Volume 21, No. 85, Tahun 2023 p-ISSN: 0215-9617. Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
 Jonathan A. Christian, M Ihsan Jasin, Arthur H. Thambas, (2023) *Analisis Perbandingan Pengaruh Kedalaman terhadap Transformasi Gelombang di Pantai Parentek dan Pantai Malalayang*. 22, No. 89, Tahun 2024 p-ISSN: 0215- 9617. Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam ratulangi, Manado.
 Aryandi P. Sumajow, M Ihsan Jasin, Ariestides KT Dandu, (2023) *Evaluasi Kinerja Bangunan Pengaman Pantai Mokupa Kabupaten Minahasa*. Volume 22, No. 88, Tahun 2024 p-ISSN: 0215-9617. Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam ratulangi, Manado.

Yosua Aditya Ratu, Muh. I. Jasin, Jeffry D. Mamoto, *Analisis Karakteristik Gelombang Di Pantai Bulo Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa*, Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.1, Januari 2015 (38-48) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi.

Anggi Cindy Wakkary, M. Ihsan Jasin, A.K.T. Dundu, *Studi Karakteristik Gelombang Pada Daerah Pantai Desa Kalinaung Kab. Minahasa Utara*, Jurnal Sipil Vol.5 No.3 Mei 2017 (167-174) ISSN: 2337-6732. Universitas Sam Ratulangi

Jendry M. O. Bernadus, Jeffry D. Mamoto, Nicolaas J. A. Tangkudung, *Perencanaan Pengaman Pantai Di Pantai Paerentek Kecamatan Lembean Timur*. Volume 21, No. 85, Tahun 2023 p-ISSN: 0215-9617. Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.