



Analisa Kinerja Breakwater Terhadap Gelombang Rayapan Di Daerah Pelabuhan Tumumpa

Tessaleony M. Sambouw^{#a}, Arthur H. Thambas^{#b}, Hansye J. Tawas^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam ratulangi, Manado, Indonesia
^atessaleony@gmail.com; ^barthur.thambas@unsrat.ac.id; ^chanstawas2@gmail.com

Abstrak

Pelabuhan Tumumpa berada di Kelurahan Tumumpa II, Kecamatan Tuminting, Kota Manado. Posisi geografisnya terletak pada 1°31'21" LU - 124°50'28" BT. Pelabuhan Tumumpa termasuk dalam pelabuhan ikan yang digunakan sebagai tempat kapal-kapal berlabuh, memuat dan membongkar muat ikan, juga sebagai kawasan tempat pelelangan ikan, sehingga daerah perairan yang ada harus tenang. Kondisi lingkungan perairan seperti tingginya gelombang dapat mempengaruhi kegiatan yang dilakukan di Pelabuhan Tumumpa, oleh karena itu harus memperhatikan perlindungan yang ada. Penelitian untuk mengetahui kinerja *breakwater* di Pelabuhan Tumumpa memerlukan data-data seperti data pasang surut, data angin selama 5 tahun, batimetri, dan eksisting dimensi bangunan yang ada. Berdasarkan hasil analisa penelitian, gelombang laut yang paling tinggi di Pelabuhan Tumumpa terdapat dari arah Barat, dengan gelombang maksimum yang terjadi pada bulan Desember 2016, untuk tinggi gelombang 0,538 m dan periode gelombang 4,060 det. Pada perhitungan *run-up* terhadap eksisting *breakwater* di Pelabuhan Tumumpa, didapat tinggi *run-up* maksimum pada kedalaman 3,5 m yang di akibatkan oleh elevasi *HHWL* sebesar 0,399 m, *MSL* sebesar 0,399 dan *LLWL* yaitu sebesar 2,456 m dan tidak terjadi *overtopping*, bangunan masih efektif dalam mereduksi gelombang yang ada dan masih efektif melindungi kolam pelabuhan.

Kata kunci: Pelabuhan Tumumpa, bangunan pemecah ombak, transformasi gelombang, run-up gelombang, overtopping gelombang

1. Pendahuluan

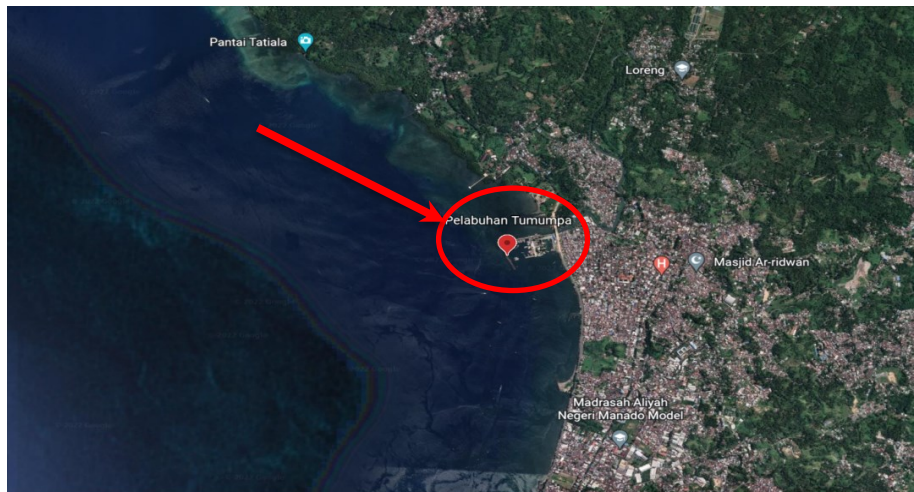
1.1. Latar Belakang

Kota Manado adalah ibu kota dari provinsi Sulawesi Utara, Indonesia, disebut sebagai kota pantai yang memiliki garis pantai sepanjang 18,7 kilometer. Wilayah pantai ini merupakan daerah yang sangat intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia, seperti sebagai kawasan pelabuhan, industri, pemukiman dan sebagainya.

Pelabuhan Tumumpa termasuk dalam pelabuhan ikan yang digunakan sebagai tempat kapal-kapal berlabuh, memuat dan membongkar muat ikan, juga sebagai kawasan tempat pelelangan ikan. Kondisi lingkungan perairan seperti tingginya gelombang dapat mempengaruhi kegiatan yang dilakukan di Pelabuhan Tumumpa, oleh karena itu harus memperhatikan perlindungan yang ada.

Perlindungan yang sudah ada di lokasi yaitu bangunan pemecah ombak (*breakwater*). Pemecah ombak atau dalam bahasa Inggris *breakwater* adalah prasarana yang dibangun untuk memecahkan ombak atau gelombang, dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang mengurangi dampak akibat gelombang di daerah pesisir sehingga dapat digunakan sebagai tempat berlabuh yang aman. Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara dengan masyarakat setempat di lokasi penelitian diketahui bahwa pernah terjadi gelombang pasang

setinggi 3 m dan sampai sekarang masih sering terjadi sehingga menyebabkan kegiatan masyarakat terganggu.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth)

1.2. Rumusan Masalah

- Apakah kinerja *breakwater* di Pelabuhan Tumumpa masih efektif dalam mereduksi tinggi gelombang?
- Bagaimana desain *breakwater* yang efektif dalam mereduksi tinggi gelombang pada Pelabuhan Tumumpa?

1.3. Batasan Masalah

Berikut ini adalah batasan masalah dalam penelitian ini:

- Penelitian hanya dilakukan di daerah Pelabuhan Tumumpa
- Perhitungan gelombang diambil adalah gelombang yang diakibatkan oleh angin.
- Data angin yang dipakai adalah data angin 5 tahun terakhir.
- Karakteristik gelombang yang ditinjau adalah tinggi gelombang, periode gelombang, refraksi gelombang, *shoaling* dan gelombang pecah.
- Tinggi dan periode gelombang diperoleh dengan metode *hindcasting* gelombang.
- Tidak menganalisa stabilitas konstruksi terhadap penurunan tanah (*settlement*).
- Tidak menghitung gaya-gaya lain akibat pengaruh dari muara sungai.
- Mengabaikan faktor-faktor bencana alam seperti tsunami dan lain-lain.

1.4. Tujuan Penelitian

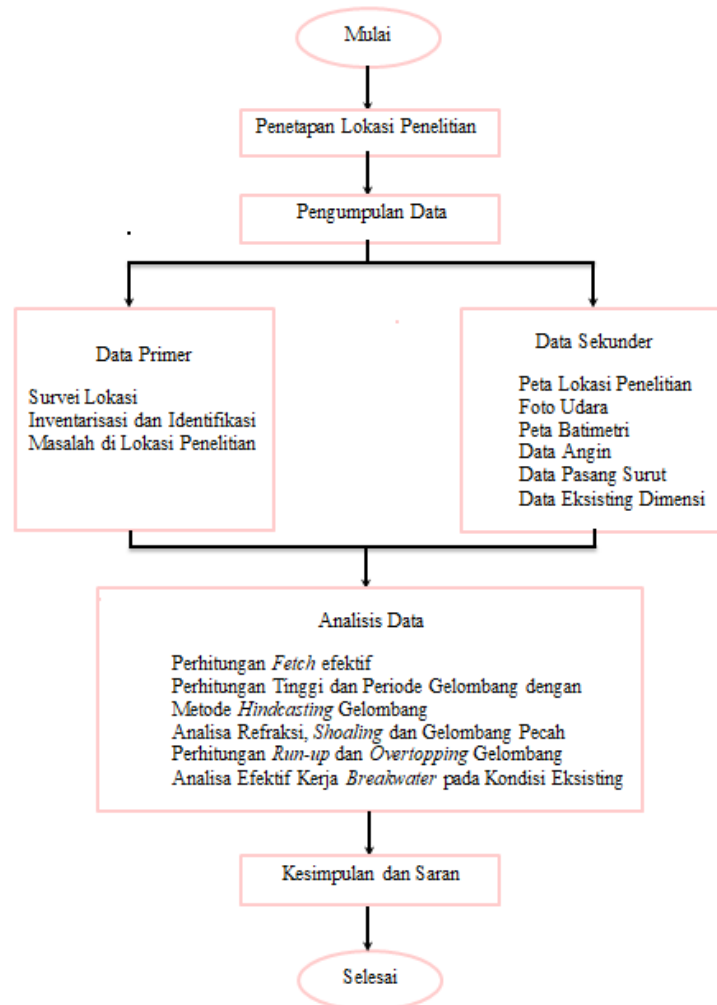
- Untuk menganalisa efektif kerja *breakwater* di Pelabuhan Tumumpa dalam mereduksi gelombang.
- Membuat desain *breakwater* yang efektif dalam mereduksi tinggi gelombang pada Pelabuhan Tumumpa.

1.5. Manfaat Penelitian

- Memperoleh pengetahuan mengenai ilmu bidang Teknik Pantai khususnya bangunan pengaman pantai.
- Mengetahui kinerja *breakwater* dalam mereduksi gelombang.
- Memberikan informasi mengenai langkah yang dapat diambil dalam meningkatkan performa kerja bangunan pengaman pantai dalam melindungi area pelabuhan.
- Sebagai bahan referensi untuk para peneliti khususnya yang meneliti bangunan pengaman pantai tipe pemecah gelombang *breakwater*.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian



Gambar 2. Bagan Pelaksanaan Penelitian

3. Analisa dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Pasang Surut dengan Metode Admiralty

Perhitungan pasang surut dengan Metode Admiralty ditampilkan pada Tabel 1.

3.2. Penentuan Tipe Pasang Surut

Data pasang surut tersebut pada Tabel 1 digunakan untuk penentuan tipe pasang surut dan elevasi muka air laut yang terjadi (Tabel 2). Dari komponen pasang surut pada Tabel 2 yang didapat dari hasil analisis menggunakan metode *Admiralty*, Dimana tipe pasang surut yang terjadi di Pelabuhan Tumumpa dengan menggunakan angka pasang surut “F” ditentukan sebagai berikut:

$$F = \frac{K1+01}{M2+S2} = \frac{42+50}{109+44} = 0,598$$

Pasang surut di Pelabuhan Tumumpa termasuk pasang surut tipe Campuran Condong ke Harian Ganda (*Mixed Semi - Diurnal*) dengan nilai $F = 0,25 < 1,50$.

Tabel 1. Pasang Surut dan Penentuan Elevasi Muka Air (LANTAMAL VIII MANADO, 2023)

No	Tanggal	Jam																							Jumlah		
		00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Bacaan	Rerata/Jam
1	01/02/2022	0,5	0,4	0,7	1,2	1,8	2,2	2,5	2,5	2,3	1,9	1,4	1,1	1	1,2	1,6	2,2	2,9	3,4	3,6	3,6	3,2	2,5	1,7	0,5	45,9	1,9125
2	02/02/2022	0,8	0,3	0,5	0,9	1,4	2	2,5	2,6	2,5	2,2	1,7	1,3	1	1	1,2	1,7	2,4	3	3,5	3,7	3,5	2,9	2,2	0,8	45,6	1,9
3	03/02/2022	1,2	0,4	0,3	0,6	1,1	1,7	2,3	2,6	2,7	2,5	2,1	1,6	1,1	0,9	1	1,4	1,9	2,6	3,2	3,5	3,5	3,2	2,6	1,2	45,2	1,88333333
4	04/02/2022	1,6	0,6	0,4	0,5	0,9	1,4	2	2,5	2,7	2,7	2,4	1,9	1,4	1,1	1	1,1	1,6	2,2	2,7	3,2	3,4	3,3	2,9	1,6	45,1	1,87916667
5	05/02/2022	1,9	1	0,6	0,5	0,8	1,2	1,8	2,3	2,6	2,7	2,6	2,2	1,7	1,3	1,1	1,1	1,3	1,8	2,3	2,8	3,1	3,2	2,9	1,9	44,7	1,8625
6	06/02/2022	2,1	1,3	0,9	0,7	0,8	1,1	1,6	2,1	2,5	2,7	2,6	2,4	2	1,6	1,3	1,2	1,3	1,5	1,9	2,4	2,7	2,9	2,8	2,1	44,5	1,85416667
7	07/02/2022	2,2	1,6	1,2	1	0,9	1,1	1,4	1,9	2,3	2,5	2,6	2,5	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,5	1,7	2	2,3	2,5	2,6	2,2	44,5	1,85416667
8	08/02/2022	2,1	1,8	1,5	1,2	1,1	1,2	1,4	1,7	2,1	2,4	2,5	2,5	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,5	1,6	1,8	2	2,1	2,2	2,1	44,6	1,85833333
9	09/02/2022	1,9	1,9	1,6	1,5	1,3	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,5	2,5	2,4	2,2	2	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	45	1,875
10	10/02/2022	1,7	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,5	2,4	2,3	2,2	2	1,8	1,7	1,6	1,6	1,6	1,7	45,4	1,89166667
11	11/02/2022	1,4	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2	2,2	2,3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	45,8	1,90833333
12	12/02/2022	1,2	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,7	2,7	2,6	2,4	2,1	1,8	1,5	1,2	1,2	45,9	1,9125
13	13/02/2022	0,9	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	2,9	2,9	2,7	2,4	2	1,6	1,2	0,9	45,8	1,90833333
14	14/02/2022	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2	2,1	2	1,8	1,7	1,5	1,5	1,7	1,9	2,3	2,7	3	3,1	3	2,7	2,3	1,8	1,3	0,8	45,9	1,9125
15	15/02/2022	0,7	0,9	1,1	1,5	1,8	2,1	2,2	2,2	2	1,7	1,4	1,3	1,4	1,6	2	2,5	3	3,2	3,3	3	2,6	2	1,4	0,7	45,6	1,9

Tabel 2. Komponen Pasang Surut Hasil Analisis untuk Lokasi Pengukuran di Pelabuhan Tumumpa (Hasil Kajian, 2023)

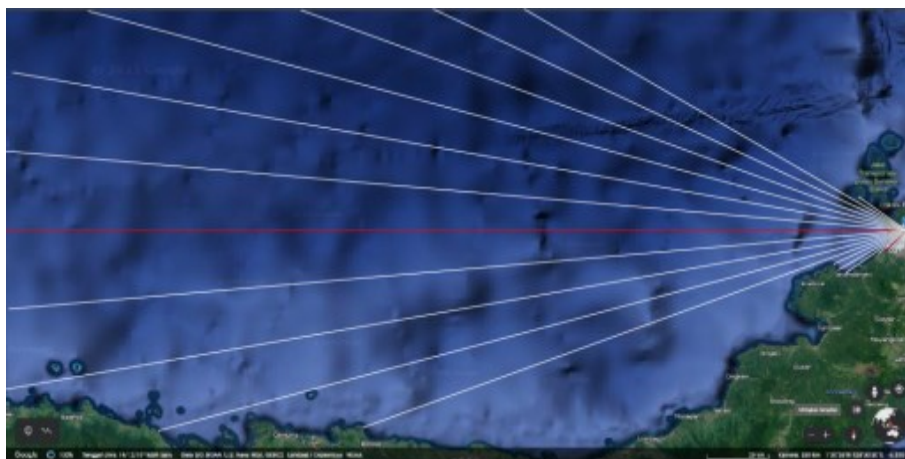
	SO	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A	189	109	44	85	42	50	0	2	12	14
g	0	-12,337	225,932	42,8658	-70,652	208,807	160,027	182,595	225,932	-70,652

3.3. Penentuan Elevasi Muka Air Laut

Tabel 3. Nilai Elevasi Penting Sesuai Metode Admiralty (Hasil Kajian, 2023)

Elevasi Muka	Satuan	Data
HHWL	370	cm
MHWL	320	cm
MSL	189	cm
MLWL	57	cm
LLWL	30	cm
Range	262,55	cm

3.4. Perhitungan Fetch Efektif





Gambar 3. Fetch arah Utara, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, Barat Laut.
(Hasil Kajian, 2023)

Tabel 4. Panjang Perhitungan Fetch untuk Delapan Arah Mata Angin
(Hasil Kajian, 2023)

PERHITUNGAN FETCH						
Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya	Jarak Sebenarnya	$F\cos(\alpha)$	$\cos(\alpha)$	Feff (km)
		(m)	(km)			
UTARA (N)	-20	521	1	0	0,940	0,134
	-15	489	0	0	0,966	
	-10	214	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1,000	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0	0	0,985	
	15	0	0	0	0,966	
20	0	0	0	0,940		
TIMUR LAUT (NE)	-20	0	0	0	0,940	0,000
	-15	0	0	0	0,966	
	-10	0	0	0	0,985	
	-5	0	0	0	0,996	
	0	0	0	0	1,000	
	5	0	0	0	0,996	
	10	0	0,000	0	0,985	
	15	0	0,000	0	0,966	
20	0	0,000	0	0,940		
TIMUR (E)	-20	0	0,000	0	0,940	0,000
	-15	0	0,000	0	0,966	
	-10	0	0,000	0	0,985	
	-5	0	0,000	0	0,996	
	0	0	0,000	0	1,000	
	5	0	0,000	0	0,996	
	10	0	0,000	0	0,985	

PERHITUNGAN FETCH						
Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya	Jarak Sebenarnya	Fcos(α)	cos(α)	Feff
		(m)	(km)			(km)
	15	0	0,000	0	0,966	
	20	0	0,000	0	0,940	
TENGGARA (SE)	-20	0	0,000	0	0,940	0,223
	-15	0	0,000	0	0,966	
	-10	0	0,000	0	0,985	
	-5	0	0,000	0	0,996	
	0	0	0,000	0	1,000	
	5	0	0,000	0	0,996	
	10	0	0,000	0	0,985	
	15	838	0,838	1	0,966	
20	1224	1,224	1	0,940		
SELATAN (S)	-20	1309	1,309	1	0,940	3,851
	-15	1900	1,900	2	0,966	
	-10	2076	2,076	2	0,985	
	-5	2433	2,433	2	0,996	
	0	3017	3,017	3	1,000	
	5	3198	3	3	0,996	
	10	6285	6	6	0,985	
	15	7008	7	7	0,966	
20	7550	8	7	0,940		
BARAT DAYA (SW)	-20	8071	8	8	0,940	14,704
	-15	8372	8	8	0,966	
	-10	8836	9	9	0,985	
	-5	9183	9	9	0,996	
	0	10134	10	10	1,000	
	5	12002	12	12	0,996	
	10	24108	24	24	0,985	
	15	25831	26	25	0,966	
20	26283	26	25	0,940		
BARAT (W)	-20	188792	189	177	0,940	198,800
	-15	200000	200	193	0,966	
	-10	200000	200	197	0,985	
	-5	200000	200	199	0,996	
	0	200000	200	200	1,000	
	5	200000	200	199	0,996	
	10	200000	200	197	0,985	
	15	200000	200	193	0,966	
20	200000	200	188	0,940		
BARAT LAUT (NW)	-20	170500	171	160	0,940	37,512
	-15	143985	144	139	0,966	
	-10	19024	19	19	0,985	
	-5	2478	2	2	0,996	

PERHITUNGAN FETCH						
Arah Mata Angin	(α)	Jarak Sebenarnya	Jarak Sebenarnya	$F\cos(\alpha)$	$\cos(\alpha)$	Feff
		(m)	(km)			(km)
	0	2156	2	2	1,000	
	5	2174	2	2	0,996	
	10	2207	2	2	0,985	
	15	1144	1	1	0,966	
	20	1065	1	1	0,940	
Feff (total)						255,224
Feff (dominan)						198,800

Dari hasil gambar, panjang Fetch dominan di dapat dari arah Barat. Dengan perhitungan *fetch* efektif untuk arah Barat di sudut 0° ,

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \\
 &= \frac{177+193+197+199+200+199+197+193+188}{0,940+0,966+0,985+0,996+1,000+0,996+0,985+0,966+0,940} \\
 &= 198,800 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Data angin yang dianalisa adalah data kecepatan dan arah angin maksimum bulanan dalam selang waktu 5 tahun terakhir, yakni tahun 2016-2020.

3.5. Perhitungan Faktor Tegangan Angin

Data angin tersebut harus dikoreksi terhadap elevasi, stabilitas dan efek lokasi untuk mendapatkan faktor tegangan angin (UA). Berikut selengkapnya perhitungan faktor tegangan angin pada tahun 2016.

Tabel 5. Perhitungan Faktor Tegangan Angin Pada Tahun 2016
(Hasil Kajian, 2023)

Perhitungan Wind Stress Factor / Faktor Tegangan Angin					Z = ±	10
					RT	1,1
Bulan	Arah	Uz	Uz (BULAT)	$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{0,16}$	R _L	U _A = R _T · R _L · U ₁₀
2016						
Januari	NE	2,259	2,3	2,26	1,7	4,22
Februari	E	2,354	2,4	2,35	1,69	4,38
Maret	E	2,315	2,3	2,32	1,7	4,33
April	E	1,622	1,6	1,62	1,84	3,28
Mei	SE	1,261	1,3	1,26	1,89	2,62
Juni	S	1,334	1,3	1,33	1,89	2,77
Juli	SE	1,187	1,2	1,19	1,9	2,48
Agustus	S	1,395	1,4	1,40	1,87	2,87
September	S	1,244	1,2	1,24	1,9	2,60
Oktober	SW	1,314	1,3	1,31	1,89	2,73
November	SW	1,614	1,6	1,61	1,84	3,27
Desember	W	2,047	2	2,05	1,78	4,01

3.6. Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang

Berikut *hindcasting* gelombang pada tahun 2016.

Tabel 6. Perhitungan *Hindcasting* Gelombang Maksimum Tahun 2016 (Hasil Kajian, 2023)

Bulan	Arah	U _z	U ₁₀	R _L	U _A	F _{EFF}	t _i	Open Water/ Restricted Fetch	t _{FETCH}	Kondisi Gelombang	H ₀ (l)	T ₀ (l)
		m/d	m/d		m/d	km	d	d	d	m	d	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]
Januari	NE	2,259	2,259	1,700	4,224	0,000	86400	-	0	Fetch Limited	0	0
Februari	E	2,354	2,354	1,690	4,376	0,000	86400	-	0	Fetch Limited	0	0
Maret	E	2,315	2,315	1,700	4,330	0,000	86400	-	0	Fetch Limited	0	0
April	E	1,622	1,622	1,840	3,283	0,000	86400	-	0	Fetch Limited	0	0
Mei	SE	1,261	1,261	1,890	2,623	0,223	86400	Open Water	857,960	Fetch Limited	0,039	0,817
Juni	S	1,334	1,334	1,890	2,773	3,851	86400	Open Water	5620,951	Fetch Limited	0,106	1,557
Juli	SE	1,187	1,187	1,900	2,481	0,223	86400	Open Water	873,955	Fetch Limited	0,037	0,807
Agustus	S	1,395	1,395	1,870	2,871	3,851	86400	Open Water	5556,427	Fetch Limited	0,109	1,569
September	S	1,244	1,244	1,900	2,600	3,851	86400	Open Water	5742,693	Fetch Limited	0,101	1,535
Oktober	SW	1,314	1,314	1,890	2,732	14,704	86400	Open Water	13798,227	Fetch Limited	0,164	2,090
November	SW	1,614	1,614	1,840	3,267	14,704	86400	Open Water	13000,411	Fetch Limited	0,190	2,175
Desember	W	2,047	2,047	1,780	4,009	198,800	86400	Open Water	68914,013	Fetch Limited	0,538	4,060

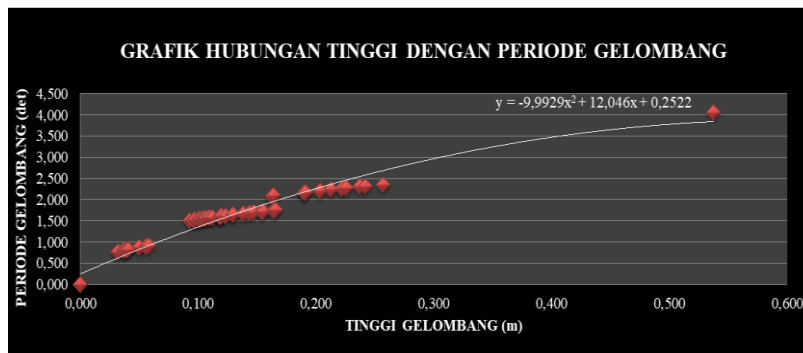
gH	gT	gt _i	Fully/Non fully Developed	H ₀	T ₀
U ² _A	U _A	U _A		m	d
[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]
0	0	200645,896	Non Fully Developed	0	0
0	0	193706,279	Non Fully Developed	0	0
0	0	195763,998	Non Fully Developed	0	0
0	0	258210,645	Non Fully Developed	0	0
0,056	3,056	323191,647	Non Fully Developed	0,039	0,817
0,136	5,510	305679,263	Non Fully Developed	0,106	1,557
0,060	3,191	341606,867	Non Fully Developed	0,037	0,807
0,130	5,363	295272,770	Non Fully Developed	0,109	1,569
0,146	5,792	325974,344	Non Fully Developed	0,101	1,535
0,215	7,506	310231,541	Non Fully Developed	0,164	2,090
0,175	6,532	259470,120	Non Fully Developed	0,190	2,175
0,328	9,936	211435,738	Fully Developed	0,104	1,698

Tabel 7. Tinggi, Periode dan Arah Gelombang Terbesar dan Dominan Bulanan Berdasarkan *Hindcasting* Gelombang untuk Tahun 2016 s/d 2020 (Hasil Kajian, 2023)

Bulan	H - T	Arah Datang Gelombang								Max Tiap Bulan	
		N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Arah	H - T
JANUARI	H (m)	-	-	-	0,242	0,165	0,055	-	0,000	SW	0,242
	T (det)	-	-	-	2,319	1,753	0,896	-	0,000		2,319
FEBRUARI	H (m)	-	-	-	0,257	0,155	-	0,000	0,000	SW	0,257
	T (det)	-	-	-	2,357	1,723	-	0,000	0,000		2,357
MARET	H (m)	-	-	-	0,237	0,147	0,058	0,000	-	SW	0,237
	T (det)	-	-	-	2,307	1,698	0,906	0,000	-		2,307
APRIL	H (m)	-	-	-	0,191	0,123	0,050	0,000	-	SW	0,191
	T (det)	-	-	-	2,177	1,620	0,870	0,000	-		2,177
MEI	H (m)	-	-	-	-	0,101	0,039	-	-	S	0,101
	T (det)	-	-	-	-	0,106	0,817	-	-		0,817
JUNI	H (m)	-	-	-	-	0,106	0,041	-	-	S	0,106
	T (det)	-	-	-	-	1,557	0,824	-	-		1,557
JULI	H (m)	-	-	-	-	0,129	0,040	-	-	S	0,129
	T (det)	-	-	-	-	1,642	0,819	-	-		1,642
AGUSTUS	H (m)	-	-	-	-	0,143	-	-	-	S	0,143
	T (det)	-	-	-	-	1,687	-	-	-		1,687
SEPTEMBER	H (m)	-	-	-	-	0,138	-	-	-	S	0,138
	T (det)	-	-	-	-	1,671	-	-	-		1,671
OKTOBER	H (m)	-	-	-	0,164	0,119	0,032	-	-	SW	0,164
	T (det)	-	-	-	2,090	1,605	0,773	-	-		2,090
NOVEMBER	H (m)	-	-	-	0,190	0,130	-	-	-	SW	0,190
	T (det)	-	-	-	2,175	1,642	-	-	-		2,175
DESEMBER	H (m)	-	-	0,538	0,226	0,164	-	-	-	W	0,538
	T (det)	-	-	4,060	2,276	1,748	-	-	-		4,060
MAX TIAP ARAH	H (m)	0,000	0,000	0,538	0,257	0,165	0,058	0,000	0,000	W	0,538
	T (det)	0,000	0,000	4,060	2,357	1,753	0,906	0,000	0,000	W	4,060

Dari hasil *hindcasting* gelombang disusun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan dari tahun 2016-2020, maka gelombang dominan dan maksimum

terjadi berasal dari arah Barat. Berikut grafik hubungan tinggi dan periode gelombang.



Gambar 4. Hubungan Tinggi dan Periode Gelombang
(Hasil Kajian, 2023)

3.7. Analisa Transformasi Gelombang

Analisa transformasi gelombang terdiri atas perhitungan koefisien refraksi (Tabel 8), koefisien pendangkalan/shoaling (Tabel 9) dan perhitungan gelombang pecah (Tabel 10).

Tabel 8. Perhitungan Refraksi untuk Arah Barat
(Hasil Kajian, 2023)

a_0	d	H_0	T	L_0	d/L_0	d/L	L	C_0	C	$\sin a$	a	$\cos a_0/\cos a$	K_r
45	10	0,538	3,840	23,003	0,4347	0,43824	22,818	5,990	5,942	0,701	44,541	1,010	1,005
44,5412	8	0,521	3,816	22,721	0,3521	0,35983	22,232	5,953	5,826	0,686	43,342	1,028	1,014
43,3422	5	0,492	3,760	22,049	0,2268	0,24787	20,172	5,865	5,366	0,628	38,898	1,114	1,056
38,8978	2	0,444	3,632	20,577	0,0972	0,13854	14,437	5,666	3,975	0,441	26,140	1,488	1,220
26,1398	1	0,474	3,717	21,552	0,0464	0,09034	11,070	5,798	2,978	0,226	13,078	1,999	1,414
13,0785	0,5	0,719	3,746	21,896	0,0228	0,06171	8,102	5,844	2,163	0,084	4,803	2,723	1,650

Tabel 9. Perhitungan Shoaling untuk Arah Barat
(Hasil Kajian, 2023)

L_0	d/L_0	d/L	L	n_0	n	K_r	K_s	H
23,003	0,435	0,438	22,818	0,500	0,522	1,005	0,965	0,521
22,721	0,352	0,360	22,232	0,500	0,549	1,014	0,930	0,492
22,049	0,227	0,248	20,172	0,500	0,639	1,056	0,856	0,444
20,577	0,097	0,139	14,437	0,500	0,815	1,220	0,874	0,474
21,552	0,046	0,090	11,070	0,500	0,907	1,414	1,073	0,719
21,896	0,023	0,062	8,102	0,500	0,953	1,650	1,418	1,683

Tabel 10. Perhitungan Gelombang Pecah untuk Arah Barat
(Hasil Kajian, 2023)

H'_0	H'_0/gT^2	m	H_b/H'_0	H_b
0,5571	0,0039	0,013	1,24	0,691
0,5604	0,0039	0,011	1,24	0,695
0,5746	0,0041	0,008	1,20	0,690
0,5082	0,0039	0,005	1,24	0,630
0,4416	0,0033	0,004	1,36	0,601
0,5074	0,0037	0,004	1,28	0,650

3.8. Perhitungan Run-Up dan Overtopping Gelombang

Tabel 11 adalah perhitungan *run up* pada kedalaman 3,5 m.

Tabel 11. Perhitungan Tinggi *Run Up* pada kedalaman 3,5 m
(Hasil Kajian, 2023)

Kedalaman 3,5 m													
Muka Air Diam	Sea Level Rise	Kr	H'o	Periode Gelombang T	H' ⁰ /Gt ²	Kedalaman kaki bg (ds)	ds/H' ⁰	R/H' ⁰	faktor koreksi k	RU GEL	Tinggi Bg	ds + r	ket
HHWL	0,2	1,005	0,540	4,060	0,0033409	3,7	6,84752	0,74	1,19	0,39985	4,686	4,09985	Non Overtopping
MSL	0,2	1,005	0,540	4,060	0,0033409	1,89	3,49779	0,74	1,19	0,39985	4,686	2,28985	Non Overtopping
LLWL	0,2	1,005	0,540	4,060	0,0033409	0,3	0,56	1,5	1,19	0,81051	4,686	1,11051	Non Overtopping

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Gelombang laut yang paling tinggi di Pelabuhan Tumumpa terdapat dari arah Barat, dengan gelombang maksimum yang terjadi pada bulan Desember 2016, untuk tinggi gelombang 0,538 m dan periode gelombang 4,060 det;
2. Nilai koefisien refraksi berkisar antara 1,005 sampai 1,650 dan koefisien pendangkalan berkisar antara 0,965 sampai 1,418. Tinggi gelombang pecah berkisar 0,650 m sampai 0,691 m pada kedalaman 0,5 m sampai 10 m;
3. Perhitungan *run-up* terhadap eksisting *breakwater* di Pelabuhan Tumumpa, didapat tinggi *run-up* maksimum pada kedalaman 3,5 m yang di akibatkan oleh elevasi *HHWL* sebesar 0,399 m, *MSL* sebesar 0,399 dan *LLWL* yaitu sebesar 2,456 m dan tidak terjadi *overtopping* berdasarkan syarat $[0 \leq (h-ds) < R]$. (Kala ulang 100 Tahun);
4. Berdasarkan hasil analisa penelitian di Pelabuhan Tumumpa untuk eksisting *breakwater* yang ada sekarang, bangunan masih efektif dalam mereduksi gelombang yang ada dan masih efektif melindungi kolam pelabuhan.

5. Saran

1. Dengan adanya *breakwater*, arus laut dan gelombang akan tereduksi. Karena itu akan memicu terjadinya sedimentasi disekitar pemecah gelombang. Hal ini perlu dilakukan analisis mengenai kajian terhadap *breakwater* seperti pengaruh sedimentasi agar tidak terjadi pendangkalan dasar laut.
2. Pemecah gelombang sisi miring memang mudah diperbaiki, tetapi perlu dilakukan perawatan secara rutin sehingga tidak terjadi kerusakan.
3. Perhitungan mengenai transformasi gelombang yang dilakukan pada penelitian ini hanya dengan pendekatan empiris, maka perlu dilakukan penelitian tentang tinggi gelombang dengan menggunakan alat pencatat gelombang (*wave recorder*), serta penyelesaian analisa tranformasi gelombang dengan menggunakan *software* terkait seperti *SMS (Surface Modeling System)* yang dapat dijadikan sebagai nilai pembanding.

Referensi

- CERC. 1984. *Shore Protection Manual Volume I-II*. US Army Coastal Engineering, Research Center. Washington.
- Danial,M,M. 2008. *Rekayasa Pantai*. Alfabeta. Bandung
- Kolantung B.P. 2011. Peter.K.B.Assa. *Kajian Kinerja Breakwater pada Pelabuhan Manado*. Skripsi S1, Program Studi Teknik Sipil,Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Yasa K.S. 2021. Firman Husain, Achmad Y. Baeda. *Analisa Kerja Pemecah Gelombang Dalam Mereduksi Tinggi Gelombang di Pelabuhan Soekarno Hatta*. Skripsi S1, Program Studi Teknik Kelautan,Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Yuwono,Nur,1992. *Teknik Pantai Volume I dan II*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*, Beta offset. Yogyakarta.

- Triatmodjo, B. 2003. *Perencanaan Pelabuhan*, Beta offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2003. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta offset. Yogyakarta.
- BAB II Studi Pustaka. *Perencanaan Pengaman Pantai Kragan Dalam Menangani Masalah Abrasi*, http://eprints.undip.ac.id/34047/5/1912_CHAPTER_II.pdf
- Google Earth. 2022
- Arthur H. Thambas, Jeffry Dantje Mamoto, *Studi Karakteristik Gelombang Pada Pantai Manembo-Nembo Kecamatan Matuari Kota Bitung Provinsi Sulawesi Utara*. TEKNO – Volume 20 Nomor 80 – April 2022. Universitas Sam Ratulangi Manado.