

Simulasi Transformasi Gelombang di Perairan Pantai Ujung, Kota Sibolga

Wave Transformation Simulation in Ujung Beach, Sibolga City

Alfian Mauladi, Nursetiawan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Pantai Ujung merupakan kawasan wisata di Kota Sibolga yang mengalami permasalahan abrasi, sehingga membahayakan berbagai kegiatan penduduk serta sarana di sekitar pantai. Oleh karena itu diperlukan analisis transformasi gelombang dan penanganannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis transformasi gelombang untuk perencanaan bangunan pengaman pantai yaitu *breakwater* dengan simulasi CGWAVE kondisi eksisting dan setelah dibangun pemecah gelombang lepas pantai. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan batimetri, analisis muka air rencana dan pendekatan periode ulang gelombang menggunakan kala ulang 50 tahun dengan metode *Fisher Tippett Type I*, serta perencanaan dimensi pemecah gelombang lepas pantai. Dari hasil simulasi CGWAVE arah datang gelombang dipengaruhi dari arah datang 225° dan diperoleh parameter amplitudo tinggi gelombang, kecepatan gelombang, dan elevasi muka air yang mencapai pantai pada kondisi eksisting masing-masing 1,12 m, 1,54 m/s, dan 0,51 m. Setelah penambahan struktur pemecah gelombang lepas pantai dengan jarak 250 m dari garis pantai diperoleh persen peredaman parameter amplitudo tinggi gelombang, kecepatan gelombang, dan elevasi muka air yang mencapai pantai masing-masing 26,45%, 32,72%, dan 38,15% sehingga cukup efektif dalam mengurangi abrasi di Pantai Ujung.

Kata-kata kunci: abrasi, transformasi gelombang, CGWAVE, *breakwater* lepas pantai, parameter gelombang

Abstract. *Ujung Beach is a tourism spot in Sibolga City that has abrasion problem that can be harmful for activities of people and facilities around the coast. Therefore it is necessary to analysis of wave transformation and solve that problem. This study is to analyze wave transformation for the planning offshore breakwater with CGWAVE simulation with existing conditions and breakwater structure. In this study, the writer modeling bathymetry data, water level analysis, wave return period of 50 years, and breakwater dimension. From the results of the CGWAVE simulation, dominan wave angel is from 225° each parameters wave height, wave velocity, and sea water surface on existing condition that reach the coastline is 1,12 m, 1,54m/s, dan 0,51 m. After the addition three series of offshore breakwater structure that have length 80 m, gap 20 m, located in depth 3-4 m from mean sea level and 250 m from the coastline can reduce each parameters of wave height, wave velocity, and sea water surface is 26,45%, 32,72%, dan 38,15%. From these data the design of breakwater effective to solve abrasion in Ujung Beach.*

Keywords: *abrasion, wave transformation, CGWAVE, offshore breakwater, wave parameters*

1. Pendahuluan

Abrasi dapat terjadi karena karakteristik gelombang di perairan sekitar pantai, seperti pada studi kasus Pantai Ujung, Simare-mare, Kota Sibolga. Abrasi adalah proses pengikisan bagian pantai oleh gelombang air laut yang bersifat merusak. Pada tahun 2016 kasus abrasi di Pantai Ujung menyebabkan beberapa fasilitas yang roboh dan hancur akibat terjangan ombak. Pada tahun 2017 *breakwater* yang dibangun

pada tepian pantai rusak, pembangunan *breakwater* ini dinilai kurang efisien karena abrasi masih saja terjadi, hal ini dikarenakan gelombang yang mencapai pantai sulit untuk diprediksi. Maka dari itu perlu adanya perencanaan *breakwater* yang dapat mengatasi abrasi secara efektif dengan melakukan analisis transformasi gelombang menggunakan pemodelan di sekitar perairan Pantai Ujung, Kota Sibolga.

Abrasi menjadi ancaman serius untuk keberlangsungan masyarakat pesisir karena dapat mempengaruhi profil pantai, sehingga perlu mengkaji karakteristik gelombang. Mulyabakti dkk, (2016) melakukan analisa karakteristik gelombang dan pasang surut secara teori dan analitis. Setiap pantai memiliki karakteristik yang unik, beberapa teori tentang angin musim tidak sepenuhnya benar untuk keadaan pantai Indonesia karena terdiri dari banyak pulau kecil, sehingga perhitungan secara analitis menjadi sulit (Rabung dkk, 2015). Sharma dkk, (2014) mengembangkan persamaan kemiringan elips ringan untuk pemodelan gelombang nonlinier. Selanjutnya Sharma dan Panchang, (2014) mengembangkan persamaan tersebut pada model elemen hingga dengan validasi data eksperimen.

CGWAVE merupakan salah satu modul dalam paket *software Surface Water Modeling System (SMS)* yang menggunakan model elemen hingga dalam permodelan gelombang bentuk 2D. Beberapa penelitian untuk membandingkan hasil simulasi CGWAVE dilakukan. Perbandingan hasil tinggi gelombang dengan perhitungan analitis dan simulasi menggunakan model CGWAVE dikaji oleh Zulkifli dkk, (2017). Perbandingan simulasi transformasi gelombang 2D dengan model CGWAVE dan AWAVE 2-3 dikaji oleh Febri dkk, (2015). Pemodelan gelombang dengan CGWAVE dilakukan pada beberapa studi kasus. Atkins dkk. (2015) mengkaji model agitasi gelombang periode panjang di pelabuhan dengan memvalidasi data pemodelan CGWAVE dengan model fisik berupa *wave flume*. Hasil simulasi dan model fisik menunjukkan koefisien transmisi gelombang relatif sama.

Simulasi transformasi gelombang dengan mempertimbangkan adanya bangunan pelindung pantai banyak dikaji. Pratama dkk., (2019) melakukan pemodelan gelombang dengan input tinggi dan periode gelombang hasil peramalan data dengan rentang 6 tahun. Lanura dkk., (2017) melakukan pemodelan gelombang dengan CGWAVE akibat bangunan pelabuhan dengan data batimetri dari *website NOAA*. Umar (2011) juga melakukan pemodelan

gelombang untuk mengetahui arah datang gelombang dominan penyebab abrasi pantai. Zidan dkk, (2012) memodelkan beberapa alternatif struktur pelindung pantai dan membandingkan masing-masing hasil disipasi energi gelombang relatif. Ikhsanudin dkk, (2017), melakukan *input* gelombang menggunakan pemodelan spektrum gelombang dari beberapa musim. Refi, (2013) membandingkan material penyusun *breakwater* dengan menggunakan hasil simulasi pemodelan CGWAVE. Sasikumar dkk, (2018) mengkaji dimensi *breakwater* model terendam yang optimal terhadap transformasi gelombang akibat perubahan iklim. Dalam penelitian Elhakeem dkk, (2019) membandingkan efek transformasi gelombang kondisi eksisting pantai dan setelah dibangun *breakwater* dengan simulasi CGWAVE. Karima dan Sarwono (2017) melakukan analisis transformasi gelombang dengan peramalan tinggi gelombang signifikan periode ulang 50 tahun untuk perencanaan *breakwater*.

Dari penelitian di atas, untuk menggambarkan suatu kondisi deformasi gelombang secara jelas tanpa melakukan pengujian di lapangan dapat dilakukan dengan sebuah simulasi. Pemodelan CGWAVE dianggap memadai untuk digunakan dalam perencanaan bangunan pantai. Dalam penelitian ini simulasi yang digunakan adalah program SMS 10.0 modul CGWAVE dengan melakukan pemodelan gelombang eksisting di perairan Teluk Tapian Nauli, Kota Sibolga untuk kemudian nilai ketinggian gelombang digunakan untuk pemodelan gelombang eksisting dan setelah dibangunnya *breakwater* pada perairan Pantai Ujung. *Input* periode dan tinggi gelombang signifikan menggunakan peramalan gelombang metode *Fisher Tippett Type I* periode ulang 50 tahun. Dilakukan trial lokasi *breakwater* yang efisien dan struktur direncanakan dengan memperhatikan tinggi gelombang hasil simulasi dan pasang surut. Kemudian dilakukan komparasi nilai elevasi muka air laut, tinggi, dan kecepatan gelombang pada garis Pantai Ujung kondisi eksisting dan setelah ditambahkan struktur *breakwater*.

2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian merupakan pesisir Pantai Ujung yang berada di Kelurahan Simare-mare, Sibolga Utara, Kota Sibolga, Sumatera Utara, secara geografi terletak pada koordinat 1°44'33,9" lintang utara dan 98°46'24.2" bujur timur (lihat Gambar 3.1). Daerah pesisir didominasi daerah wisata dan pemukiman. Topografi pantai memiliki kemiringan 6% hingga 8%.



Gambar 1. Lokasi penelitian situasi Pantai Ujung (Google Earth dan Ceritasibolga.com, 2018)

3. Landasan Teori Gelombang Pecah

Gelombang pecah adalah bentuk deformasi yang ekstrim dimana pada ketinggian tertentu gelombang pecah dan melepaskan energinya. Gelombang pecah ini mempengaruhi struktur pengaman pantai. Penentuan tinggi dan kedalaman gelombang pecah bergantung pada kemiringan pantai dan kemiringan gelombang datang (Iversen dkk dalam CERC, 1984)

Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana digunakan untuk perencanaan bangunan air yang dipengaruhi oleh elevasi muka air akibat gelombang, akibat angin, pemanasan gelombang dan tsunami. Elevasi muka air diperhitungkan dengan rumus :

$$HWS = S_w + \Delta h + SLR + HHWL \quad (1)$$

Dengan :

HWS : Elevasi Muka Air Rencana (m)

S_w : set-up didaerah gelombang pecah (m)

Δh : kenaikan muka air akibat badai (m)

SLR : kenaikan muka air akibat pemanasan global (m)

HHWL: muka air tinggi tertinggi pasang surut (m)

Periode Ulang Tinggi Gelombang Signifikan

Metode perkiraan gelombang yang digunakan adalah metode *Fisher-Tippett Type I*. Perkiraan tinggi gelombang menggunakan data tinggi gelombang dalam jangka waktu tahunan, yang kemudian diolah dengan fungsi distribusi probabilitas, periode ulang, dan interval keyakinan. Dalam penelitian ini menggunakan periode ulang 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.

Perencanaan Breakwater

Breakwater yang direncanakan merupakan tipe *Rubble Mound* yang ditempatkan di lepas pantai. *Breakwater* diusahakan ditempatkan di daerah dengan kedalaman yang sesuai dan pada lokasi setelah/sebelum gelombang pecah karena dapat mempengaruhi dimensi yang direncanakan. Desain dimensi *breakwater* memperhatikan kemiringan, material yang digunakan, dan ketebalan tiap lapisan pelindung (*armour*).

CGWAVE (*Coastal Graphycal Wave*)

CGWAVE merupakan salah satu modul simulasi dalam paket *software* SMS 10.0 untuk mentransformasikan kondisi oseanografi. Input data berupa arah datang gelombang, amplitudo, dan periode yang kemudian disimulasikan menghasilkan *output* tinggi gelombang, fase gelombang, kecepatan gelombang dan amplitudo gelombang dengan memanfaatkan jaring-jaring elemen hasil formulasi dari panjang gelombang serta model ini mensimulasikan efek

gabungan dari refraksi-difraksi dalam persamaan kemiringan elips ringan, tinggi gelombang pecah dan penyebaran amplitudo gelombang nonlinier (Zidan dkk, 2012). CGWAVE menggunakan rumus kemiringan elips ringan dalam simulasinya.

$$\nabla \cdot (C_g \cdot \nabla \eta) + \frac{C_g}{c} \sigma^2 \eta = 0 \quad (2)$$

dengan :

σ : frekuensi gelombang (rad/s)

$C(x,y)$: cepat rambat gelombang = σ/k

$C_g(x,y)$: cepat rambat kelompok gelombang =

$$\frac{\partial \sigma}{\partial k} = nC \text{ dengan } n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sin 2kd} \right)$$

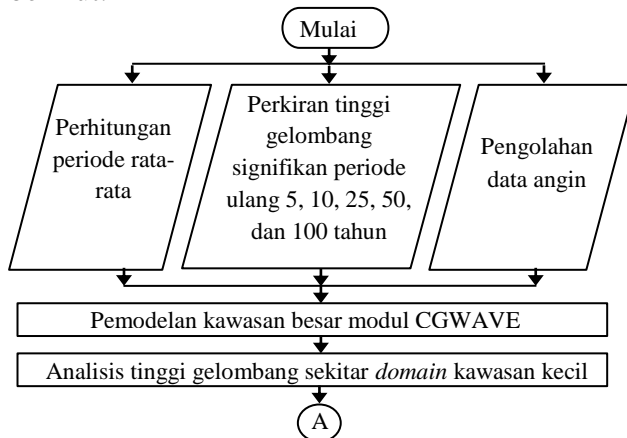
$\eta(x,y)$: fungsi elevasi permukaan gelombang yang diestimasi

$k(x,y)$: jumlah gelombang (= $2\pi/L$), dalam hubungannya dengan kedalaman $d(x,y)$ melalui penyebaran linier :

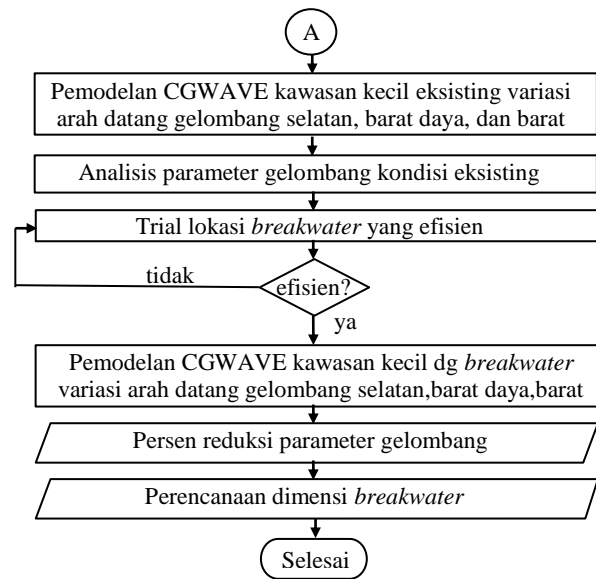
$$\sigma^2 = gk \tanh(kd)$$

4. Metode Penelitian

Metode penelitian yaitu dengan mengolah data sekunder untuk kemudian di-input-kan pada pemodelan CGWAVE, dari hasil simulasi dianalisis pola penjalaran gelombang kondisi eksisting kawasan besar, hasil simulasi tinggi gelombang digunakan untuk input simulasi kawasan kecil. Kemudian dilakukan simulasi dengan breakwater dan hasil simulasi tinggi gelombang dibandingkan dengan hasil simulasi kawasan kecil untuk mengetahui seberapa efektif breakwater dapat meredam gelombang. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut.



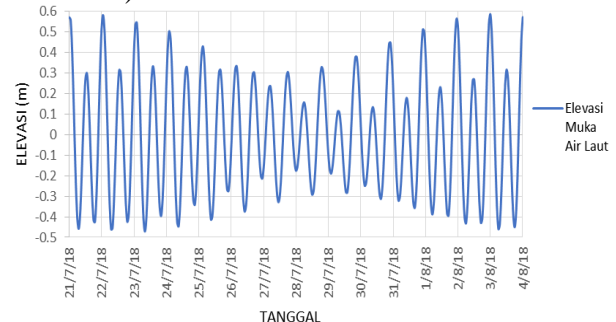
Gambar 2. Bagan alir penelitian



Gambar 3. Bagan alir penelitian (lanjutan)

5. Metode Pengumpulan Data Data Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari website Badan Informasi Geospasial pada tanggal terjadi pada tanggal 1 Januari 1998 hingga 31 Desember 2018 di teluk Tapian Nauli (lihat Gambar 4).



Gambar 4. Grafik pasang surut pada tanggal 21 Juli - 4 Agustus 2018

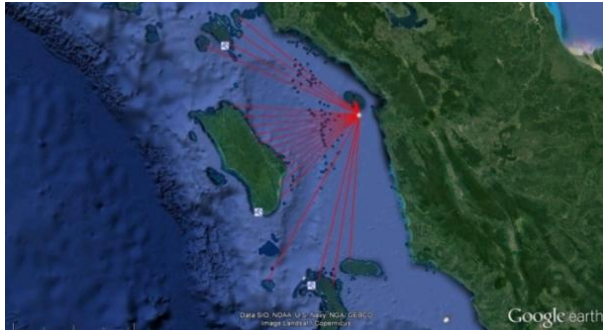
Selanjutnya data diolah sehingga menghasilkan elevasi muka air seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Elevasi pasang surut

No.	Elevasi Pasang Surut	Elevasi (m)
1	Highest High Water Level (HHWL)	+0.7
2	Mean Sea Level (MSL)	0.0
3	Lowest Low Water Level (LLWL)	-0.6
4	Mean High Water Level (MHWL)	+0.2177
5	Mean Low Water Level (MLSL)	-0.2246

Panjang *Fetch* Efektif

Panjang *fetch* efektif diolah dari mengukur jarak dari titik acuan ke rintangan (daratan) terdekat (lihat Gambar 5).



Gambar 5. Penarikan *fetch* (Google Earth, 2018)

Data di atas diolah dan menghasilkan *fetch* efektif dari arah utara, barat laut, barat, barat daya dan selatan (lihat Tabel 2 dan 3). data *fetch* digunakan untuk menentukan elevasi muka air rencana dan perencanaan *breakwater*.

Tabel 2. Panjang *fetch* efektif

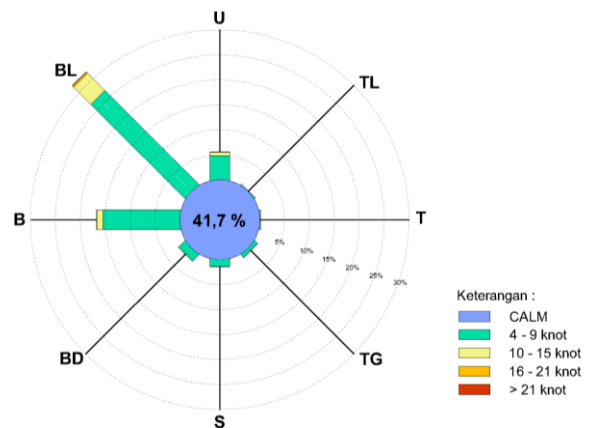
α_i (°)	x_i (km)	F eff. (km)
180	147.97	
185	176.32	
190	171.54	490.76
195	1000	
200	1000	
205	192.4	
210	1000	
215	1000	
220	119.07	
225	108.34	310.53
230	93.46	
235	91.98	
240	95.13	
245	96.06	
250	106.73	
255	109.1	
260	112.5	
265	117.06	
270	129.52	418.58
275	5614.85	
280	5403.89	
285	2022.02	
290	173.21	

Tabel 3. Panjang *fetch* efektif (lanjutan)

α_i (°)	x_i (km)	F eff. (km)
295	150.89	
300	147.29	
305	159.18	
310	2532.72	
315	9.35	170.72
320	8.58	
325	15.15	
330	14.67	
335	14.66	
340	14.38	
345	3.59	
350	5.32	8.99
355	6.35	
360	6.48	

Data Angin

Data kecepatan angin diperoleh dari BMKG dengan pengukuran selama 10 tahun yaitu dari tahun 2006 hingga 2016. Data angin ditampilkan dalam bentuk mawar angin untuk memvisualkan persentase terjadinya kecepatan angin pada setiap arah mata angin.



Gambar 6. Mawar angin (BMKG)

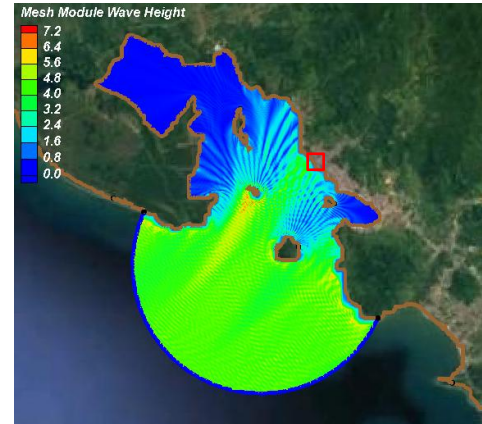
Periode Ulang Tinggi Gelombang Signifikan

Periode ulang gelombang diperoleh dari pengolahan data tinggi gelombang jam-jaman selama 6 tahun yaitu dari tahun 2013 hingga 2018 yang didapat dari *website Wavewatch III*. Dalam penelitian ini digunakan kala ulang 50 tahun dengan tinggi gelombang 4 m. untuk periode gelombang diperoleh periode rata-rata dari data periode gelombang 6 tahun sebesar 15 detik.

Tabel 4. Periode ulang gelombang

Kala Ulang	Yr	Hsr (m)	σ_{nr}	σ_r	Hsr-1.28 σ_r (m)	Hsr+1.28 σ_r (m)
5	1.50	3.40	0.64	0.22	3.12	3.69
10	2.25	3.59	0.84	0.29	3.21	3.97
25	3.20	3.83	1.12	0.39	3.32	4.33
50	3.90	4.00	1.34	0.47	3.40	4.60
100	4.60	4.18	1.56	0.54	3.48	4.87

tanpa halangan menuju Pantai Ujung (kotak merah), hal ini dapat dilihat dari kontur tinggi gelombang berwarna hijau yang bernilai 3,2 m – 4 m.

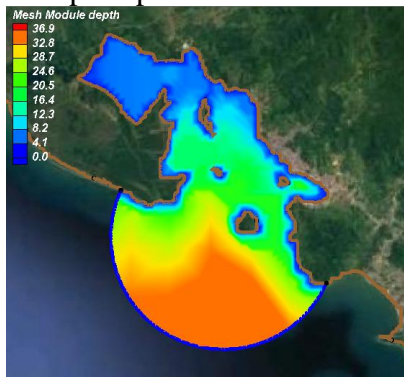


Gambar 9. Tinggi gelombang kawasan besar

6. Hasil Simulasi CGWAVE

Simulasi kawasan besar

Domain kawasan meliputi perairan Teluk Tapian Nauli seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Domain kawasan besar

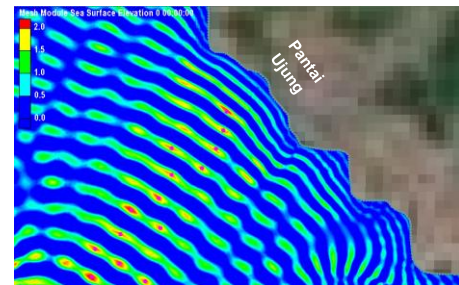
Periode gelombang yang digunakan sebesar 15 s sehingga diperoleh bangkitan mesh seperti Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Bangkitan *mesh* kawasan besar

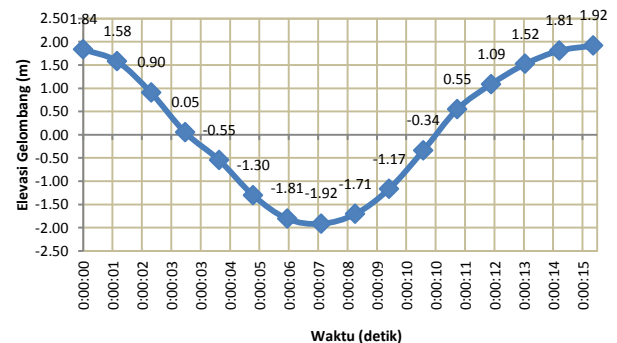
Simulasi dilakukan dengan input arah gelombang datang gelombang selatan (180°), barat daya (225°), dan barat (270°), periode 15 s dan tinggi gelombang 4 m, diperoleh hasil tinggi gelombang (lihat gambar 12). Gelombang dari arah dominan yaitu barat daya menjangar lurus

Untuk melihat tinggi gelombang maksimal di sekitar perairan kawasan kecil diperlukan observasi dengan membuat *node* pada tinggi gelombang maksimum (kontur berwarna merah) seperti Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Observasi SKB

Diperoleh hasil amplitudo tinggi gelombang maksimum sebesar 1,92 m pada jarak ±1,3 km dari garis pantai, tinggi gelombang tersebut kemudian digunakan pada simulasi kawasan kecil.

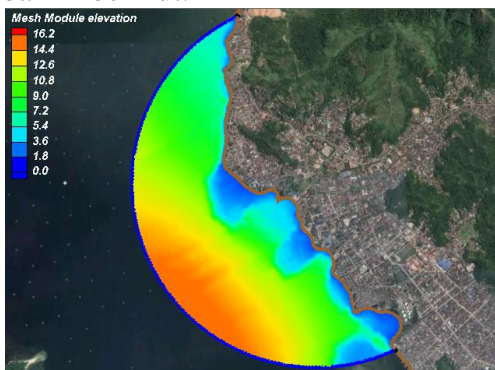


Gambar 11. Grafik tinggi gelombang

Peredaman gelombang hanya 4% dari input tinggi gelombang 4 m. Hal ini disebabkan gelombang menjalar tanpa halangan menuju Pantai Ujung dan mendapat energi gelombang akibat difraksi pulau pulau kecil di depan Pantai Ujung. Gelombang dominan menjalar lurus ke Pantai Ujung dan hanya sebagian kecil mengalami refraksi gelombang tipe konvergen.

Simulasi kawasan kecil

Simulasi kecil ini digunakan untuk simulasi yang lebih detail di perairan Pantai Ujung. Domain yang akan disimulasikan seperti pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Domain kawasan kecil

Periode gelombang yang digunakan sebesar 15 s dan sehingga diperoleh bangkitan mesh seperti gambar 11. Simulasi dilakukan dengan kombinasi input arah gelombang yaitu arah utara (180°), arah barat (270°), dan barat daya (225°). Periode yang digunakan 15 s dan tinggi gelombang 3,84 m (dari hasil simulasi kawasan besar), diperoleh hasil tinggi gelombang dengan variasi arah seperti pada Tabel 5. Kemudian dilakukan observasi dengan memotong melintang tiga potongan tegak lurus garis pantai.

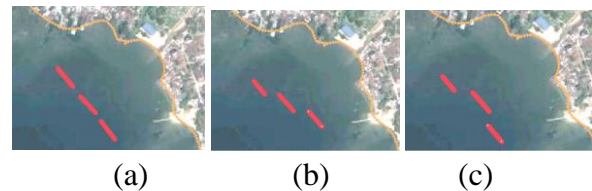


Gambar 13. Bangkitan *mesh* kawasan kecil

Dari simulasi diperoleh gelombang dengan arah dominan yaitu barat daya memiliki tinggi gelombang mencapai 1,12 m di bibir pantai, sedangkan pada arah datang gelombang selatan 1,09 m dan dari arah barat 1,07 m. Kecepatan gelombang yang mencapai pantai dari ketiga arah relatif sama, dari arah datang gelombang selatan memiliki kecepatan maksimal 1,18 m/s, arah barat daya sebesar 1,54 m/s, dan dari arah barat sebesar 1,19 m/s. Elevasi muka air pada arah datang gelombang selatan dan barat daya memiliki tinggi 0,45 m, sedangkan pada arah datang gelombang dari barat 0,33 m. Dari ketiga parameter tersebut menunjukkan gelombang menjalar masuk ke Pantai Ujung dari Teluk Tapian Nauli dari arah barat daya tanpa halangan pulau apapun, sehingga gelombang yang diterima pantai masih cukup tinggi. Parameter gelombang masih cukup tinggi untuk diterima pantai sehingga dapat mengabrasi pantai.

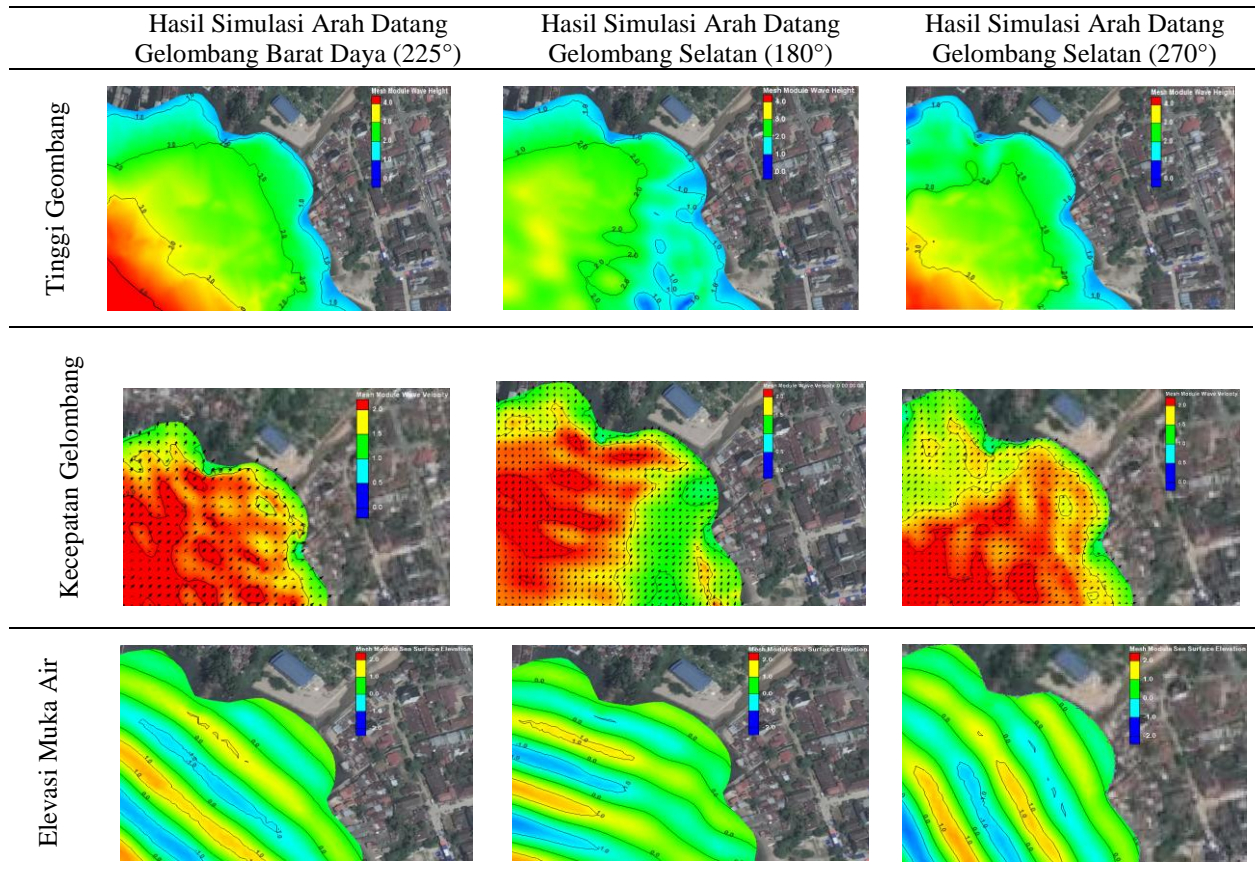
Simulasi dengan *Breakwater*

Simulasi dengan *breakwater* digunakan untuk mengetahui pola arus, tinggi gelombang, kecepatan gelombang, dan elevasi muka air yang sampai di garis pantai, dan lokasi yang efektif untuk mengurangi abrasi pantai. Sebelum simulasi dengan *breakwater*, dilakukan terlebih dahulu trial lokasi *breakwater* yang efektif meredam gelombang. *Breakwater* yang digunakan berjumlah 3 buah dengan panjang masing-masing 80 m dan gap 20 m, trial lokasi *breakwater* dilakukan dengan beberapa variasi, yaitu pada kedalaman 4 m dan 3 m dan perletakan sejajar, serta pola perletakan *breakwater* yang zigzag 1 dan zigzag 2 (lihat Gambar 14). Pada perletakan sejajar kedalaman 4 m memiliki jarak 250 m dari garis panti, sedangkan pada kedalaman 3 m memiliki jarak 200 m dari garis pantai, pada perletakan zigzag ditempatkan pada kedalaman 3 - 4 m.



Gambar 14. Sketsa perletakan (a) sejajar, (b) zigzag 1, dan (c) zigzag

Tabel 5. Hasil simulasi kondisi eksisting kawasan kecil



Dari trial variasi penempatan *breakwater* (Tabel 6) menunjukkan tinggi gelombang yang mencapai pantai 0,7 hingga 0,8 m, hal ini tidak terlalu berdampak signifikan bagi peredaman tinggi gelombang yang mencapai pantai. Kondisi zigzag 1 dan 2 memiliki persentase peredaman yang lebih tinggi dari perletakan sejajar, namun dalam tahap pelaksanaannya menjadi sulit karena tidak satu garis, sehingga perletakan zigzag kurang dapat diterapkan. Untuk perletakan sejajar pada kedalaman 3 m dapat digunakan karena dalam peaksananya mudah dan dari hasil simulasi lebih tinggi persentase peredaman gelombang daripada perletakan sejajar kedalaman 4 m, namun zonasi perairan untuk wisata di Pantai Ujung menjadi lebih sempit, sehingga dipilihlah perletakan sejajar pada kedalaman 4 m untuk selanjutnya dimodelkan lebih detail lagi.

Dari beberapa trial lokasi dengan CGWAVE, diperoleh lokasi efektif pada kedalaman 4 m. Direncanakan menggunakan tiga *breakwater* dengan panjang 80 m, lebar puncak 4,2 m, lebar gap 20 m, serta kemiringan 1 : 2. Untuk mengetahui pola penjarangan gelombang setelah penambahan *breakwater* dilakukan simulasi dengan variasi arah

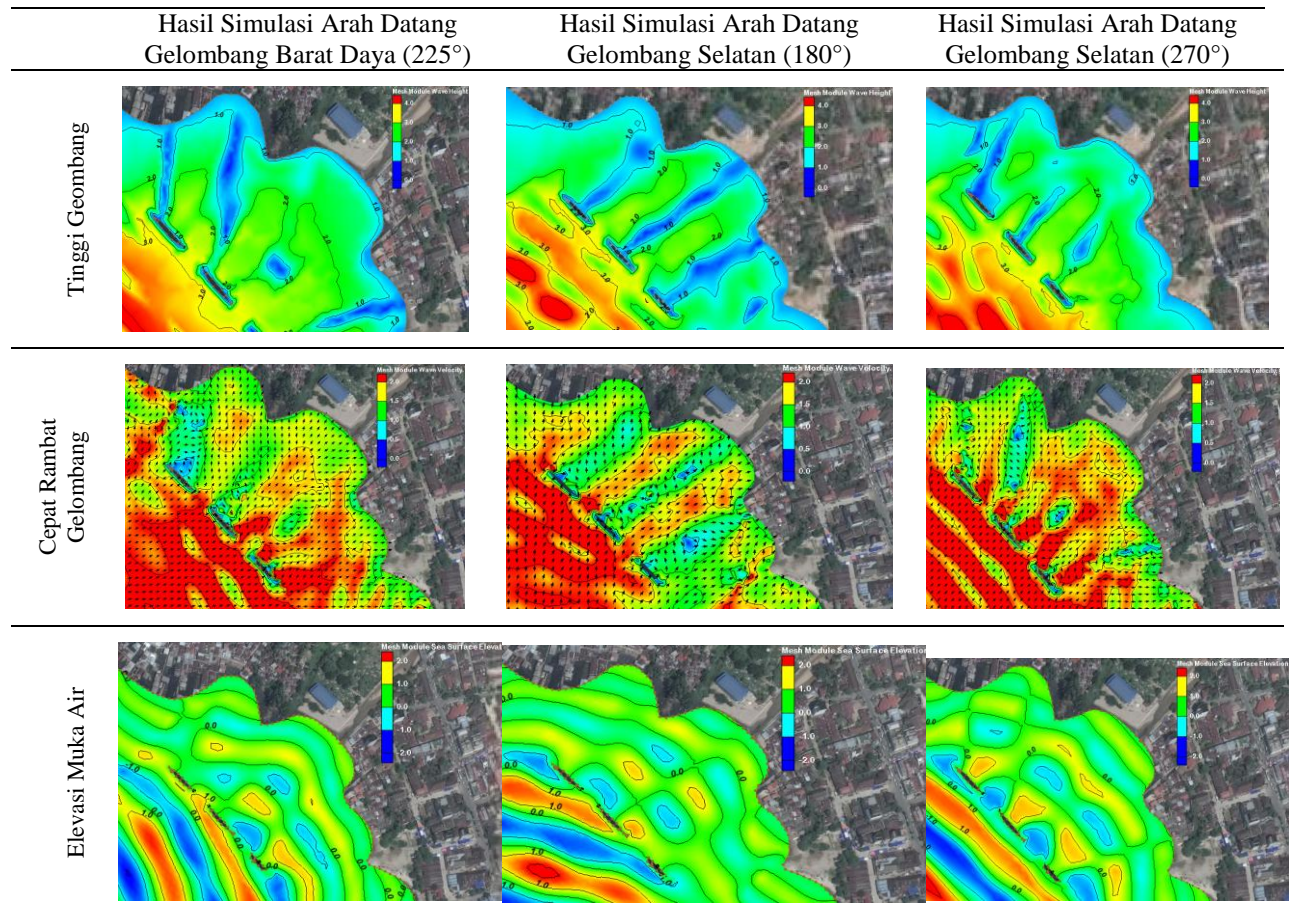
datang gelombang dengan hasil seperti pada Tabel 7 tinggi gelombang dari arah dominan barat daya, maupun dari arah selatan dan barat yang mencapai pantai sekitar 0,8 m, hal ini menunjukkan dengan adanya *breakwater* tinggi gelombang dapat diredam dengan cukup efektif. Gelombang mengalami refraksi sehingga penjarannya mencapai pantai tegak lurus dengan bibir pantai. Kecepatan gelombang yang menghantam *breakwater* masih cukup tinggi, setelah gelombang melewati *breakwater* pada gap terjadi turbulensi hingga akhirnya gelombang mencapai garis pantai. Kecepatan gelombang maksimal yang mencapai pantai dari arah datang barat daya 1,03 m/s, arah selatan 0,95 m/s, dan arah barat 0,78 m/s. Elevasi muka air pada tiap arah cenderung stabil setelah melewati *breakwater*, tinggi elevasi muka air yang mencapai pantai 0,32 – 0,35 m.

Dengan perencanaan *breakwater* diperoleh reduksi tinggi gelombang pada arah dominan hingga 26,45%, kecepatan gelombang direduksi hingga 32,71%, dan elevasi muka air direduksi hingga 38,15% (Tabel 8)

Tabel 6. Hasil simulasi variasi perletakan *breakwater*

Sudut Datang Gelombang	Tinggi Gelombang Eksisting (m)	BW 4 m		BW 3 m		Zigzag 1		Zigzag 2	
		Tinggi Gelombang (m)	Persentase Peredaman Tinggi Gelombang	Tinggi Gelombang (m)	Persentase Peredaman Tinggi Gelombang	Tinggi Gelombang (m)	Persentase Peredaman Tinggi Gelombang	Tinggi Gelombang (m)	Persentase Peredaman Tinggi Gelombang
180°	1.09	0.83	23.67%	0.82	24.56%	0.83	23.72%	0.83	23.26%
225°	1.12	0.83	26.45%	0.82	26.64%	0.78	30.41%	0.75	33.50%
270°	1.07	0.81	24.60%	0.81	24.79%	0.76	29.45%	0.78	27.64%

Tabel 7. Hasil simulasi dengan penambahan *breakwater*



Tabel 8. Persentase reduksi parameter gelombang

Sudut Datang Gelombang	Amplitudo Tinggi Gelombang Max.			Kecepatan Gelombang Max.			Elevasi Muka Air Max.		
	Kondisi Eksisting (m)	Kondisi Breakwater (m)	Persen reduksi	Kondisi Eksisting (m)	Kondisi Break water (m)	Persen reduksi	Kondisi Eksisting (m)	Kondisi Break water (m)	Persen reduksi
180°	1.08	0.81	24.81%	1.18	0.95	18.85%	0.49	0.32	34.63%
225°	1.12	0.83	26.45%	1.54	1.03	32.72%	0.51	0.32	38.15%
270°	1.07	0.83	22.43%	1.19	0.78	34.51%	0.43	0.35	18.05%

Tabel 9. Perencanaan *breakwater*

Parameter	Bagian	Primary Layer	Secondary Layer	Core layer	Toe berm	Satuan
berat butir	Kepala	5189	519	26	519	kg
	Badan	4953	495	25	495	kg
Tebal	Kepala	2.9	1.9	sisa ruang	1.3	m
	Badan	2.8	1.9	sisa ruang	1.3	m
Jumlah lapis lindung	Kepala	9	13	-	-	buah/m ²
	Badan	10	13	-	-	buah/m ²
dimensi	Kepala	1.6	0.7	0.3	0.7	m
	Badan	1.5	0.7	0.3	0.7	m

7. Perencanaan *Breakwater*

Dimensi *breakwater* direncanakan dengan memperhatikan beberapa parameter, diantaranya gelombang pecah, material yang digunakan, kemiringan *breakwater*, dan parameter pendukung lainnya. Pada perencanaan ini diperhitungkan dimensi bahan penyusun dan tebal lapis pelindung *primary layer*, *secondary layer*, *core layer*, serta *toe berm*. Dari hasil simulasi arah dominan datang gelombang diperoleh tinggi gelombang di perairan dalam 4 m, dan tinggi gelombang di lokasi *breakwater* sebesar 3,2 m, data ini kemudian digunakan untuk perencanaan dimensi *breakwater*. Dari perhitungan diperoleh beberapa parameter dimensi *breakwater* (lihat Tabel 9).

8. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Pemodelan CGWAVE mampu memodelkan penjalaran gelombang dan deformasi gelombang dengan baik. Visual yang diperoleh pada pemodelan dengan menggunakan periode ulang 50 tahun tinggi gelombang signifikan pada kawasan besar memperlihatkan pola penjalaran gelombang dominan dari arah datang barat daya, dikarenakan gelombang dari Teluk Tapian Nauli ke Pantai Ujung menjalar tanpa penghalang sehingga tinggi gelombang di sekitar perairan Pantai Ujung masih cukup tinggi.
- Hasil simulasi eksisting gelombang dengan arah datang barat daya sangat mempengaruhi abrasi pantai, sedangkan gelombang dari arah datang barat dan selatan merupakan sudah

bertransformasi sehingga kurang terlalu mempengaruhi garis pantai. Diperoleh amplitudo tinggi gelombang, kecepatan gelombang, dan elevasi muka air laut masing-masing 1,12 m, 1,54 m/s, 0,51 m. Diperoleh lokasi efisien untuk peredaman parameter gelombang yaitu pada kedalaman 3-4 m dengan jarak dari garis pantai 250 m. peredaman terhadap tinggi gelombang dari arah barat daya parameter amplitudo tinggi gelombang, kecepatan gelombang, dan elevasi muka air masing-masing 26,45%, 32,72%, dan 38,15%. Sehingga dengan perencanaan lokasi *breakwater* tersebut cukup efektif untuk peredaman parameter gelombang.

- Perencanaan *breakwater* lepas pantai sebagai berikut:
 - 3 seri tipe *breakwater Rubble Mound* sepanjang 80 m dengan gap 20 m, kemiringan sebesar 50%, dengan lapis lindung batu alam (kasar)
 - Lokasi perencanaan Kedalaman kaki *breakwater* pada -4 m MSL Elevasi puncak *breakwater* +7,02 m LWS Lebar puncak 4,2 m

9. Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memperhatikan koefisien difraksi, refraksi, dan refleksi.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memperhitungkan stabilitas *breakwater*.
- Perlu dilakukan variasi lebar gap dan kemiringan *breakwater*.

10. Daftar Pustaka

- Atkins, T., Goshaw, C., dan Kenny, A., 2015, *The Assessment of Harbour Protection Schemes for Long Period Waves*, New Zealand: Australasian Coasts & Ports Conference.
- Ceritasibolga.com, 2016, Pantai Ujung Sibolga Terlantar, diakses pada Desember 2018, dari www.ceritasibolga.com/2016/09/pantai-ujung-sibolga-terlantar.html.
- Demirbilek, Z., dan Panchang, V., 1998, *CGWAVE: A Coastal Surface Water Wave Model of the Mild Slope Equation*, Washington D.C.: U.S. Army Corps of Engineers.
- CERC, 1984, *Shore Protection Manual*, Vicksburg, Mississippi: Waterways Experiment Station, Corps of Engineers.
- Elhakeem, M., Paleologos, E.K., El Amrousi, M., 2019, *2-D Coastal Hydrodynamic Model to Evaluate the Performance of the Abu Dhabi Shore Protection System*, Abu Dhabi: IOP Publishing.
- Febri, R., Achmad, N., dan Sriyono, E., 2015, Analisa Transformasi Gelombang Dominan Pelabuhan Glagah (Studi Perbandingan *Software Awave 2-3* dengan *CGWAVE*), Yogyakarta: Jurnal Teknik Vol. 5 No. 1: 20 - 29
- Ikhsanudin, M.H., Sugianto, D.N., dan Purwanto, 2017, Analisis Transformasi dan Spektrum Gelombang Berarah di Perairan Sayung Demak Jawa Tengah, Semarang: Jurnal Oceanografi UNDIP. Vol.6, No.1: 89-99.
- Karima, D. A., & Sarwono, B., (2017), Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang di Teluk Sumbreng, Kabupaten Trenggalek, Jurnal Teknik ITS, Vol. 6 No. 2: 280-285.
- Lanura, B. S., Pradjoko, E., dan Harianto, B., (2017), Kondisi Gelombang di Wilayah Perairan Pantai Labuhan Haji, Spektrum Sipil, Vol. 1 No.1: 55-72.
- Mulyabakti, C., Jasin. M.I., Mamoto, J.D., 2016, Analisis Karakteristik Gelombang dan Pasang Surut pada Daerah Pantai Paal Kecamatan Likupang Timur Kabupaten Minahasa Utara, Manado: Jurnal Sipil Statik Vol. 4 No. 9: 585-594.
- Pratama, R. L., Widagdo, S., & Rahyono, R., (2019), Karakteristik Tinggi Gelombang untuk Perencanaan *Breakwater* di Pelabuhan Jangkar Situbondo, Jawa Timur, Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal of Tropical Marine Research)(J-Tropimar), Vol. 1 No.1: 57-65.
- Rabung, F., Muhiddin, A.B., Hatta, M.P., dan Malik, S., 2015, Deformasi Gelombang di Pantai Makassar, Prosiding Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin vol. 9.
- Refi, A., (2013), Analisis Breakwater pada Pelabuhan Teluk Bayur dengan Menggunakan Batu Alam, Tetrapod, dan A-Jack, Padang, Jurnal Momentum, Vol. 15 No. 2: 1-14.
- Sasikumar, S., Kamath, A., Musch, O., Lothe, A.E., dan Bihs, H., 2018, *Numerical Study on the Effect of a Submerged Breakwater Seaward of an Existing Breakwater for Climate Change Adaption*, *Proceedings of the ASME 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, Madrid: OMAE.
- Sharma, A., dan Panchang, V., 2014, *Finite Element Modeling of Nonlinear Wave Transformation Using Elliptic Mild Slope Equation*, Coastal Engineering.
- Sharma, A., Panchang, V.G., dan Kaihatu, J.M., 2014, *Modeling Nonlinear Wave-Wave Interactions with the Elliptic Mild Slope Equation*, Texas: Elsevier, Applied Ocean Research, 48: 114-125.
- Triatmodjo, B., 1999, Teknik Pantai, Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B., 2009, Perencanaan Pelabuhan, Yogyakarta: Beta Offset.
- Umar, 2011, Kajian Pengaruh Gelombang Terhadap Kerusakan Pantai Matang Danau Kabupaten Sambas, Pontianak, Jurnal Teknik Sipil UNTAN, Vol. 11 No. 1: 93 – 102.
- USACE, 2015, *Coastal Engineers Manual*, Washington D.C.: Coastal Hydraulic Laboratory.
- Zidan, A. R., Rageh, O. S., Sarhan, T., & Esmail, M. (2012), Effect of breakwaters on Wave Energy Dissipation (Case Study: Ras El-Bar Beach, Egypt), *International Water Technology Journals*. Vol. 2 No. 4: 268-283.
- Zulkifli, Thaha, H.M.A., Karamma, R., 2017, Simulasi Gelombang Perairan Kota Bubau dengan Menggunakan SMS (*Surface Water Modeling System*), Makassar: Universitas Hasanuddin.