

ANALISIS PENILAIAN KINERJA BANGUNAN PENGAMAN PANTAI TERHADAP PENENTUAN PRIORITAS REHABILITASI KONSTRUKSI (STUDI KASUS PANTAI KEMA DAN PANTAI LILANG)

Toyfur Rachman
Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana

korespondensi: toyfur.rachman@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pantai Kema dan Pantai Lilang berlokasi di Sulawesi Utara, tepatnya di Desa Kema Dua, Desa Kema Tiga dan Desa Lilang, Kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara. Bangunan Pantai Kema dan bangunan Pantai Lilang tentunya juga mengalami berbagai masalah seperti yang dialami oleh bangunan pantai lainnya. Hal yang harus dipahami adalah bagaimana menjaga agar bangunan pantai dapat bekerja secara optimal untuk mereduksi gelombang laut. Analisis penilaian kinerja bangunan pengaman pantai bertujuan untuk peningkatan optimisasi dan proteksi gelombang, sedimen, pasang surut terhadap pemukiman atau bangunan dibelakangnya. Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Tinggi dan periode gelombang laut ekstrim dari arah selatan dengan $H = 1,19$ m dan $T = 11,9$ detik. Tipe pasang surut campuran, condong ke semi diurnal, dengan tunggang pasang setinggi 1,39 m – 1,40 m. tinggi run up sebesar 2,6 m di pantai kema dan 2,7 m dipantai Lilang yang mengakibatkan overtopping pada saat gelombang tinggi sehingga berdampak pada kinerja bangunan. Besar volume transport sedimen tahunan selama sepuluh tahun pemodelan berkisar antara 99.385 m³ terjadi di Pantai Kema dan 17.287 m³ terjadi di Pantai Lilang. Hasil dari penilaian kinerja bangunan pengaman pantai yang meliputi inventarisasi, pemantauan dan analisis data pasang surut, gelombang, pemodelan perubahan garis pantai dan sedimen transpor di Pantai Kema dan Pantai Lilang. Terdapat 25 ruas bangunan, didapatkan mayoritas dalam kondisi baik sebanyak 80 % dan dalam kondisi cukup baik 20 % dengan saran tindakan adalah pemantauan.

Kata Kunci: Bangunan Pantai, Sedimen, Run Up, Pasang Surut, Gelombang, GENESIS, Penilaian Kinerja.

ABSTRACT

Kema Beach and Lilang Beach are located in North Sulawesi, Kema Dua Village, Kema Tiga Village and Lilang Village, Kema District, North Minahasa Regency. The Kema Beach building and the Lilang Beach building are also have various problems as experienced by other beach buildings. The thing that must be understood is how to keep coastal buildings can work optimally to reduce sea waves. Analysis of the assessment of the performance of coastal protection structures saims to increase the optimization and protection of waves, sediments, tides against settlements or buildings behind them. This research uses quantitative method. The height and period of extreme sea waves from the south with $H = 1.19$ m and $T = 11.9$ seconds. Mixed tidal type, leaning to semi-diurnal, with a high tide range of 1.39 m – 1.40 m. run up is 2.6 m at Kema beach and 2.7 m at Lilang beach which are consequence of overtopping during high waves which impacted the performance of the building. The volume of annual sediment transport during the ten years of modeling ranged from 99,385 m³ occurring at Kema Beach and 17,287 m³ occurring at Lilang Beach. The results of the assessment performance of coastal protection structures involves inventory, monitoring and analysis of tidal data, waves, modeling of shoreline changes and transport sediments at Kema Beach and Lilang Beach. There are 25 building segments, the majority are found to be in good condition as much as 80% and in fairly good condition 20% to monitor.

Keywords: Coastal Structures, Sediment, Run Up, Tides, Wave, GENESIS, Performance Assessment.

PENDAHULUAN

Wilayah pantai merupakan wilayah pertemuan antara daratan dan lautan. Beberapa kondisi disharmoni pantai seperti meningkatnya tinggi

gelombang, kurangnya wawasan pemangku kepentingan dalam pemanfaatan lahan di daerah pantai mengakibatkan alam mencari keseimbangannya sendiri. Proses mencari

keseimbangan ini dapat terjadi secara bertahap maupun ekstrim. Ketidakseimbangan aliran sedimen masuk dan keluar dari bentang alam pesisir mengakibatkan erosi pantai dan sedimentasi. Siklus hidup infrastruktur daerah pesisir sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan operasi dan pemeliharaan di pantai. Untuk mencapai kinerja terbaik dari infrastruktur pesisir, perlu dilakukan evaluasi secara terus menerus untuk perbaikan/pemeliharaan dalam peningkatan proses operasional.

Pada bangunan pengaman pantai yang berada di Pantai Kema dan Pantai Lilang, memiliki tingkat kerusakan yang sedang hingga cukup tinggi, ditinjau secara visual dari lantai bangunan pantai yang sudah mengalami kerusakan, retak, segmen tembok tidak teratur, berlubang, batu bergeser, batu tercabut, plesteran mengelupas, tumit tergerus dan lain-lain. Berdasarkan uraian tersebut sangat diperlukan analisis indeks kondisi bangunan pantai dan penilaian kinerja bangunan pengaman pantai terhadap prioritas rehabilitasi konstruksi untuk peningkatan optimisasi bangunan pantai memproteksi gelombang laut, agar kegiatan rehabilitasi konstruksi dan kinerja fungsi bangunan dimasa yang akan datang dapat dilakukan secara parsial dan efisien. Sehingga dapat diketahui cara mitigasi bencana yang tepat dari bencana runtuhnya bangunan pantai tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis gelombang laut bangkitan angin serta pasang surut air laut.
2. Menganalisis *run up* dari gelombang.
3. Menganalisis bangunan eksisting

menggunakan pemodelan perubahan garis pantai dan sedimen transpor.

4. Menentukan prioritas rehabilitasi konstruksi bangunan pantai berdasarkan gelombang, sedimen transpor, pasang surut dan kondisi fisik bangunan.

TINJAUAN PUSTAKA

Bangunan Pantai

Erosi garis pantai merupakan salah satu masalah yang melanda wilayah pesisir. Dengan menghancurkan kawasan pemukiman dan fasilitas yang ada di kawasan tersebut, erosi pantai dapat mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Hal pertama yang perlu dilakukan untuk menghentikan erosi pantai adalah mencari penyebabnya. Dengan mengetahui penyebabnya, maka dapat ditentukan cara mengatasinya, yang biasanya adalah dengan membangun bangunan pelindung pantai [4].

Pasang Surut

Pasang surut memiliki periode pasang surut 12 jam 25 menit atau 24 jam 50 menit, tergantung pada jenisnya, dan pasang surut adalah fluktuasi permukaan laut yang disebabkan oleh daya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan, terhadap massa air laut di Bumi. Meskipun bulan memiliki massa yang jauh lebih kecil daripada matahari, gaya gravitasi yang diberikan oleh bulan pada pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada yang diberikan oleh matahari. Hal ini dipengaruhi oleh fakta bahwa bulan jauh lebih dekat ke bumi daripada matahari ke bumi. Akibatnya, daya tarik bulan ke bumi lebih besar daripada matahari [8].

Sumber penggerak pasang surut adalah benda-benda astronomi di luar bumi, tetapi pada kenyataan di lapangan pasang surut sudah sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lokal, seperti topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk dan lain sebagainya, yang menyebabkan setiap lokasi mempunyai ciri karakteristik yang berbeda [7].

Gelombang

Gelombang angin dan pasut adalah dua bentuk gelombang yang memiliki dampak terbesar pada rekayasa pesisir. Gelombang adalah jenis energi yang dapat menciptakan pantai, menciptakan arus, mengangkut sedimen di sepanjang pantai dalam arah tegak lurus, dan menyebabkan gaya pada struktur pantai. Dalam penentuan tata letak, jalur pelayaran, dan desain bangunan pantai semuanya sangat dipengaruhi oleh gelombang [4].

Fetch

Fetch adalah jarak tanpa hambatan di atas air dimana angin membuat gelombang yang bergerak dalam arah dan kecepatan yang sama. Bentuk daratan yang mengelilingi laut membatasi *fetch* dalam studi pembangkitan angin laut. Gelombang dihasilkan tidak hanya di tempat yang sama arah angin tetapi juga pada berbagai sudut terhadap arah angin di daerah pembentukan gelombang [8]. Persamaan berikut menunjukkan *fetch efektif*.

$$F_{\text{efektif}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

Distribusi Kecepatan Angin

Pengukuran angin umumnya dilakukan di daratan. Maka dari itu diubah seolah-olah di laut. Untuk mendapatkan keseimbangan satuan

pengukuran pada ketinggian tersebut, maka data angin yang digunakan diukur pada ketinggian 10 meter di atas permukaan bumi. Jika angin tidak diukur pada ketinggian 10 meter, maka harus diperbaiki dengan menggunakan koreksi yang tercantum di bawah ini [8].

$$U(10) = U(y) \left(\frac{10}{y}\right)^{1/7} \dots\dots\dots (2)$$

Konversi Kecepatan Angin

Biasanya pengukuran angin dilakukan di daratan, padahal didalam rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi pengamatan angin di atas permukaan laut. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk. Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh kecepatan angin (U), lama hembusan angin, *fetch* (F) dan arah angin [3]. Hubungan ini dapat dilihat pada diagram perbandingan antara kecepatan angin di air dan di darat yang diformulasikan:

$$R_L = U_W / U_L \dots\dots\dots (3)$$

Variabel U_A , yaitu faktor tegangan angin (*wind stress factor*) yang dapat ditentukan dari kecepatan angin, dimasukkan ke dalam rumus dan grafik pembangkitan gelombang. Kecepatan angin dikonversi ke faktor tegangan angin menggunakan rumus di bawah ini mengikuti beberapa konversi kecepatan angin [8].

$$U_A = 0,71 U^{1,27} \dots\dots\dots(4)$$

Nilai H dan T dapat ditemukan setelah diketahui nilai U_A . Dengan menggunakan metode SMB (Sverdrup Munk Bretschneider), persamaan berikut digunakan dalam peramalan gelombang untuk memperoleh tinggi dan periode gelombang [5].

$$H_s = 0,00366 g^{-0,62} F^{0,38} (U \cos \theta)^{1,24} \dots(5)$$

$$T_s = 0,54 g^{-0,77} F^{0,23} (U \cos \theta)^{0,54} \dots\dots\dots(6)$$

Rayapan Gelombang (*Run Up*)

Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut akan naik (*run up*) pada permukaan bangunan. Elevasi (tinggi) bangunan yang direncanakan tergantung pada rayapan yang diijinkan. Rayapan tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan dan karakteristik gelombang [1].

$$I_r = \frac{tg \theta}{\left(\frac{H}{L_o}\right)^{0,5}} \dots\dots\dots(7)$$

Permodelan Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai merupakan peristiwa alami yang terjadi secara terus menerus. Perubahan garis pantai tersebut bisa berupa pengikisan garis pantai (abrasi) dan penambahan badan pantai (sedimentasi). Sementara sedimentasi belum dianggap sebagai ancaman, abrasi pantai dan disertai dengan gelombang tinggi adalah ancaman bencana yang bisa menimbulkan kerugian material dan jiwa [2]. Pada umumnya perubahan garis pantai yang terjadi adalah perubahan maju (akresi) dan perubahan mundur (abrasi). Untuk mengetahui

perubahan garis pantai yang terjadi pada pantai dalam jangka waktu tertentu dapat digunakan program *GENESIS*. Perubahan garis pantai merupakan peristiwa alam yang berlangsung terus menerus dan dinamis. Permodelan dalam *GENESIS* mengacu juga pada persamaan berikut ini [10].

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{1}{D_B} \frac{\partial Q_s}{\partial x} \dots\dots\dots(8)$$

Transpor Sedimen Pantai

Laju transpor sedimen di sepanjang pantai dihitung menggunakan persamaan empiris *GENESIS*. Arah gelombang dan garis pantai atau kontur digunakan untuk menghitung laju transpor sedimen pada setiap langkah waktu dan pada titik grid, dengan pengecualian batas pantai terbuka. Laju transportasi sedimen keluaran model dinyatakan dalam laju bersih Q_n (*netto*) dan laju bruto Q_g (*gross*) [9].

$$Q_g = Q_{rt} + Q_{lt} \dots\dots\dots(9a)$$

$$Q_n = Q_{rt} - Q_{lt} \dots\dots\dots(9b)$$

Arah kanan dan kiri pengamat yang berdiri di pantai dengan menghadap ke laut menentukan arah transpor sedimen. Selisih antara pergerakan kiri dan kanan transpor melewati suatu titik di garis pantai selama periode waktu tertentu adalah laju transpor bersih atau Q_n .

Kondisi Fisik Bangunan Pengaman Pantai dan lingkungan

Angka yang dikenal sebagai Indeks Kondisi Bangunan dan Lingkungan menunjukkan kondisi fisik bangunan dan lingkungan. Pengolahan hasil pemantauan bangunan menghasilkan nilai ini. Skala nilai dari 1 hingga 4 digunakan untuk bangunan pelindung pantai

dan lingkungan, dengan 1 mewakili kondisi terbaik dan 4 mewakili kondisi terburuk [6].

Penilaian Kinerja Bangunan Pengaman Pantai

Pada setiap akhir kegiatan pemantauan, kondisi fisik, lingkungan dan kinerja bangunan pengaman pantai dievaluasi. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut dapat diputuskan tindakan selanjutnya, apakah bangunan pantai yang bersangkutan memerlukan pemeliharaan atau

tidak. Dalam kegiatan evaluasi ini digunakan perhitungan untuk menilai kondisi fisik bangunan dan lingkungan. Pada hasil penilaian kondisi bangunan, dengan penilaian angka 1 sampai 4 [2]. Tujuan akhir adalah untuk menentukan tindakan tindak lanjut yang diperlukan terhadap bangunan yang bersangkutan. Hasil kegiatan evaluasi digunakan sebagai acuan kegiatan pemeliharaan dan rencana mitigasi bencana.

Tabel 1 : Tindakan dan saran kondisi fisik dan kinerja fungsional bangunan

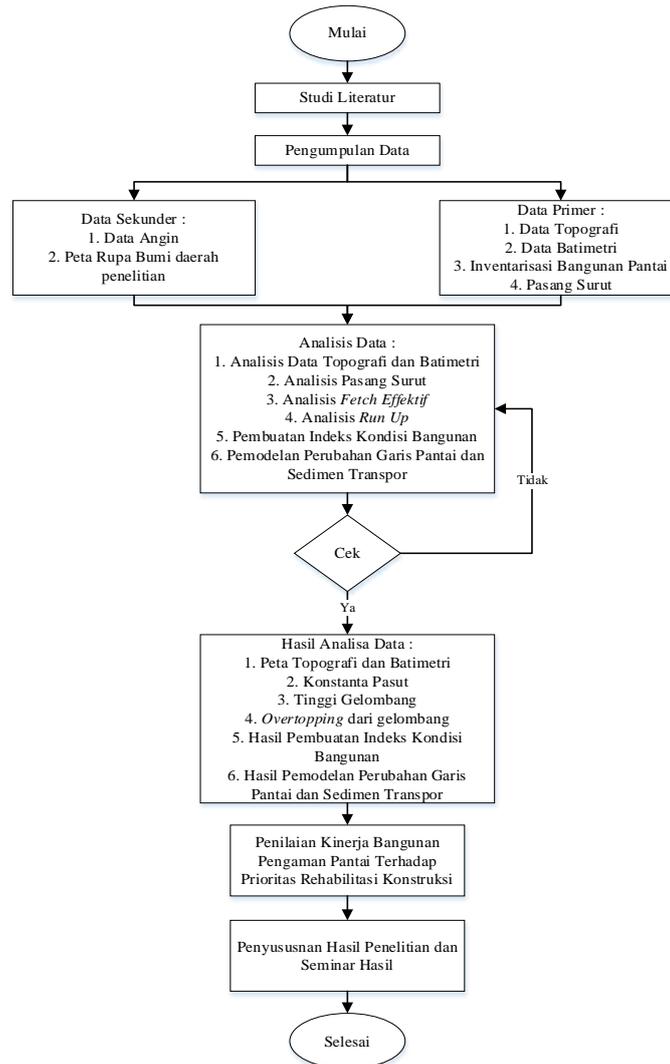
| Kinerja Fungsi Bangunan | Fisik Bangunan Pengaman Pantai | | | | | Saran Tindakan | | |
|-------------------------|--------------------------------|---|-------|---------|-----|-----------------|------------|--------------|
| | Nilai Indeks | | | Kondisi | | | | |
| Baik | 0 | < | Nilai | \leq | 1.5 | Baik | Pemantauan | |
| | 1.5 | < | Nilai | \leq | 2.5 | Cukup Baik | | |
| | 2.5 | < | Nilai | \leq | 3.5 | Perlu Perbaikan | | Pemeliharaan |
| | | | > 3.5 | | | Rusak Berat | | |
| Buruk | 0 | < | Nilai | \leq | 1.5 | Baik | Kaji Ulang | |
| | 1.5 | < | Nilai | \leq | 2.5 | Cukup Baik | | |
| | 2.5 | < | Nilai | \leq | 3.5 | Perlu Perbaikan | | |
| | | | > 3.5 | | | Rusak Berat | | |

Sumber : Pedoman operasi dan pemeliharaan SE Menteri PU No.1/SE/M/2011 [6]

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif atas dasar pertimbangan bahwa untuk menganalisis suatu masalah yang ada peneliti menggunakan data

sekunder dan data primer. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik serta terarah, maka dibuat bagan alir penelitian sesuai dengan rencana dan langkah kerja sebagai berikut.



Gambar 1 : Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasang Surut

Dari hasil analisis pasang surut, dapat ditentukan nilai elevasi referensi seperti LLWL, MSL dan HHWL yang selanjutnya akan

digunakan sebagai referensi desain. Semua elevasi pengukuran yang ada akan ditarik dari nilai BM yang telah terkoreksi dengan benar berdasarkan nilai pengamatan pasang surut.

Tabel 2 : Elevasi acuan pasang surut Pantai Lilang

| NO | DESCRIPTION | Elevation (m) | | Ket. |
|----|--|---------------|----------|------|
| | | Peil Schale | From LWL | |
| 1 | HHWL (<i>Highest High Water Level</i>) | 1.536 | 1.393 | HWL |
| 2 | MHWS (<i>Mean High Water Spring</i>) | 1.492 | 1.349 | |
| 3 | MHWL (<i>Mean High Water Level</i>) | 1.052 | 0.909 | |
| 4 | MSL (<i>Mean Sea Level</i>) | 0.711 | 0.568 | MSL |
| 5 | MLWL (<i>Mean Low Water Level</i>) | 0.354 | 0.211 | |
| 6 | MLWS (<i>Mean Low Water Spring</i>) | 0.165 | 0.022 | |
| 7 | LLWL (<i>Lowest Low Water Level</i>) | 0.143 | 0.000 | LWL |

Sumber : Hasil olahan, 2022

Tabel 3 : Elevasi acuan pasang surut Pantai Kema

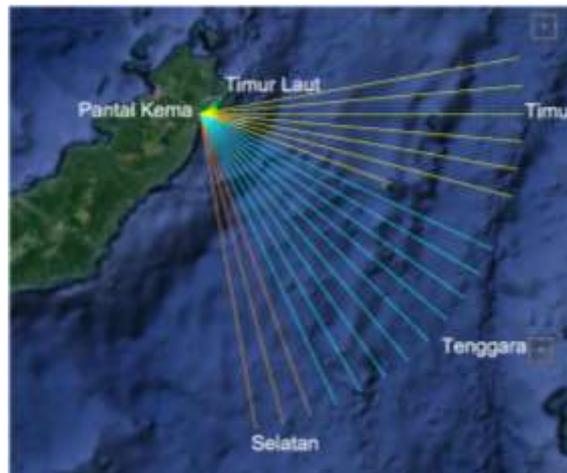
| NO | DESCRIPTION | Elevation (m) | | Ket. |
|----|---------------------------------|---------------|----------|------------|
| | | Peil Schale | From LWL | |
| 1 | HHWL (Highest High Water Level) | 1.520 | 1.400 | HWL |
| 2 | MHWS (Mean High Water Spring) | 1.519 | 1.399 | |
| 3 | MHWL (Mean High Water Level) | 1.061 | 0.941 | |
| 4 | MSL (Mean Sea Level) | 0.702 | 0.581 | MSL |
| 5 | MLWL (Mean Low Water Level) | 0.323 | 0.203 | |
| 6 | MLWS (Mean Low Water Spring) | 0.138 | 0.018 | |
| 7 | LLWL (Lowest Low Water Level) | 0.121 | 0.000 | LWL |

Sumber : Hasil olahan, 2022

Fetch Efektif

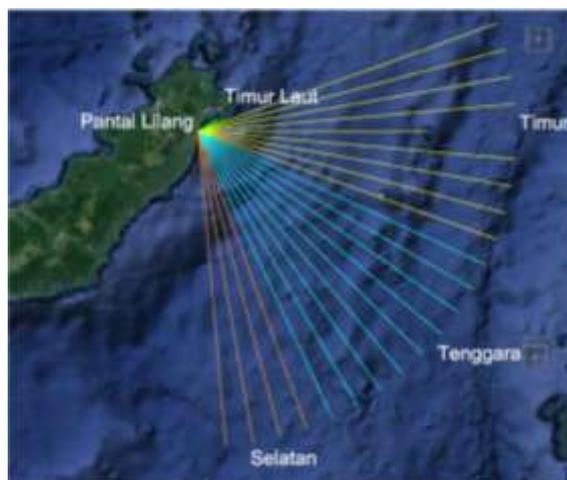
Gelombang yang berpengaruh di Pantai Kema dan Pantai Lilang adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin dari 4 arah mata angin yaitu dari arah Timur Laut, Timur, Tenggara

dan Selatan. Arah gelombang laut dalam yang berpengaruh di Pantai Kema dan Pantai Lilang dan daerah pembangkitannya ditunjukkan dalam peta berikut.



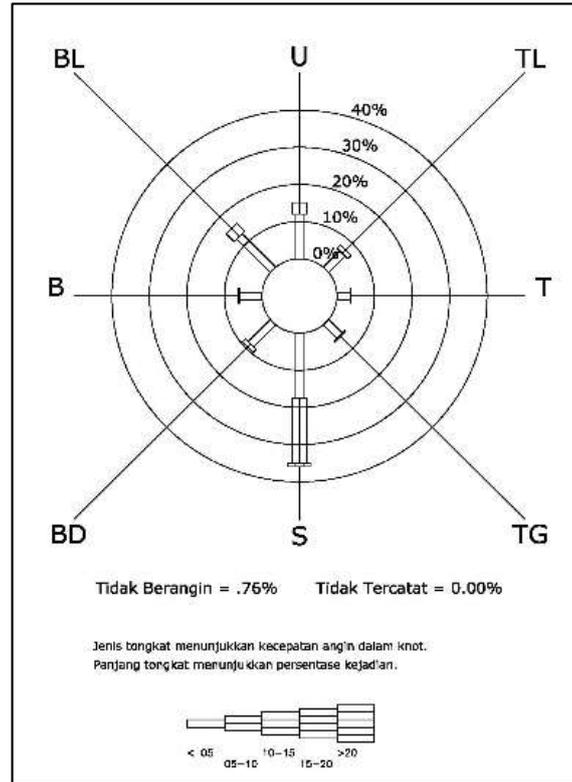
Gambar 2 : Daerah Pembentukan Gelombang Fetch di Pantai Kema

Sumber : Hasil olahan, 2022



Gambar 3 : Daerah Pembentukan Gelombang Fetch di Pantai Lilang

Sumber : Hasil olahan, 2022



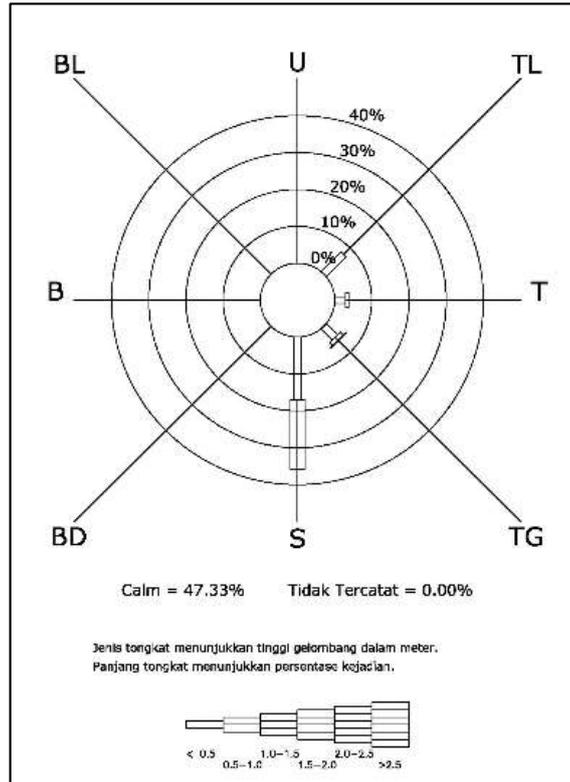
Gambar 4 : Total kecepatan dan arah angin
 Sumber : Hasil olahan, 2022

Dari gambar Windrose dan tabel kejadian kejadian angin yang paling sering terjadi dari angin, dapat disimpulkan bahwa presentase Arah Selatan dengan total kejadian 35.93 %.

Tabel 4 : Total kejadian angin tahun 2001-2020

| Arah | Jumlah Jam | | | | | | Persentase | | | | | |
|----------------|------------|-------|-------|-------|------|-------|------------|-------|-------|-------|------|-------|
| | < 5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | > 20 | Total | < 5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | > 20 | Total |
| Utara | 21152 | 5506 | 1 | 0 | 0 | 26659 | 12.06 | 3.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.21 |
| Timur Laut | 10742 | 2345 | 3 | 0 | 0 | 13090 | 6.13 | 1.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.47 |
| Timur | 6358 | 142 | 0 | 0 | 0 | 6500 | 3.63 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.71 |
| Tenggara | 9078 | 458 | 0 | 0 | 0 | 9536 | 5.18 | 0.26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.44 |
| Selatan | 30521 | 30815 | 1662 | 3 | 0 | 63001 | 17.41 | 17.58 | 0.95 | 0.00 | 0.00 | 35.93 |
| Barat Daya | 14574 | 2048 | 2 | 0 | 0 | 16624 | 8.31 | 1.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.48 |
| Barat | 10379 | 783 | 3 | 0 | 0 | 11165 | 5.92 | 0.45 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.37 |
| Barat Laut | 22132 | 5274 | 5 | 0 | 0 | 27411 | 12.62 | 3.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.63 |
| Berangin | = 173986 | | | | | | = 99.24 | | | | | |
| Tidak Berangin | = 1334 | | | | | | = 0.76 | | | | | |
| Tidak Tercatat | = 0 | | | | | | = 0.00 | | | | | |
| Total | = 175320 | | | | | | = 100.00 | | | | | |

Kecepatan angin dalam knot.
 Sumber : Hasil olahan, 2022



Gambar 5 : Total kecepatan dan arah gelombang
 Sumber : Hasil olahan, 2022

Dari gambar Waverose dan tabel tinggi dan arah gelombang, dapat disimpulkan bahwa sering terjadi dari arah Selatan dengan total presentasi kejadian gelombang yang paling kejadian 35.97 %.

Tabel 5 : Total tinggi dan arah gelombang

| Arah | Tinggi Gelombang (m) | | | | | | Total | |
|------------------------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|
| | < 0.5 | 0.5-1.0 | 1.0-1.5 | 1.5-2.0 | 2.0-2.5 | > 2.5 | | |
| Utara | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | |
| Timur Laut | 7.491 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 7.49 | |
| Timur | 2.935 | 0.803 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 3.74 | |
| Tenggara | 4.267 | 1.193 | 0.012 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 5.47 | |
| Selatan | 17.029 | 18.942 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 35.97 | |
| Barat Daya | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | |
| Barat | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | |
| Barat Laut | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | |
| Bergelombang | | | | | | | = | 52.67 |
| Tidak Bergelombang (<i>calm</i>) | | | | | | | = | 47.33 |
| Tidak Tercatat | | | | | | | = | 0.00 |
| T o t a l | | | | | | | = | 100.00 |

Sumber : Hasil olahan, 2022

Dalam kajian ini gelombang rencana yang Metode Gumbel. Periode ulang gelombang dipakai adalah berdasarkan analisis harga maksimum dari arah Selatan sebesar 1,19 m ekstrim dari data gelombang terbesar tahunan dengan periode 11,9 detik di laut dalam hasil peramalan gelombang. Metode yang (periode ulang gelombang 25 tahunan). digunakan dalam analisis harga ekstrim adalah

Tabel 6 : Tinggi Gelombang Ekstrim

| Periode Ulang (tahun) | Timur Laut | | Timur | | Tenggara | | Selatan | |
|-----------------------|------------|--------|-------|--------|----------|--------|---------|--------|
| | H (m) | T (dt) | H (m) | T (dt) | H (m) | T (dt) | H (m) | T (dt) |
| 1 | 0.17 | 8.0 | 0.56 | 5.9 | 0.64 | 6.9 | 0.72 | 8.4 |
| 2 | 0.19 | 8.5 | 0.63 | 6.2 | 0.73 | 7.2 | 0.80 | 9.1 |
| 3 | 0.21 | 9.1 | 0.70 | 6.6 | 0.82 | 7.6 | 0.88 | 9.8 |
| 5 | 0.22 | 9.7 | 0.78 | 6.9 | 0.91 | 7.9 | 0.96 | 10.4 |
| 10 | 0.23 | 10.4 | 0.88 | 7.4 | 1.03 | 8.3 | 1.06 | 11.1 |
| 25 | 0.25 | 11.2 | 1.01 | 8.0 | 1.18 | 8.8 | 1.19 | 11.9 |
| 50 | 0.26 | 11.7 | 1.10 | 8.5 | 1.29 | 9.1 | 1.29 | 12.3 |
| 100 | 0.26 | 12.3 | 1.20 | 8.9 | 1.40 | 9.4 | 1.38 | 12.7 |
| 200 | 0.27 | 12.8 | 1.29 | 9.4 | 1.51 | 9.6 | 1.48 | 13.1 |

Sumber : Hasil olahan, 2022

Run Up Pantai Kema dan Pantai Lilang

Elevasi puncak pemecah gelombang dihitung berdasarkan tinggi *run up*. Kemiringan sisi bangunan pantai di Pantai Kema yaitu 1:2. Diketahui panjang gelombang di laut dalam (L_0) adalah sebesar 220,91 meter. Dari nilai L_0 dapat dicari nilai bilangan irribaren. Hasil bilangan irribaren (Ir) = 4,372.

$$\frac{R_u}{H} = 1.29 \rightarrow R_u = 2.696 \text{ meter}$$

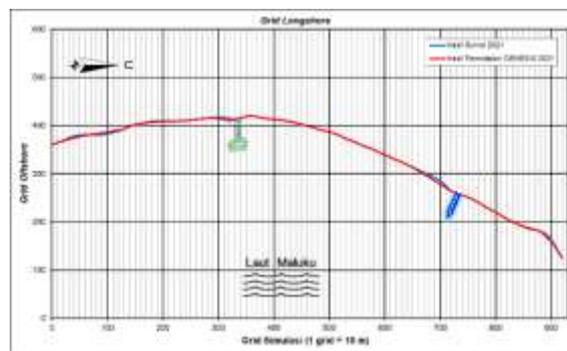
Untuk kemiringan sisi bangunan pantai di

Pantai lilang yaitu 1:2. Diketahui panjang gelombang di laut dalam (L_0) adalah sebesar 220,91 meter. Dari nilai L_0 dapat dicari nilai bilangan irribaren. Hasil bilangan irribaren (Ir) = 7,200.

$$\frac{R_u}{H} = 1.30 \rightarrow R_u = 2.707 \text{ meter}$$

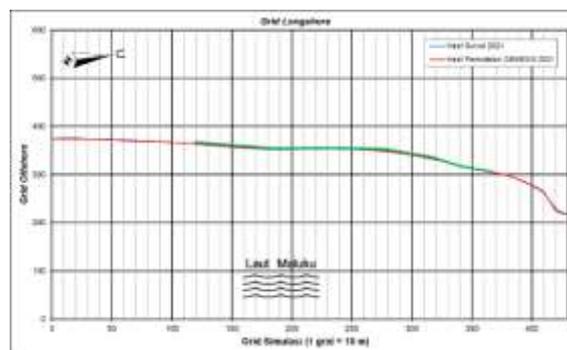
Kalibrasi Model

Kalibrasi ini memakai data batimetri Pantai Kema dan Pantai Lilang tahun 2021.



Gambar 6 : Perbandingan model GENESIS dengan data shoreline Pantai Kema tahun 2021

Sumber : Hasil olahan, 2022



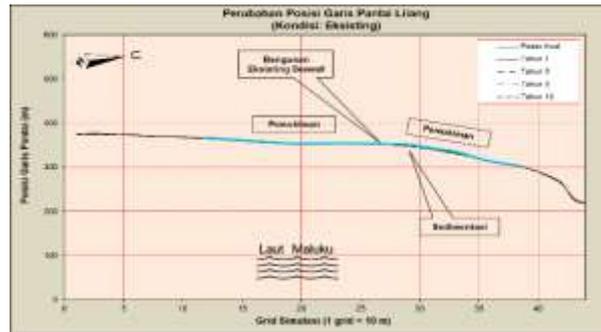
Gambar 7 : Perbandingan model GENESIS dengan data shoreline Pantai Lilang tahun 2021

Sumber : Hasil olahan, 2022

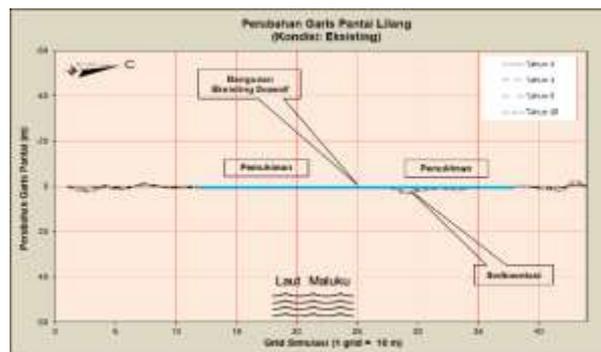
Untuk mengetahui besar persentase kesalahan data atau model digunakan persamaan relatif sehingga diperoleh nilai kesalahan maksimum mencapai 1.565% (Pantai Kema) dan 1,425 % (Pantai Lilang) dimana nilai tersebut masih di bawah 5% sehingga hasil pemodelan cukup akurat untuk digunakan.

Pemodelan GENESIS

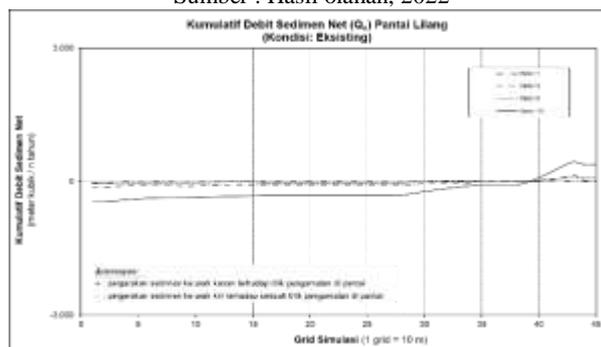
Hasil *running* model *GENESIS* terhadap bangunan eksisting dari tahun 2011 sampai 2020 atau selama 10 tahun dapat terlihat terjadinya perubahan garis pantai dan pergerakan laju sedimen.



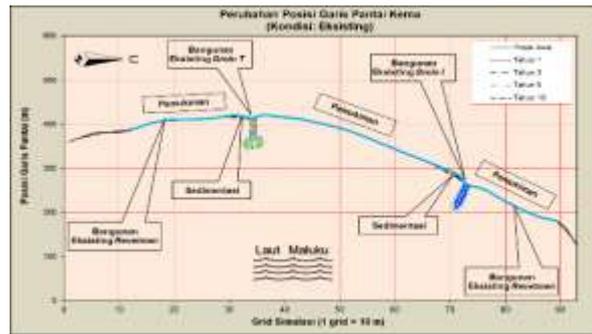
Gambar 8 : Hasil *running* Pantai Lilang
 Sumber : Hasil olahan, 2022



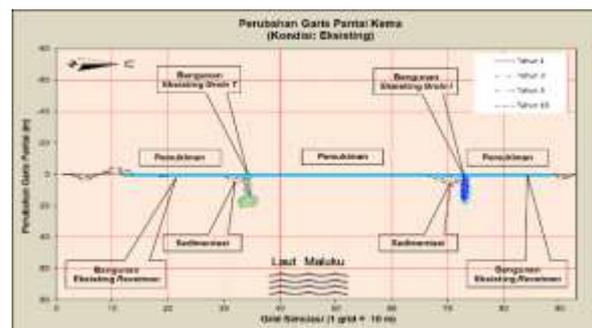
Gambar 9 : Hasil perubahan garis Pantai Lilang
 Sumber : Hasil olahan, 2022



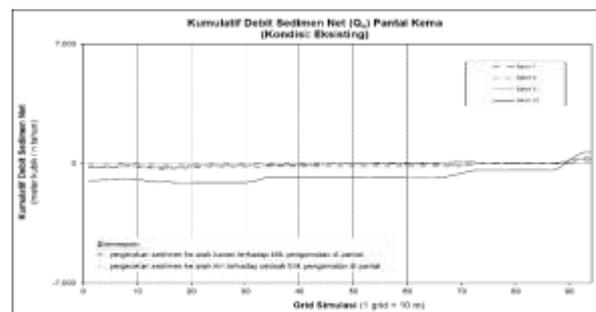
Gambar 10 : Debit sedimen transpor bersih (*net*) selama sepuluh tahun di Pantai Lilang
 Sumber : Hasil olahan, 2022



Gambar 11 : Hasil *running* di Pantai Kema
Sumber : Hasil olahan, 2022



Gambar 12 : Hasil perubahan garis Pantai Kema
Sumber : Hasil olahan, 2022



Gambar 13 : Debit sedimen transpor bersih (*net*) selama sepuluh tahun di Pantai Kema
Sumber : Hasil olahan, 2022

Dari hasil pemodelan yang ditampilkan, terlihat bahwa setiap tahun terdapat volume pergerakan sedimen yang relatif besar di sepanjang Pantai Kema dan Pantai Lilang. Selama sepuluh tahun pemodelan, volume angkutan sedimen tahunan berkisar dari 99.385 m³ untuk Pantai Kema dan 17.287 m³ untuk Pantai Lilang. Diperkirakan bahwa penyebab utama dari masalah sedimentasi di sekitar perairan pantai adalah transport sedimen, yang dipengaruhi oleh arus sepanjang pantai sebagai akibat dari gelombang

yang kemudian akan dilakukan untuk tujuan mengevaluasi kinerja struktur pantai.

Inventarisasi dan Identifikasi Bangunan Pengaman Pantai

Dalam penanganan masalah abrasi pantai dilokasi penelitian telah banyak dilakukan dengan adanya bangunan tembok laut, revetmen dan Groin pada Pantai Kema dan Pantai Lilang yang sebagaimana ditunjukkan pada peta hasil inventarisasi yang dilakukan pada saat survei inventarisasi dan identifikasi. Nomenklatur bangunan diidentifikasi sebagai

identitas bangunan yang berbeda dalam inventarisasi.

Tabel 7 : Nomenklatur Kabupaten Minahasa Utara

| No | Lokasi | Desa | Kode Bangunan |
|----|---------------|------------------------|---------------|
| 1 | Pantai Kema | Kema Dua dan Kema Tiga | 7106Rv01 |
| | | | 7106Gr01 |
| 2 | Pantai Lilang | Lilang | 7106TL01 |

Sumber : Hasil olahan, 2022

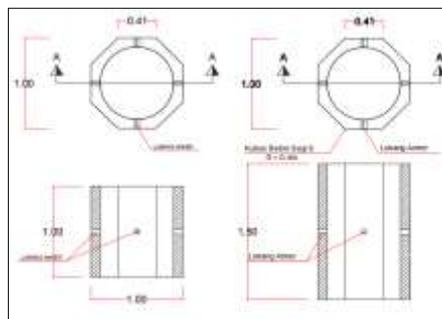
Tabel 8 : Obyek Yang Dilindungi di Lokasi Studi

| No | Nama Pantai | Desa | Tipe Bangunan | Obyek Yang Dilindungi |
|---------------------------------|---------------|------------------------|--------------------|------------------------------------|
| Kabupaten Minahasa Utara | | | | |
| 1 | Pantai Kema | Kema Dua dan Kema Tiga | Revetmen dan Groin | Pemukiman dan Fasilitas Umum |
| 2 | Pantai Lilang | Lilang | Tembok Laut | Pemukiman dan Jalan Raya Kabupaten |

Sumber : Hasil olahan, 2022

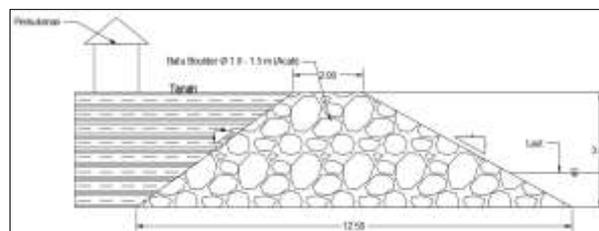
Pengumpulan data teknis bangunan diperoleh dari pengukuran lapangan dilakukan pada setiap bangunan untuk mendapatkan bentuk dan ukuran terkini meliputi panjang bangunan,

elevasi puncak bangunan, lebar puncak bangunan, lebar dasar bangunan, kemiringan badan bangunan.



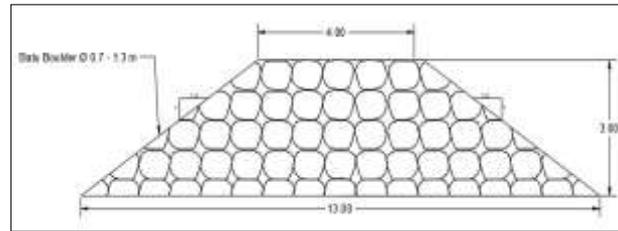
Gambar 14 : Sketsa bangunan pengaman pantai material buis beton

Sumber : Hasil olahan, 2022



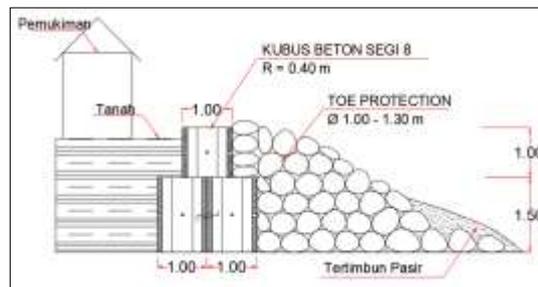
Gambar 15 : Sketsa bangunan pengaman pantai revetmen

Sumber : Hasil olahan, 2022



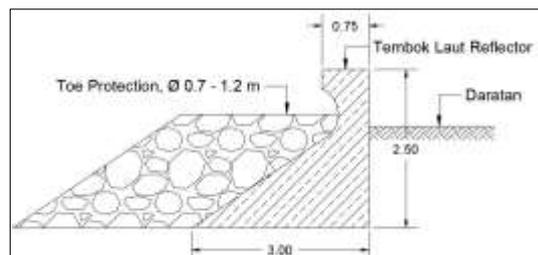
Gambar 16 : Sketsa bangunan pengaman pantai groin

Sumber : Hasil olahan, 2022



Gambar 17 : Sketsa bangunan pengaman pantai tembok laut

Sumber : Hasil olahan, 2022



Gambar 18 : Sketsa bangunan pengaman pantai tembok laut reflector

Sumber : Hasil olahan, 2022

Untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang kondisi bangunan dan mempelajari perubahan yang terjadi dari hasil pemodelan. Data dicatat dalam blanko pemantauan yang terdiri dari indikator lingkungan yaitu tinggi gelombang mencakup hasil analisis *run up* gelombang dilokasi penelitian, dengan demikian dapat digunakan untuk menentukan tinggi rayapan gelombang *run up*. Kondisi pasang surut ditentukan untuk mengetahui tunggang pasang surut terhadap bangunan, dengan demikian dapat diketahui apakah bangunan pantai selalu tenggelam pada kondisi pasang tertinggi atau sebaliknya bangunan pantai menggantung pada saat air surut,

sehingga berpotensi pada kerusakan lanjutan. Kondisi sedimen transpor menggunakan hasil analisis pemodelan perubahan garis pantai, dimana untuk mengetahui pergerakan arah sedimen transpor dan endapan sedimen di kaki bangunan. Kondisi fisik bangunan meliputi pengumpulan data kondisi fisik dengan mengukur dan mengamati kondisi komponen bangunan dan lingkungan serta memberikan penilaian terhadap kondisi bangunan dan lingkungan berdasarkan analisis penilaian kinerja bangunan pengaman pantai. Berikut merupakan rangkuman hasil detail penilaian kinerja serta saran dan tindakan dari penilaian

kinerja bangunan pengaman Pantai Kema dan Pantai Lilang.

Tabel 9 : Rekapitulasi Hasil Identifikasi Bangunan Pengaman Pantai Kema dan Pantai Lilang

| IDENTIFIKASI | | | DETAIL PENILAIAN | | | | | | | | | | | KINERJA BANGUNAN | | |
|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|---------------|-----------------|--------------------|----------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------------|-------------|------------------------|---------------------|------------|
| Rua s | Deskripsi Nama Pantai | Panjang (m) | Puncak | Badan Luar | Fondasi Luar | Mat Dsr Luar | Badan Dalam | Fondasi Dalam | Mat Dsr Dalam | Mat Struktur | Run Up | Pasang Surut | Sedime n | Penilaian | | Saran |
| | | | | | | | | | | | | | | Indeks Banguna n | Kondisi Bangunan | Ket |
| Buis Beton | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TL 01 | Lilang | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.10 | Baik | Pemantauan |
| TL 02 | Lilang | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.10 | Baik | Pemantauan |
| TL 03 | Lilang | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.10 | Baik | Pemantauan |
| TL 04 | Lilang | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.10 | Baik | Pemantauan |
| TL 05 | Lilang | 48 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.40 | Baik | Pemantauan |
| | | 248 | | | | | | | | | | | | | | |
| Seawall Reflector | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TL 01 | Lilang | 50 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1.35 | Baik | Pemantauan |
| TL 02 | Lilang | 67 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1.60 | Cukup Baik | Pemantauan |
| | | 117 | | | | | | | | | | | | | | |
| Rubble Mound | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rv01 | Kema | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.10 | Baik | Pemantauan |
| Rv02 | Kema | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.10 | Baik | Pemantauan |
| Rv03 | Kema | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.10 | Baik | Pemantauan |
| Rv04 | Kema | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1.30 | Baik | Pemantauan |
| Rv05 | Kema | 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.25 | Baik | Pemantauan |
| Rv06 | Kema | 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.25 | Baik | Pemantauan |
| Rv07 | Kema | 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.25 | Baik | Pemantauan |
| Rv08 | Kema | 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.25 | Baik | Pemantauan |
| Rv09 | Kema | 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.25 | Baik | Pemantauan |
| Rv10 | Kema | 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.25 | Baik | Pemantauan |
| Rv11 | Kema | 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.25 | Baik | Pemantauan |
| Rv12 | Kema | 50 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.25 | Baik | Pemantauan |
| Rv13 | Kema | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1.70 | Cukup Baik | Pemantauan |
| Rv14 | Kema | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.60 | Cukup Baik | Pemantauan |
| Rv15 | Kema | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1.70 | Cukup Baik | Pemantauan |
| Rv16 | Kema | 60 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1.80 | Cukup Baik | Pemantauan |
| | | 810 | | | | | | | | | | | | | | |
| Rubble Mound | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gr01 | Kema | 40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1.20 | Baik | Pemantauan |
| Gr02 | Kema | 35 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1.30 | Baik | Pemantauan |
| | | 75 | | | | | | | | | | | | | | |

Sumber : Hasil olahan, 2022

KESIMPULAN

Dari data angin jam-jaman dan analisis data gelombang didapatkan arah gelombang dominan berasal dari arah selatan, dengan $H = 1,19$ m dan $T = 11.9$ detik. Tipe pasang surut adalah Tipe campuran, condong ke semi diurnal, dengan tunggang pasang setinggi 1,39 m – 1,40 m. Tinggi *run up* terhadap eksisting bangunan pengaman pantai sebesar 2,6 m di pantai kema dan 2,7 m dipantai Lilang yang mengakibatkan *overtopping* pada saat gelombang tinggi sehingga berdampak pada kinerja bangunan. Hasil analisis pemodelan garis pantai untuk kondisi Pantai kema dan Pantai Lilang cenderung mengalami akresi. Besar volume transport sedimen tahunan selama sepuluh tahun pemodelan berkisar antara 99.385 m³ terjadi di Pantai Kema dan 17.287 m³ terjadi di Pantai Lilang. Berdasarkan hasil dari penilaian kinerja bangunan pengaman pantai yang meliputi inventarisasi, pemantauan dan analisis data pasang surut, gelombang, pemodelan perubahan garis pantai dan sedimen transpor. Terdapat 25 ruas bangunan, didapatkan mayoritas dalam kondisi baik sebanyak 80 % dan dalam kondisi cukup baik 20 % dengan saran tindakan adalah pemantauan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Samaila and S. M. Hidayatun, "Efektifitas Kinerja Bangunan Pengaman Pantai di Desa Munte Kabupaten Luwu Utara," *Jurnal Rancang Bangun*, vol. 04, no. 1, pp. 1-6, 2018.
- [2] B. Istijono and B. Hidayat, "Analisis penilaian kinerja bangunan pengaman pantai terhadap abrasi di Kota Padang," in *Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI XXXI*, Padang, 2014.
- [3] P. Nadia, "Pengaruh Angin Terhadap Tinggi Gelombang Pada Struktur Bangunan Breakwater Di Tapak Paderi Kota Bengkulu," *Jurnal Inersia*, vol. 5, no. 1, pp. 1-17, 2013.
- [4] B. Trihatmodjo, *Perencanaan Bangunan Pantai*, Yogyakarta: Beta Offset, 2012.
- [5] R. Hidayah, "Analisa Perubahan Garis Pantai Jasri, Kabupaten Karangasem Bali," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2012.
- [6] S. Edaran, "Pedoman Operasi dan Pemeliharaan Bangunan Pengaman Pantai," Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta, 2011.
- [7] A. Nontji, *Laut Nusantara*, Jakarta: Djambatan, 2007.
- [8] B. Trihatmodjo, *Teknik Pantai*, Yogyakarta: Beta Offset, 1999.
- [9] H. Hanson and N. C. Kraus, *Generalized Model For Simulating Shoreline Change*, Washington DC: Department Of The Army US Army Corps Of Enginners Washington, 1989.
- [10] CERC, *Shore Protection Manual*, Vols. I-IV, Washington DC: U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1984.