



Penentuan Model Pelindung Pantai Menggunakan Software Delft3D di Pantai Tanjung Burung Mempawah, Kalimantan Barat

Determination Of Coastal Protection Model By Using Delft3D Software In Tanjung Burung Beach, Mempawah, Kalimantan Barat

Putri Amalia Nashibah^{*1}, M. Danial², Jasisca Meirany³, Arfena Deah Lestari⁴,
Liany Ayu Catherine⁵

^{1*} Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Kota Pontianak Kalimantan Barat

^{*}E-mail : putriamalia15juni@gmail.com

ABSTRAK

Pantai Tanjung Burung di Mempawah, Kalimantan Barat, mengalami abrasi parah akibat gelombang laut berenergi tinggi. Penelitian ini menganalisis efektivitas *breakwater* dan vegetasi mangrove dalam meredam gelombang signifikan (H_s) serta mengendalikan sedimentasi menggunakan perangkat lunak Delft3D. Pemodelan dilakukan untuk tiga skenario: kondisi alami, dengan *breakwater*, dan dengan mangrove, menggunakan data batimetri, pasang surut, gelombang, dan D50 sedimen. Hasil menunjukkan, pada kondisi alami, H_s mencapai sekitar 2,4 meter. *Breakwater* menurunkan H_s di belakang struktur menjadi sekitar 1,2 meter (paling efektif dari barat laut), namun mengubah pola sedimentasi. Vegetasi mangrove memengaruhi pola sedimentasi dengan menjebak sedimen, membantu menjaga kestabilan garis pantai dan mengurangi erosi. Kesimpulannya, vegetasi mangrove lebih sesuai untuk perlindungan Pantai Tanjung Burung karena mampu meredam gelombang secara alami, menjaga kestabilan sedimentasi, dan memberikan manfaat ekologis berkelanjutan.

Kata kunci: vegetasi mangrove, *breakwater*, gelombang signifikan, sedimentasi, Delft3D, perlindungan pantai.

ABSTRACT

Tanjung Burung Beach in Mempawah, West Kalimantan, faces severe erosion from high-energy ocean waves. This study analyzes the effectiveness of *breakwaters* and mangrove vegetation in reducing significant wave height (H_s) and controlling sedimentation using Delft3D software. Three scenarios (natural, *breakwater*, mangrove) were modeled, utilizing bathymetry, tidal, wave, and sediment D50 data. Results indicate that under natural conditions, H_s reached approximately 2.4 meters. *Breakwaters* reduced H_s behind the structure to about 1.2 meters (most effective for northwest waves) but altered sedimentation patterns. Mangrove vegetation influenced sedimentation by trapping sediments, helping maintain shoreline stability and reducing erosion. In conclusion, mangrove vegetation is more suitable for Tanjung Burung Beach protection due to natural wave dissipation, sediment stability, and long-term ecological benefits.

Keywords: mangrove vegetation, *breakwater*, significant wave height, sedimentation, Delft3D, coastal protection.

I. Pendahuluan

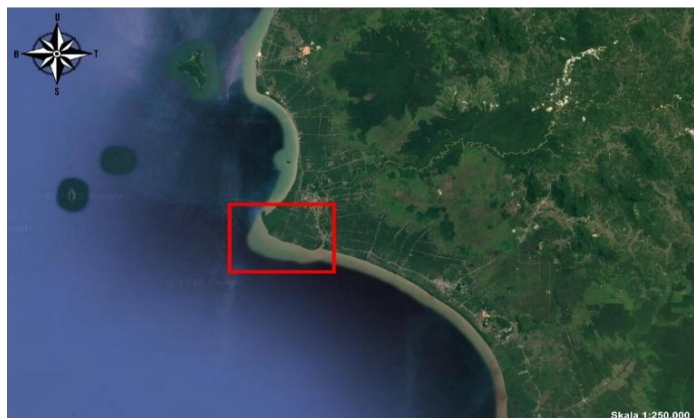
Indonesia, sebagai negara kepulauan, memiliki garis pantai lebih dari 80.000 km yang merupakan wilayah sensitif dan dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas manusia. Peningkatan pemanfaatan lahan dan kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim menyebabkan ancaman abrasi pantai yang berdampak negatif pada masyarakat pesisir. Abrasi, proses alami pengikisan garis pantai oleh ombak, arus, dan pasang surut, dapat dipercepat oleh faktor-faktor seperti gelombang tinggi, penambangan pasir, dan pembukaan hutan bakau, menyebabkan penyempitan garis pantai dan perpindahan sedimen. Kerusakan pantai akibat gelombang juga diperparah oleh perubahan iklim yang memengaruhi pola dan kekuatan gelombang laut, serta peningkatan frekuensi badai yang menyebabkan gelombang lebih tinggi dan tekanan air laut yang merusak.

Kalimantan Barat, dengan garis pantai sepanjang 1.398 km, rentan terhadap kerusakan ini. Salah satu contohnya adalah Pantai Tanjung Burung di Kabupaten Mempawah, yang mengalami abrasi parah akibat gelombang pasang dan ombak tinggi, mengancam pemukiman warga dan menyebabkan mundurnya garis pantai hingga dua kilometer dalam dua belas tahun terakhir, dengan laju abrasi rata-rata 29,04 meter per tahun. Menurut data Kementerian PUPR dan BMKG Kalimantan Barat (2023), sekitar 40% garis pantai wilayah tersebut mengalami abrasi dengan laju rata-rata 20–30 meter per tahun, terutama di Kabupaten Mempawah, Kubu Raya, dan Ketapang. Kondisi ini memperkuat urgensi penelitian untuk menentukan model perlindungan pantai yang efektif dan berkelanjutan. Masalah utama yang dikaji dalam penelitian ini adalah menentukan model pelindung pantai paling efektif antara breakwater dan vegetasi mangrove dalam meredam gelombang signifikan (H_s) di Pantai Tanjung Burung menggunakan Delft3D.

Tujuan penelitian ini untuk menentukan jenis pelindung pantai yang paling tepat antara *breakwater* dan vegetasi mangrove dengan menggunakan pemodelan numerik Delft3D, berdasarkan kondisi gelombang dan sedimen di Pantai Tanjung Burung, Kelurahan Tanjung, Kecamatan Mempawah dan mengetahui dampak sedimen yang terjadi pada wilayah pesisir setelah diberi perlindungan berupa breakwater maupun vegetasi mangrove.

II. Metode penelitian

Penelitian ini mengkaji penentuan model pelindung pantai di Pantai Tanjung Burung, Mempawah, Kalimantan Barat, menggunakan perangkat lunak Delft3D. Pendekatan yang digunakan bersifat kuantitatif, dengan fokus pada pengukuran dan analisis data numerik untuk mengevaluasi efektivitas dan stabilitas struktur pelindung pantai.



Gambar 1 Lokasi Penelitian Pantai Tanjung Burung

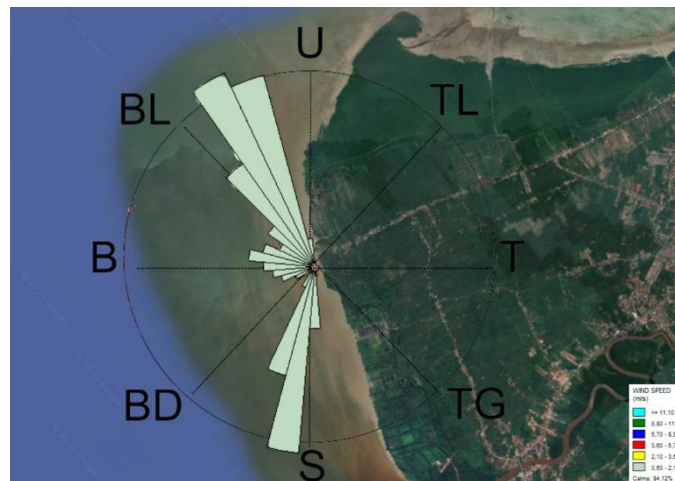
Penelitian ini berlokasi di Pantai Tanjung Burung, Kelurahan Tanjung, Kecamatan Mempawah, Kalimantan Barat.

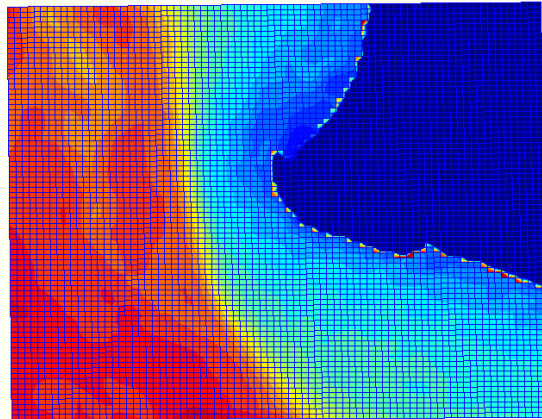
Untuk melakukan penelitian ini, penulis memerlukan bahan berupa data dari berbagai sumber untuk mendukung pemodelan. Data yang digunakan berasal dari sumber resmi, yaitu Batimetri Nasional (BATNAS) untuk data kedalaman, dan ECMWF ERA5 (2020–2024) untuk data angin dan gelombang. Validitas data dikonfirmasi melalui perbandingan dengan data sekunder dari hasil perhitungan. Simulasi dilakukan selama 2 hari menggunakan modul Delft3D-WAVE dan FLOW dengan interval waktu 1 jam. Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan distribusi sedimen antar skenario.

III. Hasil dan pembahasan

3.1 Arah Gelombang

Langkah awal penelitian ini adalah membuat diagram *waverose* dari data ECMWF 2020-2024 menunjukkan tiga arah mata angin dominan: Barat Daya, Barat, dan Barat Laut, yang merupakan sumber utama gelombang laut ke Pantai Tanjung Burung.





Gambar 3 Grid dan Batimetri dari Batnas

Setelah pembuatan grid dan input batimetri selesai. Langkah selanjutnya adalah memasukkan data. Dimulai dengan file .grd, .enc, .bnd, .bca, dan .dep, masukkan jendela waktu yang merupakan waktu pemodelan untuk mencatat proses yang berjalan di setiap interval waktu. Proses terakhir adalah menyimpan file data dan proses mengklik *star* untuk melakukan proses running.

```

Delft3D - [PAS_AB] - running computational program
File
Simultaneous FLOW and WAVE computation
- Delft3D
- Deltares, Delft3D-WAVE Version 3.04.01.000000, Jan 20 2016, 21:22:18
- Open source
-
*** MESSAGE: Delft3D-WAVE runs online with Delft3D-FLOW
Domain 1 is using depth averaged flow velocity.
Done reading input
Waiting for initialisation from FLOW
Starting Delft3D-FLOW computation ...
-----
Deltares, FLOW2D3D Version 6.00.00.000000, Jan 20 2016, 21:33:20
flow2d3d.dll entry Flow2D3D::Run
-----

Part I - Initialisation Time Dep. Data module...
        runid : PAS_AB
Part II - Creating intermediate files...
Part III - Initialisation of the Execution module...
Part IV - Reading complete MD-file...
Part V - Initialisation & checking input...
Part VI - Initialisation & checking second part...
Part VII - Initialisation output...

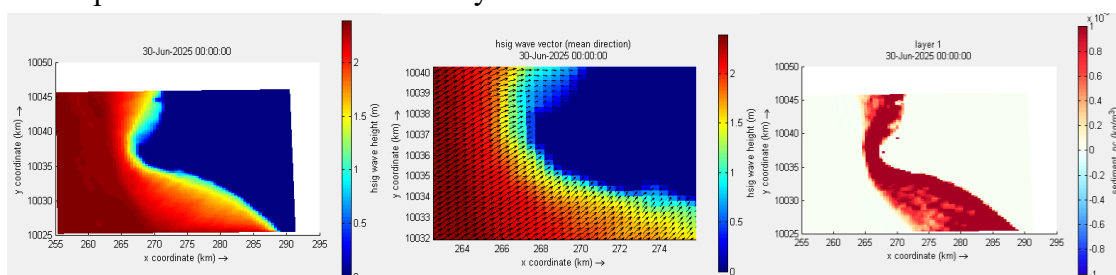
```

Gambar 4 Proses *Running* Data

3.2 Hasil dan Pembahasan Pemodelan

Hasil pemodelan gelombang dapat dilihat melalui *toolbar* QUICKPLOT. Delft3D-QUICKPLOT disediakan untuk membuat grafis dasar atau membuat animasi cepat. Berikut merupakan hasil *running* gelombang pada wilayah pantai Tanjung Burung, pemodelan dilakukan menggunakan *software* Delft3D dimana hasil pemodelan ini berfokus pada tinggi signifikan dan sedimentasi sekitar lokasi penelitian.

➤ Tanpa Breakwater Arah Barat Daya

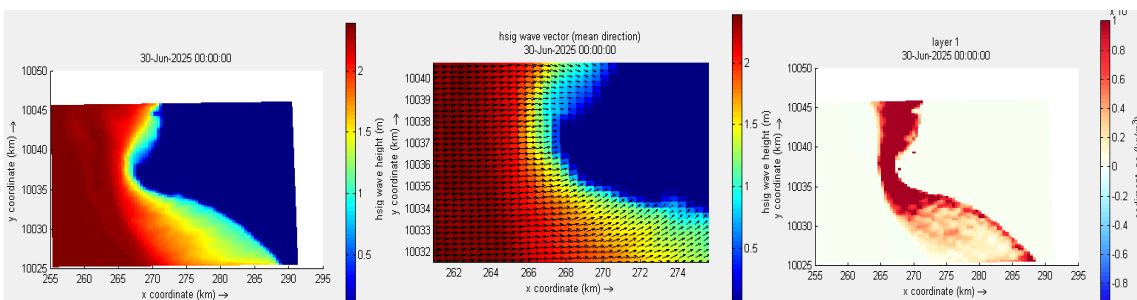
Gambar 5 Hs, Grafik, dan Sedimentasi Tanpa *Breakwater* Arah Barat Daya

Hasil simulasi menunjukkan H_s tertinggi di laut terbuka mencapai 2,4 meter, yang secara bertahap menurun hingga 0,5 meter di pesisir. Penurunan ini disebabkan oleh transformasi gelombang, shoaling, refraksi, dan gelombang pecah di perairan dangkal. Gelombang tinggi ini didorong oleh angin kencang dan fetch panjang, melepaskan energi besar yang menyebabkan abrasi. Sudut datang gelombang yang miring memicu pembentukan arus litoral, yang menjadi mekanisme utama transport sedimen lateral, mengakibatkan abrasi di satu sisi pantai dan akresi di sisi lain. Pantai Tanjung Burung mengalami H_s sedang hingga tinggi (1,5-2 meter) yang langsung mengarah ke pantai.

Vektor gelombang di perairan lepas menunjukkan energi tinggi dari lautan terbuka. Mendekati pantai, vektor membelok dan memendek, mengindikasikan refraksi dan disipasi energi akibat shoaling dan gelombang pecah. Pola ini menciptakan arus litoral yang kuat, menyeret sedimen di sepanjang pantai, menyebabkan abrasi dan akresi. Tanpa pelindung, pantai rentan terhadap serangan gelombang dari barat daya, menegaskan perlunya intervensi.

Sebaran transport sedimen paling luas dan intens di area yang terpapar gelombang, menunjukkan zona abrasi. Pola ini hasil interaksi gelombang, arus, dan sedimen dasar laut. Gelombang berenergi tinggi dari barat daya mengikis dan mengangkat sedimen, sementara sudut datang gelombang yang miring memicu transport sedimen lateral oleh arus litoral.

➤ Tanpa Breakwater Arah Barat



Gambar 6 H_s , Grafik, dan Sedimentasi Tanpa Breakwater Arah Barat

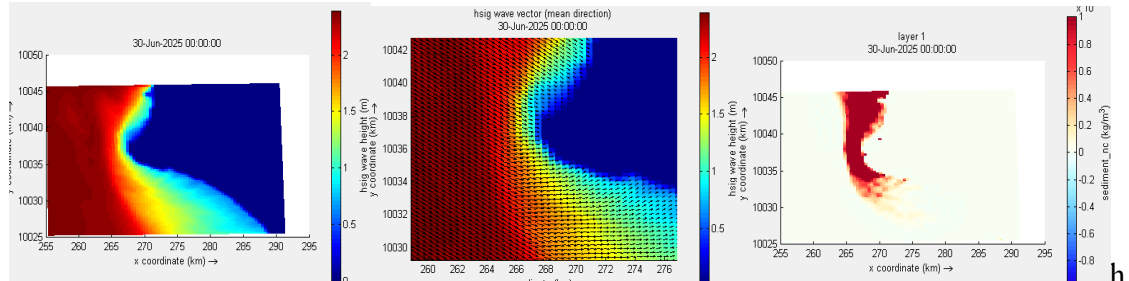
H_s tertinggi mencapai 2,38 meter di bagian barat, karena gelombang datang tegak lurus ke pantai, menyebabkan konsentrasi energi tinggi dan abrasi vertikal parah. Gelombang frontal ini mempertahankan sebagian besar energinya hingga mencapai garis pantai, melepaskan energi secara masif dan tiba-tiba, menghasilkan gelombang pecah yang sangat kuat dan backwash yang menyeret sedimen. Pola ini adalah penyebab utama abrasi vertikal yang ekstrem, dengan sedikit transport sedimen lateral.

Vektor gelombang dominan dari barat, tegak lurus terhadap garis pantai, menunjukkan energi masif dan terkonsentrasi yang menurun tiba-tiba di dekat pantai. Ini disebabkan oleh interaksi langsung gelombang dengan garis pantai tanpa refraksi signifikan. Pelepasan energi frontal menghasilkan backwash kuat yang menyebabkan erosi profil pantai. Dampaknya adalah abrasi vertikal parah dan hilangnya material pantai secara permanen, menegaskan perlunya breakwater untuk menghadapi serangan tegak lurus.

Pergerakan sedimen dari arah barat terpusat di tengah pantai, didorong langsung ke daratan karena gelombang tegak lurus. Pola ini mengindikasikan abrasi dominan dan terfokus. Gelombang berenergi tinggi mengikis dan mengangkut sedimen, yang

kemudian didorong ke daratan oleh gelombang dan ditarik kembali oleh backwash, menyebabkan abrasi vertikal parah dan hilangnya material pantai secara permanen tanpa mekanisme transport lateral yang signifikan.

➤ Tanpa Breakwater Arah Barat Laut

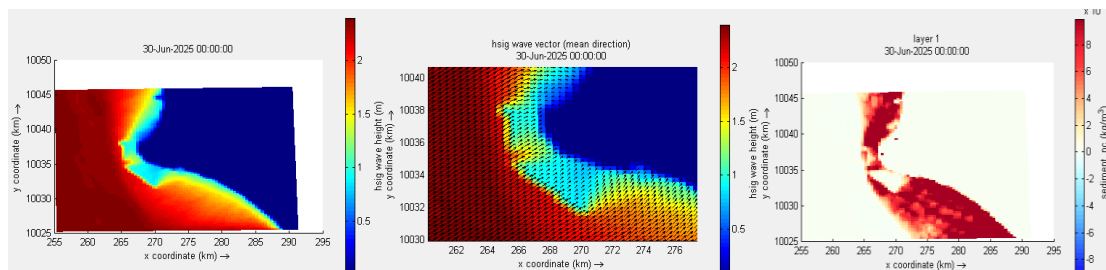


Gambar 7 Hs, Grafik, dan Sedimentasi Tanpa Breakwater Arah Barat Laut. Gelombang miring juga menciptakan arus litoral yang membawa sedimen, dan interaksi arus-sedimen-dasar laut dapat menguras energi gelombang. Jika ada zona akresi di selatan, dapat meredam energi gelombang.

Vektor gelombang dari barat laut membelok dan memendek di dekat pantai, menunjukkan refraksi dan disipasi energi akibat shoaling dan gelombang pecah. Meskipun terjadi refraksi, sudut datang yang miring menciptakan arus litoral yang kuat, bertanggung jawab atas transport sedimen lateral, menyebabkan abrasi di hulu dan akresi di hilir. Ini menunjukkan pantai tetap rentan terhadap erosi lateral, memerlukan intervensi untuk mengendalikan arus litoral.

Sedimen tampak lebih sedikit dan menumpuk di bagian tengah dan utara, tidak merata di seluruh garis pantai. Vektor sedimen menunjukkan transport lateral mengikuti arus yang terbentuk oleh gelombang. Penumpukan di tengah dan utara, serta ketiadaan sedimen di selatan, disebabkan oleh kombinasi arah gelombang miring, pembentukan arus litoral dari utara ke selatan, dan distribusi energi yang tidak merata. Hal ini menyebabkan ketidakstabilan garis pantai, dengan potensi abrasi di satu area dan pendangkalan di area lain, membahayakan infrastruktur pesisir.

➤ Dengan Breakwater Arah Barat Daya



Gambar 8 Hs, Grafik, dan Sedimentasi Dengan Breakwater Arah Barat Daya

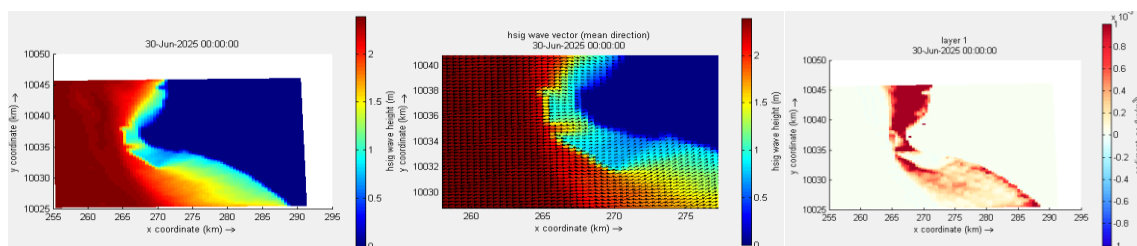
Nilai Hs menunjukkan interaksi gelombang dengan breakwater, di mana tinggi gelombang menurun drastis dari ± 2 m menjadi $\pm 1,15$ m saat pecah di depan struktur, kemudian berkurang signifikan hingga mendekati nol di belakangnya. Breakwater memantulkan dan memecah sebagian besar energi gelombang, sementara sebagian kecil energi melewati struktur melalui difraksi dengan Hs yang jauh lebih rendah. Zona terlindungi di belakang breakwater tidak hanya mencegah abrasi, tetapi juga memicu

pengendapan sedimen akibat energi gelombang yang rendah, sehingga mendorong akresi pantai.

Hasil analisis vektor gelombang menunjukkan perbedaan mencolok antara kondisi alami dan dengan breakwater. Di perairan lepas, vektor panjang dari barat daya menandakan energi tinggi, namun panjangnya berkurang drastis di depan struktur, menunjukkan disipasi energi yang signifikan. Di belakang breakwater, hampir tidak terlihat vektor, menandakan zona tenang. Sedikit pembelokan vektor di ujung struktur mengindikasikan proses difraksi, namun dengan energi sangat rendah. Breakwater berfungsi sebagai penghalang fisik yang efektif dalam meredam gelombang berenergi tinggi, menghentikan abrasi frontal, dan menjaga kestabilan pantai.

Pola sedimentasi yang signifikan dibandingkan kondisi alami. Tanpa breakwater, sedimen diangkut lateral oleh arus litoral akibat gelombang miring dari barat daya. Dengan adanya breakwater, konsentrasi sedimen tinggi terkonsentrasi di depan dan sekitar struktur, sementara area di belakangnya hampir tanpa sedimen akibat terbentuknya zona bayangan gelombang dengan energi sangat rendah. Kondisi ini melemahkan atau menghilangkan arus litoral di area terlindung, sehingga sedimen mengendap di belakang breakwater. Proses akresi ini secara bertahap membentuk tanjung pasir yang menjorok ke arah struktur, menunjukkan efektivitas breakwater dalam menghentikan erosi sekaligus memfasilitasi penambahan lahan.

➤ Dengan Breakwater Arah Barat



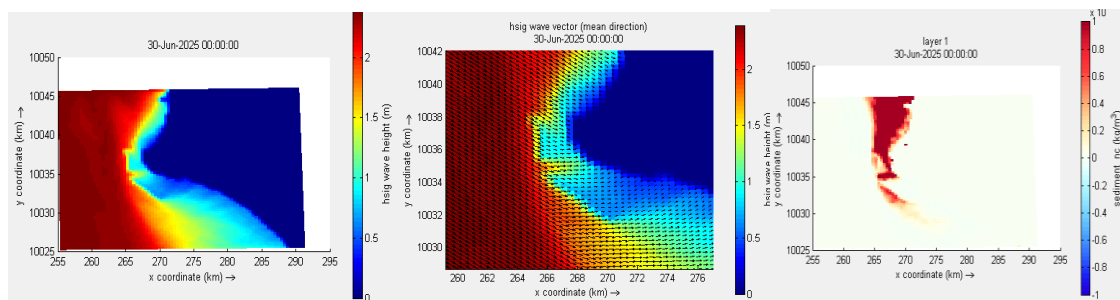
Gambar 9 Hs, Grafik, dan Sedimentasi Dengan Breakwater Arah Barat

Gelombang berenergi tinggi dari arah barat ($H_s \pm 2$ m) terhenti di depan kedua breakwater, dengan zona belakangnya didominasi H_s rendah (0,1–0,3 m). Pemecahan gelombang frontal di sepanjang struktur mendisipasi energi secara masif, menghasilkan zona terlindungi yang homogen tanpa difraksi signifikan. Kondisi ini efektif menghentikan abrasi frontal, menstabilkan garis pantai, dan menciptakan area tenang yang memfasilitasi pengendapan sedimen. Proses akresi yang terjadi berkontribusi pada penambahan luasan pantai di belakang breakwater.

Perubahan signifikan pola vektor gelombang akibat keberadaan breakwater 1 dan 2. Gelombang frontal dari barat dengan energi tinggi terhenti atau berkurang drastis panjang vektornya di depan struktur, menandakan disipasi energi yang efektif. Di belakang breakwater, hampir tidak terdapat vektor gelombang, menciptakan zona bayangan gelombang yang sangat tenang. Minimnya difraksi pada gelombang frontal membuat energi gelombang tersebar di sepanjang pantai, dengan konsentrasi tertinggi di Pantai Tanjung Burung dan bagian tengah pantai. Bagian selatan menerima energi lebih kecil akibat posisinya di ujung jalur gelombang dan topografi dasar laut yang lebih dangkal. Gelombang miring dari utara ke selatan menciptakan arus litoral yang melemah menuju selatan, sehingga H_s di area ini relatif rendah.

Gelombang tegak lurus dari arah barat sebelumnya menyebabkan abrasi parah yang tidak merata, namun dengan adanya breakwater 1 dan 2, sedimen berenergi tinggi kini terperangkap di depan struktur. Zona tenang di belakang breakwater memiliki konsentrasi sedimen sangat rendah, menandakan energi gelombang yang minim sehingga tidak terjadi pengangkutan sedimen. Proses akresi di belakang kedua breakwater membentuk tanjung pasir yang menjorok ke arah struktur. Breakwater 1 berperan sebagai penghalang utama terhadap gelombang frontal, sementara breakwater 2 melindungi segmen pantai yang tidak tercakup oleh breakwater 1. Sinergi kedua struktur ini menciptakan zona bayangan gelombang yang luas dan homogen, memastikan perlindungan maksimal sekaligus memfasilitasi penambahan lahan.

➤ Dengan Breakwater Arah Barat Laut



Gambar 10 Hs, Grafik, dan Sedimentasi Dengan Breakwater Arah Barat Laut

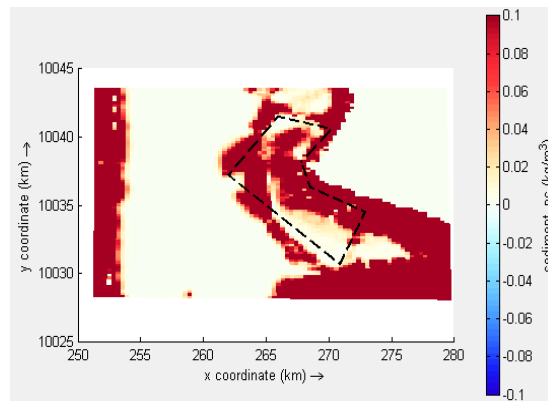
Hs dari arah barat laut juga mengalami penurunan signifikan setelah adanya breakwater, dengan gelombang dominan di area terlindung berada di bawah 0,5 m. Gelombang berenergi tinggi yang menghantam breakwater dipaksa pecah di depan struktur sehingga energinya terdisipasi menjadi panas dan turbulensi. Breakwater 1 meredam sebagian besar energi langsung dari barat laut, sedangkan breakwater 2 melindungi area pantai yang tidak tercakup oleh breakwater 1, menciptakan perlindungan menyeluruh. Karena gelombang datang miring, sebagian energi terdifraksi di sekitar ujung struktur, namun dengan energi rendah sehingga tidak menimbulkan abrasi berarti. Hs di bagian selatan lebih rendah dibandingkan Pantai Tanjung Burung akibat refraksi gelombang miring yang menyebarkan energi ke sepanjang pantai serta pengaruh morfologi dasar laut yang lebih dangkal.

Vektor gelombang dari arah barat laut menunjukkan penurunan energi signifikan setelah melewati breakwater 1 dan 2. Di depan struktur, panjang vektor berkurang drastis, sedangkan di belakangnya hampir tidak terlihat vektor, menandakan terbentuknya zona bayangan gelombang dengan energi sangat rendah. Difraksi di ujung breakwater menghasilkan sedikit pembelokan vektor, namun dengan energi rendah yang tidak menimbulkan ancaman abrasi. Gelombang berenergi tinggi dipaksa pecah di depan struktur, mendisipasi energinya menjadi panas dan turbulensi. Breakwater 1 meredam gelombang utama, sementara breakwater 2 melindungi segmen pantai yang tersisa, sehingga perlindungan maksimal tercapai di seluruh garis pantai.

Distribusi sedimen cenderung menumpuk di sisi utara breakwater. Gelombang dari barat laut menciptakan arus sejajar pantai dari utara ke selatan, membawa sedimen. Breakwater 1 dan 2, yang diletakkan di tengah dan utara pantai, secara efektif menjebak sedimen ini, menyebabkannya menumpuk di belakang struktur. Sebaliknya, bagian

selatan pantai menerima sedimen minimal karena gelombang dan arus di area tersebut telah kehilangan sebagian besar energinya, baik secara alami maupun akibat pengaruh breakwater. Sedimen dari utara sudah mengendap lebih dulu di belakang breakwater, sehingga tidak ada material tersisa untuk diangkut dan ditumpuk di bagian selatan.

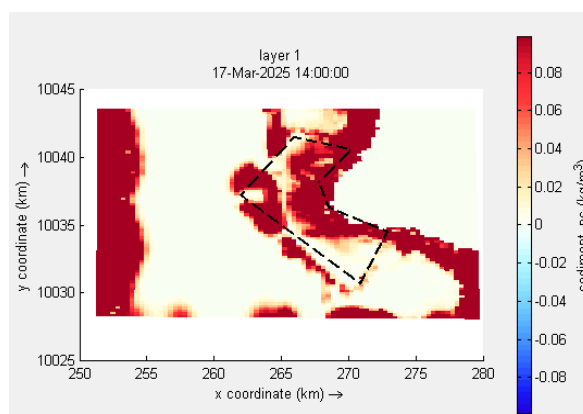
➤ Dengan Vegetasi Mangrove Arah Barat Daya



Gambar 11 Sedimen mangrove arah barat daya

Pola sedimentasi dengan mangrove menunjukkan perubahan signifikan dibandingkan kondisi alami. Konsentrasi sedimen tinggi tersebar di dalam dan di depan area vegetasi, menandakan kemampuan mangrove memerangkap sedimen secara efektif. Batang, cabang, dan akar yang rapat memperlambat gelombang dari barat daya, mendisipasi energinya, dan melemahkan arus litoral. Penurunan energi gelombang mengurangi kemampuan transport sedimen, sehingga partikel mengendap di antara akar mangrove. Sedimentasi yang merata ini mencegah erosi, menstabilkan material pantai, dan secara bertahap membentuk lahan baru. Selain manfaat fisik, mangrove juga menyediakan habitat bagi biota laut dan menjaga keseimbangan ekosistem, menjadikannya solusi perlindungan pantai berbasis alam yang berkelanjutan.

➤ Dengan Vegetasi Mangrove Arah Barat

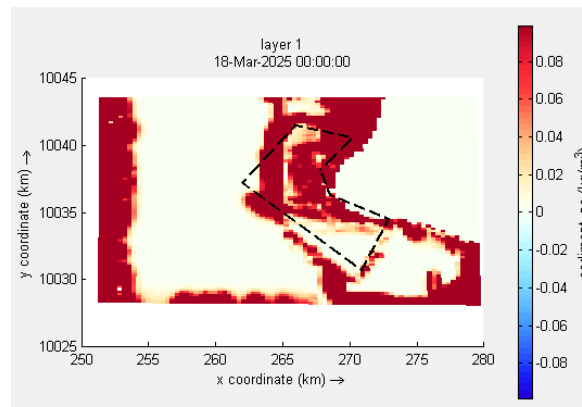


Gambar 12 Sedimen mangrove arah barat

Vegetasi mangrove secara efektif memerangkap sedimen di dalam zona vegetasi, dengan konsentrasi yang merata di seluruh area. Sistem perakaran yang padat berfungsi sebagai filter alami, memperlambat gelombang dan mengubah energi gelombang menjadi turbulensi sehingga kemampuan transport sedimen menurun. Sedimen yang

terbawa gelombang mulai mengendap di antara akar mangrove, menstabilkan dasar laut dan garis pantai. Selain itu, mangrove mengurangi kecepatan arus, sehingga sedimen cenderung tetap di tempatnya. Pola sedimentasi yang merata ini mencegah erosi, membentuk lahan baru secara bertahap, dan menjaga kestabilan pantai. Secara keseluruhan, vegetasi mangrove terbukti lebih efektif sebagai perlindungan pantai alami, sekaligus memberikan manfaat ekologis berkelanjutan.

➤ Dengan Vegetasi Mangrove Arah Barat Laut



Gambar 13 Sedimen mangrove arah barat laut

Vegetasi mangrove efektif memerangkap sedimen di seluruh zona vegetasi, dengan sistem perakaran yang padat bertindak sebagai filter alami. Berbeda dengan kondisi alami, di mana gelombang berenergi tinggi menyebabkan transport sedimen luas dan erosi, mangrove menahan sedimen di tempatnya sehingga menstabilkan dasar laut. Batang, cabang, dan akar mangrove mengurangi energi gelombang secara bertahap, mengubahnya menjadi turbulensi, sehingga kemampuan gelombang mengangkat sedimen berkurang dan partikel mengendap di antara akar. Mangrove juga memperlambat arus litoral, sehingga sedimen lebih mudah mengendap dan garis pantai lebih stabil. Pola sedimentasi merata ini mencegah erosi, membentuk lahan baru secara bertahap, dan memberikan perlindungan alami bagi pantai. Secara keseluruhan, vegetasi mangrove menjadi solusi perlindungan pantai yang efektif dan berkelanjutan, sekaligus memberikan manfaat ekologis.

Perbandingan antara breakwater dan vegetasi mangrove menunjukkan bahwa breakwater unggul dalam mengurangi tinggi gelombang secara signifikan, memberikan perlindungan fisik cepat dengan menghentikan energi gelombang di depan struktur. Namun, hal ini menyebabkan sedimentasi terkonsentrasi di satu area, berpotensi mengganggu keseimbangan sedimentasi alami. Sebaliknya, vegetasi mangrove tidak menurunkan H_s secara drastis, tetapi mampu mengubah pola arus dan sedimentasi sehingga sedimen mengendap merata, mendukung kestabilan garis pantai jangka panjang dan memberikan manfaat ekologis, seperti habitat biota pesisir. Berdasarkan analisis ini, vegetasi mangrove lebih tepat untuk perlindungan pantai jangka panjang dan keberlanjutan ekosistem, sedangkan breakwater cocok untuk perlindungan fisik cepat terhadap gelombang tinggi. Untuk Pantai Tanjung Burung, vegetasi mangrove menjadi solusi yang lebih berkelanjutan, efektif menahan gelombang, mencegah abrasi, dan menjaga siklus sedimentasi alami.



Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Kamphuis (2010) bahwa breakwater mampu mereduksi energi gelombang hingga 50% di area terlindung. Selain itu, pola sedimentasi pada area vegetasi mangrove mendukung hasil Wicaksono et al. (2021) yang menunjukkan peningkatan stabilitas garis pantai hingga 40% di lokasi dengan kepadatan mangrove tinggi.

IV. Kesimpulan

Tinggi gelombang signifikan (H_s) pada kondisi alami cukup tinggi, mencapai sekitar 2,4 meter. Gelombang ini langsung menuju pantai tanpa ada penghalang sehingga menyebabkan abrasi atau kerusakan pantai.

Tinggi gelombang signifikan (H_s) setelah adanya *breakwater* menurun menjadi 1,15 meter berangsur menurun saat menuju pantai menjadi 0,5 meter. Efektifitas *breakwater* dari arah barat laut mengalami redaman yang paling besar dibandingkan arah barat atau barat daya. Hal ini disebabkan sudut datang gelombang yang miring, sehingga lebih banyak energi gelombang yang hilang karena pembelokan (refraksi) dan penghalangan langsung oleh *breakwater*. *Breakwater* di Pantai Tanjung Burung Mempawah berhasil mengurangi gelombang di sisi dalamnya, sehingga pantai menjadi lebih aman dari abrasi. Namun, *breakwater* juga menyebabkan perubahan pola sedimen. Sedimen cenderung menumpuk didepan *breakwater* dan membentuk akumulasi yang tebal sementara di belakang *breakwater* menjadi zona tenang yang minim sedimen tetapi berpotensi mengalami pendakalan akibat sedimentasi sekunder dari arus kecil. Hal itu membuat distribusi sedimen tidak seimbang dan jika dibiarkan akan terjadi erosi di sisi lain yang tidak terlindung atau pendakalan berlebihan di area terlindung.

Vegetasi mangrove menurunkan nilai H_s yang sama seperti tanpa *breakwater* secara bertahap dari laut menuju pantai, memperlambat arus dan memecah energi gelombang secara alami. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada pola sedimentasi yang mana akar dan batang mangrove mampu memperlambat arus dan memecah gelombang sehingga tinggi gelombang yang sampai ke pantai menjadi lebih kecil. Sedimentasi mangrove lebih merata karena batang dan akar mangrove memperlambat arus serta memecah energi gelombang secara bertahap. Akibatnya, sedimen terdistribusi secara lebih seimbang di area sekitar vegetasi, tanpa menciptakan konsentrasi berlebihan di satu titik. Dengan demikian, secara kuantitas, sedimentasi paling dominan terjadi pada *breakwater*, tetapi untuk kestabilan jangka panjang, vegetasi mangrove memberikan pola sedimentasi yang lebih seimbang dan ramah lingkungan. Dan mangrove mempunyai manfaat lain yaitu menjadi tempat hidup berbagai hewan laut dan menjaga keseimbangan ekosistem pesisir. Oleh karena itu, menanam dan merawat mangrove adalah solusi yang tepat dan berkelanjutan untuk melindungi pantai dari kerusakan.

Penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi pengelolaan pesisir Mempawah untuk mengutamakan penggunaan vegetasi mangrove sebagai perlindungan alami yang berkelanjutan. Pendekatan berbasis vegetasi dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan sekaligus efektif dalam jangka panjang.

Daftar pustaka

Deltares. (2021). *Delft3D User Manual*. Delft Hydraulics, The Netherlands.

Kamphuis, J. W. (2010). *Introduction to Coastal Engineering and Management*. World Scientific.



- Wicaksono, A., et al. (2021). *Mangrove contribution to shoreline protection under wave attack*. *Ocean & Coastal Management*, 208, 105632
- Rahman, M. A., & Nugroho, S. (2023). *Assessment of coastal erosion dynamics in West Kalimantan, Indonesia*. *Journal of Coastal Research*, 39(2), 255–266.
- B. J. Palisu, M. R. Fiqri, and F. M. Assidiq, “Investigasi Bencana Abrasi Di Berbagai Wilayah Masyarakat Pesisir Di Indonesia,” *Ris. Sains dan Teknol. Kelaut.*, pp. 157–161, Nov. 2022, doi: 10.62012/sensistek.v5i2.24264.
- S. Sodikin, A. N. Ardiansyah, M. Arif, S. Syaripulloh, Y. Ilyas, and A. A. Astriyandi, “Analisis Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya di Wilayah Pesisir Kecamatan Sukra Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat,” *J. Mar. Res.*, vol. 13, no. 4, pp. 671–680, Nov. 2024, doi: 10.14710/jmr.v13i4.43276.
- C. Ginanjar, E. M. Harfinda, and R. Saputra, “Analisis Perubahan Garis Pantai dengan Pendekatan Penginderaan Jauh di Kecamatan Mempawah Hilir,” *J. Laut Khatulistiwa*, vol. 6, no. 3, p. 150, Oct. 2023, doi: 10.26418/lkuntan.v6i3.68186.
- K. N. Raya, “Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System Di Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Aceh,” *JFMR-Journal Fish. Mar. Res.*, vol. 5, no. 2, 2021, doi: 10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.22.
- F. Suciaty and H. Murtadho, “Karakteristik Gelombang Laut pada Rencana Pembangunan Breakwater di Pelabuhan Tanjung Adikarto,” *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 3, p. 204, 2021, doi: 10.26760/rekaracana.v6i3.204.
- D. J. Jaya, “Kajian Bangunan Pelindung Pantai Dari Bahaya Abrasi / Erosi Dengan Menggunakan Breakwater Di Indonesia,” *JIPS| J. Informasi, Perkeb. dan Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 32–46, 2023.
- R. P. Pasaribu, L. P. Hapsari, A. A. Djari, A. Rahman, A. Tanjung, and F. A. Kapitan, “Perubahan Garis Pantai Akibat Adanya Breakwater Di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Indonesia,” *J. Teknol. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 14, no. 2, pp. 125–136, 2023, doi: 10.24319/jtpk.14.125-136.
- R. D. Raju and M. Arockiasamy, “Coastal Protection Using Integration of Mangroves with Floating Barges: An Innovative Concept,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 5, p. 612, Apr. 2022, doi: 10.3390/jmse10050612
- K. Zhang, Y. Li, H. Liu, J. Rhome, and C. Forbes, “Transition of the coastal and estuarine storm tide model to an operational storm surge forecast model: A case study of the florida coast,” *Weather Forecast.*, vol. 28, no. 4, pp. 1019–1037, 2013, doi: 10.1175/WAF-D-12-00076.1.
- N. Basri and A. D. I. Purwanto, “Studi Laju Sedimentasi Bagian Hilir Sungai Saddang,” *UNISMUH Makassar*, pp. 17–18, 2018, [Online]. Available: https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/3810-Full_Text.pdf