

LAPORAN PENELITIAN

***“Perencanaan Groin bagi Permasalahan Abrasi
di Pantai Tanjung Pontang”***

Yessi Nirwana Kurniadi, ST., MT., Ph.D.



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
BANDUNG - 2018**

PERENCANAAN GROIN BAGI PERMASALAHAN ABRASI DI PANTAI TANJUNG PONTANG

Yessi Nirwana Kurniadi¹ dan Agung Budiana Hanafiah²

¹Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung, Jl. PHH Mustopa No 23 Bandung

Email: yessi@itenas.ac.id

²PT. Cita Prisma, Jl. Pesantren No 47, Bandung

Email: sibiema26@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara kepulauan yang terletak di antara dua benua dan dua samudra memiliki potensi kelautan yang cukup tinggi. Dengan garis pantai sepanjang 99093 km (Badan Informasi Geospasial, 2010) dan memiliki pulau sebanyak 13466 pulau, selain potensi kelautan yang cukup tinggi, memiliki potensi abrasi yang cukup tinggi pula. Umumnya abrasi terjadi akibat gelombang tinggi dan arus sejajar pantai yang mengikis daratan. Pantai Tanjung Pontang yang berada di Provinsi Banten merupakan salah satu daerah pantai yang berpotensi mengalami abrasi cukup parah. Salah satu upaya pencegahan abrasi yang dapat dilakukan adalah dengan membangun groin. Groin dapat menahan pergerakan sedimen sejajar pantai dan mengendapkan sedimen di area groin sehingga dapat mempercepat laju sedimentasi pada area pantai yang tererosi. Penentuan bentuk groin yang efektif dilakukan dengan membuat pemodelan menggunakan software hidrodinamika 2 Dimensi Horisontal pada tiga variasi bentuk groin, yaitu bentuk I, L, dan T. Hasil pemodelan akan menentukan bentuk groin yang paling efektif dibangun di Pantai Tanjung Pontang. Hasil analisis pada pemodelan kecepatan arus menunjukkan terdapat penurunan kecepatan rata-rata arus dari 0,13 m/s pada kondisi sebelum dibangun groin menjadi 0,02 m/s setelah dibangun groin di lokasi penelitian. Pemodelan sedimentasi menunjukkan rangkaian groin berbentuk T memiliki area sebaran sedimen yang lebih luas dan pengendapan sedimen yang relatif cepat dengan kenaikan kontur setinggi 1,045 m selama satu bulan periode simulasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian groin berbentuk T efektif untuk mengamankan pantai dari abrasi. Hasil perhitungan desain groin T didapatkan nilai panjang groin adalah 120 meter, lebar puncak groin 1,2 meter, elevasi puncak groin +3,264 meter, elevasi dasar groin -2,2 meter, tebal lapisan primer 1,201 meter, tebal lapisan sekunder 0,499 meter, tebal lapisan inti 0,183 meter, tebal lapisan dasar 0,107 meter, tinggi pelindung kaki 0,6 meter, dan lebar pelindung kaki 1 meter.

Kata kunci: abrasi, pemodelan hidrodinamika, groin, sedimentasi

1. PENDAHULUAN

Permasalahan abrasi bagi daerah pantai merupakan suatu hal yang tidak bisa dihindari. Salah satu pantai yang mengalami abrasi adalah Pantai Tanjung Pontang yang berada di Desa Lontar, Kecamatan Tirtayasa, Kabupaten Serang, Banten. Abrasi di Tanjung Pontang terjadi secara alami dan tidak alami. Secara alami disebabkan adanya arus laut dengan kecepatan tinggi yang bergerak sejajar pantai, sehingga menggerus material tanah di kawasan pantai. Secara tidak alami disebabkan oleh faktor manusia, karena abrasi diduga merupakan dampak tidak langsung dari aktivitas penambangan pasir pantai di kawasan tersebut (Husrin, S. dan Prihantono, J., 2014). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengamankan pantai dari abrasi adalah dengan membangun bangunan pelindung pantai. Pada penelitian terdahulu tentang kondisi hidrodinamika di perairan Teluk Banten oleh Prihantono dkk (2018), diketahui jenis angkutan sedimen di Pantai Tanjung Pontang merupakan angkutan sedimen sejajar pantai dimana angkutan sedimen bergerak menyusuri pantai mengikuti arah pergerakan arus menuju Teluk Banten. Berdasarkan hal tersebut, maka lebih tepat apabila bangunan pelindung pantai yang direncanakan adalah bangunan yang terpasang secara tegak lurus garis pantai guna menahan angkutan sedimen sejajar pantai dan mengendapkannya, sehingga bangunan pelindung pantai yang cocok adalah groin.

Groin memiliki beberapa tipe bentuk yaitu bentuk I, L, dan T. Penentuan bentuk groin yang efektif dilakukan dengan membuat pemodelan menggunakan software hidrodinamika 2 dimensi pada tiga variasi bentuk groin, yaitu bentuk I, L, dan T dengan analisis data menggunakan modul *hydrodynamic* dan modul *sand transport* yang ada pada software tersebut. Tinjauan hasil pemodelan didasarkan pada perubahan kecepatan arus sejajar pantai, luas area

sedimentasi, dan kecepatan sedimentasi berdasarkan kenaikan kontur pada kondisi sebelum dan setelah dibangunnya rangkaian groin. Hasil pemodelan akan menentukan bentuk groin yang paling efektif dibangun di Pantai Tanjung Pontang. Tahap berikutnya setelah pemodelan adalah perencanaan desain bangunan pelindung pantai. Perencanaan dilakukan pada bentuk groin yang telah terpilih, dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan perancangan groin. Hasil perencanaan desain adalah berupa nilai panjang groin, lebar puncak groin, elevasi groin, tebal lapisan primer, tebal lapisan sekunder, tebal lapisan inti, tebal lapisan dasar, tinggi pelindung kaki, dan lebar pelindung kaki. Tahap akhir pada penelitian ini adalah mewujudkan hasil perencanaan groin ke dalam bentuk gambar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi saran dalam upaya pencegahan abrasi di Pantai Tanjung Pontang.

2. MODEL HIDRODINAMIKA 2 DH

Hydrodynamic Model 2 Dimensi Horisontal adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. Model hidrodinamik adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. Persamaan berikut menggambarkan aliran dan perbedaan muka air.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \quad (2.5)$$

dimana:

- $h(x, y, t)$: Kedalaman air (m),
- $d(x, y, t)$: Kedalaman air dalam berbagai waktu (m),
- $\zeta(x, y, t)$: Elevasi permukaan (m),
- $p, q(x, y, t)$: Flux density dalam arah x dan y ($m^3/s/m$) = (uh,vh); (u,v) = depth average velocity dalam arah x dan y,
- $C(x, y)$: Tahanan Chezy ($m^{1/2}/s$),
- g : Kecepatan gravitasi (m/s^2),
- $f(V)$: Faktor gesekan angin,
- $V, V_x, V_y(x, y, t)$: Kecepatan angin dalam arah x dan y (m/s),
- $\Omega(x, y)$: Parameter Coriolis (s^{-1}),
- $p_a(x, y, t)$: Tekanan atmosfer ($kg/m/s^2$),
- ρ_w : Berat jenis air (kg/m^3),
- (x, y) : Kordinat ruang (m),
- t : Waktu (s),
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: Komponen effective shear stress.

Model Sand Transport menghitung hasil dari pergerakan material non kohesif berdasarkan kondisi aliran di dalam modul hidrodinamik serta kondisi gelombang dari perhitungan gelombang (*spectral wave module*). Pendekatan formula yang digunakan dalam transpor sedimen di modul ini adalah Engelund-Hansen model, Van-Rijn model, Engelund-Fredsøe model, serta Meyer-Peter-Müller model. Formula yang digunakan tersebut memadukan antara pengaruh arus dan gelombang dalam pergerakan sedimen. Persamaan pengatur yang digunakan dalam modul ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{z(1+a-\epsilon^z)}{\epsilon^z(z-1)+1} \frac{1}{U_0} \frac{dU_0}{dt} + \frac{30K}{k} \frac{\sqrt{K^2 U_0^2 + z^2 U_{f0}^2 U_0 \cos \gamma}}{\epsilon^z(z-1)+1} \quad (2.6)$$

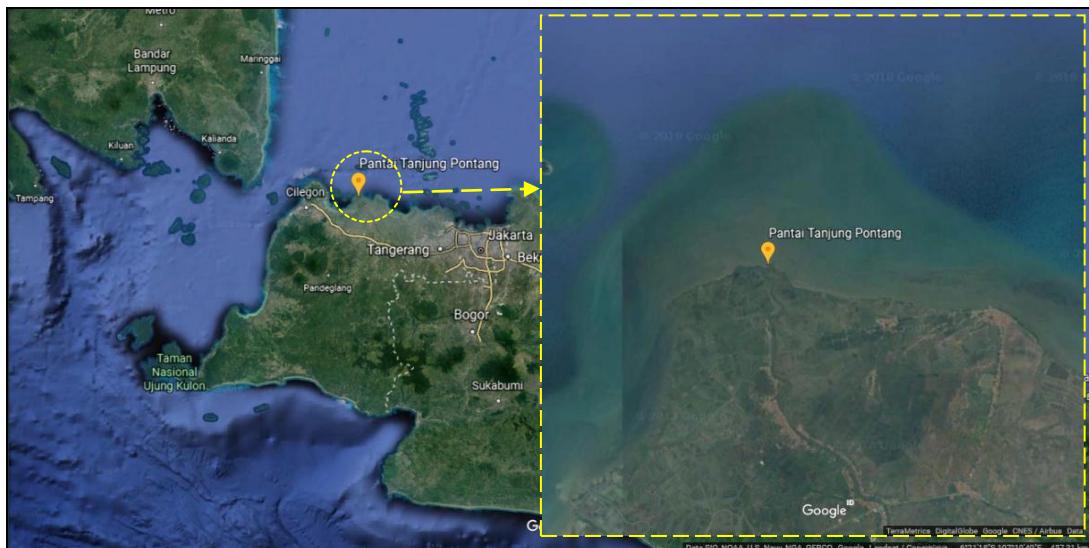
dimana:

- K : Konstanta Van Kormen,
 t : Waktu,
 z : Parameter tebal *boundary layer*,
 U_0 : Kecepatan orbit dasar gelombang terdekat,
 U_{f0} : Kecepatan geser arus dalam lapisan batas gelombang,
 γ : Sudut antara arus dan gelombang,
 k : Kekasaran dasar permukaan $2.5 d_{50}$ untuk lapisan *plane bed* $2.5 d_{50} + k_R$ untuk *ripple covered bed*,
 d_{50} : Rata-rata ukuran diameter butir,
 K_R : *Ripple* yang berkaitan dengan kekasaran

3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian

Lokasi penelitian berada di Pantai Tanjung Pontang, Desa Lontar, Kecamatan Tirtayasa, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Secara geografis berada pada koordinat $5^{\circ}56'0.8''\text{LS}$ dan $106^{\circ}16'19.22''\text{BT}$ (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian
(Sumber: Digital Globe, 2018)

Data penelitian

Data yang digunakan penelitian ini diperoleh dari beberapa sumber yaitu batimetri hasil digitasi dari gabungan Peta Lingkungan Pantai Indonesia tahun 1999 dan survei lapangan Pusat Riset Kelautan-Kementerian Kelautan dan Perikanan (Pusris-KKP) pada tahun 2014. Data pasang surut dan arus merupakan hasil pengukuran oleh Pusris-KKP. Data gelombang dan angkutan sedimen diperoleh dari hasil penelitian Prihantono dkk (2018).

Alur penelitian

Penelitian dimulai dengan merumuskan masalah abrasi yang ada, dilanjutkan dengan studi literatur dan pengumpulan data-data yang diperlukan dalam penelitian. Tahap berikutnya yaitu mengolah data untuk keperluan analisis pemodelan dengan *software* hidrodinamika 2 dimensi. Pemodelan dimulai dengan membuat jaring-jaring pemodelan (*mesh*) berdasarkan data batimetri dan garis pantai yang telah didigitasi, kemudian membuat tiga variasi bentuk rangkaian groin I, L, dan T, setelah itu dilakukan interpolasi data. Tahap berikutnya adalah memulai analisis pemodelan dengan input data-data ke modul *hydrodynamic* dan modul *sand transport*. Hasil pemodelan yang ditinjau adalah perubahan kecepatan arus sejajar pantai, luas area sedimentasi, dan kecepatan sedimentasi berdasarkan kenaikan kontur pada kondisi sebelum dan setelah dibangunnya rangkaian groin. Tahap berikutnya setelah pemodelan adalah perencanaan desain groin yang dihitung dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan

perancangan groin. Hasil perencanaan desain adalah berupa nilai panjang groin, lebar puncak groin, elevasi groin, tebal lapisan primer, tebal lapisan sekunder, tebal lapisan inti, tebal lapisan dasar, tinggi pelindung kaki, dan lebar pelindung kaki. Penelitian ini selesai setelah diketahui bentuk groin yang efektif dan diketahui dimensi groin dari hasil perhitungan, kemudian desain diwujudkan dalam bentuk gambar perencanaan groin.

4. PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data pasang surut

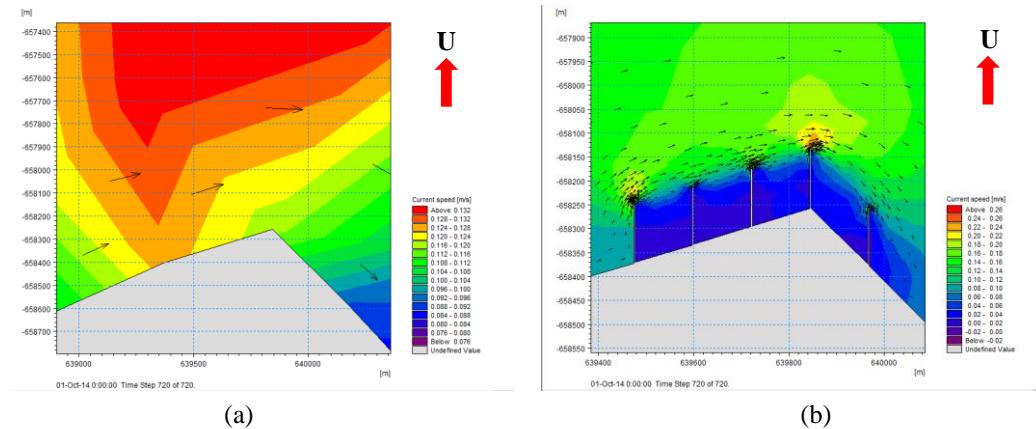
Pengukuran pasang surut dilakukan oleh Pusat Riset Kelautan-Kementerian Kelautan dan Perikanan (Prihantono dkk, 2018). Pengukuran dilakukan pada 1 stasiun pengamatan yang berada pada koordinat $106^{\circ}7'53.8''\text{BT}$ dan $5^{\circ}55'53''\text{LS}$, dengan menggunakan alat ADCP (*Aquadopp Profiler – Nortek*). Pengukuran dilakukan selama 30 hari dimulai pada tanggal 1 September 2014 dan berakhir pada tanggal 1 Oktober 2014 dengan interval data yang direkam setiap 15 menit. Hasil pengukuran pasang surut menunjukkan muka air tinggi (H WL) di lokasi pengukuran sebesar 0,343 m, sedangkan muka air rendahnya (LWL) sebesar -0,457 m. Maksimum tunggang pasut adalah 0,8 m. Jenis pasang surutnya termasuk jenis pasang surut campuran condong diurnal. Hal ini ditandai dengan terjadi satu kali pasang dan satu kali surut pada hari yang sama namun beberapa kali juga terjadi dua kali pasang dan dua kali surut pada hari yang sama.

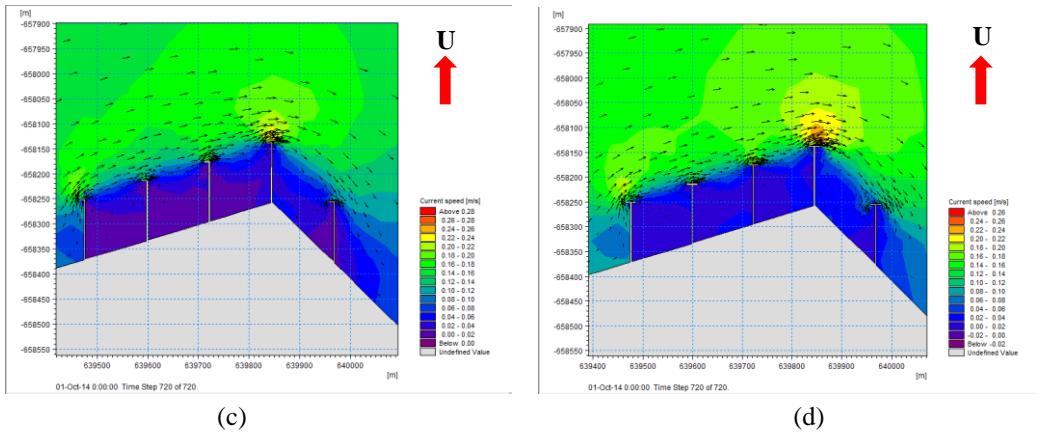
Pengolahan data angin

Data angin yang digunakan merupakan data angin pada stasiun Serang dari tahun 2007 sampai tahun 2016 (10 tahun). Data-data tersebut diolah dan diplot ke dalam bentuk *windrose* untuk melihat arah dominan dan kecepatan terbesar selama 10 tahun. Hasil pengolahan data angin menunjukkan pada musim barat yang terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari kecepatan angin terbesar mencapai 8,8 m/s berasal dari arah barat. Perhitungan *fetch* menunjukkan *fetch* efektif berasal dari arah utara dengan panjang 64,71 km, durasi angin 8 jam, sudut datang gelombang yang dibangkitkan angin adalah -25° dari utara.

Analisis pemodelan kecepatan arus

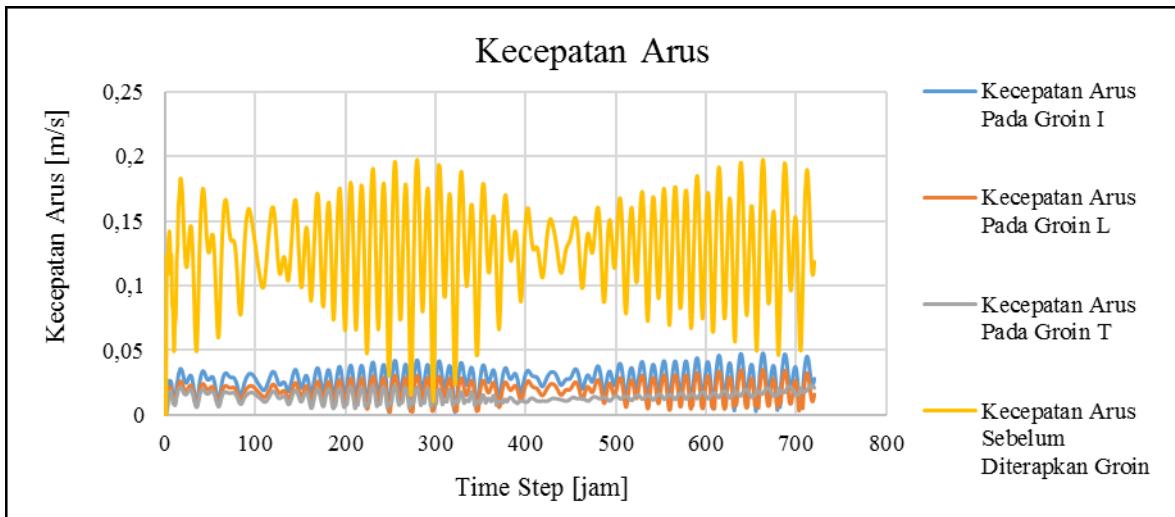
Pada pemodelan kecepatan arus, titik tinjauan berada pada koordinat timur 639800 dan utara -658250, data *mesh and bathymetry* yang digunakan adalah hasil interpolasi dan validasi pemodelan yang telah dilakukan oleh Prihantono dkk (2018), parameter kekasaran dipilih koefisien Manning $28 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Simulasi pemodelan dilakukan dalam interval waktu 30 hari dimulai pada tanggal 1 September 2014 hingga 1 Oktober 2014 (satu bulan). Hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.





Gambar 2. Kondisi arus: (a) sebelum diterapkan groin; (b) setelah diterapkan groin I (c) setelah diterapkan groin L; dan (d) setelah diterapkan groin T

Hasil pemodelan menunjukkan arus di sekitar lokasi penelitian dominan bergerak ke arah timur, hal tersebut dapat terjadi karena besar arus yang ditimbulkan pada batas pemodelan sebelah barat lebih besar sehingga arus bergerak ke arah timur. Pada pemodelan digunakan kondisi musim barat dimana angin yang membangkitkan arus dan gelombang dominan berasal dari arah barat. Perbandingan kecepatan rata-rata arus disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.

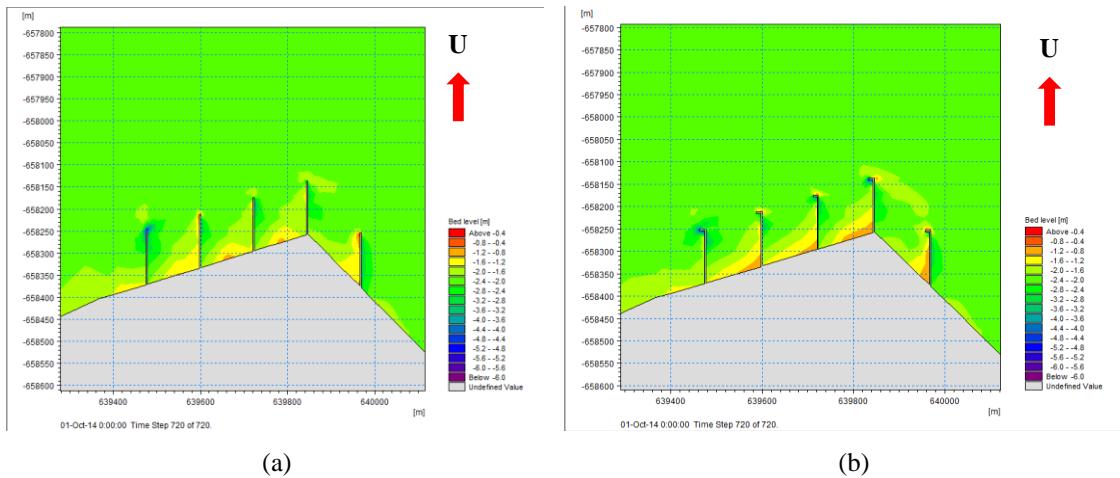


Gambar 3. Grafik perbandingan kecepatan arus

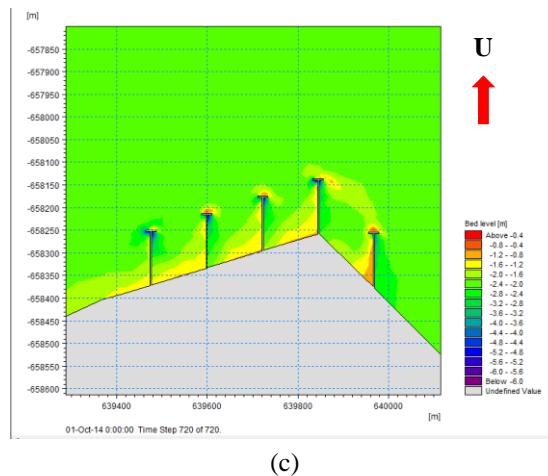
Kecepatan rata-rata arus pada kondisi sebelum diterapkannya groin adalah 0,13 m/s, sedangkan setelah diterapkannya rangkaian groin rata-rata arus mengalami penurunan menjadi 0,02 m/s. Hal tersebut disebabkan karena lokasi tinjauan arus berada di dalam area yang terlindungi groin, sehingga arus pada area tersebut menjadi lebih tenang.

Analisis pemodelan sedimentasi

Analisis sedimentasi dilakukan dengan mengamati luas area sedimentasi yang terjadi di sekitar groin. Parameter sedimen didasarkan pada data sedimen yang diperoleh dari Pusris-KKP. Diameter sedimen yang digunakan merupakan ukuran butir D_{50} yaitu 0,6 mm. Tinggi gelombang diperoleh dari hasil pemodelan gelombang yaitu 0,5 meter. Simulasi pemodelan dilakukan dalam interval waktu 30 hari dimulai pada tanggal 1 September 2014 hingga 1 Oktober 2014 (satu bulan). Hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.

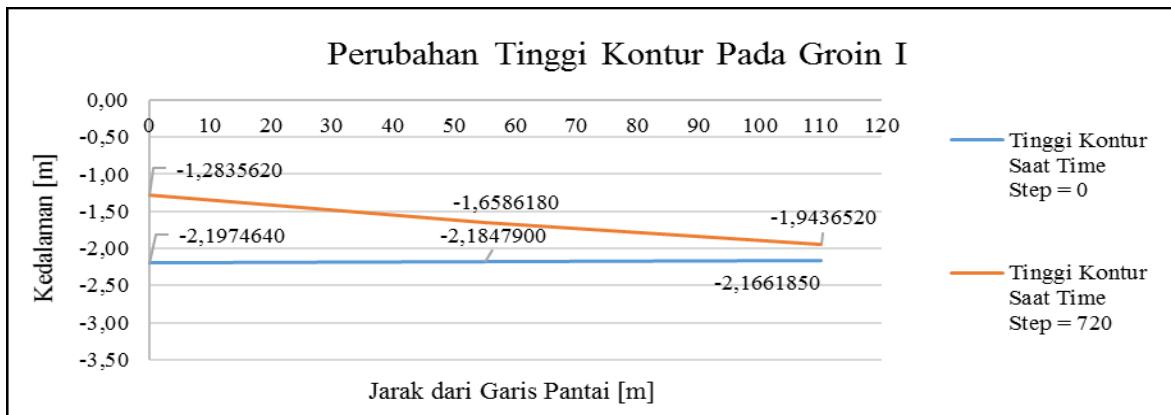


Gambar 4. Output pemodelan sedimentasi: (a) pada groin I; (b) pada groin L

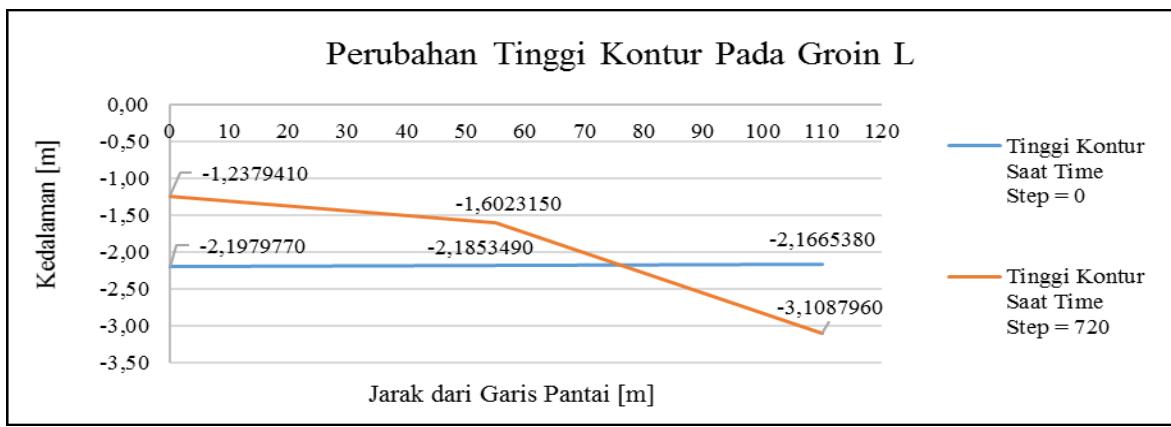


Gambar 5. Output pemodelan sedimentasi: (c) pada groin T

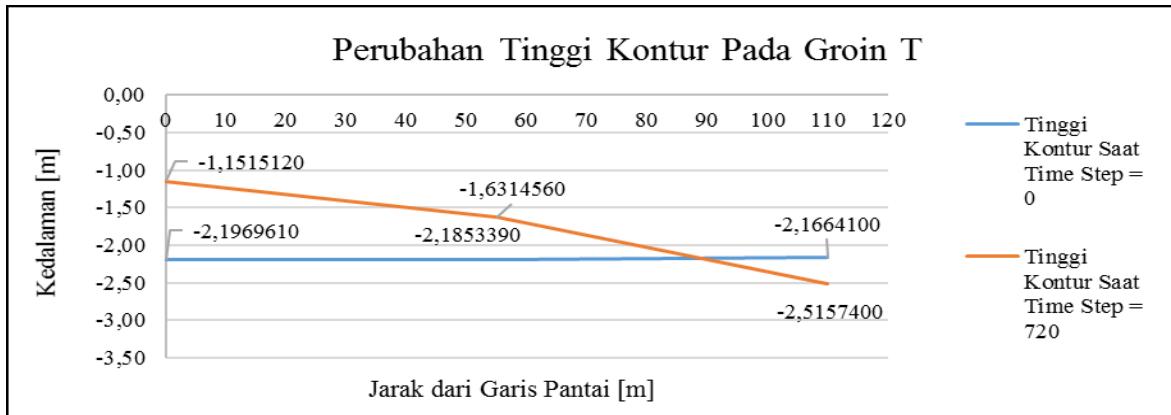
Pengamatan secara visual menunjukkan semua bentuk groin memiliki area pengendapan sedimen yang luasnya hampir sama. Pada rangkaian groin L dan rangkaian groin T endapan sedimen terjadi lebih cepat, hal tersebut dapat terlihat dari indikator warna *bed level* dimana pada rangkaian groin L dan rangkaian groin T warna jingga tersebar di beberapa area sekitar groin yang menandakan perairan dengan warna tersebut lebih dangkal yaitu berada pada kedalaman 0,8 sampai dengan 1,2 meter. Analisis perubahan kedalaman laut dilakukan untuk mengetahui tinggi sedimentasi akibat penerapan groin dengan membandingkan kedalaman laut pada kondisi awal penerapan groin atau pada *time step* 0 dan kondisi setelah 30 hari penerapan groin atau pada *time step* 720. Analisis dilakukan terhadap setiap bentuk rangkaian groin dengan tinjauan satu garis lurus sepanjang 110 meter, terletak 5 m di samping kiri groin, tepatnya dibatasi oleh koordinat timur 639838 dan utara -658258 sampai dengan koordinat timur 639838 dan utara -658148. Hasil analisis dalam bentuk grafik perbandingan kedalaman laut terhadap jarak dari garis pantai disajikan pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 8.



Gambar 6. Perubahan tinggi kontur akibat rangkaian groin I



Gambar 7. Perubahan tinggi kontur akibat rangkaian groin L

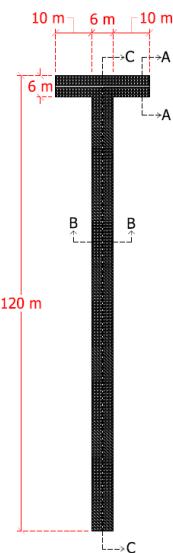


Gambar 8. Perubahan tinggi kontur akibat rangkaian groin T

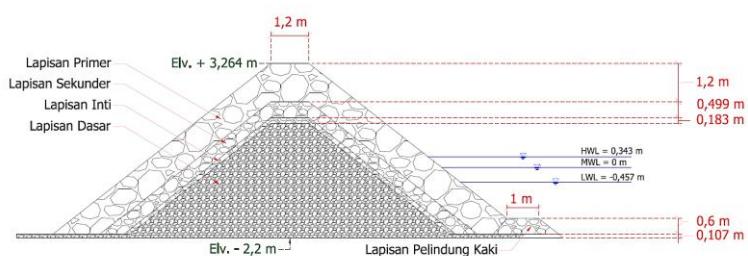
Grafik perubahan tinggi kontur menunjukkan akibat penerapan groin I terjadi pendangkalan sebesar 0,913 m pada jarak 0 meter dari garis pantai dan 0,223 meter pada jarak 110 dari garis pantai. Akibat penerapan groin L terjadi pendangkalan sebesar 0,96 meter pada jarak 0 meter dari garis pantai dan terjadi penggerusan sedalam 0,942 meter pada jarak 110 dari garis pantai. Akibat penerapan groin T terjadi pendangkalan sebesar 1,045 meter pada jarak 0 meter dari garis pantai dan terjadi penggerusan sedalam 0,349 meter pada jarak 110 dari garis pantai. Perbandingan dari tiga grafik perubahan kontur tersebut diketahui bahwa rangkaian groin T memiliki nilai pendangkalan yang lebih tinggi dan penggerusan yang lebih rendah. Hasil analisis pemodelan *sand transport* menunjukkan bahwa groin yang efektif diterapkan di Pantai Tanjung Pontang adalah rangkaian groin berbentuk T. Pengamatan secara visual menunjukkan rangkaian groin T memiliki area sedimentasi yang luas dan berdasarkan hasil analisis perubahan kedalaman juga menunjukkan rangkaian groin T lebih optimal dalam mengendapkan sedimen.

Perencanaan desain groin T

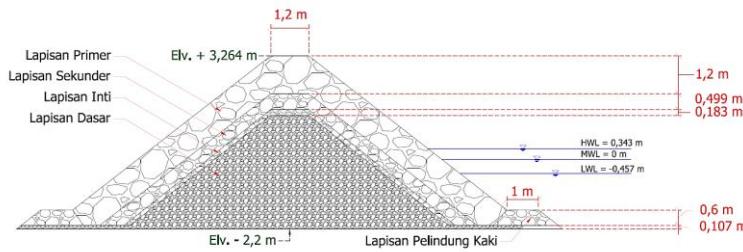
Rangkaian groin T yang direncanakan memiliki panjang 120 meter, dengan jarak antar groin 120 meter. Tipe struktur yang dipilih adalah tipe *rubble mound* dengan armor batu belah bulat halus. Tipe ini dipilih karena lokasi pantai memiliki kemiringan yang cukup landai dengan jenis tanah pasir berlempung, selain itu material batu belah lebih mudah diperoleh dan dirasa lebih ekonomis. Groin ditempatkan pada kedalaman -2,2 meter dari MSL, dan tinggi gelombang pada kedalaman tersebut adalah 1,6 meter. Hasil perhitungan desain groin didapatkan nilai panjang groin adalah 120 meter, lebar puncak groin sebesar 1,2 meter, elevasi puncak groin +3,264 meter dari MSL, elevasi dasar groin -2,2 meter dari MSL, tebal lapisan primer sebesar 1,201 meter, tebal lapisan sekunder sebesar 0,499 meter, tebal lapisan inti sebesar 0,183 meter, tebal lapisan dasar sebesar 0,107 meter, tinggi pelindung kaki adalah 0,6 meter, dan lebar pelindung kaki sebesar 1 meter. Gambar desain groin T dapat dilihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12.



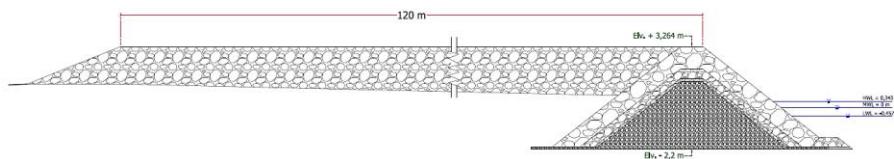
Gambar 9. Tampak atas groin T



Gambar 10. Potongan A-A groin T



Gambar 11. Potongan B-B groin T



Gambar 12. Potongan C-C groin T

5. KESIMPULAN

1. Abrasi berpotensi besar terjadi saat Musim Barat yaitu pada bulan Desember, Januari dan Februari, disebabkan oleh arus sejajar pantai yang bergerak dengan kecepatan rata-rata 0,13 m/s.
2. Hasil pemodelan hidrodinamika menunjukkan terjadi penurunan kecepatan rata-rata arus dari 0,13 m/s sebelum diterapkannya rangkaian struktur groin menjadi 0,02 m/s setelah diterapkannya rangkaian struktur groin.
3. Pengamatan visual pada hasil pemodelan sedimentasi terhadap tiga variasi bentuk groin, didapatkan bahwa rangkaian groin berbentuk T mempunyai sebaran sedimen dengan area yang lebih luas dibandingkan dengan sebaran sedimen pada rangkaian groin lainnya.
4. Grafik perubahan tinggi kontur menunjukkan akibat penerapan groin I terjadi pendangkalan sebesar 0,913 m pada jarak 0 meter dari garis pantai dan 0,223 meter pada jarak 110 dari garis pantai. Akibat penerapan groin L terjadi pendangkalan sebesar 0,96 meter pada jarak 0 meter dari garis pantai dan terjadi penggerusan sedalam 0,942 meter pada jarak 110 dari garis pantai. Akibat penerapan groin T terjadi pendangkalan sebesar 1,045 meter pada jarak 0 meter dari garis pantai dan terjadi penggerusan sedalam 0,349 meter pada jarak 110 dari garis pantai. Perbandingan dari tiga grafik perubahan kontur tersebut diketahui bahwa rangkaian groin T memiliki nilai pendangkalan yang lebih tinggi dan penggerusan yang lebih rendah, sehingga rangkaian groin T dipilih sebagai bentuk groin yang cocok diterapkan di Pantai Tanjung Pontang.
5. Hasil perhitungan desain groin didapatkan nilai panjang groin 120 meter, lebar puncak groin sebesar 1,2 meter, elevasi puncak groin +3,264 meter dari MSL, elevasi dasar groin -2,2 meter dari MSL, tebal lapisan primer sebesar 1,201 meter, tebal lapisan sekunder sebesar 0,499 meter, tebal lapisan inti sebesar 0,183 meter, tebal

lapisan dasar sebesar 0,107 meter, tinggi pelindung kaki adalah 0,6 meter, dan lebar pelindung kaki sebesar 1 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Prihantono, J., Fajrianto, I. A., dan Kurniadi, Y. N. (2018). "Pemodelan Pola Hidrodinamika dan Transpor Sedimen Di Sekitar Tanjung Pontang, Kabupaten Serang Banten". *Jurnal Kelautan Nasional*, Vol. 13 No 2.
- Husrin, S. dan Prihantono, J. (2014). Penambangan Pasir Laut. IPB Press, Jakarta.
- Triatmodjo, B. (1999). Teknik Pantai. Beta Offset, Yogyakarta.