



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 12141-12150

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Perbandingan Biaya Penggunaan A-Jack dan Tetrapod sebagai Armour Pemecah Gelombang pada Pekerjaan Reklamasi di Utara Pulau Jawa

Adam Akbar Menara Iman, Anasya Arsita Laksmi, Ricky Harianja

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

adamakbarmenaraiman.01@gmail.com, anasyaarsita@gmail.com, rickyharianja.ce@gmail.com

Abstrak

Pemilihan jenis unit pelindung pantai (*armor unit*) merupakan elemen penting dalam perancangan *breakwater*, terutama pada proyek reklamasi di kawasan pesisir dengan tingkat energi gelombang yang tinggi seperti wilayah utara Pulau Jawa. Studi ini membahas perbandingan biaya antara A-Jack dan Tetrapod sebagai kandidat *armor unit* melalui analisis menyeluruh terhadap biaya fabrikasi, pengendalian mutu, pengangkutan, dan tahapan pemasangan di lapangan. Pendekatan analisis dilakukan dengan menggunakan data teknis dari *Work Method Statement (WMS)*, spesifikasi mutu beton, karakteristik geometri masing-masing unit, serta parameter operasional alat berat yang terlibat dalam proses konstruksi. Perhitungan biaya mencakup kebutuhan beton, efisiensi bekisting, tingkat kerumitan produksi, waktu curing, produktivitas pemasangan, serta kemungkinan kerusakan unit selama proses mobilisasi. Analisis juga mempertimbangkan kebutuhan tenaga kerja, penggunaan peralatan, dan potensi kehilangan material yang dapat memengaruhi total biaya pelaksanaan proyek. Hasil kajian menunjukkan bahwa perbedaan bentuk dan mekanisme *interlocking* memberikan dampak nyata terhadap biaya produksi maupun pelaksanaan di lapangan. Selain itu, faktor ketahanan terhadap gelombang, risiko abrasi, stabilitas struktur, dan kebutuhan pemeliharaan turut dianalisis untuk menilai efisiensi biaya sepanjang umur layanan. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan komponen biaya langsung dan tidak langsung sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja ekonomi kedua alternatif. Temuan penelitian menunjukkan bahwa pemilihan *armor unit* tidak hanya ditentukan oleh biaya awal, tetapi juga oleh aspek konstruktabilitas, keandalan struktur, dan biaya siklus hidup. Penelitian ini memberikan landasan teknis yang dapat digunakan oleh perencana, kontraktor, dan pemilik proyek dalam menentukan jenis *armor unit* yang paling ekonomis dan sesuai untuk proyek reklamasi di pesisir utara Jawa secara efektif, efisien, berkelanjutan, dan adaptif.

Kata kunci: A-Jack, Analisis Biaya, Breakwater, Reklamasi, Tetrapod

1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di kawasan pesisir Indonesia terus mengalami peningkatan seiring bertambahnya kebutuhan ruang untuk kegiatan industri, logistik, serta pengembangan kawasan hunian. Di wilayah pesisir utara Pulau Jawa, reklamasi banyak diterapkan sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan lahan sekaligus sebagai upaya pengendalian abrasi yang dipicu oleh aktivitas hidrodinamika laut yang cukup intensif (Prayogo & Setiawan, 2020). Keberhasilan suatu proyek reklamasi tidak hanya bergantung pada kestabilan material timbunan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kemampuan struktur pelindung pantai dalam mengurangi energi gelombang yang datang.

Salah satu komponen utama dalam sistem perlindungan tersebut adalah *breakwater*, yang berfungsi sebagai penghalang gelombang sebelum mencapai area reklamasi. Kinerja *breakwater* sangat ditentukan oleh jenis unit pelindung atau *armor unit* yang digunakan pada lapisan luarnya. A-Jack dan Tetrapod merupakan dua jenis *armor unit* yang umum diaplikasikan pada proyek berskala besar. Meskipun keduanya mengandalkan prinsip *interlocking* untuk meningkatkan stabilitas, perbedaan bentuk geometris, metode fabrikasi, serta teknik pemasangan menyebabkan adanya variasi biaya yang cukup nyata antara kedua unit tersebut (Hidayati et al., 2021).

Dalam perencanaan reklamasi, aspek teknis perlu dikaji bersamaan dengan pertimbangan ekonomi guna menjamin kelayakan proyek dalam jangka panjang. Beberapa komponen biaya yang berpengaruh antara lain kebutuhan volume beton, efisiensi penggunaan cetakan, waktu curing, tingkat produktivitas pemasangan, serta kemungkinan kerusakan unit selama proses pengangkutan dan penempatan di lapangan (Santoso & Prabowo, 2019). Perbedaan

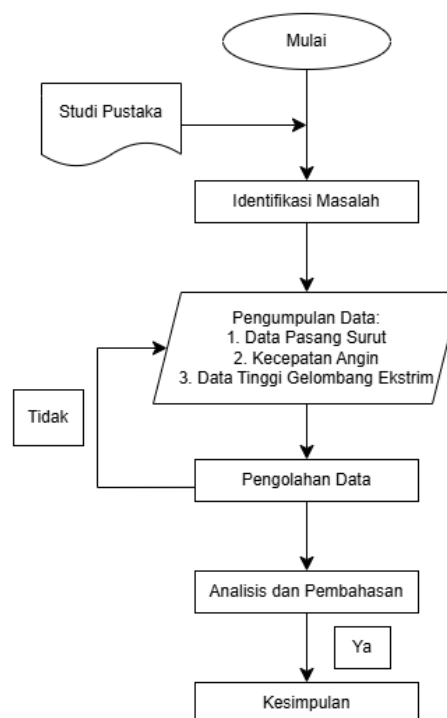
karakteristik antara A-Jack dan Tetrapod dapat berdampak langsung terhadap besarnya biaya konstruksi, sehingga analisis perbandingan biaya menjadi langkah penting dalam menentukan alternatif yang paling tepat.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dan perbandingan biaya penggunaan armor A-Jack dan Tetrapod pada proyek reklamasi di pesisir utara Pulau Jawa. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi teknis dan ekonomis bagi perencana, kontraktor, serta pemilik proyek dalam memilih jenis armor unit yang paling efisien dan sesuai dengan kondisi lapangan.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini disusun untuk memberikan alur yang jelas dalam membandingkan biaya penggunaan A-Jack dan Tetrapod sebagai unit pelindung pada struktur *breakwater* seperti terlihat pada Gambar 1. Diagram alir penelitian ini dimulai dengan tahap studi pustaka untuk mengumpulkan dasar teori dan referensi yang relevan, kemudian dilanjutkan dengan identifikasi masalah guna menentukan fokus pembahasan. Setelah masalah ditetapkan, dilakukan pengumpulan data yang meliputi data pasang surut, kecepatan angin, dan tinggi gelombang ekstrem sebagai dasar analisis.

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah menggunakan metode perhitungan yang sesuai, dan hasilnya dianalisis untuk melihat hubungan antarparameter serta mengevaluasi kesesuaian desain. Jika hasil analisis dinilai belum memadai, proses kembali ke tahap pengolahan data untuk dilakukan penyesuaian. Namun, apabila analisis sudah dianggap cukup, penelitian dilanjutkan pada tahap penarikan kesimpulan sebagai rangkuman dari seluruh proses dan temuan penelitian.. Seluruh tahapan dijalankan secara sistematis, mulai dari pengumpulan data hingga interpretasi hasil, sehingga dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai perbedaan biaya yang muncul pada proyek reklamasi di wilayah pesisir utara Pulau Jawa.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Adapun data yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari studi literatur dan pengumpulan data sekunder, baik berupa data armor, pasang surut, kecepatan angin dan tinggi gelombang. Informasi mengenai harga material, biaya tenaga kerja, dan penggunaan alat berat juga digunakan sebagai acuan untuk melengkapi analisis biaya. Seluruh data ini menjadi dasar utama dalam menghitung biaya fabrikasi dan pemasangan A-Jack serta Tetrapod.

3. Hasil dan Diskusi

Data

Berdasarkan hasil observasi lapangan, didapatkan nilai elevasi penting pasang surut pada area studi seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Elevasi Penting Pasang Surut

HWS	+1.38m
MSL	+0.68m
LWS	+0.00m

Data kecepatan angin ekstrim berdasarkan hasil hindcasting dapat dilihat pada Tabel 2. Dalam perhitungan ini, digunakan nilai ekstrim kecepatan angin dengan periode ulang desain 50 tahun, yaitu sebesar 37,1 knot. Sesuai dengan SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lainnya. Periode ulang 50 tahun dipilih karena memberikan tingkat keamanan yang memadai terhadap risiko angin ekstrim yang mungkin terjadi selama umur bangunan.

Tabel 2. Data Kecepatan Angin Ekstrim

Periode (tahun)	Ulang	Nilai Ekstrim Kec. Angin (knot)
1		21.2
2		24.0
3		26.8
5		29.5
10		32.3
25		35.3
50		37.1
100		38.7
200		40.0

Hasil Perhitungan Desain Armor

Bagian ini menyajikan hasil perhitungan desain armor yang digunakan pada struktur *breakwater*, meliputi penentuan berat satuan, dimensi, serta parameter stabilitas masing-masing tipe unit. Perhitungan dilakukan berdasarkan data gelombang rencana, kondisi lokasi, dan ketentuan desain yang mengacu pada standar yang berlaku. Hasil yang diperoleh pada subbab ini menjadi dasar untuk menentukan efektivitas dan kesesuaian penggunaan setiap jenis armor dalam mendukung kinerja struktur pelindung pantai secara keseluruhan.

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan Armour

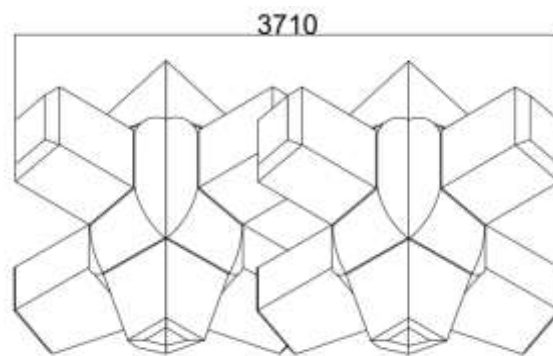
NO	KETERANGAN	HASIL PERHITUNGAN
1	H	2,87 m
2	Ir	4,32
	Ru	2,44 m
3	τ	1,27 n/m
	SS	0,15 m
4	Elevasi Puncak	4,5 m
5	Berat A-Jack	2500 kg
	Berat Tetrapod	518,4 kg
6	Lembar Puncak A-Jack	2,5 m
	Lembar Puncak Tetrapod	2,48 m

Gambar Desain Armor A-jack

a. Detail A-Jack

Pada bagian pertama terlihat gambar teknik A-Jack skala 1:30 yang menampilkan dimensi 2,15 meter, termasuk ukuran kaki 0,594 meter dan badan unit 0,963 meter, memberikan panduan yang jelas untuk proses fabrikasi. Unit ini dicor menggunakan beton mutu $f'c$ 35 MPa untuk memastikan kekuatan dan ketahanan yang sesuai dengan kebutuhan struktur pantai. Proses pengecoran dilakukan dalam dua tahap, di mana bagian atas dicor terlebih dahulu untuk membentuk inti unit.

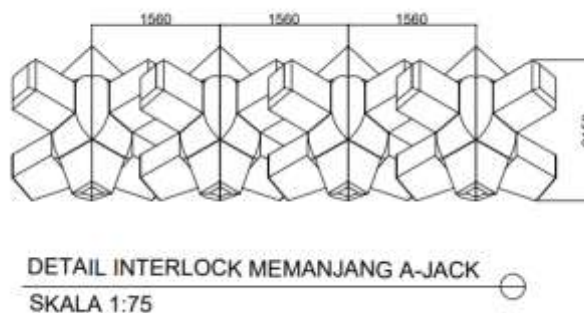
Setelah pengecoran selesai, pelepasan cetakan tahap pertama dilakukan pada bagian atas cetakan setelah beton mencapai kondisi awal mengeras, yaitu minimal 6 jam setelah pengecoran. Tahap kedua dilanjutkan dengan pengecoran bagian bawah, dan pelepasan bekisting tahap II dilakukan setelah beton dibiarkan mengeras minimal 12 jam. Metode fabrikasi bertahap ini bertujuan menjaga presisi bentuk, menghindari deformasi, serta memastikan kualitas beton merata pada seluruh bagian unit. Pada gambar kedua ditunjukkan susunan dua unit A-Jack yang ditempatkan berdampingan dengan jarak total 3,71 meter, memperlihatkan bagaimana konfigurasi kaki-kaki A-Jack saling mengunci (*interlocking*) untuk meningkatkan stabilitas lapisan armor. Susunan ini menunjukkan prinsip kerja A-Jack yang mengandalkan bentuk tiga dimensinya untuk mencapai kinerja optimum dalam meredam energi gelombang pada struktur *breakwater*.



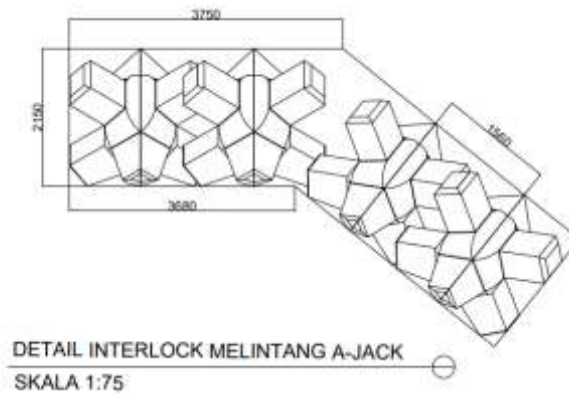
Gambar 2. Detail A-Jack

b. Detail Interlock A-Jack

konfigurasi *interlocking* atau sistem saling mengunci pada unit A-Jack yang digunakan sebagai lapisan pelindung pada *breakwater*. Gambar 3a memperlihatkan detail *interlock* memanjang dengan skala 1:75, di mana beberapa unit A-Jack disusun sejajar sepanjang garis pantai. Setiap unit memiliki jarak pusat ke pusat sebesar 1.560 mm, sementara tinggi penyusunan mencapai 2.150 mm. Susunan memanjang ini dirancang agar kaki-kaki A-Jack saling bertautan secara horizontal sehingga membentuk struktur yang stabil dan mampu menahan gaya gelombang dari arah depan maupun samping.



(a)



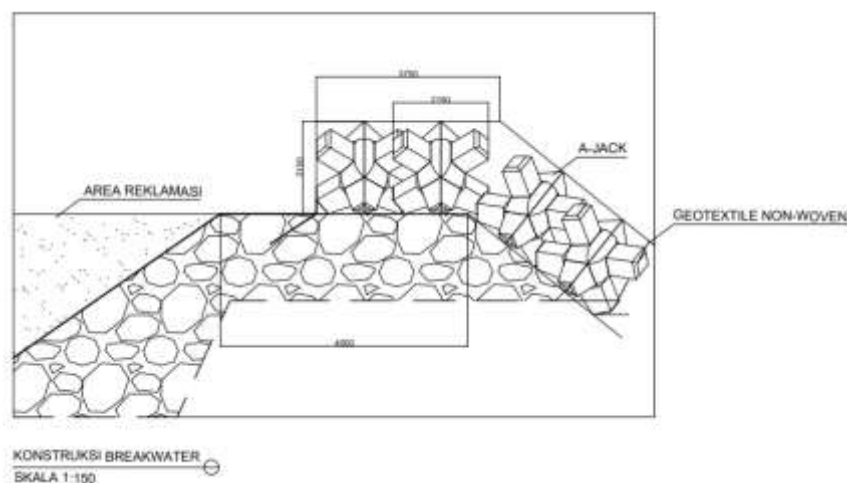
(b)

Gambar 3. Detail Interlock A-Jack: (a) Memanjang dan (b) Melintang

Gambar 3b menunjukkan detail interlock melintang dengan skala yang sama, menggambarkan susunan A-Jack secara menyilang dengan jarak total susunan 3.750 mm dan jarak antarunit 3.680 mm. Konfigurasi melintang ini memberikan gambaran bagaimana unit A-Jack ditempatkan dalam arah tegak lurus terhadap garis pantai, sehingga menghasilkan *interlocking* tiga dimensi yang lebih kuat. Penempatan yang saling berpotongan seperti ini sangat penting untuk menjaga stabilitas lapisan armor, mencegah pergeseran unit akibat tekanan gelombang besar, dan memastikan distribusi beban yang merata pada seluruh lapisan. Secara keseluruhan, kedua gambar ini menegaskan peran bentuk geometris A-Jack dalam menciptakan sistem *interlocking* yang efektif untuk memberikan perlindungan maksimal pada struktur *breakwater*.

c. Konstruksi *Breakwater* A-Jack

Potongan penampang melintang pada gambar 4 dibangun di tepi area reklamasi. Di sisi darat tampak timbunan material reklamasi yang ditahan oleh lapisan batu besar sebagai tubuh utama bangunan. Pada sisi yang menghadap laut, tubuh *breakwater* diperkuat dengan elemen beton berbentuk A-Jack yang berfungsi sebagai pelindung utama terhadap hantaman gelombang. Di antara lapisan batu dan tanah dasar dipasang geotekstil nonwoven yang berperan mencegah tanah halus terbawa keluar melalui celah batu, sehingga struktur tetap stabil dan material reklamasi tidak mudah tererosi.

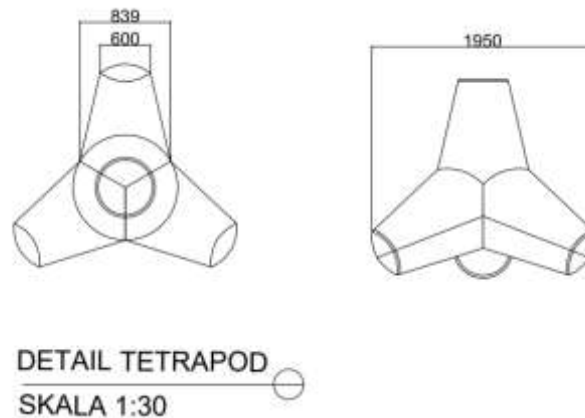


Gambar 4. Konstruksi *Breakwater* A-Jack

Gambar Desain Armor Tetrapod

a. Detail Tetrapod

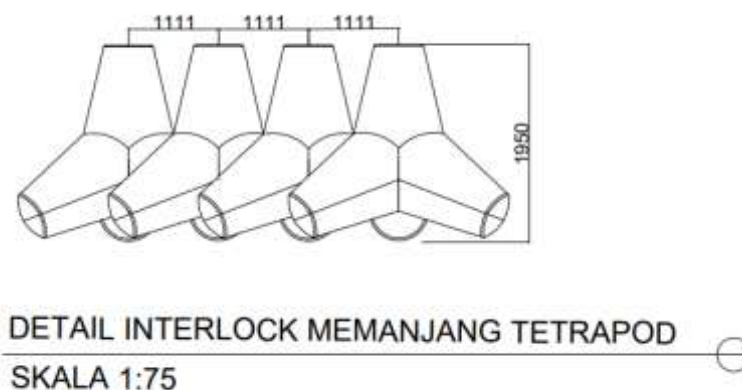
Detail bentuk dan ukuran unit tetrapod beton yang digunakan sebagai lapis pelindung bangunan pantai atau *breakwater*. Pada tampak atas terlihat empat lengan silinder yang tersusun menyilang dengan jarak antar ujung sekitar 1,95 meter, sedangkan pada tampak samping tampak tinggi elemen utama sekitar 0,839 meter dengan diameter bagian atas sekitar 0,6 meter. Skala 1:30 menunjukkan bahwa ukuran pada gambar merupakan perbesaran tiga puluh kali lebih kecil dari ukuran sebenarnya di lapangan, sehingga gambar ini berfungsi sebagai acuan dimensi ketika tetrapod diproduksi dan dipasang di lapangan dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



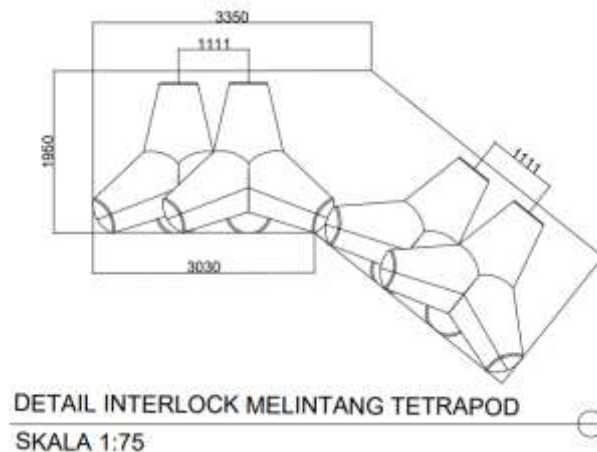
Gambar 5. Detail Tetrapod

b. Detail Interlock Tetrapod

Cara penyusunan unit tetrapod sehingga saling mengunci (*interlock*) baik pada arah melintang maupun memanjang terhadap garis pantai. Pada 6a terlihat deretan tetrapod yang disusun menyilang membentuk baris melintang dengan jarak antar pusat sekitar 3,35 meter dan panjang deret sekitar 3,03 meter, sehingga tiap lengan tetrapod saling masuk ke celah tetangga untuk meningkatkan stabilitas lapisan pelindung. Pada gambar 6b ditunjukkan susunan tetrapod sepanjang arah memanjang, dengan jarak antar unit sekitar 1,111 meter dan tinggi efektif deret sekitar 1,95 meter, yang menggambarkan pola berulang di sepanjang tubuh *breakwater* agar struktur mampu menahan gaya gelombang dan mengurangi kemungkinan pergeseran elemen pelindung.



(a)

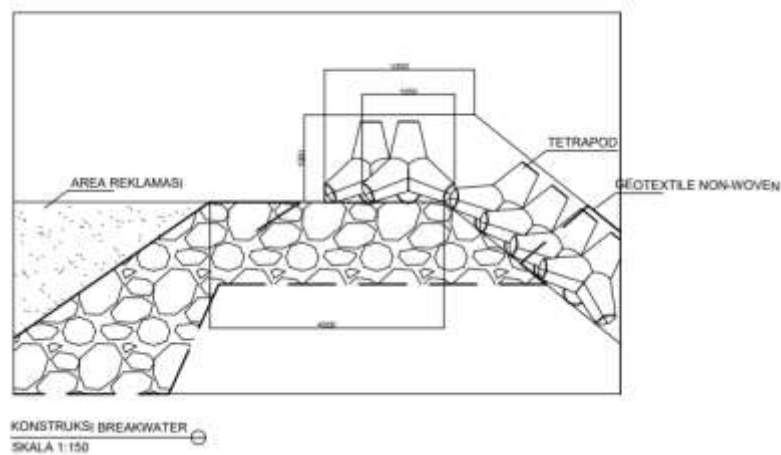


(b)

Gambar 6. Detail Interlock Tetrapod: (a) Memanjang dan (b) Melintang

c. Konstruksi *Breakwater* Tetrapod

Potongan melintang konstruksi *breakwater* digambar 7 terdapat lapisan pelindung utama berupa unit tetrapod beton pada lereng yang menghadap laut. Di sisi darat terdapat area reklamasi yang ditahan oleh tubuh *breakwater* dari susunan batu berukuran besar, sedangkan di bawah lapisan batu dan tetrapod dipasang geotekstil non-woven sebagai filter agar material halus dari timbunan tidak hanyut melalui celah batu. Skala 1:150 menandakan bahwa seluruh dimensi pada gambar telah diperkecil seratus lima puluh kali dari ukuran sebenarnya di lapangan sehingga detail ketinggian, kemiringan lereng, dan tebal lapisan pelindung dapat dibaca dan dijadikan acuan perencanaan.



Gambar 7. Konstruksi *Breakwater* Tetrapod

Perhitungan RAB Armour

Bagian ini memaparkan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan armour sebagai elemen utama dalam pembangunan *breakwater*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data teknis, harga satuan, dan informasi produktivitas alat yang terkait dengan proses pembuatan dan pemasangan A-Jack dan Tetrapod. Tabel 4 menunjukkan perhitungan kebutuhan material untuk konstruksi A-Jack, dengan berat 2500 kg dan table 5 menunjukkan perhitungan kebutuhan material Tetrapod dengan berat 519 kg.

Tabel 4. Perhitungan Kebutuhan Material A-Jack

BERAT ARMOUR	VOLUME BETON	SEMEN	AIR	PASIR	SPLIT
2500 KG	1,041667	TIPE V	W/C=0,40	PASIR = 650 KG	BATU SPLIT = 1050 KG
		452,4	1130	676	1092
		9 SAK (50KG)		VOLUME PASIR	VOLUME SPLIT
				0,4225	0,728

Tabel 5. Perhitungan Kebutuhan Material Tetrapod

BERAT ARMOUR	VOLUME BETON	SEMEN	AIR	PASIR	SPLIT
519 KG	0,21625	TIPE V	W/C=0,40	PASIR = 650 KG	BATU SPLIT = 1050 KG
		94,231875	37,6272	140,5625	227,0625
		3 SAK (40KG)		VOLUME PASIR	VOLUME SPLIT
				0,087851563	0,151375

Perhitungan Biaya A-Jack

Bagian ini menjelaskan hasil perhitungan biaya yang diperlukan untuk memproduksi dan memasang unit A-Jack pada struktur *breakwater*. Perhitungan dibuat berdasarkan kebutuhan material, penggunaan tenaga kerja dan peralatan, serta biaya mobilisasi dan penempatannya di lapangan. Melalui perhitungan ini, diperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai besarnya biaya yang harus disiapkan untuk setiap unit A-Jack. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, pada tabel 6 biaya membuat 1 unit armour A-Jack Rp2.113.500,00 pada tabel 7 untuk 10 meter terdapat 6 unit armour A-Jack dan untuk total biaya yang diperlukan untuk pekerjaan armour A-Jack pada proyek ini mencapai **Rp6.594.120.000,00**.

Tabel 6. Perhitungan Biaya A-Jack

SEMEN	PASIR	SPLIT	UPAH TENAGA KERJA	TRANSPOTASI	TOTAL
452 KG=12 SAK (40 KG)	PASIR=0,42 M	SPLIT=0,73 M	1,04 M	1,04M	Rp 2.113.500,00
TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	
Rp 1.020.000,00	Rp 126.000,00	Rp 255.500,00	Rp 312.000,00	Rp 400.000,00	

Tabel 7. Perhitungan Biaya A-Jack

HARGA SATUAN	10 METER	1300 METER	4 LAPIS	BIAYA KESELURUHAN
Rp 2.113.500,00	6 UNIT	780	3120	Rp 6.594.120.000,00

Perhitungan Biaya Tetrapod

Bagian ini menjelaskan hasil perhitungan biaya yang diperlukan untuk memproduksi dan memasang unit Tetrapod pada struktur *breakwater*. Perhitungan dibuat berdasarkan kebutuhan material, penggunaan tenaga kerja dan peralatan, serta biaya mobilisasi dan penempatannya di lapangan. Melalui perhitungan ini, diperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai besarnya biaya yang harus disiapkan untuk setiap unit Tetrapod. Pada tabel 8 untuk satu unit armour Tetrapod dengan harga Rp799.260,00 dan tabel 9 menjelaskan untuk 10 meter terdapt 8 unit armour Tetrapod.

Tabel 8. Perhitungan Biaya Tetrapod

SEMEN	PASIR	SPLIT	UPAH TENAGA KERJA	TRANSPOTASI	TOTAL
94 KG=3 SAK (40KG)	PASIR=0,0887 M	SPLIT=0,151 M	1,04 M	1,04 M	Rp 799.260,00
TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	TINGGI	
Rp 255.000,00	Rp 26.610,00	Rp 52.850,00	Rp 64.800,00	Rp 400.000,00	

Tabel 9. Perhitungan Biaya Tetrapod

HARGA SATUAN	10 METER	1300 METER	4 LAPIS	BIAYA KESELURUHAN
Rp 799.260,00	8 UNIT	1040	4160	Rp 3.324.921.600,00

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, total biaya yang diperlukan untuk pekerjaan armour Tetrapod pada proyek ini mencapai **Rp3.324.921.600,00**.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil dan pembahasan perbandingan biaya penggunaan A-Jack dan Tetrapod untuk proyek reklamasi di Utara Pulau Jawa adalah sebagai berikut: 1). Berat armour yang diperoleh dari hasil analisis menunjukkan bahwa satu unit A Jack memiliki massa sekitar 2.500 kg, sedangkan satu unit Tetrapod hanya sekitar 519 kg, sehingga Tetrapod tergolong jauh lebih ringan. Perbedaan berat yang cukup besar ini membuat Tetrapod membutuhkan volume beton yang lebih kecil dan jumlah material penyusun yang lebih sedikit dibandingkan armour A Jack, sehingga proses produksi, pengangkutan, dan penataan di lapangan menjadi lebih efisien. 2). Rancangan biaya perbandingan antara dua jenis armour, yaitu Tetrapod dan A-Jack, menunjukkan bahwa penggunaan Tetrapod jauh lebih ekonomis, dengan total biaya perencanaan sebesar Rp3.324.921.600,00. Dengan memilih Tetrapod sebagai elemen pelindung utama, kebutuhan anggaran proyek dapat ditekan sehingga beberapa komponen biaya yang kurang efisien atau tidak terlalu penting dapat dihilangkan, tanpa mengurangi fungsi proteksi struktur terhadap gelombang.

Referensi

1. Hidayati, R., Maulana, Y., & Fikri, A. (2021). Comparative performance of concrete armor units under wave attack. *Journal of Coastal Engineering Research*, 14(2), 112–123.
2. Prayogo, D., & Setiawan, R. (2020). Coastal reclamation and shoreline dynamics in Northern Java. *Indonesian Journal of Marine Infrastructure*, 8(1), 45–58.
3. Santoso, B., & Prabowo, M. (2019). Economic assessment of breakwater construction using modular concrete structures. *Civil and Ocean Engineering Journal*, 6(3), 201–210.
4. Prasetya, E., 2006, Case Based Reasoning untuk mengidentifikasi kerusakan bangunan, Tesis, Program Pasca Sarjana Ilmu Komputer, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.

5. Rafli, M., & Harianja, R. (2023). Perencanaan sistem pemanenan air hujan sebagai alternatif penyediaan air bersih (Studi kasus Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta). *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 8(1), 6–19
6. Refi, A. (2013). Analisis breakwater pada Pelabuhan Teluk Bayur dengan menggunakan batu alam, tetrapod, dan A-jack. *Jurnal Momentum*, 15(2), 1–7
7. American Concrete Institute. (2016). *Guide to coastal and hydraulic structures*. ACI Publishing.
8. Hedar, A., & Sumi, S. (2018). Performance evaluation of A-Jacks concrete armor unit in breakwater protection. *Journal of Coastal Engineering*, 12(2), 55–63.
9. Van der Meer, J. W. (1999). *Concepts in berm breakwater design*. Delft Hydraulics
10. Hudson, R. Y. (1981). *Concrete armor units for coastal structures*. U.S. Army Corps of Engineers.
11. Sakakiyama, T., & Kajima, R. (1992). Stability analysis of Tetrapod armor layer under wave action. *Coastal Engineering Journal*, 35(4), 311–326.
12. U.S. Army Corps of Engineers. (1984). *Shore protection manual (Vol. 1–2)*. Coastal Engineering Research Center.
13. Coastal Engineering Research Center. (1984). *Shore Protection Manual (Vol. 2)*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
14. Hudson, R. Y. (1959). *Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
15. Dalrymple, R. A., & Dean, R. G. (1984). *Water wave mechanics for engineers and scientists*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.