



Perencanaan Tetrapod Beton Geopolimer Fly Ash Dan Lumpur Lapindo Pada Breakwater Pelabuhan Mimbo, Situbondo

Fitria Nova Dewi Suyono Putri¹, Ainil Mazaya², Dhyva Choirunnisa Wicakrani³

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

fitrianova.ddsp@gmail.com

Abstrak

Gelombang laut yang bersifat merusak menjadi salah satu penyebab terjadinya abrasi di pesisir pantai. Indonesia yang dijuluki sebagai negara maritim serta berstatus wilayah rawan gempa memiliki resiko tinggi terjadi abrasi, karena intensitas gempa mempengaruhi besarnya gelombang laut yang menghantam pesisir pantai. Jika masalah ini tidak segera ditangani, maka akan menyebabkan pengikisan wilayah daratan di pesisir pantai. Selain itu, peristiwa lumpur lapindo yang terjadi di Sidoarjo sejak tahun 2006 hingga saat ini masih belum teratasi meski berbagai upaya telah dilakukan oleh pemerintah untuk menghentikan semburan lumpur panas tersebut. Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa komposisi campuran beton geopolimer dengan perbandingan antara lumpur lapindo dan fly ash sebesar 60% : 40% mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 45,20 Mpa untuk umur beton 28 hari, sehingga dapat digolongkan dalam jenis beton geopolimer mutu tinggi yang dapat digunakan dalam pembuatan tetrapod pada bangunan breakwater. Bangunan breakwater dari batuan buatan tetrapod berbahan baku beton geopolimer fly ash dan lumpur lapindo dapat menjadi solusi penanganan abrasi di Pelabuhan Mimbo yang berlokasi di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. Metode penelitian yang digunakan adalah jenis penelitian pengebangan model 4D (define, design, develop, dan disseminate) yang berfokus pada tahap define dan design dengan pengumpulan data melalui studi literatur, serta dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk membuat perencanaan bangunan breakwater untuk menangani abrasi di Pelabuhan Mimbo dengan pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai material konstruksi bangunan. Penggunaan tetrapod menunjukkan hasil bangunan breakwater yang lebih kuat, tahan lama, serta lebih efektif dalam menangani abrasi.

Kata kunci: breakwater, beton geopolimer, beton mutu tinggi, fly ash, lumpur lapindo.

1. Pendahuluan

Indonesia mendapat julukan sebagai negara maritim, karena luas wilayah lautan lebih luas dibanding dengan luas daratannya. Menurut Putra dan Arafat (2019). Luas wilayah laut Indonesia mencapai 5,8 juta km², serta memiliki garis pantai sepanjang 81.000 km. Wilayah daratan di pesisir pantai rawan mengalami abrasi yang menyebabkan perubahan pada garis pantai. Gelombang laut yang bersifat merusak menjadi salah satu penyebab terjadinya abrasi di pesisir pantai. Menurut Azizi dkk. (2017), gelombang laut dapat mengangkut material-material sedimen pada pantai sehingga menyebabkan perubahan garis pantai. Letak geografisnya yang berada di pertemuan lempeng indo-australia, lempeng eurasia, dan lempeng pasifik, serta berlokasi di area cincin api Asia-Pasifik dengan memiliki 240 gunung berapi dengan 70 diantaranya masih berstatus aktif menjadikan Indonesia berstatus sebagai wilayah rawan gempa, sehingga resiko tinggi mengalami abrasi. Menurut Nichols dan Williams dalam Marelsa dan Oktaviandra (2019), intensitas gempa merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya gelombang laut yang menghantam pesisir pantai. Jika masalah ini tidak segera

ditangani akan menyebabkan pengikisan wilayah daratan di pesisir pantai. Menurut Setyawan dkk. (2021), Abrasi juga dapat mengganggu penggunaan lahan, serta merusak bangunan pemukiman dan infrastruktur di pesisir pantai. Selain itu, peristiwa lumpur lapindo yang terjadi di Sidoarjo sejak tahun 2006 hingga saat ini masih belum teratasi meski berbagai upaya telah dilakukan oleh pemerintah untuk menghentikan semburan lumpur panas tersebut.

Para ahli telah melakukan berbagai penelitian terkait penggunaan lumpur lapindo sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton. Namun, beton yang terbuat dari lumpur lapindo belum mampu mencapai kuat mutu yang diharapkan. Menurut Susanto dan Nugroho dalam Cahyanti (2017) pemanfaatan lumpur lapindo bakar sebagai pengganti agregat kasar beton menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan kuat tekan pada beton normal. Oleh sebab itu, kombinasi fly ash dan lumpur lapindo sebagai bahan baku beton geopolimer dilakukan untuk menghasilkan beton mutu tinggi, sehingga digunakan dalam pembuatan tetrapod pada breakwater pelabuhan Mimbo, Kabupaten Situbondo. Material fly ash dan lumpur lapindo dipilih bukan tanpa alasan, melainkan didasari oleh hasil riset terdahulu. Menurut Hardjito dalam Komala (2017), menunjukkan bahwa komposisi campuran beton geopolimer dengan perbandingan antara lumpur lapindo dan fly ash sebesar 60% : 40% mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 45,20 Mpa untuk umur beton 28 hari, sehingga dapat digolongkan dalam jenis beton geopolimer mutu tinggi.

Menurut SNI 2847 (2019), Beton merupakan campuran yang terdiri dari material semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dan terkadang juga diberi bahan campuran tambahan berupa zat kimia (admixture). Sementara beton geopolimer tergolong sebagai beton ramah lingkungan yang dalam pembuatannya tidak menggunakan semen portland, karena proses produksi semen portland menghasilkan gas polutan CO₂. Pembuatan beton geopolimer membutuhkan material pozzolan yang kaya kandungan senyawa silika dan alumina sebagai zat pengikat serta larutan alkali yang sebagai aktivator reaksi polimerasi (Davidovits dalam Anugrah dan Wardhono, 2018). Abu vulkanik, fly ash, silica fume, tanah diatomik, opaline cherts dan shales, tuff, bentonit, serta abu sekam padi merupakan contoh material pozzolan yang dapat digunakan dalam pembuatan beton geopolimer. Sementara NaOH, KOH, Na₂SiO₃ dan K₂SiO₃ merupakan contoh senyawa yang biasa digunakan sebagai aktivator dalam pembuatan beton geopolimer.

Fly ash atau abu terbang material berwujud bubuk halus yang terbentuk dari sisa pembakaran batu bara (Setiawati, 2018). Menurut Nugraha (dalam Setiawati dan Imamudin, 2018), Fly ash tersusun dari beberapa senyawa seperti silika (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃), kalsium (CaO), magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur. Fly ash berdasarkan jenisnya dibagi lagi dalam tiga kelas, yaitu kelas F, kelas C, dan kelas N. Berdasarkan hasil riset yang dilakukan Setiati dan Irawan (2018), struktur balok yang terbuat dari beton geopolimer dengan 100% fly ash mampu mencapai kapasitas lentur hampir menyerupai beton konvensional.

Lumpur Lapindo merupakan semburan Lumpur panas yang keluar dari perut bumi akibat kelalaian proses penambangan yang dilakukan oleh PT. Lapindo Brantas Inc. pada tahun 2006 di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo,

Jawa Timur. Pada lumpur Sidoarjo mengandung senyawa kimia SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ (Mintura dkk. 2022). Berbagai unsur kimia tersebut dapat digunakan dalam pembuatan beton. Menurut Mintura (2022), penambahan lumpur lapindo dalam pembuatan bata ringan dengan

komposisi sebesar 25%-45% berdampak pada penambahan kuat tekan dan massa bata ringan yang dihasilkan.

Pemecah gelombang atau breakwater merupakan bangunan tanggul kecil yang berfungsi untuk memecah dan menghambat energi gelombang sebelum sampai ke pantai (Hardianti, 2017). Berdasarkan fungsinya, bangunan breakwater dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai (Yuliamangesti, 2017). Breakwater sambung pantai berfungsi untuk melindungi perairan pelabuhan, sedangkan breakwater lepas pantai berfungsi untuk melindungi pantai dari abrasi. Tetrapod merupakan beton pracetak berwujud batu tiruan berkaki empat yang menjadi salah satu komponen penyusun bangunan breakwater dengan fungsi sebagai unit pelindung. Penyusunan tetrapod dipasang secara acak dan saling mengunci supaya bisa mengalirkan gelombang laut melalui sela-sela susunan tetrapod agar struktur breakwater tidak amblas saat dihantam gelombang laut (Aprilia dkk., 2019).

Pelabuhan Mimbo merupakan Pusat Pelelangan Ikan (PPI) dan tempat bongkar muat yang berlokasi di desa Sumberanyar, Kecamatan Banyuputih, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. Selain itu, pelabuhan ini menjadi akses penyebrangan antara Kabupaten Situbondo dan Pulau Madura. Fasilitas pelabuhan yang memadai sangat diperlukan untuk memaksimalkan fungsi Pelabuhan Mimbo, salah satunya terkait pentingnya ketersediaan fasilitas bangunan pengaman pantai. Menurut Pusat Informasi Pelabuhan Perikanan (PIPP) pada tahun 2013, Pelabuhan Mimbo Situbondo hanya mengandalkan bangunan revetment yang terbuat dari material batu kali untuk melindungi pesisir pantai dari terjangan gelombang laut. Namun, fungsi bangunan revetment tersebut sebagai bangunan pengaman pantai dinilai masih kurang efektif. Menurut Yons (2019), warga pesisir pantai Mimbo mengungsi karena gelombang laut mulai naik ke tangkis laut dan mulai masuk ke pemukiman warga. Selain itu, naiknya gelombang air laut di perairan Situbondo menyebabkan 5 pelabuhan di Situbondo ditutup, salah satunya Pelabuhan Mimbo. Dibutuhkan bangunan pengaman pantai yang lebih efektif dalam melindungi pesisir Pelabuhan Mimbo dari terjangan gelombang laut agar peristiwa serupa tidak terulang lagi.

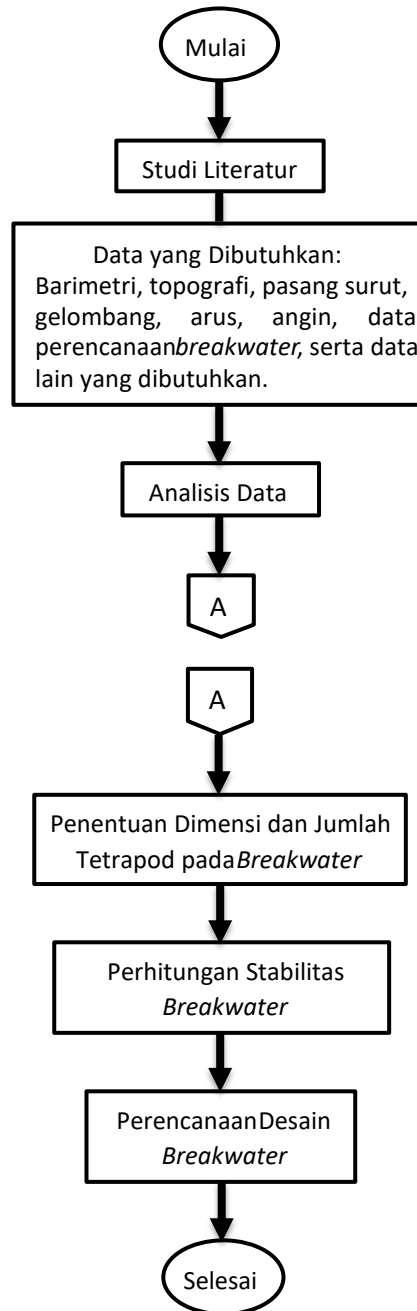
2. Metode

Penelitian ini dilakukan di Pelabuhan Mimbo yang berlokasi di Desa Sumberanyar, Kecamatan Banyuputih, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur.

Pelabuhan ini berada di titik koordinat 7°35' sampai 7°44' Lintang Selatan dan 113°30' sampai 114°42' Bujur Timur. Kegiatan penelitian dilakukan mulai dari bulan Juli hingga Agustus pada tahun 2022. Pelabuhan Mimbo memiliki lahan operasional seluas ± 2250 ha. Sebelah utara Pelabuhan Mimbo berbatasan langsung dengan Selat Madura, di sebelah timur berbatasan langsung dengan Dusun Krajan, di sebelah selatan berbatasan langsung dengan Dusun Bindung dan Dusun Ranurejo, sedangkan di sebelah barat berbatasan langsung dengan pusat Desa Sumberejo.

Pada perencanaan tetrapod beton geopolimer fly ash dan lumpur lapindo pada bangunan breakwater di Pelabuhan Mimbo menggunakan metode pengembangan model 4D (define, design, develop, dan disseminate) yang berfokus pada tahap define dan design. Kemudian, dilakukan pengumpulan data menggunakan metode studi literatur dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber referensi seperti buku, jurnal ilmiah, dokumen-dokumen, berita, internet, maupun dari sumber data lainnya. Data yang telah dikumpulkan dapat berupa tulisan, gambar,

grafik, maupun tabel. Kemudian, data diolah menggunakan teknik pengolahan data model deduktif. Sementara data dianalisa menggunakan model deskriptif-kuantitatif untuk menjelaskan proses serta hasil dari perhitungan perencanaan Tetrapod beton geopolimer dari fly ash dan lumpur lapindo pada bangunan breakwater Pelabuhan Mimbo, lalu untuk hasil perencanaan Tetrapod dan breakwater dianalisis secara deskriptif-kuantitatif. Proses perencanaan ini dibagi menjadi beberapa tahap pelaksanaan yang harus dilalui, yaitu tahap pengumpulan data perencanaan, analisis data perencanaan, penentuan dimensi dan jumlah tetrapod yang dibutuhkan pada bangunan breakwater, perhitungan stabilitas breakwater, dan pembuatan gambar desain breakwater.

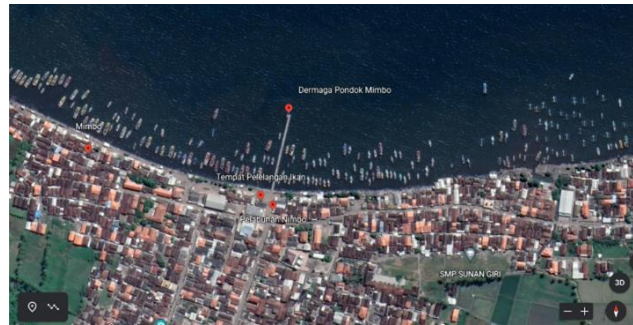


Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan

3. Hasil

3.1. Layout Pelabuhan Mimbo

Mengetahui tipe Layout bangunan Pelabuhan sebelum membuat perencanaan tetrapod pada bangunan breakwater sangat diperlukan untuk menentukan tipe breakwater yang sesuai serta efektif dalam melindungi Pelabuhan dari terjangan Gelombang Laut. Berikut ini merupakan gambar Pelabuhan Pelabuhan Mimbo yang berlokasi di desa Sumberanyar, Kecamatan Banyuputih, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur.



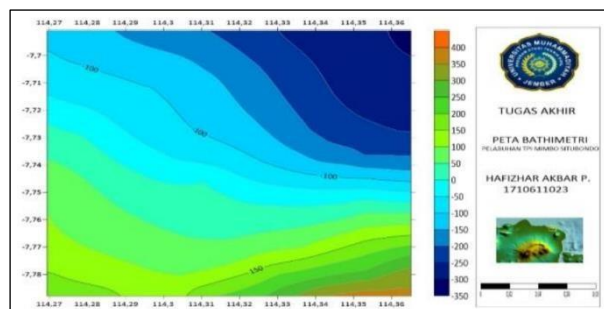
Gambar 1. Potret Tampak Atas Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

(Sumber: <https://earth.google.com>)

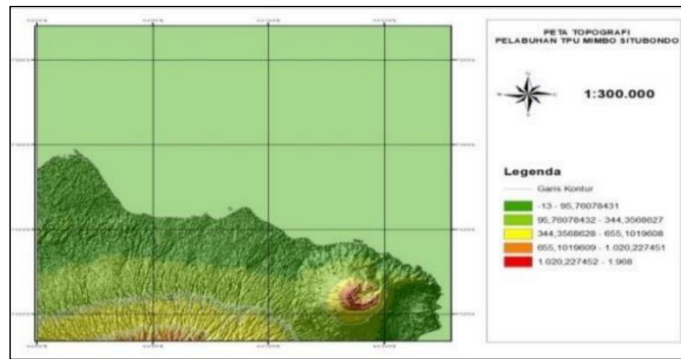
Dari gambar yang tertera diatas, terlihat jelas bahwa kolam di PelabuhanMimbo tidak terlindung dari terjangan gelombang laut karena letaknya yang menjorok ke laut. Oleh sebab itu, diperlukan adanya breakwater untuk melindungi Pelabuhan Mimbo dari terjangan gelombang laut penyebab abrasi pantai.

3.2. Data Batimetri dan Topografi

Berikut ini merupakan data batimetri dan topografi di perairan Pelabuhan Mimbo, Situbondo.



Gambar 2. Peta Batimetri di Pelabuhan Mimbo, Situbondo. (Sumber: Prasniardianto, 2022)



Gambar 3. Peta Topografi Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

(Sumber: Prasniardianto, 2022)

Dari gambar peta batimetri dan topografi di Pelabuhan Mimbo, didapatkan data kondisi perairan yang tergolong cukup landai dengan kedalaman berkisar antara + 3 mLWS sampai -1 mLWS (Cempaka, 2012).

3.3. Data Pasang Surut

Berikut ini merupakan data pasang surut di pesisir pantai Pelabuhan Mimbo, Situbondo, menurut Prasniardianto (2022).

Hasil Perhitungan:

1. Elevasi HWL pada +2.88mLWS
2. Elevasi MHWL pada +2.45mLWS
3. Elevasi MSL pada +2.02mLWS
4. Elevasi LLWL pada +1,44mLWS
5. Elevasi LWL pada +0.86mLWS

3.4. Data Gelombang

Berikut ini merupakan data gelombang di perairan Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 4. Data Parameter dan Tinggi Gelombang Laut di Pelabuhan Mimbo

Kecepatan angin maksimum	17 Knot
Panjang fetch efektif (F_{eff})	75,65 km
Kecepatan angin di laut	9,6375 m/s
Tegangan angin	11,522 m/s
Tinggi gelombang	1,625 m
Periode Gelombang	6 s

(Sumber: Cempaka, 2012)

3.5. Arus 1) Arus Umum a) Kondisi neap tide

Berikut ini merupakan hasil analisa data arus umum pada kondisi neap tide di perairan Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 4. Data arus umum dengan kondisi neap tide di Pelabuhan Mimbo

Lokasi	Arah	V _{max} (m/s)		
		0,2 d	0,6 d	0,8 d
Cm 1	Barat laut – barat daya	0,09	0,10	0,09
Cm 2	Barat laut – barat daya	0,10	0,10	0,09

(Sumber: Cempaka, 2012)

3.6. Kondisi spring tide

Berikut ini merupakan hasil analisa data arus umum pada kondisi spring tide di perairan Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 5. Data arus umum dengan kondisi spring tide di Pelabuhan Mimbo

lokasi	Arah	V _{max} (m/s)		
		0,2 d	0,6 d	0,8 d
Cm 1	Barat laut – tenggara	0,04	0,06	0,1
Cm 2	Barat laut – tenggara	0,08	0,05	0,06

(Sumber: Cempaka, 2012)

a. Arus Pasang Surut

Teknik analisa arus pasang surut di perairan Pelabuhan Mimbo, Situbondo dilakukan dengan menggunakan metode vektor data arus umum.

1. Kondisi neap tide

Berikut ini merupakan hasil analisa data arus umum pada kondisi neap tide di perairan Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 6. Data arus pasang surut dengan kondisi neap tide di Pelabuhan Mimbo

lokasi	Arah	V _{max} (m/s)
Cm 1	Timur laut – barat daya	0,10
Cm 2	Barat laut – tenggara	0,14

(Sumber: Cempaka, 2012)

2. Kondisi spring tide

Berikut ini merupakan hasil analisa data arus umum pada kondisi spring tide di perairan Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 7. Data arus pasang surut dengan kondisi spring tide di Pelabuhan Mimbo

lokasi	Arah	V_{max} (m/s)
Cm 1	Barat laut – tenggara	0,05
Cm 2	Barat daya – tenggara	0,07

(Sumber: Cempaka, 2012)

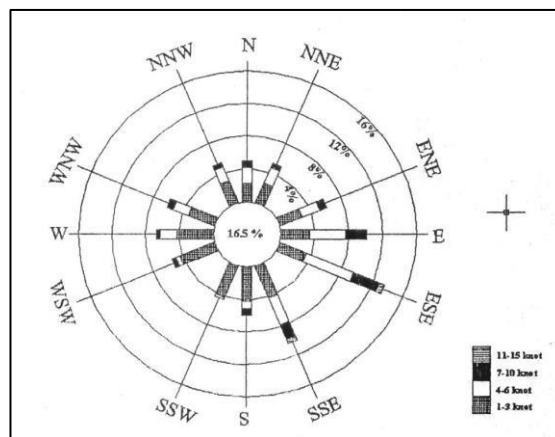
Keterangan:

Cm 1 : titik pengamatan pertama

Cm 2 : titik pengamatan kedua

3.7. Angin

Berikut ini merupakan gambar kondisi arah angin pada lokasi yang dominan ke arah tenggara dan dominan kecepatannya mencapai 4-6 knot.



Gambar 4. Arah Angin di Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

(Sumber: Cempaka, 2012)

3.8. Data Perencanaan Breakwater Pelabuhan Mimbo (Cempaka,2012).

1. Layout Breakwater a) Tipe Breakwater

Kondisi tanah di Pelabuhan Mimbo, Situbondo yang didominasi oleh campuran 73 % tanah lanau dan lempung dengan sedikit kerikil, sehingga menggunakan pondasi dangkal karena sesuai apabila jenis pondasi tersebut diaplikasikan di sana. Lalu untuk bangunan breakwater-nya menggunakan jenis sisi miring, karena strukturnya menyerupai pondasi dangkal serta estimasi biaya pembangunannya lebih ekonomis apabila dibandingkan dengan penggunaan jenis bangunan breakwater sisi tegak. Selain itu, pemilihan bangunan breakwater tipe sambung pantai akan lebih efisien daripada tipe lepas pantai. Lokasi pembangunan breakwater direncanakan pada kedalaman -0,5 LWS. Breakwater dibuat dari material tetrapod beton geopolymer fly ash dan lumpur Lapindo.

2. Dimensi Breakwater a) Gelombang Rencana

Gelombang rencana dihitung menggunakan analisis refraksi pada kedalaman rencana diambil kedalaman yang paling dalam dan yang paling dangkal. Berikut ini merupakan tabel data tinggi gelombang hasil analisa refraksi pada kedalaman $D = +0,51$ LWS dan $D = - 0,51$ LWS.

Tabel 9. Tinggi Gelombang Rencana

Tinggi Gelombang Dalam Laut (m)	Tinggi Gelombang (m)	
	D = +0,51 LWS	D = - 0,51 LWS
1,625	2,02	1,74

(Sumber: Cempaka, 2012)

Berdasarkan tabel diatas Gelombang rencana didapatkan dari tinggi gelombang yang terbesar yaitu 2.02.

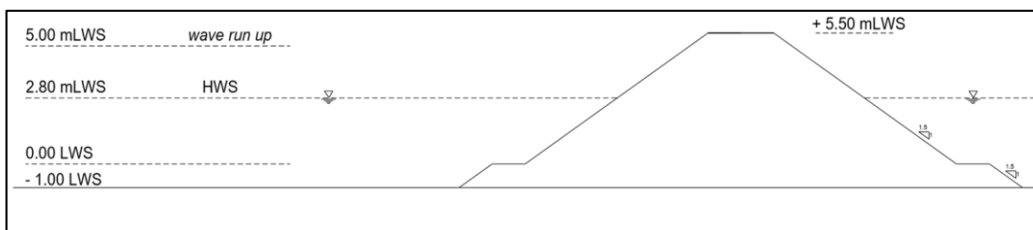
3. Elevasi Breakwater

Berikut ini merupakan data perencanaan elevasi breakwater Pelabuhan Mimbo, Situbondo terhadap LWS.

Tabel 9. elevasi puncak breakwater terhadap LWS

Titik Lokasi	Elevasi (m)
HWS	+2.80
Wave Run-up	+2.25
Tinggi kebebasan	+0.50
elevasi puncak	+ 5.55

(Sumber: Cempaka, 2012)



Gambar 5. Elevasi Breakwater

(Sumber: Cempaka, 2012)

4. Berat Butir Lapis Lindung Breakwater

Berikut ini merupakan data hasil perhitungan berat butir lapis lindung breakwater di Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 10. Berat Unit Lapis lindung Breakwater

Segmen	Berat Unit (kg)	
	Ujung	Lengan
Lapisan Primer	1800	1600

Live and Applied Science, Volume 2

Lapisan Sekunder	180	160
Lapisan Inti	9	8

(Sumber: Cempaka, 2012)

5. Lebar Puncak Breakwater

Berikut ini merupakan data hasil perhitungan lebar puncak breakwater di Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 11. Lebar Puncak Breakwater

Segmen	Lebar Puncak (m)	
	Ujung	Lengan
Lapisan Primer	3	2,7

(Sumber: Cempaka, 2012)

6. Tebal Lapisan Breakwater

Berikut ini merupakan data hasil perhitungan tebal lapisan breakwater di Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 12. Tebal Lapisan Breakwater

Segmen	Tebal Lapisan (kg)	
	Ujung	Lengan
Lapisan Primer	2	1,8
Lapisan Sekunder	1,5	1,4

(Sumber: Cempaka, 2012).

7. Jumlah Batu Pelindung Breakwater

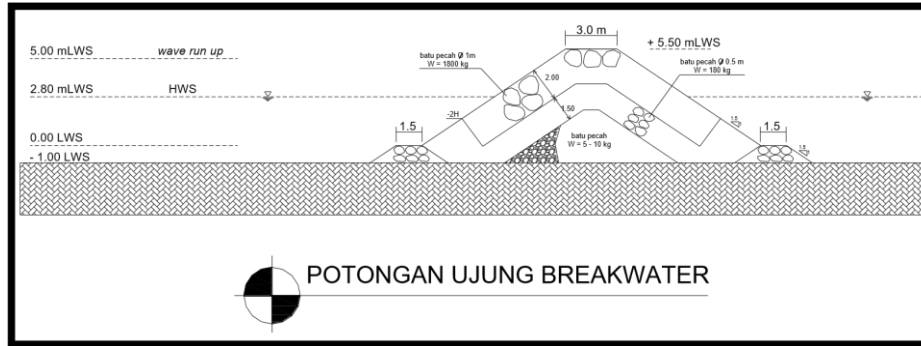
Berikut ini merupakan data hasil perhitungan jumlah batu pelindung breakwater di Pelabuhan Mimbo, Situbondo.

Tabel 13. Jumlah Batu Pelindung Breakwater

Segmen	Tebal Lapisan (kg)	
	Ujung	Lengan
Lapisan Primer	17	18
Lapisan Sekunder	119	129

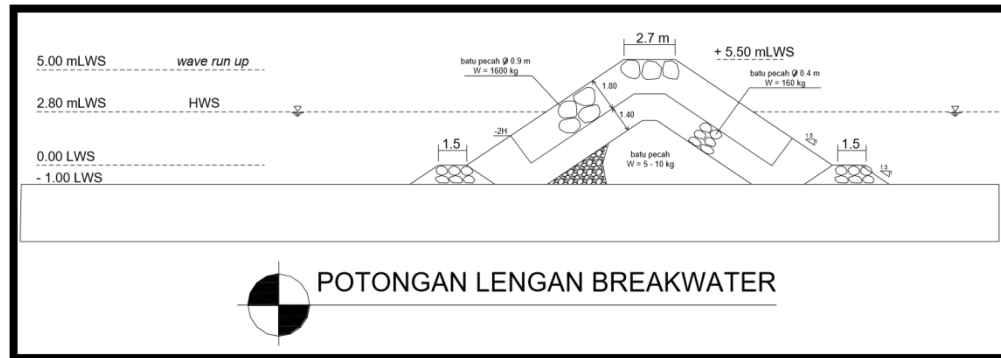
(Sumber: Cempaka, 2012)

Berdasarkan semua data hasil perhitungan dimensi breakwater teraebut, maka dapat dibuat gambar perencanaan bangunan breakwater di Pelabuhan Mimbo, Situbondo seperti berikut ini.



Gambar 6. Potongan Breakwater Bagian Ujung

(Sumber: Cempaka, 2012)



Gambar 7. Potongan Breakwater Bagian Lengan

(Sumber: Cempaka, 2012)

4. Pembahasan

4.1. Perhitungan Dimensi dan Jumlah Tetrapod pada Breakwater

Berdasarkan hasil perhitungan dari Cempaka (2012), bangunan breakwater di perairan Pelabuhan Mimbo, Situbondo, direncanakan pada kedalaman -0,5 LWS (kedalaman 5 m) dengan jenis breakwater sisi miring tipe sambung pantai pada sudut kemiringan 33,7°. Diketahui gelombang rencana sebesar 2.02 m, dan HWS = 2,88 m

4.2. Wave Run-Up

$$I_r = \frac{\tan \theta_r}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0,5}} \dots\dots\dots \text{(Triatmodjo, dalam Cempaka, 2012)}$$

Keterangan:

I_r = Bilangan Iribaren (m)

θ_r = Sudut kemiringan sisi breakwater (

H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan breakwater (m)

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam (m)

Jika menggunakan tetrapod, maka:

$$\frac{Ru}{H} = 0,875 \quad \dots\dots\dots (Kusuma dkk, 2019)$$

- Diketahui:

$$\theta_r = 33,7^\circ$$

$$H = 2,02 \text{ m}$$

$$L_0 = 56,16 \text{ m}$$

- Perhitungan:

$$I_r = \frac{\tan \theta_r}{H^{0,5}} \quad \frac{Ru}{H} = 0,875$$

$$= \frac{\tan 33,7^\circ}{\left(\frac{2,02}{56,16}\right)^{0,5}} \quad Ru = 0,875 \times H$$

$$= \frac{\tan 33,7^\circ}{\left(\frac{2,02}{56,16}\right)^{0,5}} \quad Ru = 0,875 \times 2,02$$

$$I_r = 3,51649266 \text{ m} \quad Ru = 1,7675 \text{ m}$$

$$I_r = 3,51649266 \text{ m}$$

4.3. Berat Butir Lapis Lindung

$$W_{\text{primer}} = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D(S_r - 1)^3 \cdot \cotan \theta_r} \dots\dots (Triatmodjo dalam Cempaka, 2012)$$

$$\text{dimana, } S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

$$W_{\text{sekunder}} = \frac{W_{\text{primer}}}{10}$$

Keterangan :

W_{primer} = Berat butir lapis pelindung primer (kg)

W_{sekunder} = Berat butir lapis pelindung sekunder (kg) W_{inti} = Berat butir lapis pelindung inti (kg) γ_r = Berat jenis armour (ton/m³ atau kg/m³) γ_a = Berat jenis air laut (ton/m³ atau kg/m³) H = Tinggi gelombang rencana (m) θ_r = Sudut kemiringan sisi breakwater (°)

K_D = Koefisien stabilitas

- Diketahui:

$$\gamma_a = 1,03 \text{ ton/m}^3 = 1030 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \theta_r & \\ K_D \text{ ujung} &= 5,5 \\ K_D \text{ lengan} &= 7 \end{aligned}$$

- Perhitungan:

- Perhitungan:

$$= \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cdot \cotan \theta_r}$$

$$= \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D \text{ ujung} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1\right)^3 \cdot \cotan 33,7^\circ}$$

$$= \frac{2400 \cdot 2,02^3}{5,5 \left(\frac{2400}{1030} - 1\right)^3 \cdot 1,49943674} \quad \gamma_r = 2,4 \text{ ton/m}^3$$

$$H = 2,02 \text{ m} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 33,7$$

Wprimer

Wprimer ujung

$$= 1019,353 \text{ kg} \approx 1020 \text{ kg}$$

$$W_{\text{primer lengan}} = \frac{\gamma_r \cdot H}{K_D \text{ lengan} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1\right)^3 \cdot \cotan 33,7^\circ}$$

$$= \frac{2400 \cdot 2,02^3}{7 \left(\frac{2400}{1030} - 1\right)^3 \cdot 1,49943674}$$

$$= 800,92 \text{ kg} \approx 801 \text{ kg}$$

$$= \frac{W_{\text{primer}}}{10}$$

$$= \frac{1020}{10} \quad W_{\text{sekunder}}$$

Wsekunder ujung = 102 kg

$$W_{\text{sekunder lengan}} = \frac{801}{10} = 80,1 \text{ kg}$$

4.4. Lebar Puncak Breakwater

$$B = n \cdot k\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(\text{Triatmodjo dalam Cempaka, 2012})$$

Keterangan:

- B = Lebar puncak (m) n = Jumlah armour unit tiap lapisan kΔ = Koefisien lapis
- W = Berat butir armour unit (ton atau kg)
- γr = Berat jenis armour unit (ton/m³ atau kg/m³)

- Diketahui:

n = 2 Wlengan = 801 kg kΔ = 1,04 γr = 2400 kg/m³

Wujung = 1020 kg

- Perhitungan:

$$B = n \cdot k\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\begin{aligned} \text{Bujung} &= 2 \cdot 1,04 \left(\frac{1020}{2400}\right)^{\frac{1}{3}} & \text{Blengan} &= 2 \cdot 1,04 \left(\frac{801}{2400}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 1,56384238 \text{ m} \approx 1,6 \text{ m} & &= 1,44279211 \text{ m} \approx 1,45 \text{ m} \end{aligned}$$

4.5. Jumlah Tetrapod yang Dibutuhkan Breakwater

$$N = A \cdot n \cdot k\Delta \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(\frac{\gamma_r}{W}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Keterangan:

- t = Tebal lapis pelindung (m)
- n = Jumlah batu kΔ = Koefisien lapis
- A = Luas permukaan (m²)
- p = Porositas rerata lapis pelindung (50%)
- N = Jumlah batu untuk satuan luas permukaan A

γ_r = Berat jenis armour

$$N = A \cdot n \cdot k \Delta \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(\frac{\gamma_r}{W}\right)^{\frac{2}{3}}$$
$$\begin{aligned} \text{Nujung} &= 10 \cdot 2 \cdot 1,04 \left(1 - \frac{50}{100}\right) \left(\frac{2400}{1020}\right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 18,3981457 \approx 19 \text{ buah tetrapod per } 10 \text{ m}^2 \\ &= 10 \cdot 2 \cdot 1,04 \left(1 - \frac{50}{100}\right) \left(\frac{2400}{801}\right)^{\frac{2}{3}} \\ \text{Nlengan} &= 20,8(0,5) \left(\frac{2400}{801}\right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 99,5827589 \approx 100 \text{ buah tetrapod per } 10 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dari data yang dibutuhkan dalam perencanaan tetrapod beton geopolimer fly ash dan lumpur lapindo pada bangunan breakwater di Pelabuhan Mimbo, Kabupaten Situbondo, maka didapati kesimpulan sebagai berikut:

1. Beton geopolimer yang terbuat dari campuran fly ash dan lumpur lapindo menghasilkan kuat tekan tinggi sehingga memenuhi syarat mutu beton yang digunakan dalam pembuatan tetrapod pada bangunan breakwater.
2. Kondisi perairan pelabuhan perikanan Pondok Mimbo membutuhkan sebuah perencanaan breakwater yang terbuat dari tetrapod beton geopolimer fly ash dan lumpur lapindo, karena bangunan revetment yang terdapat di Pelabuhan Mimbo kurang efektif dalam melindungi pesisir pantai dari terjangan ombak.
3. Direncanakan breakwater pada Pelabuhan Mimbo, Situbondo, menggunakan breakwater jenis sisi miring tipe sambung pantai di kedalaman -0,5 LWS. Breakwater dibuat dari material tetrapod beton geopolymer fly ash dan lumpur Lapindo.
4. Sudut kemiringan bangunan breakwater direncanakan sebesar 33,7 , gelombang rencana sebesar 2.02 m, dan HWS sebesar 2,88 m
5. Berat butir lapis pelindung primer pada bangunan breakwater direncanakan pada bagian ujung sebesar 1020 kg, dan bagian lengan sebesar 801 kg. Sementara berat butir lapis pelindung sekundernya direncanakan pada bagian ujung sebesar 102 kg, dan bagian lengan sebesar 80,1 kg.

6. Lebar puncak bangunan breakwater direncanakan pada bagian ujung sebesar 1,6 m, dan bagian lengan sebesar 1,45 m.
7. Kebutuhan tetrapod pada bangunan breakwater direncanakan per luasan 10 m² pada bagian ujung sebesar 19 buah dan bagian lengan sebesar 100 buah.

Daftar Rujukan

- Akbar, R. dkk. 2018. Implementasi Business Intelligence Menentukan Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia dengan Fitur Geolokasi. JEPIN: (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika. 4(1), 30-35. Dari <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jepin/article/view/25518>.
- Anugrah, A.D., dan Wardhono, A. 2018. Pengaruh Variasi Naoh Terhadap Na₂SiO₃ Terhadap Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Metode Dry Mixing Pada Kondisi Rasio Abu Terbang Terhadap Aktivator 4:1. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil. 3(1), 1-9. Dari <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasateknik-sipil/article/view/26025>.
- Aprilia, H.E., Fauzi, M., dan Besperi. 2019. Analisis Bangunan Pengaman Pantai (Groin) Di Tapak Paderi Kota Bengkulu. Civil Engineering and Built Environment Conference 2019. 145-155. Dari <http://repository.unib.ac.id/20246/>.
- Arifandi, M.Y., dan Suharjo. 2021. Rancang Bangun Material Penyusun Breakwater Berbentuk Polypod. Jurnal Sains dan Seni ITS. 10(1), 131-137. Dari http://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/58392.
- Azizi, M.I., Hariyadi, dan Atmodjo W. 2017. Pengaruh Gelombang Terhadap Sebaran Sedimen Dasar di Perairan Tanjung Kalian Kabupaten Bangka Barat. Jurnal Oseanografi. 6(1), 165-175. Dari <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/16193>.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Cahyanti, Feminia Heri. 2017. Pemanfaatan Lumpur Lapindo sebagai Bahan Dasar Pengganti Pasir pada Pembuatan Paving Block Geopolymer. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil. 1(1), 212-219. Dari <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/17920>.
- Cempaka, Aisyah. 2012. Perencanaan Pemecah Gelombang Pelabuhan Perikanan Pondok Mimbo Situbondo, Jawa Timur. Skripsi tidak diterbitkan. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Hardianti. 2017. Stabilitas Dan Kekakuan Armour Tipe A-Jack Di Pulau Gusung Terhadap Beban Gelombang. Skripsi tidak diterbitkan. Gowa: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Kusuma, A.D.A., Agung I.B., dan Haza Z.F. 2019. Pemecah Gelombang Sisi Miring Dengan Lapis Lindung Tetrapod. Jurnal UTS Jogja. 4(1), 65-74. Dari <https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/renovasi/article/view/9690/3845>.
- Kusuma, Hendra Ardi. 2020. Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Pengisi Pembuatan Genteng Beton Ditinjau dari Kekuatan Lentur dan Resapan Air. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil. 2(1), 1-5. Dari <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/31925>.
- Marelsa, F.N., dan Oktaviandra, Y. 2019. Analisis Karakteristik Gelombang Laut Menggunakan Software Windwave-12 (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai). Oseana. 44(2), 10-24. Dari <https://oseana.lipi.go.id/oseana/article/view/23>.
- Mintura, S. Wijaya, H.D., dan Purwanto, D. 2022. Studi Eksperimental Pengaruh Konsentrasi Lumpur Lapindo Sebagai Pelarut Mix Design Pembuatan Bata Ringan Celluler Lightweight Concrete (CLC). Jurnal Anggapa. 1(1), 1-7. Dari <https://ojs.widyakartika.ac.id/index.php/anggapa/article/view/429>.
- Prasniardianto, H.A., Salim, N., & Kuryanto, T.D. 2022. Dampak Teknik Kepantaian Pada Kinerja Saluran di Kawasan Pelabuhan Ikan TPI Mimbo Situbondo. Jurnal Smart Teknologi. 3(2), 2774-1702. Dari

- Putra, A. dan Arafat, A. 2019. Penyelenggaraan Pembangunan NKRI Menuju Negara Maritim Berdasarkan Prinsip Negara Kepulauan. *Jurnal Akta Yudisia*. 1(2), 1-23. Dari <http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/aktayudisia/article/view/982>.
- Setiati, N.R., dan Irawan R.R., 2018. Perbandingan Sifat dan Karakteristik Beton Geopolimer Terhadap Beton Semen Portland untuk Kekuatan Struktur Balok. *Jurnal Jalan dan Jembatan*. 35(2), 125-138. Dari <http://jurnal.pusjatan.pu.go.id/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/495>.
- Setiawati, Mira. 2018. Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. SEMNASTEK: Seminar Nasional Sains dan Teknologi. 1-8. Dari <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3556>.
- Setiawati, M., Imaduddin, M. 2018. Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*. 5(4), 295-302. Dari <https://doi.org/10.32502/jbearing.1681201854>.
- Setyawan, F.O., Sari, W.K., dan Alivianti, D. 2021. Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System Di Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Aceh. *Journal of Fisheries and Marine Research*. 5(2), 368-377. Dari <https://jfmr.ub.ac.id/index.php/jfmr/article/view/585>.
- Yons. 2019. Air Laut Naik, Ratusan Warga Pesisir Mimbo Mengungsi, (Online). <https://www.kabarrakyat.id/kabar-hot/pr-23709/air-laut-naik-ratusan-wargapesisir-mimbo-mengungsi>. Diakses pada 3 Agustus 2022.
- Yons. 2019. Gelombang Tinggi, 5 Pelabuhan di Situbondo Di-Off-kan, (Online). <https://www.kabarrakyat.id/kabar-hot/pr-23731/gelombang-tinggi-5-pelabuhandi-situbondo-dioffkan>. Diakses pada 3 Agustus 2022.
- Yuliamangesti, Astika Andra. 2017. Evaluasi Kinerja Bangunan Pemecah Gelombang (Breakwater) di Pantai Puger Jember. Skripsi tidak diterbitkan.
Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.