TUGAS AKHIR TERAPAN – VC 181819

RANCANG BANGUN MATERIAL PENYUSUN *BREAKWATER* BERBAHAN BETON GEOPOLIMER

MUHAMMAD YUSUF ARIFANDI
NRP 10111610000065

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Suharjoko M.T.
NIP 19560119 198403 1 001

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR TERAPAN – VC 181819

RANCANG BANGUN MATERIAL PENYUSUN *BREAKWATER* BERBAHAN BETON GEOPOLIMER

MUHAMMAD YUSUF ARIFANDI
NRP 10111610000065

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Suharjoko M.T.
NIP 19560119 198403 1 001

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

APPLIED FINAL PROJECT – VC 181819

DESIGN OF BREAKWATER MATERIALS WITH GEOPOLYMER CONCRETE

MUHAMMAD YUSUF ARIFANDI
NRP 10111610000065

Academic Supervisor
Dr. Ir. Suharjoko M.T.
NIP 19560119 198403 1 001

BACHELOR OF APLIED DEGREE PROGRAM
DEPARTEMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATIONAL
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

Berita Acara Sidang Proyek Akhir

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS
Semester Genap 2019-2020
Nomor BA :
Nomor Jadwal : 12

Program Studi : D4 Teknik Sipil (TRPPBS)
Diinput oleh : Dwi Indriyani, ST., MT.
Bahwa pada hari ini : Selasa, 04-Agt-2020 Pukul : 10:00 s/d 12:00
Di tempat : Online Meeting

Telah dilaksanakan sidang Proposal Tugas Akhir dengan judul:

RANCANG BANGUN MATERIAL PENYUSUN BREAKWATER BERBAHAN BETON GEOPOLIMER

Yang dihadiri dan dipresentasikan oleh mahasiswa :	(Hadir / Tidak Hadir)
10111610000065 MUHAMMAD YUSUF ARIFANDI	Hadir

	Yang dihadiri oleh dosen Pembimbing:	(Hadir / Tidak Hadir)
1	Dr. Ir. Suharjoko, MT.	Hadir
2		Hadir

	Yang dihadiri oleh dosen Penguji:	(Hadir / Tidak Hadir)
1	Dr. Ir. Kuntjoro, MT.	Hadir
2	Dwi Indriyani, ST., MT.	Hadir
3		

Bahwasanya, musyawarah pembimbing dan penguji pada sidang proyek akhir ini memutuskan:

10111610000065 MUHAMMAD YUSUF ARIFANDI

LULUS, DENGAN REVISI MINOR

Catatan / revisi / masukan :

Dr. Ir. Kuntjoro, MT.

a Gambar dibuat sebagai susunan 3 layer, bisa dibuat dari foto benda uji yang dicetak atau dari gambar
b kendala dalam proses pencetakan karena hasilnya kurang bagus dan sepertinya lengket pada cetakan, bagaima
c Saran Materialnya dibuat tidak mulus/dibuat berigi/permukaan kasar
d Saran , untuk gambar pada poin a antar kaki polypot lebih berdekatan/berimpit
e
f

Dwi Indriyani, ST., MT.

a Mohon diperbaiki format penulisan seperti pada laporan yang sudah dikoreksi

b Tolong diberi penjelasan pada gambar penyusunan dari polypot

c Tolong di abstrak ditunjukkan hasil yang sudah dilakukan

d

e

f

a

b

c

d

e

f

Tindak lanjut :

Mahasiswa memperbaiki/merevisi Proyek Akhir sesuai dengan masukan di atas.

Penutup :

Demikian Berita Acara Sidang Proyek Akhir ini dibuat sebagai panduan revisi oleh Mahasiswa.

Lampiran :

Tempelkan screen capture peserta meeting online disini.

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN MATERIAL PENYUSUN *BREAKWATER* BERBAHAN BETON GEOPOLIMER

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Terapan Pada
Program Studi Sarjana Terapan
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 22 Agustus 2020

Oleh :

Muhammad Yusuf Arifandi
NRP. 10111610000065

Disetujui oleh :

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Dr. Ir. Suharjoko M.T.
NIP. 19560119 198403 1 001

RANCANG BANGUN MATERIAL PENYUSUN *BREAKWATER* BERBAHAN BETON GEOPOLIMER

Nama	: Muhammad Yusuf Arifandi
NRP	: 10111610000065
Departemen	: Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
Dosen Pembimbing	: Dr. Ir. Suharjoko M.T.

ABSTRAK

Breakwater adalah salah satu bangunan pelindung pantai yang berfungsi untuk meredam energi gelombang yang datang menuju pantai. Dalam pembangunan *breakwater* dibutuhkan material yang kokoh dan kuat dalam menghadapi gelombang dan arus laut. Material yang sering digunakan sebagai material penyusun *breakwater* adalah material buatan yang terbuat dari beton. Penggunaan beton konvensional sebagai bahan material penyusun *breakwater* dapat menyebabkan tingkat pencemaran udara semakin meningkat sehingga diperlukan alternatif bahan material yang lebih ramah lingkungan. Salah satu contoh bahan alternatif yang dapat digunakan adalah beton geopolimer.

Dalam penelitian ini dilakukan analisa spesifikasi teknis beton geopolimer sebagai bahan material penyusun *breakwater*, menentukan bentuk dan ukuran material penyusun *breakwater*, melakukan analisa skala model dan melakukan pengujian model fisik material penyusun *breakwater*.

Beton geopolimer metode pencampuran terpisah menurut penelitian (Wibowo, 2019) memiliki nilai kuat tekan sebesar 40,34 MPa dan memiliki *setting time* sebesar 195 menit. Dapat disimpulkan bahwa material beton geopolimer memiliki potensi sebagai bahan material penyusun *breakwater*, karena memiliki nilai kuat tekan > 35 MPa sesuai dengan persyaratan beton di lingkungan air laut pada SNI 2847 – 2013.

Bentuk material penyusun *breakwater* yang digunakan pada penelitian ini adalah *polypod*. Dalam pembuatan contoh benda uji, diasumsikan tinggi gelombang rencana sebesar 5 m. Dari perhitungan kebutuhan berat material didapatkan berat prototipe *polypod* sebesar 32909,58 kg. Untuk melakukan pengujian model fisik *polypod*, digunakan skala 1:50. Dengan skala tersebut didapatkan berat model uji yang digunakan sebesar 263,277 gram. Pengujian stabilitas *breakwater* belum dapat dilakukan, karena terkendala pada proses pengembangan alat uji akibat adanya pandemi *covid-19*. Sehingga nilai koefisien stabilitas material *polypod* belum dapat ditentukan.

DESIGN OF BREAKWATER MATERIALS WITH GEOPOLYMER CONCRETE

Nama	: Muhammad Yusuf Arifandi
NRP	: 1011610000065
Departemen	: Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
Dosen Pembimbing	: Dr. Ir. Suharjoko M.T.

ABSTRACT

A breakwater is one of the beach protective buildings that serve to dampen the wave energy that comes towards the beach. The construction of breakwater requires a sturdy and strong material to withstand waves attack and ocean currents. One of the materials that are often used as a breakwater's material is an artificial unit made of concrete. The use of cementitious concrete as an artificial unit material can cause an increase in air pollution so it requires an alternative material that more environmentally friendly. One of the alternative materials that can be used is geopolymer concrete.

Analysis of geopolymer concrete technical specifications as a material of the artificial units, determine the shape and size of the artificial unit, scale analysis physical test model of the artificial units, and physical model test of the artificial unit are conducted in this research.

The Geopolymer concrete specification according to the research of (Wibowo, 2019) has a compressive strength at 40.34 MPa and the setting time is 195 minutes. It can be concluded that the Geopolymer concrete material is a potential artificial unit material because the compressive strength is more than 35 MPa that according to concrete requirements in the seawater environment in SNI 2847 – 2013.

The form of the breakwater constituent material used in this study was polypods. In the manufacture of prototype objects, wave height assumed 5 m. From the calculation of the weight of the polypod prototype, it required polypod with 32909.58 kg of mass. To conduct physical models testing polypods, it used a scale of 1:50. The weight of the polypod model test used is 263.277 gr. Physical flume test for the polypod model test cannot be performed, because it is constrained by the test equipment development process due to the Covid-19 pandemic. So the coefficient stability of polypod material can not be determined.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat serta karunianya sehingga tugas akhir yang berjudul "Rancang Bangun Material Penyusun Brekawater Berbahan Beton Geopolimer" dapat terselesaikan dengan tepat waktu. Tugas akhir ini adalah sebagai implementasi dari ilmu yang telah didapat selama perkuliahan di Program Studi Diploma Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir tidak akan terlaksana tanpa bantuan dan bimbingan dari beberapa pihak. Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang Tua saya, yang senantiasa mendoakan kesehatan dan kelancaran studi saya.
2. Bapak M. Khoiri, ST., MT., Ph.D. Selaku Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS Surabaya.
3. Bapak Dr. Ir. Suharjoko M.T selaku dosen pembimbing dalam penyusunan proposal tugas akhir yang berjudul "Rancang Bangun Material Penyusun Brekawater Berbahan Beton Geopolimer".
4. Bapak dan Ibu dosen Program Diploma yang telah membantu serta membimbing dalam proses perkuliahan selama ini.
5. Bapak dan Ibu karyawan ITS yang telah membantu serta membimbing dalam proses administrasi selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman kuliah saya, yang senantiasa memberikan dukungan bagi saya.

Saya selaku penyusun menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir terapan ini dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, saya berharap saran dan tanggapan yang membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penyusun pada umumnya dan bagi pembaca pada khususnya.

Surabaya, 12 Agustus 2020

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ..... **i**
ABSTRAK ..... **iii**
ABSTRACT ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
BAB 1 . PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang **1**
1.2 Rumusan Masalah **4**
1.3 Tujuan Penelitian **4**
1.4 Manfaat Penelitian **4**
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Material Penyusun *Breakwater* **5**
2.2 Beton Geopolimer **8**
BAB 3. METODOLOGI **13**
3.1 Metodologi **13**
3.2. Prosedur Penelitian **14**
3.2.1 Studi Literatur 14
3.2.2 Analisa Campuran Bahan Material 15
3.2.3 Rancang Bangun Material *Breakwater* 15
3.2.4 Desain Benda Uji Material *Breakwater* 15

3.2.5 Analisa Skala Model 17
3.2.6 Pengujian Model Material Penyusun 19
3.2.6.1 Pembuatan Bekisting Model Uji 19
3.2.6.2 Pengujian Berat Jenis Material 20
3.2.6.3 Pembuatan Benda Uji 20
3.2.6.4 Penyusunan Model *Breakwater* 20
3.2.6.5 Pengujian Stabilitas Model Material 22
3.2.7 Analisa Nilai Koefisien Stabilitas Material 24
BAB 4. ANALISA PEMBAHASAN 27
4.1 Analisa Campuran Bahan Material *Breakwater* 27
4.2 Rancang Bangun Material Breakwater 29
4.3 Desain Benda Uji 32
4.4 Analisa Skala Model 35
4.5 Pengujian Model Material Penyusun *Breakwater* .. 40
4.5.1 Pembuatan Bekisting Model Uji 40
4.5.2 Pengujian Berat Jenis Material 41
4.5.3 Pembuatan Model Uji 42
4.5.4 Penyusunan Model *Breakwater* 44
4.5.5 Rancangan Pengujian Stabilitas Model 47
4.5.6 Rancangan Analisa Nilai Koefisien Stabilitas 49
BAB 5. PENUTUP 53
5.1 Kesimpulan : 53
5.2 Saran : 54
Daftar Pustaka 56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Jenis-jenis material *breakwater* 6
Gambar 2. Bentuk *Crablock* 7
Gambar 3. Diagram Alir Metodologi 14
Gambar 4. Dimensi Tetrapod 17
Gambar 5. Contoh potongan melintang model uji 21
Gambar 6. Sketsa Pengujian Model *Breakwater* 23
Gambar 7. Contoh kondisi segregasi pada beton 31
Gambar 8. Rencana Bentuk Material *Polypod* 32
Gambar 9. Dimensi *Polypod.* 33
Gambar 10. Desain rencana model *polypod* 39
Gambar 11. Hasil pekerjaan pembuatan bekisting model uji 40
Gambar 12. Bekisting setelah dilapisi plat aluminium. 41
Gambar 13. Proses penimbangan benda uji kubus. 41
Gambar 14. Pemasangan bekisting dan persiapan pengecoran. .. 43
Gambar 15. Proses pengisian mortar pada bekisting 43
Gambar 16. Hasil pengecoran benda uji 44
Gambar 17. Susunan model *breakwater* dua lapisan material. ... 46
Gambar 18. Susunan model *breakwater* tiga lapisan material. ... 47
Gambar 19. Potongan melintang struktur rencana model 47
Gambar 20. Rancangan sketsa pengujian model *breakwater* 49
Gambar 21. Contoh grafik nilai stabilitas 51
Gambar 22. Grafik perbandingan nilai stabilitas material 51

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil perbandingan nilai Kuat Tekan Beton. 10
Tabel 2. Hasil penelitian beton geopolimer.....11
Tabel 3. Prorporsi Campuran Beton Geopolimer.....27
Tabel 4. Hasil uji kuat tekan beton geopolimer.....28
Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis.....42
Tabel 6. Format Hasil Pengujian.....49
Tabel 7. Format Analisa Nilai Stabilitas 50

BAB 1 . PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pantai adalah wilayah yang menjadi batas antara daratan dan lautan, proses alami yang terjadi di darat dan di laut saling mempengaruhi antar keduanya yang dapat diidentifikasi melalui perubahan garis pantai yang sering terjadi di wilayah pantai. Pantai yang tersusun oleh material pasir akan mudah berubah karena adanya proses penjalaran gelombang dan arus dekat pantai menyebabkan bentuk pergerakan sedimen yang dapat bergerak secara horizontal dan vertikal (Yustian, Nugroho, & Ismunarti, 2016). Hal tersebut dapat mengakibatkan erosi pantai yang menyebabkan daerah daratan berkurang karena tergerus oleh gelombang dan arus laut. Untuk menstabilkan garis pantai dapat dilakukan dengan membangun bangunan pengaman pantai yang berupa *breakwater*, *revetment*, atau groin untuk mereduksi gelombang dan mengatur pola pergerakan sedimen pada daerah garis pantai (Triatmodjo, Perencanaan Bangunan Pantai, 2012).

Dalam pembangunan bangunan pengaman pantai diperlukan material yang kokoh dan kuat dalam menghadapi gelombang dan arus laut. Material tersebut digunakan sebagai material lapis lindung dalam bangunan perlindungan pantai. Material lapis lindung (*armor unit*) memiliki berbagai jenis tipe yang dibedakan menjadi dua yaitu material alami (batu alam, batu granit,dan batu basalt) dan material buatan yang pada umunya terbuat dari beton. Beton yang digunakan pada material penyusun *breakwater* harus memenuhi spesifikasi beton yang digunakan pada lingkungan laut. Dengan rasio air semen maksimum 0,4 dan kuat tekan rencana minimum 35 Mpa (SNI 03 2847, 2002). Hal tersebut dilakukan untuk menambah perlindungan tulangan terhadap korosi yang diakibatkan oleh lingkungan yang mengandung klorida. Semakin kecil rasio air semen mengakibatkan jumlah semen portland yang dibutuhkan

semakin banyak untuk tiap m^3 beton. Penggunaan semen dalam jumlah banyak mengakibatkan tingkat pencemaran udara yang diakibatkan oleh produksi semen semakin meningkat.

Penggantian sebagian jumlah semen dalam proses pembuatan beton, atau secara total penggantiannya dengan bahan pengikat alternatif lain yang lebih ramah lingkungan merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Kasyanto, 2012). Salah satu bahan pengikat alternatif yang mulai banyak dikembangkan saat ini adalah geopolimer. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silica dan alumina. Unsur-unsur ini banyak ditemukan pada limbah buangan industri yang sudah tidak dimanfaatkan lagi, diantaranya seperti pada abu terbang (fly ash) dari hasil sisa pembakaran batu bara (Ais, 2017). *Fly ash* adalah bentuk residu dari pembakaran batu bara yang merupakan material pozzolan paling banyak tersedia dengan jumlah 6 ratus juta ton per tahun (Global Mining Investment Conference, 2010). Penggunaan material geopolimer memberikan dua keuntungan sekaligus diantaranya, dapat mengurangi polusi yang diakibatkan oleh industri semen dan memanfaatkan limbah buangan yang tidak dimanfaatkan lagi yang dapat memberikan ancaman bagi lingkungan (Aer, Sumajouw, & Pandaleke, 2014).

Beton geopolimer merupakan salah satu inovasi dalam menggantikan beton semen portland dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, antara lain lebih ramah lingkungan karena dalam proses pembuatannya tidak melepas emisi CO_2 ke atmosfer, tingkat workabilitas yang tinggi, lebih tahan terhadap bahan kimia dan lebih tahan terhadap temperatur tinggi (Provis & Deventer, 2009). Beton geopolimer memiliki resistansi terhadap korosi lebih baik daripada beton konvensional (Subekti, Triwulan, & Irmawan, 2013).

Pada penelitian (Subekti, Triwulan, & Irmawan, 2013), ditemukan bahwa beton konvensional yang direndam pada air laut akan mengalami penurunan kekuatan dari kuat tekan rencana, sedangkan beton geopolimer yang terendam pada air laut mengalami kenaikan nilai kuat tekan sesuai umur dan nilai kuat tekan rencana. Hal ini menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki potensi yang tinggi untuk digunakan sebagai material pengganti beton konvensional pada pembuatan material *breakwater*.

Saat ini pembangunan bangunan perlindungan pantai di Indonesia pada umumnya masih memakai beton konvensional dan batu-batu alami. Contoh pemakaian produk beton konvensional untuk bangunan perlindungan pantai dapat ditemukan pada bangunan Jetty di pantai Glagah Kabupaten Kulon Progo Yogyakarta dan bangunan Groin di pantai Jetis Kabupaten Cilacap Jawa Tengah. Produk yang digunakan pada kedua bangunan tersebut adalah tetrapod sebagai material penyusun bangunan. Material tetrapod yang digunakan menggunakan beton konvensional yang menggunakan semen portland sebagai material pengikat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan penelitian untuk membahas mengenai ” Rancang Bangun Material Penyusun *Brekawater* Berbahan Beton Geopolimer” diharapkan agar dapat memperoleh spesifikasi beton geopolimer dan menentukan ukuran material penyusun *breakwater* berbahan beton gopolimer yang stabil terhadap gelombang tertentu.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang ingin dibahas melalui penelitian ini adalah :

1. Bagaimana spesifikasi teknis beton geopolimer ?
2. Bagaimana menentukan bentuk dan ukuran material *breakwater* yang stabil terhadap gelombang tertentu ?
3. Bagaimana merumuskan skala model ?
4. Bagaimana nilai koefisien stabilitas material breakwater yang telah dirancang?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Melakukan analisa terhadap spesifikasi teknis beton geopolimer.
2. Melakukan rancang bangun material penyusun *breakwater*.
3. Melakukan analisa skala model hidraulik.
4. Melakukan uji stabilitas breakwater dengan susunan material *breakwater* berbahan beton geopolimer.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diapatkan melalui penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui spesifikasi teknis beton geopolimer sebagai bahan pembentuk material penyusun *breakwater*.
2. Dapat mengetahui bentuk dan ukuran material penyusun breakwater.
3. Dapat melakukan analisa skala model yang sesuai dengan keadaan sebenarnya dalam skala pengujian .
4. Dapat mengetahui nilai stabilitas material penyusun *breakwater* berbahan beton geopolimer.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Penyusun *Breakwater*

Breakwater adalah bangunan pelindung pantai yang berfungsi untuk mengurangi besarnya energi gelombang yang datang sehingga dapat mengurangi daya rusak gelombang pada daerah pantai (Setiawan, 2005). Pembangunan *breakwater* pada umumnya dilakukan pada wilayah pantai yang digunakan sebagai pelabuhan, tempat wisata, dan daerah pantai yang berpotensi mengalami kerusakan parah akibat gelombang. *Breakwater* memiliki beberapa tipe yang penggunaannya didasarkan pada penempatan lokasi *breakwater* dan tinggi gelombang rencana. Salah satu *breakwater* yang sering digunakan yaitu pemecah gelombang *rubble mound*. Pemecah gelombang *rubble mound* adalah suatu bangunan pemecah gelombang yang terbuat dari tumpukan batu alam dan batu buatan yang menggunakan beton sebagai bahan pembentuk (Yuwono, 1992).

Pada umumnya material berbahan dasar beton dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan karateristik bentuk material yang mempengaruhi stabilitas material *breakwater* (Harteveld, Vliet, Schilder, & Odijk, 2018), yaitu :

1. Stabilitas berdasarkan berat, jenis ini memiliki bentuk yang sederhana dan padat.
2. Stabilitas berdasarkan keterikatan antar material, jenis ini memiliki bentuk yang spesifik untuk menambah tingkat keterikatan antar material.
3. Stabilitas berdasarkan pergesekan antar material, jenis ini disusun sesuai pola spesifik tertentu dan umumnya digunakan sebagai pengaman pantai atau tanggul laut.

a. Berat | b. Keterikatan antar material | c. Pergesekan antar material

Gambar 1. Jenis-jenis material *breakwater* berbahan beton sesuai klasifikasi berdasarkan stabilitas

Sumber : (Harteveld, Vliet, Schilder, & Odijk, 2018)

Pada umumnya pemecah gelombang yang telah ada menggunakan batuan alami sebagai material pembentuk. Akan tetapi seiring berjalanya waktu, keterbatasan jumlah material alami yang tersedia dan metode pelaksanaan yang rumit dalam pembangunan menggunakan material alami menyebabkan material buatan lebih banyak dikembangkan pada saat ini. Material buatan yang dikembangkan pertama adalah blok beton. Setelah dikembangkannya blok beton, bentuk material buatan dikembangkan untuk meningkatkan nilai stabilitas dengan mengurangi kebutuhan beton yang digunakan (Broere, 2015).

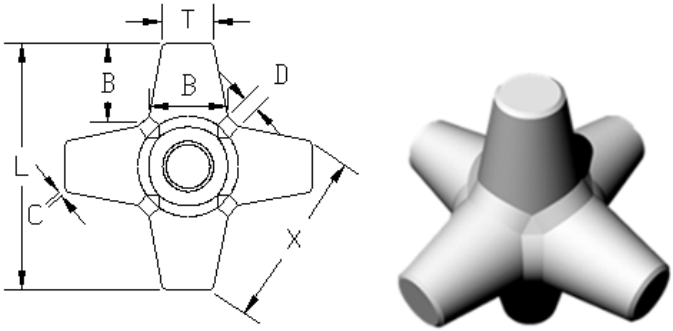
Pada tahun 1950, Tetrapod dikembangkan sebagai salah satu jenis material buatan yang digunakan sebagai material penyusun *breakwater*. Tetrapod adalah material yang terbuat dari beton yang memiliki bentuk yang sederhana, dan dengan perbandingan panjang kaki dan besar badan yang sesuai sehingga dapat menjadi material yang kuat dan kokoh (Daniel & Greslou, 1962). Tetrapod memiliki keunggulan yaitu mudah di produksi, memiliki stabilitas yang cukup baik dan mudah untuk dimodifikasi sesuai dengan desain yang diinginkan.

Tetrapod dan blok beton merupakan material lapis lindung yang dikembangkan dengan sistem penyusunan secara acak atau seragam dengan dua lapisan material. Tetrapod memiliki

keunggulan dibanding penggunaan blok beton sebagai material penyusun *breakwater* karena memiliki nilai stabilitas yang lebih baik dan nilai porositas yang tinggi sehingga dapat mengurangi jumlah penggunaan beton (Bonfantini, 2014).

Dengan perkembangan teknologi, dikembangkan material lapis lindung dengan satu lapisan material yang memiliki nilai stabilitas lebih besar. Sehingga dapat mengurangi kebutuhan beton yang digunakan. *Accropode* adalah material pertama yang dikembangkan oleh Sogreah pada tahun 1980 sebagai material lapis lindung lapisan tunggal. Setelah penemuan tersebut, dilakukan pengembangan dalam bentuk dan dimensi material penyusun *breakwater*.

Pada tahun 2007, dikembangkan bentuk material baru bernama *Crablock*. Material ini dikembangkan sebagai material lapis lindung lapisan tunggal. *Crablock* memiliki bentuk simetris dengan 6 kaki yang sama panjang. Hal tersebut menjadikan penempatan *crablock* lebih mudah sehingga dapat diletakkan secara acak pada bagian material lapis lindung *breakwater*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Broere, 2015) didapatkan nilai stabilitas *crablock* sebesar 2.8 dan koefisien stabilitas sebesar 16.46. Dari hasil peneilitan tersebut didapatkan bahwa *crablock* memiliki potensi untuk menjadi material penyusun *breakwater* yang stabil dan mudah untuk diaplikasikan.



Gambar 2. Bentuk *Crablock* (Bonfantini, 2014).

Dengan bentuk yang memiliki 6 kaki sama panjang, memiliki tinggi yang sama pada berbagai sisi. Dengan dimensi tinggi minimum *crablock* 1.8 m, menyebabkan pada proses pengecoran tinggi jatuh beton tidak sesuai dengan tinggi jatuh minimal sesuai standar pekerjaan pengecoran beton yaitu 1.5 m. Hal tersebut dapat menyebabkan beton mengalami segregasi pada saat proses pengecoran, sehingga produk yang dihasilkan dapat mengalami kerusakan dan keropos.

Dari hal tersebut maka dapat dikembangkan bentuk baru yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi dan memiliki dimensi yang lebih ringkas. Untuk menentukan dimensi material penyusun *breakwater*, selain dari bentuk yang digunakan juga ditentukan dari massa jenis beton yang digunakan. Dalam hal ini pemilihan beton yang sesuai dengan kriteria beton untuk lingkungan laut perlu diperhatikan. Maka dari itu diperlukan peninjauan khusus untuk memilih material beton yang sesuai untuk bahan pembuatan material penyusun *breakwater*.

2.2 Beton Geopolimer

Beton yang digunakan pada material penyusun *breakwater* harus memenuhi spesifikasi beton yang digunakan pada lingkungan laut yaitu rasio air semen maksimum 0.4 dan kuat tekan rencana minimum 35 Mpa (SNI 03 2847, 2002). Dengan rasio air semen yang kecil maka dibutuhkan semen yang lebih banyak pada tiap m^3 beton yang digunakan.

Penggunaan semen portland sebagai bahan pengikat pada pembuatan beton menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan. Semen diproduksi dengan cara pembakaran campuran batu gamping dan batuan yang mengandung alumina secara bersamaan pada suhu 1555°C sampai menjadi klinker, pada proses ini menghasilkan gas CO_2 dengan jumlah yang besar sehingga menyebabkan pencemaran di udara (Ais, 2017). Penggunaan bahan alternatif pengganti semen adalah salah satu metode yang dapat digunakan sebagai solusi mengurangi

dampak negatif yang terjadi pada lingkungan yang diakibatkan saat proses produksi semen. Geopolimer adalah salah satu bahan pengikat alternatif yang sedang dikembangkan sebagai bahan pengganti material semen.

Geopolimer adalah material yang berupa polimer anorganik aluminosilikat dengan ranai Si-O-Al yang di sintesis dari material *pozzolan* yang kaya akan silika dan alumina dengan larutan natrium hidroksida sebagai aktifator dan natrium silikat sebagai bahan pengikat (Davidovits, 1999). Material *pozzolan* yang dapat digunakan banyak didapatkan dari hasil buangan proses industri, salah satu hasil buangan yang sering digunakan sebagai material *pozzolan* yaitu *fly ash*.

Fly ash adalah abu terbang yang dihasilkan dari sisa pembakaran batu bara. Secara umum *fly ash* mengandung silikat dioksida (SiO_2), alumunium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium(CaO). Dengan kandungan tersebut, *fly ash* termasuk salah satu limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) menurut Peraturan Pemerintah Nomor 85 tahun 1999. Penggunaan material geopolimer memberikan dua keuntungan sekaligus diantaranya, dapat mengurangi polusi yang diakibatkan oleh industri semen dan memanfaatkan limbah buangan yang tidak dimanfaatkan lagi yang dapat memberikan ancaman bagi lingkungan (Aer, Sumajouw, & Pandaleke, 2014).

Beton geopolimer dibuat menggunakan semen geopolimer yang terbuat dari *fly ash* dan zat aktifator untuk mensubtitusi semen portland sebagai material pengikat pada beton. Semen tersebut akan bereaksi dengan air untuk menjadi binder geopolimer. Kemudian binder tersebut akan mengikat agregat serta material lain untuk membentuk beton geopolimer. Sampai saat ini terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton geopolimer sebagai beton untuk lingkungan laut. Salah satu penelitan yang dilakukan oleh (Subekti, Triwulan, & Irmawan, 2013) mengkaji tentang perbandingan beton konvensional dan beton geopolimer pada lingkungan air laut.

Tabel 1. Hasil perbandingan nilai Kuat Tekan Beton Geopolimer dan Beton Konvensional yang direndam dalam air tawar dan laruan NaCl (air laut) oleh (Subekti, Triwulan, & Irmawan, 2013).

Lama Rendaman (hari)	fc Beton Geopolimer (Mpa)		fc Beton Konvensional (Mpa)	
	Air Tawar	Larutan NaCl	Air Tawar	Larutan NaCl
0	35.39	35.39	50.65	50.65
30	36.72	37.49	50.87	50.44
60	40.52	44.65	52.32	49.59
90	41.47	47.22	52.91	48.49
120	42.15	49.98	56.48	44.76

Dari hasil penelitian beton geopolimer tersebut ditemukan bahwa beton konvensional yang direndam pada air laut akan mengalami penurunan kekuatan dari kuat tekan rencana, sedangkan beton geopolimer yang terendam pada air laut mengalami kenaikan nilai kuat tekan sesuai umur dan nilai kuat tekan rencana. Dan beton geopolimer memiliki resistansi terhadap korosi yang lebih tinggi dibandingkan beton konvensional. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan metode normal dan bahan *fly ash* tipe F. Penggunaan *fly ash* tipe F untuk beton geopolimer sangat mudah diaplikasikan, tetapi jumlah limbah *fly ash* tipe F saat ini sudah berkurang dikarenakan PLTU saat ini lebih banyak menggunakan batu bara dengan kualitas rendah sebagai bahan oprasional. Sehingga *fly ash* yang dihasilkan mengandung kadar CaO yang tinggi yaitu sekitar 10 % sampai 40 % dan pada umumnya dikategorikan sebagai *fly ash* tipe C. Nilai kalsium yang tinggi mempengaruhi waktu pengerasan beton yang berlangsung dengan cepat (Wibowo, 2019).

Pengembangan *fly ash* tipe C sebagai bahan beton geopolimer dikembangkan dengan metode terpisah dimana *fly*

ash direaksikan dengan aktivator terlebih dahulu dengan prinsip ekstraksi padat-cair (leaching) (Wibowo, 2019).

Tabel 2. Hasil penelitian beton geopolimer dengan Fly Ash Tipe C (Wibowo, 2019)

Umur (hari)	Metode Normal			Metode Terpisah		
	Kuat Tekan (MPa)		*Setting Time* (menit)	Kuat Tekan (MPa)		*Setting Time* (menit)
	Suhu Ruang	Air Laut		Suhu Ruang	Air Laut	
3	9.00	9.77	15	10.95	12.53	195
7	17.95	20.15		22.19	26.5	
28	32.65	33.93		36.70	40.34	

Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa metode terpisah memiliki waktu pengerasan (*setting time)* lebih lama dan nilai kuat tekan yang lebih besar dibanding beton geopolimer yang menggunakan metode normal. Sehingga beton geopolimer metode terpisah lebih aplikatif untuk digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki potensi yang tinggi untuk digunakan sebagai material pengganti beton konvensional pada pembuatan material penyusun *breakwater*.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka diperlukan adanya penelitian pengembangan penggunaan beton geopolimer sebagai bahan pembuatan material *breakwater*. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan membahas tentang rancang bangun material penyusun *breakwater* berbahan beton geopolimer. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui spesifikasi teknis beton geopolimer, penentuan skala model dan mengetahui nilai koefisien stabilitas material *breakwater* berbahan beton geopolimer.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

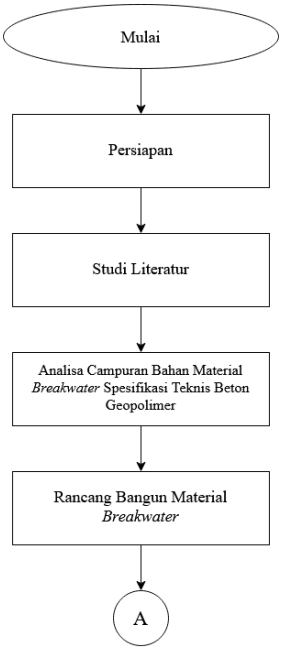
BAB 3. METODOLOGI

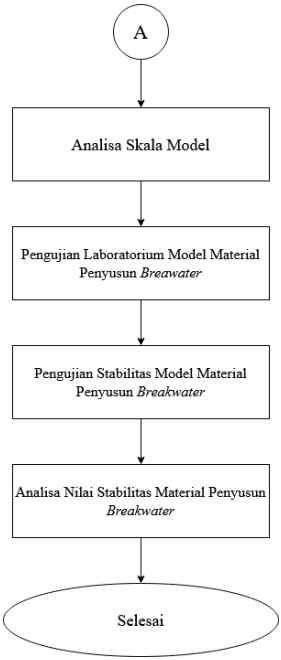
3.1 Metodologi

Penelitian ini dilakukan secara bertahap sebagai berikut :

Tahap 1. Melakukan analisa campuran bahan material breakwater spesifikasi teknis beton geopolimer.
Tahap 2. Melakukan rancang bangun material penyusun breakwater.
Tahap 3. Melakukan uji laboratoriun dengan didahului analisa skala model hidraulik.
Tahap 4. Melakukan uji stabilitas breakwater dengan susunan material breakwater berbahan beton geopolimer.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat diagram alir berikut :





Gambar 3. Diagram Alir Metodologi

3.2. Prosedur Penelitian

Penyelesaian laporan tugas akhir ini dilakukan sesuai dengan tahap yang disajikan pada sub bab 3.1 diagram alir penelitian diatas. Adapun uraian dari pengerjaan seperti dibawah ini :

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan untuk mengetahui lebih banyak tentang beton geopolimer dan stabilitas material *breakwater*. Kegiatan yang dilakukan yaitu membaca materi dan teori dasar meliputi seleksi jurnal, buku ataupun penelitian untuk menambah wawasan sebelum melakukan penelitian.

Hal tersebut bertujuan untuk meminimalisir kesalahan yang terjadi pada saat penelitian dilakukan.

3.2.2 Analisa Campuran Bahan Material *Breakwater* Spesifikasi Teknis Beton Geopolimer

Dari hasil studi literatur, didapatkan spesifikasi teknis beton geopolimer yang dapat digunakan sebagai acuan pembuatan material *breakwater*. Penentuan proporsi beton yang digunakan, didasarkan pada hasil penelitian tentang beton geopolimer yang memiliki mutu sesuai dengan kriteria minimum beton yang digunakan sebagai material *breakwater*. Menurut (SNI 03 2847, 2002) beton yang digunakan pada material di lingkungan laut harus mencapai kuat tekan 35 N/mm^2 pada saat berumur 28 hari. Selain nilai kuat tekan, dari analisa spesifikasi teknis akan didapatkan nilai massa jenis yang digunakan sebagai dasar pembuatan benda uji material *breakwater*.

3.2.3 Rancang Bangun Material *Breakwater*

Rancang bangun material breakwater dilakukan dengan melakukan studi literatur tentang spesifikasi teknis material penyusun *breakwater*. Rancang bangun dilakukan dengan memodifikasi bentuk atau membuat bentuk baru yang berpotensi menjadi material *breakwater*. Modifikasi atau pembentukan baru didasarkan pada hasil penelitian-penelitian sebelumnya mengenai stabilitas bentuk material *breakwater*.

3.2.4 Desain Benda Uji Material *Breakwater*

Setelah menentukan bentuk yang akan digunakan sebagai material *breakwater* penelitian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji. salah satu

bentuk yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah tetrapod. Untuk membuat benda uji tetrapod maka diperlukan massa jenis beton yang digunakan dan berat tetrapod yang diinginkan. Penentuan dimensi tetrapod sesuai dengan (CERC, 1984) sebagai berikut :

a) Berat Material Penyusun *Breakwater*.

Berat material penyusun *breakwater* pada umumnya ditentukan dari perhitungan menggunakan persamaan Hudson (1953) sebagai berikut :

$$W = \frac{\rho_a \cdot g \cdot H^3}{K_D\ (Sr - 1)^3 \cot(\alpha)}$$

Keterangan :

W = berat tetrapod (kg)

H = tinggi Gelombang (m)

K_D = koefisien stabilitas material penyusun *breakwater*

Sr = rapat massa relatif = (ρ_a / ρ_w)

ρ_a = massa jenis beton (kg/m^3)

ρ_w = massa jenis air(kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

α = kemiringan lereng bangunan (cot α ≤ 1.5)

b) Volume tetrapod :

Volume tetrapod dapat diketahui dari perbandingan massa dan massa jenis beton yang digunakan. Sehingga didapatkan rumusan sebagai berikut :

$$V = \frac{W}{\rho_a}$$

Keterangan :

W = berat tetrapod (kg)

ρ_a = massa jenis beton (kg/m^3)

V = volume tetrapod (m^3)

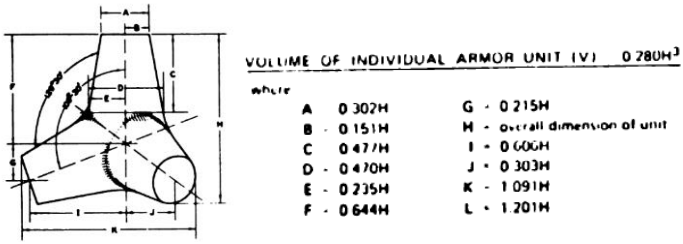
c) Tinggi tetrapod :

Dari volume tetrapod yang telah diketahui, didapatkan tinggi tetrapod yang didapatkan melalui rumus :

$$H = \sqrt[3]{\frac{V}{0.28}}$$

Keterangan :
H = tinggi tetrapod (m)
V = volume tetrapod (m^3)

d) Dimensi Tetrapod :
Untuk mendapatkan dimensi tetrapod, didapatkan dari rumus yang ada pada *Shore Protection Manual* 1984 yaitu :



Gambar 4. Dimensi Tetrapod (CERC, 1984)

3.2.5 Analisa Skala Model

Sebelum melakukan pengujian, dilakukan tahap persiapan. Salah satu hal yang harus dipersiapkan adalah pembuatan model. Dalam pembuatan model yang dilakukan yaitu dengan membuat skala model. Hal ini dilakukan agar dimensi model *brakwater* yang diuji di laboratorium memiliki geometri yang sama dengan prototipenya. Skala model dilakukan secara geometri dan kinematik, sehingga model yang akan diuji diusahakan sama

dengan keadaan sebenarnya. Sehingga yang diskalakan dalam permodelan tidak hanya struktur permodelan, tetapi juga karateristik aliran yang mengenai struktur tersebut dengan batasan-batasan tertentu. Beberapa parameter yang diskalakan antara lain :

- Dimensi material penyusun *breakwater*
- Tinggi gelombang
- Kedalaman atau elevasi muka air

Model *breakwater* dibuat sedemikian rupa agar mirip dengan aslinya yang diperkecil untuk memudahkan pengujian. Penentuan skala *breakwater* menyesuaikan keadaan tempat pengujian. Untuk menentukan skala permodelan maka harus dipenuhi syarat keserupaan yang terdiri dari :

a) Keserupaan geometri

Keserupaan geometri dapat terpenuhi jika perbandingan (skala) dimensi panjang dari model dan *prototipe* sama. Keserupaan geometrik hanya sesuai dalam hal bentuk atau sistem dan tidak berpengaruh dalam hal gerak (Hughes, 1993). Skala geometri model dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{l_m}{l_p} = \frac{b_m}{b_p} = \frac{d_m}{d_p} = \frac{h_m}{h_p}$$

Keterangan :

l_m = panjang model (m)
l_p = panjang *prototipe* (m)
b_m = lebar model (m)
b_p = lebar *prototipe* (m)
d_m = kedalaman air pada model (m)
d_p = kedalaman air pada *prototipe* (m)
h_m = tinggi model (m)
h_p = tinggi *prototipe* (m)

b) Keserupaan kinematik

Keserupaan kinematik dapat terpenuhi jika perilaku model sama dengan perilaku pada *prototype*-nya. Hal tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa gerak gelombang yang terjadi pada model sesuai dengan gerak gelombang yang terjadi pada protoype. Sehingga aspek kinematik di model dan di *prototype* memiliki perbandingan yang konstan. Berdasarkan keserupaan kinematik, nilai-nilai skala antara model dan *prototype* dapat dirumuskan sebagai berikut :

a) Skala waktu

$$\frac{t_{m1}}{t_{p1}} = \frac{t_{m2}}{t_{p2}} = \frac{t_{m3}}{t_{p3}}$$

b) Skala kecepatan

$$\frac{v_{m1}}{v_{p1}} = \frac{v_{m2}}{v_{p2}} = \frac{v_{m3}}{v_{p3}}$$

c) Skala percepatan

$$\frac{a_{m1}}{a_{p1}} = \frac{a_{m2}}{a_{p2}} = \frac{a_{m3}}{a_{p3}}$$

Setelah melakukan permodelan sesuai dengan skala, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian stabilitas terhadap material *breakwater*.

3.2.6 Pengujian Model Material Penyusun Breakwater

Pengujian model material penyusun *breakwater* dilakukan secara bertahap. Mulai dari tahap pembuatan bekisiting benda uji sampai dengan pengujian stabilitas benda uji terhadap gelombang. Adapun tahapan pengujian model material penyusun *breakwater* adalah sebagai berikut :

3.2.6.1 Pembuatan Bekisting Model Uji

Untuk membuat model uji, diperlukan bekisting sebagai alat pencetak model uji. Desain bekisting

diperoleh dari hasil analisa skala model yang akan di uji. Bekisting dibentuk sedemikian rupa hingga dapat memperoleh bentuk yang sesuai dengan desain yang digunakan.

3.2.6.2 Pengujian Berat Jenis Material

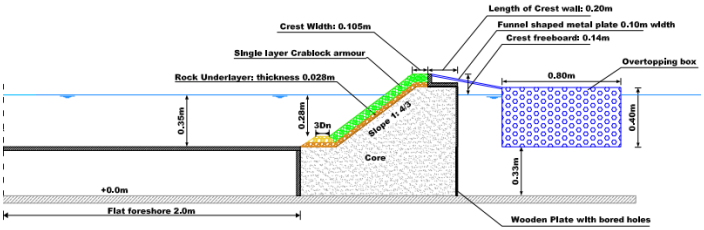
Dalam pembuatan benda uji model material penyusun *breakwater* dipengaruhi oleh berat jenis material yang digunakan dalam pembuatan benda uji. sehingga diperlukan pengujian untuk mengetahui berat jenis material yang digunakan. Sehingga dapat dilakukan penyesuaian berat jenis material yang digunakan dengan berat jenis yang digunakan untuk perhitungan desain benda uji.

3.2.6.3 Pembuatan Benda Uji

Untuk membuat benda uji dilakukan tahap pencetakan benda uji menggunakan material yang telah diuji sesuai dengan berat jenis yang telah ditentukan dalam desain benda uji. Dalam pembuatan benda uji, material yang digunakan dicetak dalam bekisting yang telah didesain sesuai dengan dimensi model benda uji rencana.

3.2.6.4 Penyusunan Model *Breakwater*

Setelah proses pembuatan benda uji, maka benda uji disusun sesuai dengan model *breakwater* yang didesain sesuai dengan tinggi gelombang rencana dan kemiringan model *breakwater*.



Gambar 5. Contoh potongan melintang model uji *breakwater* (Salauddin, 2015).

Dimensi model uji *breakwater* ditentukan oleh tinggi gelombang rencana dan kedalaman air pada saluran gelombang yang digunakan. Tinggi jagaan pada model uji *breakwater* direncanakan sebesar 1.2 kali tinggi gelombang rencana (Salauddin, 2015).

Model uji *breakwater* terdiri dari empat lapisan material yang digunakan. Lapisan material lapis lindung, lapisan *underlayer*, lapisan inti, dan lapisan perlindungan kaki *breakwater* (*toe protection*). Berat batuan yang digunakan pada lapisan *underlayer*, lapisan inti, dan *toe protection* ditentukan oleh berat material lapis lindung. Menurut (Salauddin, 2015) untuk menentukan batuan yang digunakan dapat ditentukan melalui metode sebagai berikut :

- Lapisan *underlayer* terdiri dari batuan dengan berat sebesar W_{Model} / 10. Dengan faktor gradasi butiran sebesar 3.
- Lapisan inti terdiri dari batuan dengan berat sebesar W_{Model} / 50.
- Lapisan perlindungan kaki yang digunakan didesain lebih dari dimensi seharusnya untuk

mengurangi potensi kegagalan struktur yang dapat mempengaruhi nilai stabilitas model uji.

- Dari hasil perhitungan berat material dapat ditentukan diameter batuan yang digunakan dengan rumus berikut :

$$Dn_{50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_a}\right)^{1/3}$$

Keterangan :

Dn_{50} = Diameter nominal batuan (cm)

W_{50} = Berat batuan (gr)

ρ_a = Berat jenis kerikil (2.65 gr/cm^3)

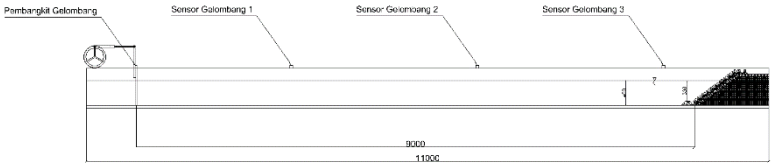
3.2.6.5 Pengujian Stabilitas Model Material Penyusun *Breakwater*

Pengujian stabilitas model material penyusun *breakwater* dilakukan di saluran gelombang yang terdapat pada Laboratorium Hidroteknik dan Surveying DTIS FV ITS. Saluran tersebut memiliki dimensi panjang 11 m, lebar 0.2 m, tinggi 0.6 m dan dilengkapi dengan pembangkit gelombang tipe piston yang digerakkan dengan motor listrik. Bentang gerakan piston digerakkan secara manual untuk menentukan tinggi gelombang yang ingin dihasilkan.

Percobaan dilakukan dengan memperbesar tinggi gelombang secara bertahap pada periode yang sama. Sehingga pada tinggi gelombang tertentu material penyusun *breakwater* akan mengalami perpindahan tempat yang menyebabkan bentuk struktur *breakwater* berubah. Pengujian dilakukan hingga struktur breakwater mengalami kondisi kritis yang dicapai ketika perpindahan atau kerusakan sebesar 3-5% (Kinog & dkk, 2005). Dari hasil pengujian tersebut didapatkan nilai T (periode) dan H (tinggi gelombang). Setelah mencapai kerusakan

sebesar 3 – 5 %, model di uji kembali dengan tinggi gelombang dan periode yang sama hingga mencapai kemiringan *breakwater* yang stabil. Sehingga didapatkan kemiringan bangunan yang stabil pada tinggi gelombang tertentu.

Pengujian dilakukan selama 1000 – 3000 kali gelombang yang terjadi. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi periode untuk menentukan nilai koefisien stabilitas model material penyusun yang digunakan.



Gambar 6. Sketsa Pengujian Model *Breakwater*

Dalam menentukan tingkat kerusakan model *breakwater* dapat ditinjau dari nilai kerusakan relatif. Nilai kerusakan relatif pada umumnya ditentukan dari jumlah model material lapis lindung yang mengalami perpindahan sebesar diameter nominal material (Broere, 2015). Nilai kerusakan relatif (N_{od}) dapat ditentukan melalui rumus berikut :

$$N_{od} = \frac{nd}{\frac{B}{D_n}}$$

Keterangan :

N_{od} = Nilai kerusakan relatif
nd = Jumlah unit model material yang berpindah
B = Lebar model breakwater [m]
Dn = Diameter nominal model material [m]

Setelah melakukan pengujian dan pencatatan data, maka dapat dilakukan analisa nilai koefisien stabilitas model material penyusun *breakwater*.

3.2.7 Analisa Nilai Koefisien Stabilitas Material Penyusun *Breakwater*

Perhitungan Koefisien stabilitas batuan pelindung pada dasarnya mengikuti konsep Hudson (1959) dengan persamaan :

$$K_D = \frac{\gamma_a H^3}{W_a \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_w} - 1\right) cot\alpha}$$

Persamaan tersebut hanya ditetapkan oleh parameter tinggi gelombang. Sehingga dari persamaan tersebut di lakukan penelitian oleh (Meer, 1988) yang melibatkan parameter tinggi dan periode gelombang. Sehingga didapatkan persamaan nilai stabilitas sebagai berikut :

- Untuk gelombang pecah

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 6.2P^{0.18}\left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\left(\frac{1}{\sqrt{\xi_z}}\right)$$

- Untuk gelombang tidak pecah

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = 1.0P^{-0.13}\left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} * \sqrt{cot\alpha} * \xi_Z^P$$

- Persamaan nilai KD terhadap nilai stabilitas (Broere, 2015) :

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (K_D cot\alpha)^{1/3}$$

Keterangan :

$\frac{H_s}{\Delta D_n}$ = Nilai stabilitas material
Dn = Diameter nominal [m]
Hs = Tinggi gelombang pada model [m]

KD = Koefisien stabilitas material
N = Jumlah gelombang yang terjadi
P = Koefisien permeabilitas material
T_z = Periode gelombang pada model
Δ = Berat jenis relatif material
α = Kemiringan bangunan
ξ_z = Persamaan parameter gelombang
ξ_z = $\left(tan\alpha / \sqrt{\frac{2\pi H_S}{gT_Z^2}}\right)$
Sz = Kecuraman Gelombang (Sz = $\frac{2\pi H_S}{gT_Z^2}$)
S_d = Tingkat kerusakan ($S_d = \frac{A}{D_{n50}^2}$)
γ_a = Berat jenis beton [kg/m^3]
γ_w = Berat jenis air [kg/m^3]
D_{n50} = Diameter nominal batuan [m]
$D_{n50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_a}\right)^{1/3}$
W_{50} = 50% massa material [kg]

Dari hasil pengujian didapatkan nilai tinggi gelombang, periode gelombang dan tingkat kerusakan pada jumlah gelombang tertentu. Dengan data tersebut dilakukan analisa untuk menentukan nilai stabilitas material lapis lindung yang diuji. Sehingga dari analisa yang telah dilakukan akan menghasilkan grafik nilai koefisien stabilitas material penyusun *breakwater*.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4. ANALISA PEMBAHASAN

4.1 Analisa Campuran Bahan Material *Breakwater* Spesifikasi Teknis Beton Geopolimer

Beton merupakan bahan utama dalam pembuatan material penyusun breakwater. Untuk membuat desain material penyusun breakwater dibutuhkan analisa untuk mengetahui spesifikasi beton yang akan digunakan. Dalam penelitian ini, beton yang digunakan adalah beton geopolimer dengan metode kering. Spesifikasi beton geopolimer didapatkan melalui hasil pengujian benda uji beton yang telah dilakukan oleh (Wibowo, 2019). Adapun spesifikasi beton yang didapatkan antara lain :

a. Proporsi Campuran

Proporsi campuran beton geopolimer yang digunakan adalah 70 % agregat dan 30 % pasta. Dengan perbandingan agregat kasar dan agregat halus sebesar 70 :30. Pasta yang digunakan terdiri dari 70 % fly ash dan 30% aktivator. Aktivator terdiri dari sodium silikat dan NaOH. Perbandingan sodium silikat dan NaOH yang digunakan adalah 1 : 1. Untuk meningkatkan kelecakan (*workability*) beton geopolimer ditambahan SP (sukrosa) sebanyak 2 % dari jumlah fly-ash yang digunakan.

Dari hasil perbandingan tersebut maka didapatkan proporsi campuran beton yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Prorporsi Campuran Beton Geopolimer

No.	Material	Berat Material (kg/m^3)
1.	Agregat Halus	512.7

2.	Agregat Kasar	1151.4
3.	Fly Ash	600.5
4.	NaOh	48.1
5.	Na_2SiO_3	55.9
6.	Air	136.3
7.	SP	12
Total		2516.8

Dari proporsi campuran tersebut didapatkan massa jenis beton yang digunakan sebesar 2516.8 kg/m^3.

b. Setting Time

Dari hasil pengujian *setting time* pasta geopolimer metode terpisah menggunakan alat *vicat* didapatkan waktu selama 195 menit. Dengan hasil tersebut, maka beton geopolimer metode terpisah memiliki *setting time* yang mendekati beton konvensional. Sehingga beton geopoilmer metode terpisah memiliki potensi yang besar untuk dapat diaplikasikan sebagai bahan material penyusun *breakwater*.

c. Nilai Kuat Tekan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer metode terpisah pada benda uji yang berumur 3, 7, dan 28 hari didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil uji kuat tekan beton geopolimer (Wibowo, 2019)

Umur (hari)	Metode Terpisah	
	MPa	
	Suhu Ruang	Air Laut
3	10.95	12.53

7	22.19	26.5
28	36.70	40.34

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan bahwa nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari mencapai 40,34 MPa. Maka didapatkan beton geopolimer metode terpisah memenuhi persyaratan beton yang digunakan pada lingkungan laut sesuai dengan SNI 2847:2013, sehingga beton geopolimer metode terpisah dapat diaplikasikan sebagai bahan material penyusun *breakwater*.

d. Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui ketahanan beton untuk dilalui air. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai permeabilitas beton geopolimer metode terpisah sebesar 0,167. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa beton geopolimer metode terpisah memiliki nilai permeabilitas yang rendah.

4.2 Rancang Bangun Material Breakwater

Dalam perencanaan bentuk material penyusun *breakwater* dapat didasarkan pada optimalisasi karakteristik teknis material lapis lindung. Menurut (Melby & Turk, 1997) karakteristik teknis material lapis lindung adalah sebagai berikut :

1. Memiliki stabilitas hidraulik yang baik pada pemasangan secara lapisan tunggal pada sudut pemasangan yang beragam.
2. Tetap stabil pada kondisi gelombang yang melebihi perencanaan.
3. Tidak memiliki kecenderungan untuk longsor pada lereng bangunan.
4. Tetap stabil pada keadaan rusak.

5. Memiliki stabilitas yang baik dengan volume lapis lindung minimum.
6. Memiliki tegangan internal yang kecil sehingga tidak memerlukan tulangan.
7. Mudah untuk dicetak.
8. Mudah dipasang.

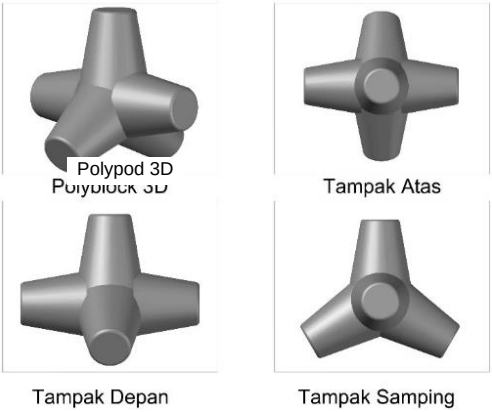
Material yang telah ada saat ini sudah dapat diaplikasikan dengan baik, namun tiap material memiliki kelemahan pada beberapa karateristik teknis diatas. Salah satu material yang banyak digunakan di dunia pada khususnya di Indonesia adalah tetrapod. Karena tetrapod memiliki nilai stabilitas yang cukup baik dan nilai porositas yang tinggi (Bonfantini, 2014). Dan tetrapod adalah salah satu material penyusun yang mudah untuk dicetak. Tetapi tetrapod adalah material lapis lindung yang dipasang dengan dua lapisan material, sehingga dalam penggunaannya memerlukan material beton dalam jumlah besar.

Seiring berkembangnya waktu, dikembangkan material penyusun yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi sehingga dapat dipasang dengan satu lapisan material lapis lindung. Salah satu material yang sedang dikembangkan saat ini adalah *crablock*.

Crablock memiliki bentuk 6 kaki sama Panjang yang masing-masing memiliki tinggi yang sama pada berbagai sisi. Dimensi minimum *crablock* dengan berat 2.5 ton memiliki tinggi sebesar 1.8 m. Hal tersebut menyebabkan pada proses pengecoran *crablock* memiliki tinggi jatuh beton yang tidak sesuai dengan tinggi jatuh minimal sesuai standar pekerjaan pengecoran beton yaitu 1.5 m. Sehingga dapat menyebabkan beton mengalami segregasi pada saat proses pengecoran. Segregasi pada beton dapat menyebabkan produk *crablock* yang dihasilkan mengalami kerusakan dan keropos.

Gambar 7. Contoh kondisi segregasi pada beton
Sumber : (Civil Online Blogspot, 2013)

Dengan permasalah tersebut, dalam penelitian ini akan mencoba merancang bentuk baru yang dapat diaplikasikan sebagai material penyusun *breakwater*. Bentuk yang akan digunakan pada penelitian ini didasarkan pada bentuk tetrapod dan *crablock* yang memiliki keserupaan secara geometris. Untuk mengatasi masalah tinggi jatuh beton yang tinggi maka dirancang menyerupai bentuk tetrapod sehingga tinggi jatuh beton menjadi lebih pendek. Untuk menambah stabilitas bentuk pada lereng, direncanakan penambahan bentuk secara tegak lurus dari bentuk kepala sehingga menyerupai tangan. Dengan pertimbangan tersebut maka didapatkan rancangan bentuk yang akan digunakan adalah sebagai berikut.



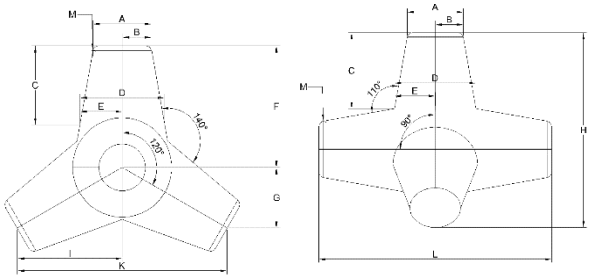
Gambar 8. Rencana Bentuk Material *Polypod*

4.3 Desain Benda Uji

Rancangan bentuk baru material *breakwater* yang diusulkan di atas perlu dilakukan pengujian agar dapat menjamin stabilitas keruntuhannya. Pengujian dilakukan untuk dapat menahan gelombang sebesar 5 m, besaran gelombang ini dipilih dengan pertimbangan umumnya yang terjadi di pantai selatan pulau jawa. Untuk melakukan pengujian tersebut, maka dilakukan desain benda uji untuk mengetahui dimensi material yang akan digunakan.

a. Dimensi material *Polypod*

Dimensi *polypod* didapatkan dari rumusan dimensi tetrapod sesuai *Shore Protection Manual* 1984 dengan penyesuaian ukuran sesuai dengan bentuk *polypod*. Sehingga didapatkan dimensi *polypod* sebagai berikut :



Gambar 9. Dimensi *Polypod.*

Rumusan dimensi *polypod* :

- A = 0.234 L
- B = 0.117 L
- C = 0.37 L
- D = 0.365 L
- E = 0.182 L
- F = 0.5 L
- G = 0.25 L
- H = 0.776 L
- I = 0.433 L
- J = 0.235 L
- K = 0.866 L
- M = 0.1 A (radius)

b. Volume *Polypod*

Bentuk *polypod* terdiri dari 5 kaki-kaki yang berbentuk kerucut yang terhubung oleh badan polypod yang berada pada titik berat *polypod*. Untuk menentukan volume bentuk polypod dapat diketahui dengan menentukan volume kaki-kaki *polypod* dan badan *polypod.* Untuk mempermudah perhitungan maka badan

polypod diasumsikan berbentuk bola. Sehingga untuk menentukan volume polypod dapat digunakan rumus sebagai berikut :

- Volume kaki – kaki *polypod*

$$V_{cone} = \frac{1}{3}\,\pi\,(B^2 + B \cdot E + E^2) \cdot C$$

- Volume badan *polypod*

$$V_{body} = \frac{4}{3}\,\pi\,N^3$$

- Volume *Polypod*

$$V_p = (5 \cdot V_{cone}) + V_{body}$$

$$V_p = \left(5 \cdot \left(\frac{1}{3}\,\pi\,(B^2 + B \cdot E + E^2) \cdot C\right)\right) + \frac{4}{3}\,\pi\,N^3$$

$$V_p = \left(\left(B^2 + B \cdot E + E^2\right) \cdot \frac{5}{3}\,\pi C\right) + \frac{4}{3}\,\pi\,N^3$$

$$V_p = ((0.117L)^2 + (0.117L \cdot 0.183L) + (0.183L)^2)\left(\frac{5}{3}\,\pi\,0.37L\right) + \frac{4}{3}\,\pi\,(0.129L)^3$$

$$V_p = (0.0137L^2 + 0.0214L^2 + 0.0335L^2)(1.937\,L) + \frac{4}{3}\,\pi\,0.00214L^3$$

$$V_p = (0.0686\,L^2)(1.937\,L) + 0.00896\,L^3$$

$$V_p = (0.1328\,L^3) + 0.00896\,L^3$$

$$V_p = 0.142\,L^3$$

c. Rencana Prototipe

Untuk mengetahui stabilitas hidraulik *polypod* maka direncanakan prototipe sebagai benda uji material. Koefisien stabilitas *polypod* diasumsikan sama dengan tetrapod dimana K_D = 8. Dalam penelitian ini diasumsikan tinggi gelombang rencana 5 m. Dengan

tinggi gelombang rencana tersebut maka dimensi prototipe *polypod* adalah sebagai berikut :

- Parameter yang diasumsikan :
  - H = 5 m
  - K_D = 8
  - ρ_a = 2516.8 kg/m^3
  - ρ_w = 1000 kg/m^3
  - Sr = (2516.8 / 1000) = 2.5168
  - g = 9.8 m/s^2
  - cotα = 1,5
- Dimensi material *polypod* :
  - $W = \frac{\rho_a \,.\, g \,.\, H^3}{K_D\ (Sr-1)^3 \cot(\alpha)}$
  - $W = \frac{2516.8 \,.\, 9.8 \,.\, 5^3}{8\ (2.517-1)^3\ (1.5)}$
  - $W = 32909.58\ kg$
  - V = W / ρ_a
  - V = 32909.58 / 2516.8
  - V = 13.08 m^3
  - L = $\sqrt[3]{\frac{V}{0.142}}$
  - L = $\sqrt[3]{\frac{13.08}{0.142}}$
  - L = 4.516 m

4.4 Analisa Skala Model

Model hidraulik digunakan untuk memperkirakan fenomena hidraulik yang tidak dapat diperkirakan menggunakan analisa matematis. Dalam penentuan stabilitas material penyusun *breakwater* perlu dilakukan pengujian model hidraulik untuk mengetahui nilai stabilitas dari model yang akan digunakan. Maka dari itu diperlukan skala model

hidraulik untuk membuat model yang dapat mewakilkan proses atau keadaan yang sebenarnya di lapangan.

Skala model yang digunakan disesuaikan dengan alat pengujian yang akan digunakan. Pada penelitian ini, pengujian direncanakan dilakukan pada saluran dengan dimensi 0.6 m x 0.2 m x 11 m. Dengan dimensi saluran pengujian terebut maka digunakan skala 1 : 50 pada model yang akan diuji. Untuk mengetahui perbandingan model dengan skala prototipe yang sebenarnya, dilakukan perhitungan analisa skala model sebagai berikut :

a. Tinggi Gelombang

Tinggi gelombang rencana pada perencanaan prototipe diasumsikan setinggi 5 m. Untuk menentukan tinggi gelombang pada model digunakan syarat keserupaan geometri. Berdasarkan keserupaan geometri, tinggi gelombang yang direncanakan pada prototipe adalah sebagai berikut.

$$H_m = H_p \; x \; H_r$$

Dengan :

H_p = Tinggi Gelombang Prototipe

H_m = Tinggi Gelombang Model

H_r = Skala Model

Sehingga didapatkan :

$$H_m = 5 \; x \; 0.02$$

$$H_m = 0.1 \; m$$

Dari perhitungan tersebut tinggi gelombang rencana yang digunakan pada model sebesar 0.1 m (10 cm).

b. Kedalaman Air

Kedalaman air pada saluran gelombang direncanakan setinggi 40 cm. Maka kedalaman air yang dimodelkan pada keadaan sebenarnya adalah sebagai berikut :

$$d_p = \frac{d_m}{d_r}$$

Dengan :
d_p = Kedalaman Laut Prototipe
d_m = Kedalaman air Model
d_r = Skala Model

Sehingga didapatkan :

$$d_p = \frac{0.4}{0.02}$$
$$d_p = 20\ m$$

Dari perhitungan tersebut kedalaman air pada prototipe di lapangan adalah 20 m .

c. Model Material Penyusun *Breakwater*

Model material penyusun *breakwater* didapatkan melalui hasil skala prototipe yang telah direncanakan. Untuk menentukan dimensi model yang akan diuji maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

i. Berat Model Material Penyusun *Breakwater*.

$$W_m = W_p\ x\ W_r$$

Dengan :
W_p = Berat Prototipe
W_m = Berat Model
W_r = Skala Model Berat

Untuk mengetahui skala model dalam perhitungan berat maka dilakukan perbandingan dengan menggunakan keserupaan geometri maka didapatkan skala model berat didapatkan :

$$W_r = \frac{W_m}{W_p}$$

$$W_r = \frac{V_m \cdot \rho_a}{V_p \cdot \rho_a}$$
$$W_r = V_r$$
$$W_r = L_r^3$$
$$W_r = 0.02^3$$
$$W_r = 0.000008$$

Maka didapatkan berat model *polypod* adalah,

$$W_m = W_p \; x \; W_r$$
$$W_m = 32909.58 \; x \; 0.000008$$
$$W_m = 0.263277 \; kg$$
$$W_m = 263.277 \; g$$

ii. Volume Model Material Penyusun *Breakwater*.

$$V_m = V_p \; x \; V_r$$

Dengan :

V_p = Volume Prototipe
V_m = Volume Model
V_r = Skala Model Volume

Untuk mengetahui skala model dalam perhitungan volume maka dilakukan perbandingan dengan menggunakan keserupaan geometri maka didapatkan skala model volume didapatkan :

$$V_m = V_p \; x \; V_r$$
$$L_m^3 = L_p^3 x L_r^3$$
$$V_r = L_r^3$$
$$V_r = 0.02^3$$
$$V_r = 0.000008$$

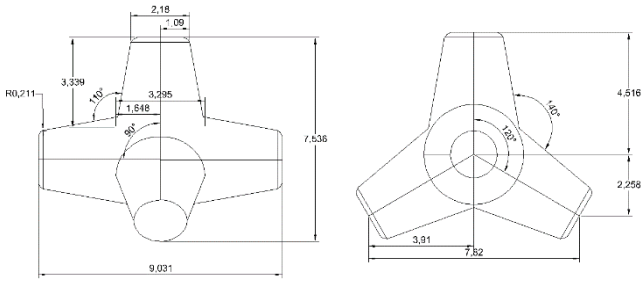
Maka didapatkan volume model *polypod* adalah,

$$V_m = 13.08 \; x \; 0.000008$$
$$V_m = 0.00010464 \; m^3$$
$$V_m = 104.64 \; cm^3$$

iii. Dimensi Model Material Penyusun *Breakwater*.

Dari hasil perhitungan volume model material penyusun *breakwater* dapat ditentukan dimensi model *polypod*. Dari perhitungan diatas, didapatkan dimensi model polypod yang digunakan adalah sebagai berikut,

- L $= \sqrt[3]{\frac{104.64}{0.142}}$ = 9.031 cm
- A = 0.234 (9.031) = 2.118 cm
- B = 0.117 (9.031) = 1.059 cm
- C = 0.37 (9.031) = 3.345 cm
- D = 0.365 (9.031) = 3.296 cm
- E = 0.182 (9.031) = 1.648 cm
- F = 0.5 (9.031) = 4.516 cm
- G = 0.25 (9.031) = 2.258 cm
- H = 0.776 (9.031) = 7.012 cm
- I = 0.433 (9.031) = 3.913 cm
- J = 0.235 (9.031) = 2.125 cm
- K = 0.866 (9.031) = 7.818 cm
- M = 0.1 A (radius) = 0.212 cm
- Dn $= \sqrt[3]{\frac{263,2}{2,516}}$ = 4,711 cm



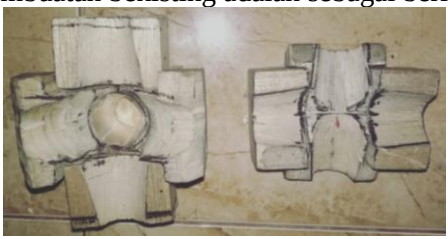
Gambar 10. Desain rencana model *polypod*

4.5 Pengujian Model Material Penyusun *Breakwater*

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan mulai dari pembuatan model uji sampai dengan pengujian stabilitas model uji.

4.5.1 Pembuatan Bekisting Model Uji

Dalam pembuatan bekisting, ukuran yang digunakan berdasarkan hasil analisa skala dimensi model uji. Bahan bekisting yang digunakan adalah kayu, karena murah dan mudah dalam pembentukan sesuai desain model uji. Bekisting dibagi menjadi dua bagian untuk memudahkan proses pencetakan. Yaitu bagian atas dan bagian bawah. Adapun hasil dari proses pembuatan bekisting adalah sebagai berikut.



Gambar 11. Hasil pekerjaan pembuatan bekisting model uji

Setelah terbentuk sesuai dengan bentuk desain, bekisting dilapisi dengan plat aluminium 0,4 mm. Hal tersebut bertujuan untuk mempermudah proses pencetakan dan membuat bentuk model yang akan dicetak lebih presisi.

Gambar 12. Bekisting setelah dilapisi plat aluminium.

4.5.2 Pengujian Berat Jenis Material

Material yang digunakan sebagai bahan model uji adalah mortar geopolimer. Dalam penelitian ini proporsi campuran yang digunakan berdasarkan proporsi campuran beton geopolimer yang telah dibahas. Dengan asumsi agregat kasar pada proporsi campuran digantikan dengan agregat halus sebesar 50 % dari jumlah seharusnya. Dan jumlah pasta yang digunakan ditambahkan sebesar dua kali jumlah seharusnya. Penyesuaian tersebut didasarkan pada percobaan sebelumnya yang gagal karena berat jenis mortar tidak sesuai dengan berat jenis yang desain.

Pengujian berat jenis dilakukan menggunakan benda uji kubus 5 x 5 x 5 cm. Dari hasil pembuatan benda uji sebanyak 3 buah didapatkan hasil sebagai berikut.

Gambar 13. Proses penimbangan benda uji kubus.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis

No.	Sampel	Massa (g)	Volume (cm^3)	Berat jenis (g/cm^3)
1.	A	321.9	125	2.575
2.	B	320.4		2.564
3.	C	319.9		2.559
Rata-rata				2.566

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan rata-rata berat jenis mortar yang digunakan sebesar 2.566 g/cm^3 atau 2566 kg/m^3. Dari hasil tersebut maka proporsi mortar yang digunakan dapat diaplikasikan karena berat jenis mortar mendekati dengan berat jenis rencana beton geopolimer.

4.5.3 Pembuatan Model Uji

Pembuatan model uji dilakukan dengan menggunakan bekisting yang telah di desain sesuai bentuk dan material yang telah diuji pada proses sebelumnya. Adapun proses pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

a. Proses pembuatan benda uji dimulai dengan persiapan bekisting dengan melapisi bekisting dengan oli dan pemasangan antara sisi atas dan sisi bawah.

Gambar 14. Pemasangan bekisting dan persiapan pengecoran.

b. Material mortar geopolymer yang disiapkan sesuai proporsi campuran dan kebutuhan volume yang akan digunakan.
c. Material yang telah disiapkan dicampur dalam satu tempat, dan diaduk hingga menjadi campuran yang homogen.
d. Mortar dimasukkan ke dalam bekisiting secara perlahan dan dirojok agar mortar dapat mengisi bekisting secara rata.

Gambar 15. Proses pengisian mortar pada bekisting

e. Pengisian mortar dilakukan hingga bekisting penuh. Setelah bekisting penuh, bekisting dipindahkan ke tempat yang teduh untuk menunggu proses pengerasan mortar dalam bekisting.
f. Setelah melalui proses pengerasan, bekisting di bongkar dan benda uji di keluarkan dari bekisting.

Gambar 16. Hasil pengecoran benda uji

4.5.4 Penyusunan Model *Breakwater*

Model *breakwater* direncanakan berdasarkan tinggi gelombang rencana dan kedalaman air pada saluran gelombang. Tinggi struktur model *breakwater* yang digunakan pada penelitian ini ditentukan sebagai berikut :

- Tinggi jagaan = 1,2 x Hm
  = 1,2 x 10
  = 12 cm
- Kedalaman air = 40 cm
- Tinggi model = 40 + 12
  = 52 cm

Dari perhitungan tersebut didapatkan tinggi rencana model *breakwater* setinggi 52 cm dari dasar saluran. Setelah menentukan tinggi model bangunan,

dapat ditentukan material lapisan model uji *breakwater*. Dengan data-data yang telah diperoleh maka didapatkan rencana material yang digunakan sebagai bahan lapisan adalah sebagai berikut :

- Lapisan *underlayer*

  $W_{50} = \frac{W_{Model}}{10}$

  $= \frac{0,2632}{10}$

  = 0,0263 kg = 26,3 gram

  $Dn_{50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_a}\right)^{1/3}$

  $= \left(\frac{26,3}{2,65}\right)^{1/3}$

  = 2,149 cm

  Dari perhitungan tersebut didapatkan material lapisan *underlayer* menggunakan batuan yang memilki berat 23,3 – 29,3 gram dan diameter batuan 20 – 23 mm.

- Lapisan inti

  $W_{50} = \frac{W_{Model}}{50}$

  $= \frac{0,2632}{50}$

  = 0,00526 kg = 5,26 gram

  $Dn_{50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_a}\right)^{1/3}$

  $= \left(\frac{5,26}{2,65}\right)^{1/3}$

  = 1,257 cm = 12,57 mm

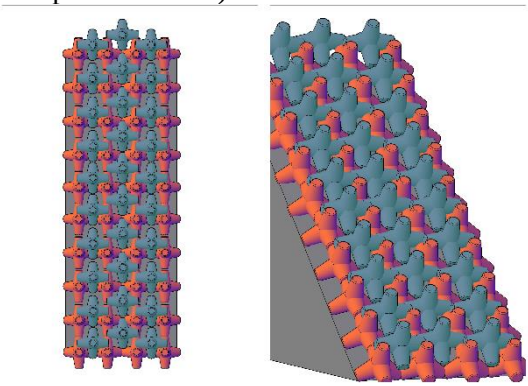
  Dari perhitungan tersebut didapatkan material lapisan inti menggunakan batuan yang memilki berat 2,26 – 8,26 gram dan diameter batuan 9 – 15 mm.

- Lapisan perlindungan kaki

  Lapisan perlindungan kaki didesain lebih besar untuk mencegah kegagalan sturktur *breakwater* akibat kerusakan pada struktur perlindungan kaki. Dalam rancangan penelitian ini, lapisan perlindungan kaki direncanakan menggunakan batuan dengan diameter 35 – 45 mm.

Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan susunan material model *breakwater*. Dalam pengujian yang akan dilakukan material *polypod* disusun dengan dua variasi perletakan, yaitu disusun secara acak sebanyak 3 lapisan material dan disusun secara rapi sebanyak 1 lapisan material. Sehingga didapatkan susunan material yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

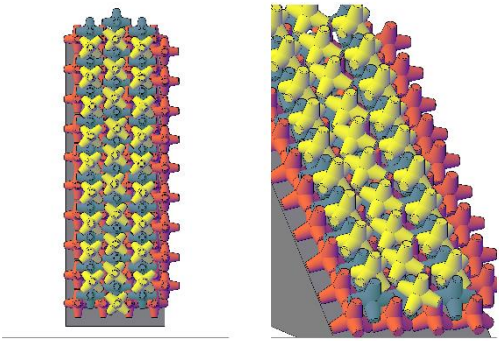
i. Model 1 (Model *breakwater* dengan dua lapisan material)



(a) tampak atas (b) tampak samping

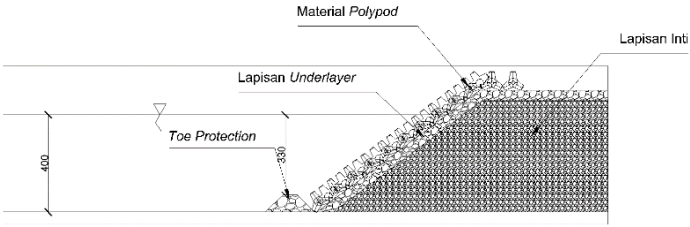
Gambar 17. Susunan model *breakwater* dua lapisan material.

ii. Model 2 (Model *breakwater* dengan tiga lapisan material).



(a) tampak atas (b) tampak samping

Gambar 18. Susunan model *breakwater* tiga lapisan material.



Gambar 19. Potongan melintang struktur rencana model *breakwater*

4.5.5 Rancangan Pengujian Stabilitas Model Material Penyusun *Breakwater*

Dalam pelaksanaan penelitian ini pengujian belum dapat dilakukan karena terhalang oleh kondisi pandemi covid-19. Sehingga dalam pembahasan ini membahas tentang rancangan pengujian dan analisa

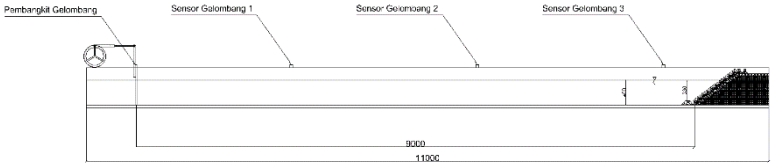
koefisien stabilitas yang seharusnya dilakukan. Untuk menentukan stabilitas model *polypod*, dilakukan uji gelombang dengan variasi periode dan tinggi gelombang. Dalam penelitian ini direncanakan menggunakan variasi tinggi gelombang pada interval 5 cm – 12 cm, hal ini merujuk pada perhitungan skala model bahwa tinggi gelombang rencana yang digunakan pada model sebesar 0.1 m (10 cm).

Pengujian dilakukan setiap 1000 kali gelombang yang disimulasikan. Setiap 1000 kali gelombang yang terjadi dilakukan pengukuran perpindahan material *polypod* untuk mengetahui tingkat kerusakan model *breakwater*. Jika pada pengujian pertama selama 1000 kali tidak terdapat material yang berpindah, maka dapat dilanjutkan dengan variasi tinggi gelombang atau periode yang lebih tinggi. Tetapi jika pada pengujian pertama sudah terdapat material yang mengalami perpindahan, maka pengujian dilanjutkan dengan tinggi gelombang dan periode yang sama sebanyak 1000 kali gelombang. Pengujian dilakukan terus menerus sampai material *polypod* cenderung stabil pada titik kerusakan tertentu (Broere, 2015). Pengujian dilakukan pada dua model perletakan *breakwater* dengan variasi gelombang yang sama pada tiap model *breakwater*.

Hasil pengujian yang digunakan sebagai analisa koefisien stabilitas adalah tinggi gelombang, periode gelombang, jumlah gelombang yang terjadi dan tingkat kerusakan model *breakwater*. Sehingga didapatkan data yang dapat ditabelkan seperti berikut:

Tabel 6. Format Hasil Pengujian

No. test	Tinggi Gelombang	Periode Gelombang	Tingat Kerusakan		
			N=1000	N=2000	N=3000
1a	6	0.5			
1b	6	1			
1c	8	0.5			
1d	8	1			
1e	10	0.5			
1f	10	1			
1g	12	0.5			
1h	12	1			
2a	6	0.5			
2b	6	1			
2c	8	0.5			
2d	8	1			
2e	10	0.5			
2f	10	1			
2g	12	0.5			
2h	12	1			



Gambar 20. Rancangan sketsa pengujian model *breakwater*

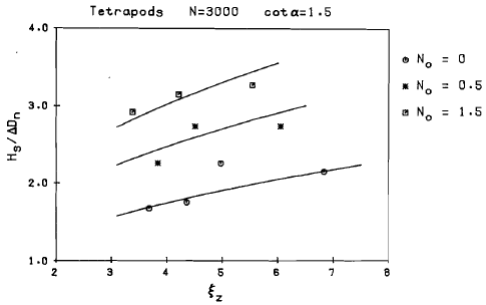
4.5.6 **Rancangan Analisa** Nilai **Koefisien Stabilitas**

Dari hasil pengujian model material *polypod* dilakukan analisa nilai koefisien stabilitas dengan menggunakan persamaan nilai stabilitas pada gelombang tidak pecah. Dengan persamaan tersebut perhitungan nilai stabilitas material dapat dilakukan dalam tabel berikut :

Tabel 7. Format Analisa Nilai Stabilitas

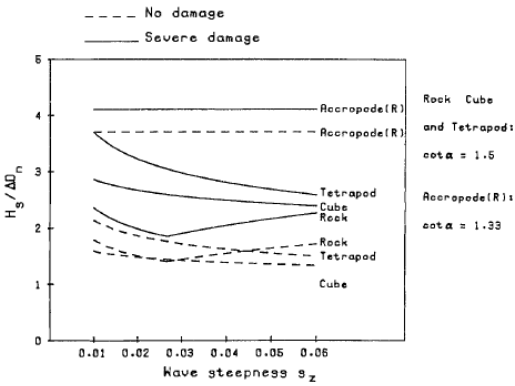
No. test	Hs	Tz	Sz	ξz	N_{od}	S_d	$\frac{H_s}{\Delta D_n}$
	[m]	[s]					
1a	6	0.5					
1b	6	1					
1c	8	0.5					
1d	8	1					
1e	10	0.5					
1f	10	1					
1g	12	0.5					
1h	12	1					
2a	6	0.5					
2b	6	1					
2c	8	0.5					
2d	8	1					
2e	10	0.5					
2f	10	1					
2g	12	0.5					
2h	12	1					

Dari hasil analisa tersebut dapat menghasilkan grafik untuk tiap fase jumlah kejadian gelombang yang menggambarkan hubungan antara ξz terhadap $\frac{H_s}{\Delta D_n}$ dengan variasi N_{od}. Sehingga dapat digambarkan grafik seperti berikut :



Gambar 21. Contoh grafik nilai stabilitas tetrapod terhadap persamaan parameter gelombang (Meer, 1988)

Untuk mengetahui perbandingan antara nilai stabilitas model material *polypod* dengan material lapis lindung yang telah ada, dapat digambarkan grafik yang menggambarkan hubungan antara nilai stabilitas dan kemiringan gelombang. Grafik yang digambarkan adalah nilai stabilitas pada keadaan N_{od} = 0 (mulai mengalami kerusakan) dan N_{od} = 1.5 (*breakwater* mengalamai kegagalan struktur). Sehingga dapat digambarkan diagram seperti berikut.



Gambar 22. Grafik perbandingan nilai stabilitas material lapis lindung (Meer, 1988).

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan :

Dari penelitian yang telah lakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Spesifikasi beton geopolimer yang digunakan sebagai bahan material penyusun *breakwater* adalah sebagai berikut :
    a. Proporsi beton yang digunakan adalah 70 % agregat : 30 % pasta. Agregat yang digunakan terdiri dari 70 % agregat kasar : 30 % agregat halus. Pasta yang digunakan terdiri dari 70 % fly ash : 30 % aktivator. Aktivator yang digunakan adalah NaOH dan sodium silikat dengan perbandingan 1 : 1. Untuk meningkatkan kelecakan beton digunakan SP (sukrosa) sebesar 2% dari jumlah fly ash yang digunakan.
    b. Waktu perkerasan (*setting time*) beton geopolimer selama 195 menit.
    c. Nilai kuat tekan beton geopolimer pada umur 28 hari mencapai 40.34 MPa pada lingkungan air laut dan 36.70 MPa pada ruang terbuka.
    d. Permeabilitas beton geopolimer sebesar 0.167.
2. Bentuk yang digunakan pada penilitian ini adalah *polypod*, yang merupakan kombinasi dari bentuk tetrapod dan *crablock*. Untuk menentukan dimensi *polypod* dapat ditentukan dari volume bentuk *polypod* yang dibutuhkan. Adapun rumus yang dapat digunakan untuk perhitungan dimensi polypod adalah sebagai berikut :
    a. L $= \sqrt[3]{\frac{V}{0.142}}$
    b. A $= 0.234$ L

c. B = 0.117 L
d. C = 0.37 L
e. D = 0.365 L
f. E = 0.182 L
g. F = 0.5 L
h. G = 0.25 L
i. H = 0.776 L
j. I = 0.433 L
k. J = 0.235 L
l. K = 0.866 L
m. M = 0.1 A (radius)

3. Skala model yang digunakan pada penelitian ini adalah 1: 50. Dari hasil analisa skala model, didapatkan parameter pengujian model material penyusun sebagai berikut :
   a. Tinggi gelombang model = 0.1 m
   b. Tinggi gelombang prototipe = 5 m
   c. Kedalaman air model = 0.4 m
   d. Kedalaman air prototipe = 20 m
   e. Model material penyusun :
      i. Volume model = 104.64 cm^3
      ii. Berat model = 263.28 gram

4. Nilai stabilitas material *polypod* belum dapat diketahui. Karena dalam penelitian ini belum dilaksanakan pengujian stabilitas model material benda uji. Hipotesis untuk nilai stabilitas material *polypod* lebih besar dari material tetrapod.

5.2 Saran :

Dari penelitian yang telah lakukan, saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya yang serupa adalah :

1. Membuat model uji yang lebih bagus dengan membuat cetakan yang memiliki bentuk yang baik, dimensi yang

sesuai dan memiliki durabilitas bahan yang baik untuk mencetak model uji dalam jumlah banyak.

2. Melakukan pengujian stabilitas model uji dengan rancangan yang telah dijelaskan pada penelitian ini dan menambahkan hal-hal yang diperlukan dalam pengujian dan analisa nilai stabilitas. Agar didapatkan hasil yang akurat dan detail.

Daftar Pustaka

Aer, A., Sumajouw, M., & Pandaleke, R. (2014). Pengaruh Variasi Kadar Superplasticizer Terhadap Nilai Slump Beton Geopolimer. *Jurnal Sipil Statik*, 283-291.

(2013, 06). Diambil kembali dari Civil Online Blogspot: civil-online2010.blogspot.com/2013/06/segregation.html

Ais, N. S. (2017). Pengaruh Rasio Sodium Hidroksida Dengan Sodium Silikat Pada Mortar Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Geser Pada Aplikasi Spesi Batu Bata. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, 2*, 211 - 218.

Bird, E. (2008). *Coastal Geomorphology: An Introduction. 2nd edition.* England: John Wiley & Sons.

Bonfantini, F. (2014). *Set-up to design guidance for the Crablock armour unit.* The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education.

Broere, A. (2015). *Physical model tests on stability and interlocking of new breakwater armour block Crablock.* Delft University of Technology.

CERC. (1984). *Shore Protection Manual.* Washington: Department Of Army US Army Corps of Engineers.

Daniel, P., & Greslou, L. (1962). The Tetrapod. 469.

Davidovits, J. (1999). Chemistry of Geopolymeric Systems. *Geopolymer '99 Internasional Conference.*

Global Mining Investment Conference. (2010). Finance & Investment, Metals & Minerals. *Global Mining Investment Conference.* London.

Hardjito, D. (2005). *Studies on Fly Ash Geopolymer Concrete.* Curtin University of Technology.

Harteveld, R., Vliet, M. V., Schilder, S., & Odijk, M. (2018). *Modular Hybrid Coastal Protection Structure.* DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

Hughes, S. A. (1993). *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering.* Singapore: JBW Printerrs & Binders.

K, T., & Louise, F. (2013). A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. *Carbondioxide euivalent (CO2-e) emissions*, 125-130.

Kasyanto, H. (2012). Tinjauan Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Dengan Aktivator Sodium Hidroksida Dan Sodium Silikat. *Industrial Research Workshop and National Seminar.* Bandung.

Kinog, K., & dkk. (2005). Stabilitas Armor pada Breakwater Tenggelam. *Jurnal Teknik Sipil, 12*, 1-12.

Manuhae, R., Sumajouw, M., & Windah, R. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 277 - 282.

Meer, J. W. (1988). Stability of Cubes, Tetrapods and Accropode. *Breakwater*, 59 - 68.

Melby, J., & Turk, G. (1997). *CORE-LOC Concrete Armour Units.* Vicksburg: US ARMY Corps Of Engineers Waterways Experiment Station.

Provis, J., & Deventer, J. (2009). *Geopolymers : Structure, processing, properties and Industrial applications.* New York: CRC Press.

Salauddin, M. (2015). *Physical model tests on new armour block Crablock for breakwaters to come to preliminary design guidance.* Delft: UNESCO-IHE Institute for Water Education.

Setiawan, F. (2005). *Pengaruh Spektrum Gelombang Terhadap Stabilitas Batu Pecah pada Permukaan Cellular Cofeerdam akibat Gelombang Overtopping.* 2005: ITS.

SNI 03 2847. (2002). *Tata Cara Pehitungan Struktur Beton.* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Subekti, S., Triwulan, & Irmawan, M. (2013). *BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR FLY ASH DENGAN MOLARITAS 8 MOL 1,5 DAN 12 MOL 1,5 TAHAN TERHADAP AGRESIFITAS AIR LAUT SELAT MADURA.* Surabaya: ATPW.

Suh, K.-D. (2012). Stability Formula for Tetrapods. *Journal Of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 261-266.

Triatmodjo, B. (1999). *Tekik Pantai.* Yogyakarta: Beta Offset.

Triatmodjo, B. (2012). *Perencanaan Bangunan Pantai.* Yogyakarta: Beta Offset.

Wibowo, Y. N. (2019). *"G-MARINE": BETON RAMAH LINGKUNGAN BERBASIS HIGH-CALCIUM FLY ASH UNTUK ELEMEN STRUKTUR PELABUHAN.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Yustian, A., Nugroho, D., & Ismunarti, D. H. (2016). Studi Efektivitas Groin Terhadap Perubahan Garis Pantai Teluk Penyu Kabupaten Cilacap. *Jurnal Oseanografi, 5*, 406-414.

Yuwono, N. (1992). *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta.

BIODATA PENULIS

Muhammad Yusuf Arifandi dilahirkan di Gresik pada tanggal 13 Agustus 1998, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 1 Gresik pada tahun 2004-2010. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMP Negeri 2 Gresik pada tahun 2010-2013 dan SMA Negeri 1 Gresik pada tahun 2013-2016. Setelah lulus SMA pada tahun 2016, penulis diterima di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Reguler dengan NRP 10111610000065. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengukti organisasi Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS-FV ITS) dan berbagai kepanitiaan. Pada tahun 2019 penulis mendapat kesempatan melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Pengaman Muara Sungai Ijo di Kabupaten Cilacap dan Kebumen.

Kontak Penulis :

E-mail : myusuf.arifandi@gmail.com

No.telp : 081949861054