



TUGAS AKHIR - MO 091336

**ANALISIS STABILITAS *CONCRETE BLOCK ANCHOR* PADA
HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER DENGAN
PENGUJIAN FISIK**

SUSENO BAYU SETYO ADI

NRP. 0431144000074

Dosen Pembimbing

Sujantoko, S.T, M.T

Haryo D Armono, ST, M.Eng, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR - MO 091336

**ANALISIS STABILITAS *CONCRETE BLOCK ANCHOR* PADA
HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER DENGAN
PENGUJIAN FISIK**

SUSENO BAYU SETYO ADI

NRP. 04311440000074

Dosen Pembimbing

Sujantoko, S.T, M.T

Haryo D Armono, S.T, M.Eng, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

**Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



TUGAS AKHIR - MO 091336

**ANALISIS STABILITAS *CONCRETE BLOCK ANCHOR* PADA
HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER DENGAN
PENGUJIAN FISIK**

SUSENO BAYU SETYO ADI

NRP. 0431144000074

Dosen Pembimbing

Sujantoko, S.T, M.T

Haryo D Armono, S.T, M.Eng, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

**Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS STABILITAS *CONCRETE BLOCK ANCHOR* PADA *HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER* DENGAN PENGUJIAN FISIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-I Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

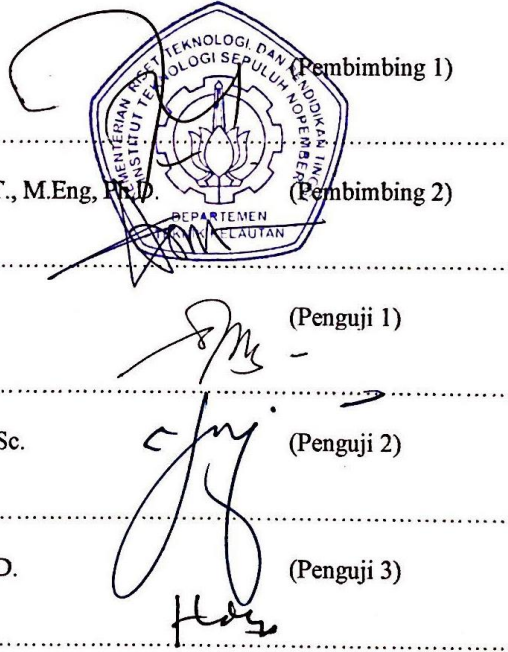
Oleh:

SUSENO BAYU SETYO ADI

NRP. 0431144000074

Disetujui oleh:

1. Sujantoko, S.T., M.T. (Pembimbing 1)
.....
2. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng, Ph.D. (Pembimbing 2)
.....
3. Sholihin, S.T., M.T. (Penguji 1)
.....
4. Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc. (Penguji 2)
.....
5. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Penguji 3)
.....



Surabaya, Juli 2018

**ANALISIS STABILITAS *CONCRETE BLOCK ANCHOR* PADA
HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER DENGAN PENGUJIAN
FISIK**

Nama : SUSENO BAYU SETYO ADI
NRP : 04311440000074
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Sujantoko, S.T, M.T
Haryo Dwito Armono S.T, M.Eng, PhD

ABSTRAK

Breakwater (Pemecah Gelombang) merupakan struktur penahan gelombang yang berfungsi untuk mengurangi intensitas gelombang yang menghantam pesisir pantai, dalam dekade terakhir struktur pemecah gelombang telah mengalami perkembangan dengan hadirnya pemecah gelombang terapung (*Floating Breakwater*). *Floating Breakwater* lebih efektif, efisien, dapat dipindah-pindahkan, dan fleksibel dibandingkan dengan *fixed breakwater*. Untuk tetap menjaga kestabilan *floating breakwater* tersebut, digunakanlah *anchor* atau *mooring* yang diletakan di dasar perairan dan dihubungkan dengan tali tambat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kestabilan *floating breakwater* dengan melakukan permodelan fisik dalam skala laboratorium menggunakan sistem mooring yang terdiri dari blok beton dan juga nilai tegangan tertinggi pada tali tambat. Dalam penelitian ini menggunakan 2 (dua) konfigurasi jenis *Hexagonal floating breakwater* sedangkan *anchor* yang digunakan adalah *Concrete block anchor* yang terbuat dari bahan beton dengan skala yang sesuai dan sudah ditentukan sehingga sedemikian rupa mewakili karakteristik prototype *floating breakwater* sebenarnya. Hasil penelitian yang didapatkan berupa berat *anchor* yang stabil pada konfigurasi model 1 sebesar 18 kg, terjadi di sudut 45°. Nilai tegangan tertinggi nya sebesar 0,083 kg terjadi di sudut 45°. Untuk konfigurasi model 2 berat *anchor* yang stabil sebesar 17 kg, terjadi di sudut 45°. Nilai tegangan tertinggi nya sebesar 0,0776 kg terjadi di sudut 45°.

Keyword : *floating breakwater, mooring, anchor, concrete*

ANALYSIS OF STABILITY CONCRETE BLOCK ANCHOR ON HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER WITH PHYSICAL EXPERIMENT

Name : **SUSENO BAYU SETYO ADI**
NRP : **04311440000074**
Department : **Ocean Engineering FTK-ITS**
Supervisors : **Sujantoko, S.T, M.T**
Haryo Dwito Armono S.T, M.Eng, PhD

ABSTRACT

Breakwater is a wave structure that serves to reduce the intensity of waves that towards the coast, in the last decade breakwater has evolved with the presence of floating breakwaters. Floating breakwater is more effective, efficient, moveable, and flexible compared to fixed breakwater. To keep floating breakwater stability, mooring is placed on the seabed and connected to mooring line. This study to determine the stability of floating breakwater by performing physical modeling in the labolatorium. This research uses two configuration of Hexagonal floating breakwater type at the same time anchor used is Concrete block anchor made of concrete material with appropriate scale and has been determined so that it represents the characteristic of the actual floating breakwater prototype. The results obtained in the form of a stability anchor weight in the configuration model 1 of 18 kg, occurred at an angle of 45 °. His highest tension line value of 0.083 kg occurs at an angle of 45 °. For the configuration model 2 a stability anchor weight of 17 kg, occurs at an angle of 45 °. His highest tension line value of 0.0776 kg occurs at an angle of 45 °.

Keyword : *floating breakwater, mooring, anchor, concrete*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT berkat rahmat dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya. Tak lupa sholawat serta salam kita curahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Laporan Tugas Akhir ini berjudul “Analisis Stabilitas *Concrete Block Anchor* pada *Hexagonal Floating Breakwater* dengan Pengujian Fisik” dibuat sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini membahas mengenai stabilitas *anchor* dan tegangan tali tambat pada *Hexagonal Floating Breakwater* yang dianalisis secara eksperimen atau dengan pengujian fisik. Harapan dengan adanya Tugas Akhir ini dapat menambah wawasan pembaca mengenai *anchor* serta *hexagonal floating breakwater* dan tegangan tali tambatnya.

Penulis menyadari laporan Tugas Akhir yang telah dibuat memiliki kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran akan sangat membantu penulis untuk meningkatkan kemampuan agar lebih baik dalam penyusunan laporan ke depannya.

Surabaya, Juli 2018

Suseno Bayu Setyo Adi

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung pelaksanaan Tugas Akhir dan juga dalam penulisan laporan ini hingga selesai dengan baik, meliputi :

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
2. Orang tua penulis yang tidak pernah berhenti dalam memberi motivasi, dukungan, dan doa selama ini.
3. Bapak Sujantoko, S.T., M.T. dan Haryo D. Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 & 2 yang telah memberikan banyak ilmu dan inspirasi selama menempuh pendidikan di Teknik Kelautan.
4. Bapak Dr.Eng Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. selaku dosen wali penulis yang telah membimbing penulis dalam pengambilan mata kuliah dan memotivasi penulis dalam perkuliahan.
5. Teman – teman FBW TA (Abdi, Yoga, Dedi, dan Raka) yang selalu bekerja keras dan membantu satu sama lain hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
6. Bapak Arif selaku teknisi Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut FTK-ITS yang telah banyak sekali memberikan bantuan dan membimbing dalam eksperimen tugas akhir ini.
7. Yudo dan teman – teman PPNS yang telah membantu dalam pembuatan instrumen *loadcell*.
8. Putri Harlina Arubusman selalu perempuan yang selalu memberikan motivasi dan menemani penulis selama ini.
9. Teman – teman pengurus Lab Energi dan Lingkungan Laut FTK-ITS dan Maelstrom yang selalu memberikan motivasi satu sama selama pengerjaan tugas akhir ini.
10. Teman – teman Kaum Nol dan IM KALBARS yang selalu siap sedia menemani dan menghibur disaat penulis mengalami kejenuhan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman kos dan seperjuangan Tugas Akhir (M. Adi Kurniawan, Irvan Eka Praditya, dan Yoga Putra Pamungkas) atas motivasi dan hiburan disaat sela-sela kesibukan.

12. Cengengan, Roda 6, Alpet, Coftof MERR, Mahabarata, Tepian Suramadu dan tempat – tempat lainnya yang selalu menemani penulis dalam penyusunan laporan Tugas Akhir dengan kopi terbaik mereka.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 Floating Breakwater	5
2.1.2 Klasifikasi Floating Breakwater	7
2.1.3 Keuntungan dan Kerugian Floating Breakwater	11
2.1.4 Anchor Floating Breakwater	11
2.2 Dasar Teori	12
2.2.1 Karakteristik Gelombang	12
2.2.2 Pemodelan Fisik	18
2.2.3 Kelebihan dan Kekurang Pemodelan Fisik	19
2.2.4 Sebangun Geometrik	20
2.2.5 Sebangun Kinematik	21
2.2.6 Sebangun Dinamik	22
2.2.7 Sistem <i>Mooring</i> dan Sistem Anchor	24
2.2.8 Tinjauan Teori Tentang <i>Concrete block anchor</i>	28
2.2.9 Analisis Regresi	28
2.2.10 Analisis Dimensi	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>).....	31
3.2 Studi Literatur.....	32
3.3 Persiapan Percobaan	32
3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Model <i>Hexagonal Floating Breakwater</i> dan <i>Anchor</i>	32
3.3.2 Pengecekan Peralatan di Laboratorium.....	34
3.4 Pelaksanaan Percobaan.....	39
3.5 Rancangan Sistem Tambat	44
3.6 Analisis dan Hasil.....	48
3.7 Kesimpulan.....	48
3.8 Penyusunan Laporan Akhir	48
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Proses Kalibrasi	49
4.2 Analisis Pengujian	54
4.3 Analisis Dimensi.....	59
4.3.1 Analisis Dimensi $W/d3\rho$ terhadap $Hs/g T2$	61
4.4 Analisis Hasil Pengujian.....	63
4.4.1 Pengujian <i>Concrete block anchor</i> pada Konfigurasi <i>Hexagonal floating</i> <i>breakwater</i>	63
4.4.2 Pengujian Tegangan Tali Tertinggi pada Konfigurasi <i>Hexagonal floating</i> <i>breakwater</i>	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembentukan Cuspate.....	7
Gambar 2. 2 Struktur <i>Reflective</i> dan <i>Dissipative</i> (PIANC, 1994).....	8
Gambar 2. 3 A-Frame Floating Breakwater (Moorey, 1998).....	8
Gambar 2. 4 Alaskan <i>Floating Breakwater</i> (Moorey, 1998)	9
Gambar 2. 5 Goodyear Scrap Tire Floating Breakwater (Moorey, 1998).....	10
Gambar 2. 6 Screen Reflector Floating Breakwater (Moorey, 1998)	10
Gambar 2. 7 Karakteristik Gelombang.....	13
Gambar 2. 8 Karakteristik Gelombang (Dean and Darymple, 1991)	14
Gambar 2. 9 Definisi Gelombang Irregular (Bhattacharyya, 1972)	15
Gambar 2. 10 Gelombang acak merupakan superposisi gelombang regular dalam jumlah ∞ (Pierson and Denis, 1953).....	17
Gambar 2.11 Berbagai karakteristik bentuk pemasangan sistem tali tambat (Mc Cartney, 1985)	25
Gambar 2. 13 Konfigurasi <i>Mooring</i> (Tirant, 1990).....	26
Gambar 2. 14 Tipe floating breakwater pada umumnya (Coastal Engineering Manual, 2005)	27
Gambar 2. 15 Bentuk-bentuk dari <i>Concrete block anchor</i> (Google-Images)	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3.2 Contoh pembuatan model <i>hexaagonal</i> dengan menggunakan 3D printing (Google-Images)	33
Gambar 3. 3 Sketsa pembuatan model <i>hexagonal floating breakwater</i>	33
Gambar 3. 4 Penempatan model uji pada <i>wave flume</i>	34
Gambar 3. 5 Ukuran dimensi permodelan fisik dalam cm	39
Gambar 3. 6 Desain pengujian model <i>Concrete block anchor</i> yang tertancap sensor Load Cell.....	40
Gambar 3. 7 Sketsa peletakan pengujian model <i>floating breakwater</i> pada sudut <i>anchor</i> 45° pada tampak samping	41
Gambar 3. 8 Sketsa peletakan pengujian model <i>floating breakwater</i> pada sudut <i>anchor</i> 60° pada tampak samping	42
Gambar 3. 9 Sketsa peletakan pengujian model <i>floating breakwater</i> pada sudut <i>anchor</i> 90° pada tampak samping	42

Gambar 3. 10 Desain pengujian model <i>Concrete block anchor</i> dengan berat 500 gram....	43
Gambar 3. 11 Desain pengujian model <i>Hexagonal floating breakwater</i> tampak atas dan tampak samping	43
Gambar 3. 12 Pelat dengan kotak pengukur perpindahan anchor dan anchor pada pelat pengukur yang akan diuji coba	44
Gambar 3. 13 Tampak Atas Rencana Sistem Tambat pada Eksperimen	45
Gambar 3. 14 Tampak Samping Rencana Sistem Tambat dan Model <i>Hexagonal floating breakwater</i>	46
Gambar 3. 15 Tampak Atas Rencana <i>Concrete Block Anchor</i>	47
Gambar 4. 1 Input kalibrasi wave probe pada software wave tide meter	50
Gambar 4. 2 Hasil kalibrasi yang telah tercatat	51
Gambar 4. 3 Konfigurasi <i>load cell</i> (A), HX711 (B), dan Arduino UNO (C)	51
Gambar 4. 4 Instrumen <i>load cell</i> dan arah beban.....	52
Gambar 4.5 Beban kalibrasi 1000 g (A), 500 g (B), 200 g (C), 100 g (D), dan 50 g (E) ...	53
Gambar 4.6 Kalibrasi <i>load cell</i>	54
Gambar 4. 7 Bentuk <i>hexagonal floating breakwater</i>	55
Gambar 4. 8 Bentuk <i>concrete block anchor</i> dan sensor Load Cell.....	55
Gambar 4. 9 Konfigurasi model <i>hexagonal floating breakwater</i>	56
Gambar 4. 10 Analisis dimensi perbandingan antara $W/d^3\rho$ terhadap $Hs/g T^2$ untuk <i>hexagonal floating breakwater</i> konfigurasi model 1	61
Gambar 4. 11 Analisis dimensi perbandingan antara $W/d^3\rho$ terhadap $Hs/g T^2$ untuk <i>hexagonal floating breakwater</i> konfigurasi model 2	62
Gambar 4. 12 Analisis perbandingan berat total <i>concrete block anchor</i> terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,1 sec pada konfigurasi model 1	64
Gambar 4. 13 Analisis perbandingan berat total <i>concrete block anchor</i> terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,3 sec pada konfigurasi model 1	65
Gambar 4. 14 Analisis perbandingan berat total <i>concrete block anchor</i> terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,5 sec pada konfigurasi model 1	66
Gambar 4. 15 Analisis perbandingan berat total <i>concrete block anchor</i> terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,1 sec pada konfigurasi model 2	67
Gambar 4. 16 Analisis perbandingan berat total <i>concrete block anchor</i> terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,3 sec pada konfigurasi model 2	68
Gambar 4. 17 Analisis perbandingan berat total <i>concrete block anchor</i> terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,5 sec pada konfigurasi model 2	69

Gambar 4. 18 Tegangan tali pada <i>hexagonal floating breakwater</i> konfigurasi model 1 dengan sudut <i>mooring</i> 45°	70
Gambar 4. 19 Tegangan tali pada <i>hexagonal floating breakwater</i> konfigurasi model 2 dengan sudut <i>mooring</i> 45°	71

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perencanaan skala model untuk prototype	40
Tabel 3.2 Geometri struktur anchor untuk beberapa tipe anchor	40
Tabel 3.3 Perencanaan desain pengujian model <i>hexagonal floating breakwater</i> di <i>wave flume</i>	41
Tabel 4.1 Daftar pengujian model dengan menggunakan gelombang irregular.....	58
Tabel 4.2 Variabel-variabel analisis dimensi <i>concrete block anchor</i>	59
Tabel 4.3 Berat total Anchor untuk variasi tinggi gelombang serta periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,1 pada konfigurasi model 1	64
Tabel 4.4 Berat total Anchor untuk variasi tinggi gelombang serta periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,3 pada konfigurasi model 1	65
Tabel 4.5 Berat total Anchor untuk variasi tinggi gelombang serta periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,5 pada konfigurasi model 1	66
Tabel 4.6 Berat total Anchor untuk variasi tinggi gelombang serta periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,1 pada konfigurasi model 2.....	67
Tabel 4.7 Berat total Anchor untuk variasi tinggi gelombang serta periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,3 pada konfigurasi model 2.....	68
Tabel 4.8 Berat total Anchor untuk variasi tinggi gelombang serta periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,5 pada konfigurasi model 2.....	69

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

A	: Amplitudo adalah jarak antara puncak atau titik tertinggi gelombang atau titik rendah gelombang dengan muka tenang ($H/2$).
B	: Lebar Floaters (m)
C	: Cepat rambat gelombang
d	: Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
Ds	: Draft struktur (m)
Dw	: Kedalaman air (m)
Ei	: Energi masing-masing gelombang sinusoidal (joule/m)
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
H	: Tinggi gelombang (m)
Hs	: Tinggi gelombang signifikan (m)
L	: Panjang gelombang, jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan (m)
Lw	: Panjang gelombang (m)
Ms	: Massa struktur per satuan panjang (Kg)
T	: Periode Gelombang (sec)
Tm	: Tegangan Tali Mooring (kg)
Tp	: Periode puncak (detik)
Tc	: Periode semu
Tr	: Periode lintas nol semu
W	: Berat Concrete block anchor (kg)
α	: Sudut antara mooring dengan floaters
ρ	: Berat Jenis Air (kg/m^3)
γ	: <i>Peakness</i> parameter dengan harga 3.3

τ	: <i>Shape</i> parameter
ζ	: Elevasi gelombang
ζ_a	: Amplitude gelombang semu
$(\gamma_a)_m$: Rapat massa model (kg/m^3)
$(\gamma_a)_p$: Rapat massa prototipe (kg/m^3)
$(\gamma_w)_m$: Rapat massa air tawar (kg/m^3)
$(\gamma_w)_p$: Rapat massa air laut (kg/m^3)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya terdiri dari lautan dimana luas daerah perairannya mencapai 62% dari keseluruhan luas wilayah NKRI. Abrasi merupakan sebuah masalah yang sering terjadi di hampir seluruh wilayah pesisir pantai Indonesia. Kerusakan lingkungan tersebut akan bertambah banyak seiring berjalannya waktu. Setidaknya 40 persen dari 81.000 wilayah pantai di Indonesia rusak karena adanya abrasi tersebut. Beberapa tahun belakangan ini pesisir pantai pun mengalami pengikisan dan penyempitan wilayah yang cukup parah.

Pada beberapa tahun belakangan ini dengan berkembangnya pembangunan di daerah pesisir seperti pelabuhan dan pariwisata pantai, membuat abrasi menjadi masalah yang sangat serius untuk menjaga agar wilayah pembangunan tersebut tidak mengalami penyempitan. Abrasi merupakan proses pengikisan wilayah garis pantai oleh gerusan air laut, yang disebabkan oleh tenaga gelombang dan arus laut yang bersifat merusak. Oleh karena itu, sangat dibutuhkan pembangunan struktur pantai yang berupaya meredam energi yang akan merusak untuk menjaga garis pantai agar tidak mundur. Salah satu struktur pantai yang dapat meredam energi gelombang dan melindungi pantai dari abrasi adalah struktur *breakwater*. Karena struktur *breakwater* sangat efektif digunakan sebagai pelindung pantai terhadap abrasi dan erosi dengan meredam energi gelombang yang melewatinya sehingga menjadi lebih kecil pada saat mencapai pesisir pantai.

Terdapat dua jenis *breakwater* yaitu *bottom-founded* dan *floating breakwater*. Pada umumnya tipe *bottom-founded* digunakan di daerah perairan yang dangkal dan sangat umum digunakan (Abul-Azm, 1993; Franco et al., 1996). Pada kondisi perairan yang dalam, *floating breakwater* merupakan solusi terbaik untuk digunakan (Zhang and Mercier, 2005). Beberapa tahun belakangan ini telah banyak penelitian dan perkembangan dari struktur pantai penahan gelombang ini (*breakwater*). Bahkan struktur penahan gelombang secara terapung (*floating breakwater*) telah dikembangkan dan mengalami perkembangan yang sangat pesat

biasa. *Floating breakwater* hadir sebagai solusi alternatif terhadap pemecah gelombang konvensional (*bottom-founded*). Dapat digunakan secara efektif di daerah pesisir dengan kondisi gelombang yang ringan, kondisi tanah dan lingkungan yang kurang baik, kedalaman laut yang cukup dalam, fenomena erosi pantai yang sering terjadi, serta pertimbangan estetika mendukung penerapan struktur *Floating breakwater* (McCartney, 1985).

Pemecah gelombang terapung (*floating breakwater*) memiliki keunggulan dibandingkan dengan yang lainnya, seperti memiliki desain yang *flexible* sehingga dapat dipindahkan dan dirakit kembali dengan layouts yang berbeda (Fousert, 2006) dan tentunya dengan biaya yang murah serta instalasi yang mudah (Hales, 1981). Ada beberapa jenis *floating breakwater* menurut (McCartney, 1985), diantaranya *box*, *pontoon*, dan *mat tethered float*. Jenis yang paling umum digunakan adalah jenis *pontoon* persegi yang dihubungkan satu dengan lainnya dan ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan kabel atau rantai yang diikat pada jangkar (*anchor*) yang berada di dasar laut. Sebuah *floating breakwater* yang ditambatkan harus diperhitungkan dengan efektif sehingga dapat meredam energi gelombang dengan baik dan *mooring* yang digunakan harus sesuai dengan tipe dasar laut karena dapat menjaga kondisi letak struktur tetap pada posisi yang ditentukan mengingat struktur tersebut rentan berpindah.

Concrete block anchor merupakan salah satu jenis *anchor* yang sering digunakan pada *floating breakwater*. Penggunaan *concrete* sebagai *anchor* merupakan tipe jangkar yang berbeda dari banyaknya tipe jangkar baja yang tersedia secara komersial (Sinker, 1986). Penggunaan *concrete* sebagai *anchor* dapat berfungsi secara optimal untuk menjaga stabilitas dari *floating breakwater* tersebut. Jika dibandingkan dengan *steel anchor*, maka *concrete anchor* lebih mudah dalam segi pembuatan maupun perawatannya serta lebih ekonomis juga. Pemilihan *concrete* juga untuk menghindari korosi terhadap *steel anchor* yang sering terjadi.

Pada penelitian kali ini akan dimodelkan secara fisik *hexagonal floating breakwater* serta *mooring line* pada gelombang *irregular* dengan variasi terhadap tinggi gelombang (H), periode (T), sarat air (d) serta konfigurasi sistem *mooring*

dan struktur. Data berupa berat *anchored* yang berfungsi untuk mengetahui kestabilan *hexagonal floating breakwater*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan diambil dalam penelitian mengenai *hexagonal floating breakwater* ini meliputi :

1. Berapakah berat anchor yang sesuai agar *hexagonal floating breakwater* tetap stabil melalui percobaan dengan variasi sudut *mooring*, periode tinggi gelombang dan konfigurasi *hexagonal floating breakwater* ?
2. Berapakah nilai tertinggi tegangan tali tambat pada *anchor* agar *hexagonal floating breakwater* tetap stabil melalui percobaan dengan variasi sudut *mooring*, periode tinggi gelombang dan konfigurasi *hexagonal floating breakwater* ?
3. Konfigurasi *hexagonal floating breakwater* mana yang memberikan hasil optimal dari beberapa model konfigurasi yang akan diuji ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini dengan permasalahan yang telah diambil adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui berat *anchor* yang sesuai agar *hexagonal floating breakwater* stabil sesuai dengan variasi sudut *mooring*, periode, tinggi gelombang, dan konfigurasi *hexagonal floating breakwater*.
2. Mengetahui nilai tertinggi tegangan tali tambat pada *anchor* agar *hexagonal floating breakwater* stabil sesuai dengan variasi sudut *mooring*, periode, tinggi gelombang, dan konfigurasi *hexagonal floating breakwater*.
3. Mengetahui konfigurasi yang efektif dari beberapa model *hexagonal floating breakwater* yang akan diuji.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan bisa diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui berapa berat anchor yang optimal terhadap *hexagonal floating breakwater* agar struktur stabil sehingga dapat memaksimalkan anggaran

dalam pembuatan anchor dan mengurangi resiko-resiko pada saat pengaplikasian dan pengoperasiannya.

2. Mengetahui konfigurasi yang paling optimal pada *hexagonal floating breakwater* agar pada saat operasi sesuai dengan apa yang diinginkan.
3. Hasil yang didapatkan dapat dimanfaatkan oleh suatu instansi yang akan menerapkan perlindungan wilayah pesisir terhadap abrasi.
4. Memberikan informasi tentang konfigurasi *hexagonal floating breakwater* yang mempunyai hasil paling optimal.
5. Bentuk *hexagonal floating breakwater* dapat dimanfaatkan sebagai dermaga apung, jembatan apung, dan keramba.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Percobaan model *hexagonal floating breakwater* dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut pada kolam gelombang (*flume tank*) Departemen Teknik Kelautan.
2. Model yang digunakan dalam percobaan menggunakan bahan PLA (*Polylactic Acid*)
3. Variasi sudut *mooring*, tinggi dan periode gelombang serta konfigurasi *hexagonal floating breakwater* sesuai dengan skenario pengujian.
4. Studi eksperimen menggunakan sistem tambat *taut* berjumlah 4 *lines*.
5. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang *irregular* dengan spektrum gelombang *Jonswap*.
6. Beban arus, beban angin, massa jenis *mooring*, dan berat jenis *mooring* diabaikan.
7. Kekakuan dan *Properties* tali tambat diabaikan.
8. Dasar *wave flume* dianggap rata dan interaksi antara sistem tambat dengan dasar tanah diabaikan.
9. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis geometri dan kekuatan struktur *hexagonal floating breakwater*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Floating Breakwater

Struktur perlindungan pantai telah banyak berkembang sesuai dengan kebutuhan serta mengikuti perkembangan teknologi. Salah satu struktur perlindungan pantai itu sendiri antara lain *breakwater*. Secara garis besar terdapat dua jenis konstruksi *breakwater* yaitu *shore-connected breakwater* (pemecah gelombang sambung pantai) dan *offshore breakwater* atau pemecah gelombang lepas pantai. *shore-connected breakwater* merupakan jenis struktur yang berhubungan langsung dengan pantai atau daratan, sedangkan *offshore breakwater* adalah konstruksi *breakwater* yang tidak berhubungan dengan garis pantai dan dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Penggunaan jenis pemecah gelombang *offshore breakwater* tergantung pada kedalaman air normal, pasang surut, kondisi tanah, dan parameter lainnya (McCartney, 1985).

Floating breakwater ataupun yang biasa sering dikenal dengan *floating breakwater* ataupun *offshore breakwater* adalah sebuah struktur yang dibangun untuk melindungi pesisir pantai dari abrasi ataupun erosi karena mengurangi intensitas terkena hempasan gelombang. *Floating breakwater* berfungsi mereduksi atau menyerap energi gelombang sehingga tinggi gelombang berkurang pada saat mendekati pantai (Fousert, 2006). Tapi struktur ini tidak dapat menghentikan seluruh gaya dari gelombang seperti transmisi, refleksi, dan dissipate gelombang.

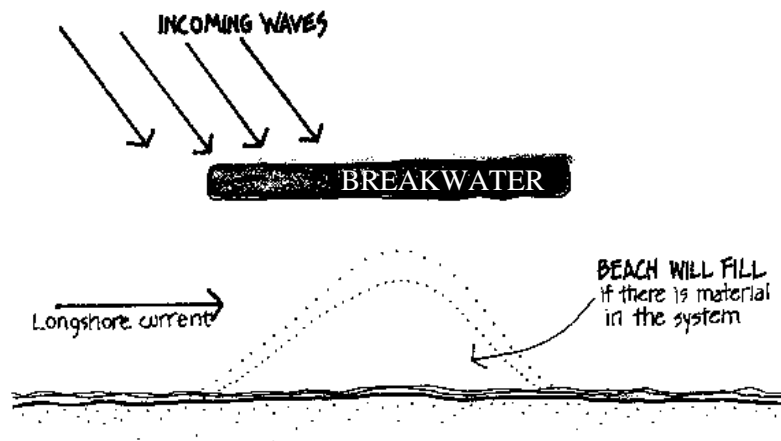
Menurut Jones (1971), mengungkapkan bahwa sebuah penahan gelombang yang ideal memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut :

1. Memiliki kinerja yang baik dalam mereduksi energi gelombang yang datang.
2. Mempunyai mobilitas yang tinggi.
3. Instalasi yang cepat dan mudah serta removal yang tidak rumit
4. Struktur yang digunakan harus aman pada kondisi badai
5. Ekonomis

Penggunaan Floaton (HDPE) sebelumnya digunakan untuk membuat keramba ikan dan dermaga apung. Ditinjau dari pounton nya selama ini kerap dibuat sebagai penyusun dari struktur *floating breakwater* karena floaton relatif lebih ringan dan anti korosi, serta mudah dalam mobilisasi dan demobilisasi selama pelaksanaan di lapangan. Selain budidaya ikan diatas floton juga bisa langsung digunakan untuk meningkatkan pemenuhan kebutuhan infrastruktur dermaga/jetty apung dan pemecah gelombang untuk pengembangan pulau-pulau kecil yang jumlahnya ribuan di berbagai pelosok Indonesia (Armono, Supriadi, dan Yuniardo, 2009).

Pada umumnya *floating breakwater* diletakkan sejajar dengan pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan berfungsi untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang yang dapat mengakibatkan erosi pada pantai. Selain itu penahan gelombang yang ideal adalah bangunan yang tidak merusak lingkungan serta keindahan pantai itu sendiri (Yuwono, et al., 1997). Menurut Fousert (2006), penelitian teoritis membuktikan bahwa struktur *floating breakwater* mampu mereduksi gelombang dengan sangat baik ketika tata letak struktur yang optimal, dan tidak merusak lingkungan pantai.

Perlindungan oleh *floating breakwater* terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di perairan setelah melewati bangunan tersebut. Berkurangnya energi gelombang didaerah terlindungi akan mengurangi transport sedimen didaerah tersebut. Pengaruh *floating breakwater* terhadap perubahan bentuk garis pantai terjadi apabila garis puncak gelombang pecah sejajar dengan garis pantai asli, terjadi difraksi di daerah terlindungi di belakang bangunan, dimana garis puncak gelombang membelok dan membentuk busur lingkaran. Perambatan gelombang yang terdifraksi tersebut disertai dengan angkutan sedimen menuju ke daerah terlindung dan diendapkan di perairan di belakang bangunan. Pengendapan sedimen tersebut menyebabkan cusplate di belakang bangunan (Triatmodjo, 1999).



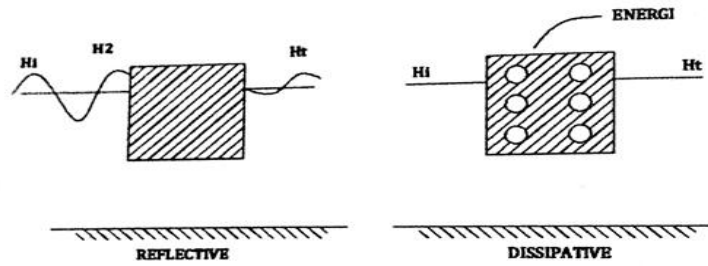
Gambar 2. 1 Pembentukan Cusate

2.1.2 Klasifikasi Floating Breakwater

Floating breakwater merupakan solusi alternatif untuk melindungi daerah dari serangan gelombang dibandingkan dengan pemecah gelombang konvensional yang tetap. *Floating breakwater* bisa lebih memungkinkan digunakan dimana kondisi tanah yang buruk daripada struktur pemecah gelombang konvensional yang tetap karena *floating breakwater* tidak menyebabkan adanya tekanan tanah yang bisa menyebabkan sliding yang berakibat terjadinya kegagalan struktur, tapi bagaimanapun *floating breakwater* harus menggunakan *anchored* yang ditaruh didasar laut (Fousert, 2006).

Berdasarkan PIANC (1994), *floating breakwater* dapat dibagi secara skematis menjadi dua :

1. Reflective structures yang berfungsi merefleksikan gelombang yang terjadi, sehingga energi gelombang yang melewati *floating breakwater* menjadi kecil.
2. Dissipative structure dimana besarnya energi gelombang yang terjadi dihancurkan dengan gesekan, turbulensi, dan lain-lain.

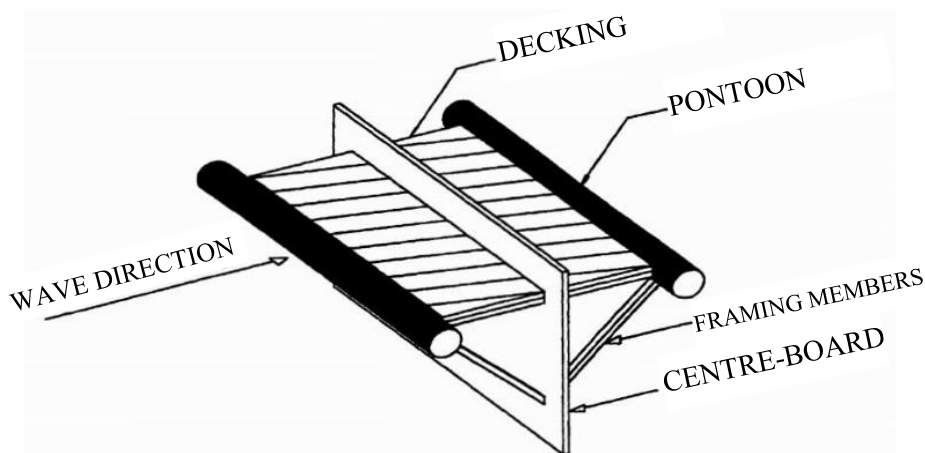


Gambar 2. 2 Struktur *Reflective* dan *Dissipative* (PIANC, 1994)

Sistem *floating breakwater* mengurangi insiden ketinggian gelombang dengan konversi energi gelombang melalui refleksi, transformasi dan disipasi. Pengurangan energi dengan metode ini dapat bertindak di alam yang tunggal atau dalam kombinasi dari satu, dua, atau tiga model. Sehingga *floating breakwater* menurut (Moorey, 1998) diklasifikasikan menjadi empat berdasarkan metode redaman gelombang sebagai berikut :

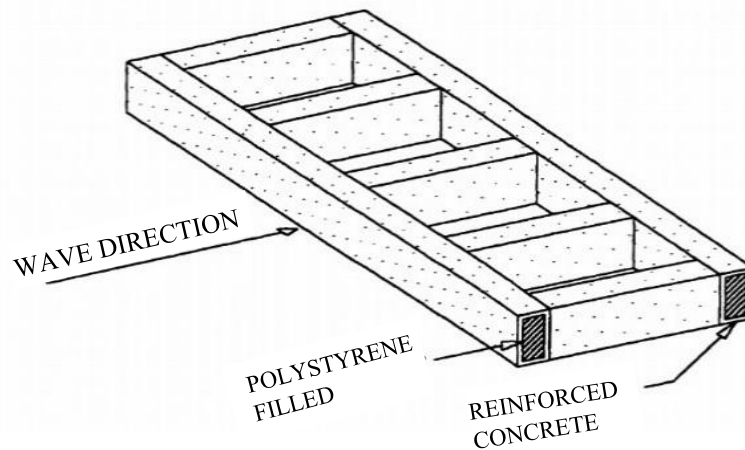
1. Refleksi

Refleksi pada pemecah gelombang memanfaatkan permukaan vertikal ataupun permukaan miring pada struktur untuk merefleksikan energi gelombang datang yang akan dipantulkan kembali ke laut. Efisiensi merupakan hal paling sensitif terhadap peristiwa tinggi dan periode gelombang, kedalaman dan sudut permukaan yang direfleksikan dan stabilitas struktur secara keseluruhan.



2. Transformasi

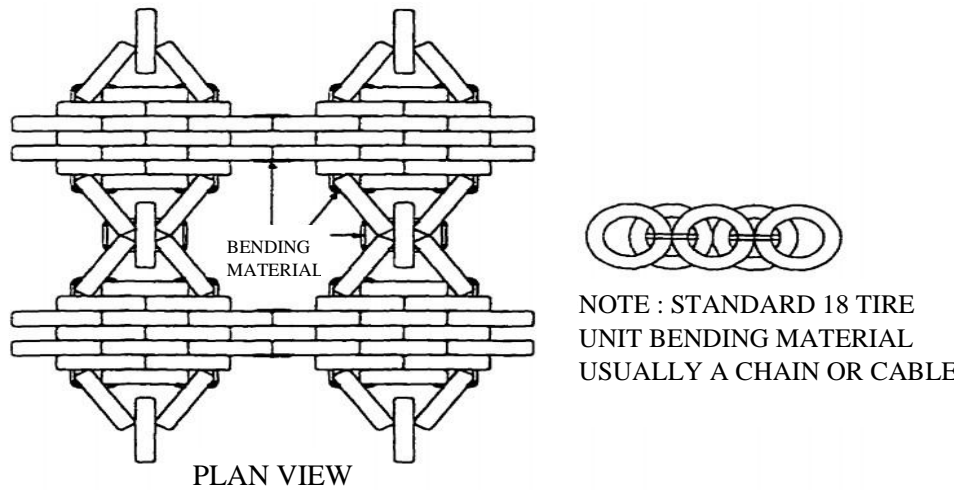
Transformasi pemecah gelombang merubah peristiwa energi gelombang melalui respon gerak menjadi sederetan gelombang sekunder dari berbagai ketinggian dan periode. Efisiensi tertinggi terjadi pada saat pancaran sederetan gelombang sekunder keluar dari fase yang menyertai gelombang. Redaman dipengaruhi oleh massa, periode alami gerak, dan lebar struktur untuk panjang gelombang (WCHL, 1981). Derajat pembatasan yang diberikan oleh sistem penahan tidak sekrusial untuk menunjukkan kinerja seperti pemecah gelombang reflektif (EDCL, 1991). Konsep dikelompokkan dalam metode redaman ini termasuk rakit Caissons dan Log / bundel.



Gambar 2. 4 Alaskan *Floating Breakwater* (Moorey, 1998)

3. Disipasi

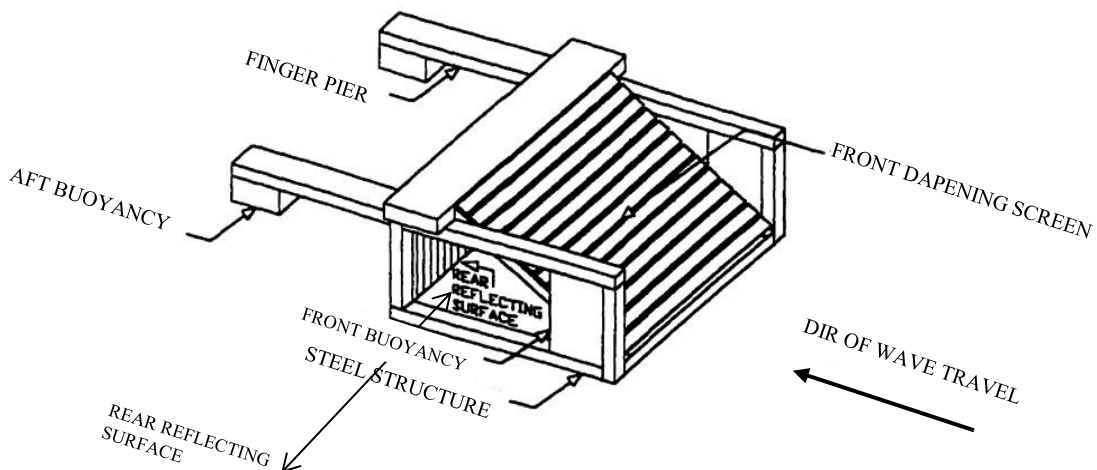
Pemecah gelombang disipatif merubah energi gelombang menjadi panas, suara, turbulensi maupun gesekan dengan memecah gelombang pada permukaan miring maupun berlawanan dengan member struktural. Efisiensi diatur terutama melalui geometri dan kekangan *mooring* (WCHL, 1981). Hal ini telah digunakan terbatas dalam meredam gelombang dengan bermacam-macam tinggi signifikan tetapi telah digunakan secara ekstensif dalam meredam angin hasil perambatan (EDCL, 1991). Sistem yang termasuk dalam klasifikasi ini adalah scrap tires, Tethered Float, Fleksibel Membran, dan Turbulensi Generator.



Gambar 2. 5 Goodyear Scrap Tire Floating Breakwater (Moorey, 1998)

4. Hibrid

Ketiga mekanisme redaman gelombang (refleksi, transformasi, dan disipasi) adalah untuk penyatuan beberapa derajat ke dalam setiap *floating breakwater*. Beberapa sistem sangat bergantung pada kombinasi ini. Pemecah gelombang ini adalah hibrida, menerapkan mekanisme peredaman gelombang secara bersamaan dan / maupun secara berturut-turut untuk menjadi efektif. Sistem *floating breakwater* yang paling umum digunakan dalam sistem hybrid termasuk *Sloping Float*, *Screen Reflector*, dan *Centerboard Caisson*.



Gambar 2. 6 Screen Reflector Floating Breakwater (Moorey, 1998)

2.1.3 Keuntungan dan Kerugian Floating Breakwater

Suatu desain penahan gelombang akan memiliki dampak keuntungan dan kerugian yang diakibatkan, walaupun banyak penelitian menyatakan floating breakwater memiliki banyak segi positif, namun *floating breakwater* juga memiliki kekurangan ataupun kerugian yang juga harus dipertimbangkan (Hales, 1981 ; McCartney, 1985 ; Tsinker, 1995 ; Fousert, 2006)

1. Keuntungan Floating Breakwater

- 1) *Floating breakwater* lebih ekonomis dibandingkan dengan *fixed breakwater* untuk perairan dengan kedalaman diatas 10 ft.
- 2) *Floating breakwater* lebih mobilitas dalam pemindahannya dan dimodifikasi, dapat digunakan kembali serta transportasi dan fleksibilitas yang efektif dalam desain.
- 3) *Floating breakwater* dapat memiliki nilai estetika dibandingkan *fixed breakwater*.

2. Kerugian Floating Breakwater

- 1) *Floating breakwater* tidak terlalu efektif dalam mengurangi tinggi gelombang untuk gelombang kecil dibandingkan *fixed breakwater*.
- 2) Jika dibandingkan dengan *breakwater* pada umumnya, *floating breakwater* lebih membutuhkan biaya pemeliharaan yang besar.
- 3) *Floating breakwater* memiliki keterbatasan dalam meredam gelombang tinggi dengan rentang frekuensi yang terbatas.

2.1.4 Anchor Floating Breakwater

Pemilihan sebuah *anchor* untuk *floating dock* harus mempertimbangkan beberapa kriteria seperti berikut (Sinkler, 1986) :

- 1) Kondisi didasar laut serta kedalaman laut.
- 2) Besarnya beban *anchor*.
- 3) Potensi drag pada *anchor*.
- 4) Pengaruh beban siklik pada dasar tanah.
- 5) *Anchor* harus diganti atau tidak
- 6) Biaya *anchor* untuk instalasi dan pemeliharannya.

Penggunaan concrete pada anchor bertujuan untuk menambah stabilitas pada *floating breakwater* dan bertujuan untuk mengurangi biaya instalasi serta maintenance dibandingkan dengan penggunaan *steel anchor* (Kim et al, 2001). Beberapa penelitian sebelumnya belum banyak yang membahas mengenai pengaruh *anchor* pada *floating breakwater*, beberapanya lebih banyak membahas mengenai pengaruh *mooring* pada *floating dock* seperti Loukogergaki dan Demos (2005) yang menganalisis kekakuan *mooring* pada *floating breakwater* dan masih banyak lagi peneliti-peneliti yang membahas mengenai *mooring* pada *floating breakwater*. Sedangkan pada anchor hanya sedikit seperti Kartapari (2010) yang menganalisis *sandbag* sebagai *anchor* pada *floating breakwater zig-zag*. Kesimpulannya bawah semakin tinggi gelombang yang mengenai suatu struktur *floating breakwater* maka berat *anchor* yang dibutuhkan akan semakin berat, serta semakin tinggi sarat air yang mengenai struktur *floating breakwater* maka semakin berat juga *anchor* yang dibutuhkan.

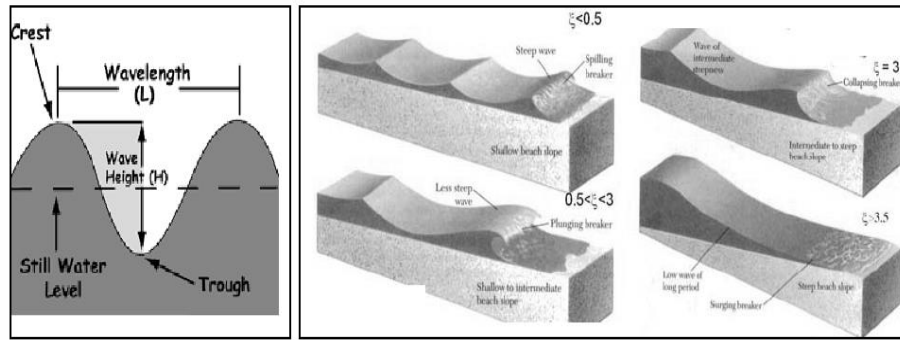
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Karakteristik Gelombang

Menurut Triatmodjo (1999) pengelompokkan gelombang laut berdasarkan gaya pembangkitnya dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

- 1) Gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut
- 2) Gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi
- 3) Gelombang tsunami yang terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut.

Suatu gelombang biasanya digolongkan berdasarkan ketinggian dan panjangnya (lihat Gambar 2.7-a), parameter tersebut menunjukkan bagaimana suatu gelombang mendekati pantai dan sebagai contoh, bagaimana suatu gelombang akan pecah di pantai. Tentu saja, hal ini tidak hanya ditentukan oleh parameter gelombang, tapi juga oleh profil pantai. Ilustrasi jenis pecahan yang berbeda ditunjukkan di Gambar 2.7-b.



a.

b.

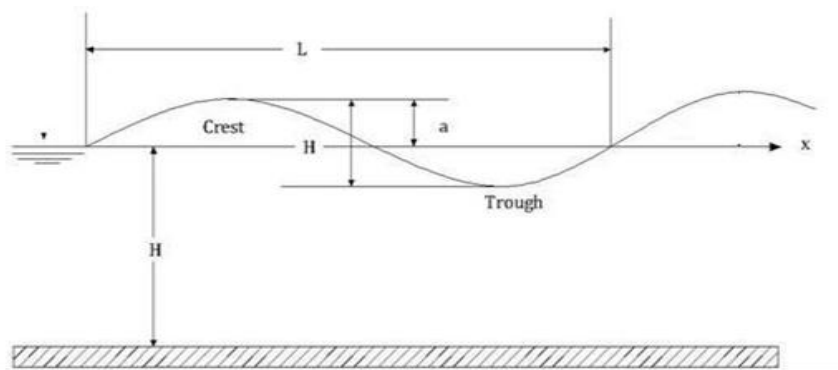
(Parameter Tinggi Gelombang)

(Pecahan Gelombang Mendekati Pantai)

Gambar 2. 7 Karakteristik Gelombang

Parameter parameter yang lain seperti kecepatan dan percepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok diatas :

- Periode Gelombang (T) adalah waktu yang dibutuhkan oleh lembah gelombang atau dua puncak gelombang yang berurutan melewati titik tertentu.
- Panjang Gelombang (L) adalah jarak horizontal antara kedua titik tertinggi gelombang yang berurutan, atau bisa dikatakan sebagai jarak antara dua puncak gelombang.
- Kecepatan Rambat Gelombang (Celerity) (C) merupakan perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang (L/T). Ketika gelombang air menjaral dengan kecepatan C, partikel air tidak turut bergerak ke arah perambatan gelombang
- Amplitudo (a) adalah jarak antara puncak atau titik tertinggi gelombang atau titik rendah gelombang dengan muka tenang ($H/2$) (Pratikto,Armono, dan Suntoyo, 1996) .

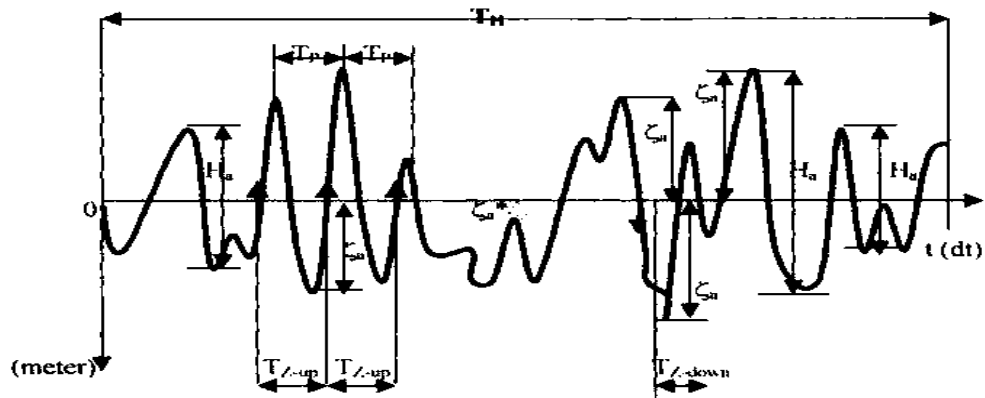


Gambar 2. 8 Karakteristik Gelombang (Dean and Darymple, 1991)

1. Gelombang Acak (*Irregular Wave*)

Secara umum gelombang dilaut sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan dalam bentuk matematis, hal ini diakibatkan oleh tidak linearnya tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak. Dimana suatu deret gelombang memiliki tinggi dan periode yang berbeda. Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang acak (*irregular*) memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- 1) Permukaan gelombang yang tidak beraturan, selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung oleh kecepatan angin
- 2) Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan
- 3) Dari interval ke interval, pola atau bentuk gelombang *irregular* tidak pernah berulang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9 dibawah ini:



Gambar 2. 9 Definisi Gelombang Irregular (Bhattacharyya, 1972)

Dimana :

γ = elevasi gelombang

γ_a = amplitude gelombang semu (apparent wave amplitude)

H = tinggi gelombang semu (apparent wave height)

T_r = periode lintas nol semu (apparent zero crossing period)

T_c = periode semu (apparent period)

Pengukuran gelombang acak dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Untuk *zero upcrossing method* hal pertama yang perlu dilakukan adalah menetapkan titik nol, dimana titik nol ini adalah elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan. Pemberian tanda titik perpotongan antara kurva naik dan garis nol, kemudian titik tersebut ditetapkan sebagai awal dari satu gelombang. Jarak antar kedua titik tersebut adalah periode gelombang pertama (T_1). Sedangkan jarak vertikal antara titik tertinggi dan terendah diantara kedua titik tersebut adalah tinggi gelombang pertama (H_1). Selanjutnya dilakukan penelusuran lagi untuk mendapatkan gelombang kedua, ketiga dan seterusnya.

Metode *zero downcrossing* mempunyai prosedur yang sama, tetapi titik yang dicatat adalah pertemuan antara kurva turun dan garis nol (Triatmodjo, 2011). Dalam pencatatan gelombang *irregular* dengan luaran berupa tinggi gelombang signifikan (H_s) atau $H_{1/3}$ dari jumlah gelombang yang tercatat menjadi :

$$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j \dots\dots\dots (2.1)$$

$$T_s = T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_j \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana j adalah data yang diurutkan sesuai tinggi gelombang. Selain Hs ada juga gelombang yang biasanya digunakan dalam perancangan yaitu H1/10 (tinggi gelombang rata-rata pada satu persepuluh data gelombang tertinggi).

Gelombang *irreguler* tidak dapat didefinisikan menurut pola atau bentuknya, tetapi menurut energi total dari semua gelombang yang membentuknya (Bhattacharya, 1972).

$$E_T = \sum E_i \dots\dots\dots (2.3)$$

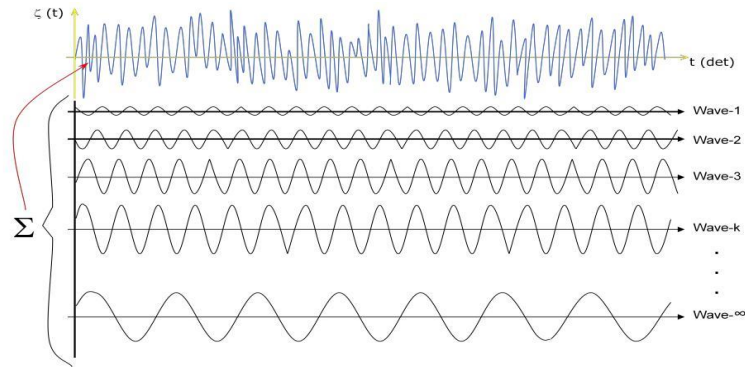
atau dalam bentuk lain :

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g \sum \xi a_i \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

- ET = energi total (joule/m)
- Ei = energi masing-masing gelombang sinusoidal (joule/m)
- p = densitas air laut (kg/m³)
- g = percepatan gravitasi (m/dt²)
- ξ a i = amplitudo gelombang (m)
- ξ a i = amplitudo gelombang (m)

Sehingga gelombang di laut dapat dinyatakan menurut distribusi energi terhadap frekuensi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang. Distribusi energi gelombang menurut frekuesinya disebut spektrum gelombang.



Gambar 2. 10 Gelombang acak merupakan superposisi gelombang regular dalam jumlah ∞ (Pierson and Denis, 1953)

2. Spektrum Gelombang JONSWAP

Perancangan bangunan laut seharusnya didasarkan pada spektra gelombang yang dihasilkan dari data gelombang setempat. Dalam hal spektra atau data gelombang setempat tidak tersedia, maka dipilih formulasi spektra gelombang yang sesuai (perairan terbuka, perairan tertutup, efek angin, geografis, dll) (Djarmiko, 2007). Pada tugas akhir ini akan digunakan spektrum gelombang Jonswap yang merupakan modifikasi dari spektrum Pierson-Moskowitz (PM). Spektrum parameter tunggal yang paling sering digunakan adalah model Pierson-Moskowitz yang berdasarkan pada tinggi gelombang signifikan atau kecepatan angin. Selain itu beberapa spektrum parameter ganda yang bisa digunakan adalah Bretschneider, Scott, ISSC. Sedangkan spektrum JONSWAP merupakan spektrum yang menggunakan lima parameter, namun biasanya tiga diantaranya adalah konstan. Model spectral yang lebih kompleks lagi adalah model yang diciptakan oleh Ochi dan Hubble dengan menggunakan enam parameter. Spektrum ini menggambarkan dua puncak pada spektrum energi

Spektra JONSWAP dikemukakan oleh Hasselman (1973) berdasarkan percobaan yang dilakukan di North Sea (Murdjito, 1996). Formula atau persamaan untuk spektrum JONSWAP dapat ditulis dengan modifikasi dari persamaan P-M, yaitu :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[\frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2\tau^2 \omega_0^2} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$$\gamma = \text{peak edness parameter (3.3)}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \text{shape parameter} \\ &= 0.07, \text{ jika } \omega \leq \omega_0 \\ &= 0.09, \text{ jika } \omega \geq \omega_0 \end{aligned}$$

$$\alpha = 0.076 (x_0)^{-0.22}$$

ketika x tidak diketahui maka $\alpha = 0.00819$

$$\omega_0 = 2\pi(g/u\omega_0)(x_0)^{-0.33}$$

$$x_0 = gx/u\omega_0^2$$

$$\omega_0^2 = 0.161 \text{ g/H}_s$$

2.2.2 Pemodelan Fisik

Dalam merancang atau mendesain suatu bangunan laut digunakan beberapa metode salah satunya adalah pemodelan fisik. Pemodelan fisik dapat dikatakan sebagai percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similaritas yang cukup memadai. Pemodelan fisik dilakukan apabila fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe sulit untuk diperoleh karena berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat variabel alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Hasil visualisasi tersebut mungkin merupakan hal yang tidak bisa dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993)

Keuntungan digunakan pemodelan fisik ini antara lain model fisik mengintegrasikan semua persamaan pembangkit suatu proses tanpa adanya penyederhanaan asumsi, menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat variabel alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Di laboratorium kondisi model bisa diatur dan dikontrol sesuai dengan yang dikehendaki. Pemindahan ke laboratorium ini tentunya harus memenuhi kesebangunan dan pertimbangan dimensi secara

benar. Diharapkan bentuk model fisik yang dibuat bisa mewakili perilaku aslinya walaupun hanya dalam bentuk pendekatan. Pemandangan dilakukan kadang-kadang dengan menggunakan pengecilan ukuran (skala) sesuai dengan fasilitas laboratorium. Hal yang harus diperhatikan adalah adanya kesamaan parameter-parameter dominan antara model dengan prototipe, agar perilaku model bisa diinterpretasikan kembali ke prototipe.

Studi model dimaksudkan untuk meneruskan segala permasalahan yang ada di prototipe ke suatu model yang dapat dibuat dan dikontrol di laboratorium. Tugas dan peranan model diantaranya adalah:

- 1) Meramalkan kemungkinan yang akan terjadi setelah bangunan dibuat
- 2) Mendapatkan suatu tingkat keyakinan yang tinggi akan keberhasilan suatu perencanaan bangunan
- 3) Mengetahui dan meramalkan penampilan bangunan serta pengaruhnya terhadap lingkungan

2.2.3 Kelebihan dan Kekurang Pemodelan Fisik

1. Kelebihan Pemodelan Fisik

Model fisik digunakan untuk memodelkan fenomena pantai yang dihasilkan dalam perhitungan analisis. Menurut Dean dan Dalrymple (1991) menyatakan bahwa terdapat dua keuntungan dari pemodelan fisik, yaitu :

- 1) Dalam pemodelan fisik, persamaan yang dipakai tanpa menyederhanakan asumsi yang biasanya digunakan untuk model analitis atau numerik.
- 2) Dari segi biaya, dengan adanya model dalam skala kecil akan mempermudah pencatatan dan pengumpulan data. Biaya yang kecil dibandingkan dengan pencatatan dan pengumpulan data di lapangan langsung.
- 3) Mempermudah dalam mengumpulkan data karena langsung pengujian di dalam laboratorium dengan skala kecil.
- 4) Kebebasan dalam melakukan percobaan yang mensimulasikan keadaan yang ada di alam dengan bervariasi.

5) Penggunaan permodelan fisik adalah alternatif untuk meneliti dan memverifikasi penyelesaian dalam bidang rekayasa teknik pantai.

2. Kekurangan Pemodelan Fisik

Pemodelan fisik juga terdapat beberapa kesalahan (*error*) dalam pengujian dan hasilnya yang mungkin terjadi (Hughes, 1993) yaitu :

1. Efek laboratorium yang dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan kalau tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipenya. Karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistis serta adanya pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses simulasinya.
2. Efek skala yang terjadi karena dalam proses pembuatan model yang lebih kecil dari prototipe aslinya sehingga tidak mungkin memodelkan semua variabel yang relevan dalam hubungan yang benar satu sama lainnya. Dapat diumpamakan adanya efek skala ini sama dengan adanya penyederhanaan asumsi pada pemodelan numerik.
3. Pemodelan fisik ini relatif mahal daripada pemodelan numerik. Hasil yang handal maka tentu saja pilihan akan jatuh ke pemodelan numerik.
4. Kurangnya fungsi gaya dan kondisi alam yang tidak diikuti sertakan dalam pemodelan fisik. Seperti adanya gaya geser angin yang bekerja pada permukaan air yang menyebabkan terjadinya arus. Tetapi biasanya hanya dimodelkan pembangkit gaya gelombang saja.

2.2.4 Sebangun Geometrik

Kesebangunan geometrik dipenuhi apabila bentuk prototipe sebangun. Hal ini berarti bahwa perbandingan semua ukuran panjang antara model dan prototipe harus sebanding. Ada dua jenis yang dapat digunakan dalam pemakaian skala model fisik hidraulika yaitu, skala model sama (*undistorted model*) dan skala model yang tidak sama (*distorted model*). Skala model sama adalah skala yang dipakai dalam pembuatan model dimana perbandingan skala mendatar dan skala tegak

adalah sama. Sedangkan skala model yang tidak sama adalah perbandingan antar skala mendatar dan skala tegak yang tidak sama. Hubungan skala yang digunakan untuk pembuatan model fisik dibedakan menjadi dua kelompok (de Vries, 1977:28) :

1. *Scale Law* merupakan hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi (dalam hal ini adalah *roughnes condition* dan *froude condition*)
2. *Scale Condition* merupakan hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi untuk menghindari *scale effect* (dalam hal ini adalah kriteria kesebangunan)

Hubungan antara model dan prototipe dipengaruhi oleh hukum-hukum sifat sebangun hidrolika. Perbandingan antara prototipe dan model disebut dengan skala model. Dalam merencanakan suatu model terdapat sifat-sifat kesebangunan model, yang amat menentukan ketelitian model tersebut. Yang dimaksudkan dengan kesebangunan tersebut adalah :

Sebangun geometris, disebut juga dengan sebangun bentuk. Yaitu perbandingan antara ukuran analog prototipe dengan model harus sama besarnya. Perbandingan yang digunakan adalah panjang, luas dan volume. Skala panjang diberikan dengan notasi n_l dan skala tinggi diberikan notasi n_h (Hughes, 1993) :

$$n_l = \frac{\text{ukuran di prototipe}}{\text{ukuran di model}} = \frac{l_p}{l_m} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$n_h = \frac{\text{tinggi di prototipe}}{\text{tinggi di model}} = \frac{h_p}{h_m} \dots\dots\dots(2.7)$$

Semua ukuran pada titik sembarang di model dan prototipe harus mempunyai skala yang sama. Sebangun geometris sempurna tidak selalu mudah dicapai, sehingga kekasaran permukaan dari model yang kecil tidak mungkin merupakan hasil dari skala model, tetapi hanya dibuat permukaan yang lebih licin daripada prototipe.

2.2.5 Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik dipenuhi apabila aliran pada model dan prototipe sebangun. Menandakan bahwa kecepatan aliran di titik-titik yang sama pada

model dan prototipe mempunyai arah yang sama dan sebanding. Berdasarkan kesebangunan kinematik dapat diberikan nilai-nilai skala:

- Skala Waktu :

$$n_T = \frac{T_p}{T_M} \quad (2.8)$$

- Skala Kecepatan :

$$n_U = \frac{U_p}{U_m} = \frac{\frac{l_p}{T_p}}{\frac{l_m}{T_m}} = \frac{n_L}{n_T} \quad (2.9)$$

- Skala Percepatan :

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{\frac{l_p}{T_p^2}}{\frac{l_m}{T_m^2}} = \frac{n_L}{n_T} \quad (2.10)$$

- Skala Debit :

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{\frac{L_p^3}{T_p}}{\frac{L_m^3}{T_m}} = \frac{n_L^3}{n_T} \quad (2.11)$$

2.2.6 Sebangun Dinamik

Sebangun dinamis, yaitu kesebangunan gaya-gaya yang terjadi bila gerakannya sebangun kinematis, dan rasio dari massa yang bergerak serta gaya penyebabnya sudah homolog besarnya. Hughes (1993), menyatakan bahwa pada bangunan pantai proses fisik yang terjadi dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Gaya-gaya tersebut meliputi gaya inersia, gaya tekan, gaya berat, gaya gesek dan gaya tegangan permukaan. Dalam penelitian ini kriteria kesebangunan yang harus dipenuhi adalah kriteria sebangun dinamik menurut kondisi bilangan froude. Bilangan froude dapat diekspresikan dengan ratio antara gaya inersia dengan gaya gravitasi.

- Gaya inersia : $F_i = \rho l^2 v^2$
- Gaya berat : $F_g = \rho l^3 g$
- Gaya gesek : $F_\mu = \mu v l$
- Gaya tegangan permukaan : $F_\sigma = \sigma l$

Dengan :

ρ	= Densitas Fluida	(M/L ³)
L	= Panjang	(L)
v	= Kecepatan	(LT ⁻¹)
g	= Percepatan Gravitasi	(LT ⁻²)
μ	= Viskositas Dinamik	(ML ⁻¹ T ⁻¹)
σ	= Tegangan Permukaan	(ML ⁻¹ T ⁻²)

Kesebangunan dinamik dapat diekspresikan sebagai perbandingan gaya-gaya tersebut diatas sebagai bilangan tek berdimensi dan dinyatakan dalam kriteria- kriteria sebagai berikut

1. Froude Number
$$\left(\frac{v}{\sqrt{gL}}\right)_p = \left(\frac{v}{\sqrt{gL}}\right)_m \quad (2.12)$$

2. Reynold Number
$$\left(\frac{\rho v L}{\mu}\right)_p = \left(\frac{\rho v L}{\mu}\right)_m \quad (2.13)$$

3. Euler Number
$$\left(\frac{P}{\sigma v^2}\right)_p = \left(\frac{P}{\sigma v^2}\right)_m \quad (2.14)$$

4. Weber Number
$$\left(\frac{\rho v^2 L}{\sigma}\right)_p = \left(\frac{\rho v^2 L}{\sigma}\right)_m \quad (2.15)$$

5. Cauchy Number
$$\left(\frac{\rho v^2}{E}\right)_p = \left(\frac{\rho v^2}{E}\right)_m \quad (2.16)$$

Rasio gaya gravitasi dan gaya inersia pada model dan prototipe harus sama yang dinotasikan sebagai berikut :

$$nF_r = \frac{n_u}{(n_L)^{0.5}} = 1 \quad (2.17)$$

Menurut Hughes (1993), Skala berat untuk armor dihitung dengan merasiokan prototipe terhadap model, hal ini dapat dinyatakan:

$$W_a = \gamma_a V \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan :

W_a = Berat armor (kg)

γ_a = Berat jenis armor (kg/m³)

V = Volume armor (m³)

Rapat massa dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$(\gamma_a)_m = (\gamma_a)_p \times \frac{(\gamma_w)_m}{(\gamma_w)_p} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan :

$(\gamma_a)_m$ = Rapat massa model (kg/m³)

$(\gamma_a)_p$ = Rapat massa prototipe (kg/m³)

$(\gamma_w)_m$ = Rapat massa air tawar (kg/m³)

$(\gamma_w)_p$ = Rapat massa air laut (kg/m³)

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai hubungan skala berat (N_{wa}) sebagai berikut (Hughes, 1993)

$$N_{wa} = N_{\gamma_a} \times N_L^3 \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan :

N_{wa} = Nilai perbandingan antara rapat massa prototipe dengan rapat massa model

Dengan demikian berat model dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$(W_a)_m = \frac{(W_a)_p}{N_{wa}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

$(W_a)_m$ = Berat model (kg)

$(W_a)_p$ = Berat prototipe (kg)

N_{wa} = Angka skala berat armor

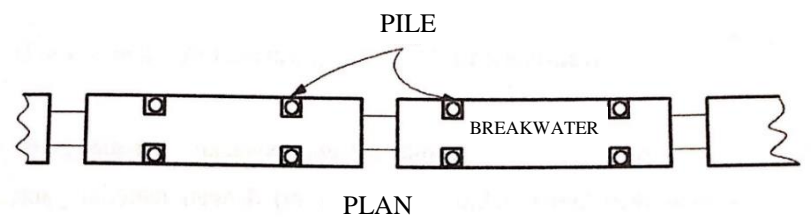
2.2.7 Sistem Mooring dan Sistem Anchor

1. Sistem Mooring

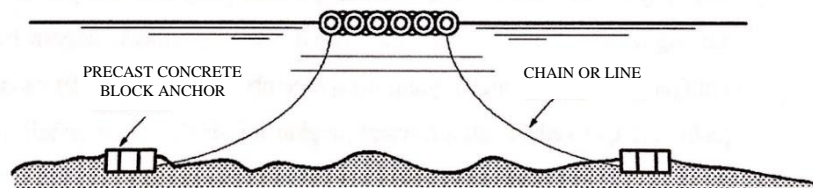
Menurut Mc Cartney, (1985) sebuah *Floating breakwater* dapat dipasang dengan tiga cara, yaitu :

- 1) *Floating breakwater* dapat dipasang dengan piling, dimana *floating breakwater* naik dan turun dengan arus tetapi tidak ada gerakan lateral.
- 2) *Floating breakwater* dapat dipasang dengan menggunakan massa konkrit atau jangkar kapal beserta talinya.
- 3) *Floating breakwater* dapat dipasang dengan menggunakan pile pancang dan talinya.

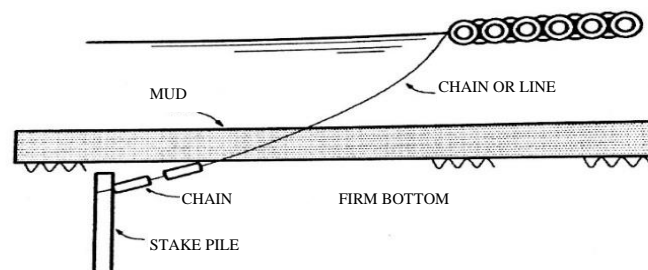
Ketiga cara ataupun tipe tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2.11



Pile Anchorage



Jangkar dan Tali



Pile Pancang dan Tali

Gambar 2. 11 Berbagai karakteristik bentuk pemasangan sistem tali tambat (Mc Cartney, 1985)

Safety Factor untuk kondisi normal pada anchoring line berkisar 3 - 4 dengan persamaan :

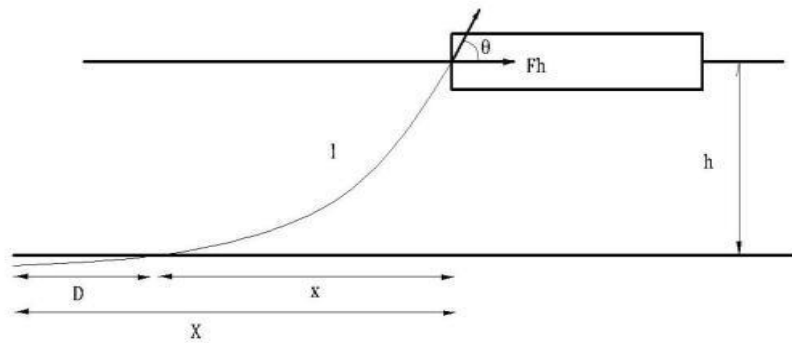
$$SF = \frac{R}{S} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

R = Minimum breaking force;

S = Force in the line (Tirant, 1990)

Jenis dan konfigurasi dari *mooring* tergantung pada besar dari beban horisontal yang diterima oleh struktur. Tipe *mooring* system dibagi menjadi tiga kategori yaitu *wire rope system*, *all chain system* dan kombinasi *chain/wire rope system*.



Gambar 2. 12 Konfigurasi *Mooring* (Tirant, 1990)

Dengan panjang minimum :

$$l = h \sqrt{\frac{2FH}{ph} + 1} \dots\dots\dots (2.23)$$

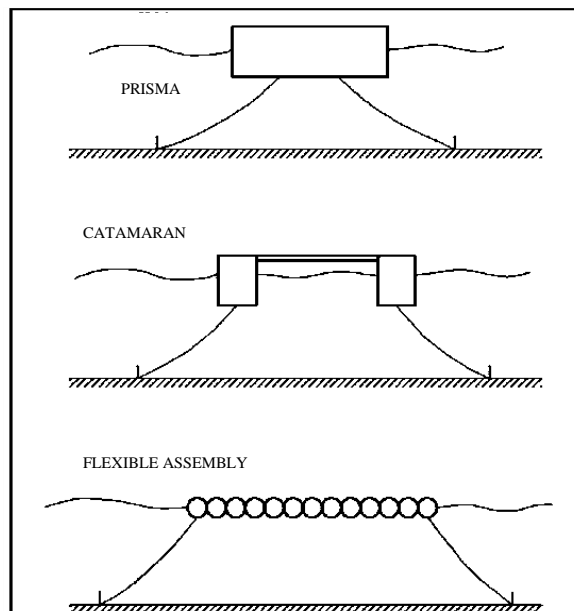
Dengan :

- l : panjang minimum
- h : hm + hc
- hm : kedalaman perairan
- hc : tinggi *mooring* dari permukaan
- p : submerged weight dari *mooring*

FH : gaya horisontal pada *mooring*

T : tension pada *mooring*

Panjang minimum yang diberikan diatas adalah panjang *mooring* dengan keadaan taut (tegang) jadi diperlukan penambahan panjang untuk keamanan (D). Besarnya D bergantung dari nilai keamanan yang diberikan dan daya cengkram jangkar. Hales(1981) melakukan eksperimen untuk beberapa tipe *floating breakwater* dan kinerjanya. Tipe *floating breakwater* yang digunakan kebanyakan berbentuk prisma, katamaran, dan *scrap tire assembly*.



Gambar 2. 13 Tipe floating breakwater pada umumnya (Coastal Engineering Manual, 2005)

2. Sistem Anchor

Berat anchor dapat dihitung dengan mengetahui tegangan tarik maksimum dari struktur dengan mempertimbangkan koefisien gesek dari permukaan dasar laut. Dapat dihitung dengan persamaan (Kim, 2011) :

$$W \geq \frac{Tm (Sf \sin \varphi + \mu \cos \varphi)}{\mu (1 - \frac{W_0}{\sigma G})} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana:

W = berat anchor dalam air

σG = berat per unit volume

- μ = koefisien gesek antara anchor sea bed (0,5-0,6)
- SF = faktor keamanan
- TM = tegangan tarik tali

2.2.8 Tinjauan Teori Tentang *Concrete block anchor*

Concrete Block adalah produk bahan bangunan yang berbentuk bata (block) dan terbuat dari campuran semen, air, abu batu, ataupun dari cor beton. *Concrete Block* biasanya dikenal dengan *paving block* atau batu bata. Penggunaan *Concrete Block* sebagai *Anchor* atau jangkar pada *Floating Breakwater* saat ini sudah banyak digunakan. Sebagai alternatif dari pemilihan tipe *Anchor* yang menggunakan bahan yang mudah terkorosi dan juga sebagai penambah stabilitas dari *Floating Breakwater*. Dengan menggunakan *Concrete block anchor* maka mengurangi biaya instalasi dan perawatan *anchor*. Karena sifatnya yang anti terkorosisehingga jarang sekali dilakukan pergantian *Concrete block anchor*.

Concrete block anchor memiliki bermacam bentuk sesuai dengan desain yang diinginkan, pada penelitian ini penulis memilih desain berbentuk balok segi empat. Gambar dibawah menunjukkan salah satu bentuk dari *Concrete block anchor*.



Gambar 2. 14 Bentuk-bentuk dari *Concrete block anchor* (Google-Images)

2.2.9 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan metode statistika yang amat banyak digunakan dalam peneltian. Istilah regresi pertama kali diperkenalkan oleh Sir Francis Galton pada tahun 1886. Secara umum regresi adalah studi mengenai ketergantungan satu variabel (variabel tak bebas/ variabel respon) dengan satu atau lebih variabel bebas/

variabel penjelas. Hasil dari analisis regresi merupakan suatu persamaan, yaitu persamaan matematika. Persamaan tersebut digunakan sebagai prediksi. Dengan demikian analisis regresi sering disebut dengan analisis prediksi. Karena merupakan prediksi, maka nilai prediksi tidak selalu tepat dengan nilai riilnya, semakin kecil tingkat penyimpangannya antar prediksi dengan nilai riilnya, maka semakin tepat persamaan regresi yang dibentuk.

Persamaan regresi adalah suatu persamaan matematika yang mendefinisikan hubungan antara dua variabel yaitu hubungan keterkaitan antara satu atau beberapa variabel yang nilainya sudah diketahui dengan satu variabel yang nilainya belum diketahui, sifat hubungan antara dalam persamaan meruoakan hubungan sebab akibat. Oleh karena itu, sebelum menggunakan persamaan regresi dalam menjelaskan hubungan antara dua atau lebih variabel, perlu diyakini terlebih dahulu bahwa secara teoritis atau perkiraan sebelumnya, bahwa variabel-variabel tersebut memiliki hubungan sebab akibat. Variabel yang nilainya akan mempengaruhi variabel tersebut disebut variabel bebas (X). sedangkan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel lain adalah variabel tergantung (Y).

Sebagaimana diketahui, banyaknya kejadian didunia ini yang merupakan kejadian yang saling menyebabkan. Kejadian yang saling menyebabkan adalah suatu kejadian yang keterjadiannya akan menyebabkan keterjadian kejadian yang lain. Contoh pada penelitian ini adalah efek berat dari *Concrete block anchor* terhadap stabilitas *Concrete block anchor*.

Untuk mencari suatu pengaruh variabel terhadap variabel lain, alat analisis yang kita gunakan adalah analisis regresi. Hasil analisis regresi berupa persamaan regresi yang merupakan fungsi prediksi suatu variabel dengan menggunakan variabel lain. Model regresi linier sederhana merupakan persamaan yang menyatakan hubungan antara satu variabel predictor (X) dan satu variabel respon (Y), yang biasanya digambarkan dalam suatu garis lurus.

Persamaan regresi linier sederhana :

$$\hat{y} = a + bX \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan: \hat{Y} = regresi (dibaca Y topi)

a = konstanta

b = koefisien regresi

Y = Variabel dependen/ variabel terikat/ variabel tak bebas
(kejadian)

X = Variabel independen/ variabel bebas/ variabel predictor
(penyebab)

Koefisien-koefisien regresi dapat dihitung dengan rumus :

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$b = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

2.2.10 Analisis Dimensi

Analisis dimensi adalah alat konseptual yang sering diterapkan di dalam ilmu fisika, kimia, dan teknik untuk memahami keadaan fisis yang melibatkan besaran fisis yang berbeda-beda. Analisis dimensi rutin digunakan dalam fisika dan teknik untuk memeriksa ketepatan penurunan persamaan. Misalnya, jika suatu besaran fisis memiliki satuan massa dibagi satuan volume namun persamaan hasil penurunan hanya memuat satuan massa, persamaan tersebut jelaslah tidak tepat. Hanya besaran-besaran berdimensi sama yang dapat saling ditambahkan, dikurangkan, atau disamakan. Jika besaran-besaran berbeda dimensi terdapat di dalam persamaan dan satu sama lain dibatasi tanda "+" atau "-" atau "=", persamaan tersebut tidaklah mungkin; persamaan tersebut harus dikoreksi terlebih dahulu sebelum digunakan. Jika besaran-besaran berdimensi sama maupun berbeda dikalikan atau dibagi, dimensi besaran-besaran tersebut juga terkalikan atau terbagi. Jika besaran berdimensi dipangkatkan, dimensi besaran tersebut juga dipangkatkan.

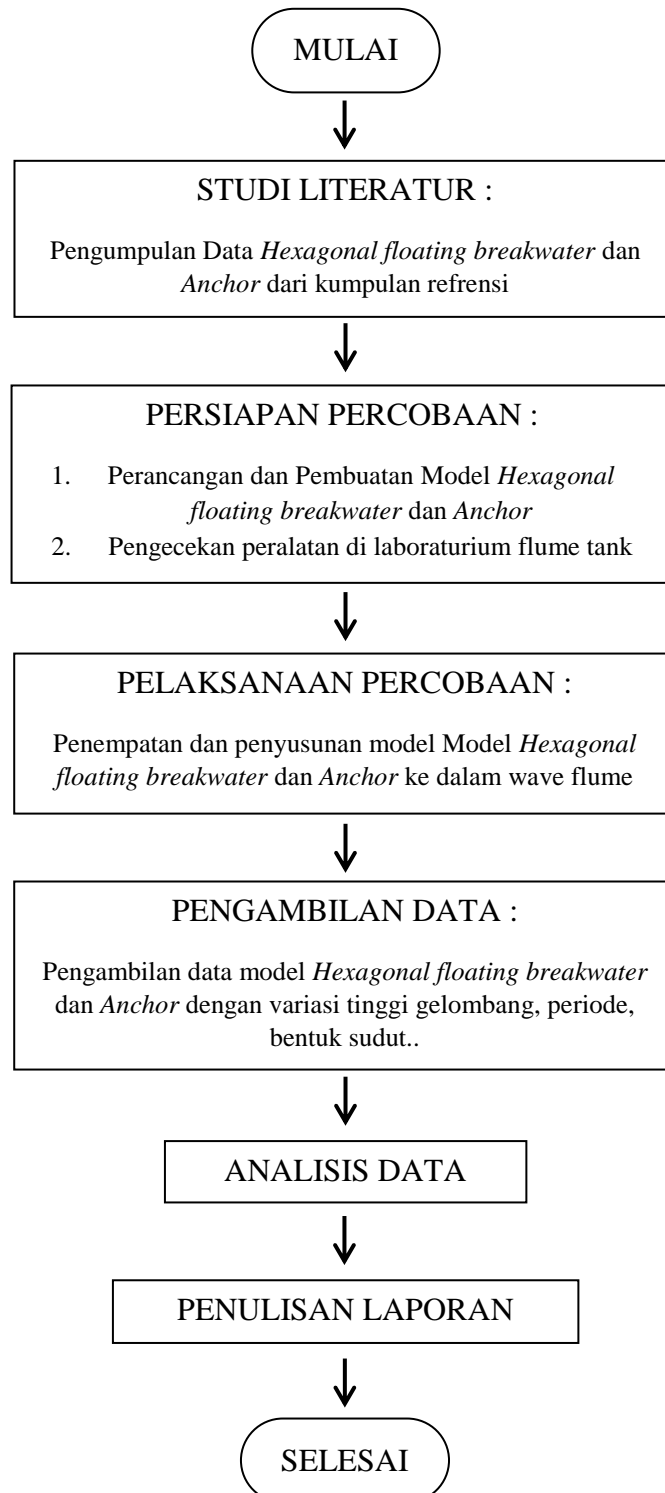
Analisis dimensional adalah suatu cara untuk menentukan satuan dari suatu besaran turunan, dengan cara memperhatikan dimensi besaran tersebut. Salah satu manfaat dari konsep dimensi adalah untuk menganalisis atau menjabarkan benar atau salahnya suatu persamaan (fungsi dimensi). Dalam percobaan ini penulis menggunakan analisis dimensi sebagai pemecahan masalah yang ada di dalam pengujian dengan menggunakan Buckingham PI method.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)

Metode pelaksanaan dalam penelitian yang digunakan, secara garis besar ditunjukkan pada Gambar 3.1 di bawah ini:



Studi mengenai *concrete block anchor* sebagai stabilitas pada *hexagonal floating breakwater* dimulai dari studi literatur, persiapan dan pelaksanaan, pengujian model dan perolehan data, analisis data serta penulisan laporan. Pada prosedur penelitian kali ini akan dijelaskan langkah-langkah dalam penelitian tugas akhir dibawah ini :

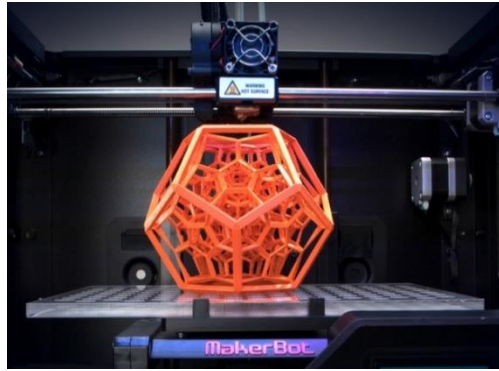
3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mencari tahu lebih banyak lagi mengenai *floating breakwater* serta *anchor* yang akan digunakan dalam penelitian. Begitu juga mengumpulkan informasi mengenai dua hal diatas dan mengenai teori gelombang serta analisis dimensi. Masalah yang dikaji dalam penelian ini adalah tentang bagaimana mendapatkan hasil stabilitas *anchor* yang optimal, agar meningkatkan perlindungan wilayah pesisir terhadap ancaman abrasi.

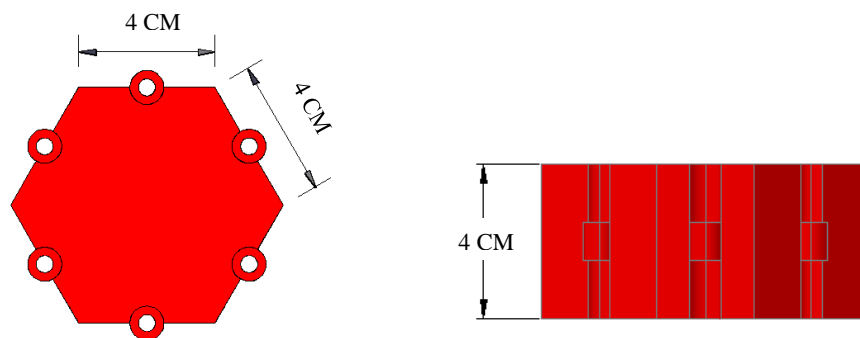
3.3 Persiapan Percobaan

3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Model *Hexagonal Floating Breakwater* dan *Anchor*

Dalam penelitian ini akan menggunakan jenis permodelan fisik *floating breakwater* serta *concrete block anchor*. Melakukan pengecekan peralatan laboratorium serta pemasangan wave probe. Pembuatan model eksperimen dapat menggunakan percetakan 3D printing seperti terlihat pada Gambar 3.2, atau pembuatan secara manual dengan menggabungkan berbagai komponen plastik dengan bahan lain sehingga dapat membentuk sebuah model *hexagonal* seperti Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Contoh pembuatan model *hexaagonal* dengan menggunakan 3D printing (Google-Images)



Gambar 3. 3 Sketsa pembuatan model *hexagonal floating breakwater*

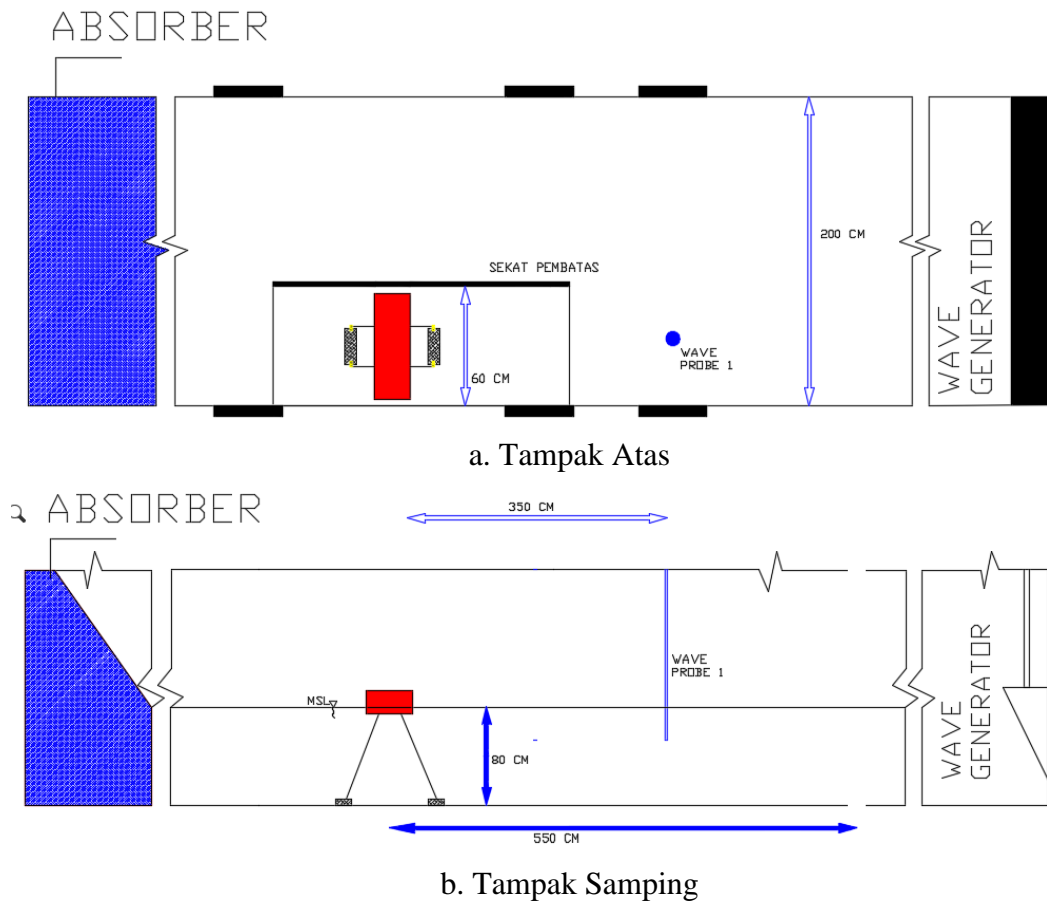
Untuk mendesain concrete anchor pada *floating breakwater*, berat *anchor* akan diasumsikan dengan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk mendesain concrete anchor sebagai berikut :

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{volume} = \frac{\text{massa}}{\rho} \dots\dots\dots(3.2)$$

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Sebelum melakukan penelitian perlu diperhatikan dan diketahui fasilitas laboratorium yang akan digunakan misalnya seperti *flume tank*, komputer, *wave probe*, pengecekan *wave generator* dan *absorber*.

Pada Gambar 3.4 dapat dilihat lokasi penempatan model uji di dalam *wave flume*.



Gambar 3. 4 Penempatan model uji pada *wave flume*

3.3.2 Pengecekan Peralatan di Laboratorium

Dalam persiapan percobaan ini perlu diketahui bahwa jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian ini. Persiapan percobaan yang perlu dilakukan pada tahap ini adalah pengecekan alat laboratorium. Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Sebelum melakukan penelitian perlu diperhatikan dan diketahui fasilitas laboratorium yang akan digunakan misalnya seperti *flume tank*, komputer, *wave probe*, pengecekan *wave generator* dan *absorber*. Berikut dibawah ini fasilitas laboratorium yang digunakan :

- *Wave Flume*

Wave flume yang digunakan yang digunakan memiliki ukuran panjang 20m, tinggi 2.3m, dan lebar 2m. Seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 *Wave Flume*

- *Wave Probe*

Wave probe adalah alat untuk mengukur tinggi gelombang, apabila alat tersebut tercelup air maka elektroda akan mengukur konduktivitas air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan variasi perubahan elevasi muka air. Sistem ini tersedia dalam bentuk 1, 2 atau 3-channel dan dapat menampilkan data dengan perekam berkecepatan tinggi atau memasukan ke pencatatan data. Setiap probe terdiri dari sepasang kabel stainless steel yang masuk ke dalam gelombang air. Konduktivitas listrik antara stainless steel dan gelombang air diukur, dan secara linier terkait dengan kedalaman pencelupan *wave probe* untuk setiap ketinggian gelombang. Hasilnya adalah sistem yang memberikan akurasi dinamis tinggi atas berbagai ketinggian gelombang. Dalam penelitian ini digunakan 2 *wave probe* yang dipasang didepan struktur. *Wave probe* dikalibrasi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian, untuk menjadi acuan pencatatan hasil *running*.



Gambar 3. 6 *Wave Probe*

- *Wave Generator*

Wave generator adalah alat yang digunakan untuk membangkitkan gelombang buatan dalam *wave flume*. *Wave generator* pada laboratorium Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut pada kolam gelombang (*flume tank*) Departemen Teknik Kelautan dapat membangkitkan gelombang *reguler* dan gelombang *irreguler*.



Gambar 3. 7 *Wave generator*

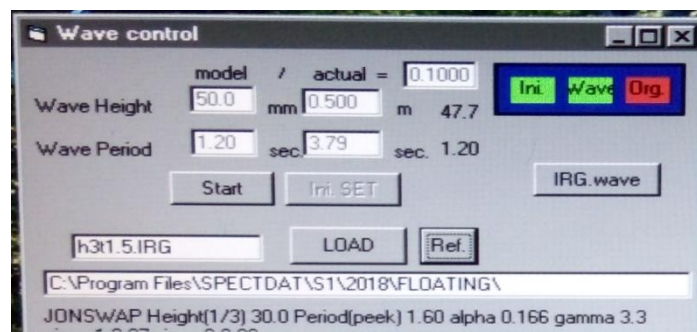
- *Komputer Kendali*

Komputer kendali yang digunakan dalam pengujian terdapat 2 buah komputer, dimana satu komputer digunakan untuk merekam data dari *wave probe* seperti

terlihat pada Gambar 3.8. Sedangkan komputer lainnya digunakan untuk pengatur ketinggian dan periode gelombang yang akan dibangkitkan oleh wave generator seperti terlihat .



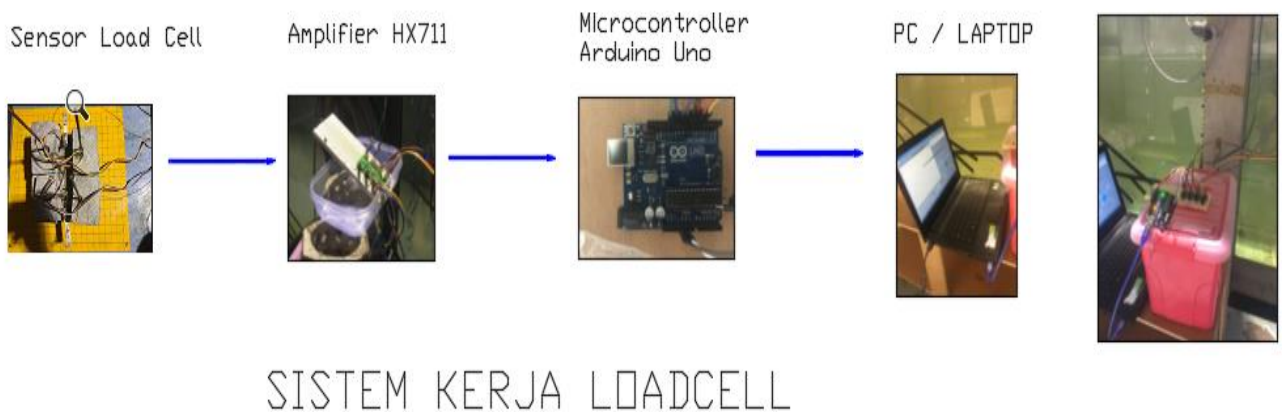
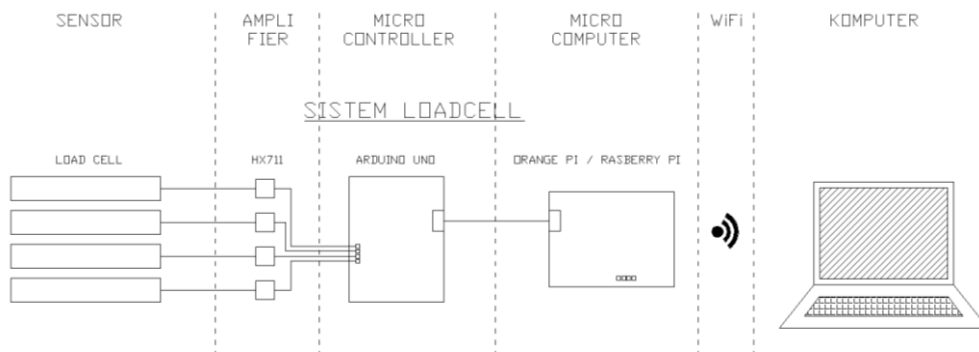
Gambar 3. 8 Komputer untuk merekam data *wave probe*



Gambar 3. 9 Komputer untuk mengatur ketinggian dan periode gelombang

- *Load Cell*

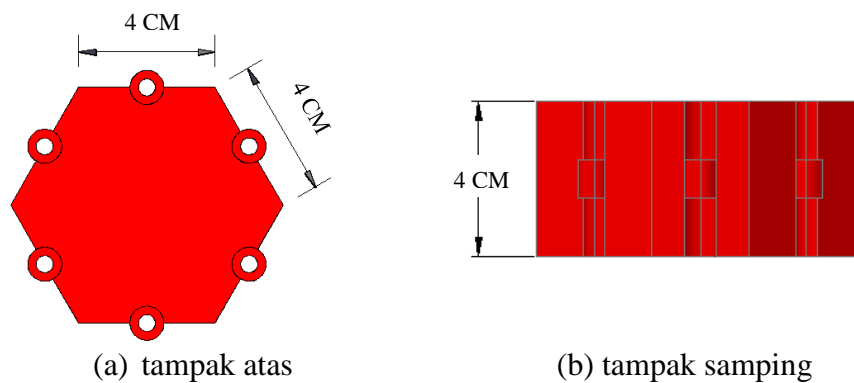
Load cell digunakan untuk mengukur tegangan tali maksimum pada sistem tambat ketika eksperimen model *Hexagonal Floating Brekwater*. Untuk mengukur tegangan tali ini, pada *Load Cell* terdapat sensor *strain gauge* yang mengukur tegangan yang diberikan oleh tali dengan cara mengubah suatu gaya tekanan menjadi besaran listrik. Perubahan tegangan tali ini akan memberi sinyal tegangan listrik. Tegangan listrik yang dihasilkan *loadcell* akan diperbesar menggunakan *amplifier* yang kemudian akan di digitasi menggunakan *microcontroller* yang kemudian akan berubah menjadi data digital di laptop.



Gambar 3. 10 Diagram sistem load cell yang digunakan pada eksperimen

3.4 Pelaksanaan Percobaan

Pada tahap ini akan dilaksanakan pengujian sesuai dengan desain eksperimen model yang telah dibuat dengan material model yang tersedia di pasaran. Pengujian akan dilakukan satu kali untuk setiap variasi bentuk model dan sudut *mooring* yang dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut FTK-ITS. Terdapat dua konfigurasi model *hexagonal floating breakwater* dan tiga sudut *mooring* yang akan diuji. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui keefektifan berat *anchor* serta konfigurasi mana yang dapat memberikan hasil stabilitas *hexagonal floating breakwater* secara optimal. Untuk ukuran dimensi yang akan digunakan dalam pembuatan model dan geometri struktur *anchor* dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan 3.6 serta Tabel 3.2 serta perencanaan skala prototype yang akan di gunakan dalam pengaplikasiannya dijelaskan pada Tabel 3.1 .



Gambar 3. 11 Ukuran dimensi permodelan fisik dalam cm



Gambar 3. 12 Desain pengujian model *Concrete block anchor* yang tertancap sensor Load Cell

Berikut merupakan hasil penyekalaan dari data percobaan untuk mendapatkan ukuran yang sebenarnya.

Tabel 3. 1 Perencanaan skala model untuk prototype

Dimensi	Model (cm)	Skala	Prototype (cm)
Panjang	4	1:10	40
Lebar	4	1:10	40
Tinggi	4	1:10	40

Concrete anchor di desain menurut geometri struktur floaters, sehingga geometri untuk pembuatan concrete anchor sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Geometri struktur anchor untuk beberapa tipe anchor

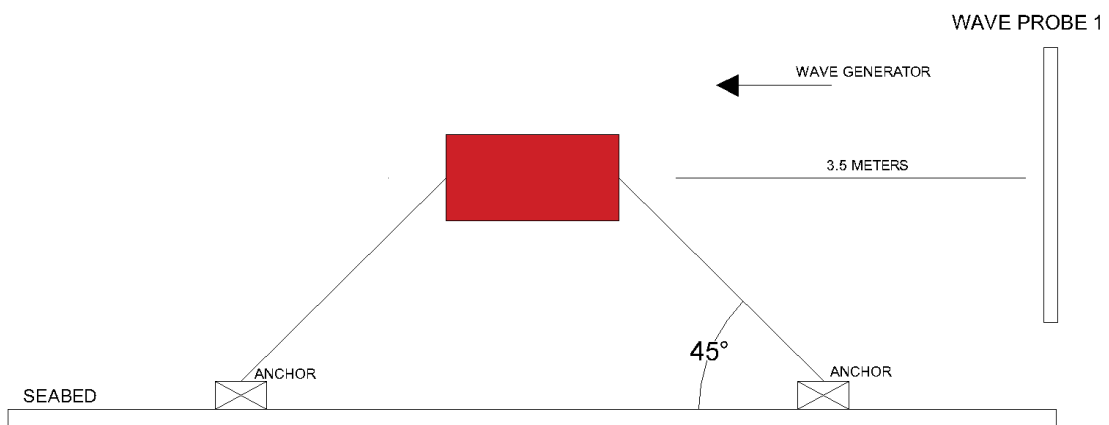
Berat (gram)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)
500	10	8	2.5
3000	20	20	4.5

Sedangkan perencanaan desain pengujian model *hexagonal floating breakwater* di *wave flume* akan dijelaskan pada Tabel 3.3.

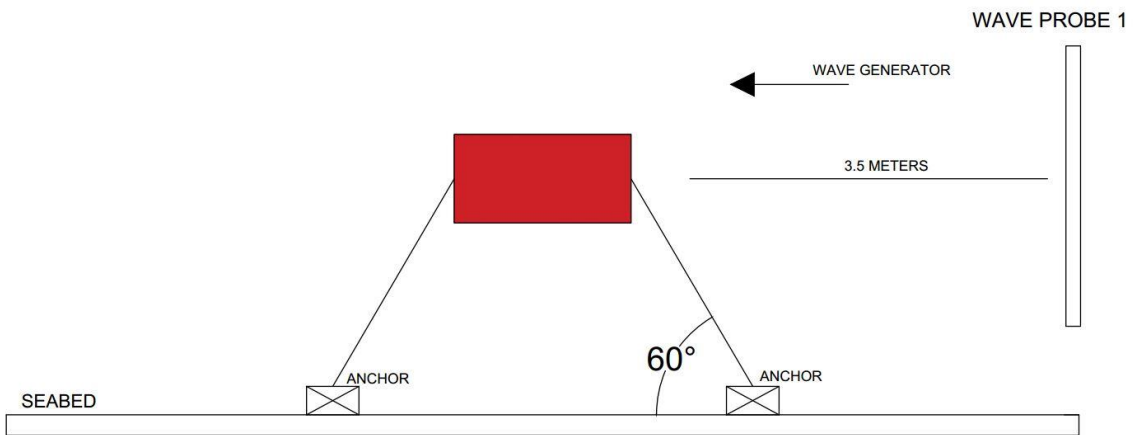
Tabel 3. 3 Perencanaan desain pengujian model *hexagonal floating breakwater* di *wave flume*

Kedalaman perairan (cm)	Tinggi gelombang bangkitan (cm)	Periode gelombang bangkitan (detik)	Jenis gelombang
80	3	1.1	Irreguler
		1.3	
		1.5	
	4	1.1	Irreguler
		1.3	
		1.5	
	5	1.1	Irreguler
		1.3	
		1.5	

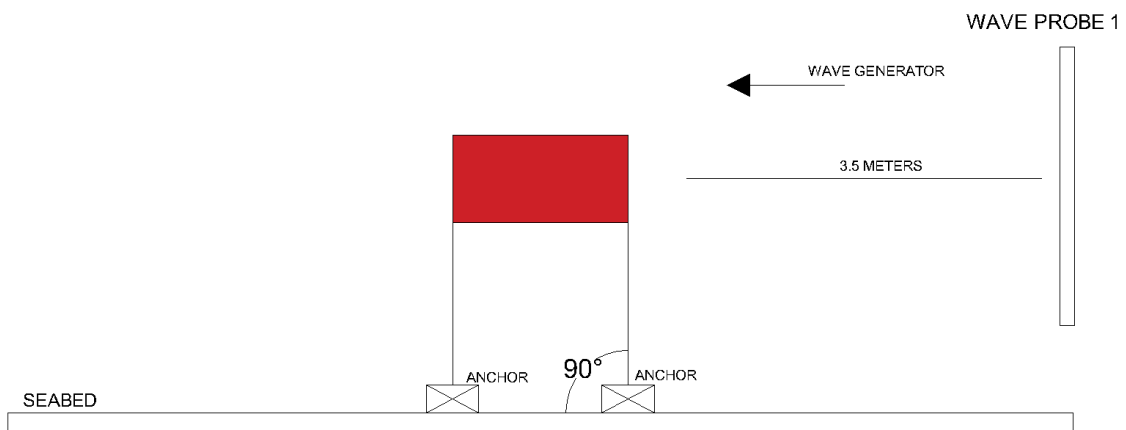
Desain pengujian sangat perlu dilakukan agar saat pengujian model di wave flume Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut FTK-ITS peneliti telah terlebih dahulu mengetahui gambaran yang harus dilakukan sehingga percobaan dapat dilakukan dengan sebaik mungkin untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Desain pengujian model fisik *Hexagonal floating breakwater* dan *Concrete block anchor* dapat terlihat pada gambar-gambar berikut :



Gambar 3. 13 Sketsa peletakan pengujian model *floating breakwater* pada sudut *anchor* 45° pada tampak samping



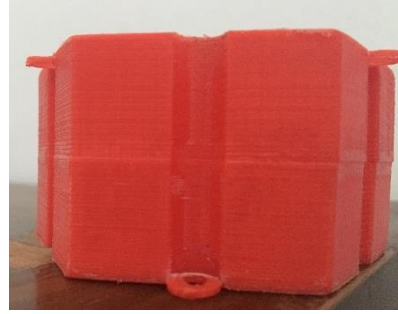
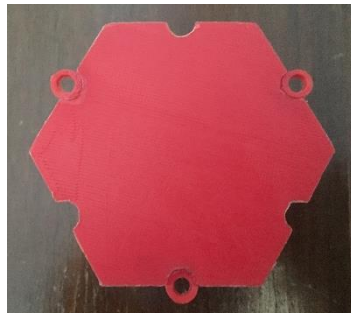
Gambar 3. 14 Sketsa peletakan pengujian model *floating breakwater* pada sudut *anchor* 60° pada tampak samping



Gambar 3. 15 Sketsa peletakan pengujian model *floating breakwater* pada sudut *anchor* 90° pada tampak samping

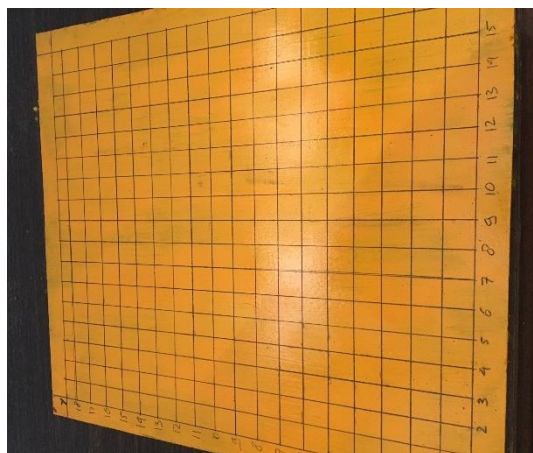


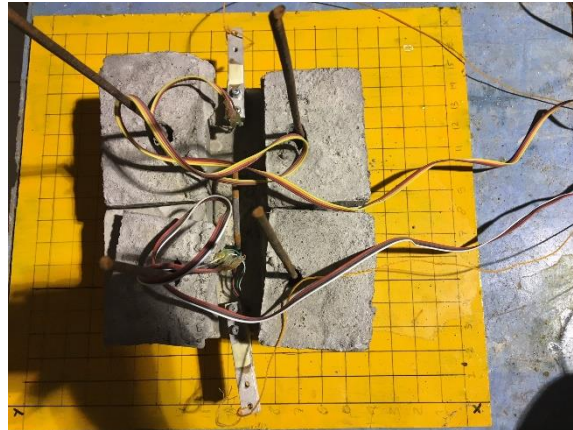
Gambar 3. 16 Desain pengujian model *Concrete block anchor* dengan berat 500 gram



Gambar 3. 17 Desain pengujian model *Hexagonal floating breakwater* tampak atas dan tampak samping

Untuk mengetahui perpindahan *anchor* yang diuji coba digunakan pelat berukuran 40 cm x 36 cm dan tebal 8 mm sebagai alat ukur perpindahannya. Pelat akan dicat dan diberi garis-garis vertikal dan horizontal sehingga berbentuk kotak dengan setiap kotaknya berukuran 2cm. *Anchor* dianggap stabil apabila perpindahannya pada saat diuji tidak melebihi dari 1 kotak (2 cm).





Gambar 3. 18 Pelat dengan kotak pengukur perpindahan anchor dan anchor pada pelat pengukur yang akan diuji coba

3.5 Rancangan Sistem Tambat

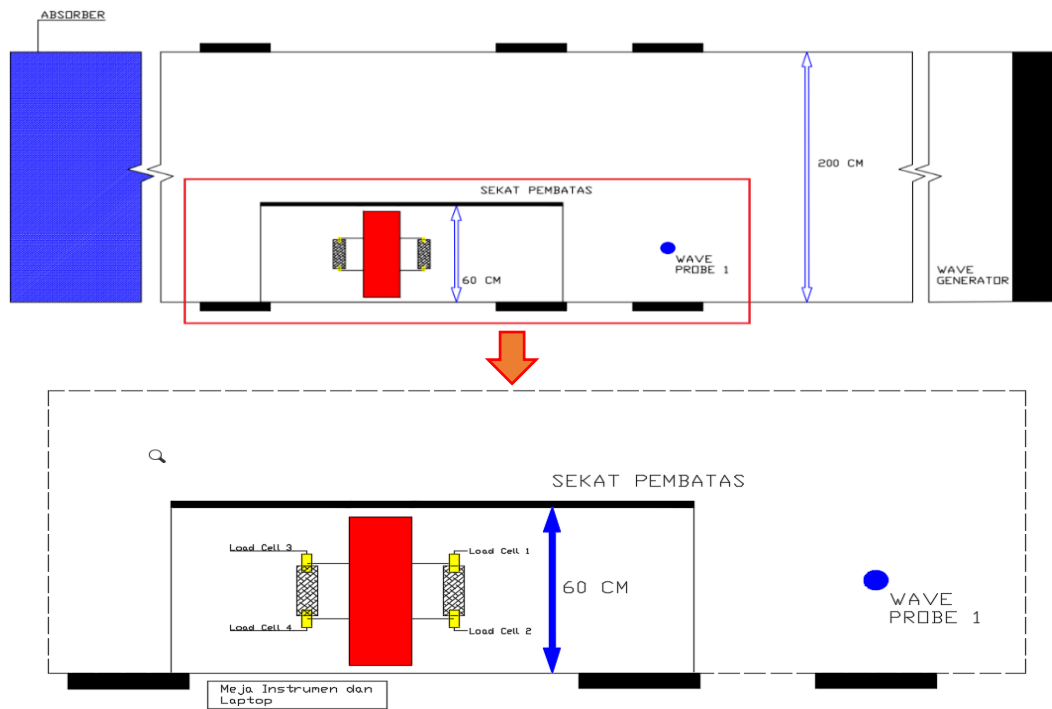
Pada tahap ini, dilakukan perancangan sistem tambat yang akan digunakan pada model *Hexagonal floating breakwater* sebelum dilakukan eksperimen di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut FTK-ITS. Gambar 3.18 menunjukkan *layout* dari sistem tambat. Secara garis besar, tahap ini terdiri atas dua poin utama yaitu setup sistem tambat dan penggabungan model dengan sistem tambat. Berikut ini merupakan penjelasan untuk tiap poin utama yang dibahas.

- *Setup* sistem tambat

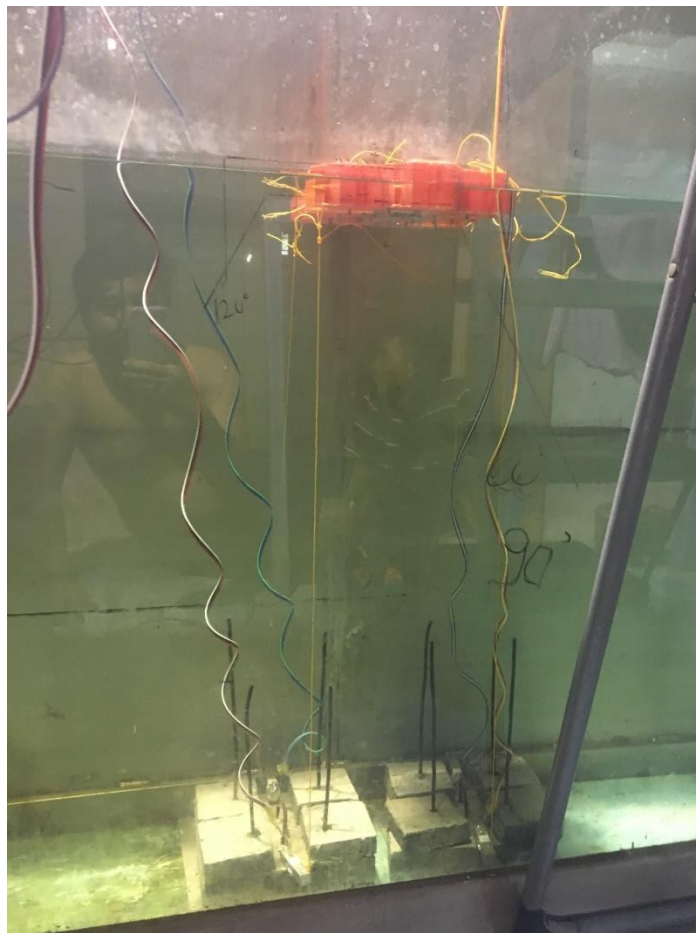
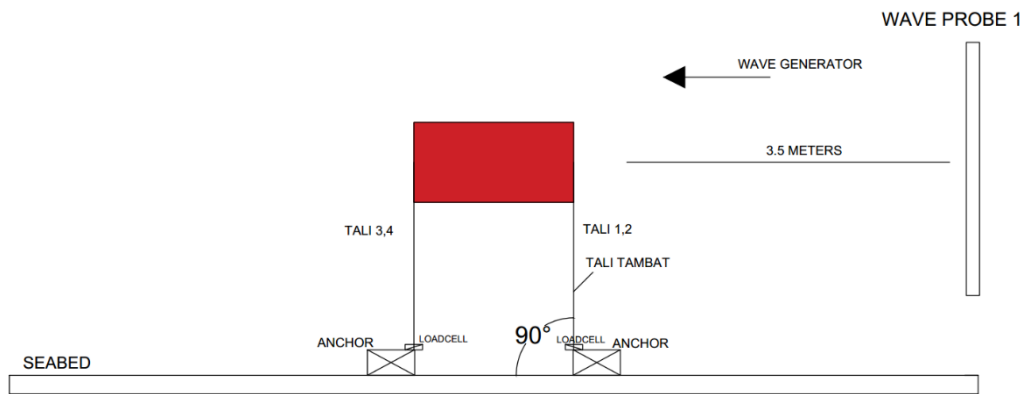
Sistem tambat yang digunakan pada model terdiri dari empat buah *mooring line* yang dihubungkan pada struktur dan ditambatkan pada *load cell* yang berada di *concrete block anchor* pada dasar kolam Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut FTK-ITS. Alat-alat yang diperlukan dalam setup sistem tambat ini antara lain :

1. *Mooring line* sebanyak 4 buah
2. *Load Cell* sebanyak 4 buah untuk pengukuran tegangan tali
3. *Concrete block anchor* di dasar untuk peletakan *load cell* serta pengaturan sudut tali
4. Pelat yang sudah dicat dan diberi pengukur untuk diletakkan di dasar *wave flume*

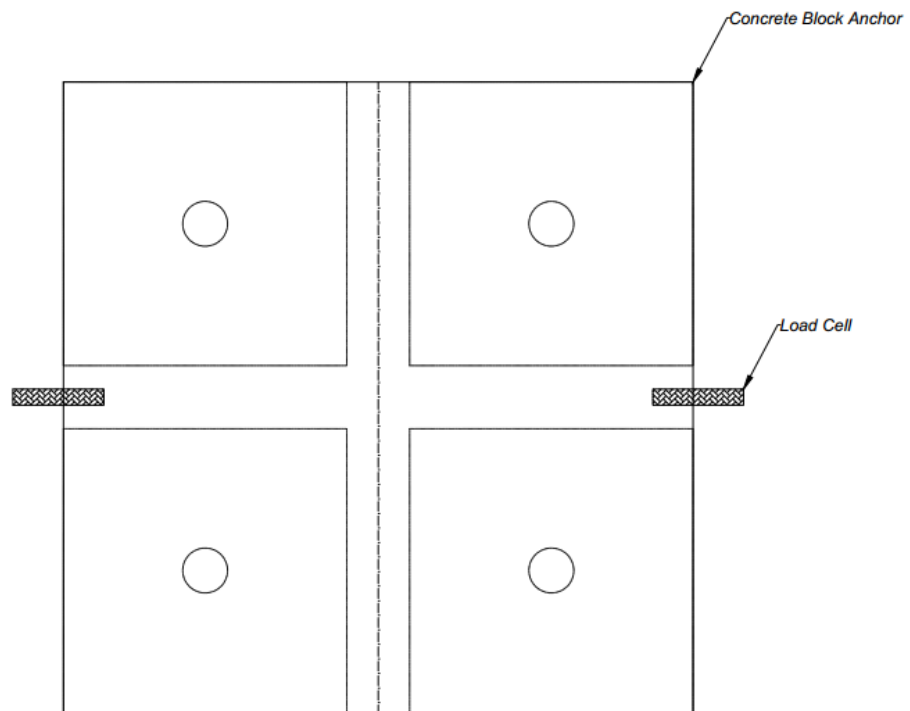
Berikut merupakan gambar tampak atas dari *setup* model *mooring* yang akan diatur di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut FTK-ITS.



Gambar 3. 19 Tampak Atas Rencana Sistem Tambat pada Eksperimen



Gambar 3. 20 Tampak Samping Rencana Sistem Tambar dan Model *Hexagonal floating breakwater*



Gambar 3. 21 Tampak Atas Rencana *Concrete Block Anchor*

3.6 Analisis dan Hasil

Data yang telah diperoleh dari hasil pengujian laboratorium akan dianalisis mencari berat concrete anchor dari beberapa konfigurasi yang diuji serta mencari hubungan dari beberapa parameter terhadap berat *concrete block anchor*. Hasil analisis akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Selain itu validasi pengujian dilakukan dengan membandingkan dari hasil yang sudah didapatkan dengan hasil percobaan floating breakwater yang sudah diteliti oleh peneliti sebelumnya.

3.7 Kesimpulan

Dari hasil analisis akan diperoleh berat anchor dan keefektifan dalam menstabilkan floating breakwater. Selain itu peneliti akan memberikan saran untuk penelitian yang akan dilakukan kedepannya.

3.8 Penyusunan Laporan Akhir

Penyusunan laporan akhir dilakukan setelah semua tahap yang dibutuhkan telah selesai, sehingga hasil yang diperoleh dari pembuatan model *hexagonal floating breakwater* dan *concrete block anchor* dapat dijelaskan secara rinci sesuai dengan hasil yang telah didapatkan dalam pengujian laboratorium.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Kalibrasi

Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dan baik pada proses pengamatan model, maka dilakukan kalibrasi pada sensor (*wave probe*) pengamat tinggi gelombang serta pada sensor (*Load Cell*) pengamat besarnya tegangan tali tambat. Maka dibawah ini dijelaskan proses kalibrasi dari *wave probe* dan *load cell*.

1. Kalibrasi Wave Probe

Proses kalibrasi dilakukan dengan cara mencatat posisi zero point pada *wave probe*. Saat melakukan proses kalibrasi air pada *wave flume* harus pada posisi air yang tenang, hal ini bertujuan agar hasil yang didapatkan nanti valid.

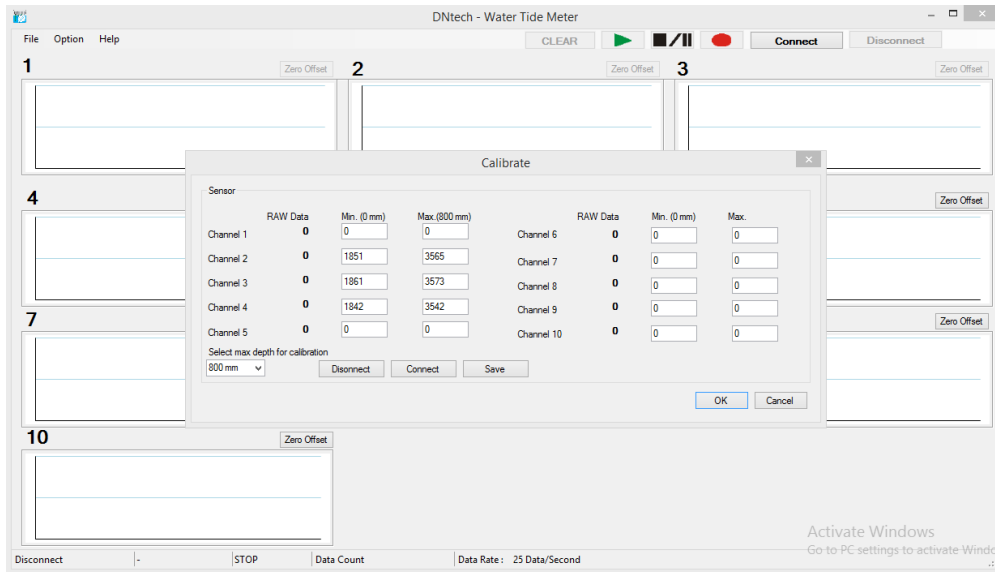
- 1) Langkah pertama kalibrasi pada pengujian kali ini dengan menempatkan ujung *wave probe* ke dalam *wave flume* hingga menyentuh permukaan air. Kemudian pada komputer pengendali akan muncul sebuah angka yang selalu berubah-ubah. Ambil rata-rata angka yang sering muncul. Kemudian catat angka tersebut.
- 2) Langkah ke dua, ulangi seperti langkah yang pertama, namun *wave probe* yang diletakkan kedalam air bukanlah ujung dari *wave probe* tersebut. Masukkan *wave probe* kedalam air sejauh 80 cm dari ujung *wave probe*.

Merekam titik minimum dan maksimum dari *wave probe* bertujuan untuk mencari hubungan antara perubahan elektrode yang tercelup kedalam air dengan perubahan voltase yang tercatat di *recorder*. Berikut pada Gambar 4.3 dapat dilihat hasil dari kalibrasi yang telah dilakukan pada pengujian kali ini.

Tabel 4. 1 Kalibrasi probe

Nilai Kapasitansi	Probe 1	Probe 3
Minimum	1851	1842
Maksimum	3565	3542

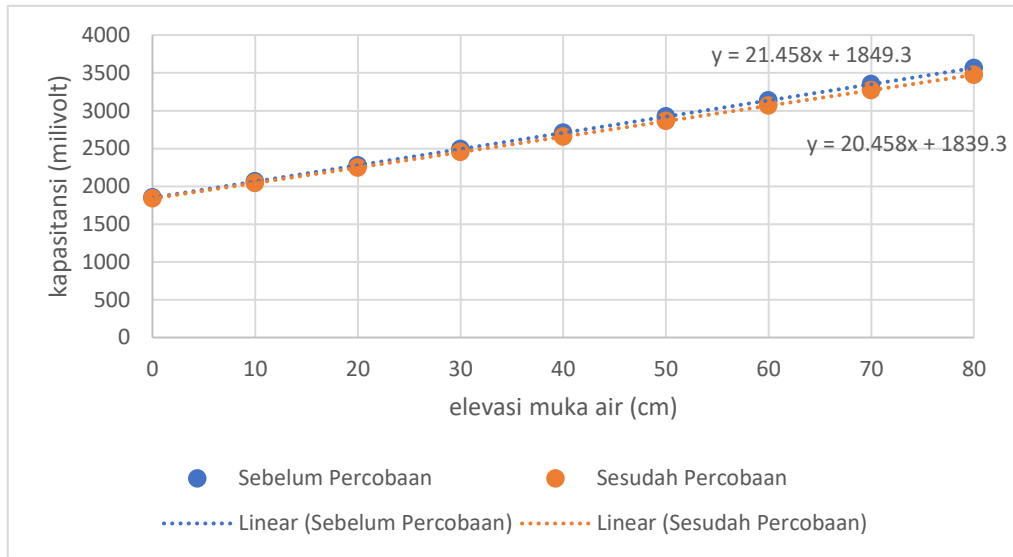
Hasil dari kalibrasi akan memunculkan nilai minimum dan maksimum untuk diinput pada *software wave tide meter* pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Input kalibrasi wave probe pada software wave tide meter

Tabel 4. 2 Kalibrasi probe 1

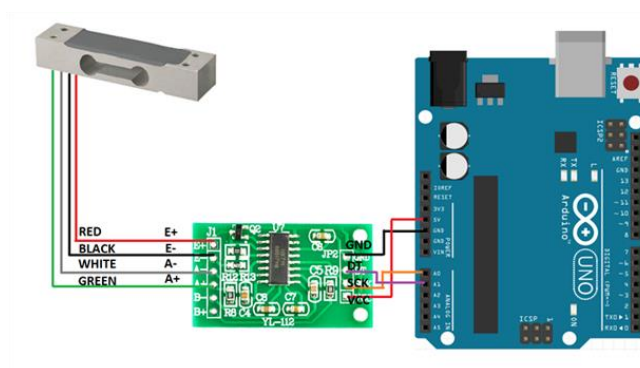
Probe 1			
Elevasi Muka Air (cm)	Nilai Kapasitansi (milivolt)		Presentase Pengurangan (%)
	Sebelum Percobaan	Sesudah Percobaan	
0	1851	1841	0.54
10	2063	2043	0.98
20	2276	2246	1.34
30	2494	2454	1.63
40	2708	2698	0.37
50	2923	2903	0.69
60	3136	3106	0.97
70	3353	3313	1.21
80	3565	3555	0.28
Rata-rata			0.89



Gambar 4. 2 Hasil kalibrasi yang telah tercatat

2. Kalibrasi Load Cell

Tegangan tali diukur menggunakan instrumen *load cell*. Instrumen ini memanfaatkan *strain-gauge* yang terpasang pada *load cell*. Jika *load cell* mengalami tarikan maka *strain-gauge* akan mengalami perubahan bentuk. Perubahan bentuk ini akan menghasilkan perubahan tegangan listrik. Tegangan listrik ini kemudian diampifikasi menggunakan modul elektronik HX711 agar dapat terbaca. Tegangan yang sudah diampifikasi akan diterima oleh *microcontroller* Arduino UNO untuk kemudian ditransfer ke laptop dalam bentuk angka-angka digital.

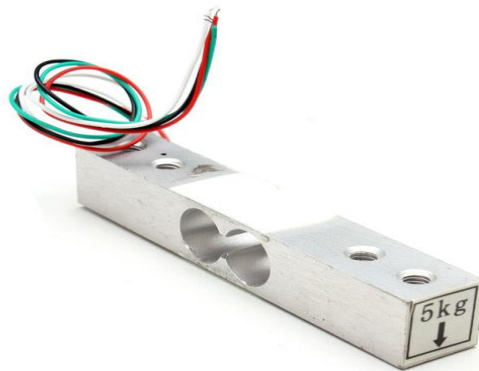


Gambar 4. 3 Konfigurasi *load cell* (A), HX711 (B), dan Arduino UNO (C)

(Layad Circuit, 2010)

Pada studi eksperimen *hexagonal floating breakwater*, 4 *load cell* digunakan untuk mengukur tegangan tali dari 4 tali tambat, sehingga diperlukan 4 HX711 (*amplifier*) dan 4 *channel* dari 1 Arduino UNO. Arduino merupakan *platform open source* sehingga program dapat diunduh dengan mudah. Untuk pembacaan *load cell* digunakan program milik Jeff Rowberg (2012) dengan modifikasi minor untuk *data logging* ke excel.

Instrumen *load cell* yang digunakan pada studi eksperimen ini adalah *load cell* dengan kapasitas beban maksimum 5 kg. *Load cell* akan berfungsi jika beban mempunyai arah sesuai arah kerja *load cell* (Gambar 4.6).



Gambar 4. 4 Instrumen *load cell* dan arah beban

Angka digital yang ditampilkan oleh laptop perlu dikalibrasi sehingga dapat diketahui nilai yang sesungguhnya. Kalibrasi dilakukan dengan menimbang beberapa beban terukur sehingga dapat dicari regresi linear dari nilai-nilai yang keluar. Pada kalibrasi ini digunakan 5 buah beban, 1000 gram, 500 gram, 200 gram, 100 gram dan 50 gram (Gambar 4.7). Beban yang digunakan untuk pengukuran merupakan besi timbangan yang ada dipasaran. Besi timbangan juga sudah diukur ulang di Laboratorium Mekanika Tanah menggunakan timbangan elektronik dan menunjukkan nilai ± 2 gram.

Besi timbangan ditali dan digantungkan di sisi pengukuran *load cell*. Pada layar akan terlihat keluaran angka. Kemudian, setelah diberikan beban, angka yang muncul tersebut diolah untuk dicari regresi linear kalibrasi *load cell*. Setiap *load cell* akan diuji 2 kali untuk menemukan persamaan regresi linear dari setiap *load cell*.



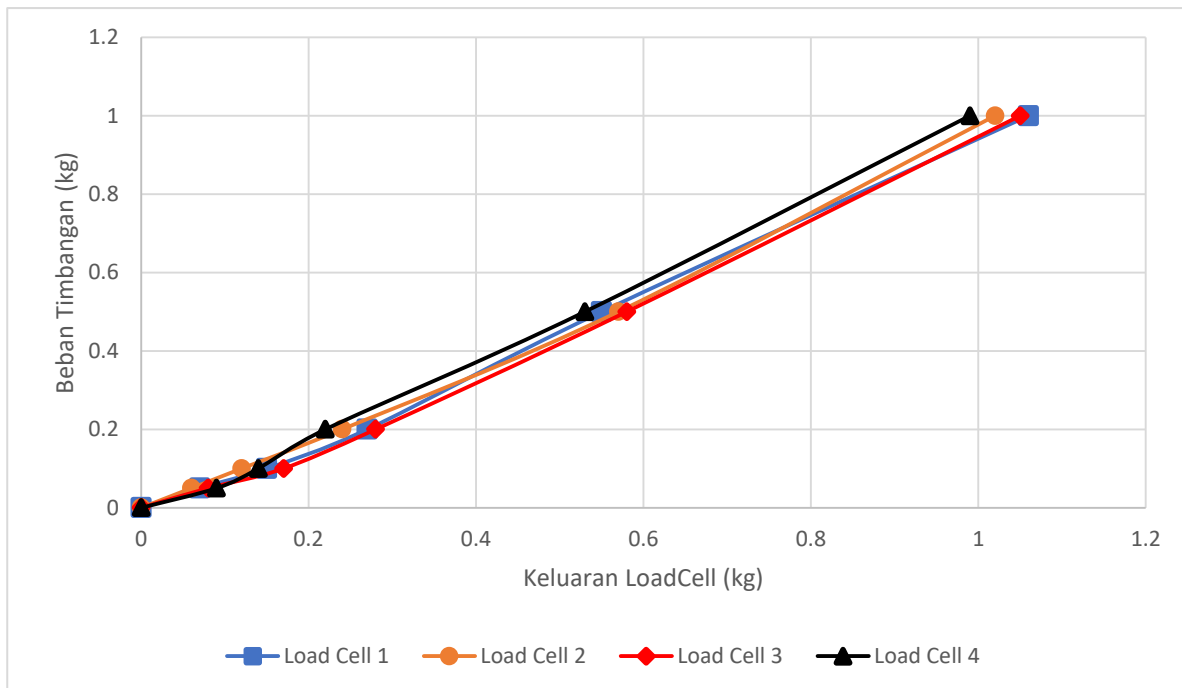
Gambar 4.5 Beban kalibrasi 1000 g (A), 500 g (B), 200 g (C), 100 g (D), dan 50 g (E)

Data yang ditunjukkan dari proses kalibrasi dengan 5 timbangan pada setiap *load cell* dengan 2 percobaan yang berbeda.

Data pada Tabel 4.3 kemudian di-plot menjadi Gambar 4.8. Gambar 4.8 menunjukkan semua *Load cell* mempunyai persamaan linier. sehingga bisa digunakan dengan koreksi berdasar persamaan regresi linearnya.

Tabel 4.3 Data Kalibrasi load cell 1

Beban (kg)	Output Percobaan LoadCell 1 (kg)	Output Percobaan LoadCell 2 (kg)	Output Percobaan LoadCell 3 (kg)	Output Percobaan LoadCell 4 (kg)
1	1.06	1.02	1.02	0.99
0,5	0.55	0.57	0.56	0.53
0,2	0.27	0.24	0.27	0.22
0,1	0.15	0.12	0.18	0.14
0,05	0.07	0.06	0.067	0.09
0	0	0	0	0



Gambar 4.6 Kalibari load cell

Persamaan yang digunakan untuk mengkalibrasi keluaran *load cell* ditampilkan dalam Tabel 4.2

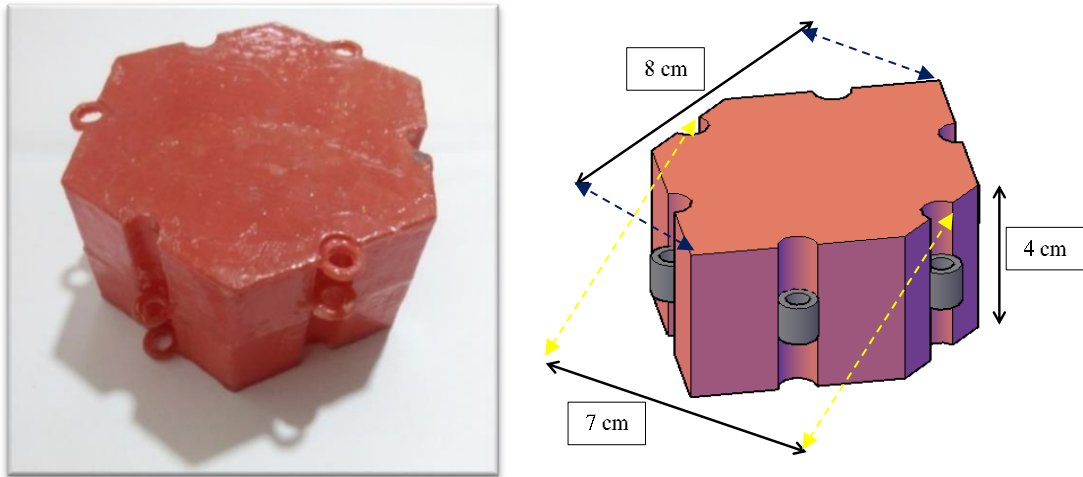
Tabel 4. 4 Persamaan kalibrasi keluaran load cell dengan beban

<i>LOAD CELL</i>	PERSAMAAN LINEAR	R^2
1	$y = 0.9603x - 0.0278$	0,9969
2	$y = 0.9749x - 0.0182$	0,9964
3	$y = 0.969x - 0.0405$	0,9941
4	$y = 1.0287x - 0.0294$	0,9978

4.2 Analisis Pengujian

Pengujian ini menggunakan model uji *floating breakwater* dengan bentuk *hexagonal* memiliki ukuran 4 cm x 4 cm x 4 cm seperti pada Gambar 4.11. Model ini menggunakan bahan plastik jenis PLA (PolyLactic Acid) dimana bahan ini mempunyai sifat kuat dan tidak lentur. Model disusun dengan menggunakan batang bambu yang sudah di potong-potong, dengan massa yang diabaikan. Sebagai sistem *anchor* nya menggunakan *concrete block anchor* yang tertancap sensor Load

Cell seperti Gambar 4.12. Anchor tersebut mempunyai ukuran dasar 20 cm x 20 cm x 4.5 cm dengan berat 2 kg serta yang lainnya yang bisa dilihat dan dijelaskan di bagian sebelumnya.



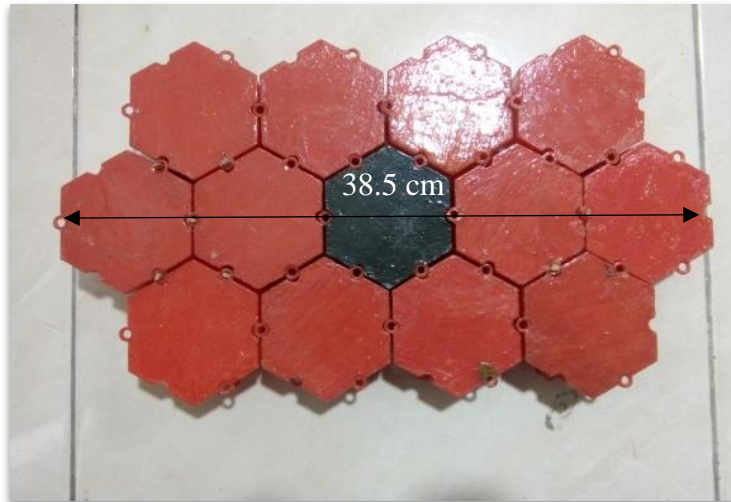
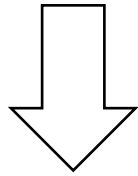
Gambar 4. 7 Bentuk *hexagonal floating breakwater*



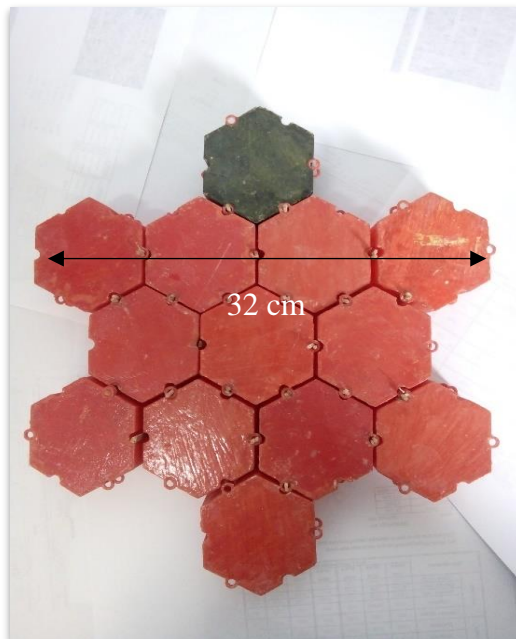
Gambar 4. 8 Bentuk *concrete block anchor* dan sensor Load Cell

Dalam pengujian ini, menggunakan dua jenis konfigurasi model seperti yang terlihat pada Gambar 4.11 . Skala model menggunakan perbandingan 1:10 yang menyeluruh dari prototype.

ARAH DATANG GELOMBANG



Model 1




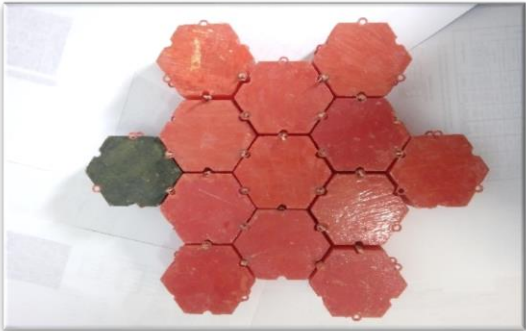
Model 2

Gambar 4. 9 Konfigurasi model *hexagonal floating breakwater*

Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan, sehingga didapatkanlah hasil stabilitas *concrete block anchor* yang kemudian akan dianalisis serta dicari anchor mana yang paling optimal sebagai penunjang stabilitas *hexagonal floating breakwater* untuk beberapa konfigurasi yang telah diuji.

Pada pengujian model *hexagonal floating breakwater* di wave flume digunakan beberapa variasi bentuk konfigurasi model, serta parameter tinggi dan periode gelombang uji dimana pengujian dari tinggi dan periode gelombang ditampilkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 5 Daftar pengujian model dengan menggunakan gelombang *irregular*

Model Konfigurasi	Gambar Model Konfigurasi Tampak Atas	Sudut <i>Mooring</i> (Derajat)	Tinggi Gelombang Pengujian (ΔH) cm	Periode Gelombang Pengujian (ΔT) cm
1		90	3	1.1
				1.3
				1.5
		60	4	1.1
				1.3
				1.5
		45	5	1.1
				1.3
				1.5
2		90	3	1.1
				1.3
				1.5
		60	4	1.1
				1.3
				1.5
		45	5	1.1
				1.3
				1.5

4.3 Analisis Dimensi

Faktor-faktor yang mempengaruhi anchor sebagai stabilitas floating breakwater meliputi gaya hidrodinamis dari gelombang serta gaya gesek pada floating breakwater yang terhempas oleh gelombang. Variabel-variabel yang mungkin terkait dengan fenomena stabilitas concrete anchor pada floating breakwater adalah sebagai berikut :

$$W = \phi [H_s , T , d , \alpha , B , \rho , g , T_m]$$

Dimana :

- W : Berat *Concrete block anchor* (kg)
- Hs : Tinggi Gelombang Signifikan (m)
- T : Periode Gelombang (sec)
- d : Kedalaman Air (m)
- α : Sudut antara *mooring* dengan floaters
- B : Lebar Floaters (m)
- ρ : Berat Jenis Air (kg/m³)
- g : Percepatan Gravitasi Bumi (m/det²)
- Tm : Tegangan Tali *Mooring* (kg)

Tabel 4. 6 Variabel-variabel analisis dimensi *concrete block anchor*

Symbol	Parameter	Dimensi
Hs	Tinggi Gelombang Signifikan (m)	L
T	Periode Gelombang (sec)	T
d	Kedalaman Air (m)	L
α	Sudut antara <i>mooring</i> dengan floaters	
B	Lebar Floaters (m)	L
ρ	Berat Jenis Air (kg/m ³)	L ⁻³ M
g	Percepatan Gravitasi Bumi (m/det ²)	L T ⁻²
Tm	Tegangan Tali <i>Mooring</i> (kg)	M
W	Berat <i>Concrete block anchor</i> (kg)	M

Analisis dimensi untuk stabilitas *concrete block anchor* pada floating breakwater didapatkan beberapa penyelesaian persamaan tak berdimensi. Untuk penyelesaian persamaan berat tak berdimensi *concrete block anchor* pada floating breakwater, dimana berat dari *concrete block anchor* (W) berbanding lurus terhadap massa jenis air (ρ) serta kedalaman air (d).

$$\frac{W}{d^3 \rho} = \phi \left[\frac{Hs}{g T^2}, \frac{Hs}{B}, \frac{d^3 \rho}{Tm} \right]$$

Untuk penyelesaian persamaan periode tak berdimensi pada *floating breakwater*, dimana tinggi gelombang signifikan (Hs) berbanding lurus terhadap periode gelombang (T) serta percepatan gravitasi bumi (g).

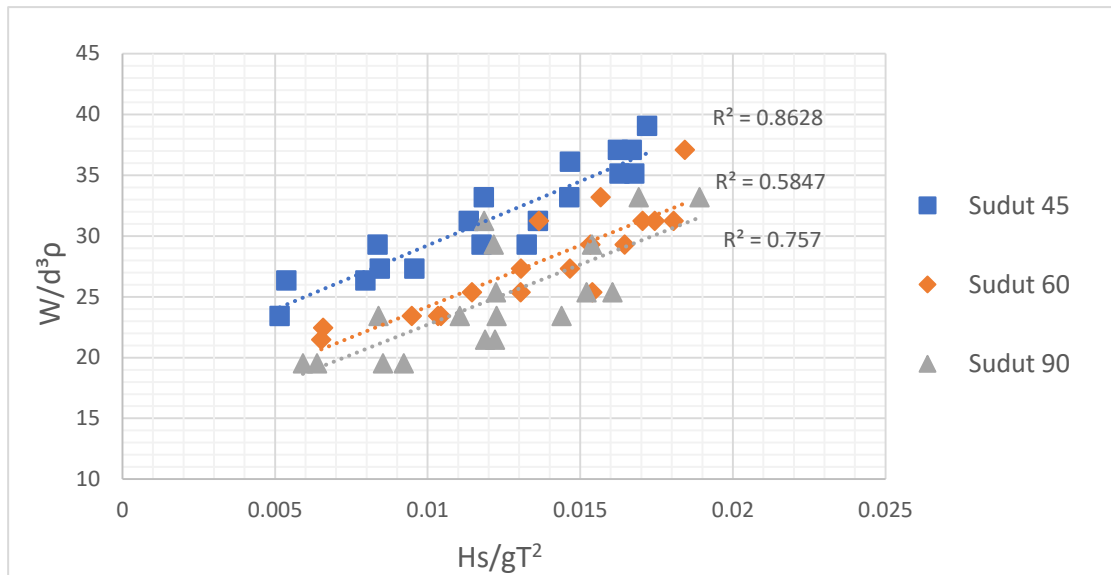
$$\frac{Hs}{g T^2} = \phi \left[\frac{W}{Hs^3 \rho}, \frac{Hs}{B}, \frac{d^3 \rho}{Tm} \right]$$

Untuk penyelesaian persamaan tegangan tali tambat (Tm) tak berdimensi pada *floating breakwater*, dimana tegangan tali tambat (Tm) berbanding lurus terhadap massa jenis air (ρ) serta tinggi gelombang signifikan (Hs).

$$\frac{Tm}{d^3 \rho} = \phi \left[\frac{W}{Hs^3 \rho}, \frac{Hs}{B}, \frac{Hs}{g T^2} \right]$$

4.3.1 Analisis Dimensi $W/d^3\rho$ terhadap $Hs/g T^2$

Berikut dibawah ini adalah hasil dari perbandingan analisis dimensi dari beberapa parameter terkait dengan stabilitas *concrete block anchor* pada *hexagonal floating breakwater*.

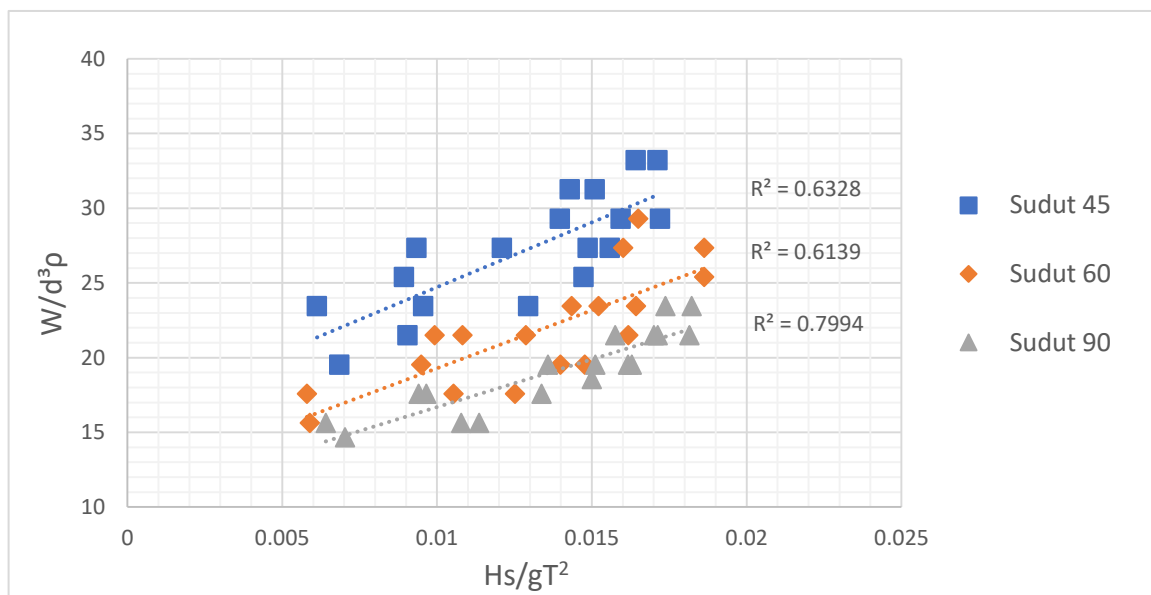


Gambar 4. 10 Analisis dimensi perbandingan antara $W/d^3\rho$ terhadap $Hs/g T^2$ untuk *hexagonal floating breakwater* konfigurasi model 1

Gambar diatas adalah gambar dari grafik perbandingan antara bilangan tak berdimensi $W/d^3\rho$ terhadap $Hs/g T^2$ pada konfigurasi *hexagonal floating breakwater* tipe 1 untuk setiap sudut *mooring* yang diujikan di wave flume. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa sudut *mooring* yang dipasang dengan sudut 45° memiliki berat anchor yang lebih berat daripada *hexagonal floating breakwater* yang dipasang dengan sudut 60° maupun 90° .

Rentang dari $Hs/g T^2$ untuk setiap sudut *mooring* yang diujikan di wave flume memiliki nilai yang sama yaitu dari 0,005 – 0,02. Sedangkan untuk nilai maksimum dari $W/d^3\rho$ untuk setiap sudut *mooring* yang diujikan berbeda. Untuk $W/d^3\rho$ dengan sudut *mooring* 45° memiliki nilai sebesar 35,156. Nilai Maksimum $W/d^3\rho$ untuk sudut *mooring* 60° adalah sebesar 31,25. Nilai Maksimum $W/d^3\rho$ untuk sudut *mooring* 90° adalah sebesar 25,390.

Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa pada *hexagonal floating breakwater* konfigurasi model 1 untuk pengujian sudut *mooring* 45° dengan parameter yang sama di wave flume membutuhkan berat *concrete block anchor* yang lebih berat, sedangkan untuk pengujian sudut *mooring* 90° membutuhkan berat *concrete block anchor* yang paling sedikit. Sehingga pada *hexagonal floating breakwater* konfigurasi model 1 dengan parameter tinggi gelombang dan periode yang diujikan di wave flume, pengujian sudut *mooring* 45° membutuhkan *concrete block anchor* yang lebih berat daripada pengujian sudut 60° dan 90° .



Gambar 4. 11 Analisis dimensi perbandingan antara $W/d^3\rho$ terhadap $Hs/g T^2$ untuk *hexagonal floating breakwater* konfigurasi model 2

Gambar diatas adalah gambar dari grafik perbandingan antara bilangan tak berdimensi $W/d^3\rho$ terhadap $Hs/g T^2$ pada konfigurasi *hexagonal floating breakwater* tipe 2 untuk setiap sudut *mooring* yang diujikan di wave flume. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa sudut *mooring* yang dipasang dengan sudut 45° memiliki berat anchor yang lebih berat daripada *hexagonal floating breakwater* yang dipasang dengan sudut 60° maupun 90° .

Rentang dari $Hs/g T^2$ untuk setiap sudut *mooring* yang diujikan di wave flume memiliki nilai yang sama yaitu dari 0,005 – 0,02. Sedangkan untuk nilai maksimum dari $W/d^3\rho$ untuk setiap sudut *mooring* yang diujikan berbeda. Untuk $W/d^3\rho$ dengan sudut *mooring* 45° memiliki nilai sebesar 33,203. Nilai Maksimum

$W/d^3\rho$ untuk sudut *mooring* 60° adalah sebesar 29,297. Nilai Maksimum $W/d^3\rho$ untuk sudut *mooring* 90° adalah sebesar 23,437.

Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa pada *hexagonal floating breakwater* konfigurasi model 2 untuk pengujian sudut *mooring* 45° dengan parameter yang sama di wave flume membutuhkan berat *concrete block anchor* yang lebih berat, sedangkan untuk pengujian sudut *mooring* 90° membutuhkan berat *concrete block anchor* yang paling sedikit. Sehingga pada *hexagonal floating breakwater* konfigurasi model 2 dengan parameter tinggi gelombang dan periode yang diujikan di wave flume, pengujian sudut *mooring* 45° membutuhkan *concrete block anchor* yang lebih berat daripada pengujian sudut 60° dan 90° .

4.4 Analisis Hasil Pengujian

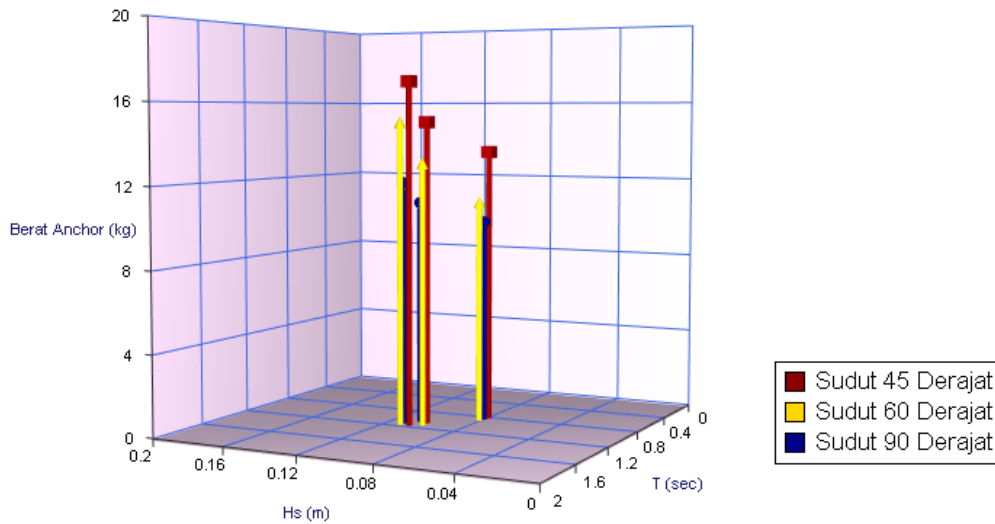
Beberapa model yang telah di uji dengan beberapa tipe konfigurasi *hexagonal floating breakwater* seerta sudut *mooring* yang berbeda. Dalam pengujian model *hexagonal floating breakwater* didapatkan berat keseluruhan *concrete block anchor* dan nilai tertinggi tegangan tali *mooring* dari beberapa model konfigurasi yang diuji, serta mendapatkan konfigurasi yang optimum dari model yang telah diujikan.

4.4.1 Pengujian *Concrete block anchor* pada Konfigurasi *Hexagonal floating breakwater*

Dari pengujian yang telah dilakukan untuk konfigurasi model 1 dan 2 dengan parameter tinggi dan periode gelombang serta beberapa sudut *mooring* maka didapatkanlah berat anchor yang bervariasi. Untuk berat *concrete anchor* konfigurasi model 1 dengan pengujian pada parameter periode rencana gelombang didapatkan :

Tabel 4. 7 Berat total Anchor untuk hasil tinggi dan periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,1 pada konfigurasi model 1

No	Sudut (deg)	H _{input} (cm)	H _s (m)	T _p (sec)	W (kg)
1	45	3	0.0792	0.8153	13.5
2	45	4	0.1014	1.0671	15
3	45	5	0.1064	1.1620	17
4	60	3	0.0810	0.8884	11
5	60	4	0.1007	1.1277	13
6	60	5	0.1114	1.1622	15
7	90	3	0.0802	0.8503	10
8	90	4	0.1063	1.0471	11
9	90	5	0.1117	1.1243	12



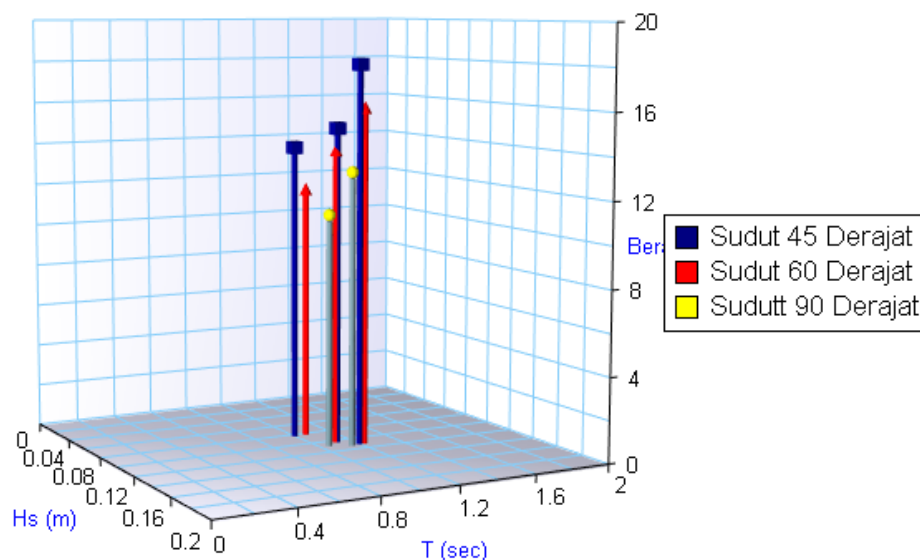
Gambar 4. 12 Analisis perbandingan berat total *concrete block anchor* terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,1 sec pada konfigurasi model 1

Grafik tiga dimensi sumbu x menunjukkan periode, sumbu y menunjukkan tinggi gelombang signifikan dan sumbu z menunjukkan berat keseluruhan anchor. Pada Tabel 4.7 menjelaskan konfigurasi sudut *mooring* 45°, 60°, 90° dengan konfigurasi *hexagonal floating breakwater* model 1.

Konfigurasi model 1 dengan sudut *mooring* 45° memiliki nilai berat tertinggi pada *concrete block anchor* dimana tinggi gelombang rencana pengujian yaitu 0,0792 m, 0,1014 m, 0,1064 m dengan periode masing-masing 0,8153 sec, 1,0671 sec, 1,1620 sec. Anchor terberat sebesar 17,0 kg dengan tinggi gelombang 0,1064 m dan periode gelombang 1,1620 sec.

Tabel 4. 8 Berat total Anchor untuk hasil tinggi dan periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,3 pada konfigurasi model 1

No	Sudut (deg)	H _{input} (cm)	H _s (m)	T _p (sec)	W (kg)
1	45	3	0.0824	1.0022	14
2	45	4	0.1031	1.1227	15
3	45	5	0.1116	1.1970	18
4	60	3	0.0818	1.0664	12
5	60	4	0.1029	1.1156	14
6	60	5	0.1114	1.2248	16
7	90	3	0.0813	1.2200	10
8	90	4	0.1082	1.0517	11
9	90	5	0.1126	1.1511	13



Gambar 4. 13 Analisis perbandingan berat total *concrete block anchor* terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,3 sec pada konfigurasi model 1

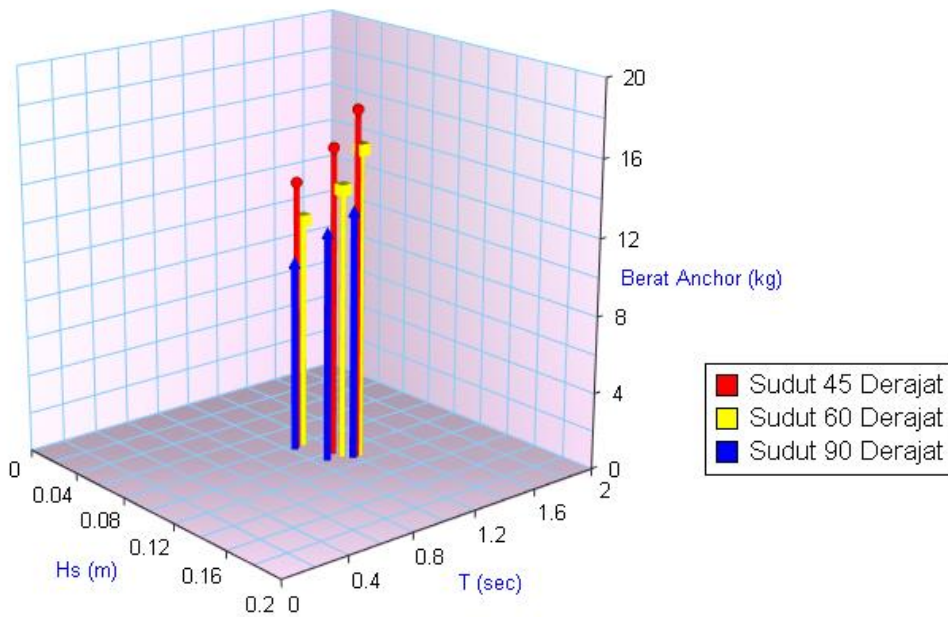
Grafik tiga dimensi sumbu x menunjukkan periode, sumbu y menunjukkan tinggi gelombang signifikan dan sumbu z menunjukkan berat keseluruhan anchor. Pada Tabel 4.8 menjelaskan konfigurasi sudut *mooring* 45°, 60°, 90° dengan konfigurasi *hexagonal floating breakwater* model 1.

Konfigurasi model 1 dengan sudut *mooring* 45° memiliki nilai berat tertinggi pada *concrete block anchor* dimana tinggi gelombang rencana pengujian yaitu 0,0824 m, 0,1031 m, 0,1116 m dengan periode masing-masing 1,1022 sec, 1,1227

sec, 1,1970 sec. Anchor terberat sebesar 18,0 kg dengan tinggi gelombang 0,1116 m dan periode gelombang 1,1970 sec.

Tabel 4. 9 Berat total Anchor untuk hasil tinggi dan periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,5 pada konfigurasi model 1

No	Sudut (deg)	H _{input} (cm)	H _s (m)	T _p (sec)	W (kg)
1	45	3	0.0834	1.0608	14
2	45	4	0.1016	1.1464	16
3	45	5	0.1116	1.2142	18
4	60	3	0.0829	1.1063	12
5	60	4	0.1070	1.1596	14
6	60	5	0.1116	1.2384	16
7	90	3	0.0857	1.0277	10
8	90	4	0.1074	1.0583	12
9	90	5	0.1130	1.1804	13



Gambar 4. 14 Analisis perbandingan berat total *concrete block anchor* terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,5 sec pada konfigurasi model 1

Grafik tiga dimensi sumbu x menunjukkan periode, sumbu y menunjukkan tinggi gelombang signifikan dan sumbu z menunjukkan berat keseluruhan anchor.

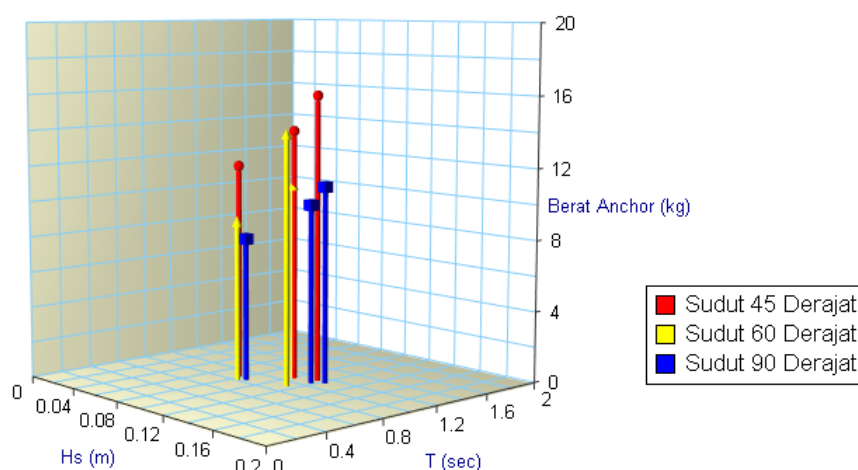
Pada Tabel 4.9 menjelaskan konfigurasi sudut *mooring* 45°, 60°, 90° dengan konfigurasi *hexagonal floating breakwater* model 1.

Konfigurasi model 1 dengan sudut *mooring* 45° memiliki nilai berat tertinggi pada oncrete block anchor dimana tinggi gelombang rencana pengujian yaitu 0,0834 m, 0,1016 m, 0,1116 m dengan periode masing-masing 1,0608 sec, 1,1464 sec, 1,2142 sec. Anchor terberat sebesar 18,0 kg dengan tinggi gelombang 0,1116 m dan periode gelombang 1,2142sec.

Untuk berat concrete anchor konfigurasi model 2 dengan pengujian pada parameter periode rencana gelombang maka didapatkan :

Tabel 4. 10 Berat total Anchor untuk hasil tinggi dan periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,1 pada konfigurasi model 2

No	Sudut (deg)	H _{input} (cm)	H _s (m)	T _p (sec)	W (kg)
1	45	3	0.0772	0.8822	12
2	45	4	0.1018	1.0797	14
3	45	5	0.1150	1.1350	16
4	60	3	0.0834	0.8159	9
5	60	4	0.1011	1.0780	11
6	60	5	0.1132	0.9180	14
7	90	3	0.0869	0.8503	8
8	90	4	0.1170	1.0671	10
9	90	5	0.1223	1.1243	11



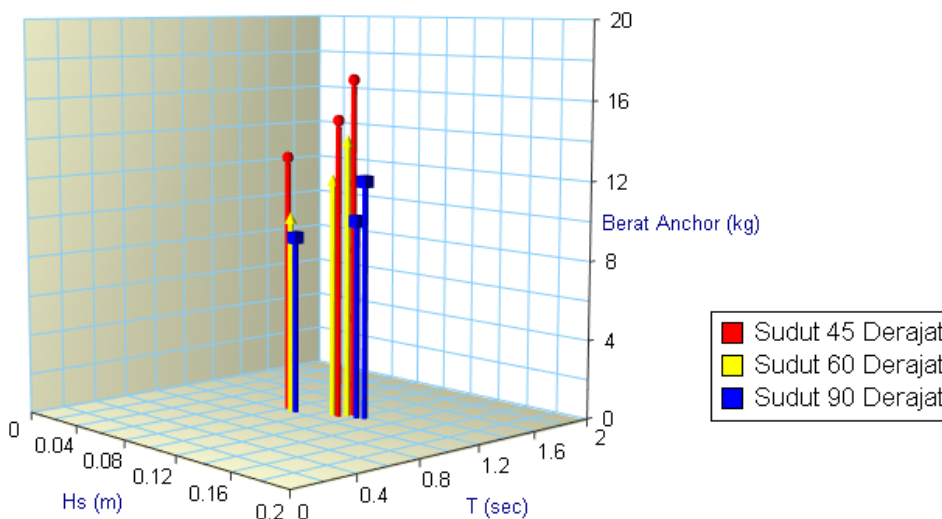
Gambar 4. 15 Analisis perbandingan berat total *concrete block anchor* terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,1 sec pada konfigurasi model 2

Grafik tiga dimensi sumbu x menunjukkan periode, sumbu y menunjukkan tinggi gelombang signifikan dan sumbu z menunjukkan berat keseluruhan anchor. Pada Tabel 4.10 menjelaskan konfigurasi sudut *mooring* 45°, 60°, 90° dengan konfigurasi *hexagonal floating breakwater* model 2.

Konfigurasi model 2 dengan sudut *mooring* 45° memiliki nilai berat tertinggi pada *concrete block anchor* dimana tinggi gelombang rencana pengujian yaitu 0,0722 m, 0,1018 m, 0,1150 m dengan periode masing-masing 0,8822 sec, 1,0797 sec, 1,1350 sec. Anchor terberat sebesar 16,0 kg dengan tinggi gelombang 0,1150 m dan periode gelombang 1,1350 sec.

Tabel 4. 11 Berat total Anchor untuk hasil tinggi dan periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,3 pada konfigurasi model 2

No	Sudut (deg)	H _{input} (cm)	H _s (m)	T _p (sec)	W (kg)
1	45	3	0.0812	1.0385	13
2	45	4	0.1116	1.1080	15
3	45	5	0.1143	1.1870	17
4	60	3	0.0866	1.0095	10
5	60	4	0.1074	1.1084	12
6	60	5	0.1138	1.1496	14
7	90	3	0.0896	1.0147	9
8	90	4	0.1205	1.1517	10
9	90	5	0.1243	1.1711	12



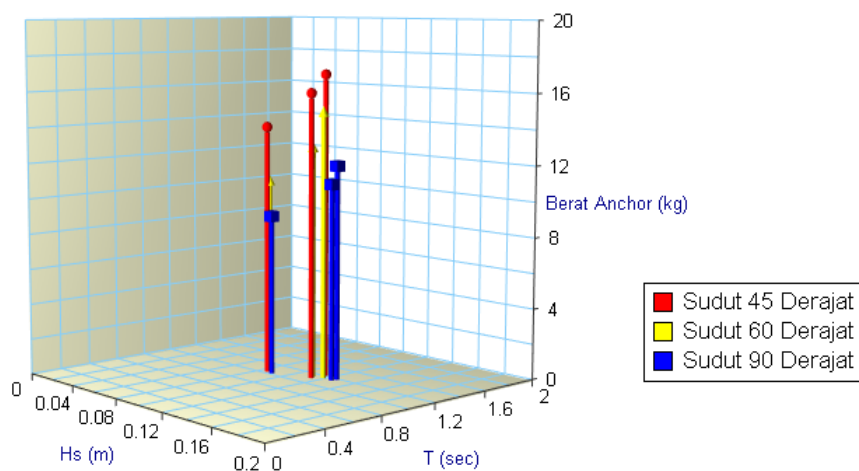
Gambar 4. 16 Analisis perbandingan berat total *concrete block anchor* terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,3 sec pada konfigurasi model 2

Grafik tiga dimensi sumbu x menunjukkan periode, sumbu y menunjukkan tinggi gelombang signifikan dan sumbu z menunjukkan berat keseluruhan anchor. Pada Tabel 4.11 menjelaskan konfigurasi sudut *mooring* 45°, 60°, 90° dengan konfigurasi *hexagonal floating breakwater* model 2.

Konfigurasi model 2 dengan sudut *mooring* 45° memiliki nilai berat tertinggi pada *concrete block anchor* dimana tinggi gelombang rencana pengujian yaitu 0,0812m, 0,1116 m, 0,143 m dengan periode masing-masing 1,0385 sec, 1,108 sec, 1,1870 sec. Anchor terberat sebesar 17,0 kg dengan tinggi gelombang 0,143 m dan periode gelombang 1,1870 sec.

Tabel 4. 12 Berat total Anchor untuk hasil tinggi dan periode gelombang pengujian dengan periode rencana 1,5 pada konfigurasi model 2

No	Sudut (deg)	H _{input} (cm)	H _s (m)	T _p (sec)	W (kg)
1	45	3	0.0846	1.0405	14
2	45	4	0.1137	1.1105	16
3	45	5	0.1148	1.2095	17
4	60	3	0.0845	1.0600	11
5	60	4	0.1114	1.1439	13
6	60	5	0.1183	1.1600	15
7	90	3	0.0897	1.0277	9
8	90	4	0.1252	1.1583	11
9	90	5	0.1262	1.1904	12

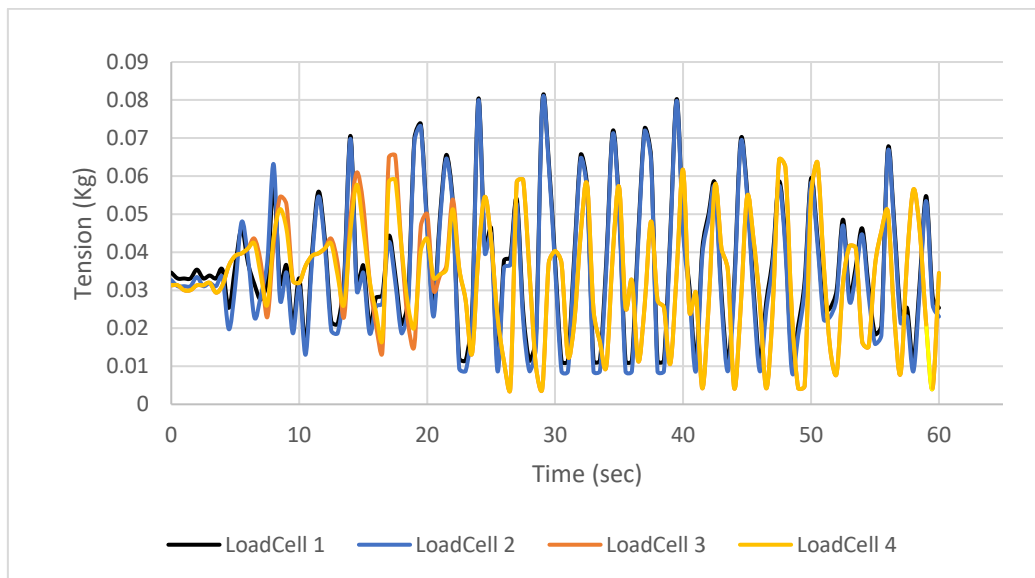


Gambar 4. 17 Analisis perbandingan berat total *concrete block anchor* terhadap parameter tinggi dan periode gelombang sebesar 1,5 sec pada konfigurasi model 2

Grafik tiga dimensi sumbu x menunjukkan periode, sumbu y menunjukkan tinggi gelombang signifikan dan sumbu z menunjukkan berat keseluruhan anchor. Pada Tabel 4.12 menjelaskan konfigurasi sudut *mooring* 45°, 60°, 90° dengan konfigurasi *hexagonal floating breakwater* model 2.

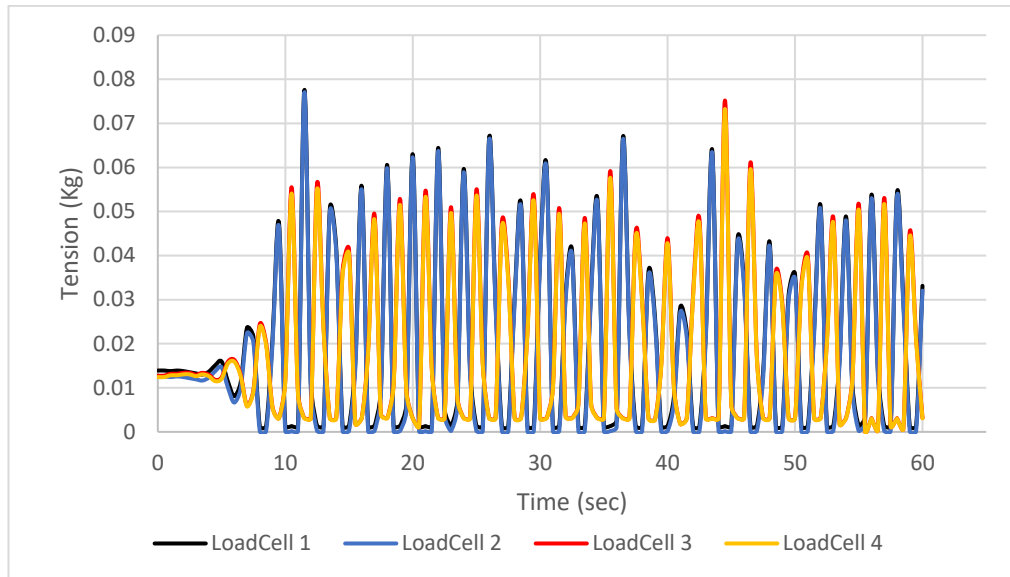
Konfigurasi model 2 dengan sudut *mooring* 45° memiliki nilai berat tertinggi pada concrete block anchor dimana tinggi gelombang rencana pengujian yaitu 0,0846 m, 0,1137 m, 0,148 m dengan periode masing-masing 1,1105 sec, 1,1105 sec, 1,2095 sec. Anchor terberat sebesar 17,0 kg dengan tinggi gelombang 0,148 m dan periode gelombang 1,2095 sec.

4.4.2 Pengujian Tegangan Tali Tertinggi pada Konfigurasi *Hexagonal floating breakwater*



Gambar 4. 18 Tegangan tali pada *hexagonal floating breakwater* konfigurasi model 1 dengan sudut *mooring* 45°

Konfigurasi sudut *mooring* 45° memiliki berat anchor tertinggi beserta tegangan tali tertinggi pada konfigurasi model 1. Pada Gambar 4.22 menjelaskan bahwa tegangan tali tertinggi terjadi pada loadcell 2 dengan nilai sebesar 0,0803 kg. Dimana tinggi gelombang pengujian sebesar 0,111 m dan periode gelombang pengujian sebesar 1,214 sec.



Gambar 4. 19 Tegangan tali pada *hexagonal floating breakwater* konfigurasi model 2 dengan sudut *mooring* 45°

Konfigurasi sudut *mooring* 45° memiliki berat anchor tertinggi beserta tegangan tali tertinggi pada konfigurasi model 2. Pada Gambar 4.23 menjelaskan bahwa tegangan tali tertinggi terjadi pada loadcell 1 dengan nilai sebesar 0,0776 kg. Dimana tinggi gelombang pengujian sebesar 0,114 m dan periode gelombang pengujian sebesar 129, sec.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis pengujian di *wave flume*, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berat *concrete block anchor* yang didapat dari pengujian pada variasi sudut 45°, 60° dan 90° dengan rentang Hs 0,005 – 0,02 m pada konfigurasi model 1 sebesar 13 – 18 kg untuk menstabilkan *floating breakwater*. Sedangkan untuk konfigurasi model 2 sebesar 8 – 17 kg untuk menstabilkan *floating breakwater*.
2. Nilai tertinggi tegangan tali tambat pada konfigurasi model 1 terjadi pada variasi sudut 45° dengan nilai sebesar 0,0813 kg. Sedangkan untuk konfigurasi model 2 terjadi pada variasi sudut 45° dengan nilai sebesar 0,0776 kg.
3. Konfigurasi model yang efektif dari beberapa model yang diujikan didapatkan konfigurasi model 2 menjadi yang lebih efektif karena mendapatkan berat *concrete block anchor* yang lebih ringan dan nilai tegangan tali tertinggi nya juga lebih kecil daripada konfigurasi model 1.

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Memvariasikan konfigurasi bentuk model *floating breakwater* untuk mendapatkan hasil optimum dari berat *concrete block anchor*.
2. Memvariasikan konfigurasi bentuk *concrete block anchor* untuk mendapatkan hasil optimum dari berat dan stabilitas *concrete block anchor*.
3. Menganalisis berat anchor dengan pemodelan numerik.

4. Menganalisis tegangan yang terjadi pada anchor dengan pemodelan numerik.
5. Memvariasikan parameter tinggi gelombang dan periode gelombang rencana serta kedalaman air.
6. Perlu dilakukan kalibrasi instrument *wave generator* sehingga di dapatkan hasil *output* pada *probe* 1 atau gelombang datang yang konstan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abul-Azm, A. G. 1993. **Wave Diffraction through submerged breakwaters**, Journal of Waterway, Port, Coastal Ocean Engineering , ASCE 119, 586-605
- Armono. H. D., Supriadi. H., Yuniardo. R. K. 2009. **Pemakaian Floaton Untuk Pemecah Gelombang Terapung (Floating Breakwater)**, Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan (SENTA), ITS, Surabaya
- Bhattacharyya. 1972. **Dynamic of Marine Vehicles**, a Wiley Inerscience Publication, John Wiley & Sons, New York
- Dean, R. G. and Dalrymple, R. A. 1991. **Water Waves Mechanics For Engineers and Scientifics, Advanced Series on Ocean Engineering**, Vol 2, World Scientific, Singapore
- De Vries, M. 1987. **Scalling Model Hydraulic**. Netherland: IHE Published.
- Djarmiko, E. B. 2007. **Analisis Beban Gelombang dalam Perancangan Struktur Global Kapal SWATH**, Jurnal Teknik Kelautan, Vol. 11
- Djarmiko, E. B., Murdjito. 2011. **Operability Assessment of FPSO Mooring System**. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS
- Djarmiko, E. B. 2012 **Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak**. Surabaya : itspress
- Fousert, M. W. 2006. **Floating Breakwater : a Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System**. Section of Hidraulic Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Netherland
- Franco, C., Meer, J. W., van der, Franco, L. 1996. **Multi-directional wave loads on vertical breakwater** Proc 25th Int. Conf. On Coastal Eng., Orlando, ASCE, New York
- Hales, Lyndell Z. 1981. **Floating Breakwate: State-of-the-Art, Literature Preview**, TR 81-1, U.S. Army Coastal Engineering Research Centre, CE, Fort Belvoir

- Hasselmann, K., T. P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D. E. Cartwright, K. Enke, J. A. Ewing, H. Gienapp, D. E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Miller, D. J. Olbers, K. Richter, W. Sell, and H. Walden. 1973. **Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)**
- Hughes, S. A. 1993. **Physical Models And Laboratory Techniques in Coastal Engineering**, Coastal Engineering Research Center, USA
- Jones, J.B. 1971. **Transportable breakwaters – A Survey of Concepts**, NTIS, Technical Report AD-887 841, Naval Facilities Engineering Command, Port Hueneme, CA, May
- Kim, Chang Gil. Ho Sang Kim. Tae Ho Kim. Chul In Baik. 2001. **Monitoring of Fish Reef Installed in Koje Coastal Waters**, Ocean and Polar Research, Vol 23 (3): 305-310
- Loukogeorgaki, E., Angelides, Demos. 2005. **Effect of Mooring Lines on Floating Breakwaters Performance**, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
- McCartney, Bruce L. 1985. **Floating Breakwater Design**, this paper is part of the Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 111, No. 2
- Moorey, J. 1998. **Floating Breakwater Predicting Their Performance**, Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of New Founland, Canada
- Murdjito. 1996. **Diktat Pengantar Bangunan Lepas Pantai**, FTK ITS, Surabaya
- Pratikto, W. A., Haryo Dwito Armono, Suntoyo. 1996. **Diktat Kuliah, Perencanaan Fasilitas Pantai dan Lautan**, T. Kelautan ITS, Surabaya
- PIANC. 1994. **Floating Breakwater, A Practical Guide For Design and Construction**, General Secretariat of PIANC, Brussel
- ST. Denis M., Pierson, W. J. 1953. **On the motion of ships in confused seas**, Soc. Naval Architecture Marine Engineering Transport.
- Tirant Le, Pierre. 1990. **Anchoring of Floating Structures**. Technip, Paris

Triatmodjo, Bambang. 1999. **Teknik Pantai**, Beta Offset, Yogyakarta

Tsinker, Gregory P. 1995. **Marine Structures Engineering: Specialized Application**, An International Thomson Publishing Company, New York

Yuwono, N. 1996. **Artificial Reef as an Alternative Beach Protection**, Proceedings of the 10th Congress of Asian and Pacific Division of LAHR, Lengkawi, Malaysia

Yuwono, N. N., Mundra, I. W. 1997. **Studi Model Fisis Stabilitas dan Unjuk Kerja Reef Buatan pada Perlindungan Pantai**, Kumpulan Naskah Ilmiah Teknik Pantai dan Pelabuhan, Yogyakarta: PAU Ilmu Teknik UGM

Zhang, J., Mercier, R. 2005. **Foreword**, Ocean Engineering, Vol. 32

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

LAMPIRAN A CONTOH LISTING PROGRAM MATLAB

LAMPIRAN B CONTOH LISTING PROGRAM ARDUINO UNO

LAMPIRAN C TABEL PERGESERAN *CONCRETE BLOCK ANCHOR*

LAMPIRAN D DOKUMENTASI KEGIATAN

LAMPIRAN E DOKUMENTASI SENSOR *LOADCELL* DAN PENGUJIAN

LAMPIRAN A CONTOH LISTING PROGRAM MATLAB

```
% Program WAVAN
%   - Wave Analysis - Version 1.1
%   - Copyright (c) J.W. Kamphuis
%   - Last Update: 28 Sep, 2000

%   !!! READ ALL INSTRUCTIONS BELOW !!!

% Setup:
%   - There is a MATLAB program WAVAN.m
%   - It calls on two functions: SPECCALC.m and FFF.m
%   - It requires an input data file
%   - For ease of operation, put WAVAN, SPECCALC, FFF
%     and the input file all in the same directory.

% WAVAN performs:
%   - Zero Up- and Downcrossing
%   - Spectrum Analysis
%   - Long Wave Analysis

% INPUT files can be either:
%   - One column consisting of water levels
%   - Time column followed by several water level columns

% INPUT files must have the following characteristics:
%   - The file must consist of numbers only!
%   - All other material must be stripped from the file
%   - Filename must consist of letters and numbers only!
%   - Therefore carefully rename the stripped file.
%   - Input file needs to be in the same directory as WAVAN

% The program OUTPUTS to:

%   - COMMAND WINDOW
%   - I have selected the output
%   - You can add quickly to the output by:
%     a) Naming the new output with the display command
%        before the location where the variable is calculated
%        - disp 'xxx' - would simply type xxx in the command window
%     b) removing the semi-colon ; from the end of the command
%        displays the calculated value in the command window

%   - FILES: wavan.out, wadist.out, wahr.out, waetap.out
%            warawspc.out, waresspc.out, wasegspc.out
%   The files are put in directory Matlab/Output
%   You need to create such a directory or you need
%   to change the program to produce files elsewhere.

%   - PLOTS (optional):
%     - Plot 1 - Water levels
%     - Plot 2 - Water level excursions from the mean
```

```

% - Plot 3 - Long wave action
% - Plot 4 - Wave heights distributions and
%             raw short wave and long wave spectra
% - Plot 5 - Four short wave spectra

% - This forms one basis for wave analysis
% - YOU ARE ENCOURAGED TO DEVELOP THIS PROGRAM FURTHER
% - Any major improvements I would like to see
%   kamphuis@civil.queensu.ca

clear
disp ' '
disp ' '
disp '             Program WAVAN'
disp ' '
disp '             Wave Analysis'
disp ' '
disp 'INPUT'
disp ' '

% ***** 1. Introduction *****

% Note that all INPUTS are either:
% - Answers to a prompt (the most general)
% - or entered directly into the code
%   (when you get tired of answering the prompts)
% - One of either the prompt or the direct input
%   must be commented out with (%)!

% *** Input filename ***

fin = input ('enter input filename ', 's');
% (e.g. 'wl.dat')
%fin = 'wl2.dat';

% *** Load filename ***

load_com=['load ' fin]; % makes 'load wl.dat'
eval(load_com); % loads fin - load wl.dat
[k,w] = size (fin); % sizes the input file as a string
var=[fin(1,1:w-4)]; % changes 'wl.dat' to 'wl'
recin=eval(var); % recin is wl
file=fin; % outputs file name 'wl.dat'

% *** Input calculation values ***

nc = input ('Enter Number of Columns in Input File: ');
%nc=1;

if nc==1
    delt = input ('Enter Sampling Time, Delt: ');
    %delt=0.25;
else
    recin(1,1);

```

```

        recin(2,1);
        delt=recin(2,1)-recin(1,1);
end

nn = input ('Enter No. of Points (Multiple of 8): ');
%nn=2048;

plots = input ('Do you want plots? - Yes=1, No=0: ');
%plots=1;

trends = input ('Remove Mean (1) or Trend (2)?: ');
%trends=2;

M = input ('Enter Desired Resolution, M: ');
%M=4;

% *** START OF THE MAIN LOOP (ONCE FOR EACH z DATASET)***

% *** This loop ends at the end of the program ***

if nc == 1
    ncount=1;
else
    ncount=2;
end

while ncount <= nc
    n=nn;
    fmint=1/(n*delt);
    ft=fmint*(0:n/2);
    if nc == 1
        nz=1;
    else
        nz=ncount-1;
    end

    z=recin(1:nn,ncount);
        % z = the ncount column in data file

    if nc == 1
        t=linspace(0,(nn*delt),nn); % generate t vector
    else
        t=recin(1:nn,1); % t = 1st column in data file
    end

    % *** remove mean or trend from the record ***

    if trends == 1
        meanwl=sum(z)/n;
        eta=z-meanwl;
        trend=0;
    else
        if nc == 1
            coef=polyfit(t,z',1);
            trend=coef(1);
            meanwl=coef(2);

```



```

        ztrend=trend*t+meanwl;
        eta=z-ztrend';
    else
        coef=polyfit(t,z,1);
        trend=coef(1);
        meanwl=coef(2);
        ztrend=trend*t+meanwl;
        eta=z-ztrend;
    end
end

% *** rms of the signal (sigma) ***

rms = sqrt(sum(eta.*eta)/n);

% ***** end - 1. Introduction *****

% ***** 2. Zero Down-Crossing Analysis *****

% *** Locate Zero Downcrossings ***

izcd=0;
for itd = 2:nn
    if eta(itd-1) >= 0
        if eta(itd) <= 0
            izcd=izcd+1;
            zcd(izcd)=itd;
        end
    end
end

% *** Calc. wave heights between zero down crossings ***

nwavesd=izcd-1;
Tavgd=nn*delt/nwavesd;
for ihd = 1:nwavesd
    hd(ihd) = max(eta(zcd(ihd):zcd(ihd+1))) -
min(eta(zcd(ihd):zcd(ihd+1)));
end
minhd = min(hd);

% *** Calculate Wave Height Statistics ***

hmaxd=max(hd);
hsortd=sort(hd);
havgd=mean(hsortd(1:nwavesd));
hmeand=mean(hsortd(1:nwavesd));
hsd=mean(hsortd((round(2/3*nwavesd)):nwavesd));
h10d=mean(hsortd((round(0.9*nwavesd)):nwavesd));
hrmsd = sqrt(sum(hsortd.*hsortd)/nwavesd);

% *** Calc. prob. of exceedence and R for all waves ***

rankhd = [1:nwavesd];
Phd = rankhd/nwavesd;

```

```

Qhd = 1-Phd;
Qpltd = Qhd(1:nwavesd-1);
Rhd(1:nwavesd-1)=sqrt(-log(Qpltd)); % Rayleigh parameter
Hpltd(1:nwavesd-1)=hsortd(1:nwavesd-1);
coefhd=polyfit(Rhd,Hpltd,1);
mhd=coefhd(1);
bhd=coefhd(2);
yhbestd=mhd*Rhd+bhd;

% ***** end - 2. Zero Down-Crossing Analysis *****

% ***** 3. Zero Up-Crossing Analysis *****

% *** Locate Zero Upcrossings ***

izcu=0;
for itu = 2:nn
    if eta(itu-1) <= 0
        if eta(itu) >= 0
            izcu=izcu+1;
            zcu(izcu)=itu;
        end
    end
end

% *** Determine wave heights between zero upcrossings ***

nwavesu=izcu-1;
Tavgu=nn*delt/nwavesu;
for ihu = 1:nwavesu
    hu(ihu) = max(eta(zcu(ihu):zcu(ihu+1)))-
min(eta(zcu(ihu):zcu(ihu+1)));
end
minhu = min(hu);

% *** Calculate Wave Height Statistics ***

hmaxu=max(hu);
hsortu=sort(hu);
havg=mean(hsortu(1:nwavesu));
hmeanu=mean(hsortu(1:nwavesu));
hsu=mean(hsortu((round(2/3*nwavesu):nwavesu)));
h10u=mean(hsortu((round(0.9*nwavesu):nwavesu)));
hrmsu = sqrt(sum(hsortu.*hsortu)/nwavesu);

% *** Calc. prob. of exceedence and R for all waves ***

rankhu = [1:nwavesu];
Phu = rankhu/nwavesu;
Qhu = 1-Phu;
Qpltu = Qhu(1:nwavesu-1);
Rhu(1:nwavesu-1)=sqrt(-log(Qpltu)); % Rayleigh parameter
Hpltu(1:nwavesu-1)=hsortu(1:nwavesu-1);
coefhu=polyfit(Rhu,Hpltu,1);
mhu=coefhu(1);
bhu=coefhu(2);

```

```

yhubest=mhu*Rhu+bhu;

% ***** end - 3. Zero Up-Crossing Analysis *****

% ***** 4. Calc. Histogram and Cum. Frequencies *****

disp ( ' ')
disp ( ' ')

% *** Enter number of bins ***

nbin = input ( 'Enter Number of Bins for Histogram: ');
% nbin=10;

bin=max(hd)/nbin;           %bin size = hmax/no of bins

for ibin=1:nbin
    hpltd(ibin)=(ibin-0.5)*bin; %hplt is centre of bin!
end

hdstd=hist(hd, nbin);
hcumd=cumsum(hdstd);
hfrd=hcumd/max(hcumd);
Qd=1-hfrd;
Rd=sqrt(-log(Qd(1:(nbin-1)))); % Rayleigh parameter

hplt2d(1:(nbin-1))=hpltd(1:(nbin-1));
Rplt2d(1:(nbin-1))=Rd(1:(nbin-1));
Rplt2d ((nbin-1):100)=0;
hplt2d ((nbin-1):100)=0;

coefd=polyfit(Rplt2d,hplt2d,1);
md=coefd(1);
bd=coefd(2);
ybestd=md*Rplt2d;
msig=sqrt(8)*rms;
ysigd=msig*Rplt2d;
ysig2d=msig*Rhd;
sigzd=md/sqrt(8);
sigzu=sigzd;
% *** end - 4. Calc. Histogram and Cum. Frequencies ****

% ***** 5. Averaging Up and Down Crossing *****

if nwavesu == nwavesd
    nwaves=nwavesu;
else
    nwaves = round((nwavesu+nwavesd)/2);
end

Tavg = (Tavgu+Tavgd)/2;
hs = (hsu+hsd)/2;
hmax = (hmaxu+hmaxd)/2;
hmean = (hmeanu+hmeand)/2;

```

```

hrms = (hrmsu+hrmsd)/2;
h10 = (h10u+h10d)/2;
sigz = (sigzu+sigzd)/2;

% ***** end -5. Averaging Up and Down Crossing *****

% ***** 6. Basic Output and Wave Statistics *****

% ***Output to Command Window***

disp ( ' ' )
disp ( ' ' )
disp ('Basic Output')
disp ( ' ' )
fprintf ('Mean Water Level           = %7.4f centimetres
\n',meanwl)
fprintf ('Water Level Trend           = %8.5f cm/s \n',trend)
fprintf ('Sigma                         = %6.3f centimetres \n',
rms)
disp ( ' ' )
disp ( ' ' )
disp ('Wave Statistics')
disp ( ' ' )

stats = input ('Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average
(3)?: ');
%stats=3;
disp ( ' ' )

if stats==1
    fprintf ('Number of Waves           = %4.0f \n',nwavesu)
    fprintf ('Average Wave Period       = %7.4f seconds
\n',Tavgu)
    fprintf ('Significant Wave Height   = %7.4f centimetres
\n',hsu)
    fprintf ('Maximum Wave Height           = %7.4f centimetres
\n',hmaxu)
    fprintf ('Average Wave Height           = %7.4f centimetres
\n',hmeanu)
    fprintf ('rms Wave Height               = %7.4f centimetres
\n',hrmsu)
    fprintf ('Average of Highest 1/10       = %7.4f centimetres
\n',h10u)
    fprintf ('Sigmaz                         = %7.4f centimetres
\n',sigzu)
end

if stats==2
    fprintf ('Number of Waves           = %4.0f \n',nwavesd)
    fprintf ('Average Wave Period       = %7.4f seconds \n',Tavgd)
    fprintf ('Significant Wave Height   = %7.4f centimetres \n',hsd)
    fprintf ('Maximum Wave Height           = %7.4f centimetres
\n',hmaxd)
    fprintf ('Average Wave Height           = %7.4f centimetres
\n',hmeand)

```

```

    fprintf ('rms Wave Height           = %7.4f centimetres
\n',hrmsd)
    fprintf ('Average of Highest 1/10   = %7.4f centimetres
\n',h10d)
    fprintf ('Sigmaz                     = %7.4f centimetres
\n',sigzd)
end

if stats==3
    fprintf ('Number of Waves           = %4.0f \n',nwaves)
    fprintf ('Average Wave Period         = %7.4f seconds \n',Tavg)
    fprintf ('Significant Wave Height         = %7.4f centimetres \n',hs)
    fprintf ('Maximum Wave Height             = %7.4f centimetres
\n',hmax)
    fprintf ('Average Wave Height               = %7.4f centimetres
\n',hmean)
    fprintf ('rms Wave Height                   = %7.4f centimetres
\n',hrms)
    fprintf ('Average of Highest 1/10           = %7.4f centimetres \n',h10)
    fprintf ('Sigmaz                             = %7.4f centimetres
\n',sigz)
end

% ***Matrices for output to file***

STATSU(nz,:)= [ meanwl trend rms nwavesu Tavgu hsu hmaxu hmeanu
hrmsu h10u sigzu];
STATSD(nz,:)= [ meanwl trend rms nwavesd Tavgd hsd hmaxd hmeand
hrmsd h10d sigzd];
STATSA(nz,:)= [ meanwl trend rms nwaves Tavg hs hmax hmean hrms
h10 sigz];

% ***** end - 6. Basic Output and Wave Statistics *****

% ***** 7. Wave Spectrum Analysis *****

% *** Raw spectrum calculation ***

st = speccalc (n,delt,eta);

var=trapz(ft,st);           % Variance
sigmat=sqrt(var);          % Sigma
Hmot=4*sigmat;             % Hmo
[spt,it] = max(st);        % S(f) at peak
fpt = ft(it);              % Peak frequency
Tpt=1/fpt;                 % Peak period

mind=1;

for mind = 1:4              % Moments
    prod=(ft.^mind);
    prod=prod'.*st;
    m(mind)=trapz(ft,prod);
end

```

```

eps2=1-(m(2)^2/(vart*m(4))); % Spectral Bandwidth
tm01=vart/m(1); % Wave Period
tm02=sqrt(vart/m(2)); % Wave Period

it2= round(it/2);
lwvart = trapz(ft(1:it2), st(1:it2));
swvart = trapz(ft(it2:n/2), st(it2:n/2));
lwhmot=4*sqrt(lwvart);
swhmot=4*sqrt(swvart);
[slpt,ilt] = max(st(1:it2)); % S(f) at long wave peak
flpt = ft(ilt); % Long wave peak frequency
Tlpt=1/flpt; % Long Wave Peak period

% *** Spectrum with specified resolution ***

delf=1/(delt*n);
m2=M/2;
res=M*delf;
nfr=n/(2*M);
ii=1;

while ii <= nfr
    iil=1+m2*2*(ii-1);
    iih=2*m2*ii;
    str(ii) = mean(st(iil:iih));
    % spectrum for specified resolution
    ftr(ii) = delf*(iil+iih-2)/2;
    ii=ii+1;
end

varr=trapz(ftr,str); % Variance
sigmar=sqrt(varr); % Sigma
Hmor=4*sigmar; % Hmo
[spr,ir] = max(str); % S(f) at peak
fpr = ftr(ir); % Peak frequency
Tpr=1/fpr; % Peak period

mindr=1;

for mindr = 1:4 % Moments
    prodtr=(ftr.^mindr);
    prodr=prodtr.*str;
    mr(mindr)=trapz(ftr,prodr);
end

eps2r=1-(mr(2)^2/(varr*mr(4))); % Spectral Bandwidth
tm01r=varr/mr(1); % Wave Period
tm02r=sqrt(varr/mr(2)); % Wave Period

ir2= round(ir/2);
lwvarr = trapz(ftr(1:ir2), str(1:ir2));
swvarr = trapz(ftr(ir2:nfr), str(ir2:nfr));
lwhmor=4*sqrt(lwvarr);
swhmor=4*sqrt(swvarr);
[slpr,ilr] = max(st(1:ir2)); % S(f) at long wave peak
flpr = ft(ilr); % Long wave peak frequency

```

```

Tlpr=1/flpr; % Long Wave Peak period

% *** Spectra for segments of the record ***

n=nn/4;
fmin=1/(n*delt);
f=fmin*(0:n/2);

seg=1;
etas=eta(1+(seg-1)*n:(seg*n));
s1= speccalc (n,delt,etas); % Spectrum for first 1/4
seg=2;
etas=eta(1+(seg-1)*n:(seg*n));
s2= speccalc (n,delt,etas); % Spectrum for second 1/4
seg=3;
etas=eta(1+(seg-1)*n:(seg*n));
s3= speccalc (n,delt,etas); % Spectrum for third 1/4
seg=4;
etas=eta(1+(seg-1)*n:(seg*n));
s4= speccalc (n,delt,etas); % Spectrum for fourth 1/4

seg=1.5;
etas=eta(1+(seg-1)*n:(seg*n));
s15= speccalc (n,delt,etas); % Spectrum for 1/8 to 3/8
seg=2.5;
etas=eta(1+(seg-1)*n:(seg*n));
s25= speccalc (n,delt,etas); % Spectrum for 3/8 to 5/8
seg=3.5;
etas=eta(1+(seg-1)*n:(seg*n));
s35= speccalc (n,delt,etas); % Spectrum for 5/8 to 7/8

% *** Averaging the segment spectra ***

% *** Average of 4 Spectra ***
savg4=(s1+s2+s3+s4)/4;

% *** Average of 7 Spectra ***
savg7=(s1+s2+s3+s4+s15+s25+s35)/7;

[sp4,i] = max(savg4); % S(f) at peak
fp4 = f(i); % Peak frequency
Tp4=1/fp4; % Peak period

%*** Parameters for Average of 4 Segments ***

var4=trapz(f,savg4); % Variance
sigma4=sqrt(var4); % Sigma
Hmo4=4*sigma4; % Hmo

i42= round(i/2);
lwvar4 = trapz(f(1:i42), savg4(1:i42)); % lw variance
swvar4 = trapz(f(i42:n/2), savg4(i42:n/2)); % sw variance
lwhmo4=4*sqrt(lwvar4); % lw Hmo
swhmo4=4*sqrt(swvar4); % sw Hmo
[slp4,il4] = max(st(1:i42)); % S(f) at long wave peak

```

```

flp4 = ft(il4);           % Long wave peak frequency
Tlp4=1/flp4;            % Long Wave Peak period

%*** Parameters for Average of 7 Segments ***

var7=trapz(f,savg7);
sigma7=sqrt(var7);
Hmo7=4*sigma7;

[sp7,i] = max(savg7);
fp7 = f(i);
Tp7=1/fp7;

i72= round(i/2);
lwvar7 = trapz(f(1:i72), savg7(1:i72));
swvar7 = trapz(f(i72:n/2), savg7(i72:n/2));
lwhmo7=4*sqrt(lwvar7);
swhmo7=4*sqrt(swvar7);
[slp7,il7] = max(st(1:i72));
flp7 = ft(il7);
Tlp7=1/flp7;

% ***** end - 7. Wave Spectrum Analysis *****

% ***** 8. Calculation of Long Wave *****

% *** Averaging the time signal ***

navg=Tavg/delt;
navg2=round(navg/2);
etavg(1:nn)=0;
iavg=1+navg2;
while iavg <= nn-1-navg2
    etavg(iavg)=mean(eta((iavg-navg2):(iavg+navg2)));
    iavg=iavg+1;
end

% *** FFT Filtering Analysis ***

fhigh=fp4/2;
etafff = fff (nn,delt,eta,fhigh);
etalw=real(etafff);

% ***** end - 8. Calculation of Long Wave *****

% ***** 9. Plots *****

tplot=t(1:nn);
zplot=z(1:nn);
tplot8=t(1:nn/8);
zplot8=z(1:nn/8);
etaplot=eta(1:nn);
etaplot8=eta(1:nn/8);
etavgplot=etavg(1:nn);

```



```

if plots == 1
% ***** Plot # 1 *****

% *** Plot the z time series
% (complete record and first 1/8th) ***

if ncount > 2
figure;
end

subplot(2,1,1)
plot(tplot,zplot);title(fin)
xlabel('Time (sec)'),ylabel('z (cm)')
grid

subplot(2,1,2)
plot(tplot8,zplot8);
xlabel('Time (sec)'),ylabel('z (cm)')
grid
figure;

% ***** Plot # 2 *****

% *** Plot the eta time series
% (complete record and first 1/8th) ***

subplot(2,1,1)
plot(tplot,etaplot);title(fin)
xlabel('Time (sec)'),ylabel('eta (cm)')
grid

subplot(2,1,2)
plot(tplot8,etaplot8);
xlabel('Time (sec)'),ylabel('eta (cm)')
grid
figure;

% ***** Plot # 3 *****

% *** Long Waves from running average ***

subplot(2,1,1)
plot(tplot,etavgplot);title('Long Wave from Running
Average')
xlabel('Time (sec)'),ylabel('eta (cm)')
grid

% *** Long Waves from fft ***

subplot(2,1,2)
plot(tplot,etalw);title('Long Wave from FFT')
xlabel('Time (sec)'),ylabel('eta (cm)')
grid
figure;

```

```

% ***** Plot # 4 *****

% *** Wave heights histogram ***

subplot(2,2,1)
bar(hpltd,hdstd);title(fin)
xlabel('Wave Height - H (cm)'),ylabel('Number of Waves')
grid

% *** Rayleigh Distribution ***

subplot (2,2,2)
plot(Rplt2d,ybestd,'--',Rplt2d,ysigd,Rplt2d,hplt2d,'x')
title('Rayleigh Distribution');
xlabel(' Rayleigh parameter - R'),ylabel('Wave Height - H
(cm)');
grid;

% *** Short Wave Spectrum ***

subplot(2,2,3)
plot(ft,st),axis ([0,3*fpt,0,1.2*spt])
title ('Complete Record')
xlabel('Frequency, f (Hz)'),ylabel('S(f) (cm2/Hz)')
grid

% *** Long Wave Spectrum ***

subplot(2,2,4)
plot(ft(1:it2),st(1:it2)),axis ([0,0.5*fpt,0,1.2*slpt])
title ('Long Waves')
xlabel('Frequency, f (Hz)'),ylabel('S(f) (cm2/Hz)')
grid

figure;

% ***** Plot #5 *****

% *** Spectrum for the Complete Record ***

subplot(2,2,1)
plot(ft,st),axis ([0,3*fpt,0,1.2*spt])
title(fin)
xlabel('a) Frequency, f (Hz)'),ylabel('S(f) (cm2/Hz)')
grid

% *** Spectrum for Specified Resolution ***

subplot(2,2,2)
plot(ftr,str),axis ([0,3*fpr,0,1.2*spr])
title('For Specified Resolution')
xlabel('b) Frequency, f (Hz)'),ylabel('S(f) (cm2/Hz)')
grid

% *** Average spectrum of 4 segments ***

```

```

subplot(2,2,3)
plot(f,savg4),axis ([0,3*fp4,0,1.2*sp4])
title('Average of 4 Segments')
xlabel('c) Frequency, f(Hz)'),ylabel('S(f) (cm2/Hz)')
grid

% *** Average spectrum of 7 segments ***

subplot(2,2,4)
plot(f,savg7),axis ([0,3*fp7,0,1.2*sp7])
title('Average of 7 Segments')
xlabel('d) Frequency, f(Hz)'),ylabel('S(f) (cm2/Hz)')
grid

end

% ***** end - 9. Plots *****

% *** Output to command window ***

disp (' ')
disp (' ')
disp ('For the Raw Spectrum')

disp (' ')
fprintf ('fmin           = %7.4f Hz\n',fmint)
fprintf ('Sigma           = %7.4f cm \n',sigmat)
fprintf ('S(p)              = %7.4f cm2/Hz \n',spt)
fprintf ('f(p)              = %7.4f Hz \n',fpt)
fprintf ('T(p)              = %7.4f sec \n',Tpt)

disp (' ')
fprintf ('Variance           = %7.4f cm2 \n',vart)
fprintf ('Long Wave Variance = %7.4f cm2 \n',lwvart)
fprintf ('Short Wave Variance = %7.4f cm2 \n',swvart)

disp (' ')
fprintf ('Hmo                = %5.2f cm \n',Hmot)
fprintf ('Long Wave Hmo      = %5.2f cm \n',lwhmot)
fprintf ('Short Wave Hmo     = %5.2f cm \n',swhmot)

disp (' ')
fprintf ('First Moment       = %8.5f centimetres\n',m(1))
fprintf ('Second Moment      = %8.5f centimetres\n',m(2))
fprintf ('Third Moment       = %8.5f centimetres\n',m(3))
fprintf ('Fourth Moment      = %8.5f centimetres\n',m(4))
fprintf ('Epsilon Squared    = %5.2f centimetres\n',eps2)
fprintf ('T(0,1)             = %5.2f centimetres\n',tm01)
fprintf ('T(0,2)             = %5.2f centimetres\n',tm02)

```

```

disp ( ' ')
disp ( ' ')
disp ( 'For the Spectrum with Defined Resolution')

disp ( ' ')
fprintf ( 'resolution           = %7.4f Hz\n',res)
fprintf ( 'Sigma                 = %7.4f cm \n',sigmar)
fprintf ( 'S(p)                   = %7.4f cm2/Hz \n',spr)
fprintf ( 'f(p)                       = %7.4f Hz \n',fpr)
fprintf ( 'T(p)                         = %5.2f sec \n',Tpr)

disp ( ' ')
fprintf ( 'Variance                     = %7.4f cm2 \n',varr)
fprintf ( 'Long Wave Variance           = %7.4f cm2 \n',lwvarr)
fprintf ( 'Short Wave Variance         = %7.4f cm2 \n',swvarr)

disp ( ' ')
fprintf ( 'Hmo                          = %5.2f cm \n',Hmor)
fprintf ( 'Long Wave Hmo                = %5.2f cm \n',lwhmor)
fprintf ( 'Short Wave Hm                = %5.2f cm \n',swhmor)

disp ( ' ')
fprintf ( 'First Moment                 = %8.5f centimetres
\n',mr(1))
fprintf ( 'Second Moment                = %8.5f centimetres
\n',mr(2))
fprintf ( 'Third Moment                 = %8.5f centimetres
\n',mr(3))
fprintf ( 'Fourth Moment                = %8.5f centimetres
\n',mr(4))
fprintf ( 'Epsilon Squared              = %5.2f centimetres
\n',eps2r)
fprintf ( 'T(0,1)                       = %5.2f centimetres
\n',tm01r)
fprintf ( 'T(0,2)                       = %5.2f centimetres
\n',tm02r)

disp ( ' ')
disp ( ' ')
disp ( 'For the Average of 4 Spectra')
disp ( ' ')
fprintf ( 'fmin                          = %7.4f Hz\n',fmin)
fprintf ( 'Sigma                         = %7.4f cm \n',sigma4)
fprintf ( 'S(p)                          = %7.4f cm2/Hz \n',sp4)
fprintf ( 'f(p)                          = %7.4f Hz \n',fp4)
fprintf ( 'T(p)                          = %5.2f sec \n',Tp4)
disp ( ' ')
fprintf ( 'Variance                      = %7.4f cm2 \n',var4)
fprintf ( 'Long Wave Variance            = %7.4f cm2 \n',lwvar4)
fprintf ( 'Short Wave Variance           = %7.4f cm2 \n',swvar4)
disp ( ' ')
fprintf ( 'Hmo                            = %5.2f cm \n',Hmo4)
fprintf ( 'Long Wave Hmo                 = %5.2f cm \n',lwhmo4)
fprintf ( 'Short Wave Hmo                = %5.2f cm \n',swhmo4)

disp ( ' ')

```

```

disp ( ' ')
disp ('For the Average of 7 Spectra')
disp ( ' ')
fprintf ('fmin           = %7.4f Hz\n', fmin)
fprintf ('Sigma         = %7.4f cm \n', sigma7)
fprintf ('S(p)           = %7.4f cm2/Hz \n', sp7)
fprintf ('f(p)           = %7.4f Hz \n', fp7)
fprintf ('T(p)           = %5.2f sec \n', Tp7)
disp ( ' ')
fprintf ('Variance         = %7.4f cm2 \n', var7)
fprintf ('Long Wave Variance = %7.4f cm2 \n', lwvar7)
fprintf ('Short Wave Variance = %7.4f cm2 \n', swvar7)
disp ( ' ')
fprintf ('Hmo             = %5.2f cm \n', Hmo7)
fprintf ('Long Wave Hmo   = %5.2f cm \n', lwhmo7)
fprintf ('Short Wave Hmo  = %5.2f cm \n', swhmo7)

% *** Output to file ***

% Files are written to directory matlab/output
% You need to set up such a directory or direct the files
elsewhere

% Basic output matrices:

A(nz, :)= [fmint, sigmat, Hmot, spt, fpt, Tpt, vart, lwvart, swvart, lwhmot, s
whmot];

B(nz, :)= [res, sigmar, Hmor, spr, fpr, Tpr, varr, lwvarr, swvarr, lwhmor, sw
mor];

C(nz, :)= [fmin, sigma4, Hmo4, sp4, fp4, Tp4, var4, lwvar4, swvar4, lwhmo4, sw
hmo4];

D(nz, :)= [fmin, sigma7, Hmo7, sp7, fp7, Tp7, var7, lwvar7, swvar7, lwhmo7, sw
hmo7];
E(nz, :)= [eps2, tm01, tm02, eps2r, tm01r, tm02r];

dist= [hpltd' hdstd'];
rpl= [Rplt2d' ysigd' hplt2d'];
ftst = [ft' st];
ftrstr = [ftr' str'];
fsavg = [f' savg4 savg7];

if nc == 1
    tetap = [tplot' etaplot];
else
    tetap = [tplot etaplot];
end

% File with basic output
save STATSU STATSD STATSA A B C D E /ascii;

% File with wave height distribution
save wadist.out dist /ascii;

```

```

% File with Rayleigh plot
save wahr.out rpl /ascii;

% File with plot of eta
save waetap.out tetap /ascii;

% File with raw spectrum
save warawspc.out ftst /ascii;

% File with spectrum with specified resolution
save waresspc.out ftrstr /ascii;

% File with average spectra from record segments
save wasegspc.out fsavg /ascii;

disp 'Completed Run'
disp (nz)
ncount=ncount +1;

if ncount <= nc
disp 'Starting Next Run'
end

end

%*****

```

LAMPIRAN B
CONTOH LISTING PROGRAM ARDUINO UNO

```
//SDA = A4 , SCL = A5////////////////////////////////
#include<Wire.h>////////////////////////////////G
const int MPU_addr=0x68;////////////////////////////////Y
int16_t axis_X,axis_Y,axis_Z;////////R
int minVal=265;////////////////////////////////O
int maxVal=402;////////////////////////////////
double x;////////////////////////////////
double y;////////////////////////////////
double z;////////////////////////////////
//-----
#include "HX711.h"////////////////////////////////

HX711 scale(5, 6); // 5 = dt , 6 = sck
HX711 scale2(7, 8);//////////////////////////////// LOAD
HX711 scale3(9, 10);//////////////////////////////// CELL
HX711 scale4(11, 12);////////////////////////////////

float calibration_factor = 399000; // this calibration factor is adjusted according to
my load cell

float calibration_factor2 = 388000;
float calibration_factor3 = 410000;
float calibration_factor4 = 410000;

float units,units2,units3,units4;

float ounces,ounces2,ounces3,ounces4;

//-----
```

```
int flagSerial=0, counterSerial=0, myData=0;
```

```
char bufferSerial[30];
```

```
int serialData[9],Xpro,Ypro;
```

```
void setup(){
```

```
  Wire.begin();
```

```
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
```

```
  Wire.write(0x6B);
```

```
  Wire.write(0);
```

```
  Wire.endTransmission(true);
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop(){
```

```
  gyro();
```

```
  loadcell();
```

```
  impro();
```

```
float ld1,ld2,ld3,ld4,x1,y1;
```

```
ld1 = random(1,500)/100.0;
```

```
ld2 = random(1,500)/100.0;
```

```
ld3 = random(1,500)/100.0;
```

```
ld4 = random(1,500)/100.0;
```

```
x1 = random(1,100);
```

```
y1 = random(1,100);
```



```
//Serial.println(String(x)+" "+String(ld1,3)+" "+String(ld2,3)+" "+String(ld3,3)+" "+String(ld4,3)+" "+x1+" "+y1+"");
```

```
Serial.println(String(x)+" "+String(units,3)+" "+String(units2,3)+" "+String(units3,3)+" "+String(units4,3)+" "+Xpro+" "+Ypro+"");
```

```
//Serial.println(String(x)+" "+String(x)+" "+String(x)+" "+String(x)+" "+String(x)+" "+Xpro+" "+Ypro+"");
```

```
    delay(100);
```

```
}
```

```
void gyro()
```

```
{
```

```
    Wire.beginTransmission(MPU_addr);
```

```
    Wire.write(0x3B);
```

```
    Wire.endTransmission(false);
```

```
    Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true);
```

```
    axis_X=Wire.read()<<8|Wire.read();
```

```
    axis_Y=Wire.read()<<8|Wire.read();
```

```
    axis_Z=Wire.read()<<8|Wire.read();
```

```
    int xAng = map(axis_X,minVal,maxVal,-90,90);
```

```
    int yAng = map(axis_Y,minVal,maxVal,-90,90);
```

```
    int zAng = map(axis_Z,minVal,maxVal,-90,90);
```

```
    x= RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -zAng)+PI);
```

```
    y= RAD_TO_DEG * (atan2(-xAng, -zAng)+PI);
```

```
    z= RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -xAng)+PI);
```

```
    //Serial.print("Angle of inclination in X axis = ");
```

```

    //Serial.println((char)176);
    /* Serial.print("Angle of inclination in Y axis= ");
    Serial.print(y);
    Serial.println((char)176);
    Serial.print("Angle of inclination in Z axis= ");
    Serial.print(z);
    Serial.println((char)176);*/
    //Serial.println("-----");
}

void loadcell()
{
    scale.set_scale(calibration_factor); //Adjust to this calibration factor
    scale2.set_scale(calibration_factor2); //Adjust to this calibration factor
    scale3.set_scale(calibration_factor3); //Adjust to this calibration factor
    scale4.set_scale(calibration_factor4); //Adjust to this calibration factor

    units = scale.get_units(), 10;
    units = units - 0.07;
    if (units < 0)
    {
        units = 0.00;
    }
    units2 = scale2.get_units(), 10;
    if (units2 < 0)

```

```

    {
        units2 = 0.00;
    }
    units3 = scale3.get_units(), 10;
    if (units3 < 0)
    {
        units3 = 0.00;
    }
    units4 = scale4.get_units(), 10;
    if (units4 < 0)
    {
        units4 = 0.00;
    }
    ounces = units * 0.035274;
    ounces2 = units2 * 0.035274;
    ounces3 = units3 * 0.035274;
    ounces4 = units4 * 0.035274;

    // Serial.print(units);
    // Serial.print(" kilograms");
    // Serial.print(";"+String(units2));
    // Serial.print(" kilograms");
    // Serial.print(";"+String(units3));
    // Serial.print(" kilograms");
    // Serial.print(";"+String(units4));
    // Serial.print(" kilograms");
    // Serial.println();

```

```
}
```

```
void impro()
```

```
{
```

```
while(Serial.available())
```

```
{
```

```
char dataSerial = (char)Serial.read();
```

```
if(dataSerial=='*') flagSerial=0;
```

```
if (flagSerial==0)
```

```
{
```

```
if (dataSerial=='#') flagSerial=1;
```

```
}
```

```
else if (flagSerial==1)
```

```
{
```

```
if (dataSerial !=';')
```

```
{
```

```
if (dataSerial == ',' )
```

```
{
```

```
serialData[myData] = atoi(bufferSerial);
```

```
myData++;
```

```
counterSerial = 0;
```

```
for (int xx=0; xx<30; xx++) bufferSerial[xx]=0;
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
bufferSerial[counterSerial++] = dataSerial;
```

```
}
```

```
    }  
    else  
    {  
        Xpro = serialData[0];  
        Ypro = serialData[1];  
        flagSerial=counterSerial=myData=0;  
    }  
}  
  
// Serial.print("X = ");  
// Serial.print(X);  
// Serial.print(" ");  
// Serial.print("Y = ");  
// Serial.println(Y);  
}  
  
}
```

LAMPIRAN C
TABEL PERGESERAN CONCRETE BLOCK ANCHOR

Tabel pergeseran pada konfigurasi model 1

No	Sudut (α)	Hs (m)	T (sec)	Berat Anchor KG	Pergeseran							
					Anchor 1				Anchor 2			
					X0	X1	Y0	Y1	X0	X1	Y0	Y1
1	45	0.0746	0.8399	12	2	3	3	5	2	2	3	4
2	45	0.0792	0.8153	13.5	3	3	5	5	2	3	4	4
3	45	0.08341	1.1608	14	3	3	5	5	3	3	4	4
4	45	0.1054	1.0429	14	2	2	3	3	2	3	3	3
5	45	0.1114	1.1671	15	2	3	3	4	3	5	3	5
6	45	0.12162	1.2464	16	3	3	4	4	5	5	5	5
7	45	0.1342	1.1659	16	2	3	3	3	2	3	3	5
8	45	0.1264	1.2620	17	3	4	3	4	3	4	5	5
9	45	0.13161	1.3842	18	4	4	4	4	4	4	5	5

No	Sudut (α)	Hs (m)	T (sec)	Berat Anchor KG	Pergeseran							
					Anchor 1				Anchor 2			
					X0	X1	Y0	Y1	X0	X1	Y0	Y1
10	60	0.081	0.891	10	2	3	3	4	2	3	3	5
11	60	0.081	0.8884	11	3	4	4	4	3	3	5	5
12	60	0.0829	1.3063	12	4	4	4	4	3	3	5	5
13	60	0.10677	1.19	12	2	2	3	4	2	3	3	4
14	60	0.11065	1.3277	13	2	3	4	4	3	4	4	5
15	60	0.11195	1.4596	14	3	3	4	5	4	4	5	5
16	60	0.1418	1.377	14	2	3	3	4	2	2	3	4
17	60	0.12536	1.5262	15	3	4	4	5	2	3	4	4
18	60	0.13567	1.588	16	4	5	5	5	3	3	4	5

No	Sudut (α)	Hs (m)	T (sec)	Berat Anchor KG	Pergeseran							
					Anchor 1				Anchor 2			
					X0	X1	Y0	Y1	X0	X1	Y0	Y1
19	90	0.08444	0.9896	9	2	3	3	3	2	2	3	4
20	90	0.08021	0.8503	10	3	4	3	4	2	3	4	4
21	90	0.08566	1.3277	10	4	4	4	4	3	3	4	4
22	90	0.11359	1.0399	11	2	2	3	3	2	3	3	3
23	90	0.11633	1.3671	11	2	3	3	4	3	3	3	4
24	90	0.11742	1.4583	12	3	3	4	4	3	3	4	4
25	90	0.13849	1.1851	12	2	4	3	5	2	3	3	3
26	90	0.12167	1.5243	13	4	4	5	5	3	4	3	4
27	90	0.14303	1.6904	13	4	4	5	5	4	4	4	4

Tabel pergeseran pada konfigurasi model 2

No	Sudut (α)	Hs (m)	T (sec)	Berat Anchor	Pergeseran							
				KG	Anchor 1				Anchor 2			
					X0	X1	Y0	Y1	X0	X1	Y0	Y1
1	45	0.8106	0.099	11	2	4	3	4	2	2	3	3
2	45	0.0772	0.8822	12	4	4	4	5	2	3	3	4
3	45	0.08124	1.1385	13	4	4	5	5	3	3	4	4
4	45	0.1128	1.1853	13	2	3	3	4	2	3	3	4
5	45	0.1018	1.1597	14	3	3	4	4	3	5	4	5
6	45	0.11163	1.1608	15	3	3	4	4	5	5	5	5
7	45	0.13797	1.2961	15	2	3	3	5	2	3	3	4
8	45	0.14095	1.185	16	3	3	5	5	3	3	4	5
9	45	0.14853	1.4095	17	3	4	5	5	3	4	5	5

No	Sudut (α)	Hs (m)	T (sec)	Berat Anchor	Pergeseran							
				KG	Anchor 1				Anchor 2			
					X0	X1	Y0	Y1	X0	X1	Y0	Y1
10	60	0.081	0.891	10	2	2	3	3	2	3	3	4
11	60	0.081	0.8884	11	2	3	3	4	3	3	4	4
12	60	0.0829	1.3063	12	3	3	4	4	3	4	4	5
13	60	0.10677	1.19	12	2	2	3	4	2	3	3	3
14	60	0.11065	1.3277	13	2	3	4	4	3	4	3	4
15	60	0.11195	1.4596	14	3	3	4	4	4	4	4	4
16	60	0.1418	1.377	14	2	3	3	3	2	2	3	5
17	60	0.12536	1.5262	15	3	4	3	5	2	3	5	5
18	60	0.13567	1.588	16	4	4	5	5	3	4	5	5

No	Sudut (α)	Hs (m)	T (sec)	Berat Anchor	Pergeseran							
				KG	Anchor 1				Anchor 2			
					X0	X1	Y0	Y1	X0	X1	Y0	Y1
19	90	0.08444	0.9896	9	2	2	3	3	2	2	3	4
20	90	0.08021	0.8503	10	2	4	3	4	2	3	4	4
21	90	0.08566	1.3277	10	4	4	4	4	3	3	4	4
22	90	0.11359	1.0399	11	2	2	3	4	2	4	3	3
23	90	0.11633	1.3671	11	2	2	4	4	4	4	3	4
24	90	0.11742	1.4583	12	2	3	4	4	4	4	4	4
25	90	0.13849	1.1851	12	2	3	3	5	2	2	3	4
26	90	0.12167	1.5243	13	3	4	5	5	2	3	4	5
27	90	0.14303	1.6904	13	4	4	5	5	3	3	5	5

LAMPIRAN D
DOKUMENTASI KEGIATAN



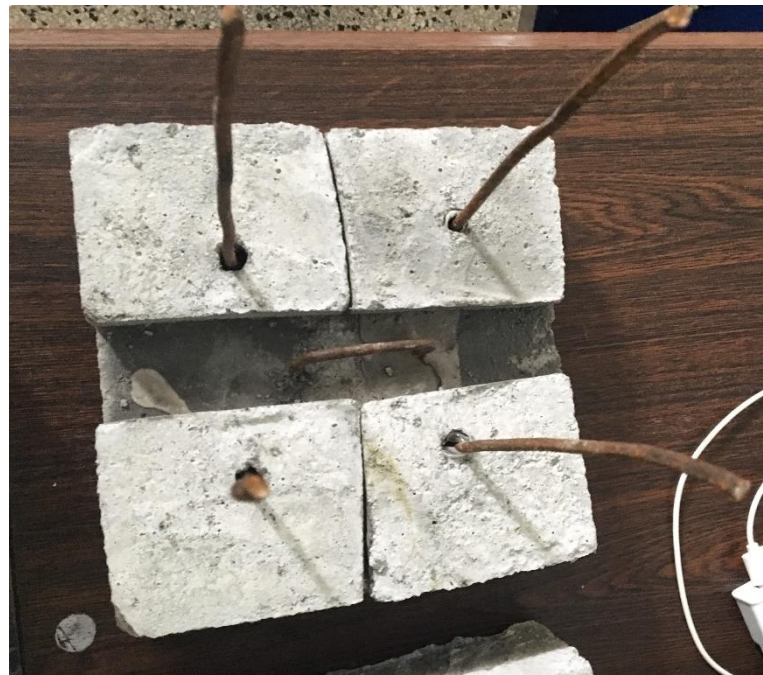
MODEL HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER



KONFIGURASI PERTAMA



KONFIGURASI KEDUA



MODEL CONCRETE BLOCK ANCHOR



KALIBRASI WAVE PROBE

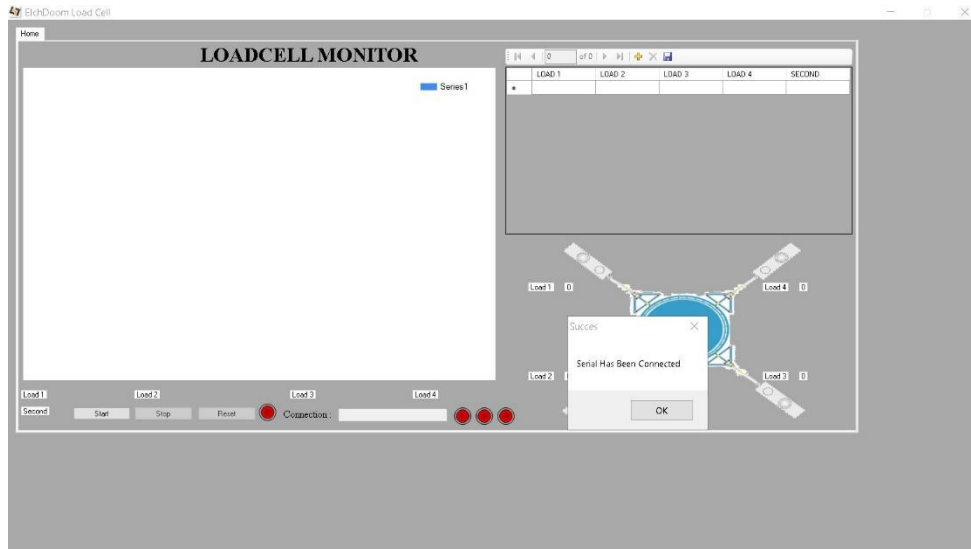




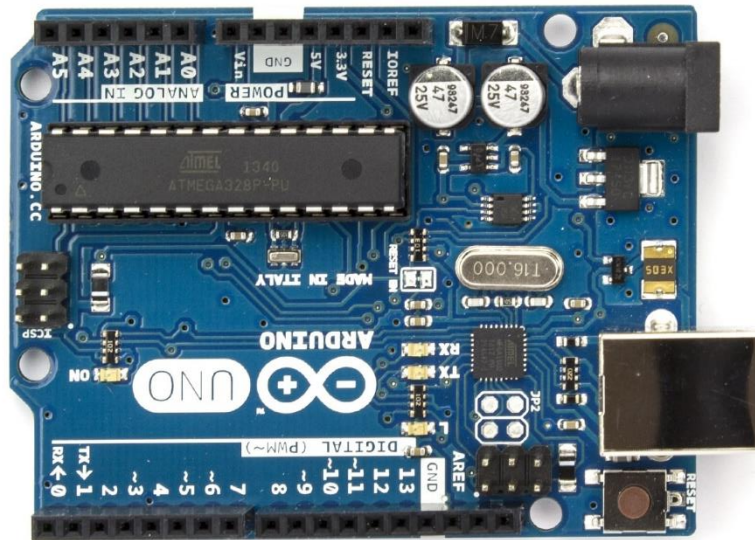
PELETAKKAN MODEL *HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER*



LAMPIRAN E DOKUMENTASI SENSOR LOADCELL DAN PENGUJIAN



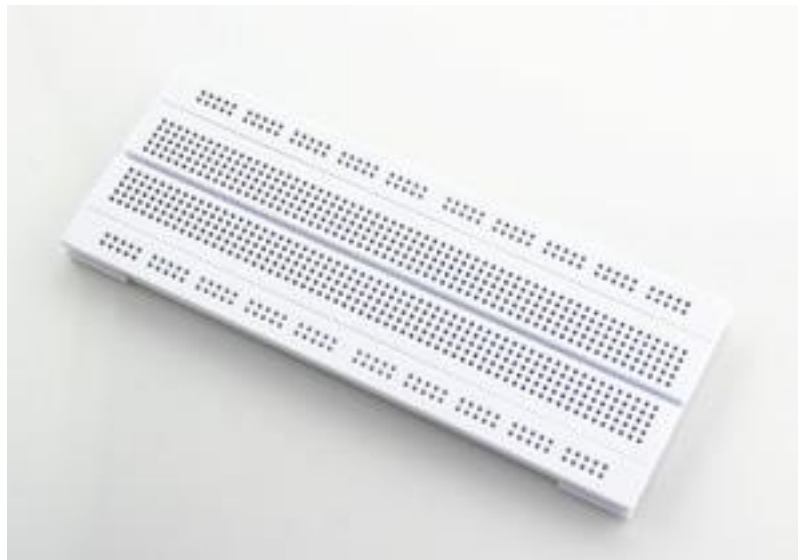
LOADCELL MONITOR SOFTWARE ELCHDOOM LOAD CELL



TAMPAK ATAS ARDUINO UNO



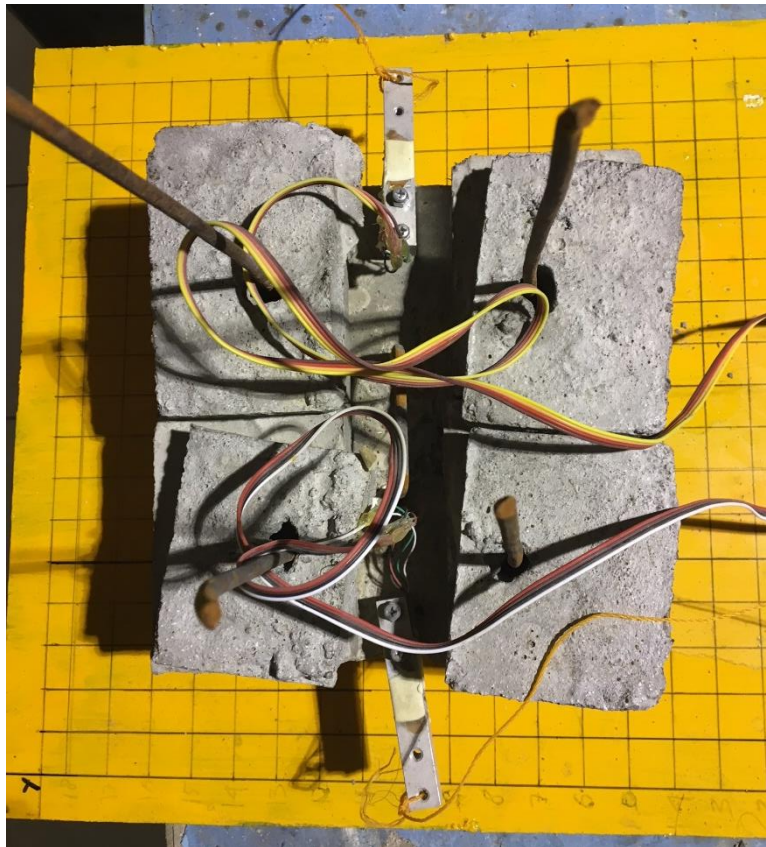
KABEL USB PENGHUBUNG ARDUINO UNO KE PC/LAPTOP



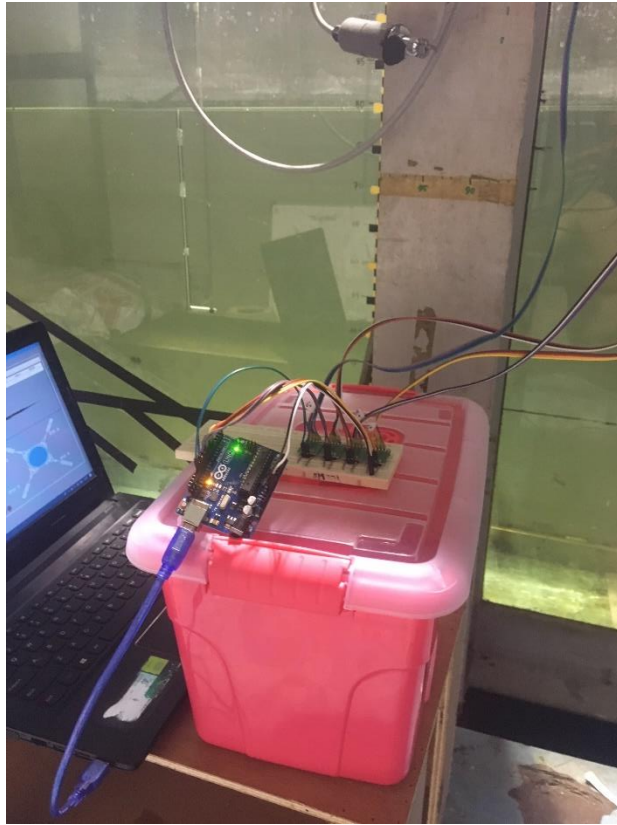
TAMPAK ATAS PROJECT BOARD



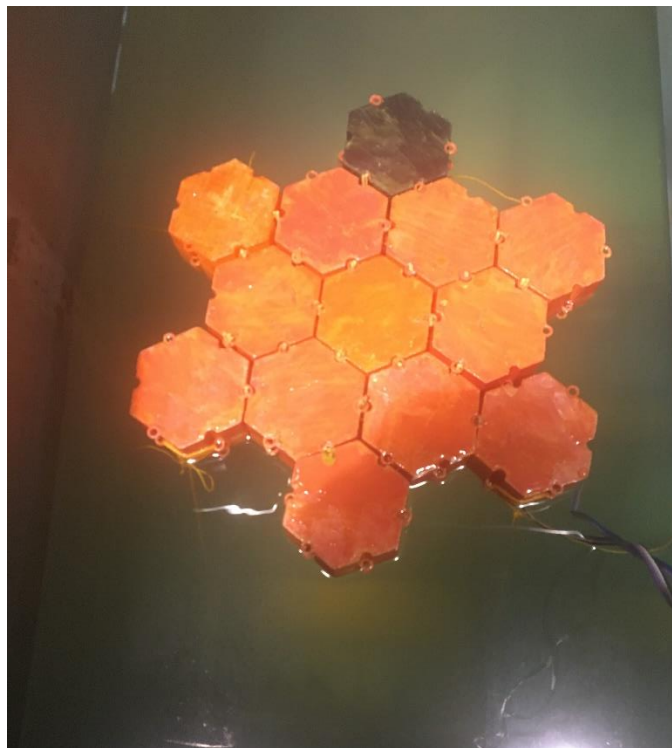
SENSOR LOAD CELL



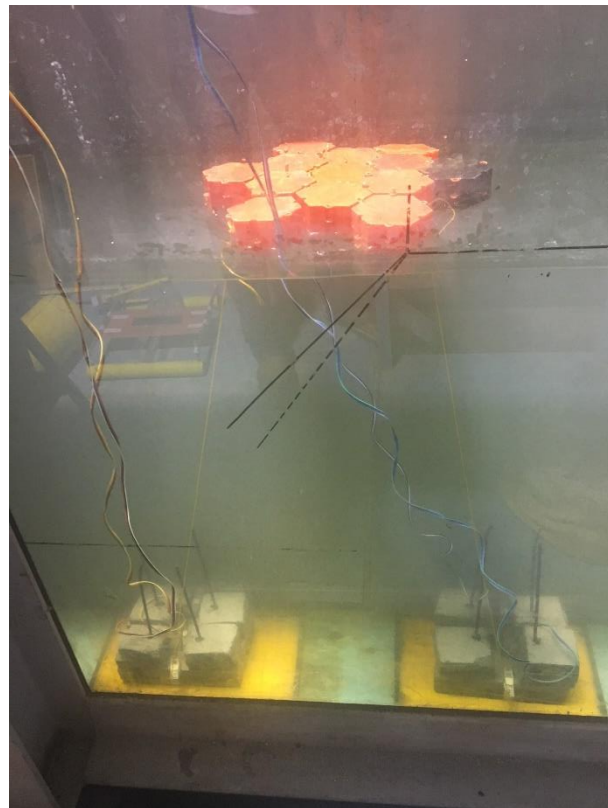
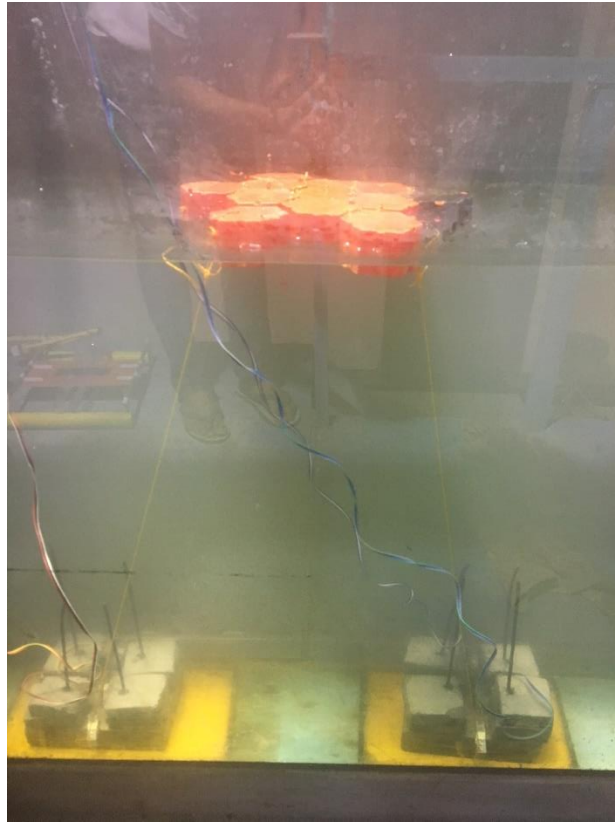
PELETAKAN ANCHOR DAN SENSOR LOAD CELL PADA PELAT UKUR



SAMBUNGAN ANTARA PROJECT BOARD DAN ARDUINO UNO
MENUJU PC/LAPTOP



TAMPAK ATAS MODEL HEXAGONAL FLOATING BREAKWATER



TAMPAK SAMPING PENGUJIAN