

9646/ITS/4/2004



**TUGAS AKHIR
(KL. 1702)**

**STUDI EKSPERIMENT PENGARUH BUKAAN PADA
KOLOM TERHADAP TEKANAN YANG KELUAR DARI
ORIFICE PADA SISTEM KONVERSI ENERGI
GELOMBANG LAUT JENIS "OSCILLATING WATER
COLUMN" (OWC)**



RSK^e
621.312/134
Abr
5-1
2003

Oleh :

IMAWAN ZUHRON ABRORI
4398.100.033

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2003**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	4-4-2003
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	216649

**STUDI EKSPERIMENT PENGARUH BUKAAN PADA
KOLOM TERHADAP TEKANAN YANG KELUAR DARI
ORIFICE PADA SISTEM KONVERSI ENERGI
GELOMBANG LAUT JENIS "OSCILLATING WATER
COLUMN" (OWC)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Arief Suroso, MSc.

NIP. 130 937 969

Ir. Mas Murtedjo, MEng.

NIP. 130 687 431

Dan Dia-lah Allah, yang menundukkan lautan, agar kamu dapat
Memakan daripadanya daging yang segar, dan kamu mengeluarkan
Dari lautan itu perhiasan yang kamupakai, dan kamu melihat
Bahtera berlayar padanya, dan supaya kamu mencari dari karunia-Nya,
Dan supaya kamu bersyukur (QS. An-Nahl : 16)

Dan seandainya pohon-pohon di Bumi menjadi pena, dan laut
Menjadi tinta, ditambahkan kepadanya tujuh laut lagi sesudahnya,
Niscaya tidak akan habis-habis ilmu-Nya dan nikmat-Nya,
Sesungguhnya Allah Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana
(QS. Lukman : 27)

Tugas Akhir Ini Kupersembahkan Untuk :
Kemajuan Teknologi Kelautan
Ayah dan Ibuku yang tercinta
Kakakku yang paling kusayang

ABSTRAK

Studi eksperimen sistem konversi energi gelombang laut jenis Oscillating Water Column (OWC) ini, dimaksudkan untuk mendapatkan tekanan yang keluar dari Orifice, berdasarkan variasi tinggi gelombang input, periode gelombang, sarat model dan tinggi bukaan pada kolom. Model uji OWC ini berupa tabung silinder yang terbuat dari pelat baja tipis setebal 3 mm, yang diroll dengan diameter 50 cm, dan diameter orifice 0.5 cm. Setelah model diikat pada flume tank, gelombang dibangkitkan sejajar sumbu X, dengan arah gelombang head seas. Dalam penelitian kali ini digunakan variasi bukaan pada kolom model setinggi 10 cm, 20cm, dan 30 cm, dengan rentang tinggi gelombang 0.05 m ~ 0.15 m, rentang periode gelombang 1.26 detik ~ 2.54 detik dan sarat model sebesar 0.5 m, 0.6 m, 0.7 m. Hasil dari percobaan menunjukkan bahwa besar tekanan cenderung naik pada setiap penambahan tinggi gelombang. Pada tinggi gelombang 0.05 m besar tekanan berkisar antara 0.4 ~ 2.2 mbar, untuk tinggi gelombang 0.075 m tekanan yang dihasilkan sebesar 0.6 ~ 3.4 mbar, tinggi gelombang 0.1 m besar tekanan antara 1 ~ 4.6 mbar, untuk tinggi gelombang 0.125 m tekanan yang terjadi sebesar 2 ~ 6 mbar, dan tekanan optimum dicapai pada tinggi gelombang 0.15 m sebesar 2.6 ~ 7.2 mbar. Untuk penambahan variasi sarat model, besar tekanan cenderung turun seiring dengan penambahan sarat model. Tekanan terbesar diperoleh pada sarat 0.5 m sebesar 0.8 ~ 7.2 mbar, dibawahnya diikuti oleh sarat 0.6 m sebesar 0.6 ~ 6.4 mbar dan pada sarat 0.7 m, sebesar 0.4 ~ 6.4. Pengaruh variasi bukaan terhadap tekanan yang keluar dari orifice menunjukkan harga yang cenderung naik dengan bertambahnya tinggi bukaan. Pada bukaan 10 cm tekanan berkisar antara 0.4 ~ 6.2 mbar, pada bukaan 20 cm 0.6 ~ 6.4 dan pada bukaan 30 cm tekanan berkisar antara 0.8 ~ 7.2 mbar.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi wabarakatuh,

Alhamdulillahirabbil'aalamin, puji syukur kami panjatkan kehadirat Illahi Robbi, Allah SWT, atas semua limpahan rahmatnya, karunianya, hidayahnya dan semua nikmat-nikmatnya. Belum habis nikmat yang satu datang lagi sepuluh nikmat yang lain. Allahlah yang memberi kefahaman ilmu, kemampuan berpikir dan memberi kekuatan, yang tanpa kehendaknya mustahil, penyusunan tugas akhir ini akan tercapai.

Tugas akhir yang berjudul “**Studi Eksperimen Pengaruh Bukaan Pada kolom Terhadap Tekanan Yang Keluar Dari Orifice Pada Sistem Konversi energi Gelombang laut Jenis *Oscillating Water Column (OWC)***“ ini diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan strata 1 (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, dan jauh dari sempurna, oleh karena itu mohon kritik dan saran guna kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam perkembangan ilmu kelautan, bagi kita semua.

Surabaya, 18 Januari 2003

Imawan Zuhron Abrori

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, banyak sekali pihak-pihak yang telah membantu, memberikan semangat dan dorongan moral bagi penulis. Oleh sebab itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaiannya tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Ayahanda Muflih Sumulyo dan Ibunda Sri Fatmiyati tercinta, yang begitu agung cinta kasihnya tercurah kepada penulis serta tulusnya do'a yang selalu setia dimohonkan kepadanya untuk penulis. "Ya Allah ampunilah dosa kedua orangtuanku, kasihanilah mereka sebagai mana mereka menyayangiku sewaktu kecil"
2. Saudariku tersayang mbak Zunita Ahmadah, sepupuku kresna Ardianto terimakasih dorongan semangat dan motivasi selama studi. Terimakasih selalu memperhatikan kesehatanku.
3. Ir. Arief Suroso MSc dan Ir. Mas Murtedjo Meng, selaku dosen pembimbing yang dengan kesabaran dan keikhlasan memberikan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Dr. Ir. P. Indiyono MSc, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan
5. Dr. Ir. Wahyudi MSc, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan
6. Ir. Hasan Ikhwani MSc, selaku dosen Wali yang telah membimbing selama masa studi di Teknik Kelautan

7. Bpk. Ir. Murdjipto MEng., Ir Rudi Waluyo, dan P. Komari atas saran, masukan dan fasilitas Lab Opres, semoga proyeknya cepat selesai dan terikasih di traktir makan Pitza.
8. Penghuni Lab OPRES, Suyuthi, Aleksis, Deni, Tedi, mas Ondik, yang menemaniku dalam mengerjakan TA ini, sampai selesai, buat deni jangan main-main terus, belajar yang rajin biar tak jadi penghuni lab yang abadi.
9. Mas Teguh, dan Bu Nur admin T. Kelautan terimakasih telah membuatkan surat-surat.
10. Saudara-saudaraku satu yayasan Majelis Tafsir Alqur'an, tempatku menimba ilmu agama, ustaz Emud, Ustadz Harto, Ustadz Wahyul, Ustadz Hasan, mas Fahimin, mas dadang, mas rohani terimakasih atas semua pelajaran dan bimbingan, mudah-mudahan senantiasa istiqomah dan mujahadah.
11. Kelompok I, dadang, agus, Muslih, Wiyono, joko, anang, tempatku curhat dan berkeluh kesah, semoga kelompok I tetap harmonis.
12. Teman angkatan'98 Medi, rouf, rudi, puguh, mamad, doni, agus, budi, Diah widi, milka, mamah yenung dan semuanya.
13. Teman seperjuangan TA, Heru dan Agape, terimakasih kerjasamanya.
14. Teman Kontrakan, ari, heri, wahyu "chemenk", roni dan tedi terimakasih doanya, motivasinya, dan kebersamaan selama ini.
15. Tonggo Kos, didik, topan, eko, giri, yudi, eko"kodek" makasih korannya, numpang baca tiap pagi.
16. Semua yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan	I-3
1.4 Manfaat	I-3
1.5 Batasan Masalah	I-4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	II-1
2.2 Landasan Teori	II-1
2.2.1 Pemodelan Fisik	II-1
2.2.2 Hukum Kesamaan	II-6



2.2.3	Pembangkitan Gelombang Di Laboratorium.	II-12
2.2.4	Mekanisme Oscillating Water Column	II-15
2.2.5	Manometer	II-19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Studi Literatur	III-1
3.2	Persiapan Percobaan	III-1
3.2.1	Dimensi Model Oscillating water column	III-1
3.2.2	Bahan Model	III-2
3.2.3	Bentuk Model	III-2
3.2.4	Penentuan Parameter Gelombang	III-3
3.2.5	Fasilitas Kolam Gelombang (Flume Tank)	III-4
3.2.6	Kalibrasi Wave Probe	III-11
3.3	Setting peralatan percobaan	III-12
3.4	Proses Percobaan	III-14
3.4.1	Pemasangan Model Dalam Flume Tank	III-15
3.4.2	Pemasangan selang Pada Orifice	III-15
3.4.3	Running Gelombang	III-16
3.4.4	Pengukuran Tekanan	III-16
3.4.5	Analisa Hasil Percobaan	III-18
3.4.6	Verifikasi	III-19
3.4.7	Pembuatan Laporan	III-19
3.4.8	Sistematika Penulisan	III-21

BAB IV ANALISA HASILDAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Tekanan pada percobaan	IV-1
4.1.1 Percobaan I	IV-1
4.1.2 Percobaan II	IV-2
4.1.3 Percobaan III	IV-3
4.2 Pembahasan	IV-4
4.2.1 Pengaruh Periode gelombang terhadap Tekanan	IV-5
4.2.2 Pengaruh Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan	IV-7
4.2.3 Prosentase Kenaikan Tekanan Akibat Penambahan Tinggi Gelombang	IV-9
4.2.4 Pengaruh Sarat Air Terhadap Tekanan	IV-9
4.2.5 Pengaruh Tinggi Bukaan Terhadap Besar Tekanan	IV-12
4.3 Verifikasi hasil Percobaan	IV-17
4.3.1 Perhitungan Secara Teoritis	IV-17

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 2.1	Skema Penyelesaian Masalah Lewat Modelisasi	II- 4
Gambar 2.2	Teori Pembangkitan Gelombang di Laut Dangkal	II-12
Gambar 2.3	Sketsa Pembangkitan Gelombang Tipe Piston	II-14
Gambar 2.4	Konsep <i>Oscillating Water Column</i>	II-16
Gambar 3.1	Bentuk Model Oscillating Water Column (OWC)	III-3
Gambar 3.3.a	Sisi Transparan Kolam Gelombang	III-6
Gambar 3.3.b	Tangki Gelombang (<i>Flume Tank</i>)	III-7
Gambar 3.4	Ruang Kontrol (komputasi)	III-7
Gambar 3.5	Recording Data ADC	III-8
Gambar 3.6	Wave Maker Control Program	III-9
Gambar 3.7	Pembangkit Gelombang	III-10
Gambar 3.8	Grafik Hasil Kalibrasi alat Ukur	III-12
Gambar 3.9	Pemasangan Peralatan Percobaan di Laboratorium	III-13
Gambar 3.9	Pemasangan Manometer Pada Model	III-17
Gambar 3.10	Alur Penyelesaian Tugas Akhir	III-20
Gambar 4.1	Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Bukaan 10 cm dan Sarat 70 cm	IV-5
Gambar 4.2	Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Bukaan 10 cm dan Sarat 60 cm	IV-6
Gambar 4.3	Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Bukaan 10 cm dan Sarat 50 cm.	IV-6
Gambar 4.4	Grafik hubungan Tinggi Gelombang VS Besar Tekanan Untuk Bukaan 20 cm dan Sarat 70 cm.	IV-7
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Tinggi Gelombang VS Besar Tekanan Untuk Bukaan 20 cm dan sarat 60 cm	IV-8
Gambar 4.6	Grafik hubungan Tinggi Gelombang VS Besar Tekanan Untuk Bukaan 20 cm dan sarat 50 cm	IV-8
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Bukaan 10 cm dan Tinggi Gelombang 0.1 m	IV-10

Gambar 4.8	Grafik Hubungan Tekanan VS Tinggi Gelombang, Bukaan 10 cm, Periode 7 detik	IV-11
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Tekanan VS Tinggi Gelombang Untuk Sarat 70 cm dan Periode Gelombang 2.22 detik	IV-12
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Tekanan VS Tinggi Gelombang Untuk Sarat 60 cm dan Periode Gelombang 2.22 detik.	IV-13
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Tekanan VS Tinggi Gelombang Untuk Sarat 50 cm dan Periode Gelombang 2.22 detik	IV-13
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Sarat 70 cm dan Tinggi Gelombang 0.15 m	IV-14
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Sarat 70 cm dan Tinggi Gelombang 0.15 m	IV-14
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Sarat 60 cm dan Tinggi Gelombang 0.15 m	IV-15
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Sarat 50 cm dan Tinggi Gelombang 0.15 m	IV-15
Gambar 4.16	Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 10 cm, Periode 2.54 detik	IV-22
Gambar 4.17	Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 10 cm, Periode 2.22 detik	IV-23
Gambar 4.18	Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 10 cm, Periode 1.90 detik	IV-23
Gambar 4.19	Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 10 cm, Periode 1.58 detik	IV-24
Gambar 4.20	Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 10 cm, Periode 1.26 detik	IV-24
Gambar 4.21	Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 20 cm, Periode 2.54 detik	IV-25

- Gambar 4.22 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 20 cm, Periode 2.22 detik IV-25
- Gambar 4.23 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 20 cm, Periode 1.90 detik IV-26
- Gambar 4.24 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 20 cm, Periode 1.58 detik IV-26
- Gambar 4.25 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 20 cm, Periode 1.26 detik IV-27
- Gambar 4.26 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 30 cm, Periode 2.54 detik IV-27
- Gambar 4.27 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 30 cm, Periode 2.22 detik IV-28
- Gambar 4.28 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 30 cm, Periode 1.90 detik IV-28
- Gambar 4.29 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 30 cm, Periode 1.58 detik IV-29
- Gambar 4.30 Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang, Perbandingan Teori dengan Percobaan pada Bukaan 30 cm, Periode 1.26 detik IV-29

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Variasi Tinggi dan Periode Gelombang	III-4
Tabel 3.2	Ukuran Kolam Gelombang	III-5
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 10cm dan Sarat 70 cm	IV-1
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 10cm dan Sarat 60 cm	IV-2
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 10 cm dan Sarat 50 cm	IV-2
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 20 cm dan Sarat 70 cm	IV-2
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 20 cm dan Sarat 60 cm	IV-3
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 20 cm dan Sarat 50 cm	IV-3
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 30 cm dan Sarat 70 cm	IV-3
Tabel 4.8	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 30 cm dan Sarat 60 cm	IV-4
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 30 cm dan Sarat 50 cm	IV-4
Tabel 4.10	Prosentase Kenaikan Tekanan Akibat Penambahan Tinggi Gelombang	IV-10
Tabel 4.11	Perhitungan Tekanan Berdasarkan Teori pada Bukaan 10 cm	IV-21
Tabel 4.12	Perhitungan Tekanan Berdasarkan Teori pada Bukaan 20 cm	IV-21
Tabel 4.13	Perhitungan Tekanan Berdasarkan Teori pada Bukaan 30 cm	IV-22

DAFTAR NOTASI

- Nu = Skala kecepatan
- N_Q = Skala debit
- Na = Skala percepatan
- N_L = Skala panjang spesifik
- N_T = Skala periode
- Nh = Skala kedalaman
- ρ = densitas fluida
- L = panjang
- v = kecepatan
- g = percepatan gravitasi
- μ = viskositas dinamik
- σ = tegangan permukaan
- E = modulus elastisitas
- P = tekanan (pressure)
- ν = Viskositas Kinematis
- μ = Viskositas Dinamis
- g = Gaya gravitasi
- F = Gaya
- P = Tekanan
- c = kecepatan suara
- ω = Kecepatan Sudut
- H = Tinggi gelombang

- K = Wave number
- S_0 = Stroke (jarak simpangan papan pembangkit gelombang)
- H = Kedalaman air
- H_l = Tinggi gelombang dalam kolom
- F = Frekwensi Resonansi air didalam kolom Silinder
- T = Periode resonansi air didalam kolom silinder
- L_1 = Tinggi air didalam kolom
- L_1^1 = Tinggi air didalam kolom karena masa tambah
- A_1 = luas penampang kolom
- A_2 = Luas penampang orifice
- V_1 = kecepatan aliran udara di kolom
- V_2 = kecepatan aliran udara di orifice
- P_1 = Tekanan dalam kolom
- P_2 = Tekanan dalam orifice
- P_0 = Tekanan udara luar
- Q = Debit aliran udara
- φ = Potensial velocity



BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Minyak bumi merupakan bahan bakar yang banyak digunakan secara luas oleh masyarakat dunia sampai dengan saat ini. Bahkan menurut *International Energy Agency*, terdapat kecenderungan bahwa konsumsi BBM (Bahan Bakar Minyak) dunia terus merangkak naik. Pada akhir tahun 1997 konsumsi BBM dunia telah mencapai 75,95 juta barrel per hari (World Oil, 1998). Hal ini dipastikan mengurangi cadangan minyak bumi dunia secara *significant* dan pasti pada suatu saat nanti cadangan minyak bumi akan habis karena merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui.

Krisis energi juga akan terjadi di Indonesia mengingat usia cadangan minyak dan gas bumi tinggal 10-20 tahun lagi. Padahal pada tahun 2000, sebesar 49 % kebutuhan energi primer di Indonesia masih tergantung kepada minyak bumi. Begitu juga dalam pemenuhan kebutuhan listrik masih bergantung kepada bahan bakar minyak. Pada akhir tahun 2000 diperkirakan sebesar 15,7 % pembangkit listrik masih menggunakan minyak bumi sebagai sumber energi (Mahmudsyah, 2002).

Disamping itu, kelak minyak bumi akan ditinggalkan orang karena zat sisa yang ditimbulkannya menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan, termasuk *global warming*. Oleh karena itu, di masa mendatang kebutuhan akan sumber energi alternatif akan semakin besar. Banyak penelitian telah



dilakukan untuk merekayasa alam menjadi sumber energi, misalnya panas bumi, nuklir, sinar matahari, angin, gelombang laut, hidrogen, dan arus laut.

Salah satu gejala alam yang abadi dan melimpah di alam adalah air. Kira-kira 70 % permukaan bumi merupakan air. Banyak usaha manusia untuk memanfaatkan sumberdaya abadi ini menjadi sumber energi yang terbarukan. Salah satu penelitian dalam bidang konversi energi gelombang laut adalah jenis *Oscillating Water Column*. Secara umum sistem *Oscillating Water Column* terdiri dari tabung silinder gelombang laut yang ditenggelamkan sebagian didalam air laut, dimana bagian bawah tabung silinder dibiarkan terbuka, sehingga air laut dapat masuk kedalam, sedang bagian atas tertutup (McCormick, 1981).

Sementara itu, dengan terjadinya variasi arah datangnya gelombang, maka hal tersebut dapat berpengaruh pada pemilihan penggunaan bentuk penampang alat konversi yang sesuai dengan kondisi lingkungan laut yang ada. Selain itu gelombang laut yang datang juga memiliki variasi tinggi dan periode gelombang, sehingga penentuan dimensi suatu alat konversi gelombang laut harus berdasarkan pada elemen dasar hidrodinamika kelautan.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dirancang sistem konversi energi gelombang laut jenis *oscillating water column* (OWC) dengan diberi bukaan pada tabung beserta variasi tinggi bukaan, dan dibuat model rancangan tersebut untuk dikaji di laboratorium hidrodinamika.



1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi tinggi dan periode gelombang terhadap tekanan yang terjadi pada orifice.
2. Bagaimana pengaruh variasi sarat model terhadap tekanan yang terjadi pada orifice.
3. Bagaimana pengaruh bukaan pada kolom terhadap tekanan yang terjadi pada orifice.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai adalah :

1. Mencari besarnya tekanan yang keluar dari orifice akibat perubahan tinggi dan periode gelombang input.
2. Mencari besarnya tekanan yang keluar dari orifice akibat perubahan sarat pada model.
3. Mencari besarnya tekanan yang keluar dari orifice akibat perlakuan bukaan pada kolom.

1.4 Manfaat

Manfaat yang akan diperoleh yaitu :

1. Mampu mendapatkan pengertian yang lebih dalam tentang sifat tekanan yang keluar dari orifice dari suatu sistem konversi energi gelombang laut.



2. Mendapatkan sumber pembangkit energi listrik dari sistem konversi energi gelombang laut.

1.5 Batasan Masalah

Untuk mempersempit permasalahan dan mempermudah perhitungan maka akan dibatasi sebagai berikut:

1. Jenis sistem konversi energi gelombang laut yang digunakan adalah “*Oscilating Water Column*” .
2. Gelombang laut adalah gelombang reguler.
3. Zat cair Inviscid, incompressible, irrotational.
4. Dasar perairan rata dan kedap.
5. Gesekan dasar laut (bottom friction) diabaikan.
6. Kedalaman air konstan.
7. Aliran fluida dalam *orifice* dianggap *uniform*.
8. Percobaan ini hanya memvariasikan tiga bukaan
9. Percobaan Ini hanya memvariasikan tiga sarat pada Model

BAB II
TINJAUN PUSTAKA DAN
LANDASAN TEORI



BAB II

**TINJAUAN PUSTAKA DAN
LANDASAN TEORI**

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Masuda (1978) melakukan penelitian sistem konversi energi gelombang laut jenis *cavity resonator* dan menemukan rancangan turbin yang dapat dipasang di atas orifice sistem konversi energi gelombang laut tersebut. Sementara itu dibawah lembaga internasional “*The International Energy Agency (IEA)*”, bersama lima negara yaitu Canada, Ireland, Jepang, Inggris dan Amerika Serikat melakukan *Joint Research* untuk mempelajari model matematis dari sistem konversi energi gelombang laut jenis cavity resonator.

Sistem konversi energi gelombang laut yang sejenis dengan Cavity Resonator adalah jenis *Oscillating Water Column (OWC)*. Sistim ini mengubah bagian bawah tabung dengan memberi bukaan. Gelombang laut yang menghantam silinder menyebabkan air dalam silinder berosilasi. Osilasi dari air dalam silinder ini menimbulkan tekanan keatas pada orifice. Prinsip inilah yang digunakan sebagai sistem penggerak turbin.

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Pemodelan Fisik

Pemilihan model fisik hidraulik (*hydraulic scale model, physical modeling*) dilakukan apabila fenomena fisik dari permasalahan yang ada di prototipe dapat dibuat dengan skala yang lebih kecil dengan kesebangunan



(similaritas) yang cukup memadai. Untuk beberapa kasus model juga membutuhkan model matematik yang diperlukan sebagai masukan (*input*) dalam *excitation move* suatu alat. Seperti misalnya alat pembangkit gelombang tidak teratur (*wave generator*) memerlukan program matematik untuk mengatur gerak piston, agar gelombang yang dibangkitkan sesuai dengan yang diharapkan.

Dalrymple, (1985) menyatakan bahwa studi lapangan dapat menyediakan data yang akurat tetapi biasanya mahal dan banyak mengandung variabel yang alami yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Sebaliknya dalam model fisik biaya yang dikeluarkan lebih kecil, mudah untuk dipelajari dan lebih sedikit variabel yang ada, tentunya dengan mengasumsikan beberapa hal yang ada. Kamphuis (1991) menyatakan bahwa pembuatan model fisik akan memerlukan banyak sekali kalibrasi dalam verifikasi data.

Le Mehaute, 1990 (Hughes, 1993) memberikan enam alasan mengapa digunakan model fisik untuk mempelajari dan menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan rekayasa teknik pantai :

1. Teknologi skala model berkaitan dengan efektifitas penggunaan model. Hal ini berkaitan dengan dimensi pantai dan hal detail yang berkaitan dengan aktivitas lepas pantai. Model fisik dapat menambah kendala dan





kredibilitas para pembuat keputusan dalam menentukan hal yang sulit untuk dicapai dengan observasi lapangan.

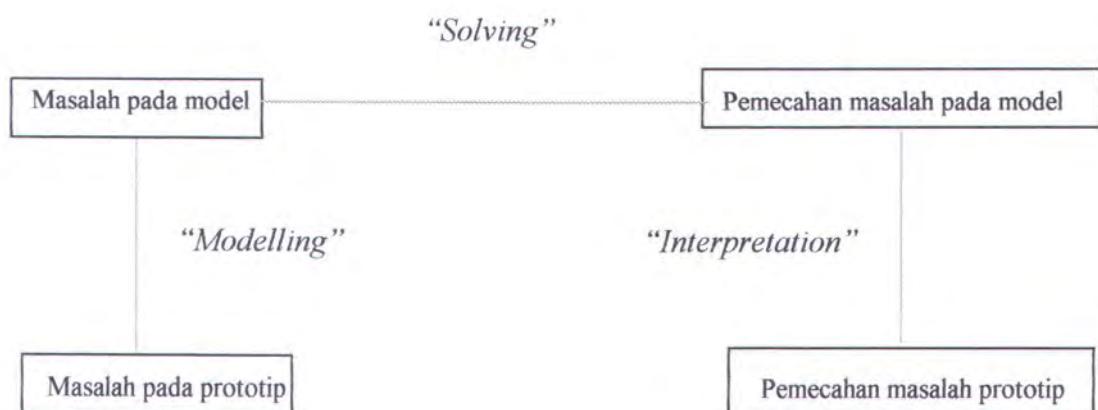
2. Teknik-teknik percobaan laboratorium merupakan salah satu alat yang bermanfaat di dalam bidang rekayasa teknik pantai, karena aliran fluida yang turbulen sehingga secara sistematik sulit untuk menentukan batasan yang diperlukan.
3. Teknik-teknik baru yang ada sekarang ini memungkinkan untuk menentukan hubungan fisik aliran fluida selain hal-hal yang telah diketahui sebelumnya. Kemajuan teknik pemrosesan data juga turut mempermudah untuk mengolah data dalam jumlah banyak. Sehingga pengolahan data dengan variabel yang lebih kompleks dapat dilakukan.
4. Ketepatan model matematis ditentukan oleh ketepatan penggunaan fungsi-fungsi matematis ada beberapa penyederhanaan yang digunakan, sedangkan dalam model fisik memberikan kesempatan untuk mengamati dan mengukur hal-hal fisik dalam kondisi yang terkendali.
5. Model skala bersifat komputer analog, dimana model skala dapat merupakan replika kondisi batas yang kompleks dalam langkah penyelesaian permasalahan beda hingga dan efek-efek nonlinier, sehingga kesulitan utama dalam pemodelan matematis juga dapat dimodelkan mendekati hal yang sebenarnya.
6. Efek-efek fisis antara elemen fluida juga merupakan hal yang sangat berpengaruh untuk penelitian mengenai karakter fluida. Dengan model



fisik hal tersebut dapat divisualisasikan dan dapat dijamin keakuratannya. Hasil dari visualisasi tersebut mungkin saja merupakan hal yang tidak dapat dihasilkan secara teoritis atau dengan perhitungan komputer.

Penggunaan model fisik dalam skala kecil sampai saat ini tetap merupakan metode terbaik untuk meneliti dan memverifikasi penyelesaian-penyelesaian dalam bidang rekayasa.

Pemodelan fisik dalam bangunan-bangunan teknik hidraulik menggunakan cara melingkar seperti diperlihatkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1 Skema penyelesaian masalah lewat modelisasi



Meskipun terdapat beberapa keuntungan bila dilakukan pemodelan fisik, namun model fisik juga mempunyai beberapa kekurangan, misalnya (Hughes, 1993):

1. Adanya efek skala. Efek skala ini terjadi karena kita membuat suatu model yang lebih kecil dari prototipnya di alam. Sangatlah tidak mungkin untuk memodelkan semua variabel yang relevan dalam hubungan yang benar satu sama lain. Dapat diumpamakan adanya efek skala ini sama dengan adanya penyederhanaan asumsi pada pemodelan numerik.
2. Efek laboratorium. Efek laboratorium ini dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan kalau tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipnya di alam. Efek laboratorium ini biasanya muncul karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistik dan karena adanya pengaruh keterbatasan yang dipunyai model terhadap proses yang disimulasikan.
3. Seringkali semua fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak disertakan dalam pemodelan fisik. Dapat diberikan contoh sebagai berikut : adanya gaya geser angin yang bekerja pada permukaan air, yang dapat menyebabkan terjadinya arus di dekat pantai, ini tidak dimodelkan. Dalam banyak model fisik, biasanya hanya dimodelkan pembangkitan gelombangnya saja.
4. Meskipun tidak selalu terjadi, tetapi tidak dapat dipungkiri, bahwa model fisik lebih mahal untuk dikerjakan daripada model numerik.



Pada situasi dimana model numerik memberikan hasil yang handal, maka tentu saja pilihan akan jatuh ke penggunaan model numerik.

2.2.2 Hukum Kesamaan

Dasar-dasar penyekalaan model adalah membentuk kembali masalah atau problema yang ada di prototip dalam skala yang lebih kecil (model), sehingga kejadian (fenomena) yang ada di model tersebut sebangun (mirip) dengan yang ada diprototipe (Widagdo, 1999).

Hukum Kesamaan meliputi beberapa aspek:

1. Kesamaan Geometrik (panjang, lebar, tinggi)
2. Kesamaan Kinematik (kecepatan, aliran)
3. Kesamaan Dinamik (yang berhubungan dengan gaya)

Hubungan antara model dengan prototip diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidaklah sama. Skala dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai parameter yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model.

Kesamaan Geometrik

Kesamaan geometrik dipenuhi apabila model dan prototip mempunyai bentuk yang sama tetapi berbeda ukuran. Hal ini berarti bahwa perbandingan antara semua ukuran panjang adalah sama.

Ada dua macam Kesamaan Geometrik yaitu :



► Kesamaan geometrik sempurna (*undistorted*)

► Kesamaan geometrik terdistorsi (*distorted*)

Pada *undistorted model*, skala panjang dan lebar (horisontal) serta skala tinggi (vertikal) adalah sama. Untuk *distorted model*, skala ke arah horisontal dan ke arah vertikal tidak sama. Apabila dimungkinkan model dibuat dengan tanpa distorsi, sedangkan pada permasalahan khusus model dapat dilakukan dengan distorsi namun harus memenuhi beberapa persyaratan tertentu.

Skala panjang pada umumnya diberi notasi (N_L) dan skala tinggi (N_H) :

$$N_L = \frac{L_p}{L_M} = \frac{\text{Panjang pada prototipe}}{\text{Panjang pada model}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

$$N_H = \frac{H_p}{H_M} = \frac{\text{Tinggi pada prototipe}}{\text{Tinggi pada model}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

Pada *undistorted model* dapat ditentukan :

$$1. \text{ Skala luas : } N_A = \frac{A_p}{A_M} = \frac{(\text{panjang} \times \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \times \text{lebar})_M} = (N_L)^2 \quad \dots \dots \quad (2.3)$$

$$2. \text{ Skala Volume : } N_V = \frac{V_p}{V_M} = (N_L)^3 \quad \dots \dots \dots \quad (2.4)$$



Untuk *distorted model* ditentukan sebagai berikut :

1. a. Skala luas posisi horizontal

$$N_A = \frac{A_p}{A_M} = \frac{(Panjang \times Lebar)_P}{(Panjang \times Lebar)_M} = (N_L)^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

- b. Skala luas posisi vertikal

$$N_A = \frac{A_p}{A_M} = \frac{(panjang \times lebar)_P}{(panjang \times lebar)_M} = N_L \times N_H \quad \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

2. Skala volume :

$$N_V = \frac{V_p}{V_M} = (N_L)^2 \times N_H \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

Kesamaan Kinematik

Kesamaan kinematik terjadi antara prototipe dan model jika prototipe dan model mempunyai kesamaan geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototipe dan model pada arah yang sama adalah sama besar (Hudson, 1979). Pada model tanpa distorsi pada seluruh arah, kecepatan dan percepatan mempunyai perbandingan yang sama, sedangkan pada model terdistorsi perbandingan yang sama hanya berlaku pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau pada arah horisontal. Dengan demikian pada permasalahan yang



menyangkut aliran tiga dimensi hanya dapat diterapkan untuk *undistorted model*.

Skala kecepatan biasanya diberi notasi N_u , skala percepatan N_a dan skala debit adalah N_Q .

$$N_u = \frac{U p}{U_m} = \frac{N_L}{N_T} \text{ atau } \frac{N_h}{N_T} \quad \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

$$N_a = \frac{a p}{a_m} = \frac{N_L}{N_T^2} \text{ atau } \frac{N_h}{N_T^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2.9)$$

$$N_Q = \frac{Q p}{Q_m} = \frac{N_L^3}{N_T} \text{ atau } \frac{N_h^2 N_h}{N_T} \quad \dots \dots \dots \quad (2.10)$$

Keterangan :

N_u = Skala kecepatan

N_Q = Skala debit

N_a = Skala percepatan

N_L = Skala panjang spesifik

N_T = Skala periode

N_h = Skala kedalaman

Kesamaan Dinamik

Jika prototipe dan model mempunyai kesamaan geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototipe untuk seluruh aliran pada arah yang sama adalah sama besar, maka dapat



dikatakan bahwa keduanya mempunyai kesamaan dinamik (Warnock, 1950).

Gaya-gaya tersebut meliputi gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek (viskositas), gaya kenyal dan gaya tegangan permukaan.

■ Gaya Inersia

$$F_i = \rho L^2 v^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

■ Gaya Berat

$$F_g = \rho L^3 g \quad \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

■ Gaya Gesek

$$F_\mu = \mu v L \quad \dots \dots \dots \quad (2.13)$$

■ Gaya Tegangan Permukaan

$$F_\sigma = \sigma L \quad \dots \dots \dots \quad (2.14)$$

■ Gaya Kenyal

$$F_e = E L^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.15)$$

■ Gaya Tekanan

$$F_{pr} = p L^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.16)$$

di mana :

ρ : densitas fluida



L : panjang



- v : kecepatan
g : percepatan gravitasi
 μ : viskositas dinamik
 σ : tegangan permukaan
E : modulus elastisitas

Kesamaan dinamik dapat diekspresikan sebagai perbandingan gaya-gaya tersebut di atas sebagai bilangan tak berdimensi dan dinyatakan dalam kriteria-kriteria sebagai berikut :

1. Froude Number
$$\left(\frac{v}{\sqrt{gL}} \right)_p = \left(\frac{v}{\sqrt{gL}} \right)_m \dots\dots \quad (2.17)$$

2. Reynolds Number
$$\left(\frac{\rho v L}{\mu} \right)_p = \left(\frac{\rho v L}{\mu} \right)_m \dots\dots \quad (2.18)$$

3. Euler Number
$$\left(\frac{p}{\sigma v^2} \right)_p = \left(\frac{p}{\sigma v^2} \right)_m \dots\dots \quad (2.19)$$

4. Weber Number
$$\left(\frac{\rho v^2 L}{\sigma} \right)_p = \left(\frac{\rho v^2 L}{\sigma} \right)_m \dots\dots \quad (2.20)$$

5. Cauchy Number
$$\left(\frac{\rho v^2}{E} \right)_p = \left(\frac{\rho v^2}{E} \right)_m \dots\dots \quad (2.21)$$

Keterangan :

- ρ = Massa Jenis
F = Gaya
v = Viskositas Kinematis
 μ = Viskositas Dinamis



σ = Tegangan Permukaan

E = modulus elastisitas

C = kecepatan suara

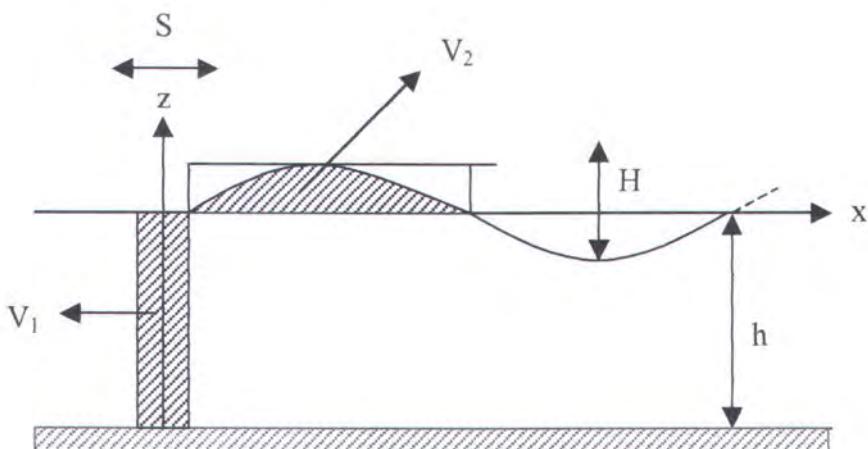
ω = Kecepatan Sudut

L = Panjang

2.2.3 Pembangkitan Gelombang Di Laboratorium.

Formulasi Perairan Dangkal

Pada perairan dangkal, prinsip dasar pembangkitan gelombang dengan papan pembangkit gelombang menurut Galvin (1964) adalah bahwa volume air yang dipindahkan oleh gerakan papan pembangkit gelombang sama dengan volume puncak gelombang yang dibangkitkan.



Gambar 2.2 Teori Pembangkitan Gelombang di Laut Dangkal.

Dari gambar tersebut, terlihat volume air yang dipindahkan oleh gerakan piston (V_1) adalah sama dengan volume piston itu sendiri, yaitu jarak simpangan stroke dikalikan kealaman air (sarat piston)



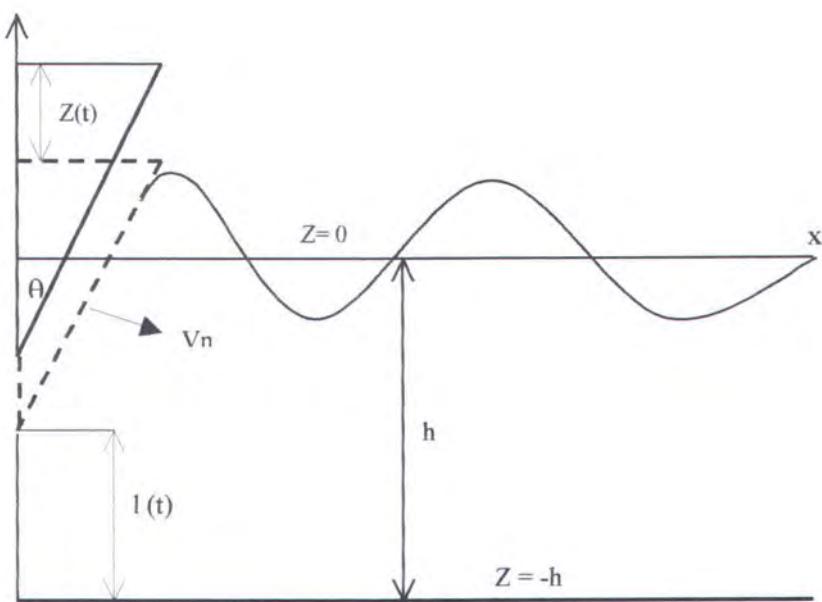
Sedangkan volume puncak gelombang (V_2) dapat diketahui dengan mengintegrasikan terhadap x dari persamaan gelombang untuk laut dangkal dengan batas nol sampai setengah.

Sesuai dengan prinsip persamaan $V_1 = V_2$, maka dengan menggabungkan dua pengertian diatas didapatkan bahwa Tinggi gelombang yang dibangkitkan dalam wave flume adalah perkalian antara stroke atau jarak gerakan papan pembangkit gelombang dengan kedalaman air dan dikalikan juga dengan konstanta angka gelombang.

Pembangkit Gelombang Tipe Piston

Pembangkit gelombang tipe piston terdiri sebuah benda padat (solid body) yang bergerak secara vertikal pada kolam gelombang disekitar MWL (Mean Water Level). Gesekan vertikal dari piston padat memindahkan fluida dan mendorong terjadinya gelombang. Ukuran dan bentuk dari piston dapat bermacam-macam, tetapi bentuk silinder dan segitiga yang paling banyak digunakan.

Pembangkitan gelombang tipe piston banyak digunakan dikolam pembangkit gelombang karena dapat dibuat menyerupai mesin gelombang panjang dan mudah dipindahkan dalam kolam gelombang.



Gambar 2.3 Sketsa Pembangkitan Gelombang Tipe Piston (Hughes,1993)

Dari gambar tersebut secara sederhana dapat dirumuskan bahwa kecepatan fluida normal terhadap permukaan piston harus mempunyai kecepatan yang sama terhadap komponen normal dari gerakan piston.

Dari sketsa tersebut diatas diasumsikan bahwa tidak ada aliran horisontal pada bidang dasar dari piston, pada $x = 0$. Analisa yang lebih mendalam memperlihatkan bahwa kedalaman air merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam teori piston, seperti pada teori pembangkit gelombang yang lain.

Pengukuran di laboratorium dari amplitudo gelombang dan stroke ratio menggunakan sketsa gambar diatas. Kebocoran disekitar bagian tepi piston



dan perkiraan keaslian metode tersebut adalah alasan terjadinya perbedaan antara pengukuran di laboratorium dan teori.

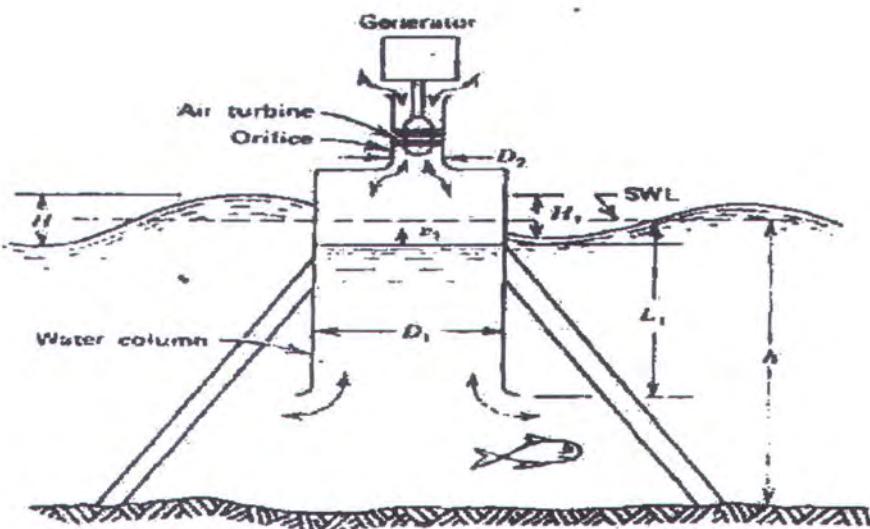
2.2.4 Mekanisme Oscillating Water Column

Sistem konversi energi gelombang laut tipe *Oscillating Water Column*, adalah sistem konversi energi yang menggunakan sebuah kolom silinder yang terbuka dibagian bawah dan tertutup pada bagian atas dengan lubang kecil (*orifice*) pada bagian sumbunya, yang diletakkan sebagian tenggelam didalam air. Dengan kedudukan sebagian tenggelam tersebut, pada bagian atas kolom terdapat udara yang terjebak, yang terletak dibagian atas permukaan air didalam kolom (Boyle, 1995).

Gelombang air laut yang mengenai kolom tersebut akan menggerakkan air (osilasi) didalamnya, sehingga udara yang terjebak diatasnya ikut berosilasi keluar lewat *orifice*. Tekanan udara ini kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin udara yang selanjutnya dihubungkan dengan generator.

Model Matematis

Perhitungan teoritis tekanan yang keluar dari orifice, menggunakan pendekatan matematis. (McCormick,1981), dengan memulai menurunkan rumus pergerakan air di dalam tabung silinder (gambar 2.4). Pergerakan air dipusat kolom atau didalam tabung silinder akan beresonansi dengan gelombang sehingga menghasilkan frekwensi sebagai berikut :



Gambar 2.4 Konsep *Oscillating Water Column* (McCormick, 1981)

$$F = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L_1 + L_1^1}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.22)$$

Dimana : F = Frekwensi Resonansi air didalam kolom Silinder

T = Periode resonansi air didalam kolom silinder

L_1 = Tinggi air didalam kolom

L_1^1 = Tinggi air didalam kolom karena masa tambah

ω = Frekwensi sudut gerakan air didalam kolom

Untuk menyelesaikan persamaan tersebut, selanjutnya diasumsikan bahwa gerakan vertikal air dalam kolom mempunyai gerakan rata-rata sebagai berikut :

$$\eta_1 = \frac{H_1}{2} \cos(\omega t) \quad \dots \dots \dots \quad (2.23)$$



Tenaga yang bekerja pada turbin tergantung pada tekanan dan debit udara yang melewati turbin.

$$P = (P_2 - P_0) Q \quad \dots \dots \dots \quad (2.27)$$

Dimana, dari persamaan kontinuitas :

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.28)$$

Hasil dari rumus-rumus diatas kemudian digunakan untuk memperkirakan besarnya tekanan yang keluar dari orifice dengan menggunakan pendekatan berdasarkan persamaan bernoulli.

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_2^2) + \rho \frac{d}{dt}(\varphi_1 - \varphi_2) \quad \dots \dots \quad (2.29)$$

Dimana : P_2 = Tekanan pada Orifice

P_1 = Tekanan pada kolom

Dimana kecepatan potensial (φ) didekati dengan persamaan :

$$\varphi_1 \approx V_1 \eta_1$$

$$= -\frac{\omega_0 H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t)$$

$$\varphi_2 \approx \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \varphi_1$$

$$= -\left(\frac{A_1}{A_2} \right) \frac{\omega_0 H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t)$$



Selanjutnya perbedaan tekanan dapat diperoleh dari persamaan linear momen

$$P_2 - P_0 = \rho \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \frac{d\varphi_1}{dt} + \rho \frac{Q}{A_2} (V_2 - V_1) \quad \dots \dots \dots \quad (2.30)$$

Dimana : P_0 = tekanan udara luar

Q = Debit aliran udara.

φ = Potensial Velocity

Dengan demikian besar P_2 pada persamaan diatas dapat diketahui.

2.2.5 Manometer

Manometer adalah alat yang menggunakan kolom cairan untuk menentukan perbedaan tekanan. Streeter (1990), menyatakan bahwa manometer yang paling dasar biasanya disebut dengan Piezometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan dalam cairan bila tekanan itu lebih besar dari nol relatif. Sebuah tabung kaca dipasang secara vertikal sedemikian hingga tabung kaca tersebut berhubungan dengan ruangan di dalam bejana. Cairan naik di dalam tabung sampai tercapainya keseimbangan. Maka tekanan ditunjukkan oleh jarak vertikal h dari maniskus (permukaan cairan) sampai titik tempat tekanan harus diukur, yang dinyatakan dalam satuan panjang cairan didalam bejana. Jelas bahwa piezometer tidak dapat digunakan untuk mengukur tekanan negatif, karenan udara akan mengalir kedalam bejana melalui tabung.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan-tujuan dari tugas akhir ini, akan digunakan metodologi sebagai berikut :

3.1 STUDI LITERATUR

Bertujuan untuk mendapatkan informasi-informasi sebagai acuan dalam melakukan studi, sebagai langkah awal dalam penggeraan tugas akhir terutama yang berkaitan dengan sistem konversi energi gelombang laut. Studi ini berguna juga dalam rangka memperjelas dasar pemikiran dan teori yang akan digunakan serta hal-hal yang perlu dilakukan saat pelaksanaan eksperimen.

Studi literatur tersebut meliputi beberapa hal diantaranya mencari dan menseleksi bahan pustaka yang berkaitan dengan permasalahan konversi energi gelombang laut.

3.2. PERSIAPAN PERCOBAAN

3.2.1 Dimensi Model Oscillating Water Column

Struktur model OWC direncanakan sebagai alat penghasil tekanan dari udara yang terjebak dalam kolom. Struktur dirancang sedemikian rupa sehingga dapat diubah posisinya terhadap kedalaman air.





Dimensi dari struktur OWC dalam pemodelan ini adalah sebagai berikut :

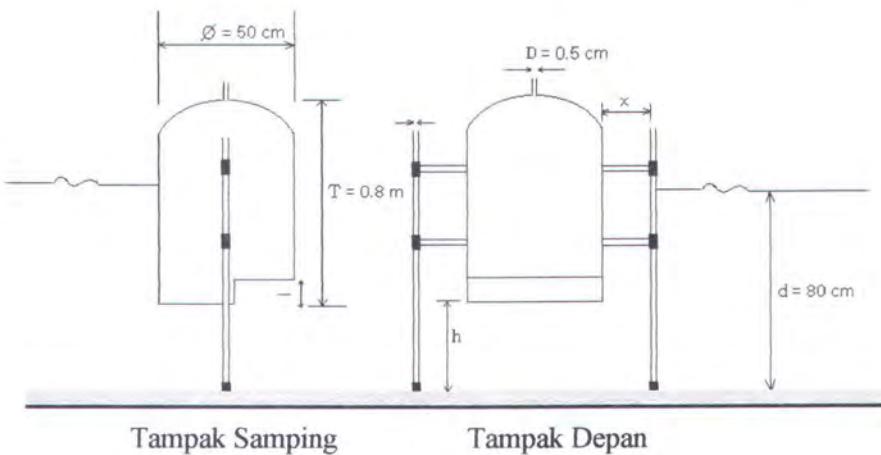
Diameter Kolom (ϕ)	: 0.5 m
Tinggi Model OWC (T)	: 0.8 m
Diameter Orifice (D)	: 0.005 m
Lebar bukaan (l)	: 0.1, 0.2, dan 0.3 m

3.2.2 Bahan Model

Bahan yang digunakan sebagai penyusun struktur dalam pemodelan ini adalah tersusun dari Pelat baja dengan tebal 2 mm yang diroll dengan diameter 50 cm, penentuan ukurannya adalah mengacu pada penelitian terdahulu dan juga disesuaikan dengan fasilitas kolam gelombang yang ada, di Laboratorium Rekayasa Dasar Laut dan Bawah Air, Teknik Kelautan – ITS.

3.2.3 Bentuk Model

Bentuk model struktur yang diuji dalam percobaan ini mempunyai tinggi bukaan yang divariasikan yaitu : 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Bentuk Model OWC lebih Jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Bentuk Model Oscillating water Column (OWC)

Keterangan :

T : Tinggi Model Oscillating Water Column

ϕ : Diameter Model

D : Diameter Orifice

d : Kedalaman kolam gelombang

h : Jarak Model Terhadap Dasar Kolam

H : Tinggi gelombang datang

L : Lebar Bukaan

3.2.4 Penentuan Parameter Gelombang

Parameter gelombang masukan yang akan diuji dan dianalisa pada percobaan harus ditentukan terlebih dahulu. Parameter yang digunakan adalah :

Tinggi Gelombang (H)

Periode Gelombang (T)



Variasi tinggi (H), periode gelombang (T) sebagai gelombang masukan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Variasi Tinggi dan Periode Gelombang

No.	H_m (m)	T_m (detik)
1	0.05	1.26
2	0.075	1.58
3	0.10	1.9
4	0.125	2.22
5	0.150	2.54

Dengan variasi gelombang tersebut, maka setiap satu tinggi gelombang diujikan terhadap 5 variasi periode gelombang dan begitu juga terhadap tinggi gelombang yang lainnya. Sedang untuk setiap satu variasi bukaan diujikan terhadap 5 variasi tinggi gelombang dan 5 variasi periode gelombang.

3.2.5 Fasilitas Kolam Gelombang (Flume Tank)

Seluruh kegiatan percobaan pengukuran tekanan konversi energi gelombang laut dilakukan di Laboratorium Rekayasa Dasar Laut dan Bawah Air, Jurusan Teknik Kelautan – FTK, ITS Surabaya. Selain digunakan sebagai tempat percobaan fisik bagi mahasiswa-mahasiswa Tugas Akhir, laboratorium ini juga dapat digunakan untuk percobaan-percobaan yang lain, seperti :

1. Offshore Hydrodynamics
2. Offshore Structural Dynamics



3. Numerical Modelling and Computation
4. Seabed and Underway Engineering
5. Operational Research
6. Ocean Environmental and Energy.

Ukuran dari kolam gelombang yang ada di Laboratorium Rekayasa Dasar Laut dan Bawah Air adalah dijelaskan dalam tabel 3.3 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Ukuran Kolam Gelombang

	Whole Body	Measuring Section
Panjang	20.3 m	14 m
Tinggi	2.5 m	1.5 m
Lebar	2.3 m	2 m

Keterangan : Kedalaman air adalah 0.8 m

Material dari side wall adalah terbuat dari *toughened glass* dan *mild steel* (*SS400*) serta lantai (*Floor*) dan *End Wall* terbuat dari mild steel. Pembangkit gelombang yang ada adalah tipe plunger, sedangkan gelombang yang dibangkitkan dapat berupa gelombang reguler ataupun irreguler.

Tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 0.2 m periode gelombang berkisar 0.5 – 3.0 detik untuk gelombang reguler. Adapun untuk gelombang irreguler dapat dibuat spektrum gelombang baik itu JOHNSWAP, Pierson-Moskowitz, ISSC, ITTC yang berhubungan dengan software yang ada. Adapun fasilitas yang lengkap adalah sebagai berikut :

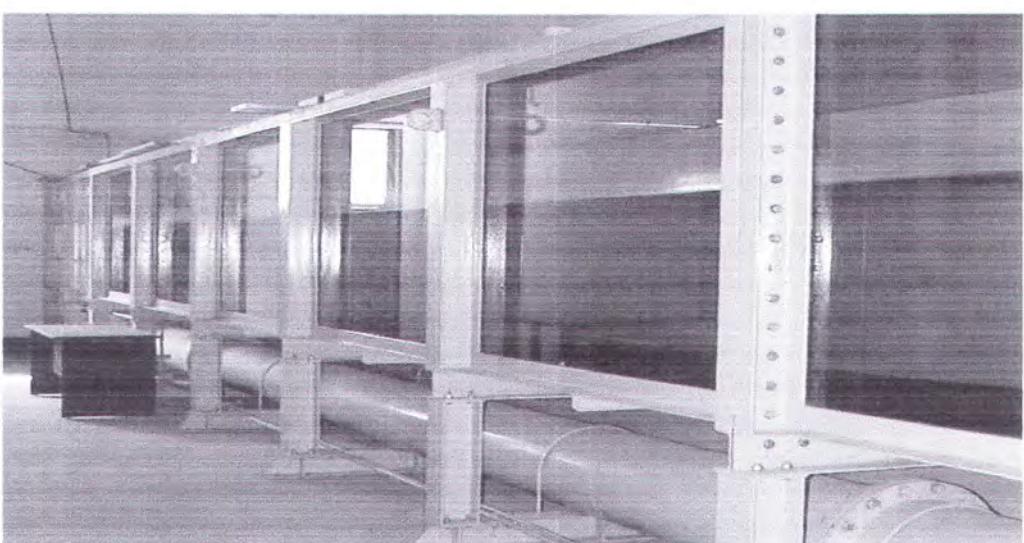


1. Flume Tank dan Komputasi

Sebelum percobaan dilakukan maka dilakukan pengecekan pada peralatan komputasi, apakah berjalan dengan baik atau tidak. Jika tidak ada masalah maka pengecekan dapat diteruskan keperalatan yang lain.

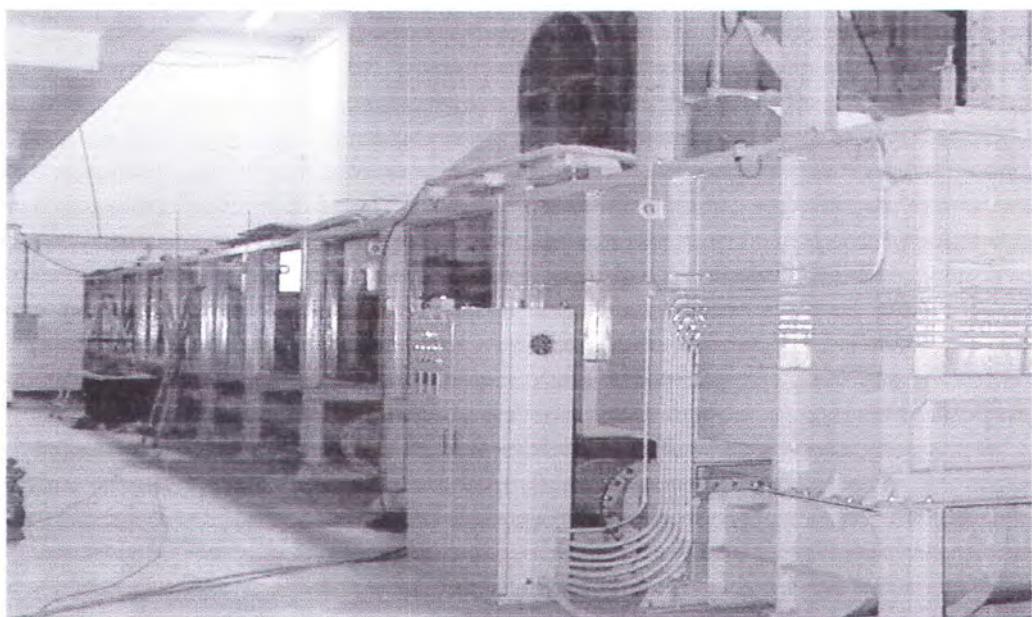
Adapun Spesifikasi Mesin dan Software yang digunakan sebagai berikut :

- Type : Desk-top Type
- CPU : Pentium (266MHz)
- RAM : 64 MB
- Hard Disk : 3 GB
- CRT : 14 inch
- Expanded Slot : two
- CD-ROM Drive : one
- Floppy Disk Drive : 3.5 inch, 1.4 MB
- Other Accessories : mouse, keyboard, RS232C interface
- System software : Windows 95, MS-DOS Version 6.2





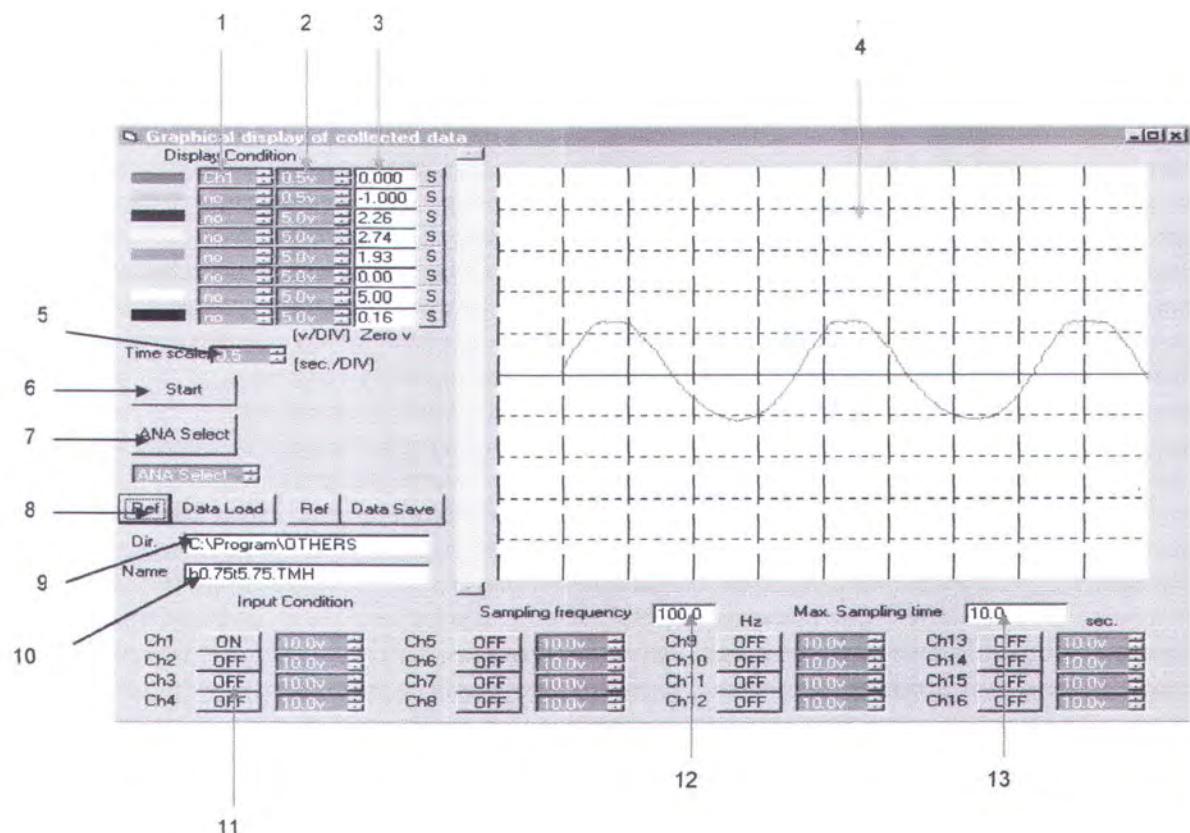
Gambar 3.3a Sisi Transparan Kolam Gelombang



Gambar 3.3b Tangki Gelombang (*Flume Tank*)



Gambar 3.4 Ruang Kontrol (komputasi)



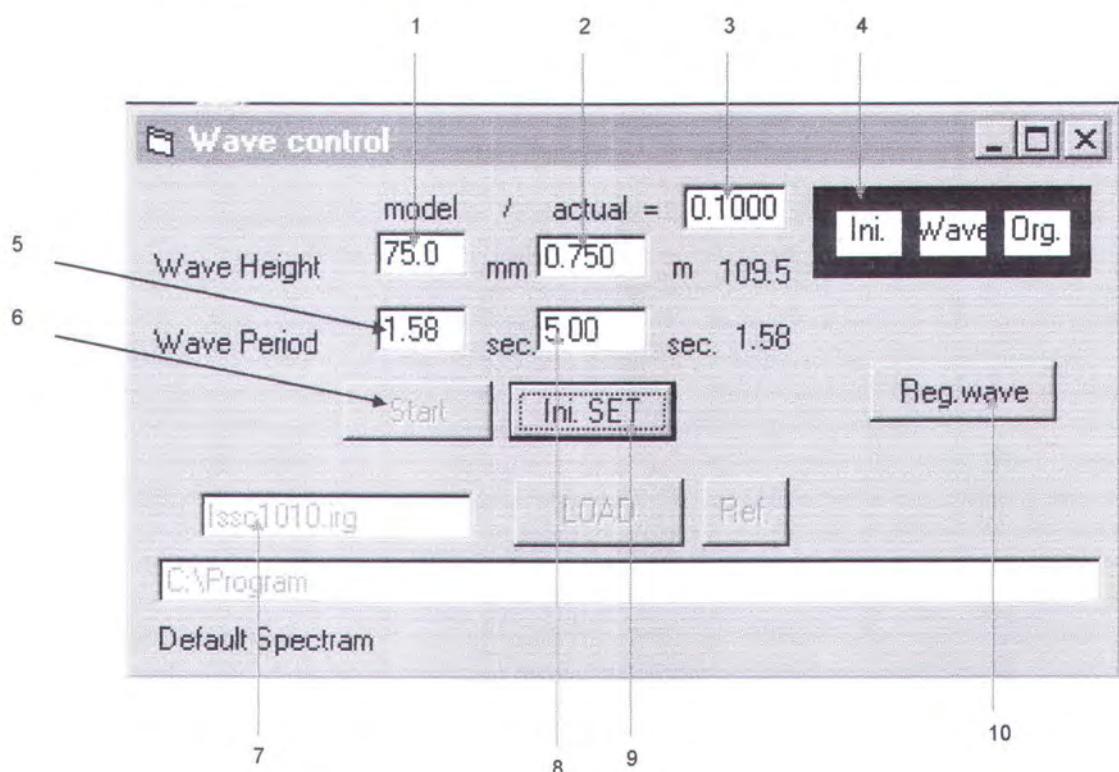
Gambar 3.5 Recording Data ADC Data

Keterangan :

- 1 : Recording data display channel selection listing box
- 2 : Recording data display range selection listing box
- 3 : Recording data display OFSET input column
- 4 : Recording data display column
- 5 : Recording data display time scale selection listing box
- 6 : Recording data start/stop command button
- 7 : Data analysis selection command button
- 8 : Recording data reference LOAD command
- 9 : Recording data file directory input column



- 10 : Recording data file name input column
- 11 : Recording data ON/OFF command button
- 12 : Sampling frequency input column
- 13 : Sampling time input column



Gambar 3.6 Wave Maker Control Program

Keterangan :

- 1 : Setting wave height input column
- 2 : Actual wave height input column
- 3 : Model/actual scale input
- 4 : Wave condition display column
- 5 : Setting wave period input column
- 6 : Wave drive start/stop command button
- 7 : Irregular wave data file name input column

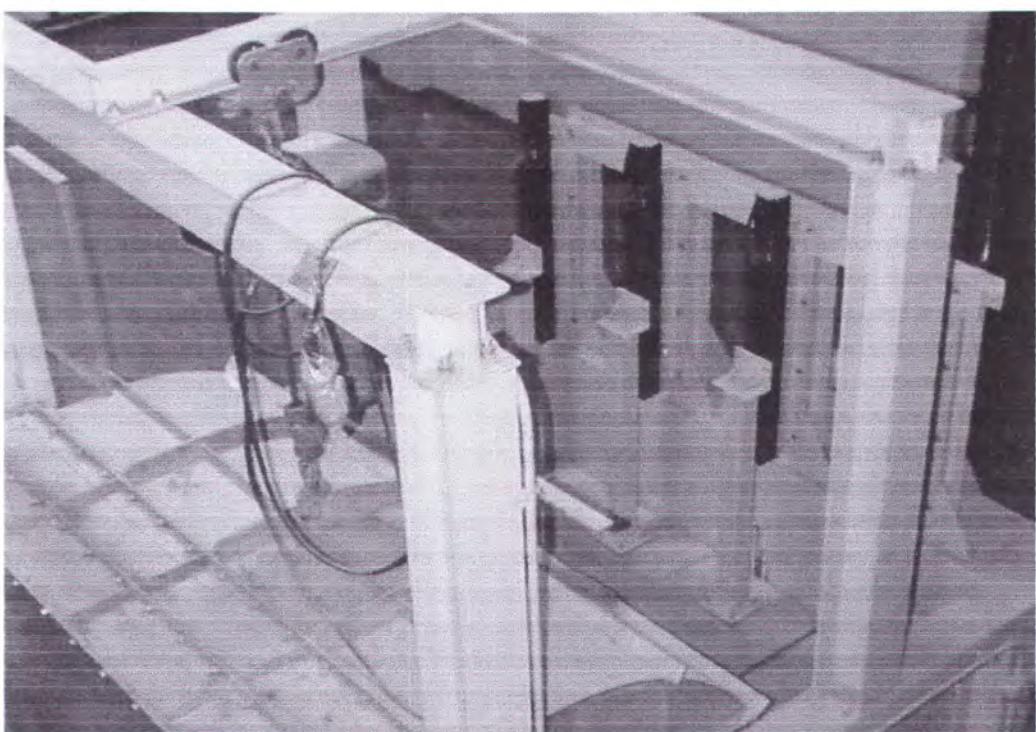


- 8 : Actual wave period input column
- 9 : Initial setting move start command button
- 10 : Wave mode regular/irregular command button

2. Pembangkit Gelombang

Pembangkit gelombang terdiri atas 4 unit pengapung dan penggerak gelombang, sebuah pengontrol tekanan dan sebuah komputer khusus dengan sinyal listrik.

Masing-masing pengapung digerakkan keatas dan kebawah oleh *actuator*, yang terdiri dari linear *slide assembly* dan AC servo motor. Semua gerakan paung diserentakan, semua penggerak dikontrol dengan komputer listrik



Gambar 3.7 Pembangkit Gelombang





3. Wave Absorber

Terbuat dari stainless steel dan bahan kimia dengan panjang 3m, yang diletakkan di ujung kolam gelombang. Alat ini berguna untuk meredam energi gelombang sehingga tidak ada energi gelombang yang terpantul.

4. Pengapung

Ukuran dari pengapung :

- ◆ Kedalaman : 0,6 m
- ◆ Panjang : 0,6 m
- ◆ Lebar : 0,5 m
- ◆ Sarat air : 0,4 m

5. Penggerak Gelombang

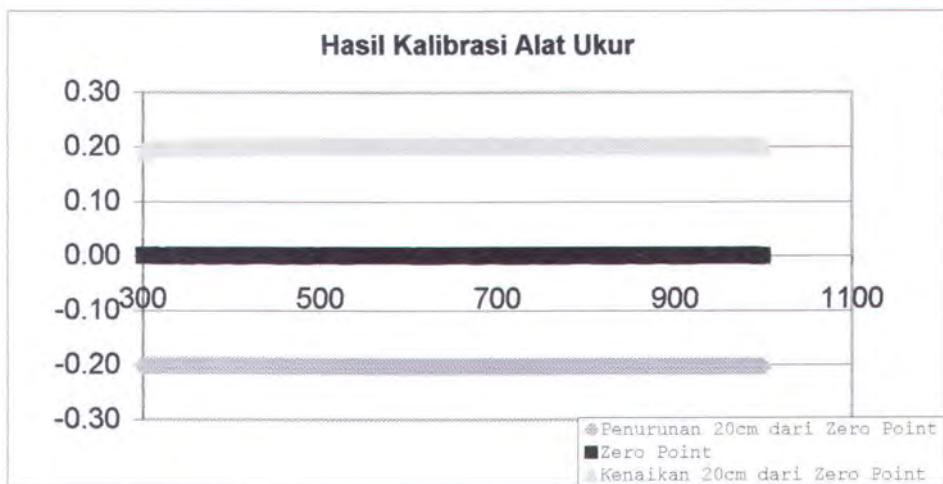
- Linear Slide Assembly
- Mesin
- Rencana Kerja
- Pengontrol

3.2.6 Kalibrasi Wave Probe

Kalibrasi wave probe digunakan untuk mencari hubungan antara perubahan elektrode MTG yang tercelup dalam air dengan perubahan voltase yang tercatat pada recorder. Dengan cara melakukan pencatatan zero point lalu merekam kalibrasinya dengan menurunkan dan menaikkan wave probe sejauh 20 cm dari posisi zero point. Setelah dilakukan pencatatan, wave probe dikembalikan kembali ke posisi zero point.



Dilakukan perbandingan antara ketiga hasil pencatatan pada masing-masing posisi wave probe yaitu zero point, posisi probe diturunkan 20 cm dan dinaikkan 20 cm. Kemudian hasil kalibrasi ketiga posisi digrafikkan.



Gambar 3.8. Grafik Hasil Kalibrasi Alat Ukur

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa perubahan elektrode MTG yang tercelup dalam air sama dengan perubahan voltase yang tercatat pada recorder. Hal ini ditunjukkan dengan kenaikan dan penurunan wave probe sebesar 20 cm dari zero point, angka yang tercatat pada grafik juga mengalami perubahan kenaikan dan penurunan sebesar 0.2 m atau 20 cm.

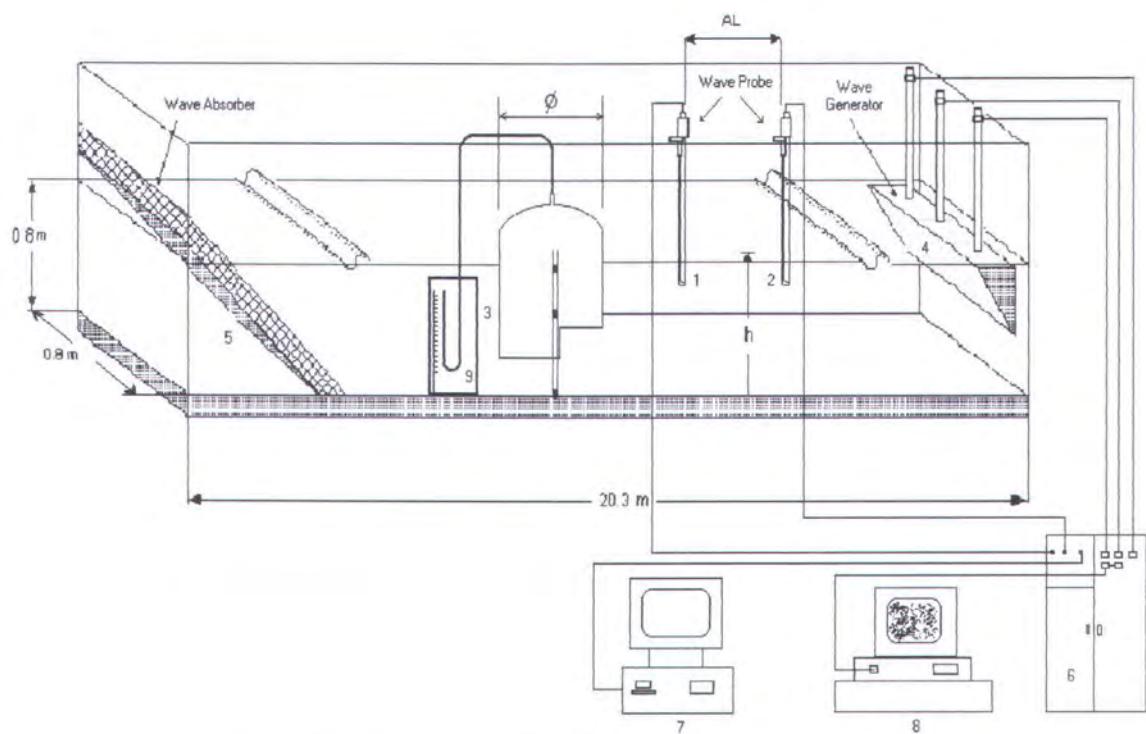
3.3 SETTING PERALATAN PERCOBAAN

Pada tahap ini dilakukan persiapan peralatan laboratorium seperti flume tank dan komputer. Pengecekan wave generator, wave absorber dan air yang ada di flume tank, serta persiapan pemasangan wave probe.

Pada percobaan ini digunakan sebuah wave probe yang diletakkan di depan struktur sebagai pengukur tinggi gelombang. Alat ukur ini pada umumnya



terdiri dari dua bagian yaitu alat sensor dan akuisisi data untuk merekam signal. Akuisisi data harus di set-up sesuai dengan kebutuhan pengukuran.



Gambar 3.2 Pemasangan Peralatan Percobaan di laboratorium

Keterangan :

1. Wave Probe 1
2. Wave Probe 2
3. Model OWC
4. Wave Maker
5. Wave Absorber
6. Sentral Power
7. Perekam data ADC (dari wave probe)
8. Wave maker control program
9. Pengukur simpangan



3.4 PROSES PERCOBAAN

Percobaan ini dilakukan di laoboratorium Rekayasa Dasar Laut dan Bawah Air, Jurusan Teknik kelautan, FTK – ITS, dengan urutan sebagai berikut :

- Penempatan Model OWC dalam Kolam dan melakukan pengikatan sedemikian rupa sehingga keadaan model tetap tenang ketika gelombang dibangkitkan.
- Gelombang sinusoidal dibangkitkan sejajar sumbu X, dengan arah gelombang head seas, eksperimen dilakukan dengan tiga variasi yaitu variasi bukaan pada kolom model, variasi tinggi dan periode gelombang dan variasi sarat.
- Pengukuran Simpangan dengan Selang pengukur berbentuk huruf U, dimana alat tersebut dipasang pada jarak yang tetap dan tidak berubah ketika model diubah-ubah posisinya. Dari alat ini didapat output berupa tinggi simpangan.
- Dilakukan Pengkonversian tekanan dengan memasang manometer pada orifice. Gelombang sinusoidal dibangkitkan, dengan input tinggi gelombang, periode gelombang, bukaan dan sarat yang sama. Tekanan yang keluar dari manometer dicatat.
- Data hasil pengukuran dua manometer dibandingkan antara keduanya. Sehingga setiap cm kenaikan simpangan dapat diketahui berapa tekanannya.



- Data dari hasil percobaan disajikan dalam bentuk numeris dan grafis, sehingga memudahkan dalam menganalisa hasil percobaan.

3.4.1 Pemasangan Model Dalam *Flume Tank*.

Model dipasang dengan cara melekatkan model pada dua pipa penyanga (juga sebagai kaki model), dimana kedudukan model dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai keinginan. Kaki penyanga model dikenakan pada balok kayu yang diletakkan diatas kolam sebagai penahan kaki penyanga model tersebut. Balok kayu tersebut diklem/dijepit dengan besi yang ada pada tepi kolam, sehingga kedudukan pipa penyanga menjadi tegar dan kuat. Pada dasar pipa penyanga diberi bantalan karet sebagai penahan agar kedudukan pipa penyanga tidak bergeser.

3.4.2 Pemasangan Selang Pada *Orifice*

Orifice atau Lubang yang terletak pada ujung atas model masih terlalu besar (2,5 cm) ketika model selesai dibuat (keterbatasan pipa berdiameter dalam 0,5 cm), dimana diameter orifice seharusnya adalah 0,5 cm. Untuk memperkecil *orifice* maka diberikan lilit mainan agar diameter *orifice* sesuai dengan yang diharapkan dan didapatkan ukuran model yang sesuai, yaitu perbandingan diameter orifice dan kolom adalah 1 : 100.

Selang kemudian dibentuk melengkung seperti huruf U dan ditempelkan pada sebuah papan skala/papan pengukur yang datar. Lalu selang tersebut diisi dengan air yang berwarna atau raksa (dipilih air), dan dipasang sejajar dengan model didinding kolam gelombang.



3.4.3 Running Gelombang

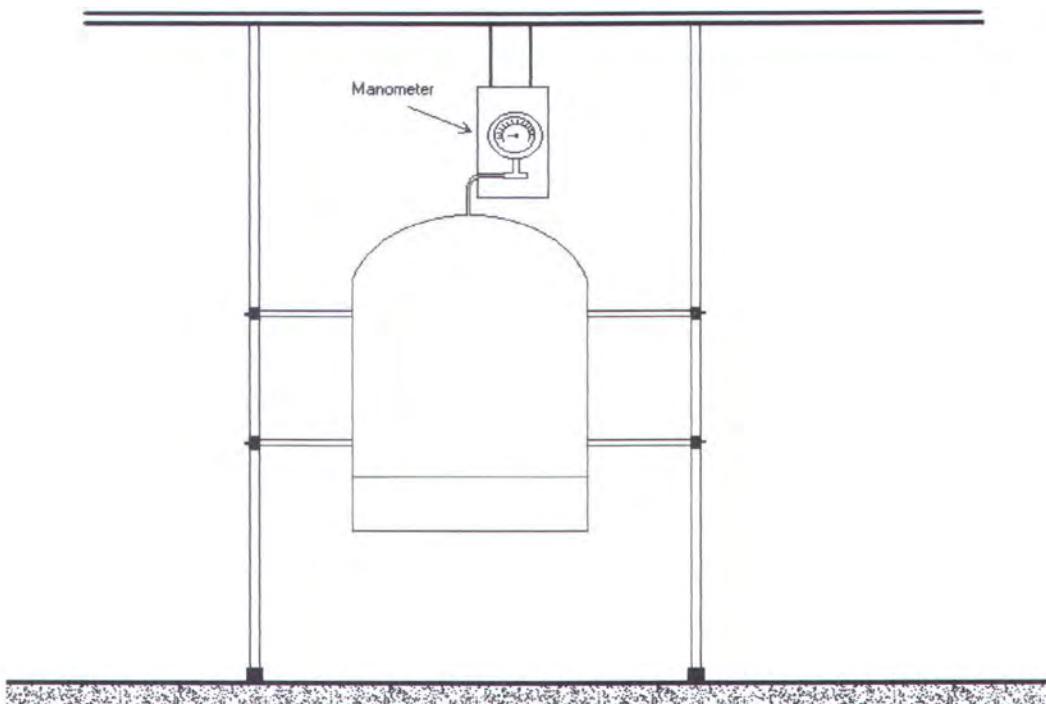
Setelah struktur dan semua fasilitas beserta peralatan terpasang, dilakukan *running* untuk menjalankan gelombang. Gelombang sinusoidal dijalankan searah sumbu X, dengan arah gelombang adalah *head seas*. Gelombang menjalar dan mengenai pada wave probe. Wave probe merekam penjalanan gelombang tersebut dan hasilnya ditampilkan dalam Recording data ADC di layar monitor komputer, berupa gambar profil gelombang. Dari profil gelombang tersebut dicek lagi apakah tinggi gelombang input dan tinggi gelombang output sama. Gelombang kemudian mengenai pada model. Partikel air akibat gelombang menyebabkan gerakan osilasi air dalam model. Gerakan osilasi tersebut menyebabkan udara yang terjebak dalam kolom model ikut berosilasi dan tertekan keatas menyebabkan tekanan pada orifice. Tekanan yang dihasilkan di orifice diukur dengan manometer pipa U, dalam bentuk kenaikan simpangan maniskus air.

3.4.4 Pengukuran Tekanan

Dilakukan Pengkonversian tekanan dengan memasang manometer skala kecil yang diletakkan diatas orifice. Gelombang sinusoidal dibangkitkan dengan tinggi gelombang, periode gelombang, bukaan, dan sarat yang sama dengan percobaan sebelumnya. Tekanan dari manometer tersebut dicatat. Dengan membandingkan pengukuran pada dua manometer tersebut maka dapat diketahui besar tekanan dalam mbar dari setiap kenaikan simpangan pada manometer pipa U.



Dari pengukuran tekanan tersebut dapat dibuat grafik besar tekanan terhadap banyaknya sampling. Grafik tersebut adalah : grafik tinggi gelombang vs besar tekanan dan grafik Periode vs besar tekanan. Grafik tersebut dibuat untuk tiga variasi bukaan pada kolom dan tiga variasi model terhadap sarat model.



Gambar 3.9 Pemasangan Manometer Pada Model

Konversi Tekanan Dengan Manometer

H (m)	Periode (detik)	Tekanan I (mbar)	Tekanan II (mbar)	Tekanan III (mbar)	Tekanan rata-rata
0.15	2.22	5.6	5.5	5.7	5.6

H (m)	Periode (detik)	Simpangan I (cm)	Simpangan II (cm)	Simpangan III (cm)	Simpangan rata-rata
0.15	2.22	2.8	2.7	2.9	2.8



Dari Simpangan Rata-rata dan Tekanan Rata-rata diatas maka dapat diketahui perbandingan antara tekanan dan simpangan yaitu :

$$\frac{\text{Simpangan}}{\text{Tekanan}} = \frac{2.8}{5.6}$$
$$= 1 : 2$$

Sehingga didapatkan perbandingan simpangan dengan tekanan 1 : 2 dan Setiap kenaikan simpangan 1 cm maka tekanannya adalah 2 mbar.

Untuk percobaan selanjutnya, dari setiap simpangan pada pipa U dapat diketahui besar tekanannya.

3.4.5 Analisa Hasil Percobaan

Setelah percobaan selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa terhadap data yang diperoleh selama percobaan. Data-data tersebut dalam hal ini adalah hasil pencatatan tinggi kenaikan maniskus air di manometer selang U. Tinggi kenaikan maniskus air tersebut dicatat pada pengamatan sepuluh detik pertama, dan diambil kenaikan yang tertinggi. Selanjutnya hasil pengukuran tersebut dikonversi menjadi tekanan. Hasil dari percobaan tersebut yang berupa data numeris dibuat grafik dan dianalisa dengan pengaruh variasi tinggi gelombang, periode gelombang, sarat model dan pengaruh bukaan terhadap tekanan yang dihasilkan.



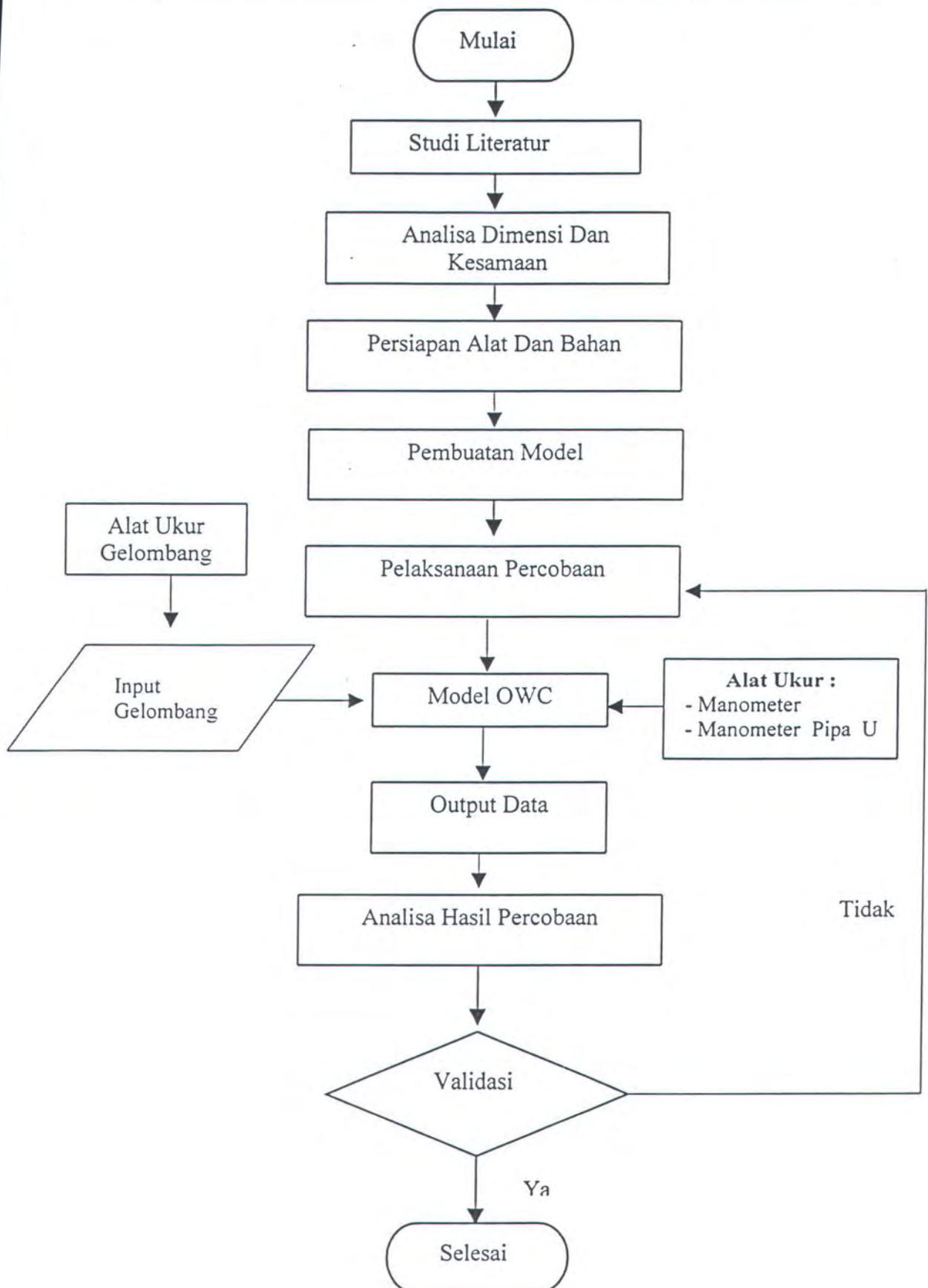
3.4.6 Verifikasi

Dalam hal ini dilakukan pengecekan secara sederhana antara hasil percobaan dengan teori yang paling mendekati untuk mengetahui tren grafik yang terjadi. Teori yang digunakan adalah teori McCormick seperti dijelaskan pada Bab II. Hasil pengukuran dengan teori dan percobaan dibandingkan dan dianalisa, jika ada perbedaan diantara tren kedua grafik tersebut dan menemukan penyebab dari perbedaan yang ada.

3.3.7 Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Sebagai tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan. Laporan disusun sesuai dengan sistematika standar penyusunan laporan ilmiah, dan laporan ini yang nantinya akan dipresentasikan.

Adapun diagram alur dari proses penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 3.10 Alur Penyelesaian Tugas Akhir



3.3.8 Sistematika penulisan

Adapun sistematika yang akan digunakan dalam penyusunan laporan tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Diuraikan mengenai dasar pemikiran, latar belakang yang melandasi penelitian ini, perumusan dan batasan masalah serta tujuan yang hendak dicapai.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Diuraikan mengenai tinjauan pustaka dan landasan teori yang dipakai dalam penelitian, hukum kesamaan, prinsip pemodelan dan pemilihan teori yang sesuai.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi penjelasan dan uraian tentang persiapan model OWC meliputi pembuatan model, setting model pada kolam gelombang, persiapan peralatan, fasilitas percobaan dan proses percobaan sampai didapatkan hasil pengukuran berupa tekanan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Diuraikan mengenai hasil dan pembahasan data dari percobaan. Data hasil percobaan ditampilkan dalam bentuk grafik-grafik sehingga memudahkan untuk dianalisa.



BAB V PENUTUP

Bab penutup berisi Kesimpulan dan Saran. Pada kesimpulan mengemukakan hasil akhir yang didapat dari percobaan dan menjelaskan tekanan optimum yang dicapai model ketika diberi berbagai variasi perlakuan. Pada saran berisi harapan dan keinginan peneliti agar hasil penelitian tersebut nantinya bisa lebih sempurna jika peneltian tersebut diteruskan atau diaplikasikan.



BAB IV

ANALISA HASIL DAN

PEMBAHASAN



BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PENGUKURAN TEKANAN PADA PERCOBAAN

Gelombang yang dibangkitkan oleh *wavemaker* adalah berbentuk sinusoidal.

Dengan ketentuan pada komponen gelombang frekuensi tunggal, gelombang tersebut hanya berfrekuensi tunggal dan mempunyai beda fase yang konstan (Sekiguchi, 1998).

4.1.1 Percobaan I

Percobaan pertama dilakukan dengan lebar bukaan pada model 10 cm, divariasikan terhadap tinggi gelombang, periode gelombang dan sarat model. Hasil dari percobaan tersebut selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 10cm dan Sarat 70 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 k		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)	Y (cm)	P (mBar)	Y (cm)	P (mBar)	Y (cm)	P (mBar)	Y (cm)	P (mBar)
0.05	0.5	1	0.55	1.1	0.4	0.8	0.3	0.6	0.2	0.4
0.075	0.7	1.4	0.8	1.6	0.7	1.4	0.6	1.2	0.3	0.6
0.1	1.2	2.4	1.3	2.6	1.2	2.4	0.8	1.6	0.5	1
0.125	1.9	3.8	2	4	1.5	3	1.2	2.4	1	2
0.15	2.8	5.6	2.8	5.6	2	4	1.5	3	1.3	2.6

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 10 cm dan Sarat 60 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 dtk		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)								
	0.05	0.7	1.4	0.7	1.6	0.6	1.2	0.4	0.8	0.3
0.075	1	2	1	2.2	0.95	1.9	0.8	1.6	0.5	1
0.1	1.5	3	1.6	3.2	1.4	2.8	1	2	0.8	1.6
0.125	2.2	4.4	2.3	4.6	1.7	3.4	1.3	2.6	1.1	2.2
0.15	2.6	5.2	2.7	5.4	2.2	4.4	1.5	3	1.3	2.6

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 10 cm dan Sarat 50 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 dtk		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)								
	0.05	1.1	1.8	1	2	0.7	1.4	0.6	1.2	0.4
0.075	1.5	2.6	1.5	3	1.2	2.4	1	2	0.7	1.4
0.1	2.3	3.6	1.9	3.8	1.6	3.2	1.3	2.6	0.9	1.8
0.125	2.6	4.8	2.5	5	2.1	4.2	1.6	3.2	1.4	2.8
0.15	3.5	6	3.1	6.2	2.55	5.1	2.1	4.2	1.5	3

Keterangan :

T = Periode Gelombang

Y = Kenaikan air pada selang pengukur

P = Besar Tekanan konversi

4.1.2 PERCOBAAN II

Pada percobaan kedua, perlakuan diberikan dengan manambah lebar bukaan menjadi 20 cm, sedang variasi lainnya sama dengan percobaan pertama.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 20 cm dan Sarat 70 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 dtk		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)	Y (cm)	P (mBar)	Y (cm)	P (mBar)	Y (cm)	P (mBar)	Y (cm)	P (mBar)
0.05	0.8	1.6	1.4	1.8	0.6	1.2	0.5	1	0.3	0.6
0.075	1.2	2.4	1.25	2.5	0.9	1.8	0.8	1.6	0.6	1.2
0.1	1.9	3.8	1.9	3.8	1.5	3	1.3	2.6	1	2
0.125	2.4	4.8	2.55	5.1	2	4	1.6	3.2	1.4	2.8
0.15	3.1	6.2	3.2	6.4	2.6	5.2	2.1	4.2	1.8	3.6

**Tabel 4.5** Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 20 cm dan Sarat 60 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 dtk		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)								
0.05	0.95	1.9	1	2	0.8	1.6	0.6	1.2	0.5	1
0.075	1.5	3	1.6	3.2	1.3	2.6	1.1	2.2	0.9	1.8
0.1	2.1	4.2	2.2	4.4	1.8	3.6	1.5	3	1.3	2.6
0.125	2.5	5	2.6	5.2	2.2	4.4	1.9	3.8	1.7	3.4
0.15	3	6	3.1	6.2	2.7	5.4	2.3	4.6	2.1	4.2

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 20 cm dan Sarat 50 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 dtk		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)								
0.05	1.3	1.6	0.9	1.8	0.7	1.4	0.6	1.2	0.5	1
0.075	1.2	2.4	1.4	2.8	1.3	2.6	1.1	2.2	0.8	1.6
0.1	1.8	3.6	1.9	3.8	1.6	3.2	1.4	2.8	1.2	2.2
0.125	2.4	4.8	2.5	5	2	4	1.8	3.6	1.7	3.4
0.15	2.8	5.8	3	6	2.6	5.2	2.1	4.2	1.9	3.8

Keterangan :

T = Periode Gelombang

Y = Kenaikan air pada selang pengukur

P = Besar Tekanan konversi

4.1.3 PERCOBAAN III**Tabel 4.7** Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 30 cm dan Sarat 70 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 dtk		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)								
0.05	0.8	1.6	1	2	0.7	1.4	0.5	1	0.4	0.8
0.075	1.2	2.4	1.35	2.7	1.1	2.2	0.9	1.8	0.7	1.4
0.1	2.1	3.4	1.8	3.8	1.6	3.2	1.3	2.6	1.2	2.4
0.125	2.5	5	2.6	5.2	2.3	4.6	1.9	3.8	1.7	3.4
0.15	3.1	6.2	3.2	6.4	2.7	5.4	2.4	4.8	2.1	4.2

**Tabel 4.8** Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 30 cm dan Sarat 60 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 dtk		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)								
	0.05	0.7	1.4	0.8	1.6	0.6	1.2	0.5	1	0.4
0.075	1.3	2.6	1.5	3	1.1	2.2	1	2	0.9	1.8
0.1	1.8	3.6	2.2	4.2	1.6	3.2	1.4	2.8	1.3	2.6
0.125	2.6	5.2	2.7	5.4	2.3	4.6	2	4	1.9	3.8
0.15	3.2	6.4	3.5	7	2.9	5.8	2.5	5	2.4	4.8

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Tekanan Pada Bukaan 30 cm dan Sarat 50 cm

Tinggi Gelombang (m)	T = 2.54 dtk		T = 2.22 dtk		T = 1.90 dtk		T = 1.58 dtk		T = 1.26 dtk	
	Y (cm)	P (mBar)								
	0.05	0.8	1.6	1.1	2.2	0.8	1.6	0.7	1.4	0.6
0.075	1.5	3	1.7	3.4	1.4	2.8	1.2	2.4	1.1	2.2
0.1	2.1	4.2	2.3	4.6	1.8	3.6	1.6	3.2	1.5	3
0.125	2.9	5.8	3	6	2.5	5	2.1	4.2	2	4
0.15	3.5	7	3.6	7.2	3.3	6.6	2.9	5.8	2.9	5.8

Keterangan :

T = Periode Gelombang

Konversi

10 mmBar = 5 cm

Y = Kenaikan air pada selang pengukur

20 mmBar = 10 cm

P = Besar Tekanan konversi

4.2 Pembahasan

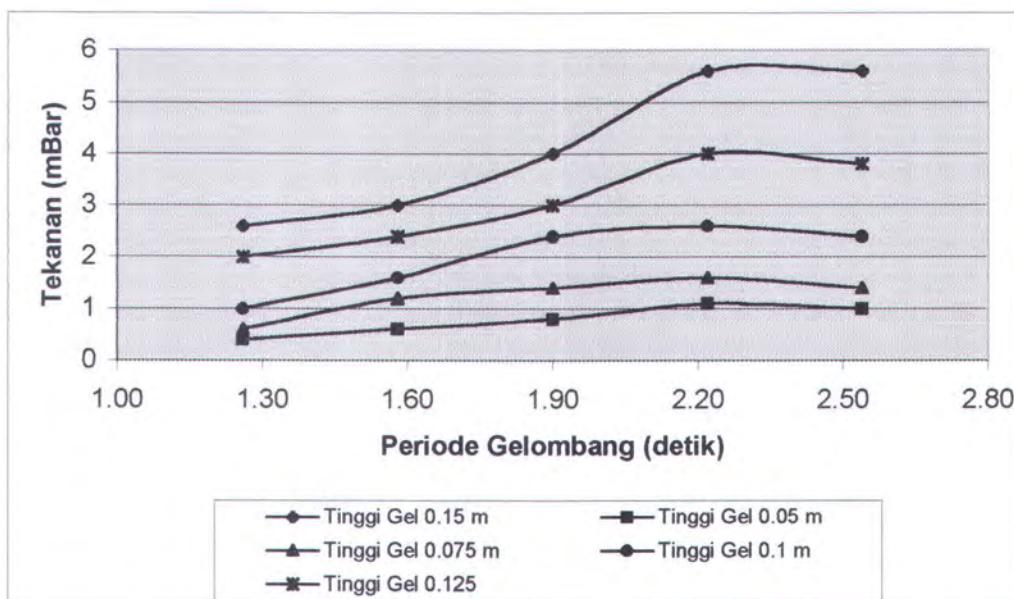
Percobaan model fisik pengukuran besar tekanan ini menghasilkan data berupa jarak kenaikan maniskus air pada alat pengukur yang selanjutnya dikonversi menjadi besar tekanan. Besar tekanan yang diperoleh inilah yang digunakan sebagai sumber untuk menggerakkan turbin, dari turbin dapat dihasilkan energi listrik.



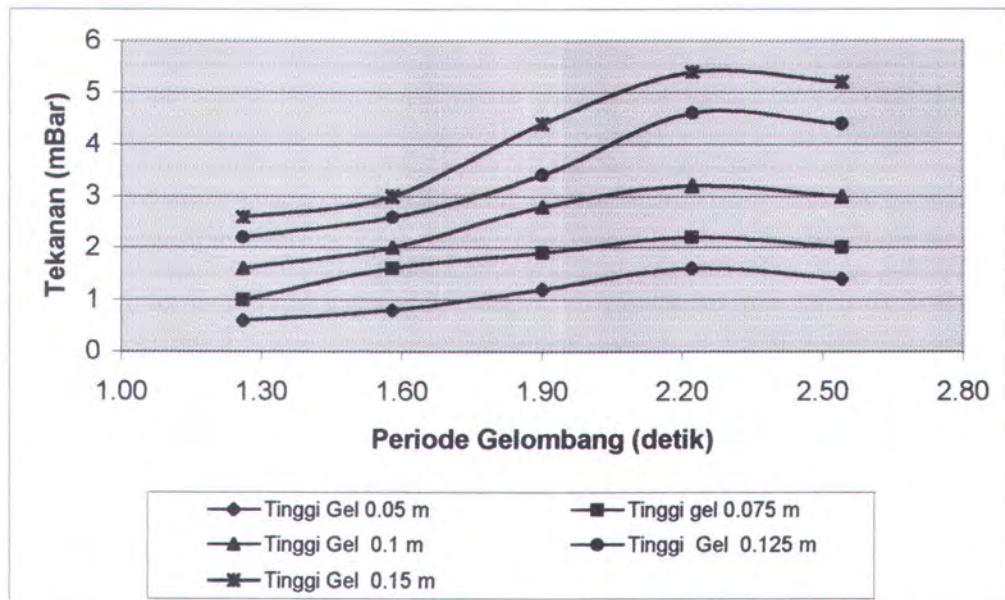
4.2.1 Pengaruh Periode Gelombang Terhadap Tekanan

Dari tabel 4.1 sampai tabel 4.9 di atas, maka dapat dibuat grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.15 dibawah ini.

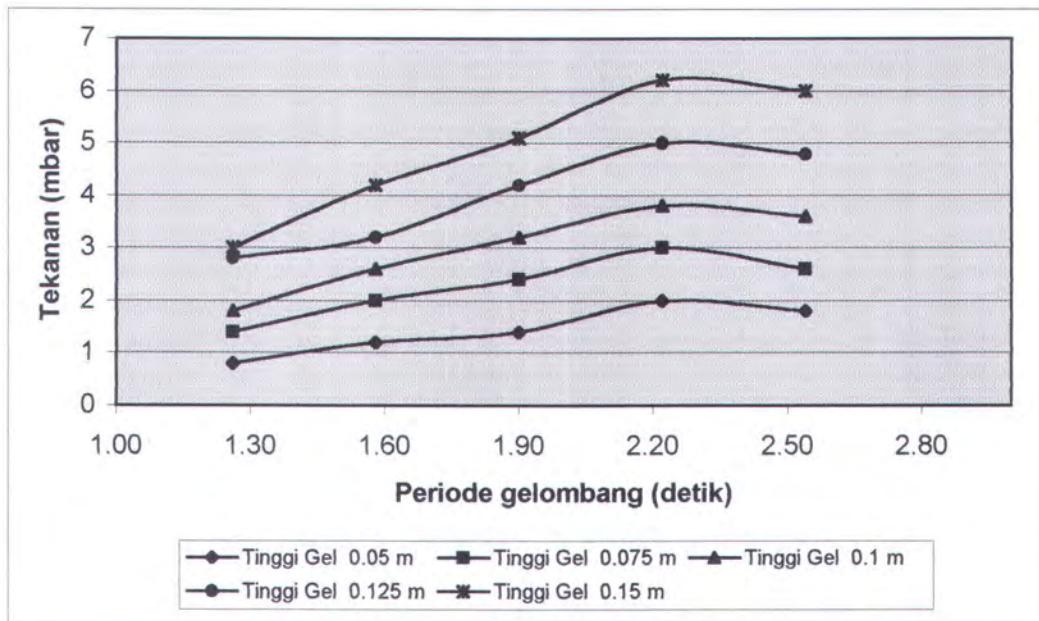
Hubungan antara Besar Tekanan (P) dan tinggi gelombang (H), dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4.1 Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Bukaan 10 cm dan Sarat 70 cm



Gambar 4.2 Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Bukaan 10 Cm dan Sarat 60 cm



Gambar 4.3 Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Bukaan 10 cm dan Sarat 50 cm.

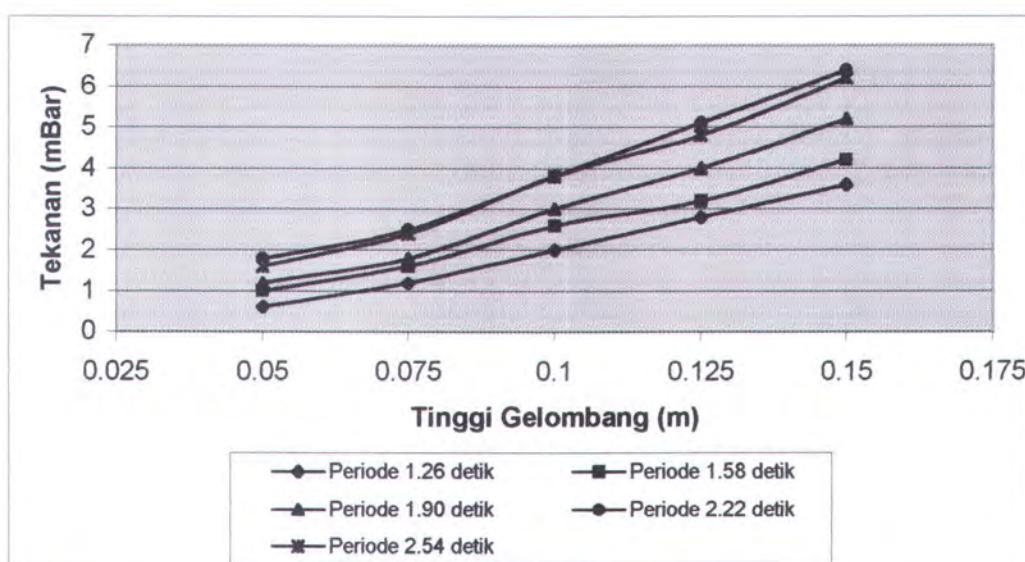
Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa kenaikan periode gelombang akan menyebabkan kenaikan pula pada besar tekanan sampai pada periode tertentu, baru tekanan akan mengalami penurunan.



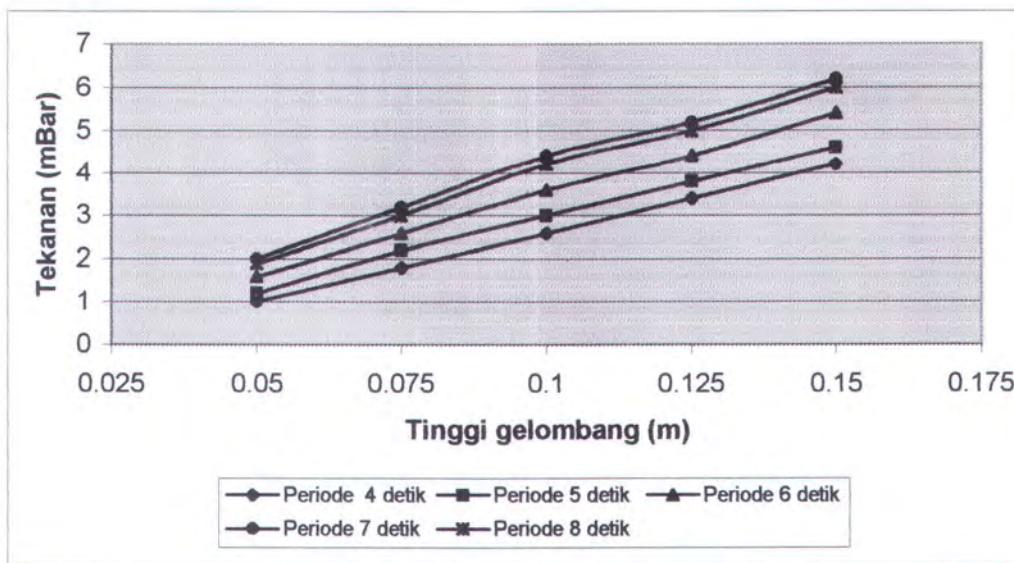
Nilai tekanan terkecil didapatkan pada periode 1.26 detik sebesar 0.4~5.8 mbar, besar tekanan akan bertambah pada periode 1.58 detik, menjadi 0.6~5.8 mbar, dan pada 1.9 detik, tekanan yang terjadi sebesar 0.8~6.6 mbar. Tekanan tertinggi sebesar 1.1~7.2 mBar diperoleh pada periode 2.22 detik, dengan sarat 50 cm. Sedang untuk periode yang melebihi 2.22 detik, tekanan akan cenderung turun. Hal ini disebabkan karena gelombang yang terbentuk mempunyai kecepatan gerakan osilasi yang rendah untuk periode yang semakin besar, sehingga tekanan yang terjadi juga rendah. Dalam hal ini tinggi gelombang adalah sama, sedangkan periode gelombang divariasikan.

4.2.2 Pengaruh Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan

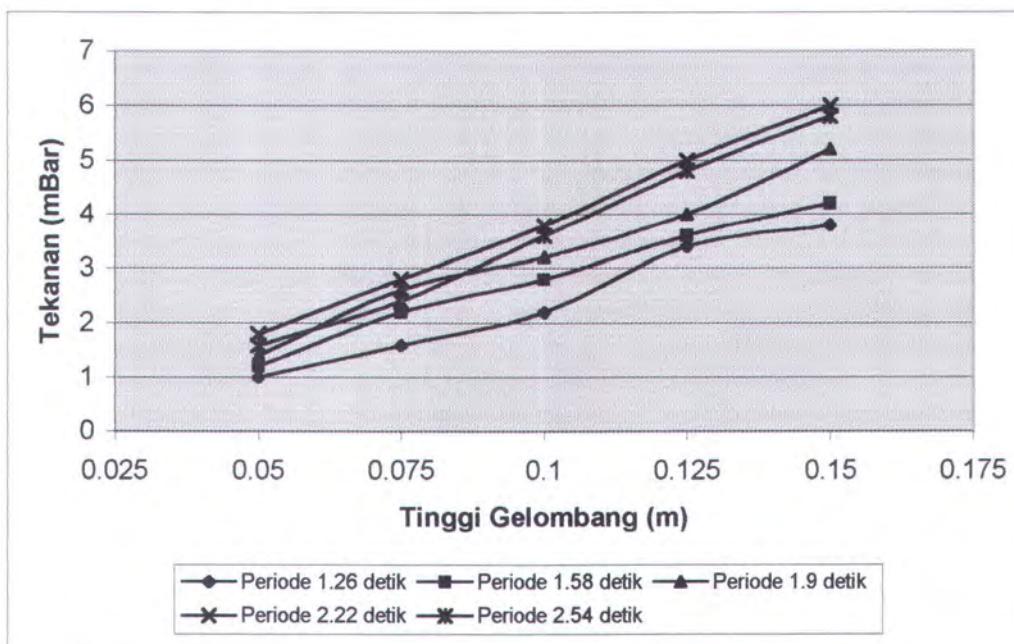
Hubungan antara tinggi gelombang terhadap tekanan dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 4.4 Grafik hubungan Tinggi Gelombang VS Besar Tekanan Untuk Bukaan 20 cm dan Sarat 70 cm.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tinggi Gelombang VS Besar Tekanan Untuk Bukaan 20 cm dan sarat 60 cm.



Gambar 4.6 Grafik hubungan Tinggi Gelombang VS Besar Tekanan Untuk Bukaan 20 cm dan sarat 50 cm.

Pengamatan yang dapat dilihat dari hasil penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4~4.6, terlihat adanya kecenderungan kenaikan tekanan seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang. Pada saat input tinggi gelombang 0.05 m, besar tekanan yang dihasilkan pada orifice berkisar antara 0.4~1.8 mbar, terus bertambah untuk input gelombang 0.075 m



sebesar 0.6~3.0 mbar, untuk input gelombang 0.1 m sebesar 1.0~4.2 mbar, sebesar 2.0~6.0 mbar untuk input gelombang 0.125 m, dan tekanan paling optimum didapatkan pada input gelombang 0.15 m sebesar 2.6~7.2 mbar.

Kenaikan tekanan karena bertambahnya tinggi gelombang yang didapat dari eksperimen ini merupakan hal yang sesuai dengan teori. Mengacu pada teori pada Bab III, dimana elevasi dan kecepatan air didalam kolom adalah fungsi dari tinggi gelombang, sehingga dengan semakin besar tinggi gelombang maka menyebabkan kecepatan air didalam kolom menjadi besar dan selanjutnya akan mendorong udara diatasnya, sehingga tekanan menjadi semakin besar pula.

4.2.3 Prosentase Kenaikan Tekanan Akibat Penambahan Tinggi Gelombang

Rata-rata prosentase kenaikan tekanan akibat penambahan tinggi gelombang sebesar **26,3 %**. Nilai ini didapatkan dari jumlah selisih rata-rata kenaikan tekanan setiap penambahan tinggi gelombang, untuk masing-masing periode gelombang. Untuk tinggi bukaan 20 cm, sarat 70 cm dan periode 4 detik didapatkan prosentase kenaikan tekanan sebesar **27,45 %**, Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

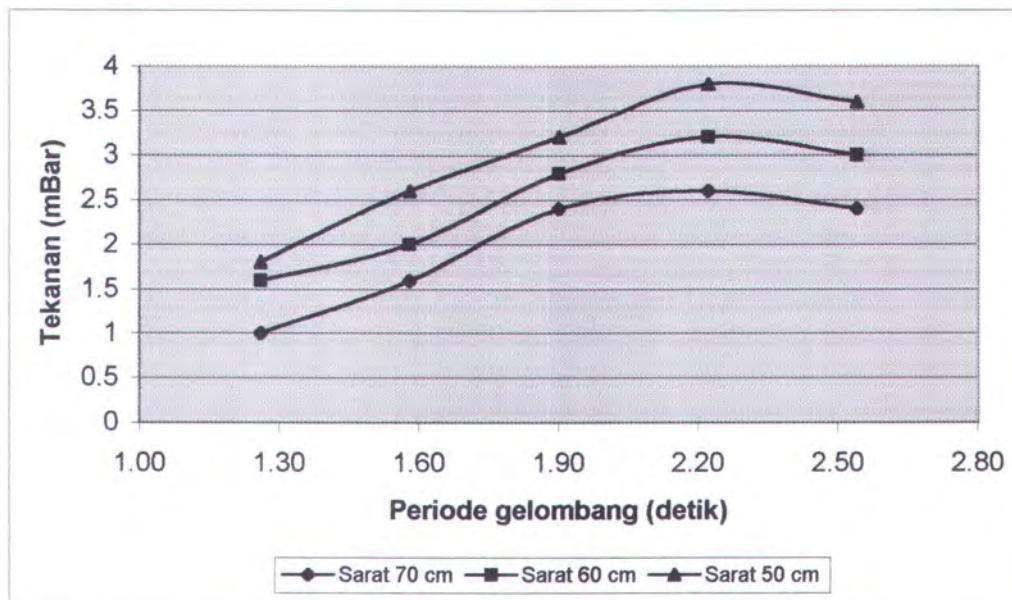


**Tabel 4.10** Prosentase Kenaikan Tekanan Akibat Penambahan Tinggi gelombang

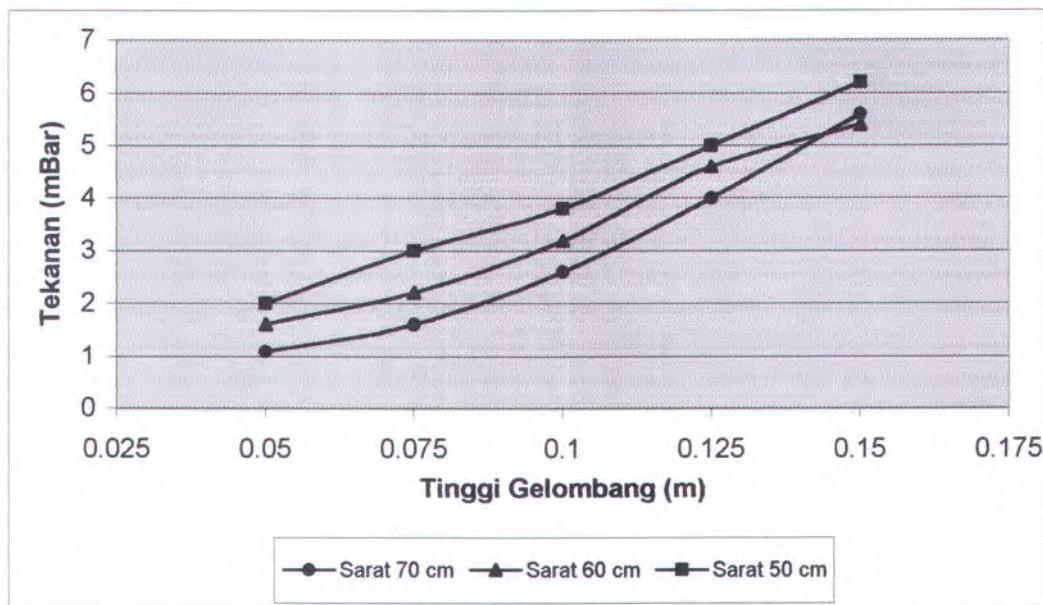
Selisih Tekanan U/ tinggi gelombang	Besar Tkn (T=2.54 dtk)	Besar Tkn (T=2.22 dtk)	Besar Tkn (T=1.90 dtk)	Besar Tkn (T=1.58 dtk)	Besar Tkn (T=1.26 dtk)
0.075 - 0.05 m	1.2	0.7	0.6	0.6	0.6
0.1 - 0.075 m	1.4	1.3	1.2	1	0.8
0.125 - 0.1 m	1.4	1.3	1	0.6	0.8
0.15 – 0.125 m	1.4	1.3	1.2	1	0.6
Jumlah Selisih	5.4	4.6	4	3.2	2.8
Jumlah Tekanan	18.8	19.6	15.2	12.6	10.2
Prosentase Tiap Periode	28.72	23.47	26.32	25.40	27.45
Rata- Rata Prosentase					131.36 26.3 %

4.2.4 Pengaruh Sarat Air Terhadap Tekanan

Hubungan antara sarat air dengan tekanan dapat dilihat pada grafik dibawah



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Bukaan 10 cm dan Tinggi Gelombang 0.1 m



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Tekanan VS Tinggi Gelombang,
Bukaan 10 cm, Periode 2.22 detik

Pengaruh sarat air terhadap tekanan yang terjadi pada orifice untuk input gelombang 0.1m dan periode 2.22 detik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 ~ 4.8. Dari gambar terlihat bahwa terjadi penurunan tekanan seiring dengan penambahan sarat air. Jika diperhatikan pada saat sarat air 50 cm besar tekanan berkisar antara 0.8 ~ 7.2 mbar, kemudian jika sarat model dinaikkan menjadi 60 cm, maka tekanan menjadi turun dengan besar tekanan berkisar antara 0.6 ~ 6.4 mbar. Demikian juga untuk sarat 70 cm, pada keadaan ini pada orifice dihasilkan tekanan yang paling kecil yaitu berkisar antara 0.4 ~ 6.4 mbar. Namun demikian setelah tinggi gelombang dinaikkan, tekanan yang terjadi berangsur-angsur naik kembali.

Dengan mengacu pada hasil-hasil tersebut diatas, terlihat bahwa dengan meningkatnya sarat air, maka tekanan yang terjadi cenderung mengalami penurun.



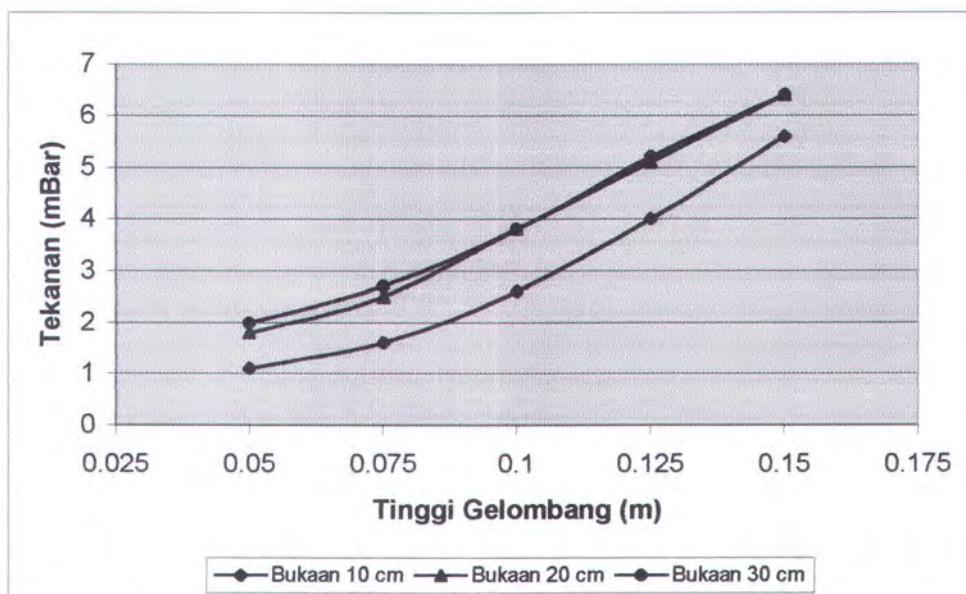
Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. kemungkinan pertama karena dengan bertambahnya sarat air, maka udara yang terjebak di dalam kolom semakin kecil, sehingga menyebabkan tekanan menjadi turun.
2. Kemungkinan kedua dengan bertambahnya sarat air pengaruh energi gelombang dari luar kolom yang masuk kedalam kolom makin turun untuk menggerakkan ossilasi air dalam kolom.

4.2.5 Pengaruh Tinggi Bukaan Terhadap Besar Tekanan

Pada analisa tinggi bukaan ini, diambil periode gelombang yang menghasilkan tekanan tertinggi, dan dibuat grafik hubungan besar tekanan dengan tinggi gelombang untuk masing-masing bukaan, sehingga memudahkan untuk dianalisa.

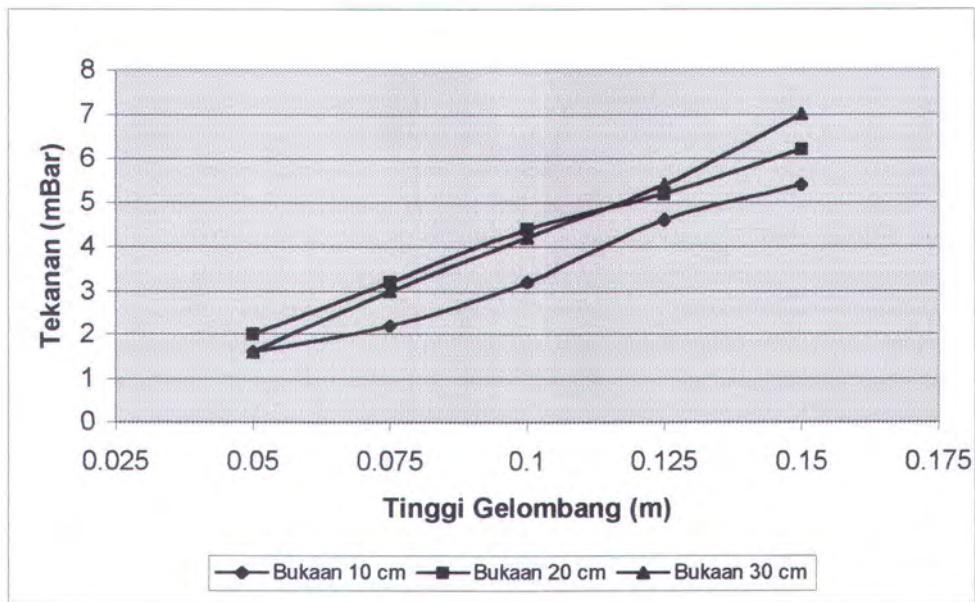
Pengaruh Tinggi bukaan terhadap besar tekanan yang keluar dari orifice dapat dijelaskan pada grafik dibawah ini :



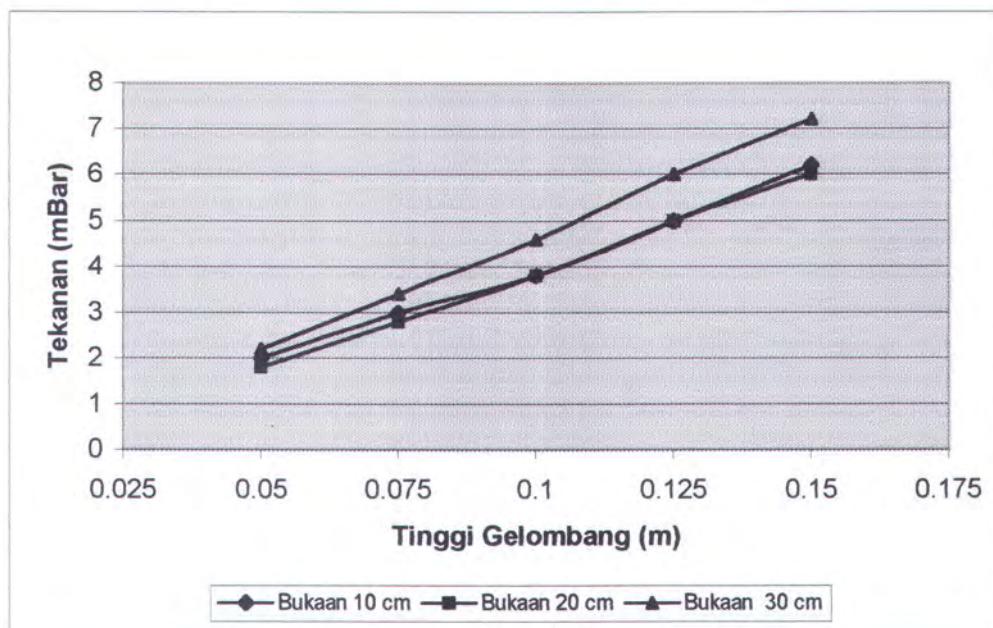
Gambar 4.9. Grafik Hubungan Tekanan VS Tinggi Gelombang Untuk



Sarat 70 cm dan Periode Gelombang 2.22 detik.



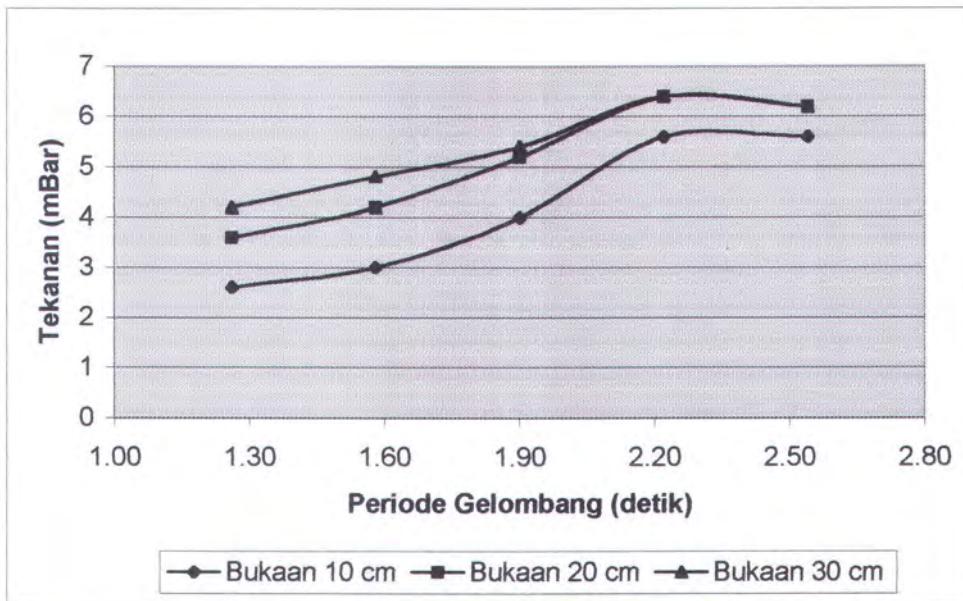
Gambar 4.10. Grafik Hubungan Tekanan VS Tinggi Gelombang Untuk Sarat 60 cm dan Periode Gelombang 2.22 detik.



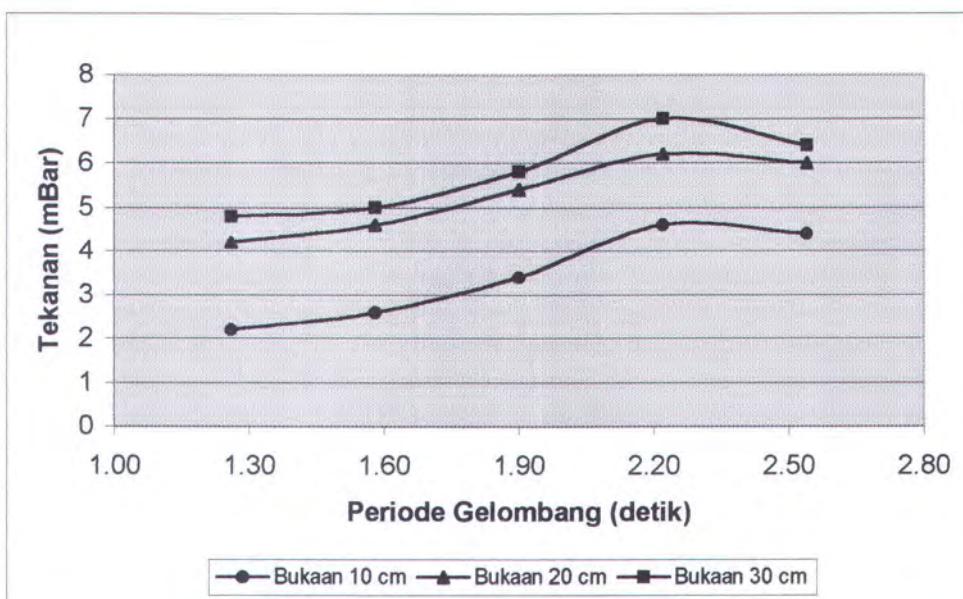
Gambar 4.11. Grafik Hubungan Tekanan VS Tinggi Gelombang Untuk Sarat 50 cm dan Periode Gelombang 2.22 detik.



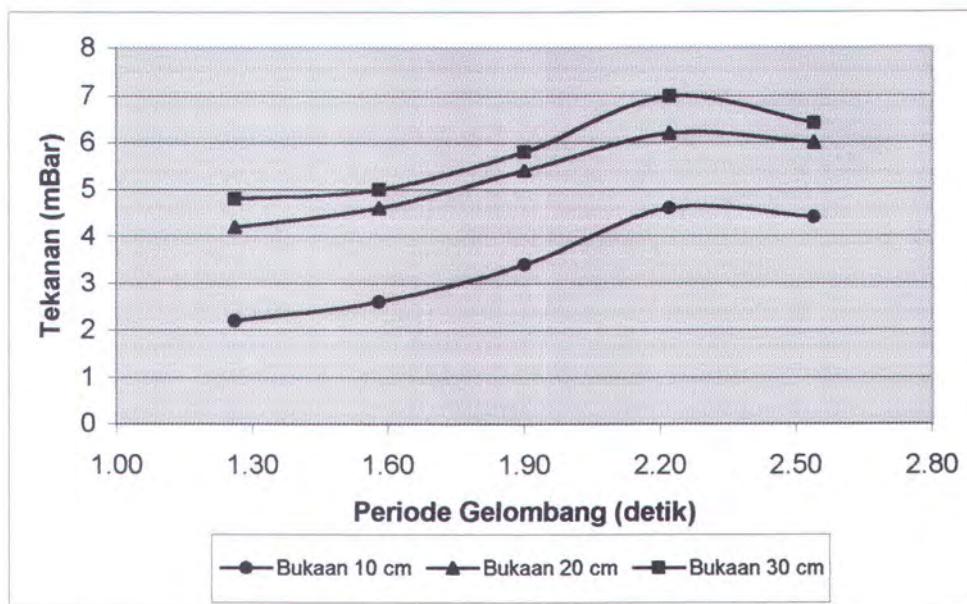
Analisa pengaruh Tinggi Bukaan terhadap tekanan yang keluar dari orifice juga dilakukan pada tinggi gelombang input terbesar, dan hasilnya digrafikkan dibawah ini.



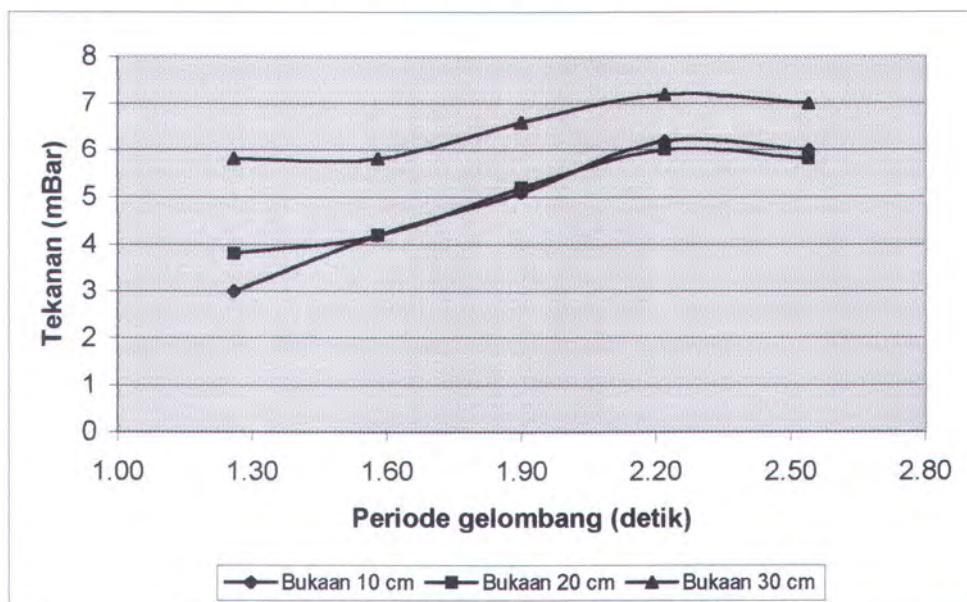
Gambar 4.12. Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Sarat 70 cm dan Tinggi Gelombang 0.15 m



Gambar 4.13. Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Sarat 70 cm dan Tinggi Gelombang 0.15 m



Gambar 4.14. Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Sarat 60 cm dan Tinggi Gelombang 0.15 m



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Tekanan VS Periode Gelombang Untuk Sarat 50 cm dan Tinggi Gelombang 0.15 m.

Dari grafik 4.9 sampai 4.12 yaitu grafik tekanan vs tinggi gelombang untuk periode 2.22 detik, dapat diketahui bahwa besarnya tekanan semakin bertambah seiring bertambahnya tinggi bukaan. Tekanan terbesar dihasilkan oleh bukaan tertinggi yaitu 30 cm berkisar antara 0.8 ~ 7.2 mbar,



dibawahnya diikuti oleh bukaan 20 cm berkisar antara 0.6 ~ 6.4 mbar, dan tekanan paling kecil dihasilkan oleh bukaan setinggi 10 cm dengan besar tekanan berkisar antara 0.4 ~ 6.2 mbar. Pada bukaan 30 cm, dihasilkan tekanan terbesar dikarenakan energi gelombang yang masuk kedalam kolom lebih besar sehingga menyebabkan tekanan yang terjadi juga semakin besar.

Hal yang sama juga terjadi pada pengaruh tinggi bukaan terhadap tekanan untuk input tinggi gelombang 0.15 m pada periode 2.22 detik seperti ditunjukkan pada gambar 4.13 sampai 4.15 di atas. Besar tekanan akibat penambahan tinggi bukaan juga cenderung naik seiring dengan kenaikan periode gelombang. Tetapi nilai tekanan optimum didapat pada periode 2,22 detik dan diatas periode tersebut tekanan cenderung turun. Sedangkan pengaruh variasi bukaan terhadap tekanan, didapatkan bahwa tekanan terkecil dihasilkan pada bukaan 10 cm, cenderung naik pada bukaan 20 cm dan terbesar dicapai pada bukaan 30 cm.

Apabila bukaan dinaikkan terus sampai melebihi dari lembah gelombang yang ada diluar kolom, maka akan ada udara yang keluar dari dalam kolom OWC, sehingga menyebabkan kehilangan tekanan (*droped pressure*). Dalam percobaan kali ini dengan variasi tinggi bukaan yang ada, belum sampai didapatkan *droped pressure* untuk variasi bukaan, karena hanya memvariasikan tiga bukaan pada kolom. Untuk itu diperlukan studi dan percobaan lebih lanjut untuk variasi bukaan sampai didapatkan *droped pressure*.





4.3 Verifikasi Hasil Percobaan

Dari data studi eksperimen pengaruh bukaan terhadap tekanan yang keluar dari orifice, maka sebagai verifikasi, tekanan hasil percobaan akan dibandingkan dengan tekanan yang didapat dari hasil perhitungan secara matematis atau dengan teori.

Dalam tugas akhir ini dilakukan verifikasi terhadap parameter yang menghasilkan tekanan optimum, yaitu pada bukaan 30 cm, sarat 50cm, periode 7 detik, mengingat banyaknya perlakuan (variasi) yang ada.

4.3.1 Perhitungan Secara Teoritis

Data Gelombang :

$$H_1 = 0.39 \text{ cm}$$

$$T = 2.22 \text{ detik}$$

$$A_1/A_2 = 10000$$

$$D_1 = 0.5 \text{ m}$$

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$

$$D_2 = 0.005 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Selanjutnya untuk mencari frekwensi gelombang digunakan rumus (McCormick, 1981) sebagai berikut :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L_1}{g}} \quad \text{dan} \quad \omega = \frac{1}{2\pi} T$$

Besar Frekwensi gelombang :

$$\omega = 2\pi/T$$



$$= \frac{6.28}{2.22} = 2.83 \text{ radian/detik}$$

Pergerakan air dikolom adalah :

$$\begin{aligned}\eta_1 &= \frac{H_1}{2} \cos(\omega t) \\ &= (0.0039/2) \cos(2.83 t) \\ &= 0.00195 \cos(2.83 t)\end{aligned}$$

Dari dua persamaan tersebut akan didapatkan kecepatan aliran udara didekat permukaan air di kolom sebesar :

$$\begin{aligned}V_1 &= \frac{\partial \eta_1}{\partial t} \\ &= -\frac{\omega H}{2} \sin(\omega t)\end{aligned}$$

Sehingga Besar V_1 adalah :

$$\begin{aligned}V_1 &= -\frac{2.83 \times 0.0039}{2} \sin(2.83t) \\ V_1 &= -0.005516 \sin(2.83 t)\end{aligned}$$

dengan asumsi bahwa aliran udara incompressible, maka didapatkan kecepatan aliran udara diorifice :

$$\begin{aligned}V_2 &= \frac{A_1}{A_2} V_1 \\ &= 10000 \times -0.005516 \sin(2.83 t) \\ V_2 &= -55.16 \sin(2.83 t)\end{aligned}$$

Dengan pendekatan persamaan bernaulli.

$$P = (P_2 - P_0) Q$$



Dari Persamaan Kontinuitas

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_2^2) + \rho \frac{d}{dt} (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Dimana kecepatan potensial (φ) didekati dengan persamaan :

$$\varphi_1 \approx V_1 \eta_1$$

$$= -\frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t)$$

$$\varphi_2 \approx \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \varphi_1$$

$$= -\left(\frac{A_1}{A_2}\right) \frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t)$$

Selanjutnya perbedaan tekanan dapat diperoleh dari persamaan linear momentum

$$P_2 - P_0 = \rho \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \frac{d\varphi_1}{dt} + \rho \frac{Q}{A_2} (V_2 - V_1)$$

$$\varphi_1 = V_1 \eta_1$$

$$= -0.005516 \sin(2.83t) \times 0.00195 \cos(2.83t)$$

$$\varphi_1 = -1.07566 \times 10^{-5} \sin(2.83t) \cos(2.83t)$$

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -1.07566 \times 10^{-5} \{ 2.83 \cos(2.83t) \cos(2.83t) - \sin(2.83t) (-2.83 \sin(2.83t)) \}$$

$$= -1.07566 \times 10^{-5} \{ 2.83 \cos^2(2.83t) + 2.83 \sin^2(2.83t) \}$$

$$= -1.07566 \times 10^{-5} 2.83 \{ \cos^2(2.83t) + \sin^2(2.83t) \}$$

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = 3.043 \times 10^{-5}$$



Sehingga :

$$\begin{aligned} P_2 - P_0 &= 1000 \cdot 10000 \cdot -3.043 \times 10^{-5} + 1000 V_2 A_2 / A_2 (V_2 - V_1) \\ &= 1 \times 10^7 \times -3.043 \times 10^{-5} + 1000 (V_2^2 - V_2 V_1) \\ &= 304.3 + 1000 [3042.864 \sin^2(2.83 t) - \{-55.16 \sin(2.83 t) \times -0.00516 \sin(2.83t)\}] \\ &= 304.3 + 1000 \{304.2864 \sin^2(2.83t) - 0.30428 \sin^2(2.83t)\} \\ &= 304.3 + 304286 \sin^2(2.83t) \end{aligned}$$

Untuk $t = 10$ detik maka $\sin^2(2.83 \times 10)$

$$\sin^2(28.3) \text{rad}$$

$$\sin^2(1622.3^\circ) = 0.0016$$

Sehingga : $P_2 - P_0 = 304.3 + (304286 \times 0.0016)$

$$= 304.3 + 486.86$$

$P_2 = 791.16$

$P_2 = 791.16 + P_0$

$$= 791.16 + 0$$

$$= 791.16 \text{ pa}$$

Bila 1 Pascal = 100 mBar, Maka

$P_2 = 7.91 \text{ mbar}$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.11 sampai Tabel 4.13 dibawah ini :

**Tabel 4.11** Perhitungan Tekanan berdasar teori pada Bukaan 10

H dlm kolom Cm	Periode = 2.54		H dlm kolom cm	Periode = 2.22		H dlm klm cm	Periode = 1.90	
	P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)
0.21	1.4	3.15	0.24	1.6	3.6	0.2	1.2	2.70
0.24	2	3.34	0.26	2.2	3.99	0.24	1.9	3.45
0.26	3	4.11	0.28	3.2	4.62	0.25	2.8	4.04
0.32	4.4	5.18	0.33	4.6	5.31	0.28	3.4	4.31
0.37	5.2	6.48	0.38	5.4	6.73	0.36	4.4	5.48

H dlm klm Cm	Periode = 1.58		H dlm klm cm	Periode = 1.26	
	P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)
0.12	0.8	1.80	0.09	0.6	1.35
0.19	1.6	2.43	0.12	1	1.81
0.18	2	2.89	0.14	1.6	2.31
0.19	2.6	3.00	0.16	2.2	2.54
0.21	3	3.74	0.18	2.6	3.24

Tabel 4.12 Perhitungan Tekanan berdasar teori pada Bukaan 20 cm

H dlm kolom Cm	Periode = 2.54		H dlm kolom cm	Periode = 2.22		H dlm klm cm	Periode = 1.90	
	P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)
0.24	1.6	3.32	0.27	1.8	3.73	0.2	1.2	2.49
0.28	2.4	3.40	0.29	2.5	4.12	0.24	1.8	2.97
0.30	3.8	4.84	0.3	3.8	5.06	0.25	3	3.99
0.34	4.8	5.53	0.34	4.8	5.53	0.28	5.1	5.88
0.39	6.2	7.44	0.39	6.2	7.44	0.36	6.4	7.68

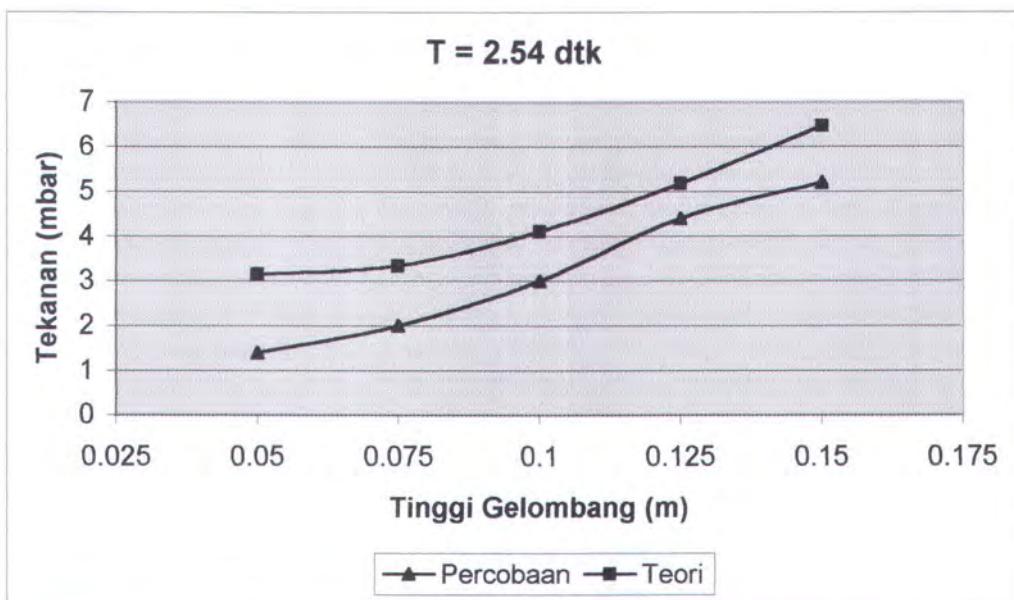
H dlm klm Cm	Periode = 1.58		H dlm klm cm	Periode = 1.26	
	P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)
0.15	1	2.07	0.09	0.6	1.35
0.19	1.6	2.64	0.14	1.2	2.34
0.21	2.6	3.46	0.16	2	2.66
0.23	3.2	3.69	0.20	2.8	3.23
0.26	4.2	5.04	0.23	3.6	4.32

**Tabel 4.13** Perhitungan Tekanan berdasar teori pada Bukaan 30 cm

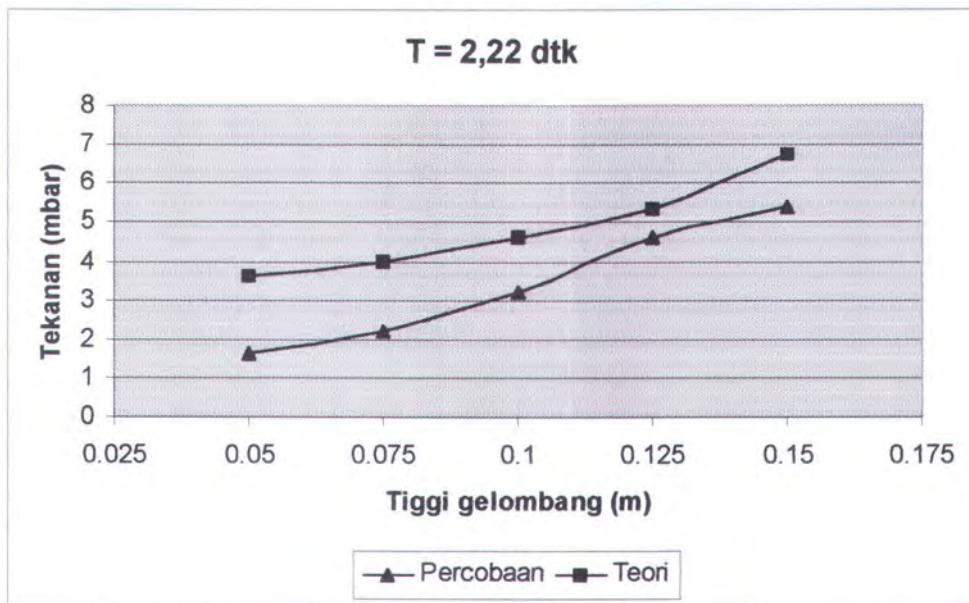
H dlm kolom Cm	Periode = 2.54		H dlm kolom cm	Periode = 2.22		H dlm klm cm	Periode = 1.90	
	P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)
0.20	1.6	3.12	0.27	2.2	4.29	0.2	1.6	3.00
0.26	3	4.23	0.29	3.4	4.96	0.24	2.8	4.08
0.27	4.2	5.12	0.3	4.6	5.6	0.25	3.6	4.38
0.33	5.8	6.58	0.34	6	6.81	0.28	5	5.68
0.38	7	7.69	0.39	7.2	7.91	0.36	6.6	7.25

H dlm klm Cm	Periode = 1.58		H dlm klm cm	Periode = 1.26	
	P (percob)	P (teori)		P (percob)	P (teori)
0.17	1.4	2.73	0.15	1.2	2.34
0.20	2.4	3.50	0.19	2.2	3.21
0.21	3.2	3.90	0.20	3	3.65
0.24	4.2	4.77	0.23	4	4.54
0.31	5.8	6.37	0.31	5.8	6.37

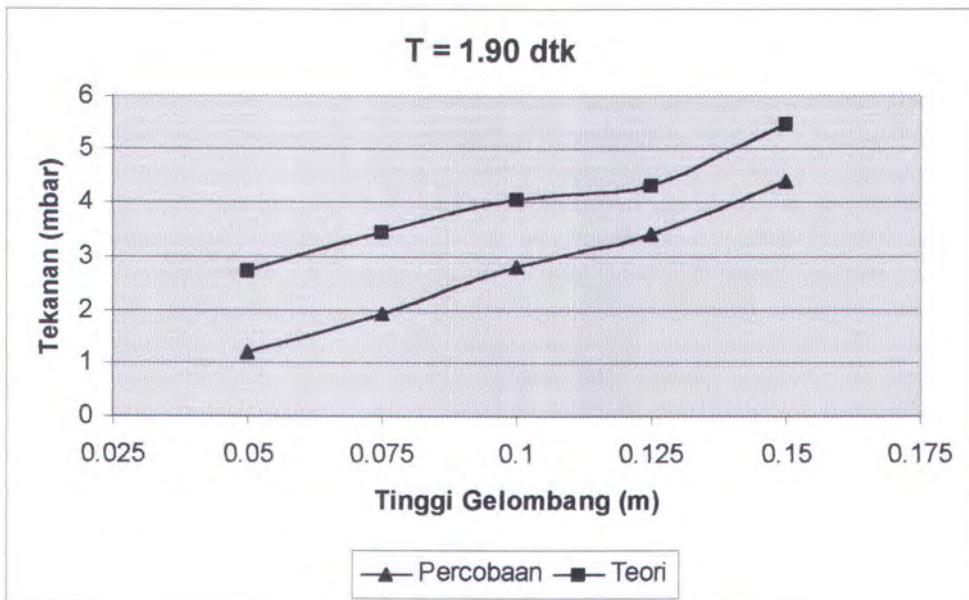
Dari tabel 4.12 sampai dengan tabel 4.14 dapat dibuat grafik yang hasilnya diberikan pada gambar 4.17 sampai dengan 4.32 dibawah ini.



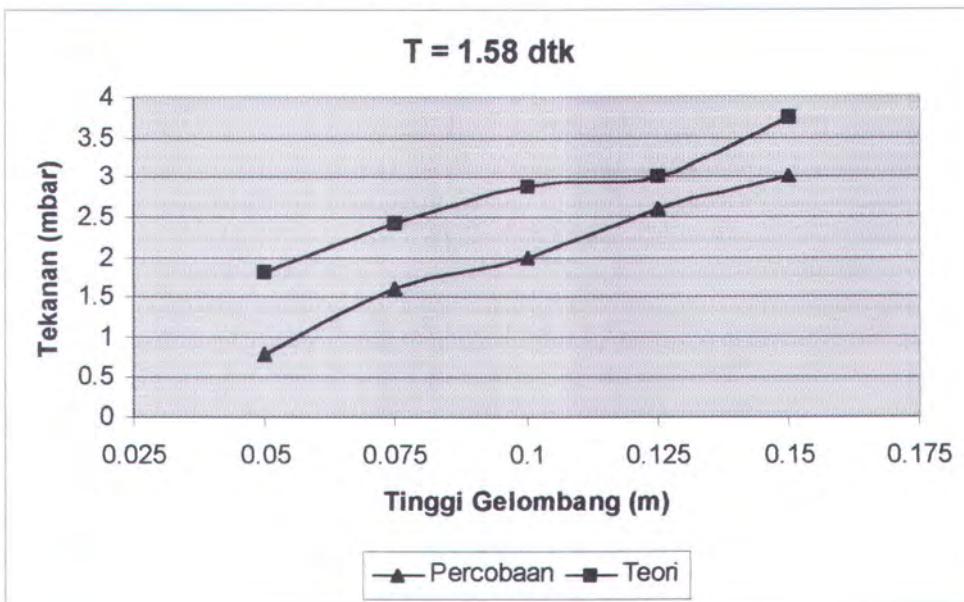
Gambar 4.16 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 10 cm, peiode 2.54 detik



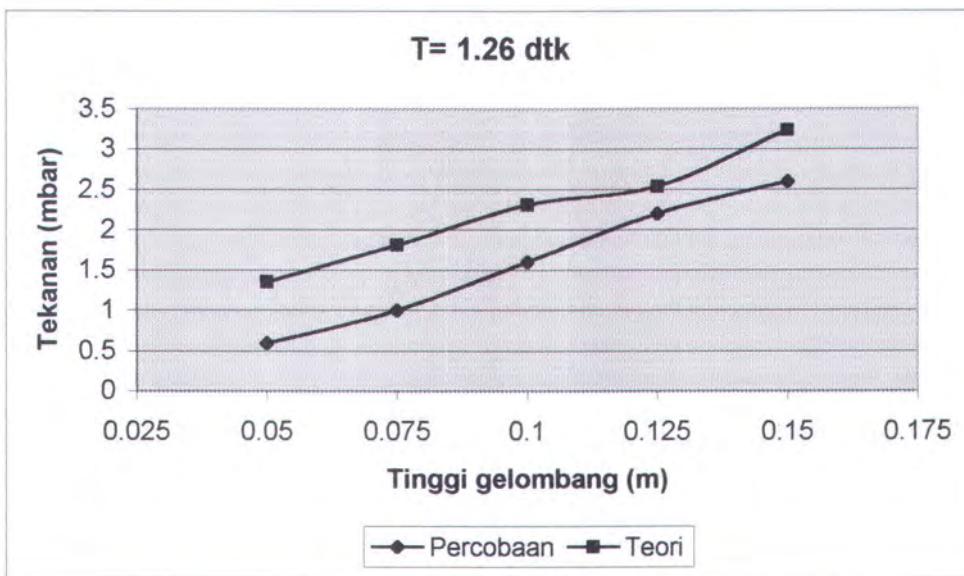
Gambar 4.17 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 10 cm, periode 2.22 detik



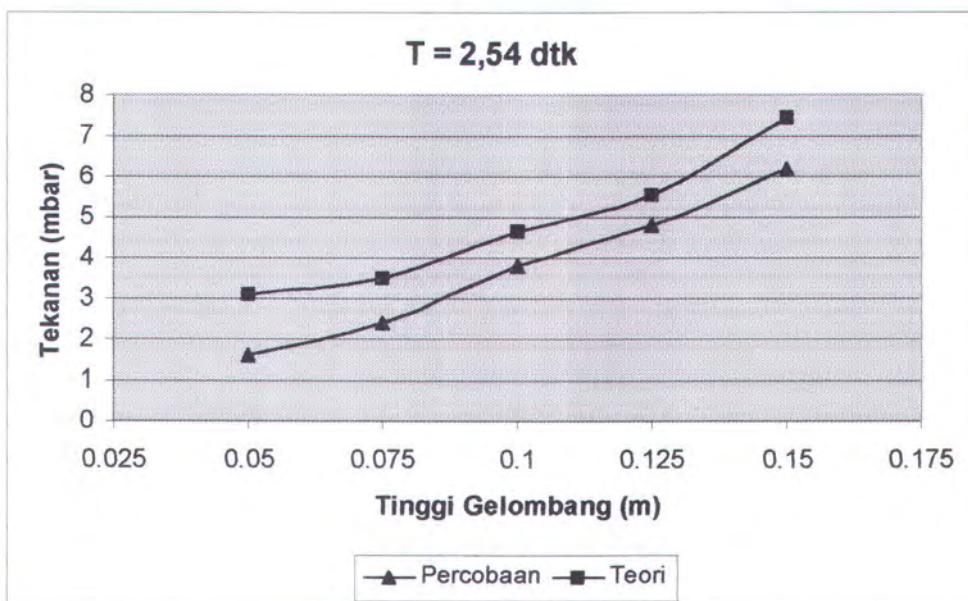
Gambar 4.18 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 10 cm, periode 1.90 detik



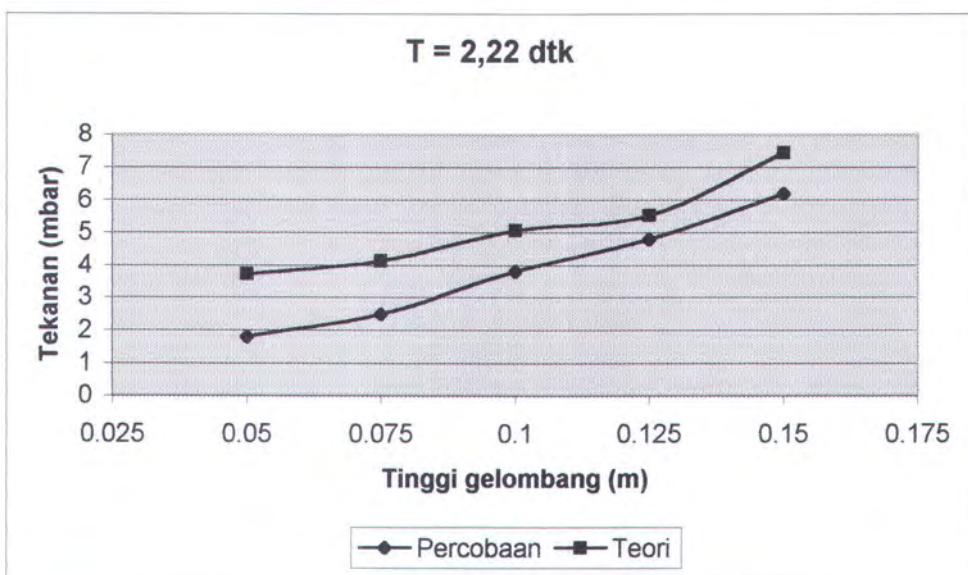
Gambar 4.19 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 10 cm, periode 1.58 detik



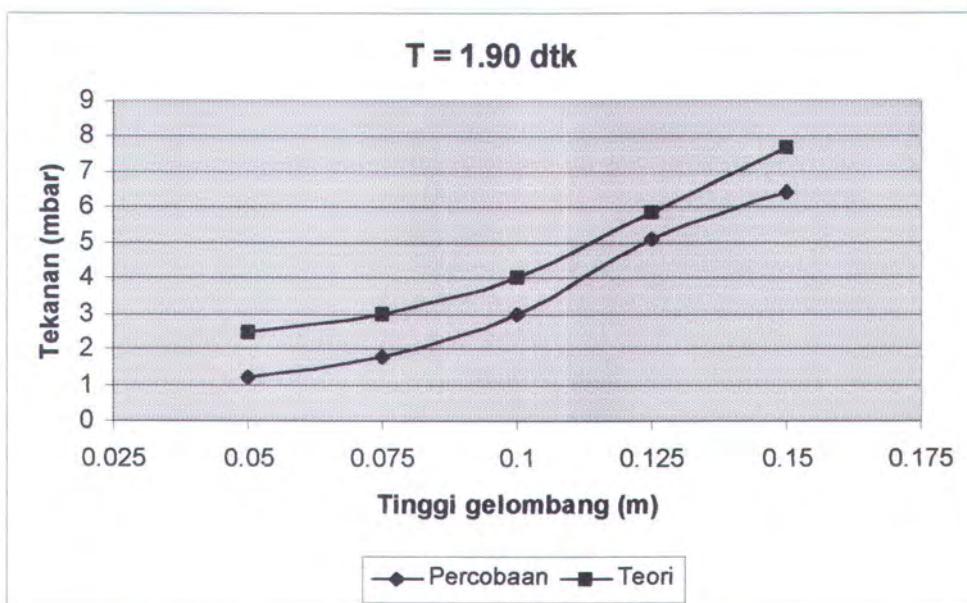
Gambar 4.20 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 10 cm, periode 1.26 detik



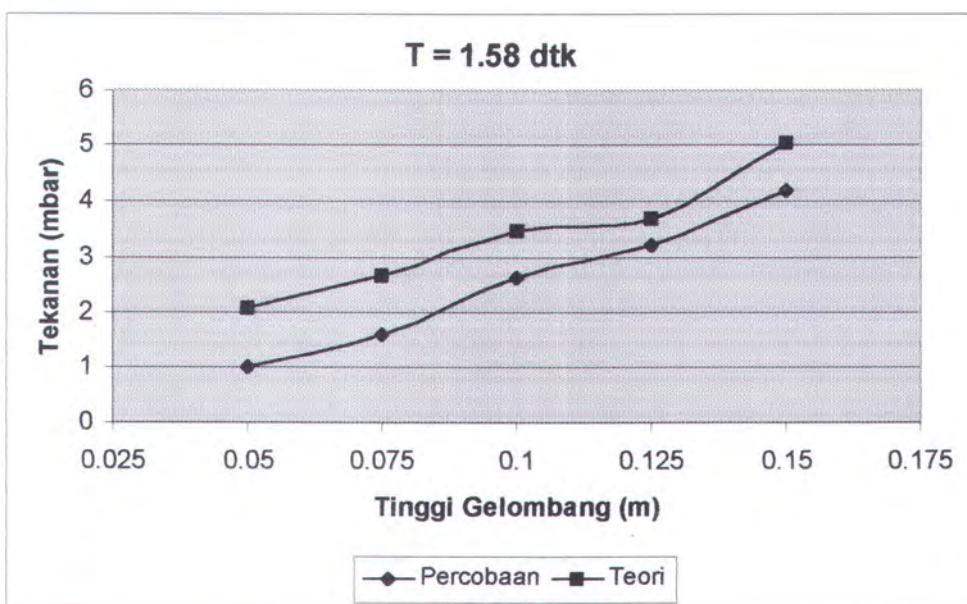
Gambar 4.21 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 20 cm, periode 2.54 detik



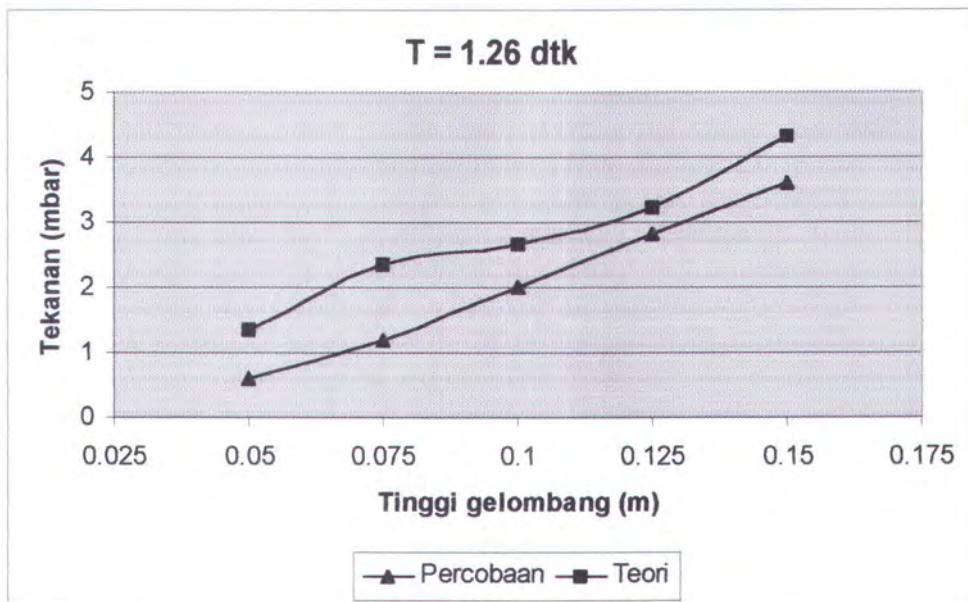
Gambar 4.22 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 20 cm, periode 2.22 detik



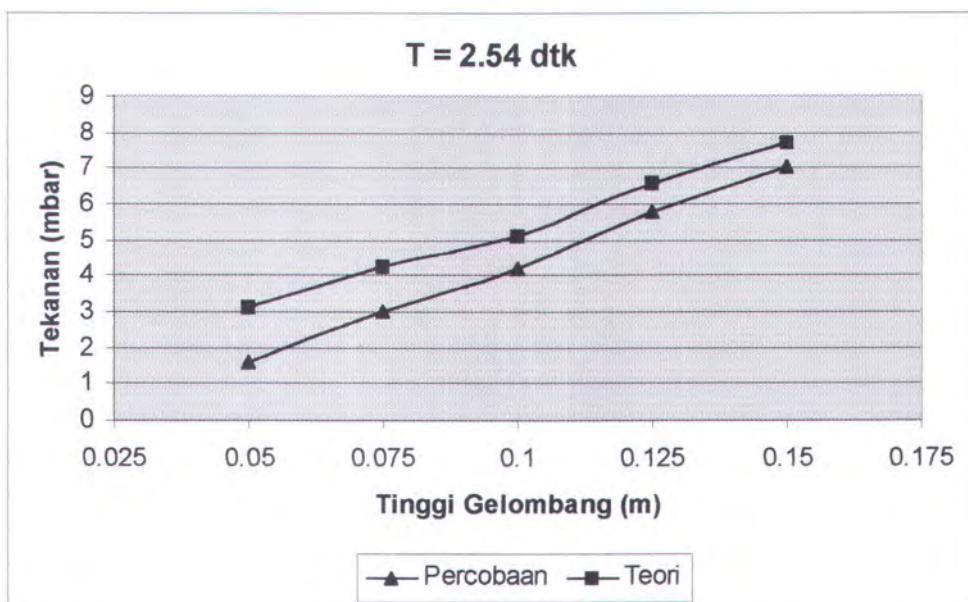
Gambar 4.23 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 20 cm, periode 1.90 detik



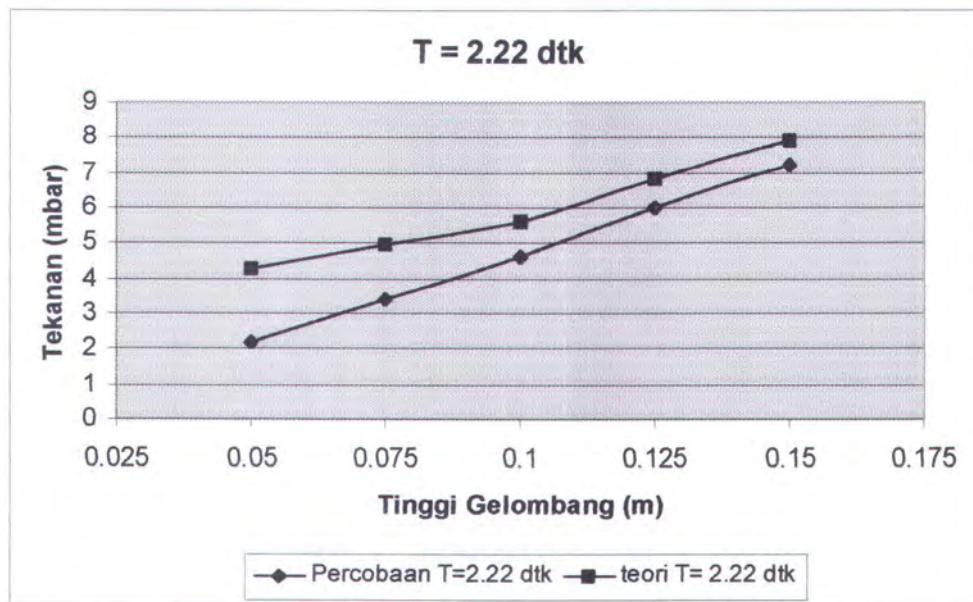
Gambar 4.24 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 20 cm, periode 1.58 detik



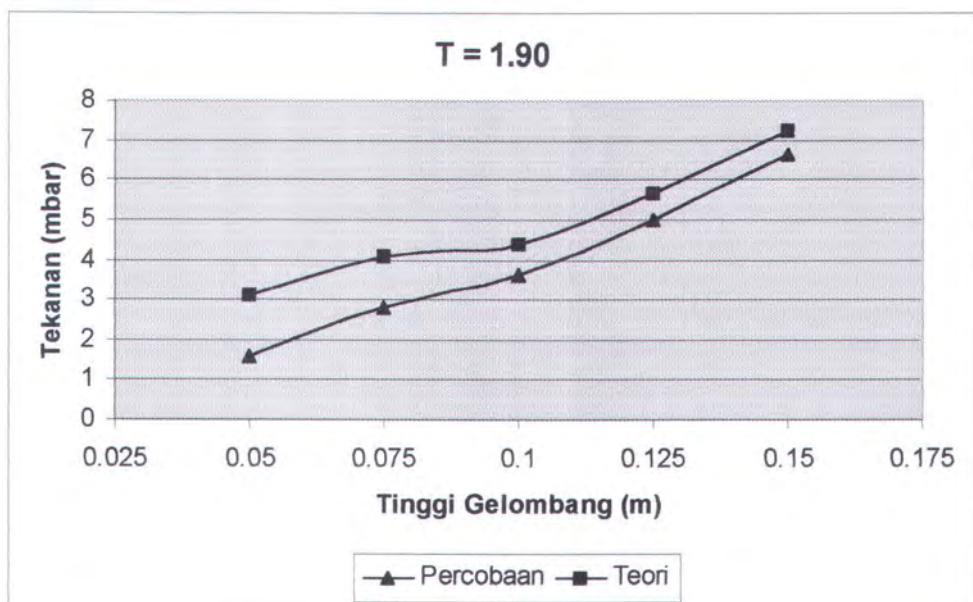
Gambar 4.25 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 20 cm, periode 1.26 detik



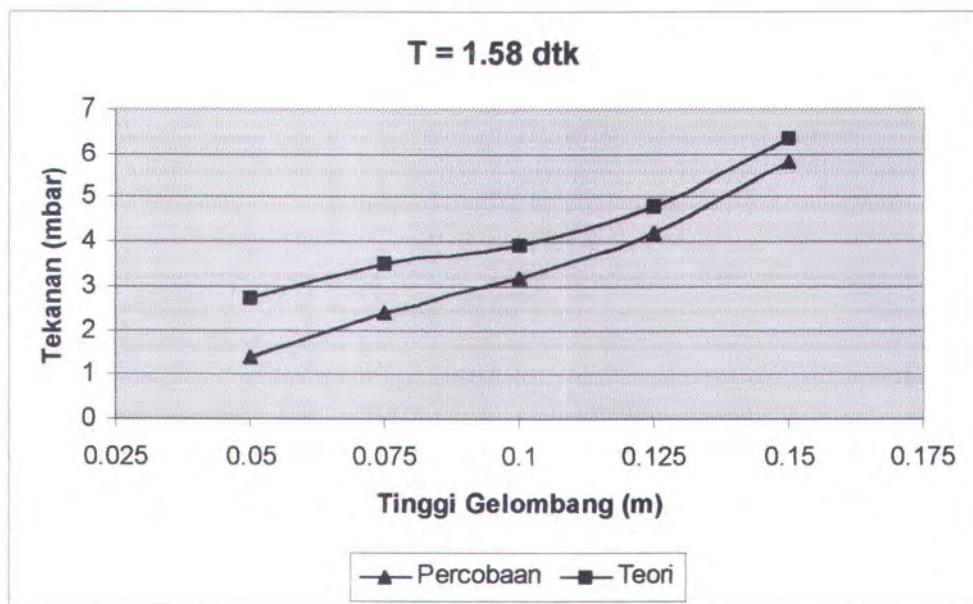
Gambar 4.26 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 30 cm, periode 2.54 detik



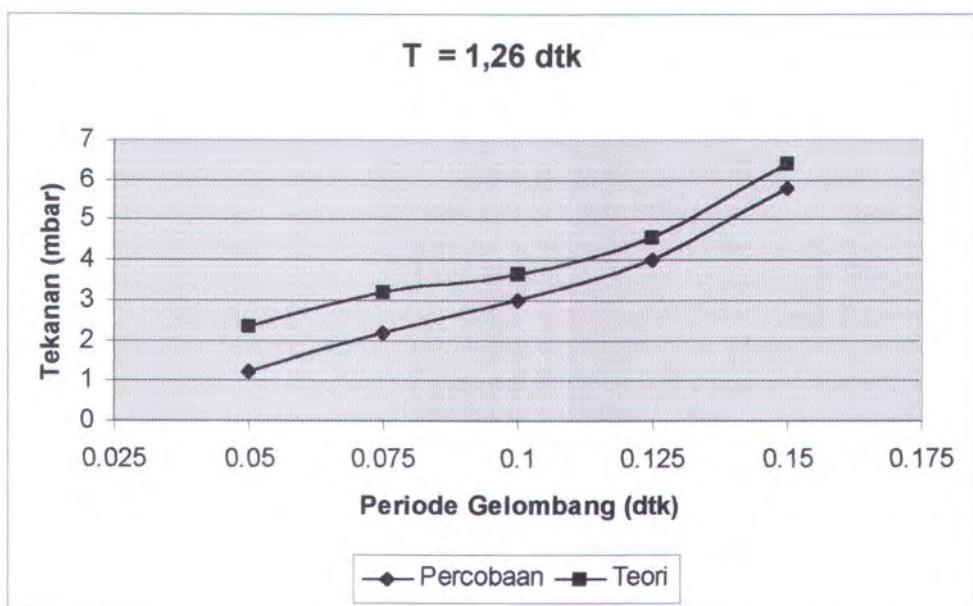
Gambar 4.27 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 30 cm, periode 2.22 detik



Gambar 4.28 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 30 cm, periode 1.90 detik



Gambar 4.29 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 30 cm, periode 1.58 detik



Gambar 4.30 Grafik Tekanan VS Tinggi gelombang, perbandingan teori dengan Percobaan pada bukaan 30 cm, periode 1.26 detik

Dari Grafik pada Gambar 4.17 sampai Gambar 4.31 terlihat bahwa ada perbedaan antara perhitungan tekanan hasil percobaan dengan teori dimana hasil perhitungan dengan teori menunjukkan hasil yang lebih besar. Penyimpangan tersebut berkisar antara 9 % sampai dengan 49 %, tetapi



kalau dilihat dari tren grafik menunjukkan adanya tren yang sama, meskipun secara numeric perbedaannya cukup besar.

Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa kemungkinan antara lain :

1. Adanya kesalahan visual pada pengamatan pembacaan tekanan pada pipa pengukur U.
2. Adanya tekanan yang hilang akibat adanya belokan-belokan pada pipa pengukur U.
3. Pengaruh dari pengikatan model didalam flume tank dan jarak model terhadap dasar kolam.
4. Pengaruh dari kekasaran pada model sehingga menyebabkan adanya gaya gesek terhadap dinding model.

BAB V PENUTUP



BAB V

PENUTUP



5.1 KESIMPULAN

Dari studi eksperimen konversi energi gelombang laut, model OWC dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar tekanan pada orifice cenderung naik seiring dengan kenaikan tinggi gelombang. Untuk gelombang 0.05 m besar tekanan berkisar antara $0.4 \sim 2.2$ mbar, tinggi gelombang 0.075 m tekanan berkisar antara $0.6 \sim 3.4$ mbar, tinggi gelombang 0.1 m tekanan berkisar antara $1 \sim 4.6$ mbar, tinggi gelombang 0.125 m tekanan berkisar antara $2 \sim 6$ mbar dan tekanan optimum dicapai pada tinggi gelombang 0.15 m sebesar $2.6 \sim 7.2$ mbar. Jika diprosentase kenaikan tekanan akibat penambahan tinggi gelombang rata-rata sebesar 26.3 %. Kecenderungan naiknya tekanan seiring dengan kenaikan tinggi gelombang ini bersesuaian dengan teori, dimana kecepatan air dalam kolom adalah fungsi tinggi gelombang. Semakin besar tinggi gelombang maka menyebabkan kecepatan air dalam kolom menjadi semakin besar, sehingga tekanan yang ditimbulkan juga semakin besar.
2. Besar tekanan cenderung turun seiring dengan penambahan sarat model. Tekanan terbesar diperoleh pada sarat 0.5 m sebesar $0.8 \sim 7.2$ mbar, dibawahnya diikuti oleh sarat 0.6 m sebesar $0.6 \sim 6.4$ mbar dan pada sarat 0.7 m, sebesar $0.4 \sim 6.4$. Hal ini dapat terjadi dikarenakan dengan bertambahnya sarat air, maka pengaruh partikel air dari energi gelombang yang masuk kedalam kolom semakin kecil, sehingga



gerakkan osilasi air dalam kolom juga kecil, dan tekanan pada orifice menjadi turun.

3. Pengaruh variasi bukaan terhadap tekanan yang keluar dari orifice menunjukkan harga yang cenderung naik dengan bertambahnya tinggi bukaan. Pada bukaan 10 cm tekanan berkisar antara 0.4 ~ 6.2 mbar, pada bukaan 20 cm 0.6 ~ 6.4 dan pada bukaan 30 cm tekanan berkisar antara 0.8 ~ 7.2 mbar. Hal ini dikarenakan dengan partikel air dari energi gelombang yang masuk kedalam kolom semakin banyak, seiring dengan penambahan tinggi bukaan.

5.2 SARAN

1. Perlu adanya penelitian lanjutan yang lebih lengkap dari model OWC, sampai dihasilkan tidak hanya tekanan tetapi sampai pada besaran daya listrik.
2. Agar dalam proses persiapan percobaan lebih diperhatikan lagi terutama masalah pengikatan model dan setting peralatan, sehingga didapatkan hasil yang lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

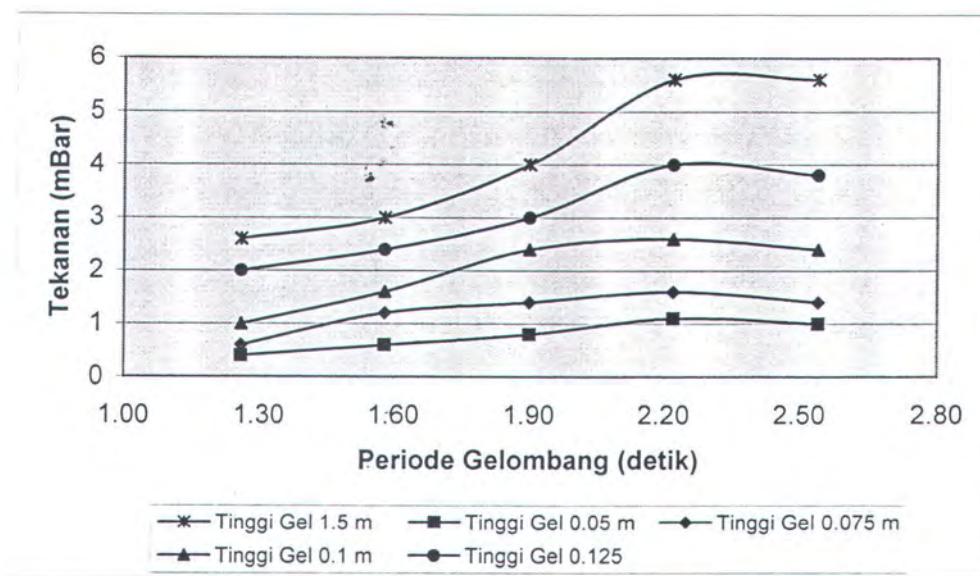
- Boyle, Godfrey. 1995 **Renewable Energy Power For a Sustainable Future** Oxford University Press.
- Hughes, steven A. 1993. **Physical Models And Laboratory Techniques In Coastal Engineering.** *Advanced Series on Ocean Engineering-Vol. 2,* World Scientific. Singapore
- Jurgen Kork, Hans. 1989 **Ocean Energy Recovery (ICOER 89)**, Proceedings of the International conference on Ocean Energy Recovery, American Society of Civil Engineers, New York.
- Mahmudsyah, Syarifuddin. 2002. **Kenaikan Harga BBM dan Problematikanya, serta Diversifikasi Energi Menghadapi Era Pengurangan Subsidi BBM.** Surabaya: ITS.
- McCormick, ME. 1981. **Ocean Wave Energy Conversion**, John Wiley Son, Inc. New York.
- Mutlu Sumer, B 1999 **Hydrodynamics Around Cylindrical Structures**, Department of Hydrodynamics and Water Resources (ISVA), Technical University of Denmark. World Scientific
- Salter, S. **Wave Power, Nature**, Vol .249, No. 5459, 1974
- Suroso, Arief. 1995, **Sistem pengubah Energi Gelombang Laut Jenis Cavity Resonator Untuk Perairan Laut Indonesia**, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian ITS, Surabaya.
- Suroso, A dan Hasan Ikhwani, 2001 **Studi Eksperimen Konversi Energi Gelombang Laut Di Tangki Gelombang (Flume Tank)**, Laporan Penelitian, Domestic Collaborative reseach Grant, Proyek penelitian Untuk Pengembangan Pasca Sarjana/urge Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.

Streeter, Victor L. 1990 **Mekanika Fluida** Edisi delapan, Jilid 1, Erlangga Jakarta.

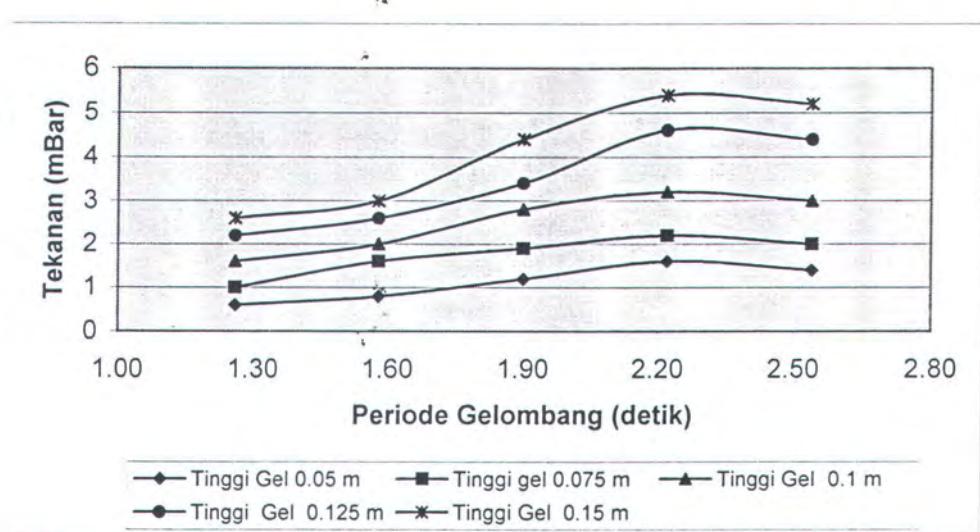
World Oil Vol 219 No 1, January. 1998. "Industry at A Glance." International Energy Agency.

----, 1999, **Manual Book Of Wave Flume, Model TW 2-2, Multi Type,** West Japan Fluid Engineering Laboratory CO.LTD Nagasaki Japan

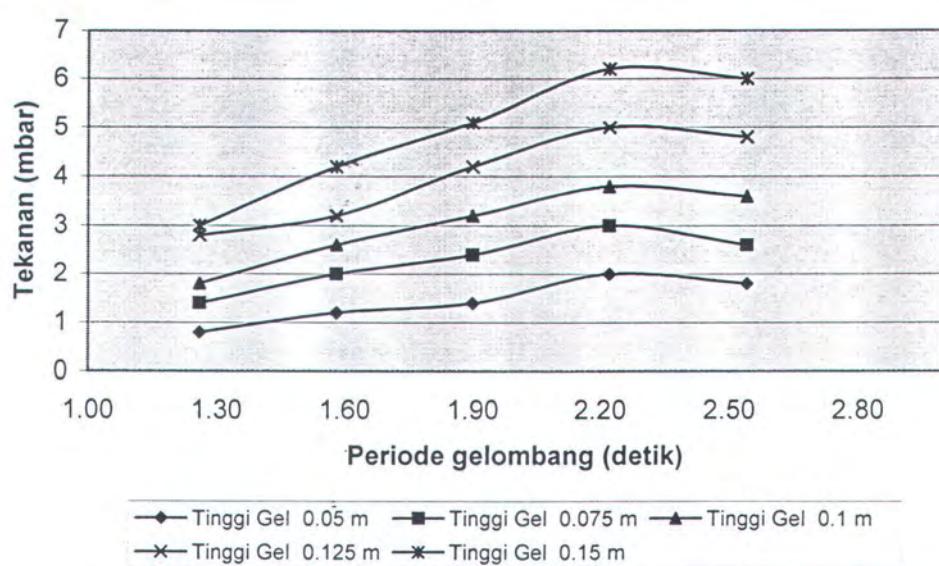
LAMPIRAN

**LAMPIRAN I****GRAFIK HASIL PENGUKURAN TEKANAN****I. Pengaruh Periode Gelombang Terhadap Tekanan****BUKAAN 10 cm**

Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 10 cm, sarat 70 cm

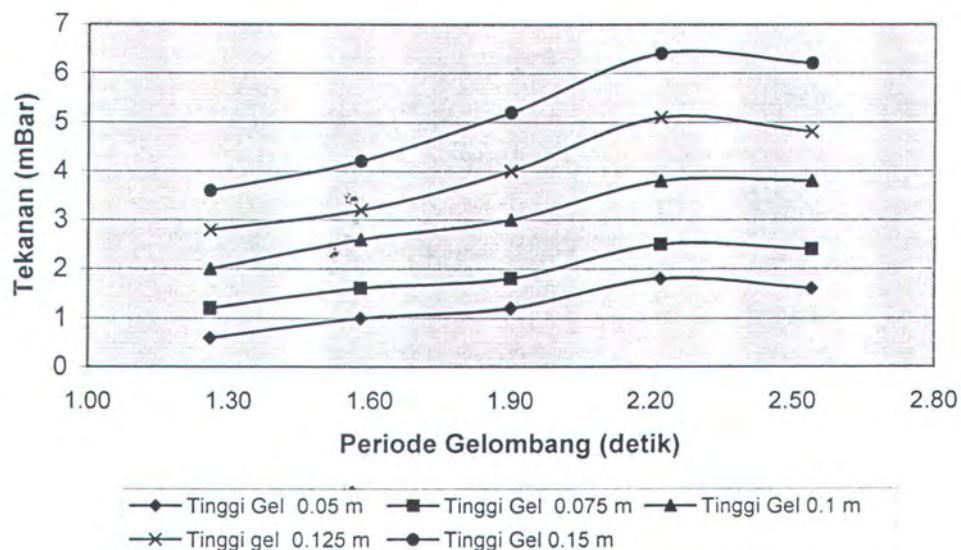


Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 10 cm, sarat 60 cm

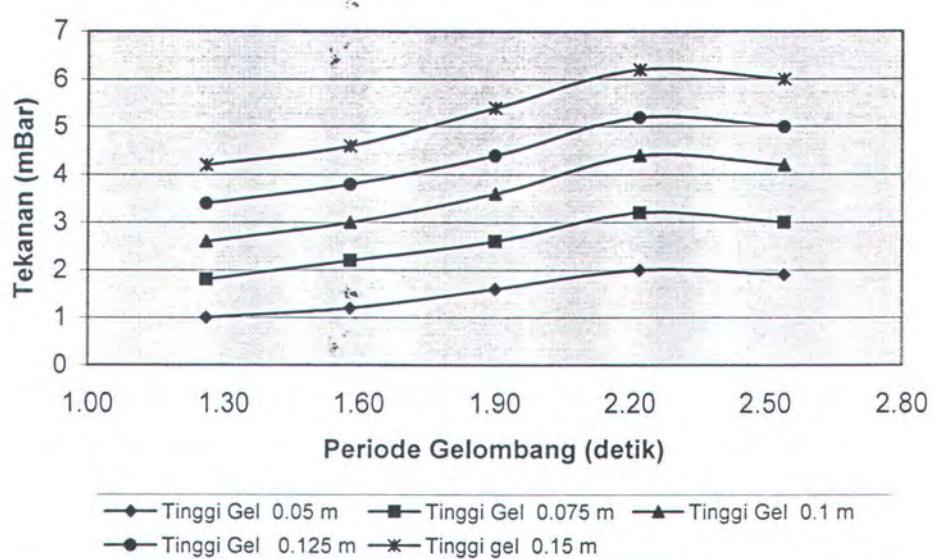


Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 10 cm, sarat 50 cm

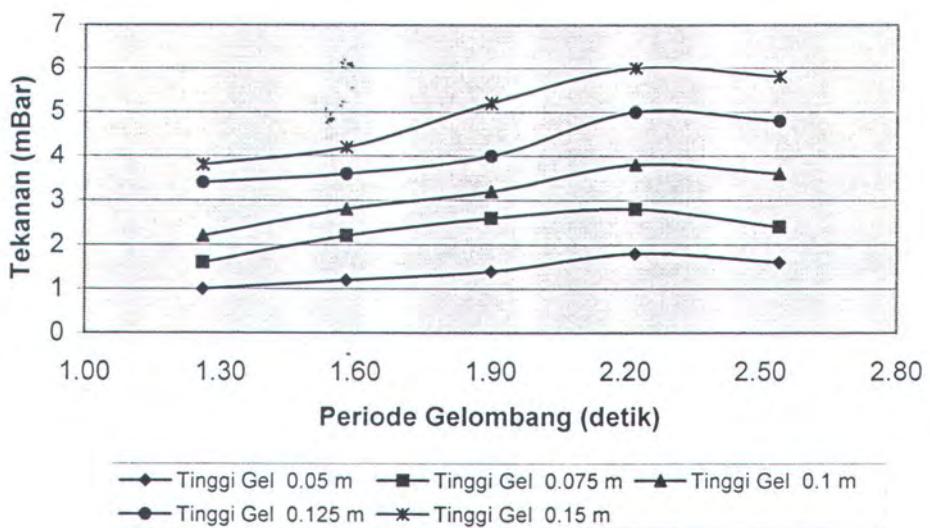
BUKAAN 20 cm



Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 20 cm, sarat 70 cm



Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 20 cm, sarat 60 cm

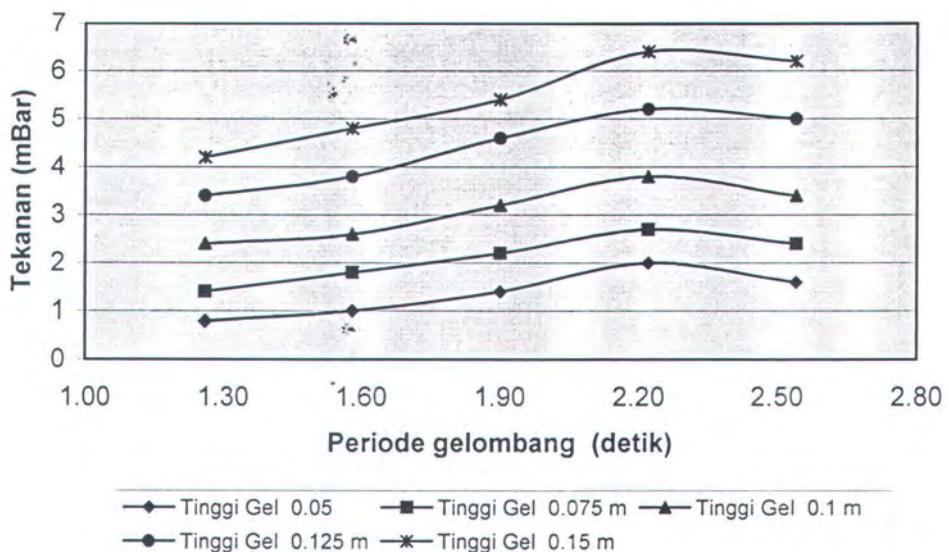


Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 20 cm, sarat 50 cm

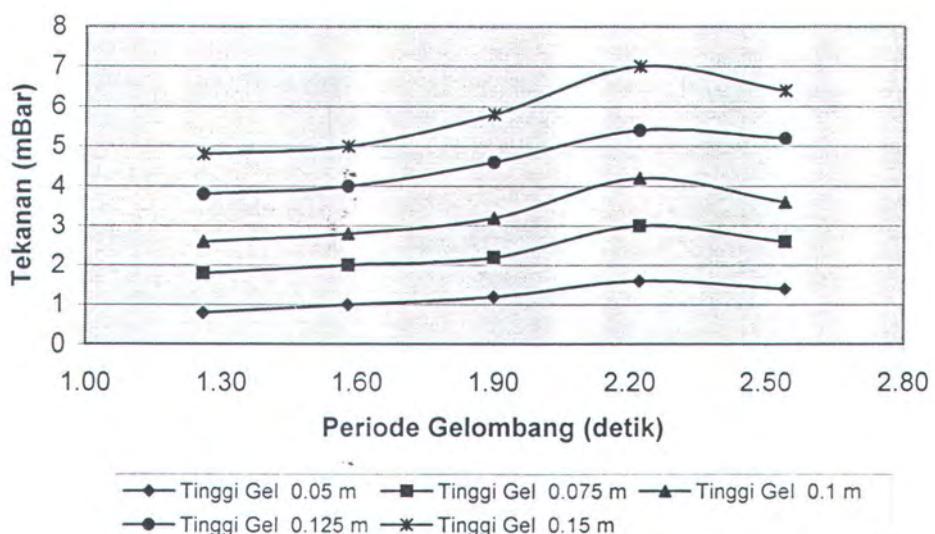




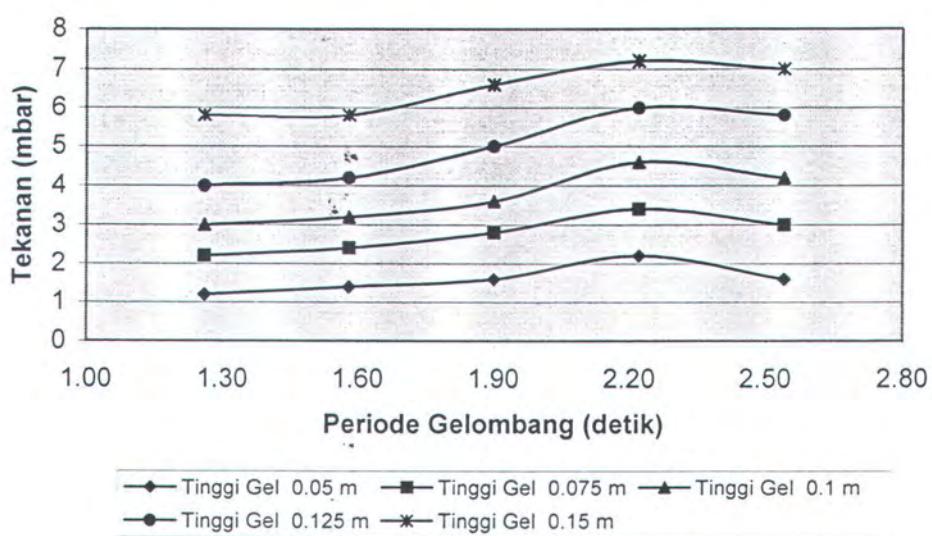
BUKAAN 30 cm



Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 30 cm, sarat 70 cm



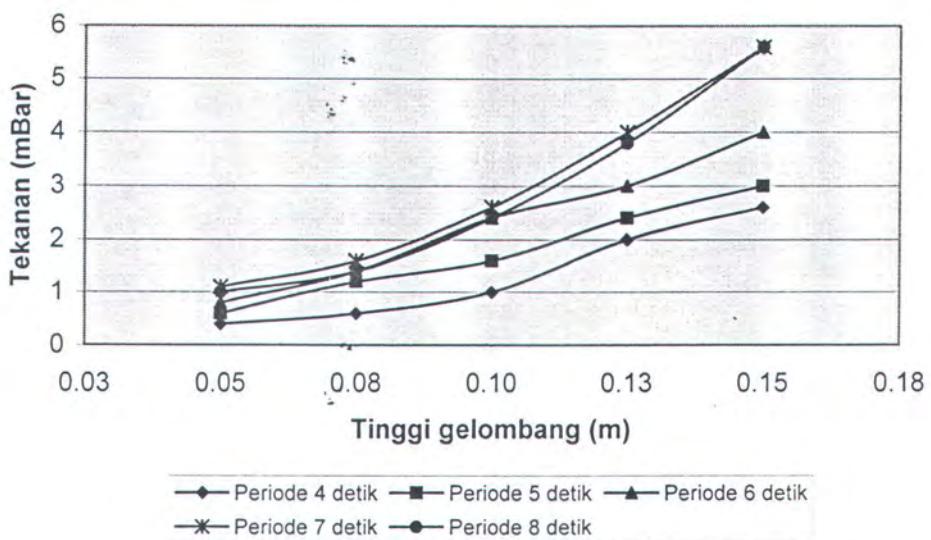
Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 30 cm, sarat 60 cm



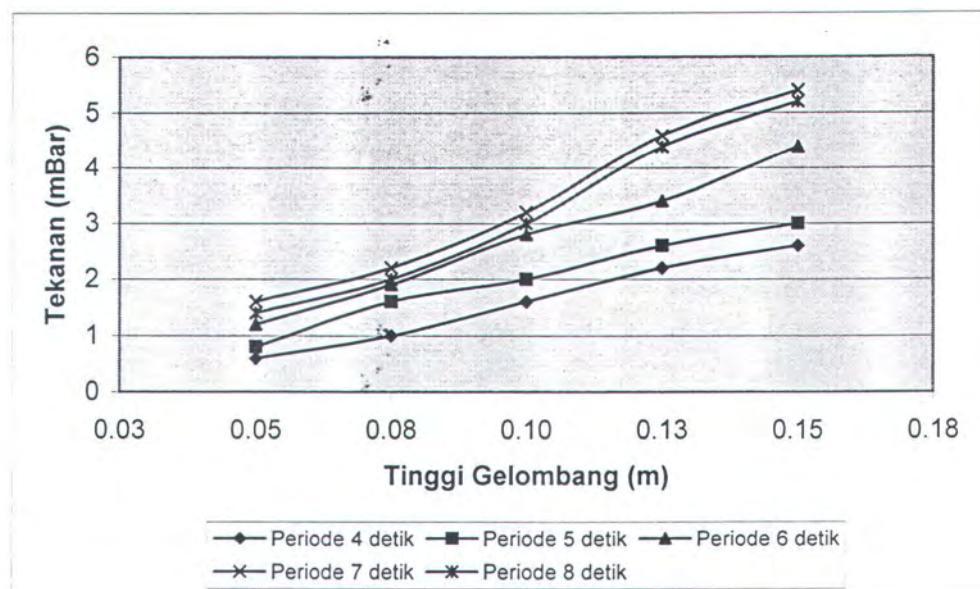
Grafik Tekanan VS Periode Gelombang Bukaan 30 cm, sarat 50 cm

II. Pengaruh Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan

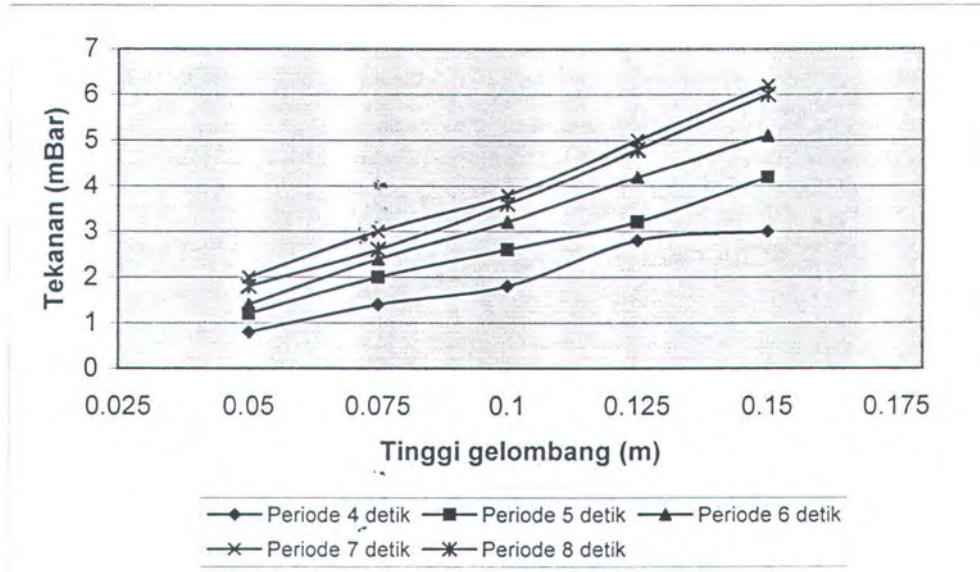
BUKAAN 10 CM



Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 10 cm, sarat 70 cm



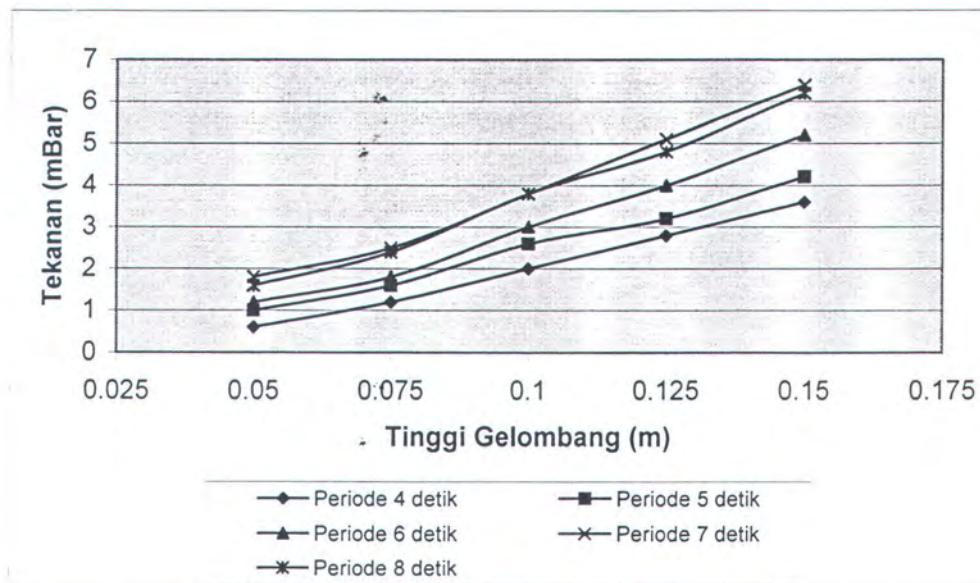
Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 10 cm, sarat 60 cm



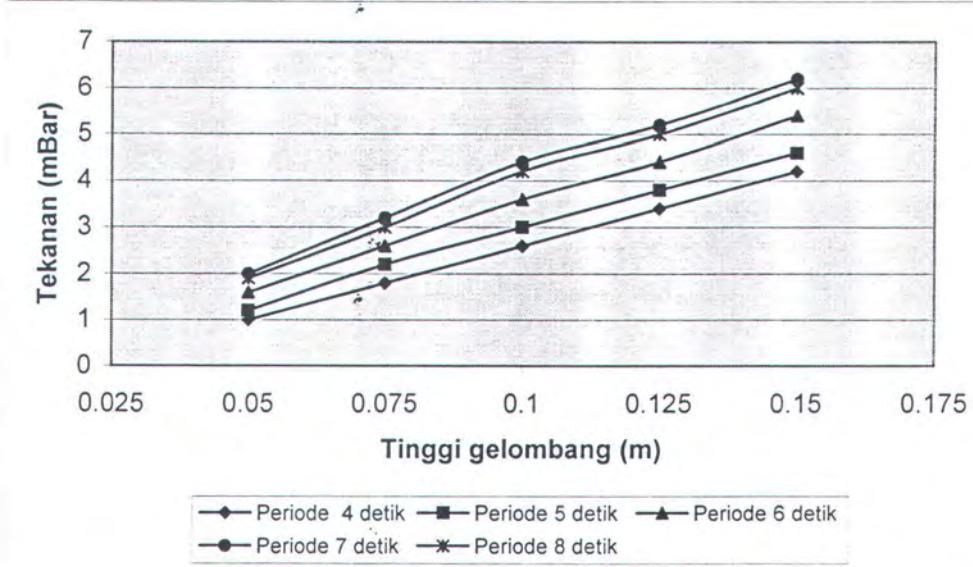
Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 10 cm, sarat 50 cm



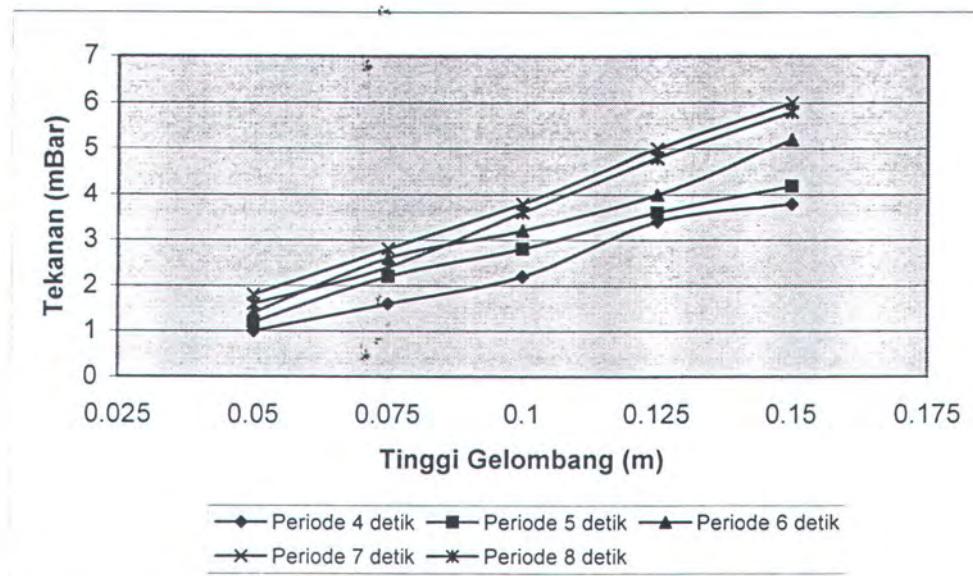
BUKAAN 20 CM



Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 20 cm, sarat 70 cm

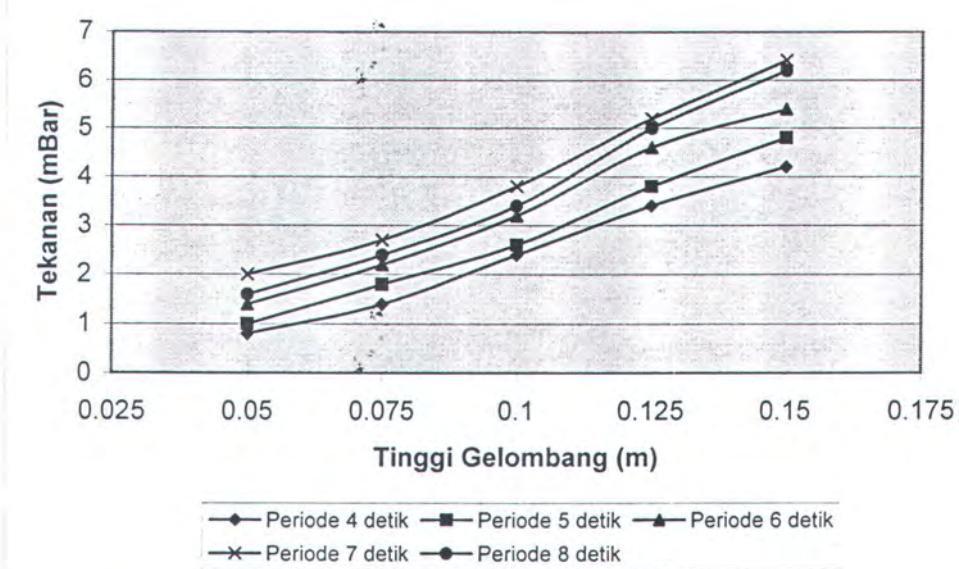


Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 20 cm, Sarat 60 cm

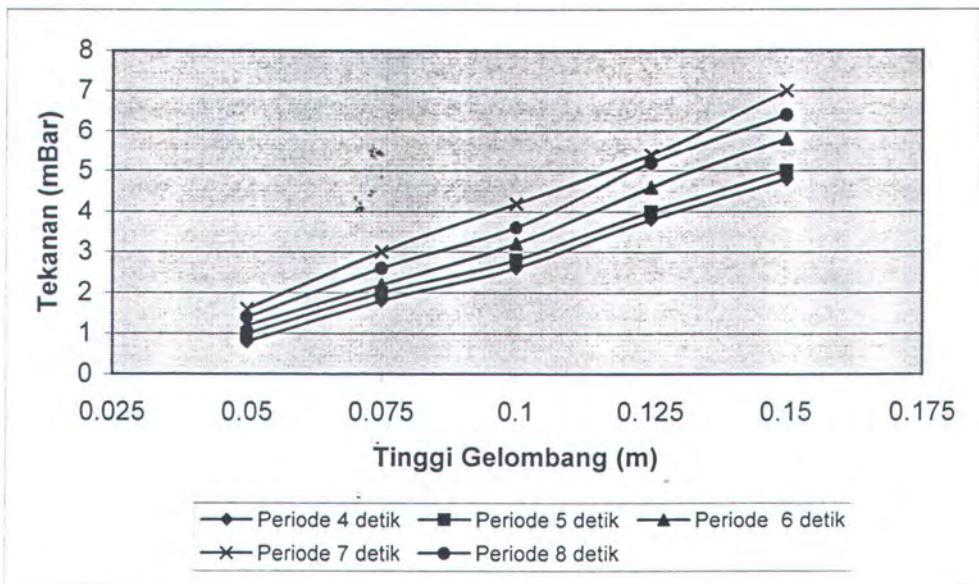


Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 20 cm, sarat 50 cm

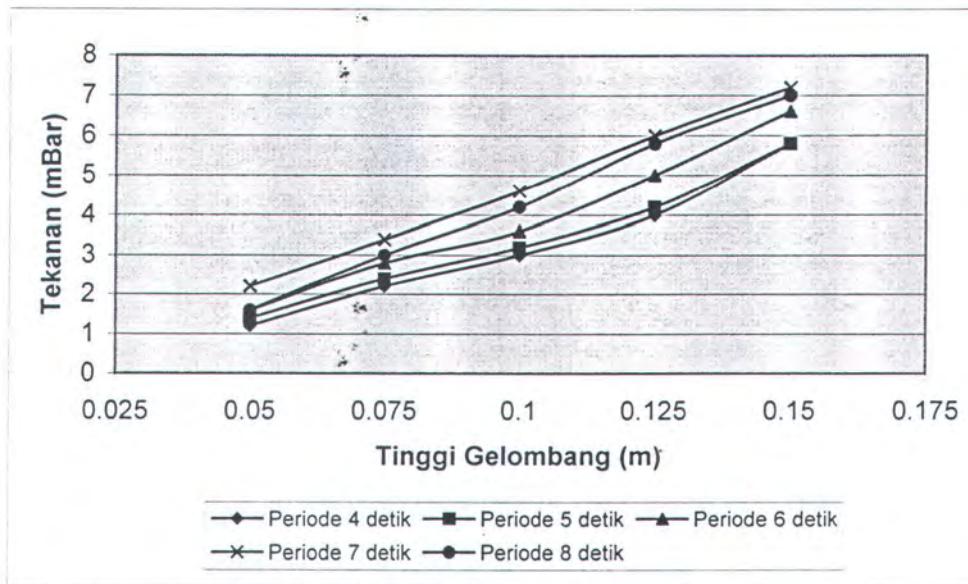
BUKAAN 30 CM



Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 30 cm, sarat 70 cm



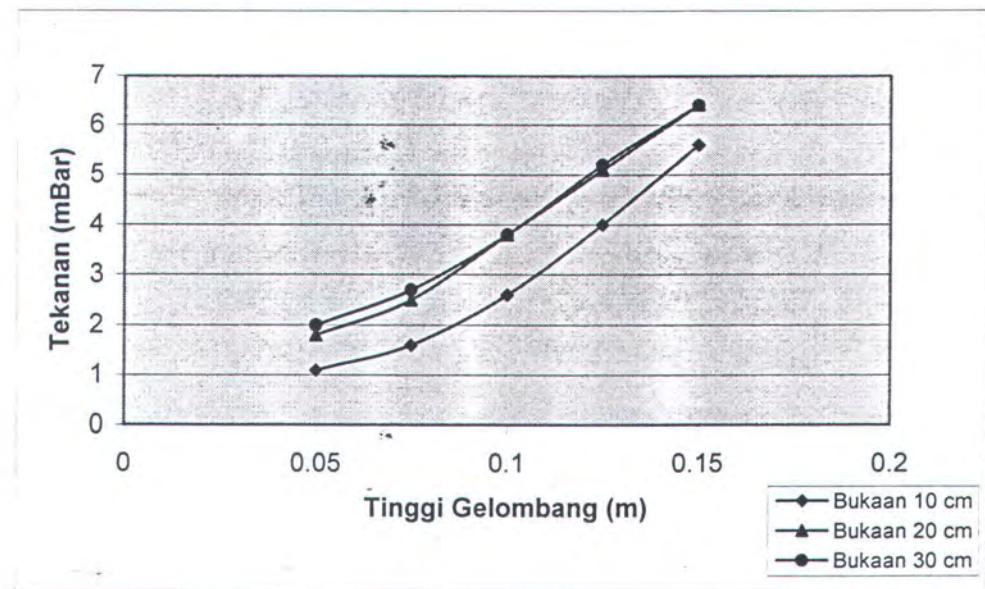
Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 30 cm, sarat 60 cm



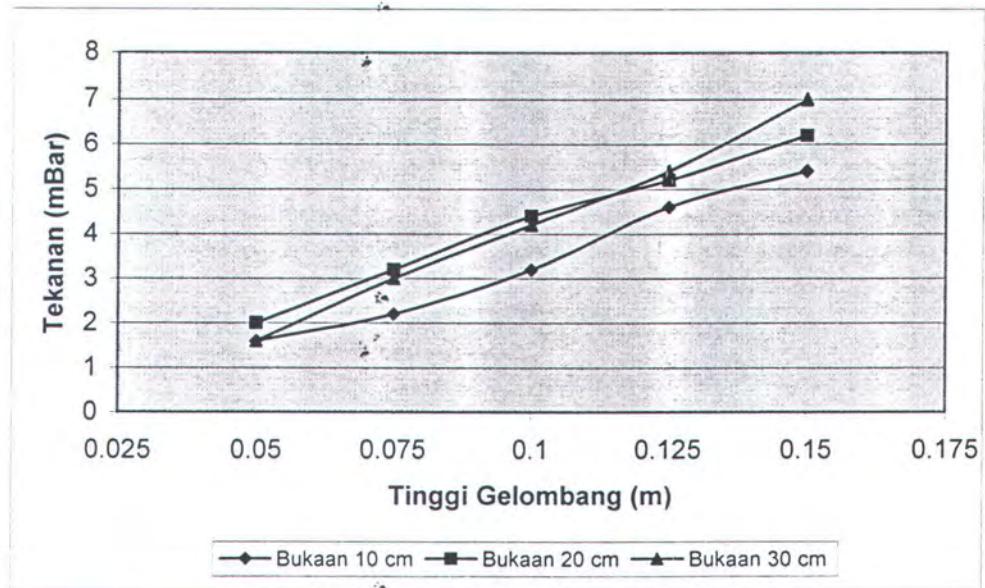
Grafik Tekanan VS Tinggi Gelombang Bukaan 30 cm, sarat 50 cm

III. Pengaruh Variasi Bukaan Terhadap Besar Tekanan

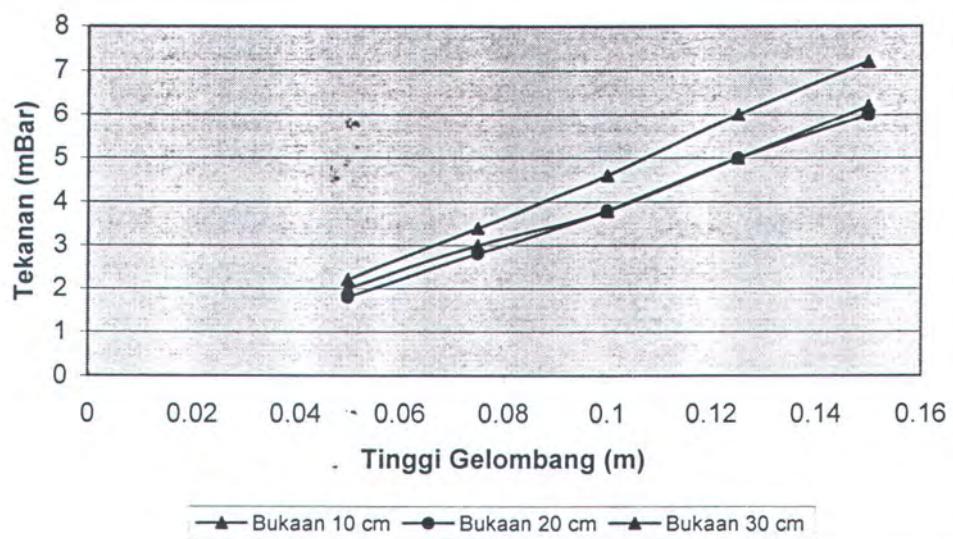
SARAT 70 CM



Grafik Tekanan VS Tinggi Bukaan, sarat 70 cm, Periode 7 detik



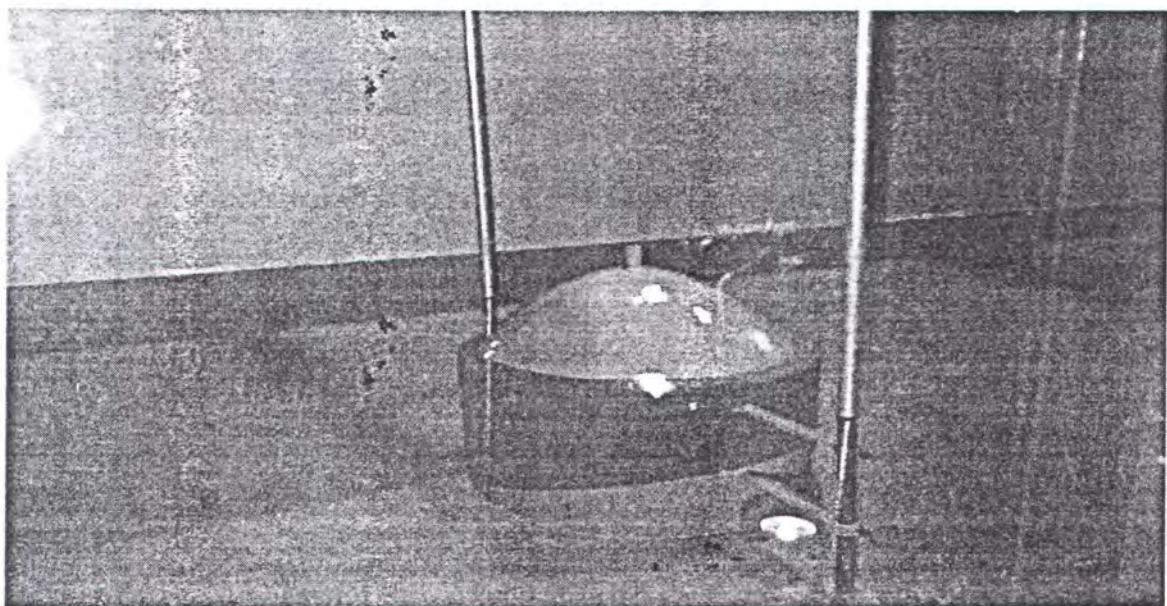
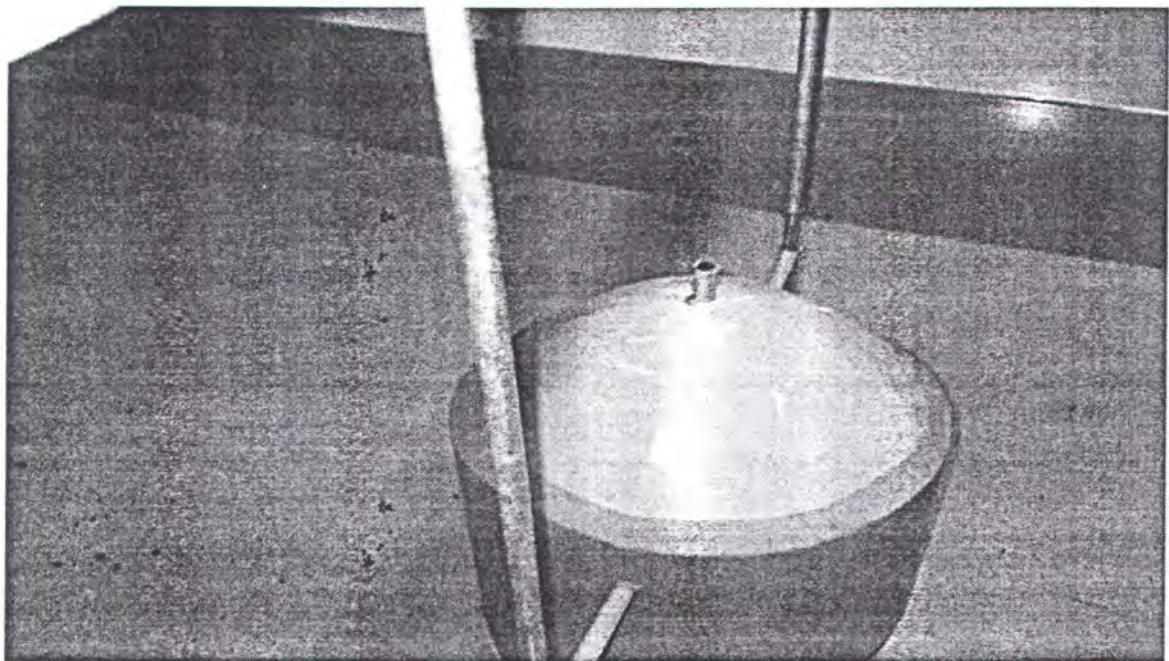
Grafik Tekanan VS Tinggi Bukaan, sarat 60 cm, Periode 7 detik

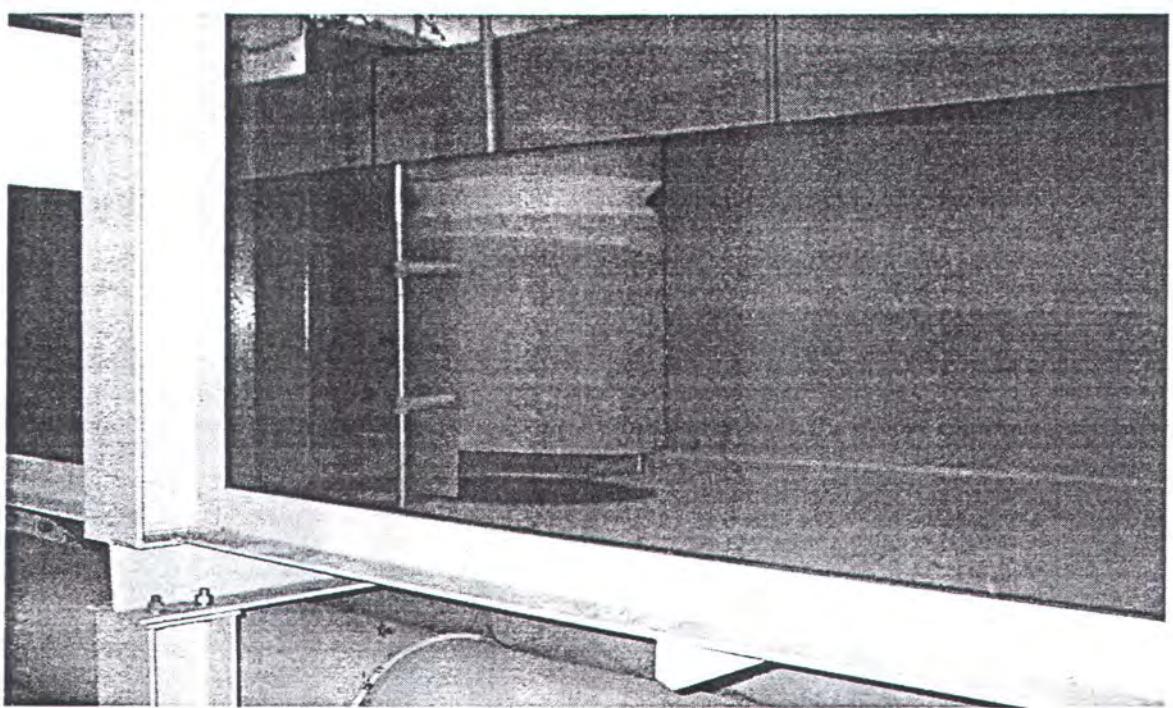


Grafik Tekanan VS Tinggi Bukaan, sarat 50 cm, Periode 7 detik



LAMPIRAN II
DOKUMENTASI PROSES PERCOBAAN



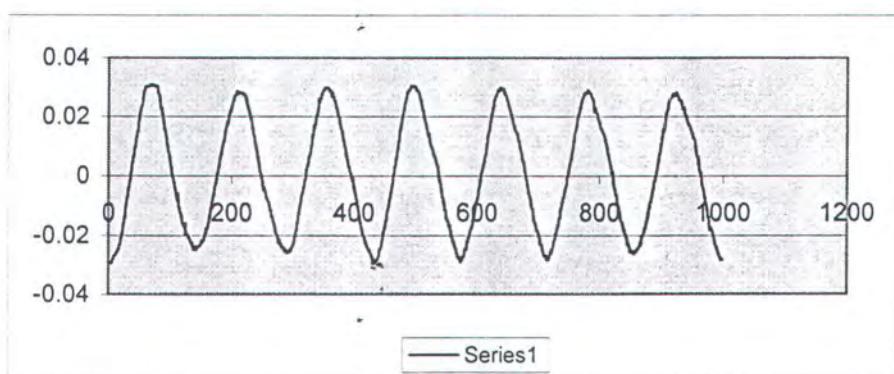


Gambar Model OWC di dalam Flume Tank

**LAMPIRAN III****RECORD DATA GELOMBANG**

1. Hasil pengukuran untuk gelombang input sebesar 0.5 m periode 4 detik

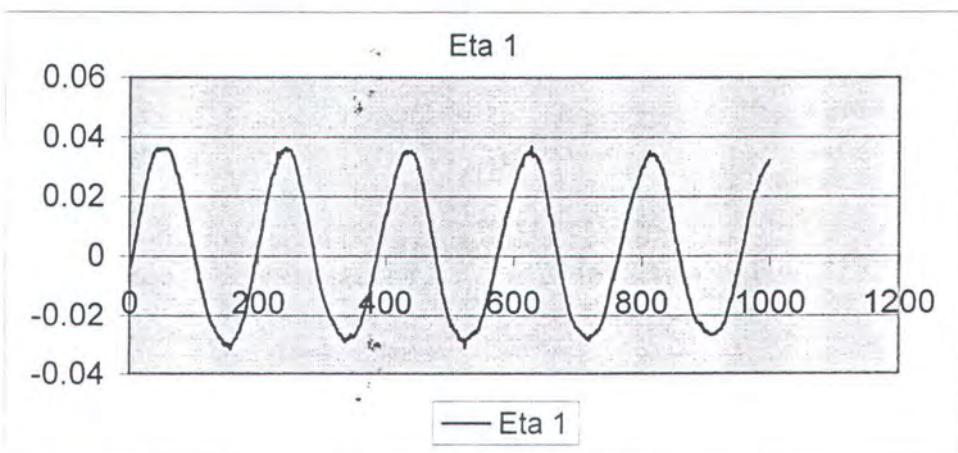
Eta 1	Eta 2
-0.02795	-0.02231
-0.02834	-0.02153
-0.0276	-0.0204
-0.0256	-0.0196
-0.0276	-0.0184
-0.0268	-0.0176
-0.0260	-0.0160
-0.0252	-0.0149
-0.0248	-0.0137
-0.0248	-0.0125
-0.0240	-0.0109
-0.0240	-0.0098
-0.0225	-0.0082
-0.0217	-0.0078
-0.0213	-0.0059
-0.0186	-0.0043
-0.0198	-0.0031
-0.0190	-0.0019
-0.0182	-0.0004
-0.0178	0.0012
-0.0159	0.0024
-0.0155	0.0039
-0.0143	0.0059
-0.0151	0.0075
-0.0119	0.0087





2. Hasil pengukuran untuk gelombang input sebesar 0.5 m periode 5 detik

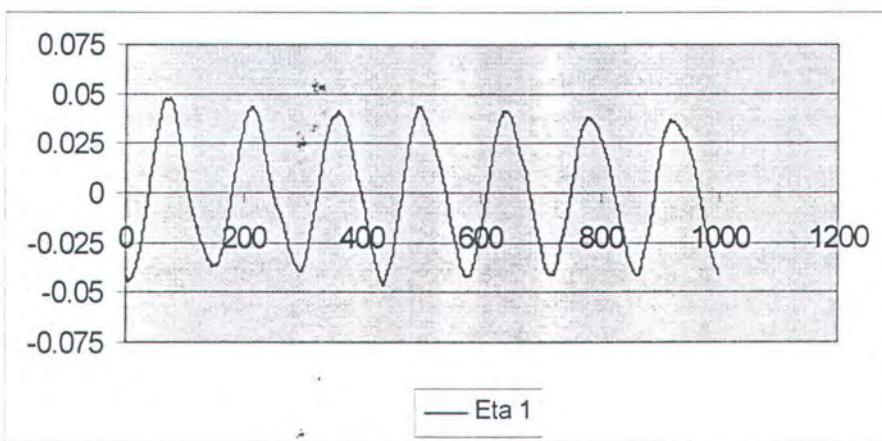
Eta 1	Eta 2
-0.00375	0.009436
-0.00297	0.010612
-0.0022	0.0106
-0.0014	0.0118
0.0002	0.0122
0.0009	0.0134
0.0025	0.0134
0.0037	0.0141
0.0052	0.0153
0.0060	0.0153
0.0072	0.0165
0.0091	0.0165
0.0095	0.0173
0.0119	0.0177
0.0130	0.0185
0.0138	0.0188
0.0146	0.0192
0.0162	0.0196
0.0169	0.0196
0.0185	0.0204
0.0197	0.0208
0.0212	0.0216
0.0224	0.0212
0.0232	0.0224
0.0244	0.0228
0.0251	0.0232
0.0259	0.0235
0.0271	0.0235
0.0290	0.0235





3. Hasil pengukuran untuk gelombang input sebesar 0.5 m periode 6 detik

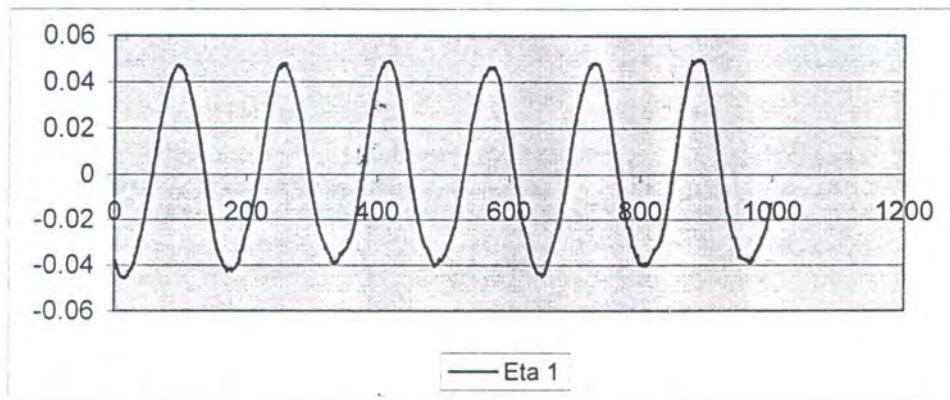
Eta 1	Eta 2
-0.042	-0.04113
-0.04278	-0.03878
-0.0432	-0.0368
-0.0436	-0.0345
-0.0443	-0.0333
-0.0432	-0.0302
-0.0440	-0.0294
-0.0436	-0.0262
-0.0432	-0.0239
-0.0424	-0.0219
-0.0428	-0.0196
-0.0420	-0.0172
-0.0420	-0.0145
-0.0412	-0.0121
-0.0397	-0.0098
-0.0397	-0.0074
-0.0393	-0.0051
-0.0377	-0.0027
-0.0369	0.0000
-0.0358	0.0020
-0.0338	0.0051
-0.0326	0.0075
-0.0311	0.0102
-0.0295	0.0126





4. Hasil pengukuran untuk gelombang input sebesar 0.5 m periode 7 detik

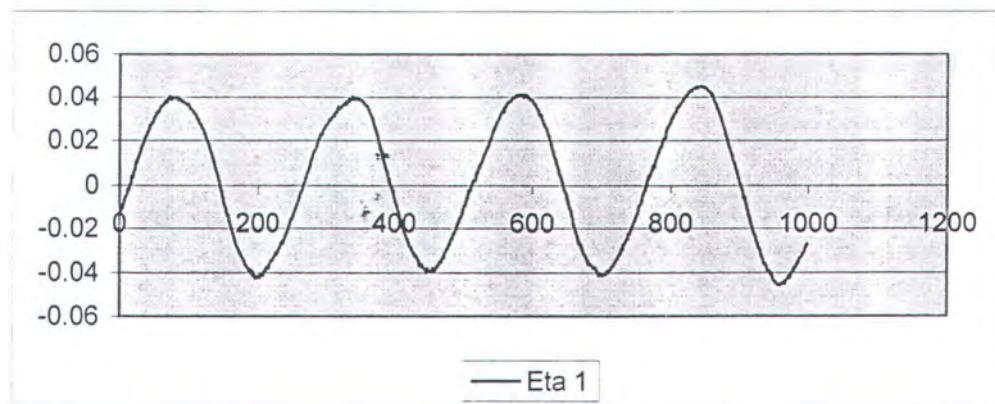
Eta 1	Eta 2
-0.03771	-0.04466
-0.03888	-0.04426
-0.0397	-0.0435
-0.0408	-0.0427
-0.0416	-0.0419
-0.0420	-0.0407
-0.0436	-0.0403
-0.0440	-0.0392
-0.0440	-0.0380
-0.0451	-0.0372
-0.0451	-0.0356
-0.0451	-0.0349
-0.0455	-0.0341
-0.0455	-0.0329
-0.0451	-0.0321
-0.0455	-0.0305
-0.0459	-0.0294
-0.0451	-0.0278
-0.0451	-0.0266
-0.0443	-0.0254
-0.0447	-0.0243
-0.0428	-0.0227
-0.0432	-0.0219
-0.0424	-0.0204





5. Hasil pengukuran untuk gelombang input sebesar 0.5 m periode 8 detik

Eta 1	Eta 2
-0.01234	0.001205
-0.01195	0.00238
-0.0104	0.0032
-0.0108	0.0043
-0.0084	0.0055
-0.0088	0.0067
-0.0073	0.0079
-0.0061	0.0090
-0.0053	0.0106
-0.0049	0.0118
-0.0038	0.0126
-0.0018	0.0141
-0.0026	0.0153
-0.0014	0.0165
0.0002	0.0173
0.0005	0.0185
0.0013	0.0192
0.0041	0.0204
0.0037	0.0208
0.0048	0.0220
0.0064	0.0224
0.0068	0.0235
0.0076	0.0243
0.0107	0.0247





**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. 5928105, 5994251-5 Psw. 1104-7 Telex 34224 Fax 5947254

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama : Imawan Zuhron Abrori

Nrp : 4398100033

Dosen Pembimbing : Ir. Arief Suroso MSc.

Judul Tugas Akhir :

Studi Eksperimen Pengaruh Bukaan Pada Kolom Terhadap Tekanan Yang Keluar Dari Orifice Pada Sistem Konversi energi Gelombang Laut Jenis Oscillating Water Column (OWC)

No	Tanggal	Asistensi Mengenai	Tanda Tangan
	22 Agustus 2002	Perbaikan peralatan flume tank	X JICK
	11- Sep 2002	Pemasangan Model	X JICK
	3 Oktober	Campuran Model (Cat air).	X JICK
	29 Oktober	Design Model th& flume tank	X JICK
	7 Nov 2002	Infusasi Model	X JICK
	20 Nov 2002	Proses percobaan	X JICK
	7/12 2002	Analisis BAB. I, II, III	X JICK
	22/12 2002	Konsultasi BAB IV	X JICK
	20/1 2003	Konsultasi BAB VI, BAB VII	X JICK

RIWAYAT HIDUP



Imawan Zuhron Abrori terlahir di kota “Gandrung” Banyuwangi pada tanggal 09 Nopember 1978, putera kedua dari dua bersaudara, pasangan keluarga Muflih Sumulyo dan Ibu Sri Fatmiyati. Pendidikan sekolah dasar diperoleh di MI. Muhammadiyah Gembolo dan tamat pada tahun 1992, pendidikan selanjutnya diperoleh di SMP Negeri I Cluring tamat pada tahun 1994. Selanjutnya meneruskan

ke SMU Negeri I Genteng dan tamat pada tahun 1997. Pada tahun yang sama meneruskan studi di Universitas Airlangga Fakultas MIPA, tetapi tidak sampai menamatkan studinya. Studi selanjutnya dan berhasil memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, tahun 2003. Dalam kegiatan organisasi banyak dilakukan pada bidang keagamaan, tergabung dalam Yayasan Majlis Tafsir Alquran cabang Sukolilo. Prestasi yang pernah diraih adalah juara I Lomba Karya Tulis Ilmiah di Jurusan T. Kelautan, ITS. Penelitian yang pernah dilakukan, ikut tergabung dalam Tim Perencanaan Detail Dermaga Nelayan Campurejo-Panceng Kab. Gresik, dan juga sebagai Tim Perencana Pembangunan Detail Desaign Pangkalan Pendaratan Ikan Kota Pasuruan.



