SKRIPSI

PENGARUH BERAT PELAMPUNG TERHADAP TINGGI TEKANAN PADA POMPA GELOMBANG TIPE PELAMPUNG

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Oleh :

MIFTAHUL REZKY
105 811 1033 16

SAIFAN DZIL FAUZI
105 811 1034 16

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2021

PENGARUH BERAT PELAMPUNG TERHADAP TINGGI TEKANAN PADA POMPA GELOMBANG TIPE PELAMPUNG

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Disusun dan Diajukan oleh :

MIFTAHUL REZKY
105811105816

SAIFAN DZIL FAUZI
105811105816

31/03/2021

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2021

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : http://teknik.unismuh.makassar.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir ini di ajukan untuk memenuhi syarat ujian skripsi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **PENGARUH BERAT PELAMPUNG TERHADAP TINGGI TEKANAN PADA POMPA GELOMBANG TIPE PELAMPUNG.**

Nama : Miftahul Rezky

Saifan Dzil Fauzi

No. Stambuk : 105 81 11033 16

105 81 11034 16

Makassar, *15 Rajab 1442 H*
27 Februari 2021 M

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT., IPM	**Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM**

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Pengairan

Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM
NBM. 1183 084

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK
GEDUNG MENARA IQRA LT. 3
Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221
Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com
Website : http://teknik.unismuh.makassar.ac.id

بسم الله الرحمن الرحيم

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Miftahul Rezky** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 11033 16 dan **Saifan Dzil Fauzi** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 11034 16, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/22201/091004/2021, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 20 Februari 2021.

Makassar, 15 Rajab 1442 H
27 Februari 2021 M

Panitia Ujian:

1. Pengawas Umum
   a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
      Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag : .....
   b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
      Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT. : .....
2. Penguji:
   a. Ketua : Dr. Ir. H. Riswal K, MT .....
   b. Sekertaris : M. Agusalim, ST., MT : .....
3. Anggota: 1. Dr. Ir. Hj. Fenty Daud S, MT : .....
   2. Dr. Ir. Muh. Yunus Ali, ST., MT., IPM : .....
   3. Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM : .....

Mengetahui:

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Ir. Nenny T Karim ST., MT., IPM	**Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM**

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM
NBM : 855 500

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

ABSTRAK

Pompa merupakan peralatan mekanis yang mengubah kerja mekanis poros menjadi energi mekanis fluida dan energi yang diterima oleh fluida ini digunakan untuk menaikkan tekanan dari fluida tersebut serta digunakan untuk melawan tahanan yang terdapat pada saluran sehingga dapat dikatakan fungsi dari pompa ialah untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara manaikkan tekanan fluida tersebut. Penangkap energi gelombang salah satunya ialah dengan menggunakan pelampung yang bergerak secara vertikal. Pelampung didesain sedemikian rupa sehingga dapat bergerak secara kontinyu mengikuti gerakan gelombang naik turun yang datang. Maka dengan cara ini energi gelombang ditangkap melalui tabung pompa yang mempunyai lobang inlet pada bagian atas dan bawah dari tabung pompa tersebut, untuk menggerakkan piston.

Kata Kunci: pompa, gelombang, pelampung

ABSTRACT

The pump is a mechanical device that converts the mechanical work of the shaft into fluid mechanical energy and the energy received by this fluid is used to increase the pressure of the fluid and is used to fight the resistance contained in the channel so that it can be said that the function of the pump is to move the fluid from one place to another. other place by means of increasing the pressure of the fluid. One of the catchers of wave energy is to use a float that moves vertically. The buoy is designed in such a way that it can move continuously following the movement of the incoming up and down waves. So in this way the wave energy is captured through the pump tube which has inlet holes at the top and bottom of the pump tube, to move the piston.

Keywords: pump, wave, buoy

KATA PENGANTAR

بسم الله الرحمن الرحيم

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga dapat menyusun hasil dari tugas akhir ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Proposal tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan program studi pada Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah "**PENGARUH BERAT PELAMPUNG TERHADAP TINGGI TEKANAN PADA POMPA GELOMBANG TIPE PELAMPUNG**".

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penulisan proposal tugas akhir ini masih terdapat kekurangan – kekurangan, hal ini disebabkan karena penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kukurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan – perhitrungan. Olch karena itu, penulis menerima dengan sangat ikhlas dengan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Proposal tugas akhir ini dapat terwujut berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hari, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang setinggi – tingginya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya atas segala limpahan kasih sayang, do'a serta

2. pengorbanannya terutama dalam bentuk materi untuk menyelesaikan kuliah kami.
3. Bapak Ir. Hamzah Ali Imran, S.T., M.T. IPM. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Ir. Andi Makbul Syamsul, S.T., M.T., IPM. sebagai Ketua Prodi Jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ibu Dr. Ir. Nenny T Karim, ST.,MT.,IPM. selaku Pembimbing I dalam penyusunan laporan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Hamzah Ali Imran, S.T., M.T. IPM. selaku Pembimbing II, dalam penyusunan laporan skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu dosen serta para staf pegawai di Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar diUniversitas Muhammadiyah Makassar.
8. Saudara – saudaraku serta rekan – rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus angkatan PROYEKSI 2016 yang dengan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan hasil dari tugas akhir yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan – rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

"Billahi Fii Sabill Haq Fastabiqul Khaerat".

Makassar, 12 Desember 2020

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL ..... **i**

HALAMAN JUDUL ..... **ii**

HALAMAN PERSETUJUAN ..... **iii**

PENGESAHAN ..... **iv**

ABSTRAK ..... **v**

KATA PENGANTAR ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **viii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xii**

DAFTAR NOTASI ..... **xiii**

BAB 1 PENDAHULUAN

A. Latar Belakang 1

B. Rumusan Masalah 2

C. Tujuan Penelitian 2

D. Manfaat Penelitian 3

E. Batasan Masalah 3

F. Sistematika Penulisan 4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik Gelombang 5

B. Energi Gelombang Laut 7

C. Klarifikasi Teori Gelombang 15

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

D. Hukum Dasar Model 17

E. Pipa Dengan Pompa 19

F. Hipotesis 22

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu Dan Tempat Penelitian 29

B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data 29

C. Bahan Dan Alat 30

D. Variabel Penelitian 33

E. Pelaksanaan Studi Model 35

F. Pelaksanaan Simulasi 38

G. Diagram Proses Penelitian 39

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis 41

1. Panjang Gelombang (L) 41

2. Data Tinggi Gelombang (H) 42

3. Daya Gelombang 43

4. Daya Air Hasil Pemompaan 44

5. Efisiensi Pompa Gelombang 45

6. Daya Pompa 46

7. Kecepatan Aliran (V) 46

8. Tinggi Tekanan Pompa 47

B. Pembahasan 50

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

1. Pengaruh Berat Pelampung (Wb) Terhadap Tinggi Tekanan (P) Yang Dihasilkan Untuk Kedalaman (d) 29cm, (d) 27cm Dan (d) 25cm..... 50
2. Pengaruh Periode (T) Terhadap Debit (Q) Yang Di Hasilkan Untuk Kedalaman (d) 29cm, (d) 27cm Dan (d) 25cm..... 51

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 53
B. Saran 53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

1. Karakteristik Gelombang 6
2. Sketsa Mekanisme Kerja Pompa Gelombang Tipe Flap 12
3. Pipa Dengan Pompa 20
4. Tangki Pembangkit Gelombang 31
5. Model Pompa Gelombang Dalam Saluran Kaca Tembus Pandang..... 31
6. Unit Pembangkit Gelombang Type Flap 32
7. Mistar Ukur Pada Flume 32
8. Wave Monitor dan Probe 33
9. Tampak Atas Penempatan Model Pompa Gelombang Dalam Sal..... 36
10. Tampak Samping Penempatan Model Pompa Gelombang Dalam Sal..... 36
11. Model pompa gelombang tipe pelampung..... 37
12. Sketsa Mekanisme Kerja Pompa Gelombang..... 38
13. Flow Chart Pelaksanaan Penelitian..... 40
14. Grafik Hubungan Antara Berat Pelampung (Wb) Terhadap Tinggi Tekanan (P)..... 50
15. Grafik Hubungan Antara Periode (T) Terhadap Debit (Q) Yang Dihasilkan.52

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

1. Batasan Gelombang Air Dangkal, Air Transisi Dan Air Dalam 15
2. Matriks Referensi Hasil Penelitian Yang Relevan 23
3. Nilai Luas Tabung Inlet (LTI) Pada Model Pompa Gelombang 34
4. Skala Model 35
5. Model Pompa Gelombang Tipe Pelampung (Ø 2.0 cm) 37
6. Data Pengamatan Tinggi Gelombang 43
7. Hasil Data Perhitungan Model Pompa Gelombang Diameter Tabung 2.0 cm, Kedalaman (d) 29 cm, Periode (T) 1.3 Detik, Untuk Berat Pelampung (Wb) 9.81N 49
8. Hasil Perhitungan Tinggi Tekanan (P) Untuk Berat Pelampung (Wb) 9.81 N Dan 9.82 N 50
9. Hasil Data Perhitungan Debit (Q) Untuk Periode (T) 1.3 Detik, 1.4 Detik Dan 1.5 Detik 51

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

DAFTAR NOTASI

T = periode gelombang [detik]

g = percepatan grafitasi [m/detik2] π

h = kedalaman air (*still water depth*) [m]

D_w = daya gelombang (N m/dtk)

γ = berat jenis air (1000 kg/m^3)

B = lebar papan osilasi (m)

H = tinggi gelombang (m)

V = kecepatan penjalaran gelombang = $\sqrt{gh}$

g = gaya grafitasi (m/detik^2)

h = Kedalaman Air Saluran (m)

D_r = Daya Air Hasil Pemompaan (N m/dtk)

Z = Tinggi pemompaan (m)

Q = Debit Hasil Pemompaan (m^3/detik)

V = Volume air dari hasil pemompaan selama satu periode gelombang (m^3)

Q = Debit rata-rata hasil pemompaan (m^3/s)

Z = Tinggi pemompaan (m)

V = Volume air hasil pemompaan oleh satu osilasi papan atau satu langkah gerakan pompa, yang dibangkitkan oleh satu periode gelombang (m3)

Wb = Berat Pelampung (N)

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Ho = Tinggi gelombang (m)

h = Kedalaman air salunan (m)

γ = Berat jenis air (1000 kg/m^3)

H_o = Tinggi Gelombang di depan papan osilasi (m)

H_1 = Tinggi Gelombang dibelakang papan osilasi (m)

H = ketinggian air (m)

n = skala panjang

n_h = skala tinggi

L_p = ukuran panjang prototipe

L_m = ukuran panjang model

h_p = ukuran tinggi pada prototipe

h_m = ukuran tinggi pada model

Fa = gaya apung (N)

P = massa jenis air (kg/m^3)

P = Tekanan (Pa)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

H = Head

Dp = Diameter pipa tabung input (cm)

Dpp = Diameter Pipa Output (cm)

η = Efficiency

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Wilayah daratan Indonesia mempunyai banyak pulau. Negara Indonesia dikelilingi oleh Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, serta posisinya yang ada di garis katulistiwa membuat kondisi pasang surut, angin, gelombang, dan arus laut menjadi cukup besar. Hasil pengukuran dari tinggi pasang surut yang berada di wilayah laut Indonesia menunjukkan bahwa beberapa wilayah lepas laut pesisir daerah Indonesia mempunyai pasang surut yang cukup tinggi.

Secara klimatologis wilayah Indonesia dipengaruhi oleh angin musim barat dan timur, dinamika ini akan berpengaruh secara langsung terhadap dinamika yang terjadi di perairan Indonesia. Kajian tentang karakteristik gelombang yang memuat informasi variasi tinggi gelombang di perairan Indonesia sangat diperlukan sebagai suatu acuan sebagai kebutuhan masyarakat yang mengalami kondisi krisis energi dan kebutuhan air irigasi mengharuskan pemerintah untuk mendorong pengembangan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, termasuk energi yang memanfaatkan arus laut, pasang surut, perbedaan suhu air laut, dan gelombang laut.

Gelombang permukaan laut merupakan salah satu fenomena yang sangat kompleks dan gampang berubah jika dibandingkan dengan arus dan pasang surut, jadi untuk memahami secara keseluruhan tentang perilaku dan karakteristik gelombang permukaan laut merupakan hal yang susah.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Adapun gelombang yang bergerak menjalar menuju pantai menimbulkan pergerakan partikel dan energi gelombang. Oscilatting water column (OWC) merupakan salah satu sistem dan juga peralatan yang dapat membuat energi gelombang laut berubah menjadi energi listrik dapat diakses oleh sektor industri dan rumah tangga dan perikanan secara luas, dengan menggunakan kolom osilasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dituangkan dalam bentuk penelitian yang berjudul :

"PENGARUH BERAT PELAMPUNG TERHADAP TINGGI TEKANAN PADA POMPA GELOMBANG TIPE PELAMPUNG"

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini, antara lain :

1. Berapa besar pengaruh berat pelampung terhadap tinggi tekanan (head) pada pompa gelombang tipe pelampung ?
2. Parameter apa saja yang mempengaruhi pompa gelombang tipe pelampung ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini, antara lain :

1. Untuk mengetahui pengaruh berat pelampung terhadap tinggi tekanan (head) pada pompa gelombang tipe pelampung.
2. Untuk mengetahui parameter yang mempengaruhi kinerja pompa gelombang tipe pelampung.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, antara lain :

1. Mendapatkan model dan dimensinya dengan pemanfaatan energi gelombang sebagai salah satu energi alternatif terbaharukan dalam skala laboratorium.
2. Sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut dalam skala yang sebenarnya.

E. Batasan Masalah

Pada penelitian ini diperlukan adanya pembatasan - pembatasan masalah berkaitan dengan keterbatasan dan kemampuan peneliti. Adapun batasan masalah pada penelitian ini, antara lain :

1. Arah datang gelombang tegak lurus terhadap struktur.
2. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang dengan kondisi belum pecah.
3. Fluida yang digunakan adalah air tawar, salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan.
4. Arah datang gelombang tegak lurus terhadap struktur.
5. Model yang digunakan adalah pompa gelombang dengan diameter tabung 2,0 cm.
6. Jenis model yang digunakan adalah tabung acrylic transparan yang dirakit dilengkapi pelampung dan piston.
7. Tinggi model 50 cm.
8. Kedalaman yang digunakan adalah kedalaman 0,29 m
9. Periode yang digunakan periode 1,3, 1,4, dan 1,5 detik.
10. Stroke yang digunakan adalah stroke 8.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

F. Sistematika Penulisan

Laporan ini terdiri dari lima bab yang sistematika penyusunannya, antara lain :

BAB I Pendahuluan, terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II Kajian Pustaka, terdiri dari teori-teori yang relevan tentang teori dasar gelombang, karakteristik gelombang, hukum dasar gelombang, energy gelombang, tinggi gelombang, teknologi konversi energi gelombang dengan menggunakan pompa gelombang.

BAB III Metode penelitian, berisi tentang tempat dan waktu penelitian, jenis penelitian dan sumber data, alat dan bahan, desain penelitian, metode pengambilan data, karakteristik gelombang, metode analisis data, variabel penelitian, prosedur penelitian, dan flow chart.

BAB IV Hasil dan Pembahasan, pada bab ini berisi hasil tentang analisis data dan deskripsi hasil penelitian dari alat pemompa gelombang tipe pelampung,

BAB V Penutup, terdiri dari kesimpulan dan saran pada permasalahan yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

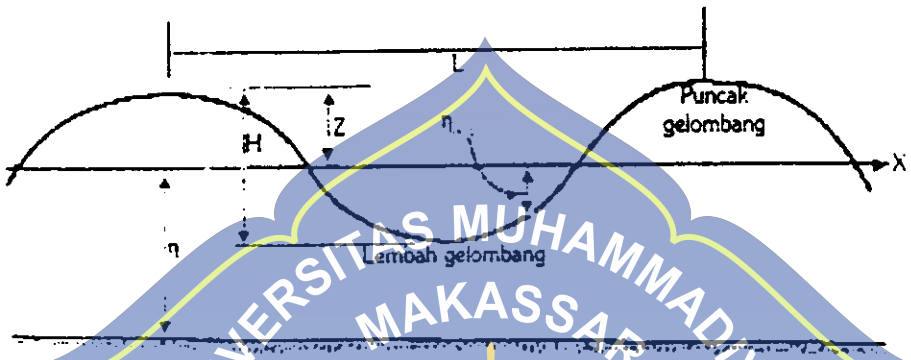
A. Karakteristik Gelombang

Beberapa parameter penting untuk menjelaskan gelombang air diantaranya ialah panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air dimana gelombang tersebut menjalar. Parameter-parameter yang lain seperti pengaruh kecepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok diatas. Adapun pengertian dari paraméter-parameter tersebut, sebagai berikut (*Bambang Triadmodjo, 1999*) :

a. Panjang gelombang (L) merupakan jarak horizontal antara dua puncak atau titik tertinggi gelombang yang berurutan, bisa juga dikatakan sebagai jarak antara dua lembah gelombang.
b. Periode gelombang (T) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh dua puncak/lembah gelombang yang berurutan melewati suatu titik tertentu.
c. Kecepatan rambat gelombang (*celerity*) (C) merupakan perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang (L/T). ketika gelombang air menjalar dengan kecepatan C. partikel air tidak turut bergerak ke arah perambatan gelombang. Sedangkan sumbu koordinat untuk menjelaskan gerak gelombang berada pada kedalaman muka air tenang.
d. Amplitudo (a) merupakan jarak vertikal antara puncak/titik tertinggi gelombang atau lembah/titik terendah gelombang, dengan muka air tenang ($H/2$).

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Adapun skematik dimensi mengenai karakteristik gelombang dapat dilihat pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Karakteristik Gelombang

Terjadinya gelombang karena adanya hembusan angin di permukaan air. Yaitu daerah dimana gelombang dibentuk bisa disebut dengan istilah daerah pembangkitan gelombang (*wave generating area*). Dimana gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut *'sea'* sedangkan gelombang yang terbentuk diluar daerah pembangkitan disebut *'swell'*. Saat gelombang menjalar, partikel air bergerak dalam suatu lingkaran vertikal kecil dan tetap pada posisinya selagi bentuk dan energi gelombang berjalan maju. Partikel air yang ada di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar dan membentuk puncak gelombang di puncak lingkaran dan lembah gelombang pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil sampai pada kedalaman lebih besar dari setengah panjang gelombang.

Ketika gelombang bergerak menuju ke arah garis pantai (*shoreline*), gelombang mulai bergesekan dengan dasar laut dan menyebabkan terjadinya pecah gelombang ditepi pantai.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Hal tersebut juga dapat terjadi pengaruh pada garis pantai dan bangunan yang ada disekitarnya. Peristiwa-peristiwa tersebut antara lain :

a. Refraksi gelombang yakni peristiwa berbeloknya arah gerak puncak gelombang.
b. Difraksi gelombang yakni peristiwa berpindahnya energi di sepanjang puncak gelombang ke arah daerah yang terlindung.
c. Refleksi gelombang yakni peristiwa pemantulan energi gelombang yang biasanya disebabkan oleh suatu bidang bangunan di lokasi pantai.
d. *Wave shoaling* yakni peristiwa membesarnya tinggi gelombang saat bergerak ke tempat yang lebih dangkal.
e. *Wave damping* yakni peristiwa tereduksinya energi gelombang yang biasanya disebabkan adanya gaya gesekan dengan dasar pantai.
f. *Wave breaking* yakni peristiwa pecahnya gelombang yang biasanya terjadi pada saat gelombang mendekati garis pantai (*surf zone*).

Penyebab utama proses erosi dan akresi (pengendapan) garis pantai ialah gelombang yang memecah di pantai. Karakteristik gelombang ini tergantung pada kecepatan angin, durasi dan jarak seret gelombang (*fetch*).

B. Energi Gelombang Laut

Gelombang laut menyimpan energi yang sangat besar dan belum termanfaatkan secara maksimal. Pemanfaatan gelombang laut untuk dikonversikan menjadi energi yang bermanfaat bagi manusia terus diteliti oleh peneliti luar negeri maupun peneliti dalam negeri. Energi potensial dan kinetik

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

yang terkandung pada gelombang laut dapat dikonversikan untuk pemanfaatan tenaga listrik maupun pompa air bersih dan irigasi dan sebagainya.

Pemanfaatan energi gelombang laut yang telah dilakukan oleh McCormick sudah banyak dilakukan pemanfaatan dan pengembangan oleh peneliti lain. Hampir mirip dengan ide dasar *(McCormick, 1981)*, Siliman (2001) mendesain pompa air laut tenaga gelombang, dimana energi gelombang ditangkap melalui flap dan diteruskan oleh piston untuk mendorong air laut yang terdapat dalam tabung piston ke permukaan *(Siliman, 2001)*. Yang dimana tujuan utamanya pada pemanfaatan energi gelombang untuk mensuplai air laut ke daratan untuk berbagai keperluan seperti untuk irigasi perikanan air asin atau payau dan pemanfatannya untuk tambak udang.

Teknologi penangkap energi gelombang dengan sistem pompa tenaga gelombang pada prinsipnya ialah transformasi energi gelombang menjadi energi pemompaan yang menghasilkan debit air dan tinggi pemompaan. Transformasi energi ini melalui proses osilasi (Department of the Interior, 2006). Energi gelombang yang ditangkap oleh papan osilasi yang diletakkan vertikal dengan dukungan engsel di dasarnya pada saat flap menerima gaya gelombang, mengakibatkan flap bergerak maju mundur secara harmonik.

Pada pemanfaatan pompa tenaga gelombang laut ini sebagai pembangkit energi listrik, air laut hasil pemompaan ditampung dalam suatu reservoir pada ketinggian tertentu. Pompa dibangun serial yang terdiri dari banyak unit untuk mensuplai satu reservoir. Selanjutnya dari reservoir air dialirkan ke bawah melalui pipa pesat untuk memutar turbin yang dihubungkan dengan generator.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Berdasarkan teori gelombang Airy diturunkan dari persamaan kontinuitas untuk aliran tak rotasi, yaitu persamaan Laplace. Persamaan panjang (L) dan kecepatan rambat (C) gelombang dinyatakan sebagai berikut (US Army Corps of Engineers, 2006).

$$L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad \text{.....(1)}$$

Pada perairan dalam,

h lebih besar dan $\tanh \frac{2\pi h}{L} = 1.0$; karena itu, $L = \frac{gT^2}{2\pi}$ .....(2)

$$L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad \text{.....(3)}$$

Pada perairan dalam, h lebih besar dan $\tanh \frac{2\pi h}{L} = 1.0$; karena itu,

$$L = L_o = \frac{gT^2}{L} \quad \text{.....(4)}$$

$$C = \frac{g}{2\pi} T \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad \text{.....(5)}$$

dimana :

T : periode gelombang [s]

g : percepatan grafitasi [m/s2] π

h : kedalaman air (*still water depth*) [m].

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Efisiensi pompa yang merupakan tingkat efektifitas pompa untuk menangkap energi merupakan perbandingan dari energi kinetik air hasil pemompaan terhadap energi gelombang air laut.

Karena energi gelombang yang ditangkap oleh alat tidak kontinyu, maka dari itu, dalam evaluasi ditinjau parameter daya rata-rata untuk satu gelombang, yang besarnya sebagai berikut :

$$Dw = 1/8 \; x \; \gamma \; x \; B \; x \; H^2 \; x \; v \; x \; g \qquad (6)$$

Dimana :

D_w = daya gelombang (N m/s)

γ = berat jenis air (1000 kg/m^3)

B = lebar papan osilasi (m)

H = tinggi gelombang (m)

v = kecepatan penjalaran gelombang = $\sqrt{gh}$

g = gaya grafitasi (m/s^2)

h = Kedalaman Air Saluran (m)

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Sedangkan daya air hasil pemompaan dirumuskan sebagai :

$$Dv = \gamma x Z x Q x g \quad \text{.....(7)}$$

Dimana :

D_v = Daya Air Hasil Pemompaan (N m/s)

Z = Tinggi pemompaan (m)

Q = Debit Rata-Rata Hasil Pemompaan (m^3/s)

V = Volume air dari hasil pemompaan selama satu periode gelombang (m^3)

T = Periode gelombang (s)

g = gaya grafitasi (m/s^2)

Efisiensi pompa gelombang yang dimana ialah efisiensi keseluruhan alat (η_T), merupakan perbandingan antara daya yang bekerja pada papan osilasi dengan daya yang dihasilkan air dari hasil pemompaan. Daya yang bekerja pada papan osilasi itulah yang dihitung dengan persamaan (6) sedangkan daya hasil pemompaan dihitung dengan persamaan (7), sehingga efisiensi pompa bisa dihitung dengan persamaan :

$$\eta_T = \frac{\gamma x Z x Q x g}{\frac{1}{8} x \gamma x B x H^2 x v x g} \quad \text{.....(8)}$$

Dimana :

η_T = Efisiensi pompa

γ = Berat jenis air = 1000 kg/m^3

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Q = Debit rata-rata hasil pemompaan (m^3/s)

Z = Tinggi pemompaan (m)

V = Volume air hasil pemompaan oleh satu osilasi papan atau satu langkah gerakan pompa, yang dibangkitkan oleh satu periode gelombang (m3)

T = Periode Gelombang (s)

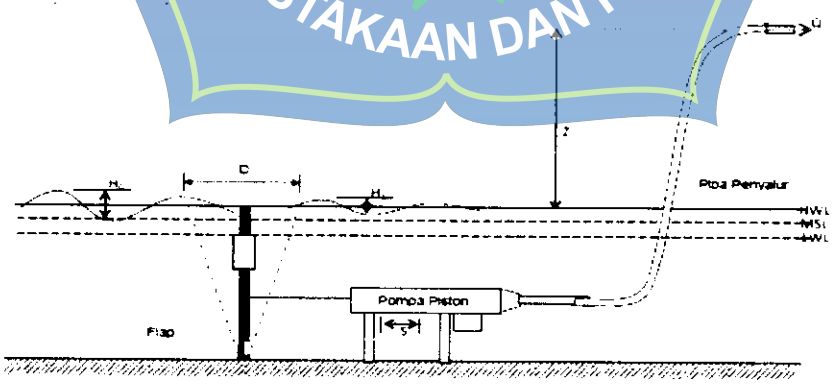
B = Lebar papan osilasi (m)

H = Tinggi gelombang (m)

v = Kecepatan penjalaran gelombang = $\sqrt{gh}$

g = Gaya grafitasi (m/s^2)

h = Kedalaman air salunan (m)



Gambar 2. Sketsa mekanisme kerja pompa gelombang tipe flap

Dalam hal ini, akan terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus ke daerah terlindung.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Teknologi penangkap energi gelombang dengan sistem pompa tenaga gelombang pada prinsipnya merupakan transformasi energi gelombang menjadi energi pemompaan yang menghasilkan debit air dan tinggi pemompaan. transformasi energi ini melalui proses dari alat pemompa gelombang tipe pelampung. Energi gelombang yang ditangkap oleh pompa gelombang tipe pelampung menerima gaya gelombang, mengakibatkan pelampung bergerak naik turun secara harmonik.

Pada saat pelampung tersebut bergerak, pergerakan pelampung tersebut menggerakan lengan pompa yang dipasang tegak lurus dengan pergerakan naik turunnya lengan pompa mengakibatkan klep akan terbuka dan tertutup. Pada saat klep terbuka mengakibatkan air laut masuk kemudian mengisi tabung piston dan akibatnya di tabung piston akan terdapat tekanan, yang akan diteruskan ke pipa penyalur untuk memompa air ke atas dengan ketinggian tertentu. Mekanisme ini terjadi berulang-ulang hingga air dalam tabung akan terdorong dan mengalir dengan Q tertentu. Pada pemanfaatan Pompa tenaga gelombang laut ini, air laut hasil pemompaan ditampung dalam suatu reservoir pada ketinggian tertentu. Pompa dibuat serial yang terdiri dari banyak unit untuk mensuplai satu reservoir. Selanjutnya dari reservoir air dialirkan ke bawah melalui pipa pesat untuk memutar turbin yang dihubungkan.

Cara untuk menangkap energi gelombang ada beberapa macam, berikut adalah tiga cara yang dapat dilakukan untuk menangkap gelombang laut, antara lain :

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

1. Pelampung

   Alat ini akan membangkitkan listrik dari hasil gerakan vertikal dan rotasional pelampung dan dapat ditambahkan pada sebuah rakit yang mengambang atau alat yang tertambatkan didasar laut.

2. Kolom air yang berosilasi (Oscillating Water Colum)

   Alat ini membangkitkan listrik naik turunnya air akibat gelombang dalam sebuah pipa silinder yang berlubang. Naik turunnya kolom air ini akan akan mengakibatkan keluar masuknya udara dilubang bagian atas pipa dan menggerakan turbin. Sederhananya OWC merupakan salah satu sistem dan peralatan yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan kolom osilasi. Alat osilasi ini akan menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu OWC, sehingga terjadi flukruasi atau osilasi gerakan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik.

3. Wave surge atau focusing devices

   Peralatan ini bisa juga disebut sebagai tapered chanel atau kanal meruncing atau sistem yang di pasang pada sebuah struktur kanal yang dibangun dipantai untuk mengkonsentrasikan gelombang. Membawanya kedalam kolam penampung yang diringgikan. Air yang mengalir keluar dari kolam penampung ini yang digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan teknologi standar hydropower.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

C. Klasifikasi Teori Gelombang

Apabila ditinjau dari kedalaman perairan yang dimana gelombang menjalar, maka gelombang dikelompokkan menjadi 3 kategori, antara lain : gelombang air dangkal, transisi dan air dalam. Batasan dari ketiga kategori tersebut didasarkan pada rasio antara kedalaman dan panjang gelombang *(d/L)*. Batasan penggunaannya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam

Kategori gelombang	d/L	2πd/L	Tanh(2πd/L)
Air dalam	> 0,5	> π	≈ 1
Air transisi	0,05 – 0,5	0,25 – π	Tanh(2πd/L)
Air dangkal	< 0,05	< 0,25	2πd/L

Pada pengelompokan gelombang dapat dibagi berdasarkan rasio antara tinggi gelombang dan panjang gelombang. Adapun pada pengelompokkan ini, dikenal gelombang amplitudo kecil dan gelombang amplitudo berhingga (*Stock, Cnoidal, Solitair*). Gelombang amplitudo kecil dikembangkan oleh Airy sehingga dikenal dengan teori gelombang Airy. Teori gelombang Airy diturunkan berdasarkan anggapan bahwa perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau kedalamanya sangat kecil, sedangkan teori gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya rasio antara tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

1. Gelombang berdiri progresif

Apabila gelombang merambat dan dipengaruhi oleh gaya luar, maka amplitudo gelombang dapat berubah. Apabilah amplitudo gelombang berubah terhadap ruang dan waktu disebut gelombang progressif atau gelombang berjalan. Sedangkan jika berubah terhadap waktu disebut gelombang berdiri atau *standing wave/clapotis* (*Dean dan Dalrymple, 1992*).

2. Gelombang berdiri parsial

Jika gelombang yang merambat melewati suatu penghalang, maka gelombang yang terjadi akan dipantulkan kembali oleh penghalang tersebut. Jika pemantulanya sempurna atau gelombang datang dipantulkan seluruhnya, maka tinggi gelombang di depan penghalang menjadi dua kali tinggi gelombang datang dan disebut gelombang berdiri (*standing wave*). Ttetapi jika penghalang memiliki porositas atau tidak dapat memantulkan secara sempurna, maka tinggi gelombang di depan penghalang akan kurang dari dua kali tinggi gelombang datang dan pada kondisi ini disebut gelombang berdiri parsial (sebagian). Contoh kejadian gelombang parsial adalah gelombang yang membentur pantai atau pemecah gelombang (*breakwater*) mengalami pemantulan energi yang tidak sempurna.

Apabila suatu gelombang yang mengalami pemantulan yang tidak sempurna membentur suatu penghalang, maka tinggi gelombang datang H_i akan lebih besar dari tinggi gelombang yang direfleksikan H_r. Periode gelombang datang dan yang dipantulkan adalah sama, sehingga panjang gelombangnya juga sama.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

D. Hukum Dasar Model

Adapun konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model ialah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan yang dimaksud ialah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik (*Nur Yuwono, 1996*).

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

1. Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik merupakan suatu kesebangunan dimana bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototipe tetapi ukuran bisa berbeda. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama. Ada dua jenis kesebangunan geometrik, diantaanya sebangun geometrik sempurna (tanpa *distorsi*) dan sebangun geometrik dengan distorsi (*distorted*). Pada sebangun geometrik sempurna skala panjang arah horisontal (skala panjang) dan skala panjang arah vertikal (skala tinggi) adalah sama, sedangkan pada *distorted* model skala panjang dan skala tinggi tidak sama. Jika memungkinkan sebaiknya skala dibuat tanpa distorsi, namun jika terpaksa, maka skala dapat dibuat distorsi.

2. Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik merupakan kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di dua titik pada model dan prototipe pada arah yang sama adalah sama besar. Pada model tanpa distorsi, perbandingan kecepatan dan percepatan pada semua arah arah adalah sama, sedangkan pada model dengan distorsi perbandingan yang sama hanya pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau horisontal. Maka dari itu pada permasalahan yang menyangkut tiga dimensi sebaiknya tidak menggunkan *distoried* model.

3. Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik merupakan kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja pada model dan prototipe untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek, gaya kenyal dan tegangan permukaan.

Beberapa sebangun dinamik diantaranya sebangun dinamik Reynold (*Reynold number*) yang diekspresikan sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek, sebangun dinamik froude (*froude number*) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi, bilangan Cauchy (*Cauchy Number*) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya elastik serta bilangan Weiber (*Weiber Number*) yaitu perbandingan antara gaya inersia dan gaya tegangan permukaan.

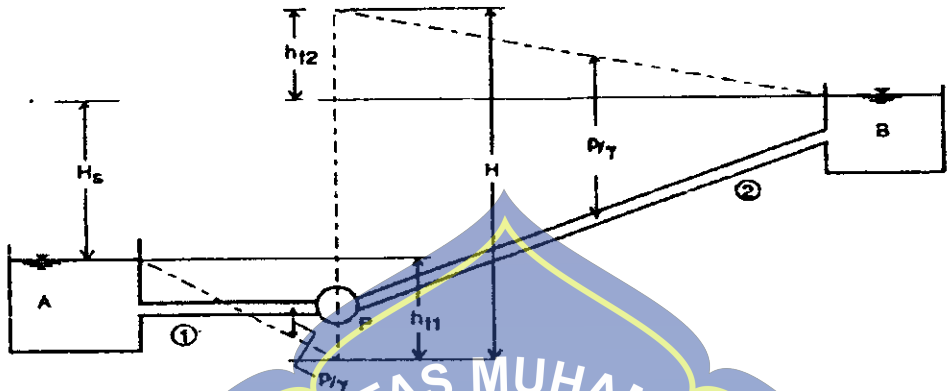
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

E. Pipa dan Pompa

Pompa merupakan peralatan mekanis yang mengubah kerja mekanis poros menjadi energi mekanis fluida dan energi yang diterima oleh fluida ini digunakan untuk menaikkan tekanan dari fluida tersebut serta digunakan untuk melawan tahanan yang terdapat pada saluran sehingga dapat dikatakan fungsi dari pompa ialah untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara manaikkan tekanan fluida tersebut.

Seperti yang kita ketahui, pompa digunakan untuk menaikkan fluida dari satu tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau digunakan untuk mengalirkan fluida dari suatu tingkat tertentu ke suatu tempat dengan menggunakan pipa yang sangat panjang.

Ketika pompa menaikkan zat cair dari kolam satu ke kolam yang lain dengan selisih muka air *Hs1*, daya yang digunakan oleh pompa menaikkan zat cair setinggi *Hs* adalah sama dengan tinggi *Hs* ditambah dengan kehilangan tenaga selama pengaliran dalam pipa tersebut. Kehilangan tenaga merupakan ekivalen dengan penambahan tinggi elevasi, sehingga efeknya sama jika pompa menaikkan zat cair setinggi $H = H_s + \sum h_p$, Seperti pada gambar 3 tinggi kecepatan diabaikan sehingga garis tenaga berimpit dengan garis tekanan. Kehilangan tenaga terjadi pada pengaliran pipa 1 dan 2 yaitu sebesar *ht1* dan *ht2*. Pada pipa 1 yang m;erupakan pipa isap, garis tenaga (dan tekanan) menurun sampai di bawah pipa.



Gambar 3. Pipa dengan pompa

Bagian pipa di mana garis tekanan di bawah sumbu pipa mempunyai tekanan negatif, sedangkan pipa 2 merupakan pipa tekan.

Daya yang diperlukan pompa untuk menaikkan zat cair :

$$D = \frac{Q H_p}{\eta} \left(\frac{kgfm}{d}\right) \quad \text{.....(9)}$$

Atau

$$D = \frac{Q H_p}{75\,\eta} (hp) \quad \text{.....(10)}$$

dengan η adalah efisiensi pompa. Pada pemakaian pompa, efisiensi pompa digunakan sebagai pembagi dalam rumus daya pompa. *Head* pompa adalah kemampuan suatu pompa untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ketempat lain yang berbeda ketinggian atau kemampuan pompa untuk memindahkan fluida antara dua tempat yang berbeda jaraknya.

Perhitungan pada Hukum Pascal ini nantinya akan mendasari perhitungan pada alat peraga Hukum Pascal untuk menaikan elevasi muka air.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

a. Tekanan Hidrostatik

Gaya gravitasi menyebabkan zat cair dalam suatu wadah selalu tertarik ke bawah. Makin tinggi zat cair dalam wadah makin berat zat cair itu, sehingga makin besar tekanan zat cair yang dikerjakan pada dasar wadah. Tekanan zat cair yang hanya disebabkan oleh beratnya disebut tekanan hidrostatik. Misal zat cair terdiri dari beberapa lapis, lapisan bawah ditekan oleh lapisan diatasnya sehingga menderita tekanan lebih besar. Lapisan paling atas hanya ditekan oleh udara sehingga tekanan pada permukaan zat cair sama dengan tekanan atmosfer. Tekanan hidrostatik (p) zat cair dengan massa jenis ρ pada kedalaman h dan percepatan gravitasi g dirumuskan dengan :

$$P = \rho \, x \, g \, x \, H \quad \ldots\ldots(11)$$

Menurut Modi (1991), benda padat dalam air yang menerima gaya (F) ke bawah pada luasan benda (A) akan mendapat tekanan perlawanan ke atas (p) sebesar $p = F/A$ dan $F = p \cdot A$ .....(12)

Modi (1991) menyatakan juga bahwa pada setiap lokasi dalam zat cair, tekanan bekerja ke segala arah sesuai Hukum Pascal.

Gaya Hidrostatik

Tinggi tekanan air (h) selain dipengaruhi oleh p dan A juga dipengaruhi besar volume air yang dipindahkan dari tabung piston pada pipa input dan kapasitas pipa output. Karena itu, tinggi tekanan tersebut juga bergantung pada diameter piston (Dp), tinggi gaya tekan piston (hf), diameter pipa output (Dpp).

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

F. Hipotesis

Penangkap energi gelombang salah satunya ialah dengan menggunakan pelampung yang bergerak secara vertikal. Pelampung didesain sedemikian rupa sehingga dapat bergerak secara kontinyu mengikuti gerakan gelombang naik turun yang datang. Maka dengan cara ini energi gelombang ditangkap melalui tabung pompa yang mempunyai lobang inlet pada bagian atas dan bawah dari tabung pompa tersebut, untuk menggerakkan piston.

Ketika bergerak naik dan turun piston akan maka akan terbuka lobang inlek sehingga air laut akan masuk untuk mengisi tabung pompa, pada saat bergerak keatas dan kebawah tekanan air akan diteruskan oleh tuas piston. Gerakan naik turun pelampung diluar tabung pompa, akan mendorong air laut yang terdapat dalam tabung pompa untuk selanjutnya disalurkan dengan pipa penyalur outlet yang terdapat pada bagian atas dan bawah tabung pompa menuju tempat yg lebih tinggi.

Debit (Q) yang disalurkan sampai dengan ketinggian Z akan memiliki energi potensial yang bisa digunakan untuk menggerakan turbin sehingga menghasilkan energi listrik yang dapat membantu masyarakat disekitarnya, pompa air laut energi gelombang dapat digunakan untuk memompa air laut kedaratan dengan keuntungan lebih , tanpa bahan bakar, dan bebas polusi. Gaya gelombang gratis yang selama ini jarang dimanfaatkan, dapat diusahakan dengan teknologi sederhana untuk menaikkan air laut ke daratan untuk digunakan memutar dinamo pembangkit listrik serta mengairi areal pertanian tambak.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Tabel 2. Matriks Referensi Hasil Penelitian yang Relevan

No	Nama/Tahun	Judul	Hasil	Parameter Riset
1	Dwiyono Teguh, 2006	Pengaruh Variasi Besar, Tinggi Gaya Tekan dan Kemiringan Pipa *Output* terhadap *Head* pada Alat Peraga Hukum *Pascal* untuk Menaikkan Elevasi Muka Air	Gaya tekan berpengaruh pada Head. Makin besar gaya tekan, maka Head akan makin tinggi. Variabel gaya tekan, berpengaruh signifikan terhadap variabel Head.	Gaya tekan/besar gaya (F) dalam kisaran 6,2-14 kgf, sedangkan tinggi gaya tekan(hf) yaitu 10 cm, 15 cm, dan 21 cm dan kemiringan pipa output (α) yaitu: 70°, 80 °, dan 90 ° terhadap sumbu horisontal
2	Abdullah Al Mahfazur Rahman, Md. Moniruzzaman, M. Al Mamun. 2017	*Estimation of Energy Potential of Point Absorber Buoy type Wave Energy Converter* (Estimasi Potensi Energi Point Absorber Konverter Energi Gelombang tipe pelampung)	Dari energi gelombang menghasilkan penemuan alternatif sumber energi. Ini memiliki potensi tinggi dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Bidang utama yang menjadi perhatian adalah distribusi energi gelombang. Model ini berfungsi sebagai alat konversi energi gelombang yang sangat sederhana, modifikasi dari model ini dapat diterapkan untuk mengevaluasi	Parameter Gelombang: Amplitudo gelombang (H), Periode gelombang (T), Sudut fase (Θ). Parameter Pelampung: Tinggi (h), Gaya Pegas Statis (FStatic), Konstan elektromagnetik (ke)

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

		;	pengaruh parameter lain seperti parameter generator linier untuk produksi daya listrik yang efisien.	
3	I Putu Samskerta, Juventus W.R. Ginting, Sudarta. 2014	Pemanfaatan energi gelombang laut dengan pompa gelombang flap horizontal;	Tinggi dan debit pemompaan yang diha-silkan oleh pompa dipen-garuhi oleh fungsi tinggi gelombang (H0), keda-laman (h), keting-gian pemompaan (z), perioda gelombang (T), panjang lintasan piston (s) dan simpangan pompa (D). Kedalaman muka air (d) memberikan pengaruh yang paling signifikan pada ketinggian pemom-paan, sedang debit pemompaan paling signifikan dipengaruhi panjang lintasan piston (s). Ketinggian pemom-paan maksimum dicapai pada kondisi muka air pasang (HWL) yaitu mencapai 380 cm (H0 = 21 cm dan H0 = 30 cm). Debit pemompaan maksimum sebesar 314,2 ml/s terjadi pada kedalaman air 55 cm (H0 = 15 cm) pada panjang lintasan 18 cm.	Kedalaman air (h), tinggi gelombang di depan flap (H0), tinggi di belakang flap (H1), periode gelombang (T), simpangan flap (D), panjang lintasan piston (s), tinggi pemompaan (Z) dan debit yang dihasilkan (Q).

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

4	A.S. Koraim. 2013	*Hydrodynamic efficiency of suspended horizontal rows of half pipes used as a new type breakwater*	Koefisien transmisi (kt) menurun dengan kenaikan h/L, Hit/L, B/L dan B/d, dan penurunan D/h. Koefisien refleksi (kr) meningkat dengan kenaikan h/L dan B/L untuk posisi permukaan, sementara itu meningkat sampai nilai h/L dan B/L tertentu kemudian berkurang untuk kasus yang terendam. Sebagai tambahan, koefisien refleksi (kr) meningkat dengan meningkatnya B/d dan H/L, dan dengan penurunan D/h. Koefisien disipasi (kd) meningkat dengan kenaikan h/L, H/L, B/L dan B/d, dan meningkat dengan penurunan D/h.	Panjang gelombang dan tinggi gelombang (L dan H), diameter pipa (d), draft dan lebar breakwater (D dan B) dan jumlah baris (n). Pemecah gelombang. Susunan pipa setengah, transmisi gelombang, refleksi, disipasi energi.
5	Masjono Muchtar, Salama Manjang, Dadang A Suriamiharja, M. Arsyad Thaha. 2016	Kinerja Model Fisik Konverter Energi Ombak Rangkaian *Gear* Searah pada Periode Ombak yang Bervariasi ;	Energi ombak yang ditangkap oleh konverter adalah hasil kali antara data hasil pengukuran kecepatan putaran (RPM) poros *plywheel* dengan torsi (Nm) yang terukur pada poros yang sama. Kecepatan putaran diukur menggunakan	Parameter yang diukur didalam experiment model fisik konverter energi ombak rangkaian gear searah terdiri atas tinggi ombak sebelum konverter untuk mengetahui berapa *input* energi yang masuk ke konverter, tinggi ombak setelah melewati konverter untuk

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

			Tachometer digital dan torsi diukur menggunakan *Newton Meter Scale*.	mengetahu berapa energi yang terserap. Energi yang dihasilkan konverter merupakan hasil perkalian antara kecepatan putaran *plywheel* dengan torsi yang dihasilkan.
6	Danu Ardiyanto, Jondri, Annisa Aditsania	Pelacakan Keluaran Sistem Linear Pompa Piston Tunggal Dengan Kontrol Panjang Batang Penghubung P;elampung Dan Piston	Nilai dari panjang batang penghubung pelampung dan piston adalah 137,6928 m hingga 143,6112 m. Ini sudah mendekati nilai sebenarnya dari panjang batang penghubung pelampung dan piston yaitu 140 m.	**FB** = Gaya pegas yang bekerja pada pelampung, **Ff** = Gaya pegas yang bekerja pada piston. **WB** = Berat pelampung **Fb** = Berat piston
7	Muhammad Naquib, M. Arsyad Thaha, Farouk Maricar. 2015	Kajian Refleksi Gelombang Pada Bangunan Multi Fungsi Pelindung Pantai Dan Pembangkit Listrik	Diperoleh hubungan, dimana nilai Koefisien refleksi semakin besar diikuti dengan semakin besar nilai Irribaren. Untuk pengaruh kemiringan model terhadap nilai Irribaren, Nilai Kr bertambah besar dengan semakin kecilnya sudut (θ) model	Parameter-parameter yang berpengaruh terhadap besarnya refleksi gelombang pada pemecah gelombang sisi miring adalah periode gelombang (T), tinggi gelombang datang (Hi), tinggi freeboard (Rc), dan kemiringan sisi depan struktur (tan θ), pengaruh Irribaren terhadap Koefisien refleksi (Kr)

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

8	Almaarif Fahrey Nuh, Wiwiek Hendrowati. 2016	Studi Eksperimental Energi Listrik yang Dihasilkan oleh Mekanisme *Ocean Wave Energy Harvester* Tipe Pelampung Bola dengan Metode *Cantilever Piezoelectric*	Dasil dari penelitian tersebut, semakin tinggi amplitudo gelombang, semakin tinggi pula nilai voltase bangkitannya dan nilai arus yang dibangkitkan, sehingga semakin tinggi pula nilai daya bangkitannya.	Gravitasi (g), densitas air (ρ), tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), Tegangan bangkitan (Vp), arus (I) dan daya (P).
9	Juventus Welly Ginting, I Ketut Dharma Setiawan	Kinerja prototipe papan osilasi pada pompa *flap* tenaga gelombang untuk pemanfaatan mata air di pantai banyu asri, kota singaraja - bali	Dari hasil pengamatan tinggi gelombang yang mampu menggerakkan papan osilasi hingga mengalirkan air tawar adalah mulai dari tinggi (H):10 cm,dalam hal ini kondisi perairan pantai Banyu Asri-Singaraja merupakan pantai yang landai dan rata-rata memiliki tinggi gelombang (H) kecil < 40 cm karena posisinya penenmpatan pompa gelombang adalah setelah gelombang	Tinggi gelombang (H), Luas Papan Osilasi, Volume Piston, diameter Piston, Panjang lintasan Torak

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

			;pecah, ketinggian gelombang > 40 cm pada musim tertentu.	
10	Dwi Prasetio Utomo, Muhammad Agus Sahbana, Nova Risdiyanto Ismail	Perbedaan Diameter Pelampung Terhadap Kinerja *Ocean Wave Energy* Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik	Arus dan voltase yang terbaik di dapat pada piston berdiameter 20cm. Tinggi gelombang 15 cm dan diameter piston 20 cm; Tinggi gelombang 15 cm dan diameter piston 20 cm menghasilkan voltase paling tinggi yaitu 51,70 V. Tinggi gelombang 15 cm dan diametr piston 20 cm menghasilkan efisiensi paling tinggi yaitu 8,31%.	Panjang gelombang (L), Tinggi gelombang (H), Lebar flap (b), Periode Gelombang (T), Diameter piston (D), Variasi waktu (t)

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Gowa, dengan waktu penelitian selama 6 bulan.

B. Jenis Penelitian dan Sumber Data

Jenis penelitian yang digunakan adalah Eksperimental, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut, serta adanya kontrol, dengan tujuan untuk menyelidiki ada-tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyediakan kontrol untuk perbandingan.

Pada penelitian ini akan menggunakan dua sumber data yakni :

1. Data primer yakni data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.
2. Data Sekunder yakni data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada baik yang telah dilakukan di Laboratorium maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian pompa gelombang.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

C. Bahan dan Alat

Adapun model pompa gelombang yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dalam 1 model pompa gelombang dengan diameter tabung yaitu : Ø 2,0 cm. Tabung terbuat dari bahan acrilic bening dengan tebal 3 mm dengan menggunakan pelampung di luar dari tabung penangkap air untuk menggerakkan piston penekan air naik dan turun, tinggi dan panjang model pompa gelombang diatur berdasarkan kebutuhan (menyesuaikan flume).

Beberapa bahan yang akan digunakan dalam penelitian adalah :

1. Model pompa gelombang yang terbuat dari tabung transparan dengan diameter tabung yaitu lingkaran tabung bagian dalam Ø 2,0 cm, terbuat dari bahan acrilic bening berbentuk tabung dengan tebal 3 mm = 0,3 cm. bagian atas dan bawah dari tabung dibuat 2 lubang inlet dengan variasi diameter lobang Ø 1,7 cm, Ø 2 cm dan Ø 2,5 cm yang berfungsi sebagai lubang masuknya air kedalam tabung pada saat piston bergerak naik turun disertai katup untuk menahan air keluar sehingga air akan masuk mengisi tabung secara kontinyu,
2. Model pelampung berbentuk segi empat yang bisa terapung dan bergerak naik turun sesuai tinggi rendahnya gelombang dipasang pada bagian luar tabung pompa, diameter pelampung adalah Ø 5,5 cm, tinggi pelampung 6 cm, dan lebar pelampung 20 cm.
3. Piston ditempatkan pada bagian dalam tabung yang akan bergerak vertikal bersamaan dengan pelampung, piston bergerak secara vertikal dan berfungsi untuk menekan air kebawah dan keatas sehingga air akan keluar melalui

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

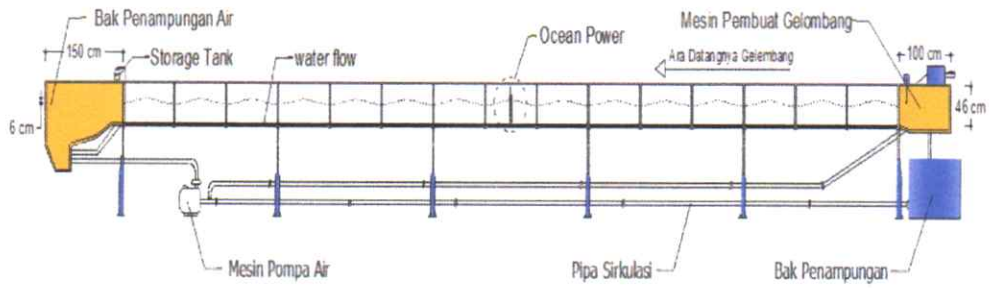
lubang outlet (pelepasan). Piston terbuat dari bahan karet yang tahan air, tebal dan diameter piston disesuaikan dengan diameter bagian dalam tabung pompa.

4. Pipa outlet terbuat dari pipa transparan dengan diameter Ø 0,5 cm yang berfungsi sebagai pipa penyalur yang dipasang pada bagian atas dan bawah tabung pompa, panjang dan tinggi pipa outlet disesuaikan dengan kondisi flume dilaboratorium.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Dilakukan pada saluran gelombang yang dilengkapi alat pembangkit gelombang yang terbuat dari flume baja dengan ukuran panjang 15 m, lebar 0,30 m dan tinggi efektif 0,5 m.

Gambar 4. Tangki penbangkit gelombang



Gambar 5. Model pompa gelombang dalam saluran kaca tembus pandang

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

2. Unit pembangkit gelombang, Mesin pembangkit terdiri dari *mesin utama, pulley* yang berfungsi mengatur waktu putaran piringan yang dihubungkan pada *stroke* sehingga menggerakkan flap pembangkit gelombang.

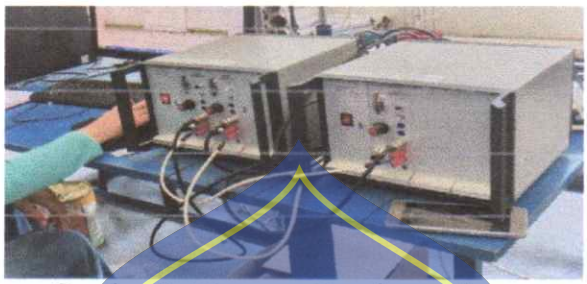
Gambar 6. Unit pembangkit gelombang type flap

3. Mistar ukur digunakan untuk mengukur kedalaman

Gambar 7. Mistar ukur pada flume

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

4. Wave monitor dan probe



Gambar 8. Wave monitor dan probe

5. Meteran untuk mengukur tinggi gelombang
6. *Stopwacth* untuk mengukur periode gelombang
7. Kamera untuk dokumentasi
8. Tabel dan Alat Tulis

D. Variabel Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian dan untuk membuktikan hipotesa yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, adapun variabel yang diteliti adalah Tinggi Gelombang (H), Periode Gelombang (T), Panjang Gelombang (L) dan lamanya waktu pengisian tabung pompa gelombang (*t*), sedangkan variabel bebas dalam penelitian ini adalah periode gelombang (T), panjang gelombang (L), tinggi gelombang (Hi), tinggi tekanan (*H*) serta diameter tabung pompa dan jumlah lobang inlet. Adapun hasil analisis nilai Luas

Tabung Inlet (LTI) dari 3 variasi diameter tabung pompa dapat dilihat pada table 3.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Tabel 3. Nilai Luas Tabung Inlet (LTI) pada Model Pompa Gelombang

No	D (cm)	h (cm)	A (cm^2)	P (cm)	R (cm)	V (cm/dt)	Q (cm^3/dt)	At (πD)P	LTI (A/At)
Ø tabung	3.0	50	14.1300	9.420	1.500	302.985	4281.18	88.74	0.159
	2.5	50	9.8125	7.850	1.250	302.985	2973.04	61.62	0.159
	2.0	50	6.2800	6.280	1.000	302.985	1902.75	39.44	0.159
Ø inlet	2.5	50	9.8125	7.850	1.250	302.985	2973.04	61.62	0.159
	2.0	50	6.2800	6.280	1.000	302.985	1902.75	39.44	0.159
	1.7	50	4.5373	5.338	0.850	302.985	1374.73	28.49	0.159

Rumus Manning yang digunakan pada pengaliran di saluran terbuka, juga; berlaku untuk pengaliran di pipa :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad \text{.....(25)}$$

Dengan n adalah koefisien; Manning dan R adalah jari-jari hidraulis, yaitu perbandingan luas tampang aliran (A) dan Keliling Basah (F)

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{.....(26)}$$

Untuk Tabung Pompa , $A = \pi D^2/4$ dan $P = \pi D$, sehingga

$$R = \frac{\pi D^2/4}{\pi D} = \frac{D}{4} \quad \text{.....(27)}$$

Untuk aliran didalam tabung persamaan yang digunakan adalah :

$$V = \sqrt{2gh} \quad \text{.....(28)}$$

Untuk menentukan debit (Q) dalam tabung pompa digunakan persamaan :

$Q = V.A$, dimana $Q = f(D,h)$ .....(29)

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

E. Pelaksanaan Studi Model

Berdasarkan variabel yang akan diteliti, pembuatan model pompa gelombang tipe pelampung gerakan vertikal didasarkan pada beberapa spesifikasi sebagai berikut :

1. Berdasarkan pertimbangan fasilitas di laboratorium, bahan yang tersedia dan ketelitian pengukuran, maka digunakan skala model 1 : 10, nilai skala model selengkapnya Tabel 4

Tabel 4. Skala Model

Variabel	Notasi	Skala
Skala Tinggi	n_H	10
Skala Panjang	n_L	10
Kedalaman	n_d	10
Waktu (periode)	n_T	3,20

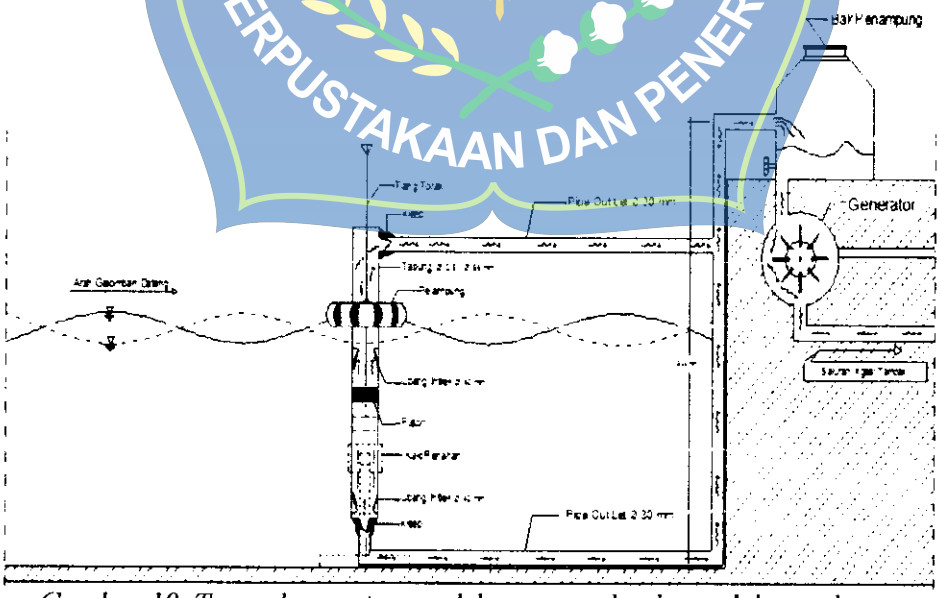
2. Model terbuat dari tabung acrylic transparan yang dirakit dilengkapi pelampung dan piston dengan ukuran diameter tabung, tinggi model dan jumlah lubang inlet dan outlet yang bervariasi.
3. Parameter Model
   a. Ukuran diameter tabung Ø 2,0 cm.
   b. Ukuran tinggi tabung 60 cm
   c. Jumlah lobang inlet yaitu : 1 disisi atas tabung dan 1 disisi bawah tabung dengan variasi diameter lobang 1,7 cm, 2 cm dan 2,5 cm

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

d. Jumlah lobang outlet yaitu : 1 dibagian atas tabung dan 1 dibagian bawah tabung dengan diameter lobang Ø 0,5 cm

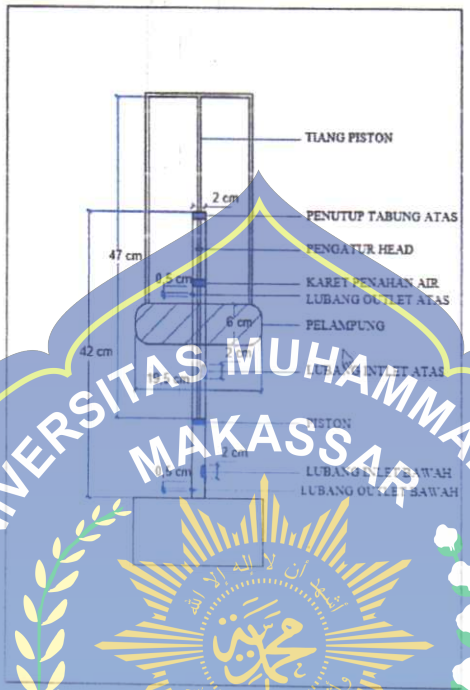
e. Pemberat tabung terbuat dari bahan adukan semen yang dipadatkan berbentuk bulat dengan Ø 15 cm tinggi 10 cm dengan berat 10 kg berfungsi sebagai dudukan tabung sehingga tidak mudah bergeser di saluran pada saat air sudah mulai digerakkan.

Gambar 9. Tampak atas penempatan model pompa gelombang dalam saluran



Gambar 10. Tampak samping model pompa gelombang dalam saluran

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN



Gambar 11. Model pompa gelombang tipe pelampung

Tabel 5. Model pompa gelombang tipe pelampung (Ø 2,0 cm)

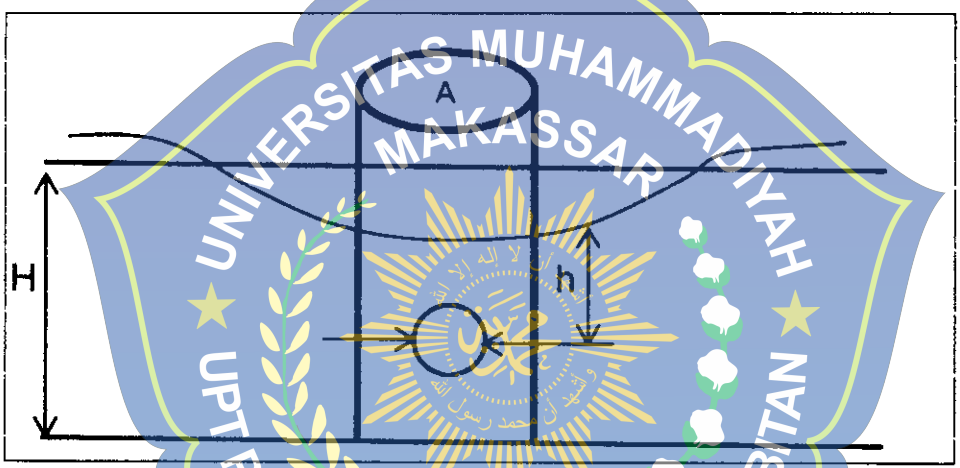
Gambar Protipe	Model Pompa	Keterangan
;	Model 1	Diameter tabung Ø 2,0 cm Tinggi tabung 50 cm, Diameter lubang inlet atas bawah Ø 1,7 cm, Diameter lubang outlet atas bawah Ø 0,5 cm, Berat pelampung 1,0 kg, Bentuk pelampung segi empat.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

F. Pelaksanaan Simulasi

Persiapan untuk running awal pada flume (tanpa model pompa gelombang), untuk mendapatkan data-data awal yaitu :

1. Dengan stroke/pembangkit gelombang 8 untuk mendapatkan Tinggi Gelombang (H)



Gambar 12. Sketsa mekanisme kerja pompa gelombang

2. Periode (T) 1,3 = 13 dtk, 1,4 = 14 dtk, 1,5 = 15 dtk, untuk mendapatkan Panjang Gelombang (L), setiap 10 kali putaran = 10 dtk.
3. Memulai simulasi gelombang tanpa model dengan membangkitkan gelombang dengan menekan tombol *start* pada panel kontrol. Simulasi ini dilakukan untuk memastikan tinggi dan periode gelombang di dalam *wave flume* telah sesuai dengan variasi yang telah ditentukan dalam penelitian ini.
4. Menghentikan simulasi tanpa model dengan menekan tombol *stop* pada panel kontrol.
4. Meletakkan model uji di tengah-tengah *wave flume*.
5. Mengisi air pada *wave flume* dengan variasi kedalaman air (d) 29 cm.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

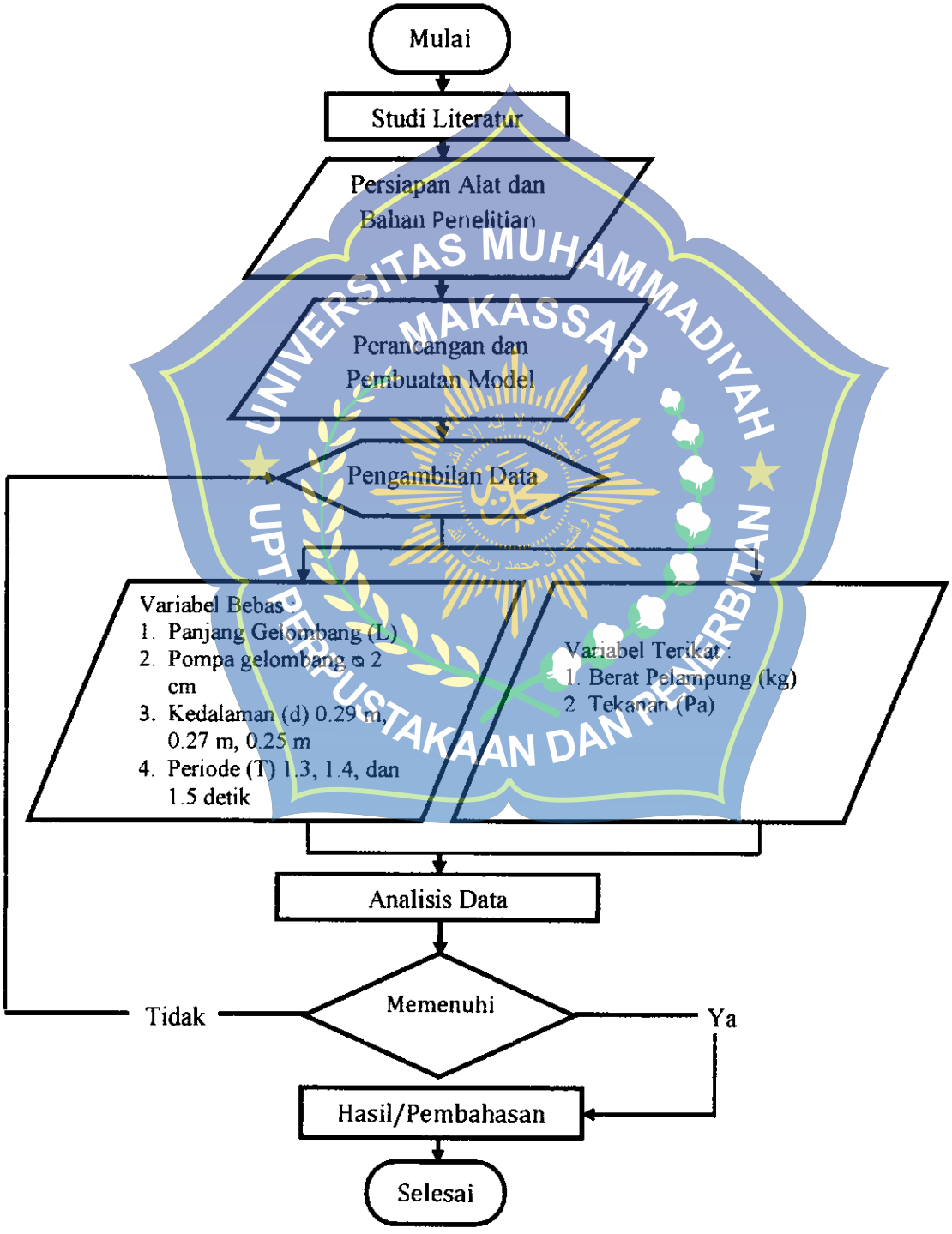
6. Setelah semua komponen siap, simulasi gelombang dimulai dengan membangkitkan gelombang di dalam *wave flume* seperti pada prosedur no. 2.
7. Mengukur dan mencatat tinggi gelombang di depan dan di belakang model uji.
8. Mengukur air yang keluar pada lubang outlet atas dan bawah dengan waktu 10 detik setiap pengambilan air dan dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan debit.
9. Mengubah tinggi tekanan air (Head) pada lubang outlet setinggi 5 cm dan kelipatannya sampai pada tinggi tekanan tidak lagi mengeluarkan air.
10. Mengulangi prosedur 1 sampai 7 sesuai dengan variasi tinggi dan periode gelombang untuk masing-masing jenis model seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 Dimensi model dan parameter gelombang diperoleh dengan mengganti posisi berat pelampung & variator.

G. Diagram Proses Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian dan untuk membuktikan hipotesa yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, adapun variabel yang diteliti adalah mendapatkan Tinggi Gelombang (H), Periode Gelombang (T), Panjang Gelombang (L) lamanya waktu pengisian tabung pompa gelombang (t), Tinggi tekanan (P) dan Debit (Q).

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Secara garis besar peneiltian ini dapat dilihat dalam diagram alur sebagai berikut :



Gambar 13. Bagan Alir (*Flow Chart*)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis

Adapun hasil dari seluruh kegiatan penelitian yang telah dilakukan di akan dipaparkan sebagai berikut.

1. Panjang Gelombang (L)

Menentukan panjang gelombang dapat diketahui dengan menggunakan dua metode yaitu dengan cara pengukuran langsung dan perhitungan. Untuk metode pengukuran langsung dilakukan dengan cara mengukur panjang gelombang secara langsung yang terdiri dari satu bukit dan satu lembah. Sedangkan untuk metode perhitungan kita menggunakan data periode dan kedalaman yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini kita akan menentukan panjang gelombang dengan metode perhitungan. Adapun data yang digunakan yaitu periode (T) = 1.3 detik, 1.4 detik dan 1.5 detik.

Diketahui :

d = 0,29 m

T = 1,3 dt

Ditanyakan Panjang gelombang (L) = ……?

$L0 = 1{,}56\ (T^2)$

$L0 = 1{,}56\ (1.3^2)$

L0 = 2,6364 m

d/L_0 = 0,29/2,6364

= 0,1099 m/dtk

d/L = 0,1495 (Lihat di tabel lampiran 1, untuk nilai d/L_0 =0,1099 m/dtk)

$$\frac{d}{d/L} = \frac{0.290}{0.1495}$$

L = 1,94 m

2. Data Tinggi Gelombang (H)

Pada pengukuran tinggi gelombang dilakukan di 2 titik, didepan dan dibelakang model. Adapun jarak antara 2 titik pengukuran didepan model ditentukan pada panjang gelombang yakni pada node dan anti node pada gelombang.

Data utama yang diamati dan dicatat pada saat pengujian di laboratorium adalah tinggi gelombang didepan model dan dibelakang model. Hasil eksperimen dan pencatatan tinggi gelombang di tiap titik lokasi pengamatan diambil nilai tinggi gelombang maksimum dan tinggi gelombang minimun, didepan dan di belakang model. Pencatatan yang digunakan adalah alat probe dengan mengumpulkan data tinggi gelombang Hmax dan Hmin yang dikonversikan ke dalam komputer sehingga terlihat data tinggi gelombang.

Pengukuran tinggi gelombang juga dapat dilakukan dengan cara mengukur secara langsung tinggi gelombang pada flume dengan menggunakan mistar. Pengukuran juga dilakukan didepan dan dibelakang model.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Sehingga data hasil pengamatan tinggi gelombang, sebagai berikut :

Tabel 6. Data pengamatan tinggi gelombang

No	Jenis Model	d (cm)	T (detik)	L (m)	Stroke	h depan model (cm)	h belakang model (cm)
1	diameter 2.0 cm	29	1.3	1.94	8	7.5	7.3
2							
3							
4			1.4	2.13		6.0	5.7
5							
6							
7			1.5	2.30		5.2	4.9
8							
9							
10	diameter 2.0 cm	27	1.3	1.94	8	7.2	6.8
11							
12							
13			1.4	2.13		6.6	5.3
14							
15							
16			1.5	2.30		5.0	4.7
17							
18							
19	diameter 2.0 cm	25	1.3	1.94	8	6.7	6.4
20							
21							
22			1.4	2.13		6.2	5.9
23							
24							
25			1.5	2.30		5.8	5.5
26							
27							

Sumber : Data hasil penelitian

3. Daya Gelombang

Tingkat efektivitas pompa untuk menangkap energi gelombang laut tidak kontinyu maka akan kita tinjau parameter daya rata-rata untuk satu gelombang. Daya gelombang dapat dihitung menggunakan persaman (6).

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Salah satu perhitungan daya gelombang untuk model diameter (Ø) 2.0 cm, periode (T) 1.3 detik dan stroke 8 pada kedalaman (d) 29 cm adalah sebagai berikut :

$Dw = 1/8 \; x \; \Upsilon \; x \; B \; x \; H^2 \; x \; v \; x \; g$

$Dw = 1/8 \times 1000 \times 0.3 \times 0.075^2 \times \sqrt{9.81 \; x \; 0.29} \times 9.81$

$Dw = 3.5178$ N m/dtk

Dimana :

Dw = daya gelombang (N m/dtk)

Υ = berat jenis air (1000 kg/m^3)

H = tinggi gelombang (m)

B = lebar flume (m)

V = kecepatan perjalanan gelombang ($\sqrt{gh}$)

g = gaya gravitasi (m/dtk^2)

h = kedalaman air saluran (m)

Data hasil perhitungan daya gelombang dengan menggunakan model diameter (Ø) 2.0 cm yang dapat dilihat pada tabel 8.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

4. Daya Air Hasil Pemompaan

Daya yang didapatkan dari hasil pemompaan berbeda-beda untuk setiap ketinggian. Daya air hasil pemompaan dapat dihitung menggunakan persamaan (7) pada bab 2. Salah satu perhitungan daya pemompaan outlet bawah untuk model pompa berdiameter (Ø) 2.0 cm pada kedalaman (d) 29 cm dengan ketinggian pemompaan 34 cm, periode (T) 1.3 detik dan stroke 8 adalah sebagai berikut :

Dv = Υ x Z x Q x g

Dv = 1000 x 0.34 x 0.0000090 x 9.81

Dv = 0.030 N m/dtk

Dimana :

Dv = daya hasil pemompaan (N m/dtk)

Υ = berat jenis air (kg/m^3)

Z = tinggi pemompaan (m)

Q = debit hasil pemompaan (m^3/dtk)

Data hasil perhitungan daya gelombang dengan menggunakan model diameter (Ø) 2.0 cm yang dapat dilihat pada tabel 8.

5. Efisiensi Pompa Gelombang

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara daya yang bekerja pada pompa gelombang dengan daya yang didapatkan dari hasil pemompaan. Efesiensi pompa gelombang dapat dihitung menggunakan persaman (8). Sebagaimana yang telah di hitung sebelumnya maka besarnya efesiensi pompa adalah sebagai berikut: $n_T = \frac{\Upsilon x Z x Q x g}{\frac{1}{8} x \Upsilon x B x H^2 x v x g}$

$= \frac{8 x Z x Q x g}{B x H^2 x v x g}$

$= \frac{8 x 0.35 x 0.0000090 x 9.81}{0.3 x 0{,}075^2 x \sqrt{9{,}81 x 0.29} x 9.81}$

= 0.0085

Data hasil perhitungan daya gelombang dengan menggunakan model diameter (Ø) 2.0 cm yang dapat dilihat pada tabel 8.

6. Daya Pompa

Daya pompa merupakan besarnya energi yang dikeluarkan pompa untuk memindahkan fluida. Berdasarkan teori pada bab 2, daya pompa dihitung menggunakan persamaan (9) Salah satu contoh perhitungan besarnya daya pompa pada model pompa diameter (Ø) 2.0 cm untuk menaikkan air pada ketinggian 34 cm dengan periode (T) 1.3 detik dan stroke 8 adalah sebagai berikut:

$$Dp = \frac{Q \times H \times \rho \times g}{\eta}$$

$$Dp = \frac{0.0000090 \times 0.34 \times 1000 \times 9.81}{0,085}$$

$$= 3.5178 \text{ N m/dtk}$$

Data hasil perhitungan daya gelombang dengan menggunakan model diameter (Ø) 2.0 cm yang dapat dilihat pada tabel 8.

7. Kecepatan Aliran

Berdasarkan debit yang dihasilkan oleh model pompa berdiameter (Ø) 2.0 cm pada kedalaman (d) 29 cm dengan periode (T) 1.3, stroke 8 dan tinggi pemompaan 34 cm. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$V = Q/A$$

$$= 0.0000090/0.000314$$

$$= 0.029 \text{ m/dtk}$$

Dimana :

V = kecepatan (m/dtk)

Q = debit (m^3/dtk)

A = luas penampang (m^2)

Data hasil perhitungan daya gelombang dengan menggunakan model diameter (Ø) 2.0 cm yang dapat dilihat pada tabel 8.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

8. Tinggi Tekanan Pompa

a. Tekanan hidrostatis

Berdasarkan persamaan (11) pada bab sebelumnya maka tekanan pompa dengan model pompa Ø 2.0 pada kedalaman (d) 29 cm, periode (T) 1.3, stroke 8 dan ketinggian pemompaan 34 cm adalah sebagai berikut :

1. Untuk outlet bawah

   $P = \rho \, x \, g \, x \, H$

   P = 1000 x 9.81 x 0.2076

   P = 2036.556 Pa

   Dimana :

   P = tekanan (Pa)

   ρ = massa jenis air (kg/m^3)

   H = ketinggian air (m)

2. Untuk outlet atas

   $P = \rho \, x \, g \, x \, H$

   P = 1000 x 9.81 x 0.169

   P = 1655.928 Pa

b. Tekanan akibat gaya

Tekanan pada pompa tidak hanya disebabkan oleh tekanan hidrostatis tapi juga dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada pompa. Adapun yang variabel yang mempengaruhi tekanan pompa yaitu berat pelampung untuk outlet bawah dan daya gelombang untuk outlet atas. Diketahui berat pelampung 1 kg di udara. Berikut perhitungan tekanan yang disebabkan oleh gaya :

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

1. Untuk outlet bawah

M = 1 kg

F = m x g = 1 x 9.81 = 9.81 N

A tabung = πr^2 = 3.14 x 0.01^2 = 0.000314 m^2

Sehingga : P = F/A = 9.81 / 0.000314

= 31242.038 Pa

2. Untuk outlet atas

Dw = 3.5178 N m/s

F = $\frac{Dw}{v}$ = $\frac{3.5178}{\sqrt{(9.81 \times 0.29)}}$ = 2.0856 kg m/s^2

A tabung = 0.000314 m^2

Sehingga : P = $\frac{F}{A\ piston}$

= $\frac{2.0856}{0.000314}$

= 6642.148 Pa

Maka total tekanan yang di hasilkan adalah sebagai berikut :

Untuk outlet bawah

P total = 2036.556 + 31242.038

= 33278.594 Pa

Untuk outlet atas

P total = 1655.928 + 6642.148

= 8298.076 Pa

Data hasil perhitungan daya gelombang dengan menggunakan model diameter (Ø) 2.0 cm yang dapat dilihat pada tabel 8.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Tabel 7. Hasil data perhitungan model pompa gelombang diameter tabung 2.0 cm, kedalaman (d) 29 cm, periode (T) 1.3 detik, untuk berat pelampung (Wb) 9.81 N.

Jenis Model	D	berat pelampung	T	H belakang model	H depan model	L	h piston atas	h piston bawah	strok	t	tinggi outlet	dv	dp	C outlet bawah	Q rata rata outlet bawah	Q	V	dv	ΠT	head	Tekanan	Q outlet atas	Q rata rata outlet atas	Q	V	dv	ΠT	head	Tekanan	Q total
cm	cm	kg	dtk	cm	cm	cm	cm	cm		detik	cm	N m/dtk	N m/dtk	ml/10 dtk	ml/10 dtk	m3/dtk	m/dtk	N m/dtk		m	Pa	ml/10 dtk	ml/10 dtk	m3/dtk	m/dtk	N m/dtk		m	Pa	m3/dtk
Diameter 2.0	29.00	1.00	1.30	7.30	7.50	1.85	1.88	2.76	8.00	10.00	34.00	3.5178	3.5178	90.30 88.40 91.10	89.97	0.0000090	0.029	0.030	0.0085	0.080	33278.594	37.20 38.70 34.10	36.67	0.0000037	0.012	0.01223	0.0035	0.0601	8298.076	0.0000127
											39.00	3.5178	3.5178	64.30 70.10 64.20	66.47	0.0000066	0.021	0.025	0.0072	0.071	33278.594	24.30 25.70 25.50	25.17	0.0000025	0.008	0.00963	0.0027	0.0558	8298.076	0.0000092
											44.00	3.5178	3.5178	52.30 50.40 53.10	51.93	0.0000052	0.016	0.022	0.0064	0.066	33278.594	20.00 21.60 20.90	20.53	0.0000021	0.007	0.00926	0.0025	0.0541	8298.076	0.0000072
											49.00	3.5178	3.5178	35.10 33.50 30.40	36.13	0.0000036	0.012	0.017	0.0049	0.060	33278.594	12.70 13.50 12.40	12.87	0.0000013	0.004	0.00618	0.0018	0.0512	8298.076	0.0000049
											54.00	3.5178	3.5178	25.40 25.20 25.40	25.63	0.0000026	0.008	0.014	0.0039	0.056	33278.594	7.80 8.00 7.40	7.73	0.0000008	0.002	0.00410	0.0012	0.0493	8298.076	0.0000033
											59.00	3.5178	3.5178	19.30 18.10 18.40	18.70	0.0000019	0.006	0.011	0.0031	0.053	33278.594	3.80 3.50 3.50	3.60	0.0000004	0.001	0.00208	0.0006	0.0477	8298.076	0.0000022
											64.00	3.5178	3.5178	14.10 14.40 12.20	13.63	0.0000014	0.004	0.009	0.0024	0.051	33278.594	0.00 0.00 0.00	0.00	0.0000000	0.000	0.00000	0.0000	0.0000	8298.076	0.0000014
											69.00	3.5178	3.5178	9.20 8.80 8.20	8.73	0.0000009	0.003	0.006	0.0017	0.050	33278.594	0.00 0.00 0.00	0.00	0.0000000	0.000	0.00000	0.0000	0.0000	8298.076	0.0000009
											74.00	3.5178	3.5178	3.40 3.90 2.50	3.27	0.0000003	0.001	0.002	0.0007	0.048	33278.594	0.00 0.00 0.00	0.00	0.0000000	0.000	0.00000	0.0000	0.0000	8298.076	0.0000003

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel lampiran 1-18.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

B. Pembahasan

Adapun hasil utnuk penelitian ini akan dituangkan dalam bentuk grafik yang akan dijelaskan sebagai berikut.

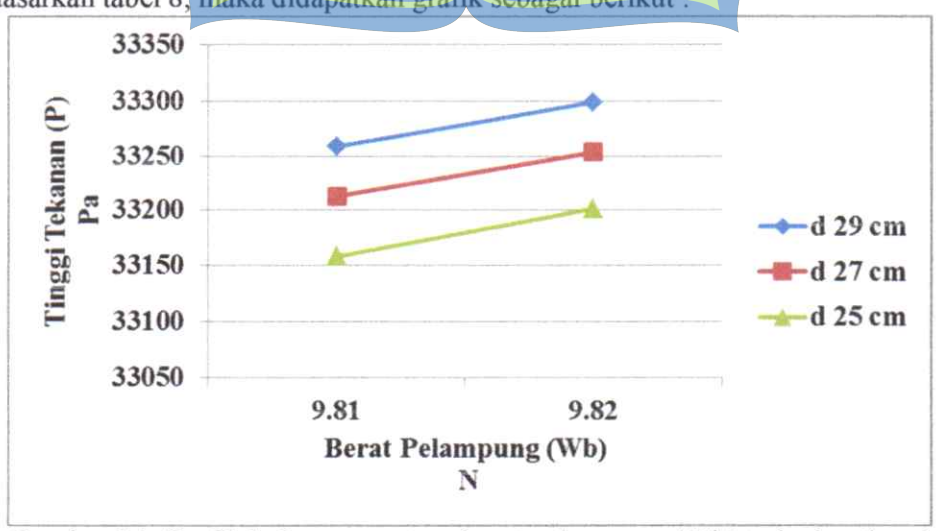
1. Pengaruh berat pelampung (Wb) terhadap tinggi tekanan (P) yang dihasilkan untuk kedalaman (d) 29 cm, (d) 27 cm dan (d) 25 cm

Dalam penelitian ini ada tiga variasi kedalaman (d) yang akan diamati yaitu kedalaman (d) 29 cm, 27 cm dan 25 cm. Dengan menggunakan diameter tabung (Ø) 2.0 cm. Variasi periode (T) yang digunakan yaitu periode (T) 1.3 detik, 1.4 detik dan 1.5 detik dengan menggunakan stroke 8 serta berat pelampung 9.81 N dan 9.82 N.

Tabel 8. Hasil perhitungan tinggi tekanan (P) untuk berat pelampung (Wb) 9.81 N dan 9.82 N

Berat Pelampung (N)	Tinggi Tekanan P (Pa)		
	d 29 cm	d 27 cm	d 25 cm
9.81	33258.647	33212.867	33158.225
9.82	33299.102	33253.261	33201.664

Berdasarkan tabel 8, maka didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 14. Grafik hubungan antara berat pelampung (Wb) terhadap tinggi tekanan (P)

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Berdasarkan gambar 14 menunjukan bahwa semakin besar berat pelampung maka semakin besar pula tinggi tekanan yang dihasilkan. Dan yang paling maksimal, dihasilkan pada berat pelampung 9.82 N dengan nilai tinggi tekanan sebesar 33299.102 Pa pada kedalaman (d) 29 cm.

2. Pengaruh periode (T) terhadap debit (Q) yang dihasilkan untuk kedalaman (d) 29 cm, (d) 27 cm dan (d) 25 cm

Dalam penelitian ini ada tiga variasi kedalaman (d) yang akan diamati yaitu kedalaman (d) 29 cm, 27 cm dan 25 cm. Dengan menggunakan diameter tabung (Ø) 2.0 cm. Variasi periode (T) yang digunakan yaitu periode (T) 1.3 detik, 1.4 detik dan 1.5 detik dengan menggunakan stroke 8.

Tabel 9. Hasil data perhitungan debit (Q) untuk periode (T) 1.3 detik, 1.4 detik dan 1.5 detik

kedalaman (d) cm	periode (T) detik	Debit m3/detik
29	1.3	0.0000090
	1.4	0.0000069
	1.5	0.0000059
27	1.3	0.0000072
	1.4	0.0000055
	1.5	0.0000046
25	1.3	0.0000056
	1.4	0.0000040
	1.5	0.0000032

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Berdasarkan tabel 9, maka didapatkan grafik sebagai berikut :

Gambar 15. Grafik hubungan antara periode (T) terhadap debit (Q) yang dihasilkan

Pada gambar 15, menunjukkan bahwa semakin rendah periode (T) maka semakin besar debit (Q) yang dihasilkan. Dimana debit (Q) tertinggi yang didapatkan yaitu pada periode (T) 1,3 dt pada kedalaman (d) 29 cm dengan debit (Q) sebesar 0.90 m3/detik x 10^-5 = 0.0000090 m3/detik.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah kami lakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh berat pelampung terhadap tinggi tekanan memperlihatkan hasil bahwa semakin besar berat pelampung maka semakin besar pula tinggi tekanan yang dihasilkan. Dan data yang paling maksimal, dihasilkan pada berat pelampung 9.82 N dengan nilai tinggi tekanan sebesar 33299.102 Pa pada kedalaman (d) 29cm.
2. Adapun parameter yang mempengaruhi pompa gelombang tipe pelampung adalah tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), panjang gelombang (L), tinggi tekanan (P), berat pelampung (Wb) dan debit (Q).

B. Saran

Pada penelitian ini jauh dari sempurna, maka dari itu kami menyarankan penelitian ini masih perlu dikaji untuk beberapa parameter berikutnya :

1. Variasi terhadap diameter model, kedalaman air, serta diameter tabung yang berbeda sehingga diharapkan ada penelitian lain yang mengkaji lebih lanjut.
2. Pembacaan gelombang sebaiknya menggunakan pembacaan secara otomatis, hal ini dikarenakan pada pembacaan manual cenderung memiliki banyak kesalahan saat pembacaan mistras pada *flume*.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah Al Mahfazur Rahman, Md. Moniruzzaman, M. Al Mamun. *Estimation of Energy Potential of Point Absorber Buoy type Wave Energy Converter (Estimasi Potensi Energi Point Absorber Konverter Energi Gelombang tipe pelampung)*. 2017.

Almaarif Fahrey Nuh, Wiwiek Hendrowati. *Studi Eksperimental Energi Listrik yang Dihasilkan oleh Mekanisme Ocean Wave Energy Harvester Tipe Pelampung Bola dengan Metode Cantilever Piezoelectric.* JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 2 (2016) ISSN: 2337-3539.

A.S. Koraim. *Hydrodynamic efficiency of suspended horizontal rows of half pipes used as a new type breakwater.* 2013.

A. Thahaa, F. Maricara, A. F. Aboea, A.I.Dwipuspita. *The Breakwater, From Wave Breaker To Wave Catcher*. 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2015) Published by Elsevier.

Budi Haryanto, Radianta Triatmadja, Nizam. *Optimasi Pompa Air Laut Energi Gelombang.* TEKNOSAINS 16(B), Mei 2003.

Danu Ardiyanto, Jondri, Annisa Aditsania. *Pelacakan Keluaran Sistem Linear Pompa Piston Tunggal Dengan Kontrol Panjang Batang Penghubung Pelampung Dan Piston.*

Dean, R. G., Dalrymple, R. A. *Wave Characteristics.* 1992.

Department of the Interior. *Wave Energy Potential on the U.S.* Outer Continential Shelf, United States. 2006.

Diego Vicinanza, Fabio Dentale, Daniela Salerno, Mariano Buccino. *Structural Response of Seawave Slot-cone Generator (SSG) from Random Wave CFD Simulations.* Proceedings of the Twenty-fifth (2015) International Ocean and Polar Engineering Conference Kona, Big Island, Hawaii, USA, June 21-26, 2015.

Dwiyono Teguh. *Pengaruh Variasi Besar, Tinggi Gaya Tekan dan Kemiringan Pipa Output terhadap Head pada Alat Peraga Hukum Pascal untuk Menaikkan Elevasi Muka Air.* 2006.

Dwi Prasetio Utomo, Muhammad Agus Sahbana, Nova Risdiyanto Ismail. *Perbedaan Diameter Pelampung Terhadap Kinerja Ocean Wave Energy Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik.*

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Fitri Riandini, dkk, *PengembanganTeknologi Pemanfaatan Energi Gelombang Laut.* DSMIIP .16 03103.1/La-P ANT AI/2014, PUSLITBANG SUMBER DAYA AIR. 2014.

Haryanto, B., Triatmadja, R., & Nizam. *Optimasi Pompa Air Laut Energi Gelombang.* Teknosains; Volume XVI(2) 2003.

Helmizar, Endry Setiawan, Agus Nuramal. *Karakteristik Aliran Pada Susunan Pompa Yang Berbeda Head Secara Seri Dan Paralel.* Jurnal REKAYASA MEKANIK Vol. 3 No. April 2019.

I M. A Mahardiananta, R. S. Hartati , A. Dharma. *Analisa Potensi Energi Pasang Surut Air Laut di Selat Pulau Serangan.* E-Journal SPEKTRUM Vol. 4, No. 1 Juni 2017.

I Putu Samskerta, Juventus W.R. Ginting, Sudarta. *Pemanfaatan Energi Gelombang Laut Dengan Pompa Gelombang Flap Horisontal.* Balai Pantai-Puslitbang Sumber Daya Air. 2014

Joy Ferdinand Ludji, Verdy A. Koehuan, Nurhayati. *Analisis Efisiensi Sistem Osilator Kolom Air sebagai Pembangkit Daya Tenaga Gelombang Laut.* LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana, Vol. 01, No. 02, Oktober 2014.

Juventus Welly Ginting, I Ketut Dharma Setiawan. *Kinerja Prototipe Papan Osilasi Pada Pompa Flap Tenaga Gelombang Untuk Pemanfaatan Mata Air Di Pantai Banyu Asri, Kota Singaraja – Bali.* Jurnal Teknik Hidraulik Vol. 9 No.2, November 2018: 85 – 98.

Masjono Muchtar, Salama Manjang, Dadang A Suriamiharja, M. Arsyad Thaha. *Kinerja Model Fisik Konverter Energi Ombak Rangkaian Gear Searah pada Periode Ombak yang Bervariasi.* JURNAL MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL VOLUME 22, NO. 2, DESEMBER 2016.

McCormick. *Ocean Wave Energy Conversion.* John Wiley & Sons. New York. 1981.

M.Naquib, M.Arsyad Thaha, Farouk Maricar. *Kajian Refleksi Gelombang Pada Bangunan Multi Fungsi Pelindung Pantai Dan Pembangkit Listrik.* 2014.

Muhammad Naquib, M. Arsyad Thaha, Farouk Maricar. *Kajian Refleksi Gelombang Pada Bangunan Multi Fungsi Pelindung Pantai Dan Pembangkit Listrik.* 2015.

Munson R. Bruce, dkk. *Mekanika Fluida Edisi Ke 4 Jilid 2.* Erlangga. Jakarta. 2005.

Mustakim. *Pengaruh Kecepatan Sudut Terhadap Efisiensi Pompa Sentrifugal Jenis Tunggal.* Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro TURBO Vol. 4 No. 2. 2015, p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2477-250X.

Ricardo M. Lopulalan, Sardono S arwito, Eddy S. Koenhardono. *Desain Blade Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut di Banyuwangi Berbasis CFD.* JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2. 2016.

Soebyakto. *Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Sistem Osilator.* Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) – Jakarta. 2015.

Siliman. Thesis: Studi Efisiensi Pompa Air Laut Energi Gelombang Tipe Flap. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 2001.

Triatmodjo, B. *Mekanika Fluid.* PAU UGM. Yogyakarta. 1993.

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

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

Triatmodjo, B. *Hidraulika II Cetakan Ke-7.* Yogyakarta: Beta Offset. 2008.

US Army Corps of Engineers. *Coastol Engineering Manual.* US Army Corps of Enginers. USA. 2006.

Yuwono, Nur. *Perencanaan Model Hidrolik (Hydraulic Modelling). Laboratorium Hidrolik dan Hidrologi.* Pusat Antar Universitas IlmuTeknik-UGM. Yogyakarta. 1996.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN