

SISTEM PEREDAM GETARAN GELOMBANG LAUT UNTUK INSTALASI UNDERWATER CAMERA PADA POINT ABSORBER

Rifka Hana Indraswari¹, Joga Dharma Setiawan², Toni Prahasto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudarto, SH –Tembalang, Semarang 50275 Telp. (024) 7460059

*E-mail : rifkaindraswari01@gmail.com

Abstract

Indonesia is a country with a large marine area and has abundant natural resources (SDA) in the form of coral reefs. Coral reefs need to be preserved, one of which is by monitoring using an underwater camera mounted on a marine vehicle, which in this case uses a point absorber. A component in the form of a compression spring is added to the structure of this point absorber prototype. The compression spring that has been designed according to the formulation, then validated the stiffness value by testing. The main part of the point absorber consists of: buoy, spar, and heave plate. In this application with the aim of reducing the underwater camera oscillation, the part that is directly connected to the underwater camera is the heave plate. The test is carried out by pairing the heave plate test setup with 2 variations in size and using a wave simulator. The wave simulator provides input in the form of amplitude and frequency of oscillations. This test uses a 53 cm (length) x 38 cm (width) x 33 cm (height) water container. The depth sensor is used to read the heave plate position. From the results of testing the heave plate with a diameter of 22 cm, at an input amplitude of 4 cm the heave plate begins to be damped at a frequency of 0.4 Hz. At the input amplitude of 3 cm and 2 cm, the heave plate begins to be damped at a frequency of 0.5 Hz. At the input amplitude of 1 cm, the heave plate begins to be damped at a frequency of 0.6 Hz. At the input amplitude of 0.5 cm, the heave plate begins to be damped at a frequency of 0.3 Hz. From the test results of 33 cm heave plate, at input amplitudes of 4 cm, 3 cm, 2 cm, and 1 cm, the heave plate begins to be damped at a frequency of 0.3 Hz. And at the input amplitude of 0.5 cm, the heave plate begins to be damped at a frequency of 0.4 Hz.

Keywords: heave plate; pegas tekan; sistem peredam getaran; underwater camera

Abstrak

Indonesia adalah negara dengan wilayah laut yang luas dan mempunyai sumber daya alam (SDA) berupa terumbu karang yang melimpah. Terumbu karang perlu dijaga kelestariannya, salah satunya dengan melakukan pemantauan menggunakan *underwater camera* yang dipasangkan pada wahana laut, yang dalam hal ini menggunakan *point absorber*. Komponen berupa pegas tekan ditambahkan dalam struktur prototipe *point absorber* ini. Pegas tekan yang telah didesain sesuai formulasi rumus, kemudian divalidasi nilai kekakuannya dengan pengujian. Bagian utama *point absorber* terdiri atas: *buoy*, *spar*, dan *heave plate*. Dalam aplikasi dengan tujuan peredaman *underwater camera* ini, bagian yang terhubung langsung dengan *underwater camera* adalah *heave plate*. Pengujian dilakukan dengan memasang *setup* uji *heave plate* 2 variasi ukuran dan menggunakan *wave simulator*. *Wave simulator* memberikan masukan berupa amplitudo dan frekuensi osilasi. Pengujian ini menggunakan kontainer air berukuran panjang lebar tinggi sebesar 53 cm x 38 cm x 33 cm. Sensor kedalaman digunakan untuk membaca posisi *heave plate*. Dari hasil pengujian *heave plate* diameter 22 cm, pada amplitudo input 4 cm *heave plate* mulai teredam pada frekuensi 0,4 Hz. Pada amplitudo input 3 cm dan 2 cm, *heave plate* mulai teredam pada frekuensi 0,5 Hz. Pada amplitudo input 1 cm, *heave plate* mulai teredam pada frekuensi 0,6 Hz. Pada amplitudo input 0,5 cm, *heave plate* mulai teredam pada frekuensi 0,3 Hz. Dari hasil pengujian *heave plate* diameter 33 cm, pada amplitudo input 4 cm, 3 cm, 2 cm, dan 1 cm, *heave plate* mulai teredam pada frekuensi 0,3 Hz. Dan pada amplitudo input 0,5 cm, *heave plate* mulai teredam pada frekuensi 0,4 Hz.

Kata kunci: *heave plate*; pegas tekan; sistem peredam getaran; *underwater camera*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terbentang dari Sabang sampai Merauke. Indonesia memiliki 17.499 pulau dengan luas total wilayah Indonesia sekitar 7,81 juta km². Dari total luas wilayah tersebut, 3,25 juta km² merupakan lautan dan 2,55 juta km² adalah ZEE (Zona Ekonomi Eksklusif). Hanya sekitar 2,01 juta km² yang berupa daratan. Dengan luasnya wilayah laut yang ada, Indonesia memiliki potensi kelautan dan perikanan yang besar. Perikanan

adalah salah satu sektor yang diandalkan untuk pembangunan nasional. Pada tahun 2019, nilai ekspor hasil perikanan Indonesia mencapai Rp 73.681.883.000 dimana nilai tersebut naik 10,1% dari hasil ekspor tahun 2018. Hasil laut seperti tuna, udang, cumi-cumi, gurita, rajungan, serta rumput laut merupakan komoditas yang dicari. Banyaknya hasil produksi perikanan di Indonesia perlu dipertahankan dan dijaga. Tanpa pengelolaan dan pengawasan yang baik, perikanan di Indonesia rentan terjadi pelanggaran [1].

Indonesia sebagai negara maritim mempunyai potensi di bidang kelautan yang cukup besar dan perlu dikembangkan dan dikelola dengan baik. Dalam hal ini, Indonesia mempunyai luas wilayah perairan sebesar 3.257.483 km² dengan panjang garis pantai 99.093 km². Di sepanjang garis pantai dan sekeliling pulau-pulau yang ada terdapat ekosistem terumbu karang yang mempunyai banyak peranan namun rentan terhadap perubahan. Berdasarkan citra satelit, diperkirakan luasan terumbu karang di Indonesia adalah 2,5 juta hektar. Secara umum, ekosistem terumbu karang mempunyai banyak peranan, baik dari segi ekologi maupun sosial ekonomi. Dari segi ekologi, terumbu karang merupakan habitat bagi banyak biota laut yang merupakan sumber keanekaragaman hayati. Selain itu, terumbu karang merupakan tempat memijah, mencari makan, dan berlindung bagi ikan-ikan, sehingga kondisi terumbu yang baik mampu meningkatkan produktivitas perikanan. Terumbu karang juga merupakan tempat dihasilkannya berbagai macam senyawa penting untuk bahan suplemen maupun obat-obatan, terutama dari biota-biota *benthos* yang berasosiasi. Terumbu karang juga mampu melindungi pantai dari ancaman abrasi. Dari segi sosial ekonomi, pendapatan masyarakat pesisir dapat meningkat baik itu dari hasil perikanan maupun dari wisata bahari. Mengingat begitu besar manfaat yang diberikan, sudah seharusnya terumbu karang mendapatkan perhatian yang lebih baik dari pemerintah, masyarakat, LSM, kalangan pengusaha maupun politisi. Informasi status kondisi terumbu karang terkini adalah sangat penting untuk diketahui karena dapat menjadi bahan pertimbangan dalam mengambil keputusan untuk pengelolaan ekosistem yang lestari dan berkelanjutan [2].

Dari pentingnya keberadaan terumbu karang maka dibutuhkan cara-cara dan upaya untuk mengawasi dan menjaga kelestarian terumbu karang di Indonesia. Salah satunya dengan melakukan pemantauan menggunakan *underwater camera* yang dipasangkan pada *point absorber*. *Point absorber* merupakan sebuah alat yang beresilasi dikarenakan gelombang laut [3], [4], [5]. *Underwater camera* adalah kamera yang dioperasikan di dalam air. *Underwater camera* yang digunakan dalam penelitian ini dapat memantau kondisi terumbu karang secara *real-time* dan dapat diakses dari mana saja serta kapan saja.

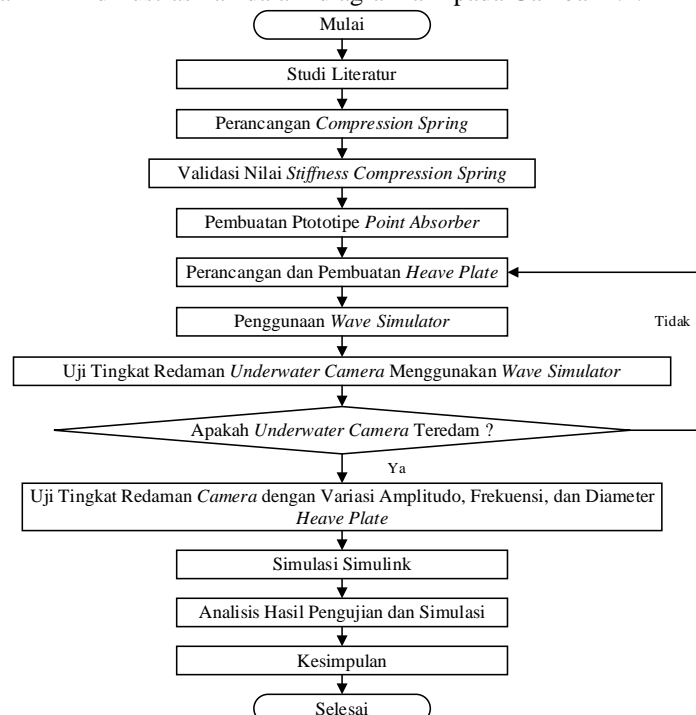
Sistem peredam getaran digunakan untuk menekan dan meredam getaran yang tidak diinginkan. Adapun getaran ini bersumber dari gelombang laut. Perangkat yang terdiri dari pegas tekan (*compression spring*) dan komponen mekanik ini akan dipasangkan pada *underwater camera* dan *point absorber*. Kemudian diatur sedemikian supaya alat mempunyai kinerja yang optimal. Selanjutnya dengan sistem peredam getaran atau *vibration suppression* ini diharapkan dapat menstabilkan gerakan *underwater camera* sehingga didapatkan kualitas video yang baik untuk dokumentasi dan pemantauan area terumbu karang di perairan Indonesia.

2. Metode penelitian

Berikut merupakan urutan metode penelitian yang dilakukan.

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dalam tugas akhir ini diilustrasikan dalam diagram alir pada Gambar 1.1.



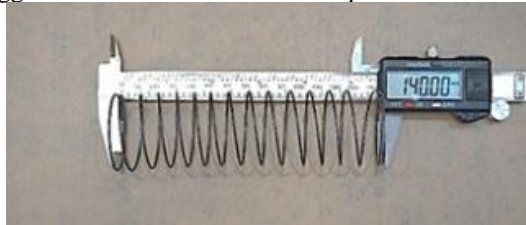
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Langkah awal penelitian ini adalah studi literatur untuk mencari referensi terkait perancangan pegas tekan, pembuatan prototipe *point absorber*, dan dasar teori pemodelan *underwater camera* pada *point absorber*. Kemudian dilakukan pembuatan pegas tekan yang diawali dengan perancangan pegas tekan (*helical compression spring*) berdasarkan referensi rumus, dengan pertimbangan nilai massa dan frekuensi pribadi mengacu pada karakteristik gelombang laut. Kemudian menyerahkan ke pihak manufaktur, dalam hal ini kepada PT Prima Persada Spring, Kudus. Validasi nilai *stiffness* pegas tekan dilakukan dengan memberikan variasi beban dan mencatat perubahan panjang pegas. Prosedur ini sesuai dengan referensi pengujian *compression spring* [6], [7], dan [8]. Hasil terukur dibandingkan dengan nilai/variabel dari hasil perancangan. Langkah selanjutnya adalah pembuatan prototipe *point absorber* yaitu dengan pembuatan bagian utama *point absorber* (*buoy*, *spar*, dan *heave plate*), penempatan sensor kedalaman, penempatan sensor jarak, dan penempatan *underwater camera*. Adapun *heave plate* dirancang dan dibuat sesuai dengan ukuran (diameter) yang sudah ditentukan. Dalam penelitian ini menggunakan *heave plate* dengan diameter 22 cm dan 33 cm. *Wave simulator* digunakan sebagai perangkat untuk pengujian *underwater camera* pada *point absorber* dengan memberikan input variasi nilai amplitudo dan frekuensi. Data hasil pembacaan sensor kemudian diolah dan dimasukkan dalam Matlab untuk mengetahui nilai *ouputnya*. Simulasi dinamika *point absorber* menggunakan *software* Matlab Simulink dilakukan untuk mengetahui pengaruh amplitudo, frekuensi, dan diameter *heave plate* terhadap tingkat redaman *underwater camera*. Langkah terakhir adalah menganalisis hasil yang didapatkan dari pengujian atau eksperimen dengan simulasi.

2.2 Pengujian *Stiffness* Pegas Tekan (*Compression Spring*)

Pengujian kekakuan pegas tekan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengukur panjang awal pegas menggunakan *vernier caliper*. Langkah pertama adalah melakukan pengukuran panjang awal pegas X_0 menggunakan mistar dan *vernier caliper*.



Gambar 2. Pengukuran Panjang Awal Pegas

2. Memasangkan pegas pada alat uji.

Langkah kedua adalah dengan memasangkan pegas ke alat uji yaitu pada bagian *stainless shaft*. Bagian atas dan bawah pegas ditumpu oleh plat akrilik.



Gambar 3. Pemasangan Pegas Pada Alat Uji

(a) Tampak Depan, (b) Tampak Samping, (c) Tampak Isometris

3. Mengatur *setup* alat

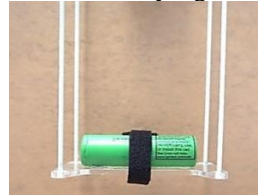
Langkah ketiga yang dilakukan adalah menyiapkan *setup* alat untuk pengujian *compression spring*. Alat diletakkan di atas meja dan diatur sedemikian supaya bagian bawah tidak menyentuh lantai.



Gambar 4. Setup Uji Pegas Tekan

4. Pemberian variasi beban

Setelah mengatur *setup*, langkah selanjutnya adalah pemberian beban. Beban ditempatkan pada slot yang terpasang rigid dengan plat akrilik atas. Variasi beban yang diberikan antara 0,17 sampai 0,27 kg.



Gambar 5. Pemberian Beban



Gambar 6. Setup Pembebanan

5. Mengukur perubahan panjang pegas.

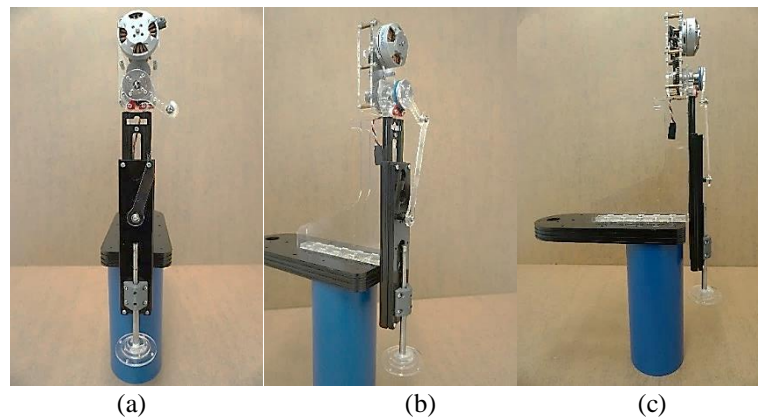
Setelah diberikan beban, panjang pegas diukur kembali menggunakan mistar. Nilai panjang pegas yang didapatkan adalah nilai panjang akhir X_t dan selanjutnya dihitung perubahan panjang pegas yaitu $\Delta X = X_0 - X_t$



Gambar 7. Pengukuran Panjang Akhir Pegas

2.3 Penggunaan Wave Simulator

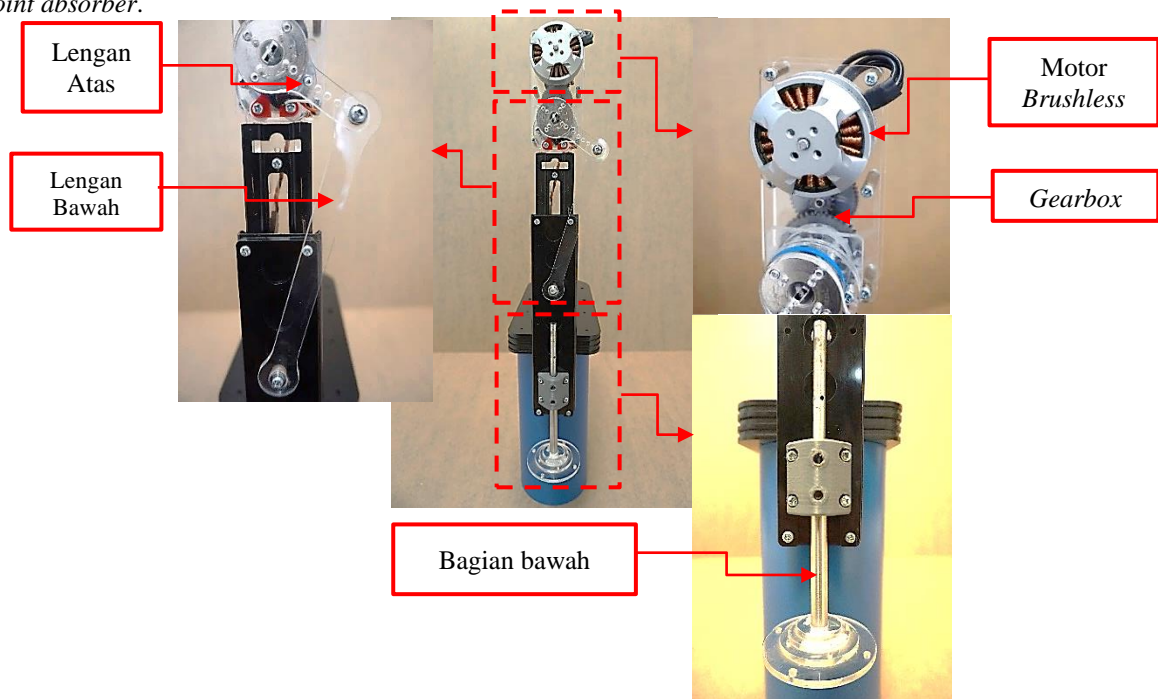
Wave simulator dalam penelitian ini berfungsi sebagai alat uji untuk mengosilasi *point absorber*. Struktur mekanik alat *wave simulator* terbuat dari bahan akrilik (hitam dan bening), *stainless shaft*, dan 3D print.



Gambar 8. Wave Simulator (a) Tampak Depan, (b) Tampak Isometris, (c) Tampak Samping

Putaran motor *brushless* diteruskan menuju *gearbox* dan menggerakkan *linkage* (lengan atas) sehingga lengan atas ikut berputar. Gerakan rotasi lengan atas akan menggerakkan lengan bawah. Lengan bawah terhubung dengan plat hitam yang selanjutnya berosilasi arah vertikal. *Linkage* pada *wave simulator* mengubah gerakan rotasi motor menjadi gerakan translasi yang diteruskan ke pegas kemudian ke bagian *spar*. Akibatnya struktur terosilasi naik turun.

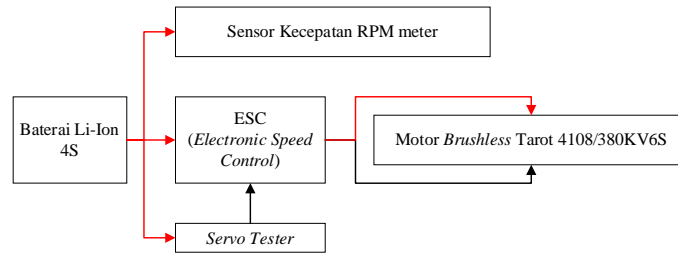
Amplitudo osilasi dapat disesuaikan dengan mengatur pin/baut pada *joint linkage*. Pada *wave simulator* ini memiliki amplitudo maksimum dibuat sebesar 4 cm (0,04 m). Adapun bagian bawah *wave simulator* terhubung langsung dengan *point absorber*.



Gambar 9. Bagian-Bagian Wave Simulator

Pengaturan frekuensi osilasi dilakukan dengan mengatur kecepatan putaran motor. Adapun pengoperasian *wave simulator* ini menggunakan *servo tester*. Komponen-komponen elektronika yang digunakan digambarkan dalam skematik diagram, seperti terlihat pada Gambar 10. Tanda panah merah menandakan aliran sinyal listrik (*power supply*).

— Aliran Sinyal Data
 — Aliran Arus Listrik



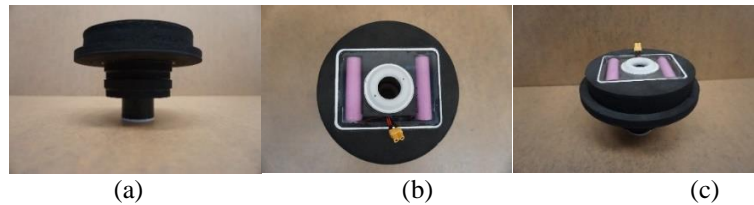
Gambar 10. Skematik Diagram Komponen Elektronika *Wave Simulator*

2.4 Pembuatan Prototipe *Point Absorber*

Proses pembuatan prototipe *point absorber* dibagi menjadi tiga tahapan: pembuatan kerangka utama, penempatan sensor kedalaman (*depth sensor*), dan penempatan *underwater camera*.

2.4.1 Pembuatan Kerangka Utama

Kerangka utama pada prototipe *point absorber* terdiri dari *buoy*, *spar* dan *heave plate*. *Buoy* terbuat dari material *evafoam* berwarna hitam.



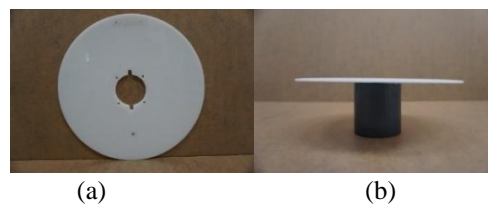
Gambar 11. *Buoy* (a) Tampak Depan, (b) Tampak Atas, (c) Tampak Isometrik

Silinder atau *spar* dalam prototipe ini menggunakan material *carbon fiber hollow* dengan ukuran diameter 2 cm dan panjang 40 cm.



Gambar 12. *Spar*

Komponen *heave plate* menggunakan material akrilik putih dengan tebal 3 mm. Dalam penelitian ini menggunakan 2 macam ukuran *heave plate* yaitu diameter 22 cm dan 33 cm. *Heave plate* disatukan dengan *spar* menggunakan mur, baut, dan konektor berbahan akrilik.



Gambar 13. *Heave Plate* (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan

2.4.2 Penempatan Sensor Kedalaman

Penempatan sensor kedalaman pada struktur diletakkan di bagian bawah *heave plate*. Posisinya seperti terlihat pada Gambar 14.

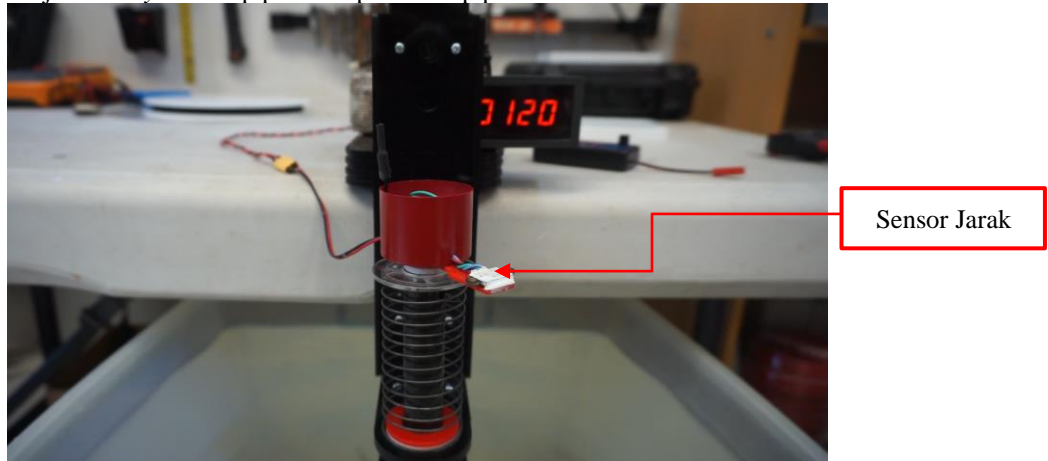


Gambar 14. Penempatan Sensor Kedalaman

Uji karakteristik sensor kedalaman dilakukan dengan menurunkan struktur pada kedalaman tertentu, kemudian dilihat nilai (*value*) yang muncul. Hasilnya berupa grafik dalam format (.csv) yang selanjutnya diolah dalam Ms Excel dan sebagai acuan penentuan posisi yang terbaca pada sensor.

2.4.3 Penempatan Sensor Jarak ToF

Sensor jarak ToF ditempatkan pada plat akrilik mengarah ke permukaan *buoy* bagian atas. Hasil pengukuran sensor adalah representasi jarak *buoy* terhadap plat atas pada setiap perubahan waktu.



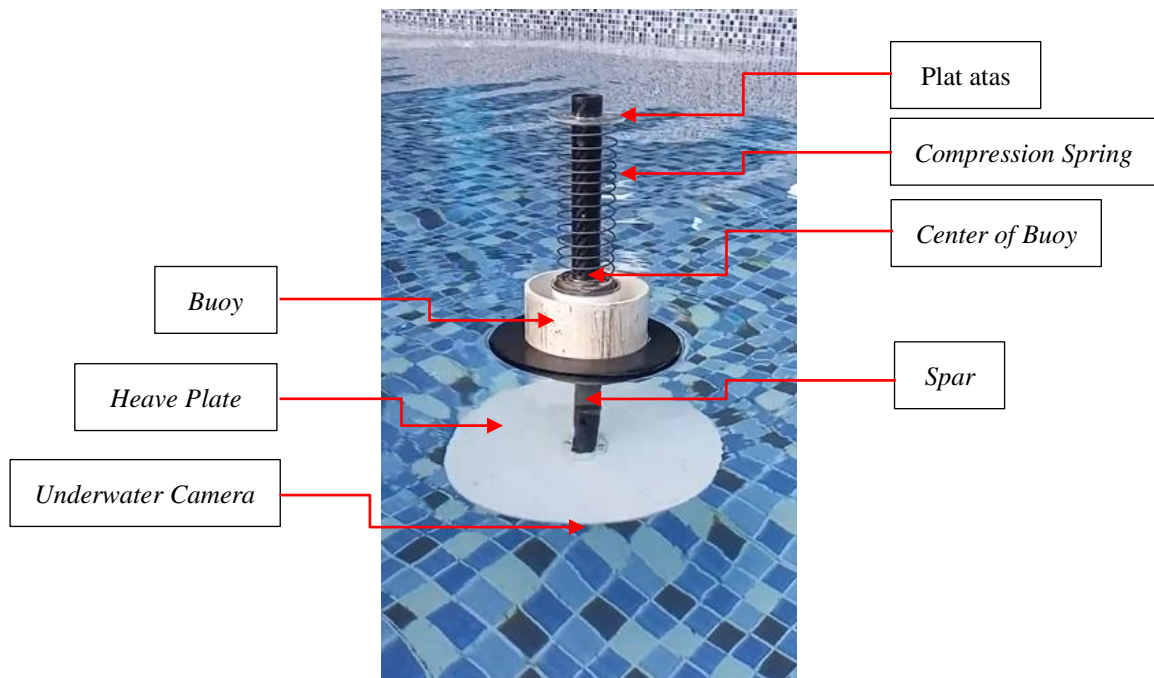
Gambar 15. Penempatan Sensor Jarak

2.4.4 Penempatan Underwater Camera

Underwater camera dipasangkan sejajar dan menempel pada bagian bawah *heave plate*. Ditambahkan sekat akrilik dan diberi lem untuk merekatkan *camera* dengan *heave plate*. *Underwater camera* ditempatkan dalam wadah silinder yang terbuat dari material *Poly Vinyl Chloride* (PVC) berukuran diameter 1,5 cm dan panjang 3 cm. Kabel-kabel diatur sedemikian sehingga tertata rapi.

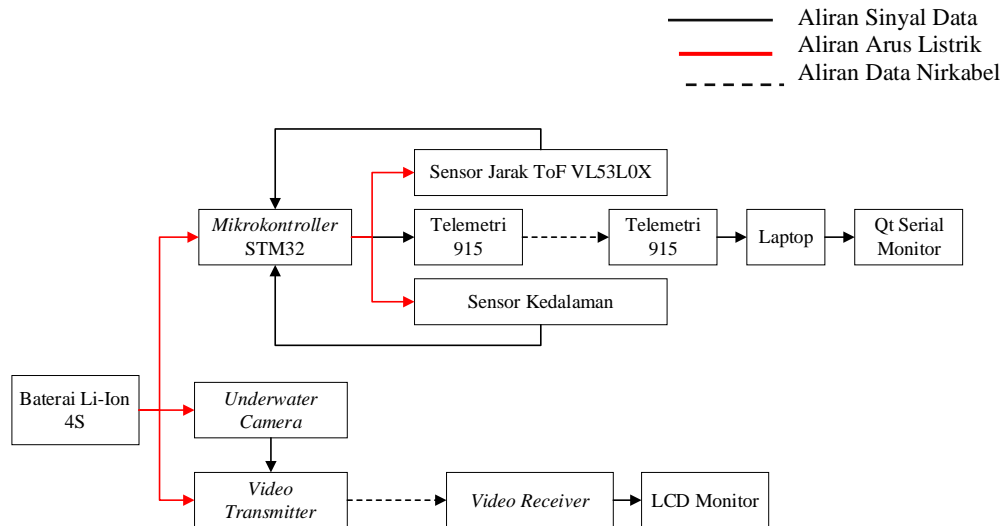


Gambar 16. Penempatan Underwater Camera



Gambar 17 Prototipe Point Absorber

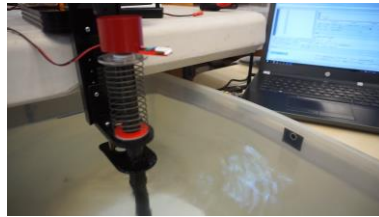
Gelombang air atau *ocean wave* mengakibatkan *buoy* bergerak naik turun. Sensor jarak ToF mengukur jarak titik O (*center of buoy*) terhadap plat atas (titik A). Skema diagram elektronika *point absorber* dapat dilihat pada Gambar 18. Dalam diagram tersebut garis berwarna merah menunjukkan aliran arus listrik, garis warna hitam menunjukkan aliran sinyal/data menggunakan kabel, dan garis putus-putus menunjukkan transfer data secara nirkabel.



Gambar 18. Skema Diagram Komponen Elektronika *Point Absorber*

2.5 Uji Coba dengan Variasi Amplitudo, *Heave Plate*, dan Frekuensi

Pengujian dilakukan dengan memasang struktur *heave plate* pada *wave simulator* seperti pada [9] dan [10]. Sensor kedalaman membaca posisi *heave plate* dalam air. Pengujian ini menggunakan kontainer air berdimensi 80 cm x 50 cm x 60 cm. Rata-rata setiap variasi frekuensi diambil data selama 2 menit.



Gambar 19. Setup Alat Saat Pengujian

2.6 Akuisisi Data

Akuisisi data menggunakan *software Qt Serial Monitor*. Langkah-langkah dalam akuisisi data adalah:

- Tancapkan USB telemetri ke laptop



Gambar 20. USB Telemetri ke Laptop

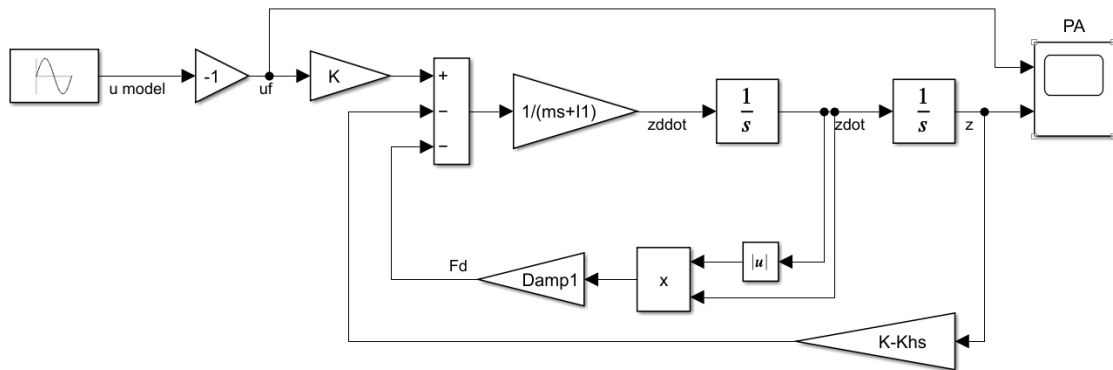
- Pilih *device* yang terkoneksi dengan *port* USB laptop.
- Klik pada kotak *baudrate* dan pilih *baudrate* sebesar 57600.
- Klik *connect* untuk menyambungkan perangkat dengan *software*.
- Klik pada kotak “*export to csv*” untuk mengeksport data *record*.
- Simpan data hasil *record* ke folder tujuan. Data disimpan dalam format (.csv).
- Setelah selesai klik pada kotak “*disconnect*”.

2.7 Pemodelan *Point Absorber* dengan Simulink

Pemodelan *point absorber* di Simulink dapat dilihat pada Gambar 21. Dari referensi [8] dan [9] dapat disusun persamaan gerak (*equation of motion*) dalam pemodelan ini adalah:

$$\underbrace{(m_s + I)}_{F_i} \ddot{z} + \underbrace{\left(\frac{1}{2}\rho C_d A |\dot{z}|\right)}_{F_d} \dot{z} + \underbrace{(k - k_{hs})}_{F_{HS}} z = \underbrace{k}_{F_k} u_f \quad (3.1)$$

$$\ddot{z} = \frac{1}{ms+1} \cdot (k \cdot u_f) - \left(\frac{1}{2} \rho C_d A |\dot{z}| \right) \dot{z} - (k - k_{hs})z \quad (3.2)$$



Gambar 21. Pemodelan Simulink Point Absorber

Pemodelan *point absorber* pada Simulink dilakukan menggunakan 3 metode:

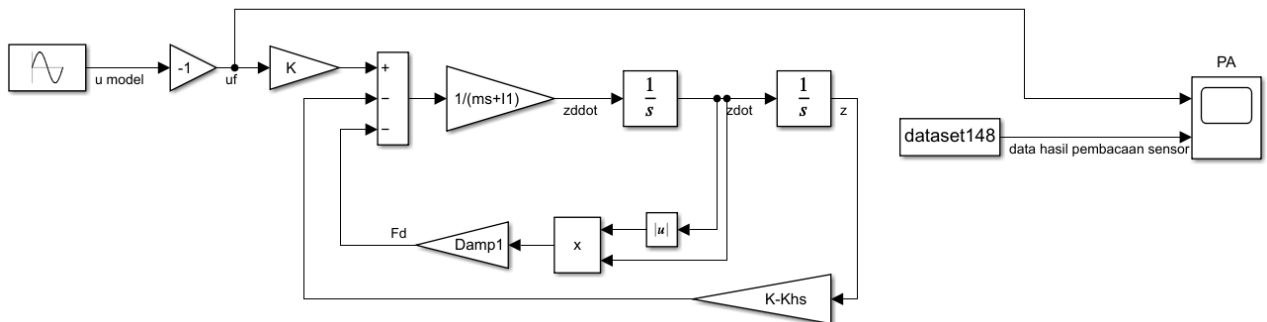
- Asumsi *added mass* versi Tao dan V_R Tao
- Asumsi *added mass* versi Tao dan V_R Elips
- Asumsi *added mass* versi DNV dan V_R DNV

Output dari pemodelan Simulink adalah plot perbandingan posisi gelombang *input* (U_{model}) dengan posisi *underwater camera* (z). Adapun parameter yang divariasikan antara lain: amplitudo osilasi, frekuensi, dan diameter *heave plate*.

2.8 Pembacaan Data Hasil Eksperimen dengan Simulink

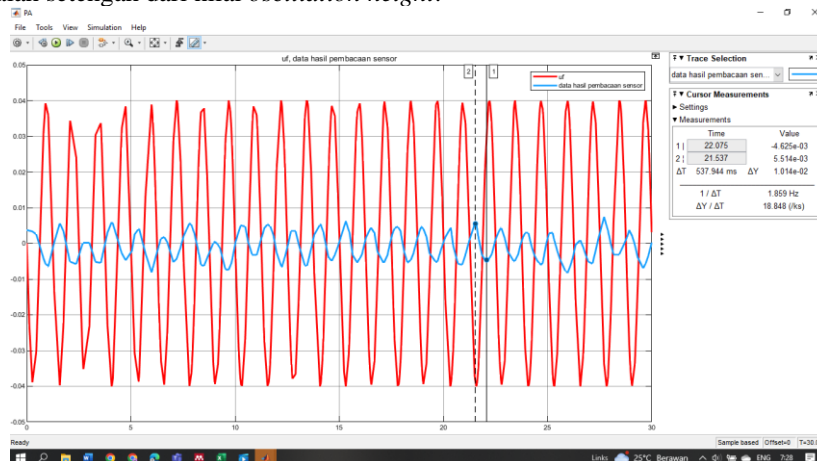
Data yang sudah diolah dalam Ms Excel kemudian dimasukkan ke dalam Simulink dengan kode:

```
dataset = xlsread('namafile.xlsx', 'namasheet', 'rangedata');
```



Gambar 22. Pemodelan Hasil Eksperimen dalam Simulink

Untuk mengetahui nilai *amplitudo output*, dengan cara melihat nilai *oscillation height* pada kotak *measurement*. Besaran amplitudo adalah setengah dari nilai *oscillation height*.



Gambar 23. Data Hasil Eksperimen dalam Simulink

2.9 Parameter Target Output

Gerakan *underwater camera* dikategorikan teredam jika amplitudonya dibandingkan dengan amplitudo gelombang *input* yang berasal dari *wave simulator* minimal sebesar 50%. Nilai maksimal amplitudo *underwater camera* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Target Amplitudo Output

Amplitudo Input Y (cm)	X/Y	Amplitudo Output X (cm)
4	50%	≤ 2
3	50%	≤ 1,5
2	50%	≤ 1
1	50%	≤ 0,5
0,5	50%	≤ 0,25

3. Hasil dan Pembahasan

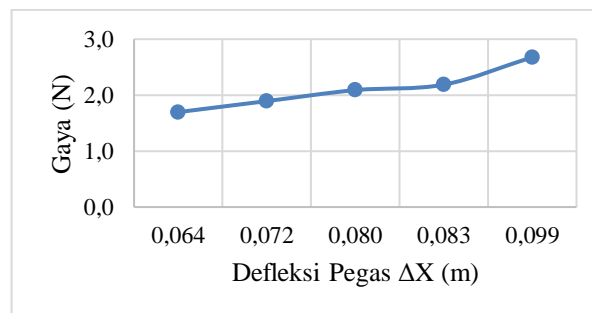
Hasil pengujian pegas tekan, eksperimen *heave plate*, dan simulasi Simulink adalah sebagai berikut.

3.1 Hasil Uji Stiffness Pegas Tekan

Hasil pengujian pegas tekan (*compression spring*) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Pegas Tekan

Panjang Awal X_0 (m)	Panjang Akhir X_t (m)	ΔX (m)	Beban (kg)	F (N)	k (N/m)
0,14	0,076	0,064	0,17	1,7	26,5
0,14	0,068	0,072	0,19	1,9	26,4
0,14	0,060	0,080	0,21	2,1	26,2
0,14	0,057	0,083	0,22	2,2	26,3
0,14	0,041	0,099	0,27	2,7	27,1



Gambar 24. Grafik Gaya Terhadap Defleksi Pegas

- Nilai kekakuan pegas dari pengujian
 Nilai kekakuan pegas yang didapatkan pada lima variasi pembebanan kemudian dihitung rata-ratanya:

$$k_{eksperimen} = \frac{26,5 + 26,4 + 26,2 + 26,3 + 27,1}{5}$$

$$k_{eksperimen} = 26,5 \text{ N/m}$$

- Nilai kekakuan pegas dari perhitungan perancangan *compression spring*.
 Diketahui nilai parameter-parameter pegas sebagai berikut:

$$d = 0,0012 \text{ m}$$

$$D = 0,039 \text{ m}$$

$$N = 13$$

$$G = 75 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

Maka nilai kekakuan pegas dapat dihitung dengan rumus:

$$k_{desain} = \frac{d^4 G}{8D^3 N}$$

$$k_{desain} = \frac{(0,0012)^4 \cdot 75 \times 10^9}{8(0,039)^3 \cdot 13}$$

$$k_{desain} = 25,6 \text{ N/m}$$

- Persentase error:

$$Error = \left| \frac{k_{desain} - k_{eksperimen}}{k_{eksperimen}} \right| \times 100$$

$$Error = \left| \frac{25,6 - 26,5}{26,5} \right| \times 100$$

$$Error = 3\%$$

3.2 Data Hasil Simulasi Simulink

Berikut merupakan data hasil simulasi Simulink dengan tiga metode: Tao, Elips, dan DNV.

3.2.1 Simulasi Heave Plate 1

Hasil simulasi *heave plate* 1 menggunakan metode Tao adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Simulasi *Heave Plate* 1 dengan Metode Tao

f (Hz)	Amplitudo <i>Heave Plate</i> (cm)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
0,1	4,8	3,6	2,4	1,2	0,7
0,2	5,6	4,2	2,8	1,4	0,7
0,3	7,5	5,7	3,9	2,0	1,0
0,4	9,1	7,7	6,0	3,8	2,1
0,5	7,5	6,5	5,2	3,5	2,2
0,6	5,0	4,0	2,9	1,6	0,8
0,7	3,2	2,5	1,7	0,9	0,4
0,8	2,2	1,6	1,1	0,6	0,3
0,9	1,6	1,2	0,8	0,4	0,2
1	1,2	0,9	0,6	0,3	0,2

Hasil simulasi *heave plate* 1 menggunakan metode Elips adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Simulasi *Heave Plate* 1 dengan Metode Elips

f (Hz)	Amplitudo <i>Heave Plate</i> (cm)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
0,1	5,2	3,8	2,4	1,3	0,7
0,2	7,7	5,8	3,8	2,1	1,1
0,3	12,8	11,0	9,0	6,2	4,2
0,4	6,2	4,8	3,3	1,6	1,0
0,5	2,8	2,1	1,4	0,9	0,5
0,6	1,6	1,3	0,9	0,5	0,3
0,7	1,1	0,8	0,6	0,4	0,3
0,8	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2
0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1
1	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1

Hasil simulasi *heave plate* 1 menggunakan metode DNV adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Simulasi *Heave Plate* 1 dengan Metode DNV

f (Hz)	Amplitudo <i>Heave Plate</i> (cm)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
0,1	5,6	4,3	3,0	1,6	0,9
0,2	11,5	8,9	6,0	3,3	1,8
0,3	9,1	7,2	5,0	2,8	1,8
0,4	3,2	2,3	1,7	1,0	0,7
0,5	2,0	1,4	1,0	0,7	0,4
0,6	1,4	0,9	0,7	0,4	0,3
0,7	1,0	0,6	0,4	0,3	0,2
0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2
0,9	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1
1	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1

3.2.2 Simulasi Heave Plate 2

Hasil simulasi *heave plate* 2 menggunakan metode Tao adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Simulasi *Heave Plate 2* dengan Metode Tao

f (Hz)	Amplitudo <i>Heave Plate</i> (cm)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
0,1	5,4	4,1	2,8	1,5	0,8
0,2	10,1	8,1	5,7	3,0	1,5
0,3	7,3	6,0	4,4	2,5	1,3
0,4	2,9	2,2	1,4	0,8	0,5
0,5	1,5	1,1	0,8	0,5	0,3
0,6	1,0	0,7	0,5	0,3	0,2
0,7	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1
0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
0,9	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1
1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1

Hasil simulasi *heave plate 2* menggunakan metode Elips adalah sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil Simulasi *Heave Plate 2* dengan Metode Elips

f (Hz)	Amplitudo <i>Heave Plate</i> (cm)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
0,1	7,1	5,5	3,8	2,1	1,1
0,2	9,2	7,2	5,0	3,0	1,8
0,3	2,4	2,0	1,5	0,9	0,6
0,4	1,4	1,2	0,9	0,5	0,3
0,5	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2
0,6	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1
0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,8	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
0,9	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0
1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0

Hasil simulasi *heave plate 2* menggunakan metode DNV adalah sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil Simulasi *Heave Plate 2* dengan Metode DNV

f (Hz)	Amplitudo <i>Heave Plate</i> (cm)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
0,1	10,0	7,8	5,6	3,2	1,6
0,2	4,8	3,9	3,0	1,8	1,0
0,3	1,9	1,6	1,2	0,7	0,4
0,4	1,1	0,9	0,7	0,4	0,2
0,5	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1
0,6	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
0,7	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
0,8	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0
0,9	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0
1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0

3.3 Data Hasil Eksperimen

Data hasil eksperimen yang didapatkan adalah sebagai berikut.

3.3.1 Pengujian *Heave Plate 1* Menggunakan *Wave Simulator*

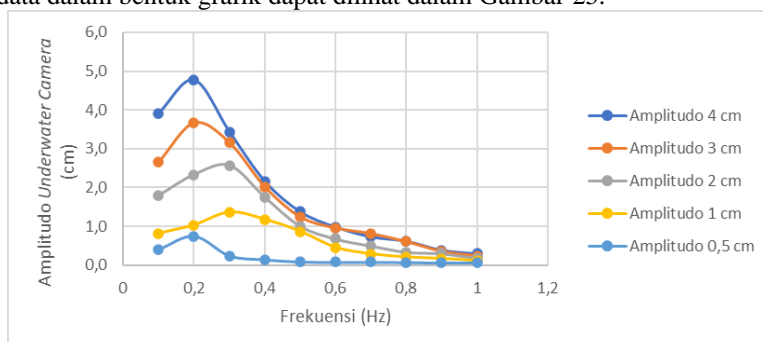
Hasil pengujian *heave plate 1* menggunakan *wave simulator* adalah sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil Pengujian *Heave Plate 1*

f (Hz)	Amplitudo <i>Heave Plate</i> (cm)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
0,1	3,9	2,7	1,8	0,8	0,4
0,2	4,8	3,7	2,3	1,0	0,7
0,3	3,4	3,2	2,6	1,4	0,2
0,4	2,2	2,0	1,8	1,2	0,1
0,5	1,4	1,2	1,0	0,9	0,1
0,6	1,0	1,0	0,7	0,5	0,1
0,7	0,7	0,8	0,5	0,3	0,1
0,8	0,6	0,6	0,3	0,2	0,1

0,9	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1
1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1

Tampilan hasil data dalam bentuk grafik dapat dilihat dalam Gambar 25.



Gambar 25. Grafik Data Hasil Uji Heave Plate 1

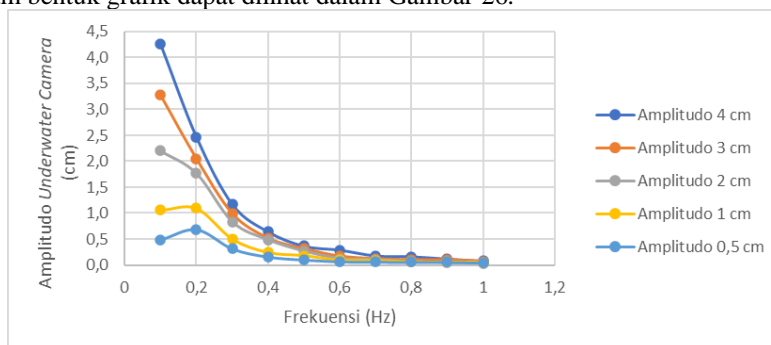
3.3.2 Pengujian Heave Plate 2 Menggunakan Wave Simulator

Hasil pengujian heave plate 2 menggunakan wave simulator adalah sebagai berikut.

Tabel 10. Hasil Pengujian Heave Plate 2

f (Hz)	Amplitudo Heave Plate (cm)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
0,1	4,3	3,3	2,2	1,1	0,5
0,2	2,5	2,1	1,8	1,1	0,7
0,3	1,2	1,0	0,8	0,5	0,3
0,4	0,6	0,5	0,5	0,2	0,2
0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1
0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
0,8	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
0,9	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0

Tampilan hasil data dalam bentuk grafik dapat dilihat dalam Gambar 26.



Gambar 26. Grafik Data Hasil Uji Heave Plate 2

3.4 Analisis Data

Bersumber dari eksperimen yang telah dilakukan, menggunakan heave plate 1 dan 2, gerakan heave plate mulai teredam pada frekuensi yang tercantum dalam Tabel 3.10.

Tabel 11. Respon Heave Plate Hasil Eksperimen

Komponen	Frekuensi Underwater Camera mulai teredam (Hz)				
	a = 4 cm	a = 3 cm	a = 2 cm	a = 1 cm	a = 0,5 cm
Heave Plate 1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,3
Heave Plate 2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4

Dari ketiga metode simulasi Simulink, diperoleh hasil data yang paling mendekati karakteristik hasil eksperimen yaitu menggunakan metode DNV (*added mass* versi DNV dan V_R DNV).

Terdapat perbedaan selisih antara nilai amplitudo *output* simulasi dengan nilai amplitudo *output* eksperimen. Hal ini salah satunya dikarenakan nilai koefisien *added mass* C_a dan koefisien *drag* C_d yang berbeda-beda dipengaruhi oleh posisi pada segmentasi heave plate. Berdasarkan referensi yang berjudul “Numerical study of distributed hydrodynamic forces on a

circular heave plate by large-eddy simulations with volume of fluid method” dari (Zhang & Ishihara, 2020) menjelaskan bahwa semakin jauh dari pusat *heave plate*, maka nilai C_d semakin kecil. Untuk nilai C_d semakin jauh dari pusat maka C_d akan semakin besar, karena dipengaruhi oleh *vortex shedding* pada tepi *heave plate*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat prototipe *point absorber* dengan *underwater camera* dan komponen pegas tekan untuk meredam osilasi gelombang dengan nilai amplitudo *output* dibanding *input* (X/Y) lebih dari 50%.
2. Telah dibuat pegas tekan dengan nilai kekakuan (*stiffness*) 26,5 N/m dan memiliki nilai eror sebesar 3% dari perhitungan desain.
3. Berdasarkan data hasil eksperimen, ukuran diameter *heave plate* 33 cm lebih mampu meredam osilasi gelombang dibandingkan *heave plate* diameter 22 cm.

5. Daftar Pustaka

- [1] Pratama, O. (2020, July 1). Konservasi Perairan Sebagai Upaya Menjaga Potensi Kelautan dan Perikanan Indonesia. Retrieved September 22, 2021, from Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut: <https://kkp.go.id/djprl/artikel/21045-konservasi-perairan-sebagai-upaya-menjaga-potensi-kelautan-dan-perikanan-indonesia>
- [2] Hadi, T. A., Giyanto, Prayudha, B., Hafizt, M., Budiyo, A., & Suharsono. (2018). Status Terumbu Karang Indonesia 2018. Jakarta Utara: Pusat Penelitian Oseanografi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- [3] Zou, S., Abdelkhalik, O., Robinett, R., Bacelli, G., & Wilson, D. (2017). Optimal control of wave energy converters. *Renewable Energy*, 103(May 2018), 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.036>
- [4] Al Shami, E., Zhang, R., & Wang, X. (2019). Point absorber wave energy harvesters: A review of recent developments. *Energies*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/en12010047>
- [5] Brown, A., Thomson, J., & Rusch, C. (2018). Hydrodynamic Coefficients of Heave Plates, with Application to Wave Energy Conversion. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 43(4), 983–996. <https://doi.org/10.1109/JOE.2017.2762258>
- [6] Hejib, M. A. G., & Mankar, R. L. (2017). Experimental analysis of helical compression spring used in two wheeler suspension system. 3(4), 572–577. www.ijariie.com
- [7] Rahat, M. A., Raiyan, M. F., Hossain, M. S., Ahamed, J. U., & Jony, N. H. (2015). Design and Fabrication of a Spring Constant Testing Machine and Determination of Spring Constant of a Compression Spring. *International Journal of Engineering Research*, 4(10), 574–578. <https://doi.org/10.17950/ijer/v4s10/1013>
- [8] Shaikh, Z. K. (2017). Experimental Study of Helical Compression Spring. 4(12), 970–975.
- [9] Dueholm, H. L., & Kristensen, L. (2021). Hydrodynamic Effects of Heave Plates. <http://www.civil.aau.dk>
- [10] Liang, H. zhi, Liu, K., Li, L. yu, & Ou, J. ping. (2018). Dynamic Performance Analysis of the Tuned Heave Plate System for Semi-Submersible Platform. *China Ocean Engineering*, 32(4), 422–430. <https://doi.org/10.1007/s13344-018-0044-7>