



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Pengukuran Olah Gerak Ponton Tabung Akibat Penambahan Heaving Plate Berbentuk Lingkaran Pada Gelombang Reguler Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Wireless.

Muhamad Zulkifli<sup>1)</sup>, Eko Sasmito Hadi<sup>1)</sup>, Berlian Arswendo Adietya<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail : Muhamadipik25@gmail.com , ekosasmitohadi@gmail.com, berlianarswendokapal@gmail.com

### Abstrak

Berbagai penelitian digencarkan guna menghasilkan ponton yang relatif stabil di berbagai keadaan gelombang laut. Salah satunya adalah penelitian mengenai olah gerak atau motion bangunan apung. Ponton sendiri mempunyai enam gerakan yang disebut Six Degree of Freedom (DOF), yang terdiri dari gerakan rotasi dan translasi. Di antara dari enam gerakan tersebut, ada istilah *seakeeping* yang terdiri dari dua gerakan rotasi (*rolling* dan *pitching*) dan satu gerakan translasi (*heaving*). Penelitian mengenai inovasi ponton itu sendiri juga kiat digencarkan. Seperti halnya penggunaan *heaving plate*. *Heaving plate* adalah pelat horizontal yang terpasang di bagian bawah bangunan apung pada kedalaman tertentu di mana keadaan air relatif tenang. Pelat tersebut memberikan tambahan massa yang dapat meningkatkan periode *heaving natural* dari bangunan apung dan menggerakkannya keluar rentang frekuensi gelombang. Penelitian tentang *heaving plate* difokuskan pada aspek geometrinya seperti rasio ketebalan terhadap lebar *heaving plate* dan jarak antar pelat pada *heaving plate*. Penelitian-penelitian tersebut digencarkan guna mendapat bentuk dan porsi ukuran *heaving plate* yang berdampak efisien terhadap *seakeeping* ponton.

**Kata Kunci :** Towing tank, Olah gerak, Mikrokontroler, Wireless, Ponton

### 1. PENDAHULUAN

Salah satu moda transportasi air yang banyak dioperasikan di Indonesia adalah tongkang atau ponton. Ponton juga biasa digunakan untuk menunjang kegiatan perariran, seperti ponton yang digunakan untuk jembatan, sarana apungan keramba, dan sebagai alat penangkap energi dari ombak untuk kemudian dikonversikan menjadi energi listrik.

Berbagai penelitian digencarkan guna menghasilkan ponton yang relatif stabil di berbagai keadaan gelombang laut. Salah satunya adalah penelitian mengenai olah gerak atau motion bangunan apung. *Inertial Measurement Unit* (IMU) merupakan alat yang memanfaatkan system pengukuran seperti giroskop dan akselerometer untuk memperkirakan posisi relatif, kecepatan, dan akselerasi dari gerakan motor.[1] Ponton sendiri mempunyai enam

gerakan yang disebut *Six Degree of Freedom* (DOF), yang terdiri dari gerakan rotasi dan translasi. Diantara dari enam gerakan tersebut, ada istilah *seakeeping* yang terdiri dari dua gerakan rotasi (*rolling* dan *pitching*) dan satu gerakan translasi (*heaving*) [2].

Selain penelitian tentang faktor eksternal (gerak ponton oleh gelombang laut), penelitian mengenai inovasi ponton itu sendiri juga kiat digencarkan. Seperti halnya penggunaan *heaving plate*. *Heaving plate* adalah pelat horizontal yang terpasang di bagian bawah bangunan apung pada kedalaman tertentu di mana keadaan air relatif tenang. Pelat tersebut memberikan tambahan massa yang dapat meningkatkan periode *heaving natural* dari bangunan apung dan menggerakkannya keluar rentang frekuensi gelombang.[3]

Akhir – akhir ini penelitian tentang *heaving plate* difokuskan pada aspek geometrinya seperti rasio ketebalan terhadap lebar *heaving plate* dan

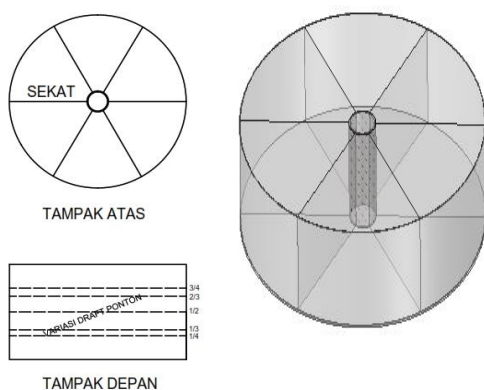
jarak antar pelat pada heaving plate. [4] Penelitian-penelitian tersebut digencarkan guna mendapat bentuk dan porsi ukuran heaving plate yang berdampak efisien terhadap *seakeeping* ponton. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan teknologi berbasis *wireless* guna memudahkan penelitian dikarenakan pada mikrokontroler berbasis *wireless* pengontrolan alat dapat dilakukan secara jarak jauh [5]

Pada pembahasan kali ini akan difokuskan pada pengaruh modifikasi bangunan apung (ponton) terhadap respon olah gerak bangunan apung karena ombak. Modifikasi berupa penambahan *heaving plate* pada bagian bawah ponton. *Heaving plate* dibuat dalam beberapa ukuran penampang luas. Harapannya penambahan *heaving plate* ini dapat menstabilkan respon olah gerak dari bangunan apung dengan meredam dampak gerak *heaving* ponton.

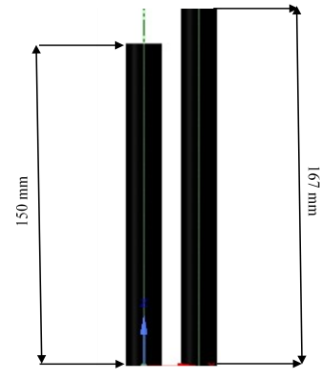
## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

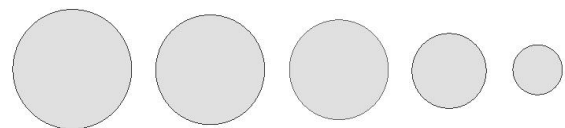
Objek yang diteliti adalah ponton yang dilengkapi dengan *heaving plate*. Ponton terbuat dari kaca akrilik, dengan sekat di bagian dalam ponton untuk keperluan pembagian muatan dan analisa. *Heaving Plate* terbuat dari akrilik dengan ketebalan 3 mm. Pemasangan *heaving plate* di bawah bagian ponton dihubungkan menggunakan *spar* yang terbuat dari logam *stainless steel* ulir.



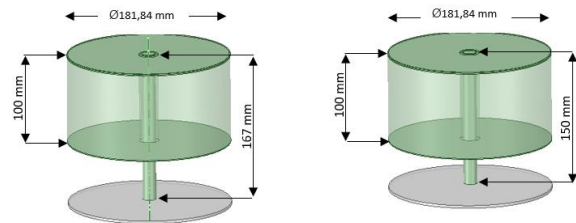
Gambar 1. Desain lambung ponton tanpa *heaving plate*



Gambar 2. Desain *Spar*



Gambar 3. Desain Variasi *Heaving Plate*



Gambar 4. Desain Ponton dengan *Heaving Plate*

Penelitian dengan menggunakan alat berupa:

1. Modul MPU-6050, menghasilkan output nilai *rolling* dan *pitching*. *Rolling* dan *pitching* yang dideteksi dengan girometer dan akselerometer yang terdapat di dalam modul MPU-6050 [6].
2. Modul HC-SR04, menghasilkan output nilai *heaving*. HC-SR04 memiliki minimal *range* 2cm dan maksimal *range* 400cm [7].
3. Modul *load cell* sebagai penerima impuls beban dari *heaving plate* [8],
4. Modul HX711 sebagai penerjemah impuls yang diterima *load cell* menjadi data digital numerik [9],
5. Mikrokontroler Arduino UNO, sebagai alat pemroses data. Di dalam Arduino semua variable harus dideklarasikan agar pengoperasian dapat diproses.
6. XBee S2 sebagai *transmitter* dan *reciver* untuk jaringan *wireless* [10].

Parameter yang diberikan untuk mengetahui nilai olah gerak ponton dengan dan tanpa *heaving plate* melalui pengukuran adalah sebagai berikut :

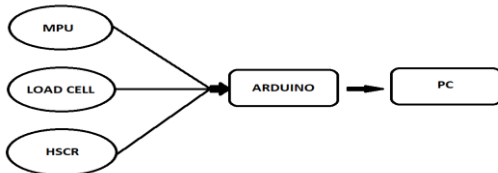
1. Parameter tetap : Bentuk ponton silinder/tabung berbahan akrilik dan mempunyai 6 sekat dengan *heaving plate* berbentuk lingkaran.
2. Parameter berubah : Tinggi muatan ( muatan kosong dan muatan 1/4H ponton), jenis gelombang ( dengan voltase *wave maker* 15 V dan 20 V ), panjang *spar* penghubung, dan luas penampang *heaving plate*.

## 2.2. Perlakuan pada objek

Pengukuran olah gerak ponton diberikan perlakuan penambahan muatan, penggantian ukuran *heaving plate*, dan penggantian ukuran *spar* pada tiap variasi gelombang *wave maker*. Pengukuran dilakukan dengan metode berbasis *wireless*.

Rangkaian untuk membuat *wireless* dengan menggunakan XBee S2 adalah sebagai berikut:

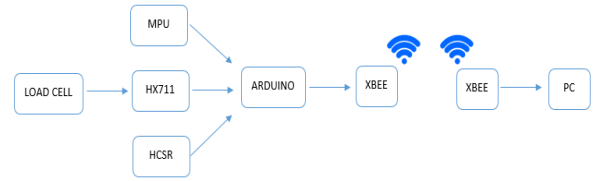
1. XBee sebagai *transmitter*, Xbee *transmitter* terhubung dengan Arduino yang sudah memproses data dari sensor ultrasonik dan MPU yang kemudian siap dikirim ke Xbee *receiver*.
2. XBee sebagai *reciver*, Xbee *receiver* terhubung dengan PC/Laptop dan menerima data dari XBee *transmitter* yang kemudian data langsung ditampilkan didisplay PC/Laptop.



Gambar 4. Rangkaian penelitian dengan jaringan kabel

Keterangan dari skema rangkaian dari gambar 4 (*wired*):

1. MPU-6050, alat yang digunakan untuk mengetahui sudut saat ponton *pitching* ataupun *rolling*.
2. HC-SR04, alat yang digunakan untuk mengukur jarak *heaving* pada ponton.
3. Load Cell, alat yang digunakan untuk mengukur berat beban *heaving* yang ditimbulkan oleh *heaving plate*.
4. Arduino berfungsi sebagai mikrokontroler.
5. PC(personal computer) sebagai display hasil dari pengukuran.



Gambar 5. Rangkaian *wireless*

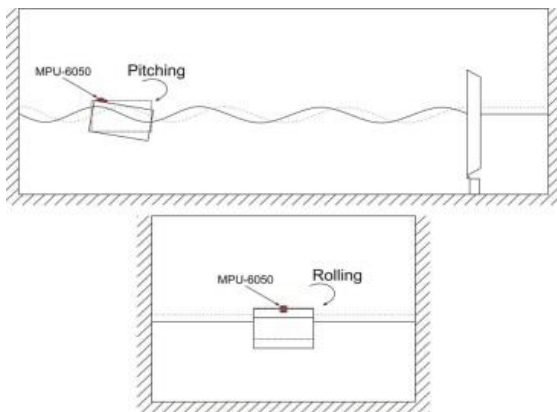
Keterangan dari skema rangkaian dari gambar 5 (*wireless*) :

1. MPU-6050, alat yang digunakan untuk mengetahui sudut saat ponton *pitching* ataupun *rolling*.
2. HC-SR04, alat yang digunakan untuk mengukur jarak *heaving* pada ponton.
3. *Load Cell*, alat yang berfungsi untuk mengukur berat beban *heaving* yang ditimbulkan oleh *heaving plate*.
4. Modul HX711 sebagai pengkonversi data impuls dari *load cell* menuju arduino.
5. Arduino berfungsi sebagai mikrokontroler.
6. Xbee S2 (*transmitter*) berfungsi untuk alat komunikasi untuk mengirimkan data dari arduino ke XBee *reciver* yang kemudian diolah di PC.
7. XBee S1 (*receiver*) berfungsi untuk menerima hasil yang diolah Arduino yang dikirim lewat XBee *transmitter*.
8. PC (*personal computer*) sebagai *display* hasil dari pengukuran.

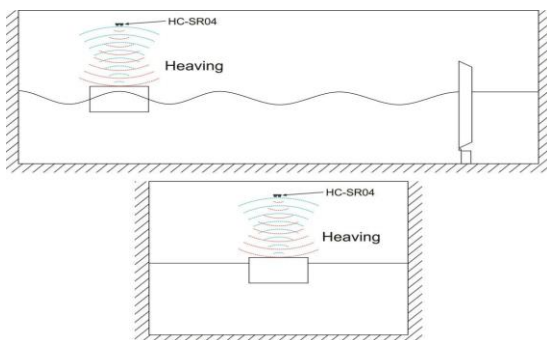
## 2.3. Proses Pengujian

Pengujian model ponton dilakukan dalam *towing tank* yang diberi gelombang menggunakan *wave maker*, untuk mengetahui respon dari model ponton dengan berbagai variabel. Pengujian total dilakukan selama 15 detik pada tiap variasi, kemudian dilakukan pengambilan data dari detik ke 5 sampai detik ke 10. Dari ke 5 detik data yang telah diambil (detik ke 5 sampai ke 10) terdapat total 50 data nilai olah gerak, yang berarti data nilai olah gerak dicatat tiap 0,1 detik.

Berikut skema pengukuran nilai olah gerak, skema pengukuran gelombang, proses pengukuran dengan menggunakan *wireless* yang ditunjukkan pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8.



Gambar 6. Skema pengukuran gerakan rotasi [11]



Gambar 7. Skema pengukuran gerakan translasi [11]



Gambar 8. Pengukuran dengan menggunakan Wireless [11]

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Perakitan Alat Ukur

Kabel penghubung antar komponen menggunakan kabel *jumper*, kecuali XBee S2C.

#### 3.2. Pengujian dan Validasi Alat Ukur

Hasil pengukuran validasi dengan mengambil sample *rolling* MPU. Didapatkan nilai *rolling* sebesar  $25^\circ$  yang tertera pada *display* PC. Selanjutnya dilakukan pengukuran kemiringan ponton menggunakan alat ukur busur derajat, yang menunjukkan angka  $25^\circ$ . Hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi modul MPU hampir mencapai 100%.

Kemudian dilakukan validasi hasil *heaving* dengan cara mengukur jarak dari sensor ultrasonik terhadap objek (ponton). Pengukuran dilakukan hanya pada salah satu sensor dari tiga sensor yang tersedia. Hal ini dilakukan karena ketiga sensor ultrasonik menggunakan kode pemrograman yang sama. Dari pengukuran sensor didapat jarak dari sensor terhadap ponton adalah sejauh 23 cm, begitu pula dengan pengukuran jarak sensor terhadap ponton yang menunjukkan angka 23 cm.

Untuk validasi *loadcell* alat yang digunakan adalah timbangan dan sebuah batre yang memiliki berat sebesar 75gr kemudian pada *display* aplikasi *arduino* menunjukkan berat yang hampir sama, yaitu 75,5gr.

Hasil dari kedua jaringan menunjukkan akurasi yang sama, ini dikarenakan data dari *Arduino* sebagai pemroses data pada ponton yang dikirim melalui XBee ke PC tidak ada interferensi gelombang.

### 3.3. Data Hasil dan Pembahasan

#### 1. Hasil Pengukuran Tinggi Gelombang

Dari pengukuran didapat data sebagai berikut:

- a. Menggunakan arus 15 A  
Pada sensor 1 yang berada di samping selatan *towing tank* didapatkan rata-rata tinggi gelombang sebesar 0.75cm, dan pada sensor 3 yang berada di samping utara *towing tank* didapatkan rata-rata tinggi gelombang sebesar 0.65cm.
- b. Menggunakan arus 20 A  
Pada sensor 1 didapatkan rata-rata tinggi gelombang sebesar 1.25cm, dan pada sensor 3 yang berada di samping utara *towing tank* didapatkan rata-rata tinggi gelombang sebesar 1.25cm.

Dari hasil rata-rata amplitudo menunjukkan bahwa persebaran gelombang yang direkam oleh sensor 1 dan sensor 3 tidaklah merata, hal ini terjadi karena adanya beberapa faktor, yang pertama karena ketinggian air hanya 18,5cm yang tergolong dangkal, yang kedua karena dari pembangkit ombak terjadi eror pada engselnya, sehingga gelombang pada bagian utara dan selatan berbeda, selain itu gelombang yang memnatul setelah menyentuh ujung *towing tank* juga menginterferensi pengukuran gelombang yang datang dari *wave maker*.

#### 2. Pengukuran Olah Gerak Ponton

Hasil dari pengukuran olah gerak didapat dari satu sensor MPU yang terletak di tengah ponton yang menunjukkan nilai *roll* dan *pitch*, satu

sensor HC-SR04 (tengah) yang menunjukkan nilai *heave*, dan satu *load cell* yang menunjukkan nilai beban *heaving*.

Berikut adalah istilah yang digunakan saat pengujian olah gerak ponton dalam penelitian kali ini :

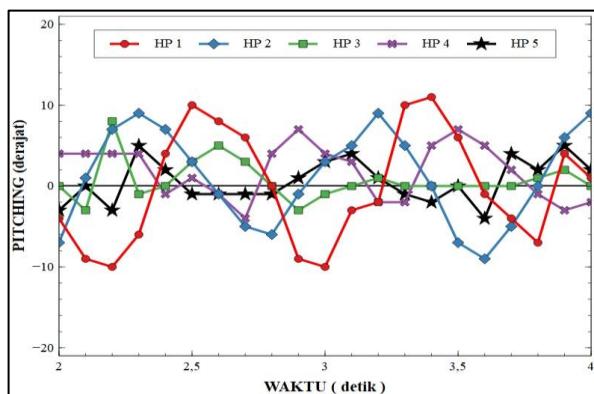
- Gelombang 1 = gelombang saat *wave maker* menggunakan voltase 15 V
- Gelombang 2 = gelombang saat *wave maker* menggunakan voltase 20 V
- *Spar* 1 = *spar* dengan panjang 167 mm
- *Spar* 2 = *spar* dengan panjang 133 mm
- Sarat 0 = ponton tanpa muatan
- Sarat 1 = ponton dengan sarat muatan 0,25 H ponton.
- HP1 = *heaving plate* diameter 0,5 D ponton
- HP2 = *heaving plate* diameter 0,75 D ponton
- HP3 = *heaving plate* diameter 1 D ponton
- HP4 = *heaving plate* diameter 1,1 D ponton
- HP5 = *heaving plate* diameter 1,2 D ponton

#### a. Perubahan *Pitching* pada ponton

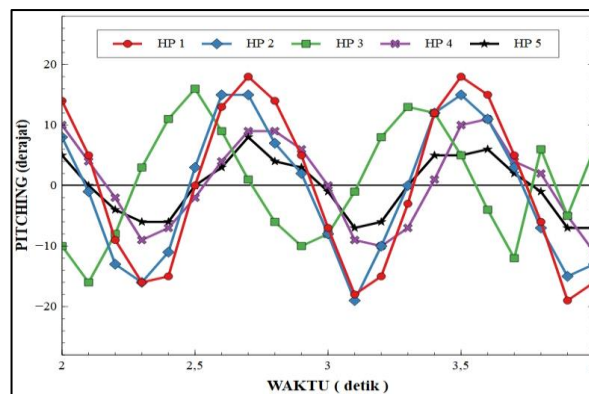
Hasil pengukuran *pitching* dapat dilihat pada Tabel 1, Gambar 9 dan gambar 10. (variasi 1 = *spar* 1 sarat 0; variasi 2 = *spar* 2 sarat 0; variasi 3 = *spar* 1 sarat 1; variasi 4 = *spar* 2 sarat 1).

Tabel 1. Data hasil pengukuran *Pitching* (derajat)

Variasi & Gelombang	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Variasi 1 gel 1	2	2	4	3	2
Variasi 1 gel 2	11	9	8	7	5
Variasi 2 gel 1	3	2	1	2	2
Variasi 2 gel 2	12	15	9	8	8
Variasi 3 gel 1	4	5	5	4	4
Variasi 3 gel 2	16	2	13	9	8
Variasi 4 gel 1	5	5	4	4	4
Variasi 4 gel 2	18	15	16	11	9



Gambar 9. Grafik Hasil pengukuran *Pitching* (*Spar* 1 Sarat 0 Gelombang 2)



Gambar 10. Grafik Hasil pengukuran *Pitching* (*Spar* 2 Sarat 1 Gelombang 2)

Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 1, gambar 9 dan 10. Berdasarkan pengamatan perubahan sudut *pitching* pada gelombang 2 dengan *spar* 1 dan 2, diperoleh hasil bahwa nilai *pitch* pada ponton dengan *spar* 2 cenderung lebih besar dibanding ponton dengan *spar* panjang. Kecenderungan nilai *pitch* yang lebih besar juga terjadi pada gelombang 2 dibanding gelombang 1.

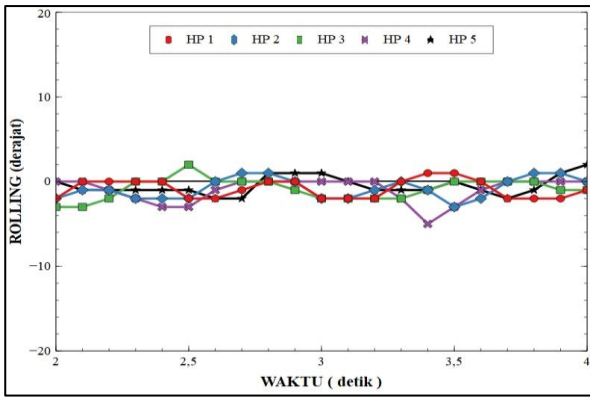
Dari grafik terlihat perbedaan olah gerak dari ponton tabung antara *heaving plate* 1 sampai *heaving plate* 5. Hal ini diakibatkan oleh luasan penampang *heaving plate* yang berbeda satu sama lain, bertambahnya luasan penampang *heaving plate* akan berpengaruh pada penurunan sudut *pitching* yang dialami ponton, hal ini berlaku pada semua variasi pada tiap-tiap gelombang dan *spar*. Nilai *rolling* terkecil didapat saat ponton menggunakan HP 5.

#### b. Perubahan *Rolling* pada ponton

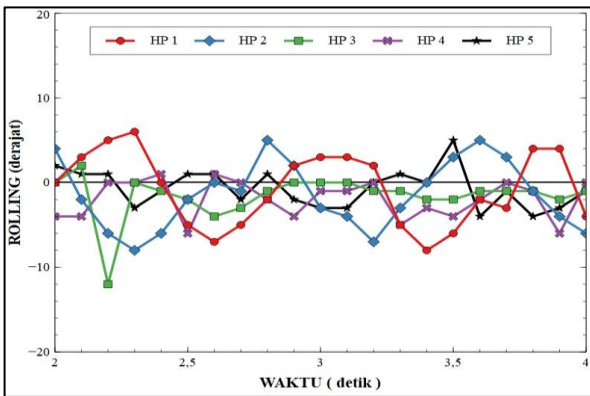
Hasil pengukuran *rolling* dapat dilihat pada Tabel 2, Gambar 11 dan gambar 12. (variasi 1 = *spar* 1 sarat 0; variasi 2 = *spar* 2 sarat 0; variasi 3 = *spar* 1 sarat 1; variasi 4 = *spar* 2 sarat 1).

Tabel 2. Data hasil pengukuran *Rolling* (derajat)

Variasi & Gelombang	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Variasi 1 gel 1	1	1	2	0	1
Variasi 1 gel 2	6	5	2	2	5
Variasi 2 gel 1	2	2	3	1	1
Variasi 2 gel 2	8	8	7	3	3
Variasi 3 gel 1	3	2	3	3	3
Variasi 3 gel 2	10	1	3	3	4
Variasi 4 gel 1	3	3	2	3	3
Variasi 4 gel 2	5	5	5	4	3



Gambar 11. Grafik Hasil pengukuran *rolling* (*Spar 1 Sarat 0 Gelombang 1*)



Gambar 12. Grafik Hasil pengukuran *rolling* (*Spar 1 Sarat 0 Gelombang 2*)

Sama halnya dengan yang terjadi pada *pitching*, berdasarkan tabel 2 dapat disimpulkan bahwa nilai *rolling* yang terjadi pada *spar 2* lebih besar jika dibanding nilai *rolling* pada *spar 1*. Jika dilihat pada gambar 12 dan Gambar 13, kecenderungan nilai *rolling* yang lebih besar juga terjadi pada gelombang 2 dibanding gelombang 1.

Dari grafik terlihat perbedaan olah gerak dari ponton tabung antara *heaving plate 1* sampai *heaving plate 5*, Hal ini diakibatkan oleh luasan penampang *heaving plate* yang berbeda satu sama lain, bertambahnya luasan penampang *heaving plate* akan berpengaruh pada penurunan sudut *rolling* yang dialami ponton, hal ini berlaku pada gelombang 1 dan 2. Nilai *rolling* terkecil didapat saat ponton menggunakan HP 4 dan HP 5.

**c. Perubahan Beban *Heaving* oleh *Heaving Plate* Pada Ponton**

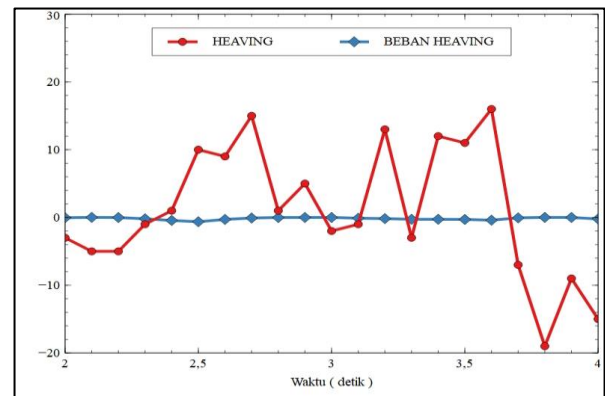
Hasil pengukuran *pitching* dapat dilihat pada Tabel1, Gambar 9 dan gambar 10. (variasi 1 = *spar 1* sarat 0; variasi 2 = *spar 2* sarat 0; variasi 3 = *spar 1* sarat 1; variasi 4 = *spar 2* sarat 1).

Tabel 3. Data hasil pengukuran *Heaving* (mm)

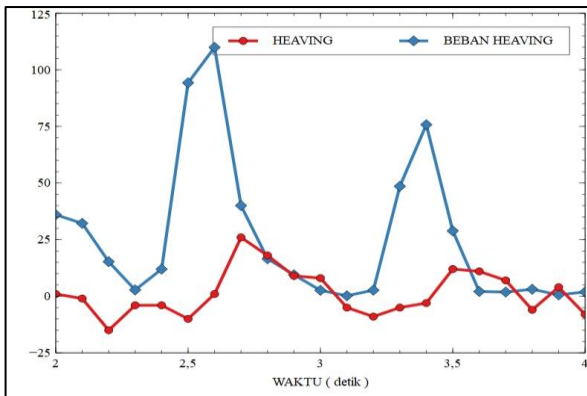
Variasi & Gelombang	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Variasi 1 gel 1	10	10	19	27	16
Variasi 1 gel 2	33	26	12	16	15
Variasi 2 gel 1	12	8	4	10	7
Variasi 2 gel 2	26	28	18	40	26
Variasi 3 gel 1	24	14	10	21	23
Variasi 3 gel 2	12	10	21	29	16
Variasi 4 gel 1	16	13	13	7	9
Variasi 4 gel 2	26	28	26	32	34

Tabel 4. Data pengukuran Beban *Heaving* (gr)

Variasi & Gelombang	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Variasi 1 gel 1	0,04	0,32	0,03	7,25	6,39
Variasi 1 gel 2	1,46	33,64	0,11	1,11	52,69
Variasi 2 gel 1	0,04	0,04	0,04	0,33	0,55
Variasi 2 gel 2	41,7	0,5	2,17	5,04	109,9
Variasi 3 gel 1	0,04	0,05	0,04	0,08	1,24
Variasi 3 gel 2	0,54	0,03	0,13	0,14	0,01
Variasi 4 gel 1	0,06	0,03	0,04	0,05	2,28
Variasi 4 gel 2	0,09	26,74	30,6	1,33	59,82



Gambar 13 Grafik perbandingan *heaving* dan beban *heaving* terendah (*Spar 1 Sarat 1 Gelombang 2 HP 5*)



Gambar 14 Grafik perbandingan *heaving* dan beban *heaving* tertinggi (*Spar 2 Sarat 0 Gelombang 2 HP 5*)

Dari gambar 13 dan gambar 14, dapat dilihat bahwa besarnya nilai *heaving* berbanding terbalik dengan nilai *load cell*. Hal ini disebabkan karena orientasi pemasangan sisi muka *load cell* yang di mana saat ponton mengalami *falling*, maka beban *spar* dan *heaving plate* akan mendesak permukaan *load cell* sehingga terjadi penambahan beban.

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai *heaving* paling tinggi didapat saat ponton dipasang HP 4 dan HP 5 yang memiliki luasan permukaan yang lebih luas dibanding dengan variasi *heaving plate* lain.

Tabel 4 menggambarkan semakin besar luasan *heaving plate* maka akan semakin besar pula beban *heaving* yang dialami oleh ponton tersebut. Nilai beban *heaving* yang terbesar didapat saat ponton dipasang HP 5.

Pemasangan *spar* yang lebih pendek akan berakibat pada peningkatan nilai *heaving* dan beban *heaving* yang didapat. Selain itu, semakin besar gelombang yang mengenai ponton akan berbanding lurus dengan nilai *heaving* dan beban *heaving*. Hal terbukti dari hasil tabel 3 dan 4 (variasi 2 dan gelombang 2).

*Heaving plate* yang optimal haruslah *heaving plate* yang memiliki beban *heaving* tinggi dan nilai *heaving* yang relatif tinggi pula. Saat nilai beban *heaving* tinggi, *heaving plate* dan *spar* akan cenderung lebih stabil (diam). Semakin tinggi nilai *heaving* ponton, maka amplitudo saat terjadi pemompaan energi terhadap *spar* juga akan bertambah. Dengan begitu hasil pompaan energi oleh ombak akan semakin besar.

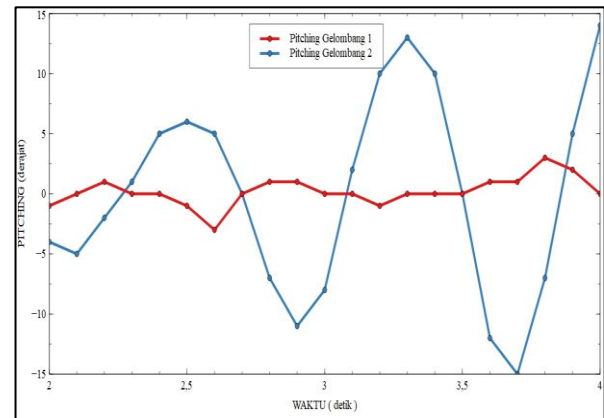
Berdasarkan kriteria tersebut, maka ponton yang dipasang HP 5 lah yang dianggap paling optimal jika diaplikasikan di lapangan.

#### d. Pengukuran *Pitching*, *Rolling*, dan *Heaving* ponton tanpa *heaving plate*

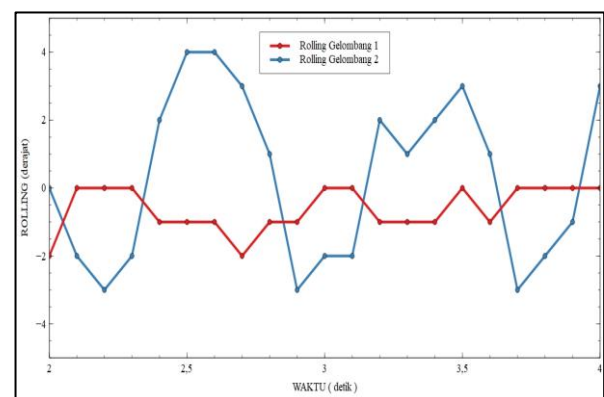
Hasil pengukuran olah gerak ponton tanpa *heaving plate* dapat dilihat pada tabel 5 dan gambar 15-17. Pengujian dilakukan pada ponton dengan sarat 0,25H pada gelombang 1 dan 2.

Tabel 5. Grafik hasil pengukuran tanpa *heaving plate*

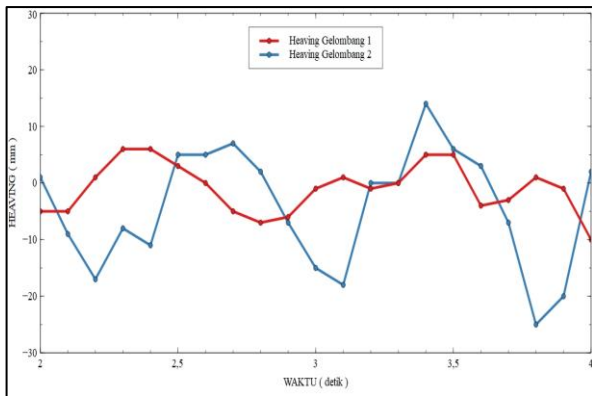
Muatan & Gelombang	<i>Pitching</i>	<i>Rolling</i>	<i>Heaving</i>
Muatan 0 Gel. 1	1	1	12
Muatan 0 Gel.2	11	5	17
Muatan 0,25 Gel. 1	3	2	12
Muatan 0,25 Gel. 2	15	4	25



Gambar 16. Grafik hasil pengukuran *Pitching* tanpa *heaving plate* sarat 0,25H



Gambar 16. Grafik hasil pengukuran *Rolling* tanpa *heaving plate* sarat 0,25H



Gambar 16. Grafik hasil pengukuran *Heaving* tanpa *heaving plate* sarat 0,25H

Dari hasil pengukuran ponton tanpa *heaving plate*, besarnya gelombang berpengaruh pada peningkatan nilai *pitching*, *rolling*, dan *heaving*. Hasil *heaving* terbesar ada pada variasi muatan 0,25H dan menggunakan gelombang 2.

**e. Perbandingan nilai *heaving* antara ponton dengan *heaving plate* dan tanpa *heaving plate***

Perbandingan diambil dari penelitian sebelumnya dibandingkan dengan *heaving plate* dengan luas 1,2 D ponton (HP5) dan *spar* terpendek yaitu 133mm.

Keterangan tabel :

Variasi 1 = muatan 0 gelombang 1; Variasi 2 = muatan 0 gelombang 2; Variasi 3 = muatan 0,25 gelombang 1, Variasi 4 = muatan 0,25 gelombang 2 +HP : dengan *heaving plate*, ~HP : Tanpa *heaving plate*, Grafik satuan milimeter.

Tabel 6. Data Perbandingan *Heaving* dengan *Heaving Plate* dan Tanpa *Heaving Plate*

<b>pitching</b>	<b>†HP</b>	<b>~HP</b>	<b>%</b>
variasi 1	15	12	25
variasi 2	26	17	52,94
variasi 3	16	12	33,33
variasi 4	34	25	36

Penambahan *heaving plate* pada ponton berdampak pada penambahan nilai *heaving* sampai dengan 52,94% dari nilai *heaving* sebelum ditambahkan *heaving plate*.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil Analisa dari hasil pengukuran olah gerak setiap variasi *heaving plate*

dengan pengaruh tinggi muatan, sarat, dan variasi gelombang maka disimpulkan bahwa:

Penambahan *heaving plate* mengakibatkan bertambahnya nilai *heaving* yang dialami ponton secara cukup signifikan. Nilai *heaving* tertinggi sebesar 34 mm terjadi saat ponton menggunakan HP5, dengan tinggi muatan 0,25H, *spar* 2 dan gelombang 2.

Penggunaan *spar* 2 (133mm) membuat jarak antara ponton dengan *heaving plate* semakin dekat berakibat pada meningkatnya nilai *pitching*, *rolling*, dan *heaving*. Peningkatan nilai olah gerak ponton juga terjadi saat gelombang yang besar mengenai ponton.

Pemasangan HP 5 (1,2D ponton) dinilai paling optimal untuk diterapkan pada WEC (*wave Energy Converter*) karean memiliki daya redam tertinggi terhadap *rolling* dan *pitching*. HP 5 juga memiliki nilai *heaving* yang relatif tinggi jika dibanding variasi lain. Selain itu, beban *heaving* tertinggi terjadi saat ponton menggunakan HP 5.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] D. B. Setiawan, Joga Dharma; Widodo, Achmad; Nugroho, “Perancangan dan Pembuatan Platform Validasi Inertial Measurement Unit (IMU),” *Rotasi*, vol. 13, no. 1, pp. 1–7, 2011.

[2] A. H. Fajar, D. Chrismianto, E. S. Hadi, “Studi Analisa Slamming & Deck Wetness Akibat Heaving-,” Vol. 5, no. 4, pp. 677-687, 2017.

[3] J. Li, S. Liu, M. Zhao, and B. Teng, “Experimental investigation of the hydrodynamic characteristics of heave plates using forced oscillation,” *Ocean Eng.*, vol. 66, pp. 82–91, 2013.

[4] S. Sudhakar and S. Nallayarasu, “Hydrodynamic Responses of *Spar* Hull with Single and Double Heave Plates in Random Waves,” *Int. J. Ocean Syst. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–18, 2014.

[5] A. M. Rohman, “Pembangunan Sistem Home Automation Menggunakan Arduino Berbasis Android Terhadap Lighting Control,” no. 1c, pp. 9–54, 2015.

[6] I. Inc., “MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification,” *Inven. Inc. Prod. Specif.*, vol. 3.4, no. 408, pp. 1–57, 2013.

[7] “Ultrasonic Ranging Module HC-SR04.” [Online]. Available: <https://www.indo-ware.com/produk-2234-ultrasonic-ranging-module-hcsr04.html>. [Accessed: 05-Mar-2019].



- [8] "Load Cell and Strain Gauge Basics | Load Cell Central." [Online]. Available: <https://www.800loadcel.com/load-cell-and-strain-gauge-basics.html>. [Accessed: 06-Sep-2019].
- [9] D. Agung and Nugraha, "Timbangan Gantung Digital dengan Sensor HX711 ( Load Cell ) Berbasis Arduino Uno," vol. 711, 2017.
- [10] Y. Yuliza, "Komunikasi Antar Robot Menggunakan RF Xbee dan Arduino Microcontroller," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, p. 53, 2017.
- [11] B. Hidayat, "Analisa Perubahan Olah Gerak Ponton Akibat Pengaruh Beban Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Wireless," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 3, Sep. 2019