



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Pengukuran Olah Gerak Ponton Hexagon Dengan Penambahan Heaving Plate Lingkaran Pada Gelombang Reguler Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Wireless

Mohamad Fiqri Permana<sup>1)</sup>, Eko Sasmito Hadi<sup>1)</sup>, Kiryanto<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 :mohamadfiqripermana@gmail.com , ekosasmitohadi@gmail.com, kiryantodst@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian tentang energi terbarukan sangat banyak dilakukan oleh kalangan akademisi salah satunya yaitu energi listrik. Energi listrik alternatif dapat diperoleh dengan memanfaatkan gerakan ponton diatas air akibat gelombang air laut. Ponton merupakan bangunan apung berongga dan pada saat beroperasi ponton akan mengalami seakeeping. Untuk mengetahui olah gerak ponton terbaik perlu dilakukan penelitian teknologi terbaru seperti heaving plate. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai seakeeping ponton dengan variasi penambahan heaving plate, tinggi sarat dan gelombang, selain itu penelitian ini juga diharapkan untuk mendapatkan nilai beban heaving pada ponton akibat aliran gelombang yang diberikan.. Penelitian ini menggunakan alat berupa Arduino untuk mikrokontroler, sensor HS-SR04 untuk mengukur heaving, sensor MPU untuk mengetahui pitching dan rolling, load cell untuk mengukur beban heaving dan XBee S2C sebagai komunikasi dari Arduino ke PC. Berdasarkan penelitian ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan heaving plate pada ponton dapat mengurangi respon pitching mencapai 56,25 %, rolling 50 % dan heaving 51,8 %. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh nilai pitching tertinggi sebesar 18°, rolling sebesar 6°, dan heaving sebesar 24 mm, serta beban heaving sebesar 161,23 gram dengan nilai heaving 14 mm.

**Kata Kunci :** Ponton, Heaving Plate, Gelombang reguler, Mikrokontroler, Seakeeping, Beban heaving

### 1. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini penelitian tentang energi terbarukan sangat banyak dilakukan oleh kalangan akademisi salah satunya yaitu energi listrik, tingginya kebutuhan listrik yang terus digunakan oleh masyarakat membuat beberapa perusahaan listrik harus menambah kapasitas pembangkit listrik, di Indonesia pembangkit listrik yang paling banyak digunakan adalah PLTU yaitu dengan memanfaatkan batu bara sebagai bahan bakar, batu bara merupakan salah satu sumber daya alam tak terbarukan artinya dalam jangka waktu tertentu akan habis, sehingga dibutuhkan pembangkit energi alternatif yang dapat menyuplai pasokan listrik. Salah satunya adalah pembangkit energi listrik dari gelombang air laut, dengan memanfaatkan ponton sebagai media untuk menghasilkan energi listrik yang diperoleh dari

gerakan ponton diatas air akibat dari gelombang, dengan demikian perlu adanya studi tentang bagaimana gerakan dari ponton tersebut agar diperoleh hasil yang bagus.

Ponton sendiri merupakan struktur berongga dan kedap air, terisinya rongga ponton dengan udara menyebabkan ponton memiliki daya apung (*buoyancy*) di atas permukaan air. Pada penelitian gerak ponton menggunakan mikrokontroler menyimpulkan bahwa detektor *seakeeping* memiliki output yang cukup akurat dengan koreksi 0,01° untuk *rotation motion* dan 0,01 cm untuk *translation motion* [1].

Ponton juga menerapkan beberapa teknologi pembaruan, salah satunya adalah penambahan *heaving plate* untuk memperbaiki nilai olah gerak ponton. Penambahan *Single Heaving Plate* pada *spar* menyebabkan berkurangnya respon *heaving* sebesar 17%-22% [2]. Pada penelitian *heave plate*

on hydrodynamic response of spar menyimpulkan bahwa perbandingan rasio diameter *heave plate* dan *spar* sebesar 1,3 dan 1,5 dapat mengurangi respon *heaving* sebesar 19 % dan 24 % [3].

Pada penelitian lainnya, penambahan *heave plate* pada *Semi-Submersible Platform* dapat mengurangi gerakan *heave* pada frekuensi 0.35–0.55 rad s<sup>-1</sup> [4], selain itu berdasarkan hasil penelitian *Hydrodynamic Response of Spar with Heave Plate* menunjukkan bahwa respon *heaving* berkurang secara signifikan pada rasio diameter 1,2-1,3 [5].

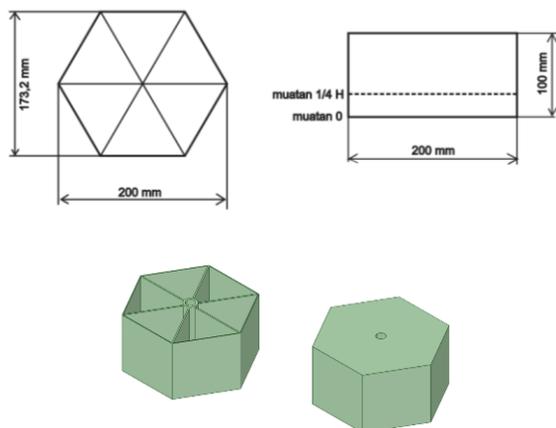
Dalam penelitian ini akan dibuat 5 model *heaving plate* dengan variasi *spar*, muatan dan gelombang dengan menggunakan ponton segienam. Kemudian diukur dari setiap model yang menggunakan mikrokontroler berbasis *wireless*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan nilai olah gerak dari ponton tanpa *heaving plate* dan menggunakan *heaving plate*, mengetahui pengaruh perubahan sarat dan muatan, mengetahui nilai olah gerak ponton dengan penampang *heaving plate* yang berbeda, dan mengetahui beban *heaving* terbesar yang dapat diaplikasikan pada ponton pembangkit listrik.

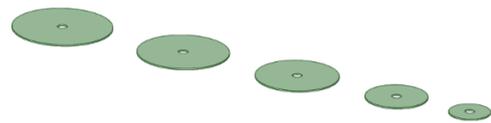
## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

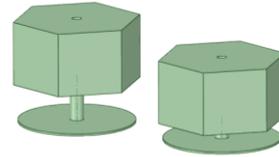
Objek yang diteliti adalah ponton segienam yang terbuat dari akrilik, serta didalam ponton terdapat sekat untuk keperluan pengisian muatan dan analisa, dengan sesuai dimensi yang telah didesain, yang ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 1. Desain Lambung Ponton



Gambar 2. Desain Heaving Plate



Gambar 3. Desain Ponton dengan Variasi Spar dan Heaving Plate

Penelitian dengan menggunakan alat berupa:

1. Modul MPU-6050, menghasilkan output nilai *rolling* dan *pitching*. *Rolling* dan *pitching* bisa dideteksi menggunakan sensor MPU karena didalam mpu terdapat *accelerometer* dan *gyroskop* [6].
2. Modul HC-SR04, menghasilkan output nilai *heaving*. HC-SR04 memiliki minimal *range* 2cm dan maksimal *range* 400cm [7].
3. Load Cell, menghasilkan output massa [8], yang dikonversikan sebagai beban *heaving* ponton.
4. Modul HX711, modul konversi sinyal analog ke digital pada load cell [9].
5. Mikrokontroler Arduino UNO, sebagai alat pemroses data. Didalam Arduino semua *variable* harus dideklarasikan agar pengoperasian dapat diproses [10].
6. XBee S2, modul radio frekuensi yang beroperasi pada frekuensi 2.4 ghz [11], sebagai *transmitter* dan *reciver* untuk jaringan *wireless*

Parameter yang diberikan untuk menunjukkan nilai *seakeeping* atau olah gerak ponton bila diberi variasi adalah:

1. Parameter tetap : Bentuk ponton prisma segi 6
2. Parameter berubah :
  - a. panjang *spar* : 133 mm dan 167 mm
  - b. volume muatan : kosong dan ¼ tinggi ponton
  - c. voltase yang digunakan untuk membangkitkan gelombang : 15V dan 20V.
  - d. diameter *heaving plate* : 218.2 mm, 200 mm, 181.84 mm, 136.38 mm dan 90.92 mm

### 2.2. Perlakuan pada objek

Pengukuran ponton diberikan perlakuan perubahan *heaving plate*, *spar*, muatan dan gelombang pada ponton. MPU dan load cell diletakan diatas ponton untuk mengukur *pitch*, *roll*

dan beban heaving, sedangkan untuk sensor ultrasonic diletakkan diatas ponton secara terpisah dan tegak lurus.

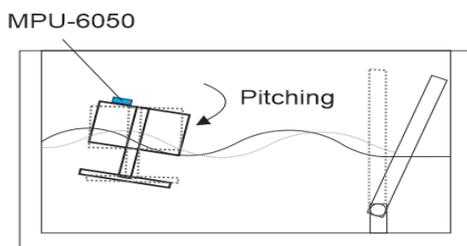
Rangkaian untuk membuat *wireless* dengan menggunakan XBee S2 adalah sebagai berikut:

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

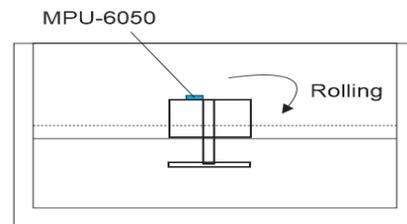
### 2.3. Proses Pengujian

Ponton diletakkan di dalam towing tank yang sebelumnya sudah terpasang sensor MPU dan Loadcell pada tutup ponton dan sensor Ultra Sonic yang terpasang pada Towing Tank. Semua sensor dihubungkan langsung dengan mikrokontroller Arduino UNO menggunakan kabel jumper. Pengujian model ponton dilakukan dengan memberikan dua jenis gelombang yang dibangkitkan oleh Wave Maker yang terpasang pada salah satu ujung Towing Tank. Gelombang yang dihasilkan menyebabkan ponton mengalami gerak translasi dan rotasi yang menyebabkan terjadinya perubahan kondisi pada tiap sensor yang terpasang. Data yang dihasilkan oleh sensor terekam pada PC dan akan diambil nilai rata-rata untuk tiap nilai olah gerak. Jumlah percobaan yang dilakukan pada ponton sebanyak dua kali pada tiap variasi yang telah di tentukan supaya data yang diperoleh dapat di validasi. Durasi Pengujian dilakukan selama 15 detik pada tiap percobaannya untuk menghindari gelombang pantul yang dihasilkan pada ujung towing tank.

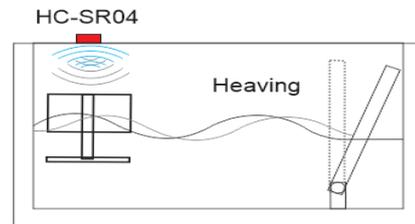
Berikut skema pengukuran nilai olah gerak, skema pengukuran gelombang, proses pengukuran menggunakan *wireless* yang ditunjukan pada gambar 4, gambar 5, gambar 6:



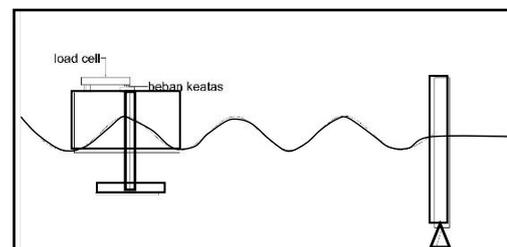
Gambar 4. Skema Pengukuran Gerakan *Pitching*



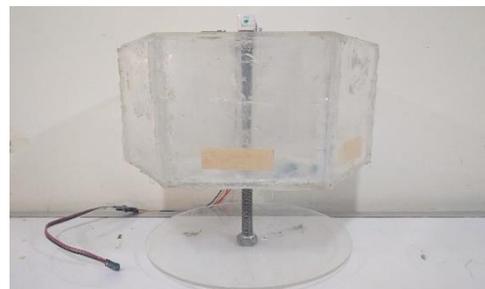
Gambar 5. Skema Pengukuran Gerakan *Rolling*



Gambar 6. Skema Pengukuran Gerakan *Heaving*



Gambar 7. Skema Pengukuran Beban Angkat



Gambar 8. Ponton dengan *Heaving Plate*

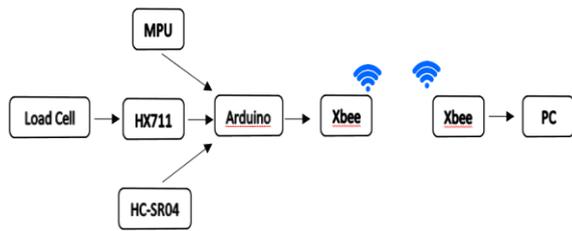


Gambar 9. Pengukuran dengan menggunakan *Wireless*

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Perakitan Alat Ukur

Kabel penghubung antar komponen menggunakan kabel *jumper*, kecuali XBee S2C. Skema perakitan alat ukur bisa dilihat pada gambar 10.



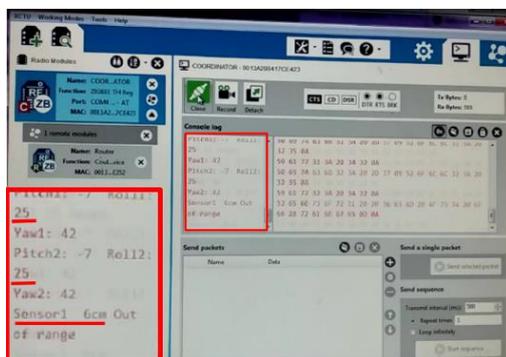
Gambar 10. Rangkaian *Wireless*

Keterangan dari skema rangkaian dari gambar 8:

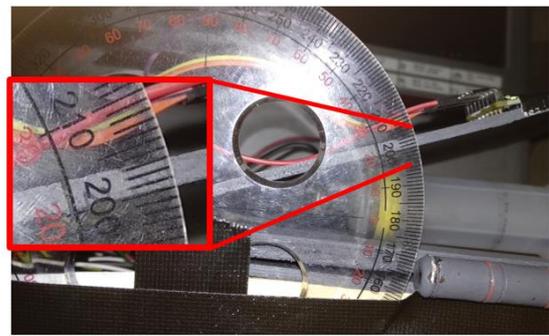
1. MPU-6050, alat yang digunakan untuk mengetahui sudut saat ponton *pitching* ataupun *rolling*.
2. HC-SR04, alat yang digunakan untuk mengukur jarak *heaving* pada ponton.
3. HX711, alat konversi load cell menuju arduino.
4. Load cell, alat yang digunakan untuk mengukur gaya angkat pada ponton.
5. Arduino berfungsi sebagai mikrokontroler.
6. Xbee transmitter berfungsi untuk alat komunikasi untuk mengirimkan data dari arduino ke Xbee *reciver* yang kemudian diolah di PC.
7. Xbee *reciver* berfungsi untuk menerima hasil yang diolah Arduino yang dikirim lewat Xbee *transmitter*.
8. PC (personal computer) sebagai display hasil dari pengukuran.

### 3.2. Pengujian dan Validasi Alat Ukur

Hasil pengukuran validasi dengan mengambil sample *rolling*, pada tampilan display PC menunjukkan  $25^\circ$  (gambar 11) dan pada busur derajat juga menunjukkan kurang lebih  $25^\circ$  (gambar 12), ini menunjukkan tingkat akurasi mencapai 100%.

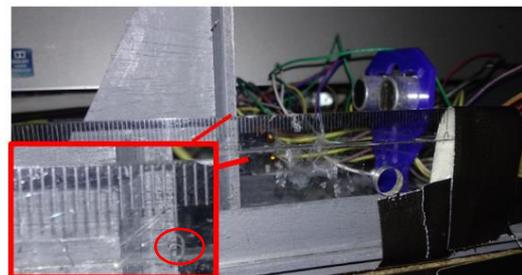


Gambar 11. Tampilan Validasi dari XCTU



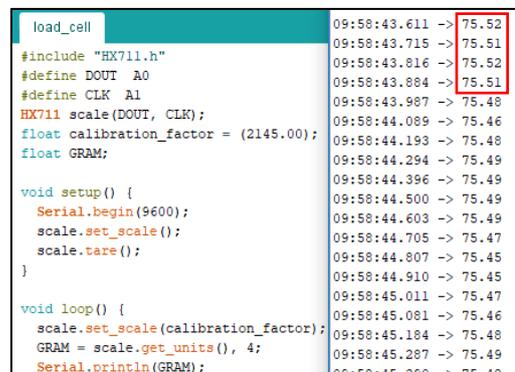
Gambar 12. Sudut *Rolling* dari MPU

Hasil pengukuran validasi jarak dari sensor ultrasonic terhadap objek, pada display PC menunjukkan jarak sensor ultrasonic dengan objek sejauh 6 cm (gambar 11) dan pada alat ukur juga jarak yang sama yaitu 6 cm (gambar 13).



Gambar 13. Jarak yang terbentuk dari HC-SR04

Hasil pengukuran validasi beban *heaving* dari sensor load cell terhadap objek, pada display PC menunjukkan beban objek memiliki massa 75,52 gram (gambar 14) dan pada alat ukur massa juga diperoleh beban sebesar 0,075 kg atau 75 gram (gambar 15), ini menunjukkan tingkat akurasi mencapai 100%.



Gambar 14. Tampilan Validasi loadcell pada PC



Gambar 15. Beban dari Pengukuran Digital

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.

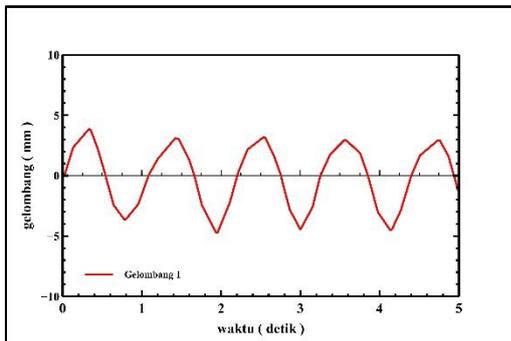
### 3.3. Data Hasil dan Pembahasan

#### 3.3.1. Hasil Pengukuran Tinggi Gelombang

Dari pengukuran didapat data sebagai berikut:

##### a. Menggunakan 15 V

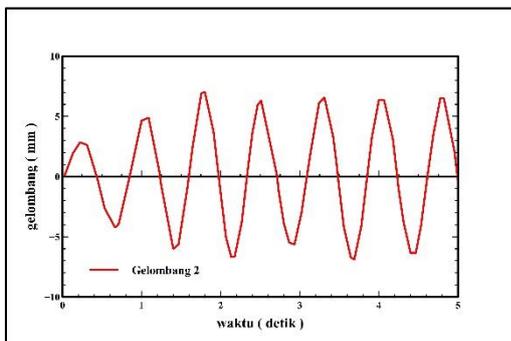
Pada sensor ultrasonik yang berada di *towing tank* didapatkan amplitude maximum sebesar 3,87 mm.



Gambar 16. Gelombang 1

##### b. Menggunakan 20 V

Pada sensor ultrasonik yang berada di *towing tank* didapatkan amplitude maximum sebesar 7,02 mm.



Gambar 17. Gelombang 2

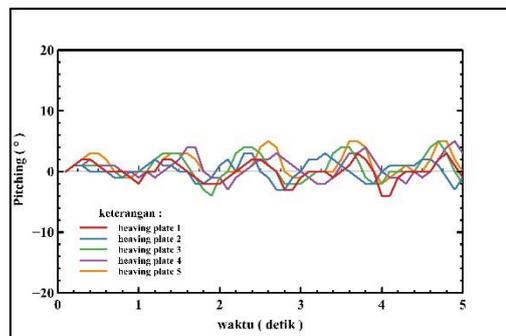
### 3.3.2. Pengukuran Olah Gerak Ponton dengan Heaving Plate

#### a. Pitching

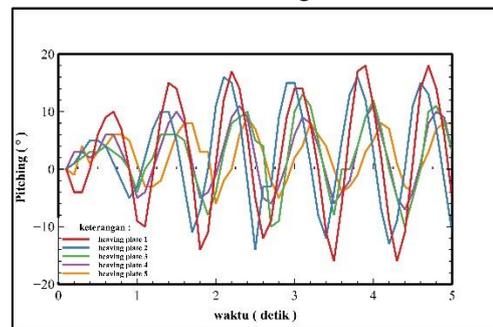
Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 1, gambar 18 dan 19. (spar 1 = 167 mm, spar 2 = 134 mm). (sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton). (gel 1 = gelombang 15 V dengan tinggi 0,75 cm, gel 2 = gelombang 20 V dengan tinggi 1,25 cm). (Variasi 1 = spar 1 sarat 0, Variasi 2 = spar 1 sarat 0,25, Variasi 3 = spar 2 sarat 0, Variasi 4 = spar 2 sarat 0,25). HP 1 = heaving plate dengan diameter 90.92 mm, HP 2 = heaving plate dengan diameter 136.38 mm, HP 3 = heaving plate dengan diameter 181.84 mm, HP 4 = heaving plate dengan diameter 200 mm, HP 5 = heaving plate dengan diameter 218.2 mm.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Pitching

Variasi dan Gelombang	Pitching (°)				
	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Variasi 1 Gel 1	5	7	6	4	5
Variasi 1 Gel 2	14	10	11	7	8
Variasi 2 Gel 1	3	3	5	5	5
Variasi 2 Gel 2	18	15	13	12	11
Variasi 3 Gel 1	5	5	5	5	3
Variasi 3 Gel 2	13	12	11	7	7
Variasi 4 Gel 1	7	5	5	5	5
Variasi 4 Gel 2	18	16	13	11	9



Gambar 18. Grafik Pitching Variasi 2 Gelombang 1



Gambar 19. Grafik Pitching Variasi 4 Gelombang 2

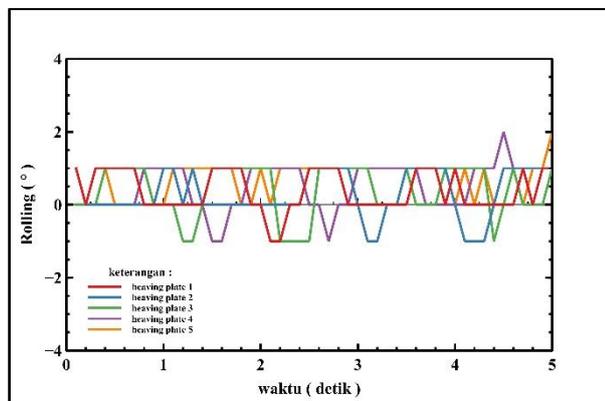
Berdasarkan tabel 1, gambar 18 dan gambar 19, nilai sudut *pitching* tertinggi adalah  $18^\circ$  pada variasi 2 gelombang 2 *heaving plate* 1 dan variasi 4 gelombang 2 *heaving plate* 1 sedangkan nilai sudut *pitching* terkecil adalah  $3^\circ$  pada variasi 2 gelombang 1 *heaving plate* 1 dan *heaving plate* 1 serta pada variasi 3 gelombang 1 *heaving plate* 5.

### b. Rolling

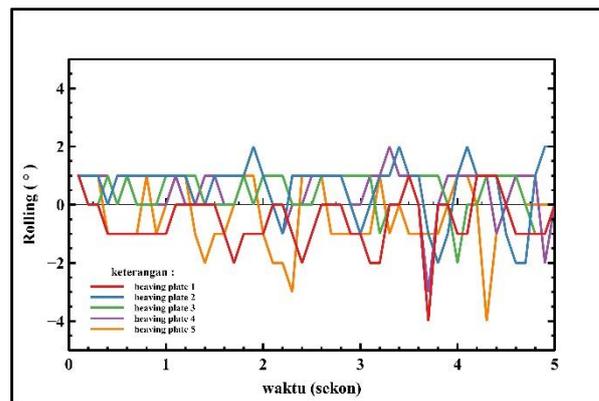
Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 2, gambar 20 dan gambar 21. (spar 1 = 167 mm, spar 2 = 134 mm). (sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton). (gel 1 = gelombang 15 V dengan tinggi 0,75 cm, gel 2 = gelombang 20 V dengan tinggi 1,25 cm). (Variasi 1 = spar 1 sarat 0, Variasi 2 = spar 1 sarat 0,25, Variasi 3 = spar 2 sarat 0, Variasi 4 = spar 2 sarat 0,25). HP 1 = heaving plate dengan diameter 90.92 mm, HP 2 = heaving plate dengan diameter 136.38 mm, HP 3 = heaving plate dengan diameter 181.84 mm, HP 4 = heaving plate dengan diameter 200 mm, HP 5 = heaving plate dengan diameter 218.2 mm.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran *Rolling*

Variasi dan Gelombang	<i>Rolling</i> ( $^\circ$ )				
	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Variasi 1 Gel 1	1	1	1	2	2
Variasi 1 Gel 2	2	2	2	2	1
Variasi 2 Gel 1	2	1	1	1	2
Variasi 2 Gel 2	1	2	1	2	1
Variasi 3 Gel 1	2	2	2	2	2
Variasi 3 Gel 2	2	2	2	2	2
Variasi 4 Gel 1	2	1	2	1	2
Variasi 4 Gel 2	1	1	1	1	1



Gambar 20. Grafik *Rolling* Variasi 1 Gelombang 1



Gambar 21. Grafik *rolling* Variasi 3 Gelombang 2

Berdasarkan tabel 2, gambar 20 dan gambar 21, nilai *rolling* cenderung tidak mengalami perubahan yang besar, hal ini dikarenakan gelombang yang mengenai ponton berupa gelombang regular dengan ketinggian yang sama, yang menyebabkan ponton cenderung stabil.

### c. Heaving dan Beban Heaving

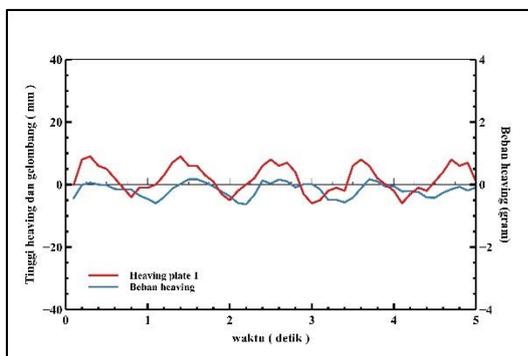
Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 3, tabel 4, gambar 22 dan gambar 23. (spar 1 = 167 mm, spar 2 = 134 mm). (sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton). (gel 1 = gelombang 15 V dengan tinggi 0,75 cm, gel 2 = gelombang 20 V dengan tinggi 1,25 cm). (Variasi 1 = spar 1 sarat 0, Variasi 2 = spar 1 sarat 0,25, Variasi 3 = spar 2 sarat 0, Variasi 4 = spar 2 sarat 0,25). HP 1 = heaving plate dengan diameter 90.92 mm, HP 2 = heaving plate dengan diameter 136.38 mm, HP 3 = heaving plate dengan diameter 181.84 mm, HP 4 = heaving plate dengan diameter 200 mm, HP 5 = heaving plate dengan diameter 218.2 mm.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran *Heaving*

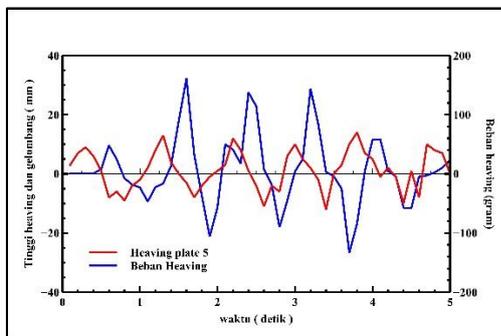
Variasi dan Gelombang	<i>Heaving</i> (mm)				
	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Variasi 1 Gel 1	9	12	10	16	12
Variasi 1 Gel 2	16	16	20	22	21
Variasi 2 Gel 1	11	14	18	14	17
Variasi 2 Gel 2	16	15	16	16	17
Variasi 3 Gel 1	9	9	11	14	17
Variasi 3 Gel 2	20	14	13	24	20
Variasi 4 Gel 1	8	14	15	13	15
Variasi 4 Gel 2	16	19	13	17	14

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Beban *Heaving*

Variasi dan Gelombang	Beban <i>Heaving</i> ( gram )				
	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5
Variasi 1 Gel 1	0.17	3.08	0.69	0.72	0.79
Variasi 1 Gel 2	6.75	33.05	49.21	32.35	42.09
Variasi 2 Gel 1	4.1	3.2	7.1	25.31	38.32
Variasi 2 Gel 2	26.19	30.16	35.34	36.45	111.73
Variasi 3 Gel 1	7.1	4.6	5.8	6.2	7.3
Variasi 3 Gel 2	16.5	47.43	67.47	92.35	108.82
Variasi 4 Gel 1	7.1	9.8	13.51	95.67	61.43
Variasi 4 Gel 2	48.81	60.72	109.76	127.35	161.23



Gambar 22. Grafik *Heaving* dan Beban *Heaving* Variasi 1 Gelombang 1 *Heaving Plate* 1



Gambar 23. Grafik *Heaving* dan Beban *Heaving* Variasi 4 Gelombang 2 *Heaving Plate* 5

Berdasarkan tabel 3, tabel 4, gambar 22 dan gambar 23, nilai *heaving* dengan beban *heaving* terbesar adalah sebesar 14 mm dan 161,23 gram pada variasi 4 gelombang 2 *heaving plate* 5 sedangkan nilai *heaving* dengan beban *heaving* terkecil adalah sebesar 12 mm dan 0.79 gram pada variasi 1 gelombang 1 *heaving plate* 1.

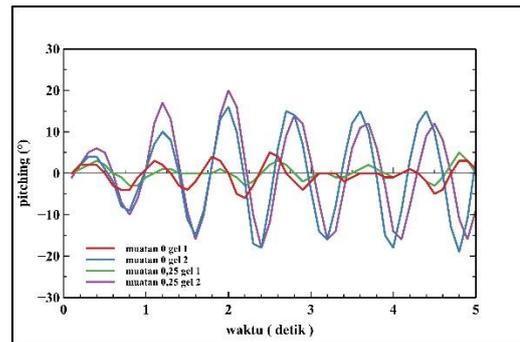
### 3.3.3. Pengukuran Olah Gerak Ponton tanpa *Heaving Plate*

Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 5, gambar 24, gambar 25 dan gambar 26.

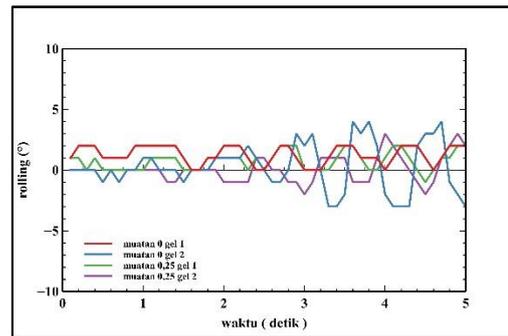
(sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton). (gel 1 = gelombang 15 V dengan tinggi 0,75 cm, gel 2 = gelombang 20 V dengan tinggi 1,25 cm).

Tabel 5. Data Pengukuran tanpa *Heaving Plate*

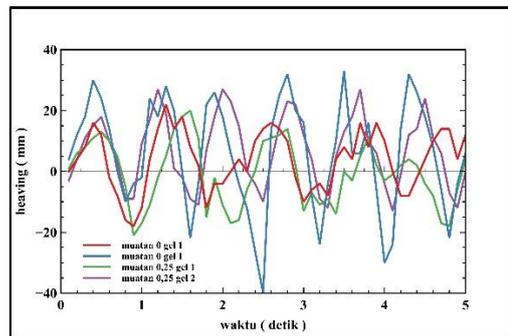
variasi	pitch (°)	roll (°)	Heave (mm)
Sarat 0 gel 1	5	2	10
Sarat 0 gel 2	16	4	19
Sarat 0,25 gel 1	5	2	20
Sarat 0,25 gel 2	20	3	27



Gambar 24. Grafik *Pitching* Ponton tanpa *Heaving Plate*



Gambar 25. Grafik *Rolling* Ponton tanpa *Heaving Plate*



Gambar 26. Grafik *Heaving* Ponton tanpa *Heaving Plate*

Berdasarkan data grafik dan tabel *pitching*, *rolling*, dan *heaving* antara ponton tanpa *heaving plate* dengan ponton *heaving plate* dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *heaving plate* dapat mengurangi gerakan *pitching* mencapai 56,25 %, sedangkan *rolling* mencapai 50% dan *heaving* mencapai 51,8 %.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil Analisa yang telah dilakukan pada alat ukur olah gerak dan pengukuran olah gerak setiap variasi ponton dengan pengaruh sarat, variasi gelombang, panjang spar dan ukuran *heaving plate* maka disimpulkan bahwa:

Penambahan *heaving plate* dapat mengurangi respon *pitching* mencapai 56,25 %, *rolling* 50 % dan *heaving* 51,8 %.

Variasi tinggi muatan 0,25H cenderung mengakibatkan nilai olah gerak ponton yang lebih stabil dari pada muatan 0, dan Tinggi gelombang 2 mengakibatkan semakin besarnya nilai olah gerak ponton terutama pada gerakan *heaving* dan *pitching*.

Berdasarkan variasi ukuran *heaving plate* diperoleh nilai olah gerak *pitching* terbesar terjadi pada ponton *heaving plate 1* dengan gelombang 2 variasi 2 dan 4 dengan nilai 18°, untuk nilai *rolling* terbesar terjadi pada ponton *heaving plate 1* variasi 3 gelombang 2 dengan nilai 6 °, sedangkan untuk nilai *heaving* terbesar terjadi pada ponton *heaving plate 4* variasi 3 gelombang 2 dengan nilai 24 mm.

Beban *heaving* terbesar terjadi pada variasi 4 gelombang 2 *heaving plate 5* sebesar 161,23 gram dengan nilai *heaving* 14 mm, interaksi dengan nilai terbesar antara gerakan *heaving* dan beban *heaving* ini dapat diaplikasikan pada ponton pembangkit listrik guna menggerakkan linier generator sehingga dapat menghasilkan listrik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. S. Hadi, M. Iqbal, and A. W. B. Santosa, "Experimental Measurement Of Floating Structure Motion Response Based On The Low-Cost Microcontroller In Towing Tank," *I. J. M. E. T.*, vol. 9, no. 10, pp. 614–624, 2018.
- [2] 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.
- [3] S. Sudhakar and S. Nallayarasu, "Influence of Heave Plate on Hydrodynamic Response of Spar," In Proc. International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2014, pp. 1–11.
- [4] H. Zhu, J. Ou, and G. Zhai, "Conceptual design of a deep draft semi-submersible platform with a moveable heave-plate," *J. Ocean Univ. China*, vol. 11, no. 1, pp. 7–12, 2012.
- [5] A. Subbulakshmi, J. Jose, R. Sundaravadivelu, and R. P. Selvam, "Effect of Viscous Damping on Hydrodynamic Response of Spar with Heave Plate," *Aquat. Procedia*, vol. 4, no. Icwrcoc, pp. 508–515, 2015.
- [6] InvenSense Inc, MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, vol. 1, no. 408. 2013.
- [7] Cytron Technologies, *User's Manual–HCSR04 Ultrasonic Sensor*. May. 2013.
- [8] Scale Manufacturers Association, *Load Cell Application and Test Guideline*, no. 866. 2010.
- [9] AVIA Semiconductor, *24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales*, vol. 9530, no. 592. 2018 .
- [10] B. W. Evans, *Arduino Programming Notebook*. San Fransisco, 2008.
- [11] Y. Yuliza, "Komunikasi Antar Robot Menggunakan RF Xbee dan Arduino Microcontroller," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, p. 53, 2017.