



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengukuran Olah Gerak Ponton Tabung Dengan Penambahan *Heaving plate* Berbentuk Segitiga Dengan Variasi *Strip Plate* Pada Gelombang Reguler Menggunakan *Mikrokontroler* Berbasis *Wireless*

Agung Al Caesar¹⁾, Eko Sasmito Hadi¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

e-mail : agungalcaesar@gmail.com , ekosasmitohadi@gmail.com, good.rindo@gmail.com

Abstrak

Penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui secara terus menerus dapat mengakibatkan ketersediaan sumber daya alam tersebut semakin menipis sehingga perlu adanya sebuah inovasi baru sebagai pengganti sumber daya alam tersebut. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan olah gerak dan pengaruh terhadap stabilitas ponton setelah ditambahkan *heaving plate* segitiga dengan variasi jarak *strip plate*. Dengan ini direncanakan bentuk *heaving plate* segitiga dan ditambahkan *strip plate* dengan variasi jarak 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm dan 50 mm. Penelitian ini menggunakan alat berupa Arduino untuk mikrokontroler, sensor HS-SR04 untuk mengukur tinggi gelombang dan *heaving*, sensor MPU untuk mengetahui *pitching* dan *rolling*, *load cell* untuk mengetahui beban yang diakibatkan oleh *heaving plate* dan menggunakan XBee S2C sebagai komunikasi dari Arduino ke PC (*wireless*). Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa dengan penambahan *heaving plate* segitiga dan *strip plate* pada ponton dapat mereduksi gerakan ponton dimana menghasilkan *pitching* sebesar 7°, sedangkan pada ponton tanpa *heaving plate* nilai *pitching* yang dihasilkan sebesar 15°. Untuk nilai *rolling* ponton dengan *heaving plate* menghasilkan nilai *rolling* 4°, sedangkan untuk ponton tanpa *heaving plate* menghasilkan nilai *rolling* sebesar 5°. Pada nilai *heaving* menunjukkan hasil yang berbeda dimana nilai *heaving* yang dihasilkan oleh ponton dengan *heaving plate* sebesar 29 mm lebih besar jika dibandingkan dengan ponton tanpa *heaving plate* yaitu sebesar 25 mm. Hal ini membuktikan bahwa dengan ditambahkannya *heaving plate* pada ponton dapat mengurangi gerakan *pitch* dan *roll* pada ponton, dan dapat meningkatkan nilai *heaving* dimana dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya untuk pembangkit listrik.

Kata Kunci : *Towing tank*, *Olah gerak*, *Mikrokontroler*, *Wireless*, *Heaving plate*, *Strip Plate*

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya zaman kebutuhan akan energi semakin meningkat. Penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui secara terus menerus dapat mengakibatkan ketersediaan sumber daya alam tersebut menipis sehingga perlu adanya sebuah inovasi baru sebagai pengganti sumber daya alam tersebut. Misalnya menggunakan tenaga matahari, angin, air, dan gelombang laut. Dibandingkan dengan teknologi hijau lainnya seperti energi matahari dan angin, energi gelombang laut memberikan ketersediaan mencapai 80-90% dengan kawasan potensial yang tidak terbatas.

Universitas Diponegoro memiliki fasilitas pengujian benda apung berupa *Towing Tank* yang berada di Laboratorium Hidrodinamika Teknik Perkapalan, memiliki sistem mekanika pengujian yang diproduksi oleh *wave makers* dengan memanfaatkan teknologi mikrokontroler berbasis *wireless*, yang awalnya masih menggunakan teknologi mikrokontroler berbasis *wired*. Keunggulan dari teknologi mikrokontroler berbasis *wireless* ini adalah membutuhkan biaya yang sedikit dan tetap akurat. Benda apung sendiri memiliki enam gerakan yang disebut *Six Degree of Freedom* (DOF), 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*).[1]

Gerakan yang terjadi pada kapal berbeda-beda, tergantung kepada besarnya gaya luar yang bekerja pada kapal tersebut. Dalam sebuah penelitian tentang bagaimana performa *prototype* menggunakan model berskala 1:10 dari ukuran sebenarnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pergeseran besar pada *roll* dan *pitch* terjadi saat ketinggian gelombang mencapai 20 cm dalam 5 detik. Gerakan *yaw* yang ditemukan mempunyai nilai yang kecil dan sesuai dengan apa yang diinginkan, itu mungkin disebabkan karena adanya *mooring lines* pada *prototype* yang menjaga kinerja perangkat dari gerakan *roll* dan *pitch*. [2] Hasil penelitian dan pengujian lainnya tentang pengukuran respon gerakan ponton menggunakan *microcontroller* di *Towing Tank* dengan menggunakan variasi jenis muatan padat dan cair, terdapat perbedaan hasil olah gerak (*seakeeping*), dimana penggunaan beban jenis muatan *liquid* (cair) memiliki olah gerak yang lebih besar dibandingkan jenis muatan *solid* (padat). [3]

Bangunan apung pada zaman sekarang sudah mengalami berbagai macam inovasi guna menghasilkan performa terbaik, seperti penambahan *heaving plate* pada bangunan lepas pantai yang menggunakan spar. Selain itu, sudah banyak dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *heaving plate* terhadap respon dari olah gerak kapal, seperti hasil dari sebuah penelitian yang meneliti pengaruh penambahan *heaving plate* terhadap respon hidrodinamika sebuah spar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengukuran nilai RAO *pitch*, *surge* dan *heave* sebanding dengan hasil numerik. Kenaikan rasio diameter menguragi RAO *heaving* 19% untuk rasio diameter 1.3 dan 24% untuk rasio diameter 1.5. Diameter *heaving plate* yang disarankan adalah 20-30% lebih besar dari diameter spa untuk mencapai respon *surge*, *heave* dan *pitch* yang optimal dalam penambahan massadan peningkatan redaman sebagai efek yang positif. [4]

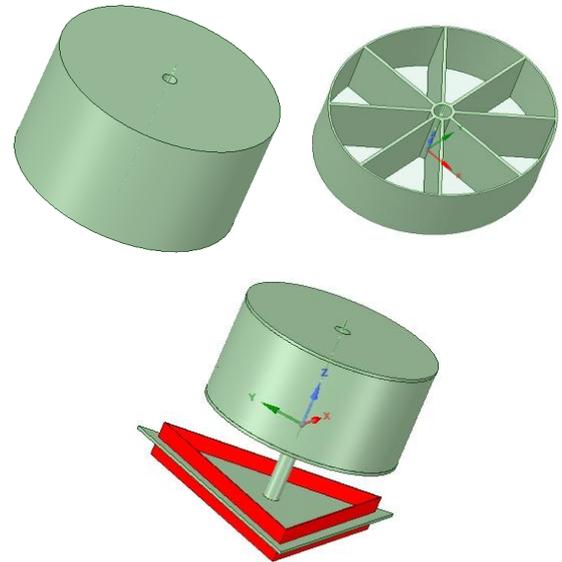
Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu, mengetahui nilai olah gerak ponton dengan variasi jarak *strip plate* pada *heaving plate*, panjang spar dan muatan serta perbedaan nilai olah gerak yang dihasilkan pada jenis gelombang yang berbeda yang di hasilkan oleh *wave maker* pada *towing tank*. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan untuk mendapatkan nilai gaya keatas yang dihasilkan oleh *Heaving Plate* akibat aliran yang diberikan.

Pengambilan data olah gerak ponton pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler sebagai otak dari sistem dan mentransfer data tersebut secara *wireless* untuk mempermudah mahasiswa.

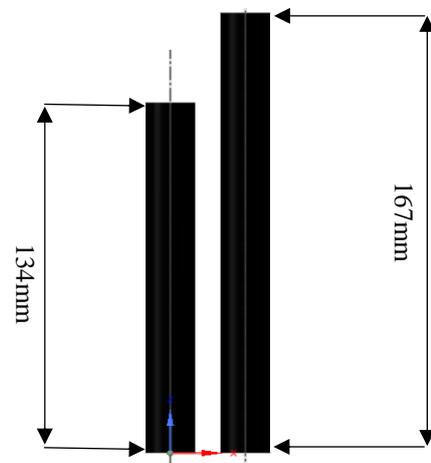
2. METODE

2.1. Objek Penelitian

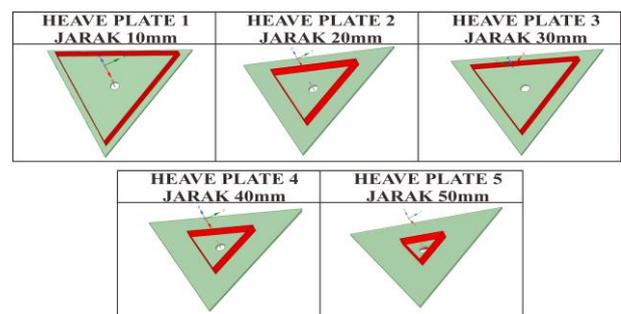
Objek yang diteliti adalah ponton yang terbuat dari akrilik, serta didalam ponton terdapat sekat untuk keperluan pengisian muatan dan analisa, dengan sesuai dimensi yang telah didesain, yang ditunjukkan pada gambar 1, sebagai berikut:



Gambar 1. Desain lambung ponton



Gambar 2. Desain Spar



Gambar 3. Desain Heaving plate

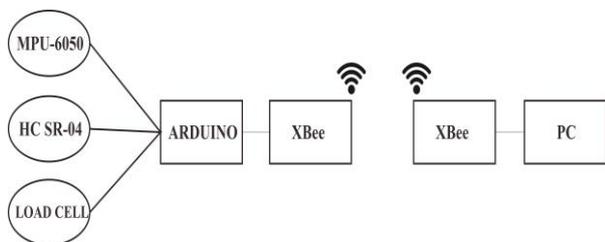
Parameter yang diberikan untuk menunjukkan nilai seakeeping atau olah gerak ponton bila diberi variasi muatan adalah:

1. Parameter tetap : Bentuk ponton silinder/tabung berbahan akrilik dan mempunyai 6 sekat dengan *heaving plate* berbentuk segitiga sama sisi dengan ukuran 245,45 mm
2. Parameter berubah : Tinggi muatan (0H dan 1/4H), gelombang 1 sebesar 15 V dan gelombang 2 sebesar 20 V, jarak *strip plate* pada *heaving plate*

2.2. Perlakuan pada objek

Pengukuran ponton diberikan perlakuan penambahan beban pada tiap ponton dan menggunakan dua metode, yaitu dengan menggunakan *wireless*, berikut rangkaiannya:

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



Gambar 4. Rangkaian *wireless*

Keterangan dari skema rangkaian dari gambar 3:

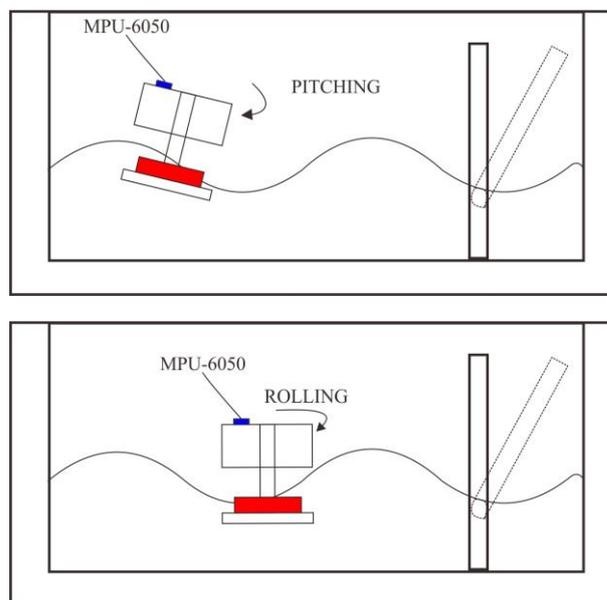
1. MPU-6050, alat yang digunakan untuk mengetahui sudut saat ponton *pitching* ataupun *rolling*. [5]
2. HC-SR04, alat yang digunakan untuk mengukur jarak *heaving* pada ponton. [6]
3. Load Cell, alat yang digunakan untuk mengukur beban *heaving* yang ditimbulkan oleh *heaving plate*. [7]
4. Arduino berfungsi sebagai mikrokontroler. [8]
5. XBee transmitter berfungsi untuk alat komunikasi untuk mengirimkan data dari arduino ke XBee *reciver* yang kemudian diolah di PC. [9]
6. XBee *reciver* berfungsi untuk menerima hasil yang diolah Arduino yang dikirim lewat XBee *transmitter*. [10]
7. PC (*personal computer*) sebagai display hasil dari pengukuran.

2.3. Proses Pengujian

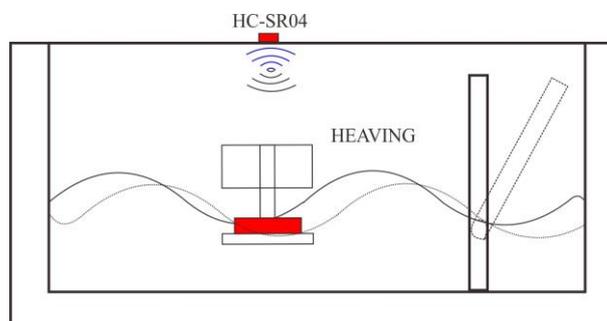
Pengujian model ponton pada *towing tank* yang diberi gelombang, untuk mengetahui respon dari model ponton dengan berbagai variabel.

Pengujian dilakukan selama 15 detik pada tiap variasi, dan akan diambil nilai rata-rata untuk tiap nilai olah gerak.

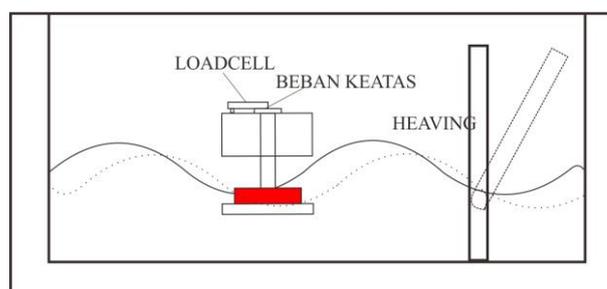
Berikut skema pengukuran nilai olah gerak, skema pengukuran gelombang, proses pengukuran menggunakan *wireless* yang ditunjukkan pada gambar 5, gambar 6 dan gambar 7:



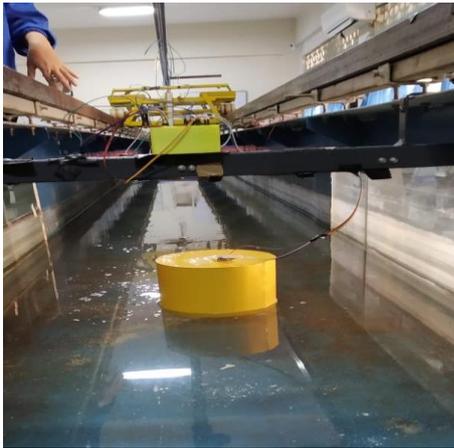
Gambar 5. Skema pengukuran gerakan rotasi



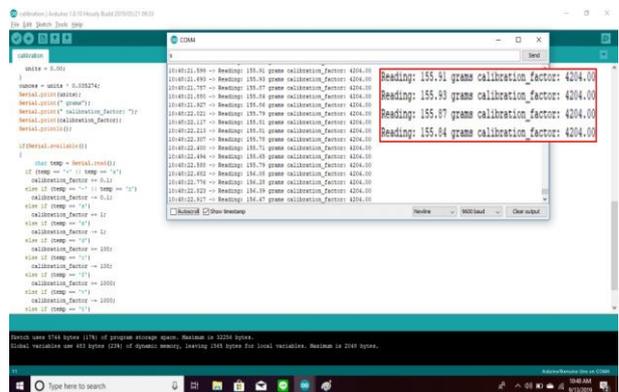
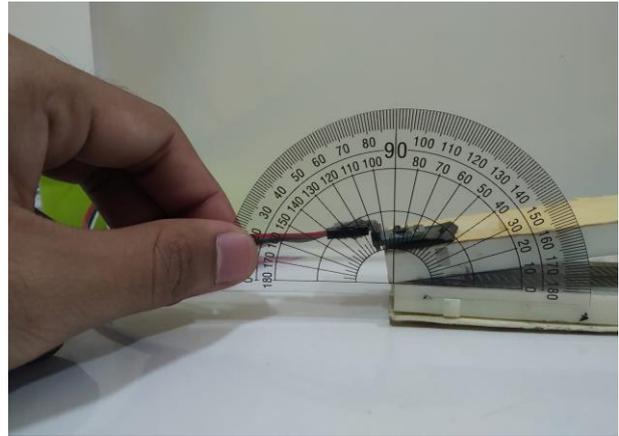
Gambar 6. Skema pengukuran gerakan translasi



Gambar 7. Skema pengukuran gaya keatas



Gambar 8. Pemasangan alat ukur ke ponton.



Gambar 9. Validasi Alat Ukur

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:

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

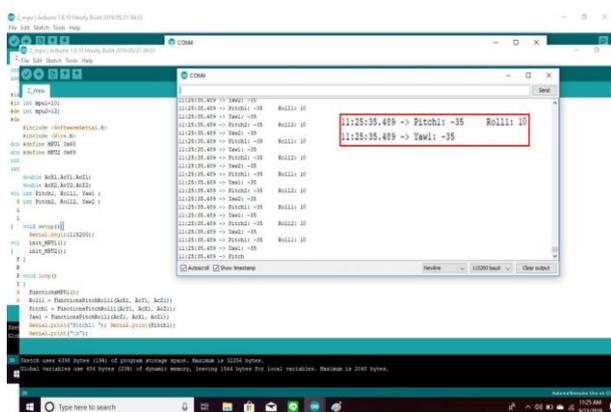
3.1. Perakitan Alat Ukur

Kabel penghubung antar komponen menggunakan kabel *jumper*, kecuali XBee S2C. Skema perakitan alat ukur bisa dilihat pada gambar 4.

3.2. Pengujian dan Validasi Alat Ukur

Hasil pengukuran validasi dengan mengambil sample *rolling* kedua MPU pada tampilan display PC menunjukkan angka 10° dan pada busur derajat didapatkan hasil yang sama yaitu kurang lebih 10° , hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi hampir 100%.

Kemudian mengukur jumlah berat sebuah kantung plastik yang berisikan pasir. Pada alat yang digunakan menunjukkan berat pasir sebesar 0,155 kg atau setara dengan 155 gram, pada sensor MPU juga menunjukkan angka kurang lebih 155 gram, hal ini menunjukkan tingkat akurasi hampir 100%.



a. Menggunakan arus 15 V
 Pada sensor 1 yang berada di samping selatan *towing tank* didapatkan rata-rata tinggi gelombang sebesar 0.55 cm, dan pada sensor 3 yang berada di samping utara *towing tank* didapatkan rata-rata tinggi gelombang sebesar 0.65cm.

b. Menggunakan arus 20 V
 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 1.25 cm.

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 18,5 cm yang tergolong dangkal, yang kedua karena dari pembangkit ombak terjadi eror pada engselnya, sehingga gelombang pada bagian utara dan selatan berbeda.

2. Pengukuran Olah Gerak Ponton

Hasil dari pengukuran olah gerak menggunakan 1 sensor MPU yang terletak ditengah ponton dan menggunakan HC-SR04 yang terletak seperti pada gambar 4.

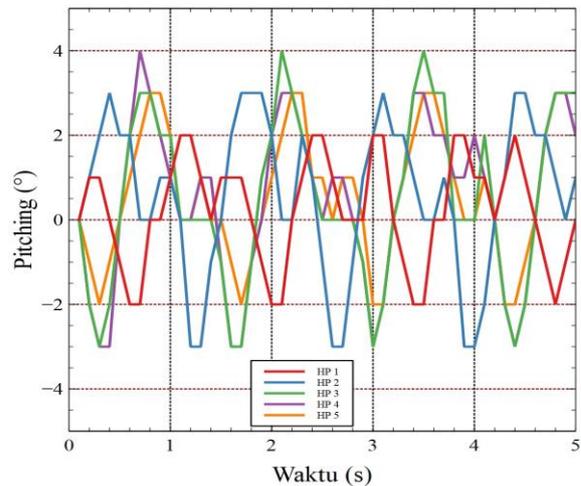
a. Perubahan Pitching pada ponton

Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 1, gambar 8 dan 9 berdasarkan pengamatan perubahan sudut *pitching* pada gelombang 2, sarat 0 dan spar 1 memiliki nilai derajat yang lebih besar, pada gelombang 2 diakibatkan karena tinggi gelombang, untuk ponton yang memiliki sarat 0 atau tanpa muatan juga grafik *pitching* terlihat lebih besar, dan spar 2 karena memiliki ukuran yang lebih pendek. (spar 1 = 167 mm, spar 2 = 133 mm). (sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton). (gelombang 1 = gelombang dengan tinggi 0,55 cm, gelombang 2 = gelombang 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 = jarak 10 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 2 = jarak 20 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 3 = jarak 30 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 4 = jarak 40 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 5 = jarak 50 mm dari luaran segitiga *heaving plate*).

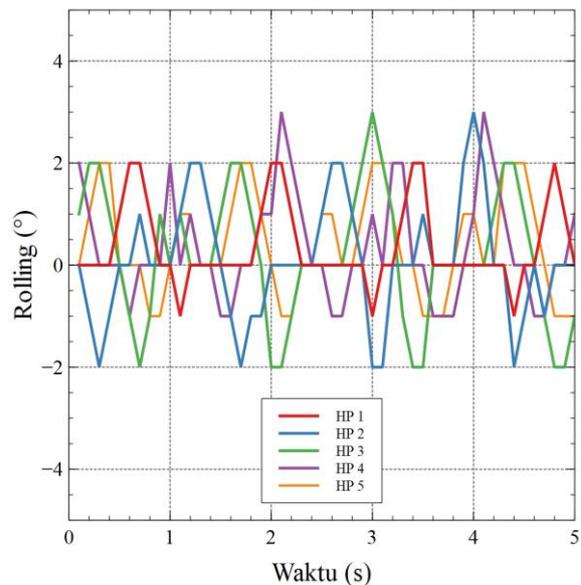
Tabel 1. Data hasil pengukuran *pitching*

Spar, Muatan dan Gelombang	Hp	Hp	Hp	Hp	Hp
	1	2	3	4	5
	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)
Variasi 1 Gel 2	3	6	4	5	10

Variasi 2 Gel 1	3	3	3	3	3
Variasi 2 Gel 2	4	4	5	7	6
Variasi 3 Gel 1	2	3	4	3	3
Variasi 3 Gel 2	3	6	4	5	10
Variasi 4 Gel 1	3	3	3	4	2
Variasi 4 Gel 2	4	3	4	4	5



Gambar 10. Grafik Hasil pengukuran *Pitching* (Spar 1 Sarat 0 Gelombang 1)



Gambar 11. Grafik Hasil pengukuran *Pitching* (Spar 1 Sarat 0 Gelombang 2)

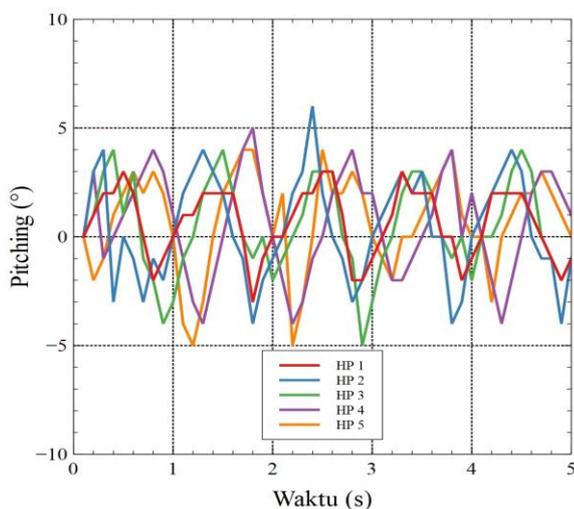
Dari grafik terlihat beberapa perbedaan olah gerak dari ponton tabung antara *heaving plate* 1 sampai *heaving plate* 5, itu diakibatkan karena jarak strip plate dari *heaving plate* yang berbeda sehingga pada saat terkena gelombang pergerakannya juga berbeda. Dan juga perbedaan jumlah muatan mempengaruhi olah gerak terlihat digambar olah gerak ponton tanpa muatan atau sarat 0 berbeda dengan olah gerak dengan muatan setinggi 0,25 H ponton .

b. Perubahan *Rolling* pada ponton

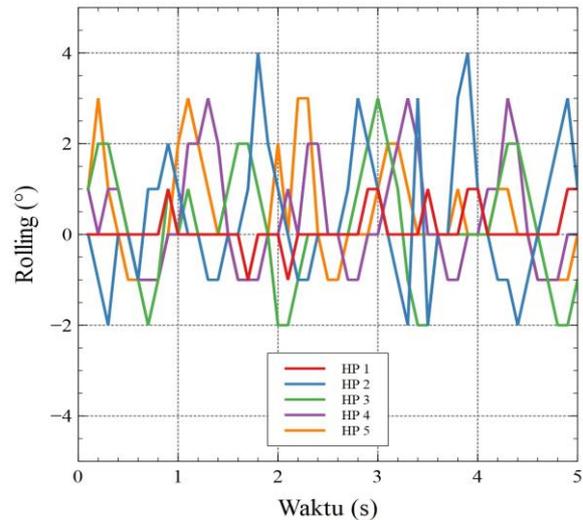
Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada table 1 gambar 10 dan 11, berdasarkan pengamatan perubahan sudut *rolling* pada gelombang 2, sarat 0,25, dan spar 2 perubahannya lebih besar dibanding gelombang 1, sarat 0, dan spar 1. (spar 1 = 167 mm, spar 2 = 133 mm). (sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton). (gelombang 1 = gelombang dengan tinggi 0,55 cm, gelombang 2 = gelombang 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 = jarak 10 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 2 = jarak 20 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 3 = jarak 30 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 4 = jarak 40 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 5 = jarak 50 mm dari luaran segitiga *heaving plate*).

Tabel 2. Data hasil pengukuran *rolling*

Spar, Muatan dan Gelombang	Hp1 (°)	Hp2 (°)	Hp3 (°)	Hp4 (°)	Hp5 (°)
Variasi 1 Gel 2	3	6	4	5	10
Variasi 2 Gel 1	3	3	3	3	3
Variasi 2 Gel 2	4	4	5	7	6
Variasi 3 Gel 1	2	3	4	3	3
Variasi 3 Gel 2	3	6	4	5	10
Variasi 4 Gel 1	3	3	3	4	2
Variasi 4 Gel 2	4	3	4	4	5



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



Gambar 13. Grafik Hasil pengukuran *rolling* (Spar 1 Sarat 0 Gelombang 2)

Dari grafik terlihat beberapa perbedaan olah gerak dari ponton tabung antara *heaving plate* 1 sampai *heaving plate* 5, itu diakibatkan karena jarak *strip plate* dari *heaving plate* yang berbeda sehingga pada saat terkena gelombang pergerakannya juga berbeda. Dan juga perbedaan jumlah muatan mempengaruhi olah gerak terlihat digambar olah gerak ponton tanpa muatan atau sarat 0 berbeda dengan olah gerak dengan muatan setinggi 0,25 H ponton .

c. Perubahan *Heaving* dan beban dari *heaving plate* pada Ponton

Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada gambar 12, berdasarkan pengamatan perubahan sudut *rolling* pada gelombang 2, sarat 0,25, dan spar 2 perubahannya lebih besar dibanding gelombang 1, sarat 0, dan spar 1. Untuk keterangan dari gambar yaitu, spar 1 = 157 mm, spar 2 = 133 mm, sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton, gelombang 1 = gelombang dengan tinggi 0,55 cm, gelombang 2 = gelombang dengan tinggi 1,25 cm, HP 1 = jarak 10 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 2 = jarak 20 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 3 = jarak 30 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 4 = jarak 40 mm dari luaran segitiga *heaving plate*, HP 5 = jarak 50 mm dari luaran segitiga *heaving plate*.

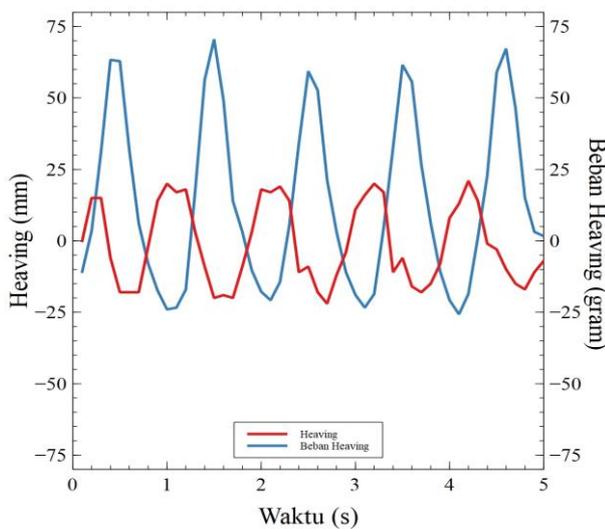
Tabel 3. Data hasil pengukuran *heaving*

Spar, Muatan dan Gelombang	Hp1 (mm)	Hp2 (mm)	Hp3 (mm)	Hp4 (mm)	Hp5 (mm)
Variasi 1 Gel 1	1	5	4	5	5
Variasi 1 Gel 2	6	20	14	9	24
Variasi 2 Gel 1	4	3	17	4	2
Variasi 2 Gel 2	16	19	19	13	28

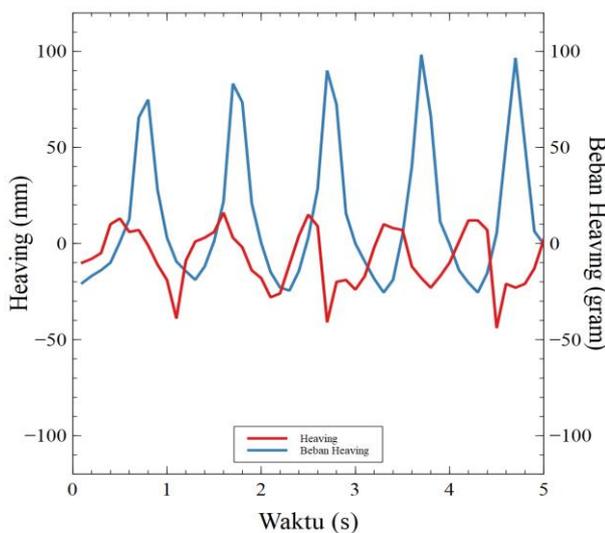
Variasi 3 Gel 1	1	5	4	5	5
Variasi 3 Gel 2	6	21	14	9	24
Variasi 4 Gel 1	9	2	3	9	12
Variasi 4 Gel 2	21	20	20	29	23

Tabel 4. Data hasil pengukuran beban *heaving*

Spar, Muatan dan Gelombang	Hp1 (gr)	Hp2 (gr)	Hp3 (gr)	Hp4 (gr)	Hp5 (gr)
Variasi 1 Gel 2	8	8.1	8.9	10	7.2
Variasi 1 Gel 2	10	17.7	9.9	60.8	12.9
Variasi 2 Gel 1	9.1	10.6	8	8	9
Variasi 2 Gel 2	98.2	70.7	47.4	50.5	45.5
Variasi 3 Gel 1	5.2	13.3	6	6	6.5
Variasi 3 Gel 2	124	89.8	63.4	73.1	134
Variasi 4 Gel 1	5.3	12.1	4	5	4
Variasi 4 Gel 2	85.3	24.4	7	11.6	45



Gambar 14. Grafik hasil pengukuran *heaving* dan beban *heaving* (Spar 1 Sarat 0,25 Gelombang 2)



Gambar 15. Grafik hasil pengukuran *heaving* dan beban *heaving* (Spar 2 Sarat 0,25 Gelombang 2)

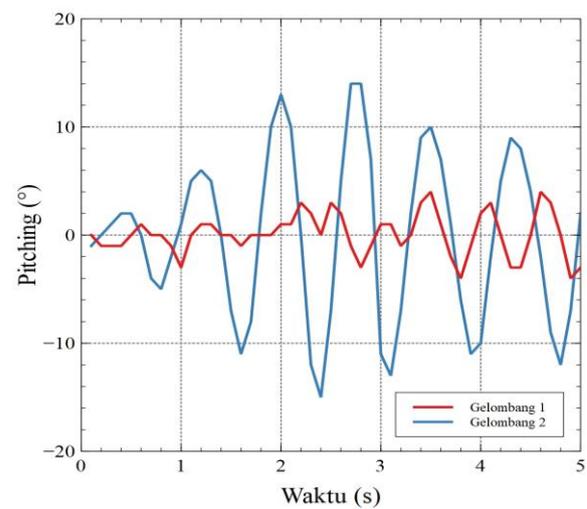
Dari grafik terlihat beberapa perbedaan olah gerak dari ponton tabung antara *heaving plate* 1 sampai *heaving plate* 5, itu diakibatkan karena jarak *strip plate* dari *heaving plate* yang berbeda sehingga pada saat terkena gelombang pergerakannya juga berbeda. Dan juga perbedaan jumlah muatan mempengaruhi olah gerak terlihat digambar olah gerak ponton tanpa muatan atau sarat 0 berbeda dengan olah gerak dengan muatan setinggi 0,25 H ponton .

d. Perubahan *Pitching*, *Rolling*, *Heaving* Pada Ponton Tabung Tanpa *Heaving plate*

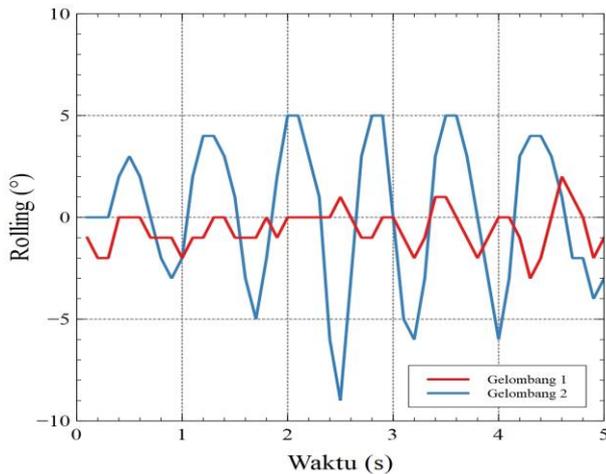
Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 5 gambar 15, 16 dan 17 berdasarkan pengamatan perubahan *heaving*, *pitching*, *rolling* pada gelombang 2, sarat 0,25 perubahannya lebih besar dibanding gelombang 1, sarat 0. (sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton), (gelombang 1 = gelombang 15V dengan tinggi 0,55 cm, gelombang 2 = gelombang 20V dengan tinggi 1,25 cm).

Tabel 5. Data hasil pengukuran *heaving* (mm)

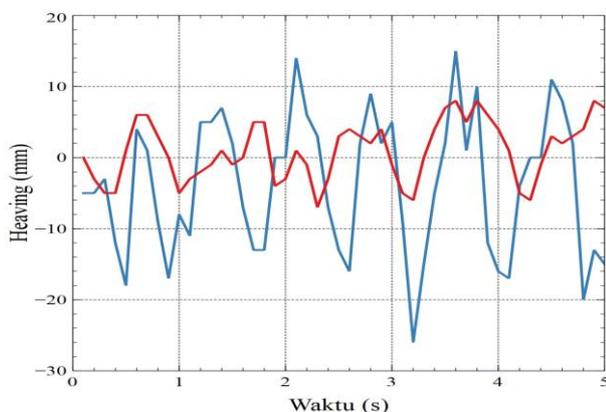
Muatan dan Gelombang	<i>Pitching</i> (°)	<i>Rolling</i> (°)	<i>Heaving</i> (mm)
Muatan 0 15 V	1	-1	6
Muatan 0 20 V	8	2	9
Muatan 0,25 15V	3	1	6
Muatan 0,25 20V	14	5	25



Gambar 16. Grafik *pitching* sarat 0,25



Gambar 17. Grafik *rolling* sarat 0,25



Gambar 18. Grafik *heaving* sarat 0,25

Dari grafik terlihat beberapa perbedaan olah gerak dari ponton tabung dengan perbandingan gelombang 1 dan 2, dan perbedaan tinggi muatan 0 dan muatan setinggi 0,25 H.

4. KESIMPULAN

Penambahan *heaving plate* pada ponton menghasilkan nilai *heaving* yang sangat signifikan. Nilai tertinggi *heaving* ditunjukkan oleh ponton yang menggunakan *heaving plate* yaitu sebesar 29 mm pada saat ponton dalam kondisi sarat 0,25, menggunakan spa 1 dan gelombang, nilai ini lebih besar dibandingkan dengan ponton tanpa *heaving plate*.

Dilihat dari tabel 3 dan 4, nilai *heaving* dan beban *heaving* yang cenderung tinggi didapatkan pada spar dengan ukuran yang lebih kecil yaitu 134 mm. Hal ini disebabkan karena jarak antara *heaving plate* dengan ponton kecil, sehingga dapat memaksimalkan gerakan ketika *heaving*.

Nilai olah gerak yang terbentuk dari pengukuran menunjukkan bahwa ponton dengan variasi *heaving plate* 5 memberikan perubahan yang

cukup besar terhadap hasil pengukuran *heaving* yang mana memiliki jarak *strip* yang paling besar.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa dari semua variasi *heaving plate* yang telah diuji, *heaving plate* 5 memberikan kriteria yang paling baik dibandingkan *heaving plate* lainnya, dimana menunjukkan perubahan *heaving* dan beban *heaving* yang konstan dan besar. Besarnya *heaving* yang dihasilkan oleh olah gerak ponton dengan *heaving plate* yang digunakan dapat menghasilkan daya yang besar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang (PLTG).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Manik, "Analisa Gerakan Seakeeping Kapal Pada Gelombang Reguler," *Kapal : Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 4, no.1, pp. 1-10, Mar.2012.
- [2] Mukhtasor dkk, "Performance modeling of a wave energy converter: Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan (PLTGL-SB)," *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 4, pp. 2775–2778, 2016.
- [3] E. sasmito Hadi, M. Iqbal, A. Wibawa, and Karnoto, "Experimental Measurement of Floating Structure Motion Response Based on the Low-Cost Microcontroller in Towing Tank," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)* vol. 9, no. 10, pp. 614–624, 2018.
- [4] S. Sudhakar and S. Nallayarasu, "Influence of Heave Plate on Hydrodynamic Response of Spar," In *Proc. International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, pp. 1–2011.
- [5] InvenSense Inc, MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, vol. 1, no. 408. 2013.
- [6] Cytron Technologies, *User's Manual–HCSR04 Ultrasonic Sensor*. May. 2013.
- [7] Scale Manufacturers Association, *Load Cell Application and Test Guideline*, no. 866. 2010.
- [8] AVIA Semiconductor, 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales. vol. 9530, no. 592. 2018
- [9] B. W. Evans, *Arduino Programming Notebook*. San Fransisco, 2008.

- [10] Y. Yuliza, "Komunikasi Antar Robot Menggunakan RF Xbee dan Arduino Microcontroller," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, p. 53, 2017.