



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengukuran Olah Gerak Ponton Prisma Segi Enam Dengan Penambahan Heaving Plate Berbentuk Lingkaran Berlubang Pada Gelombang Reguler Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Wireless

Citra Robiatul Adawiyah¹⁾, Eko Sasmito Hadi¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

e-mail: robiatuladawiyah77@gmail.com, ekosasmitohadi@gmail.com, hartonoyudo@yahoo.com

Abstrak

Indonesia telah memberikan beberapa upaya dalam pengembangan teknologi konversi energi gelombang berupa Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut – Sistem Bandulan. Dalam penelitian ini menggunakan ponton dalam pembuatan pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai seakeeping ponton pada gelombang regular dengan variasi heaving plate, spar, muatan dan gelombang menggunakan pengukuran mikrokontroler berbasis wireless, 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 juga menggunakan XBee S2C sebagai komunikasi dari Arduino ke PC. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan hasil bahwa penambahan heaving plate meredam heaving sebesar 26,14% dari ponton tanpa heaving plate dikarenakan luas heaving plate yang semakin besar menyebabkan makin bertambahnya volume air yang tertahan oleh penampang heaving plate itu sendiri saat ponton mengalami gerak heaving. Dengan menghasilkan heaving dan beban heaving yang besar maka dapat menghasilkan daya yang besar pula guna pembangkit listrik tenaga gelombang.

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

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang sebagian besar wilayahnya berupa perairan. Sehingga dengan keadaan tersebut Indonesia mendapat beberapa keuntungan misalnya dengan dapat mengaplikasikan pembangkit listrik menggunakan tenaga gelombang. Pada tahun 2012 sudah diadakan sebuah penelitian mengenai ponton dengan bentuk segi delapan yang dihubungkan dan membentuk pola segitiga sama sisi dengan hasil gerakan terbaik ada pada gelombang 1,5 m dengan sudut pitching 10,28°[1]. Gerakan yang terjadi pada ponton adalah gerakan rotasi dan translasi, gerakan ini muncul sebagai akibat dari tabrakan dengan permukaan gelombang atau tekanan naik turun di bawah permukaan laut[2]. Berbeda dengan penelitian sebelumnya pada penelitian kali ini ponton divariasikan dengan

penambahan heaving plate. Dimana *heaving plate* dibentuk untuk meningkatkan massa efektif dari spar, dan untuk mempengaruhi olah gerak *vertical* dari spar itu sendiri [3]. Pada tahun 2007 Daniel Dray melakukan penelitian dimana *heaving plate* telah banyak digunakan dalam struktur bangunan apung lepas pantai karena dapat memberi redaman dan penambahan massa untuk meningkatkan respon sistem hidrodinamik[4]. Penelitian dengan *heaving plate* dilakukan kembali pada tahun 2014 dimana penelitian ini meneliti lambung spar dengan menggunakan variasi 2 heaving plate yaitu single heaving plate dan double heaving plate pada gelombang irregular dengan hasil single heaving plate menyebabkan berkurangnya respon heaving sebesar 17-22,3% [5].

Dalam penelitian ini akan menggunakan ponton bentuk prisma segi enam dengan tambahan

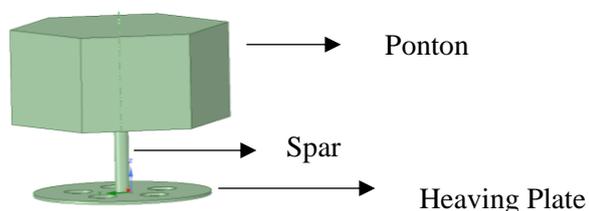
6 variasi heaving plate, 2 variasi tinggi spar, 2 variasi gelombang yang menggunakan mikrokontroler berbasis wireless.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa perbandingan antara ponton dengan heaving plate dan ponton tanpa heaving plate, menganalisa pengaruh variasi dari tinggi spar, menganalisa pengaruh variasi gelombang, menganalisa bentuk terbaik penggunaan heaving plate, dan menganalisa olah gerak ponton terbaik guna Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang

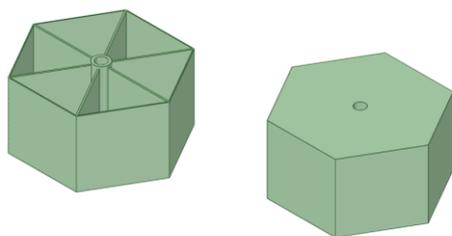
2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Objek yang diteliti adalah ponton berbentuk prisma segi enam yang terbuat dari akrilik.

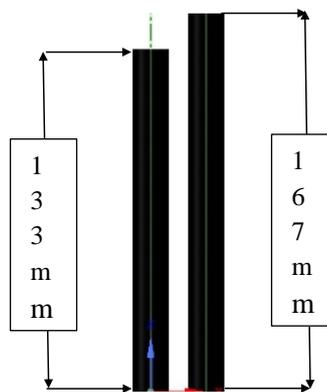


Gambar 1. Desain bagian ponton



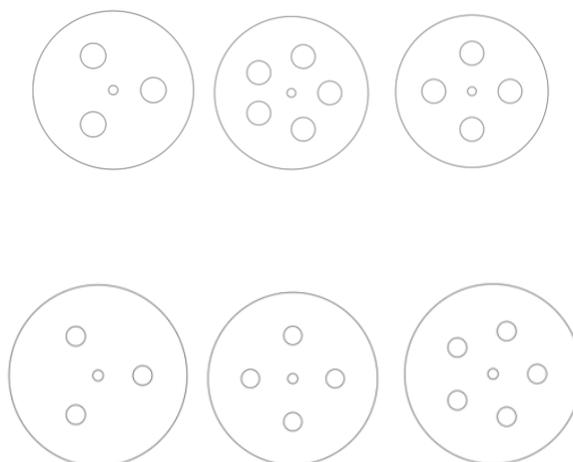
Gambar 2. Desain Lambung Ponton

Ponton dibagi menjadi 6 bagian sama guna memudahkan untuk pengisian beban di dalamnya. Pada penelitian ini beban yang digunakan menggunakan pasir pantai yang diisi sebanyak $\frac{1}{4}$ H ponton sehingga membuat ponton tercelup sebanyak $\frac{1}{4}$ bagian. Pengisian beban bertujuan untuk menyamakan tinggi sarat sehingga ponton sejajar saat tercelup di air



Gambar 3. Desain Spar Ponton

Variasi yang ke 2 yaitu variasi pada tinggi spar ponton. Spar ponton sendiri berfungsi sebagai sambungan antara heaving plate dengan ponton. Spar yang digunakan pada penelitian ini terdapat dua ukuran yaitu spar panjang dengan ukuran 167 mm dan spar pendek yaitu 133 mm.



Gambar 3. Desain Heaving Plate

Heaving plate adalah pelat horizontal yang terpasang di bagian bawah bangunan apung. Pelat tersebut memberikan tambahan massa yang dapat meningkatkan periode heaving natural dari bangunan apung dan menggerakkannya keluar rentang frekuensi gelombang [9]. Variasi heaving plate (HP) yang digunakan pada penelitian ini terdapat 6 variasi :

1. HP 1 : Lingkaran Berlubang, Diameter : 30mm, Jumlah : 3. Luas : $28,1cm^2$
2. HP 2 : Lingkaran Berlubang, Diameter : 30mm, Jumlah : 5. Luas : $29,5cm^2$
3. HP 3 : Lingkaran Berlubang, Diameter : 30mm, Jumlah : 4. Luas : $28,8cm^2$
4. HP 4: Lingkaran Berlubang, Diameter : 20mm, Jumlah : 3. Luas : $26,9cm^2$
5. HP 5 : Lingkaran Berlubang, Diameter : 20mm, Jumlah : 4. Luas : $27,2 cm^2$

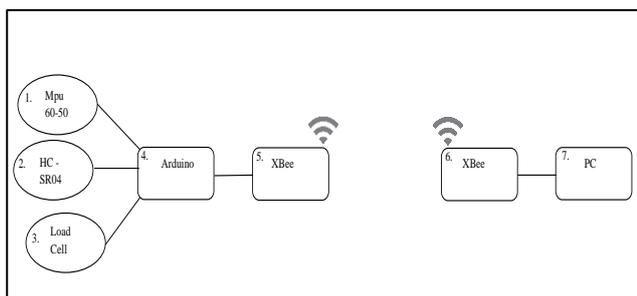
6. HP 6 : Lingkaran Berlubang, Diameter : 20mm, Jumlah : 5. Luas : $27,5 \text{ cm}^2$

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

1. Parameter tetap : Bentuk ponton prisma segi enam berbahan akrilik dan mempunyai 6 sekat
2. Parameter berubah :
 - Variasi sarat (pasir) :
 1. Sarat 1 = $0H = 0 \text{ cm}$
 2. Sarat 2 = $0,25H = 2,5 \text{ cm}$
 - Variasi tinggi gelombang, meliputi :
 1. Gelombang 1 = $0,75 \text{ cm}$
 2. Gelombang 2 = $1,25 \text{ cm}$
 - Variasi tinggi spar, meliputi :
 1. Spar 1, yaitu ;
 $H \text{ ponton} + 2/3 \times H \text{ ponton} = 16,7 \text{ cm}$
 2. Spar 2, yaitu ;
 $H \text{ ponton} + 1/3 \times H \text{ ponton} = 13,3 \text{ cm}$

2.2. Perlakuan pada objek

Pengukuran ponton diberikan perlakuan penambahan beban pada tiap ponton dengan menggunakan *wireless*. Rangkaian untuk membuat *wireless* dengan menggunakan XBee S2 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Rangkaian *wireless*

Pada Gambar 4 dapat diterangkan bahwa :

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[7]
2. Modul HC-SR04, menghasilkan output nilai *heaving*. HC-SR04 memiliki minimal range 2cm dan maksimal range 400cm
3. Load Cell, menghasilkan output massa yang dikonversikan sebagai gaya angkat ponton.
4. Modul HX711, modul konversi sinyal analog ke digital pada load cell.
5. Mikrokontroler Arduino UNO, sebagai alat pemroses data. Didalam Arduino semua variable harus dideklarasikan agar pengoperasian dapat diproses[8].
6. XBee S2, modul radio frekuensi yang beroperasi pada frekuensi 2.4 ghz[9], sebagai

transmitter dan *reciver* untuk jaringan *wireless*

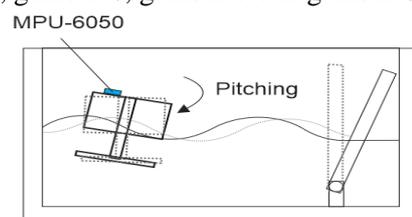
Pengukuran ponton diberikan perlakuan perubahan *heaving plate*, spar, muatan dan gelombang pada ponton. MPU dan load cell diletakkan diatas ponton untuk mengukur *pitch*, roll dan beban *heaving*, sedangkan untuk sensor ultrasonic diletakkan diatas ponton secara terpisah dan tegak lurus.

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

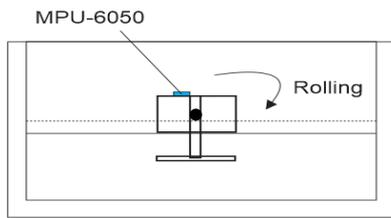
1. XBee sebagai *transmitter*, disini XBee terhubung dengan Arduino yang sudah memproses data dari sensor ultrasonik, MPU dan Load cell yang kemudian siap dikirim ke komputer.
2. XBee sebagai *reciver*, disini XBee yang terhubung dengan PC/Laptop menerima data dari XBee transmitter dan data langsung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

2.3. Proses Pengujian

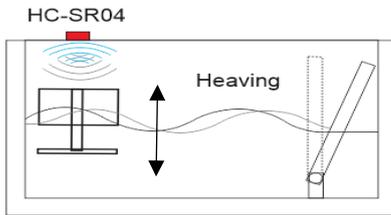
Ponton diletakkan di dalam towing tank yang sebelumnya sudah terpasang sensor MPU dan Loadcell pada tutup ponton dan sensor Ultra Sonic yang terpasang pada Towing Tank. Semua sensor dihubungkan langsung dengan mikrokontroler Arduino UNO menggunakan kabel jumper. Pengujian model ponton dilakukan dengan 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 5, gambar 6, gambar 7 dan gambar 8:



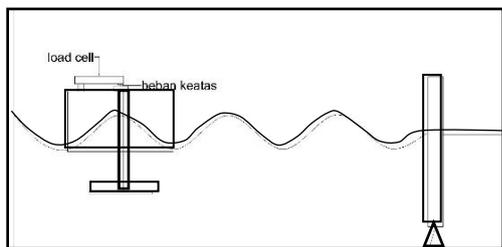
Gambar 5. Skema pengukuran gerakan *pitching*



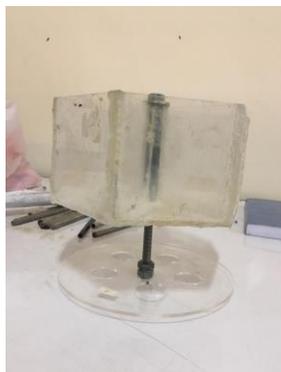
Gambar 6. Skema pengukuran gerakan *rolling*



Gambar 7. Skema pengukuran *heaving*



Gambar 8. Skema Pengukuran Beban Angkat



Gambar 9. Rangkaian pemasangan ponton dengan *heaving plate*



Gambar 10. Pemasangan alat ukur ke ponton.

Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler karena penelitian sebelumnya menyimpulkan bahwa *detector seakeeping* memiliki output yang cukup akurat dengan koreksi $0,01^\circ$ [10]

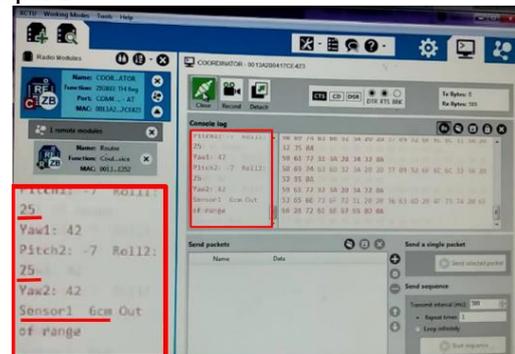
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perakitan Alat Ukur

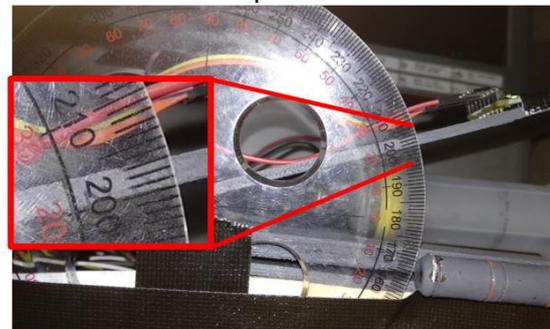
Kabel penghubung antar komponen menggunakan kabel *jumper*, kecuali XBee S2C. Skema perakitan alat ukur bisa dilihat pada gambar 4.

3.2. Pengujian dan Validasi Alat Ukur

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

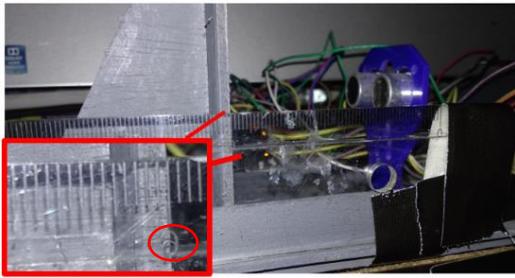


Gambar 11. Tampilan Validasi dari XCTU



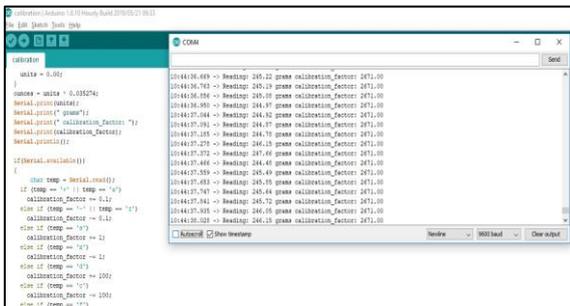
Gambar 12. Sudut *Rolling* dari MPU

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

1. Hasil Pengukuran Tinggi Gelombang

Dari pengukuran didapat data sebagai berikut:

a. Menggunakan arus 15 V

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

b. Menggunakan arus 20 V

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

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. Heaving dan beban heaving

Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada table 1-2 dan gambar 16-17. Untuk keterangan dari gambar yaitu:

1. Variasi 1 = Sarat 0,25H dengan spar 167mm.
2. Variasi 2 = Sarat 0,25H dengan spar 133mm.
3. Variasi 3 = Sarat 0H dengan spar 167 mm.
4. Variasi 4 = Sarat 0H dengan spar 133mm.

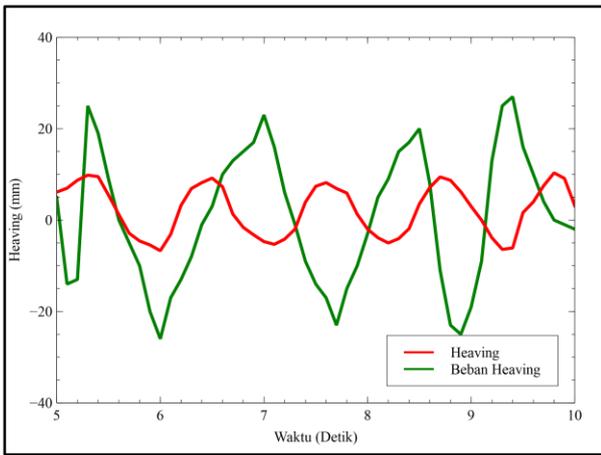
Dimana, Gelombang 1= 15 V dan Gelombang 2 = 20 V

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Heaving

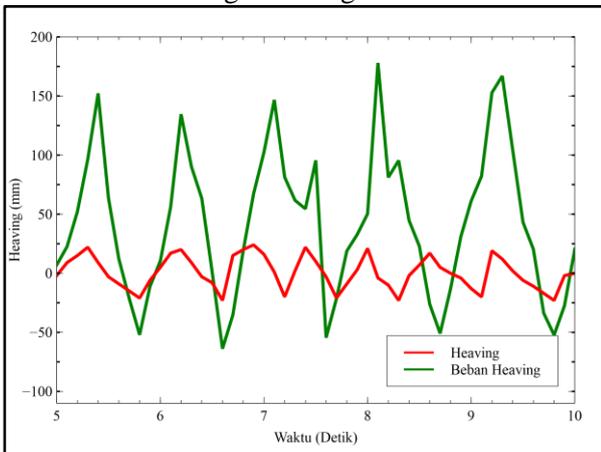
Variasi	Hp 1	Hp 2	Hp 3	Hp 4	Hp 5	Hp 6
Variasi 1 15 V	6	6	7	23	20	11
Variasi 1 20 V	20	13	17	13	10	11
Variasi 2 15 V	13	10	12	12	11	17
Variasi 2 20 V	22	7	20	22	14	17
Variasi 3 15 V	10	2	7	6	18	10
Variasi 3 20 V	15	20	16	15	8	12
Variasi 4 15 V	14	16	7	17	12	17
Variasi 4 20 V	13	16	10	20	16	10

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Beban Heaving

Variasi	Hp 1	Hp 2	Hp 3	Hp 4	Hp 5	Hp 6
Variasi 1 15 V	3.48	8.89	3.66	10.33	7.89	6.82
Variasi 1 20 V	59.2	136.49	46.05	116.17	71.14	55.9
Variasi 2 15 V	58.67	48.41	137.99	43.47	48.89	56.67
Variasi 2 20 V	66.46	177.98	147.66	121.44	68.41	69.79
Variasi 3 15 V	5.28	3.58	1.88	4.6	4.41	2.39
Variasi 3 20 V	7.94	9.35	8.56	19.1	4.53	2.19
Variasi 4 15 V	6.34	2.45	4.51	4.56	5.21	5.96
Variasi 4 20 V	35.38	55.72	18.56	57.38	25.2	48.68



Gambar 16. Grafik hasil pengukuran *heaving* dan *beban heaving* pada heaving plate 4 (variasi 1 gelombang 1)

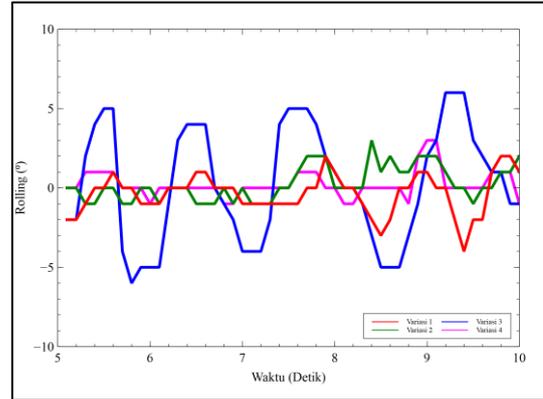


Gambar 17. Grafik hasil pengukuran *heaving* dan *beban heaving* pada heaving plate 2 (variasi 2 gelombang 2)

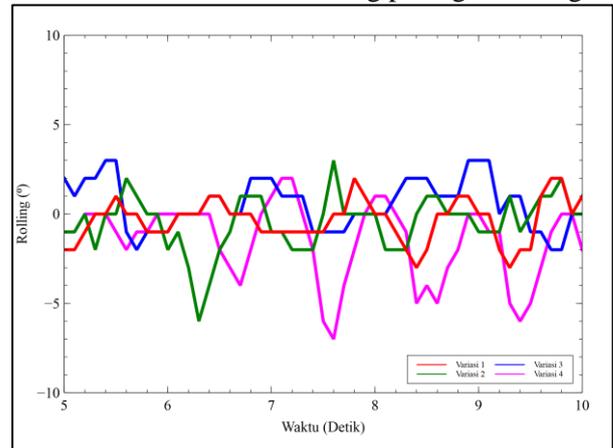
Berdasarkan Table 1 dan Gambar 16 terlihat jika nilai *heaving* terbesar berada pada nilai 23mm dimana terdapat pada heaving plate 4 yaitu dengan diameter lubang 20 mm, dengan 3 lubang, dengan luas $26,9\text{cm}^2$. Nilai *heaving* terbesar berada pada kondisi ponton dengan sarat 0,25 H, spar 167 mm dan gelombang dengan tinggi 0,75. Pada heaving plate 4 merupakan heaving plate dengan luasan terkecil. Maka dapat disimpulkan jika semakin kecil luasan pada heaving plate maka semakin besar nilai *heaving*. Sedangkan pada Table 2 dan Gambar 17 nilai *heaving* terletak pada nilai 177,98 dimana nilai tersebut berada pada heaving plate 2 yaitu dengan diameter 30 mm, jumlah lubang 5, dan dengan luas $29,5\text{cm}^2$. Nilai terbesar terletak pada variasi ponton dengan sarat 0,25, spar 133 mm dan pada gelombang dengan tinggi 1,25 cm. sedangkan pada beban *heaving* semakin besar luas heaving plate maka semakin besar nilai beban *heaving*.

b. Rolling

Berikut merupakan gambar dari grafik nilai *rolling* berdasarkan variasi gelombang yang dibuat yaitu 15 volt dan 20 volt. Variasi 1 merupakan ponton dengan beban $\frac{1}{4}$ H ponton dengan spar 167mm, variasi 2 merupakan ponton dengan muatan dan spar 133mm, variasi 3 merupakan ponton kosong dengan spar 167mm, dan variasi ke 4 merupakan ponton tanpa muatan dengan spar 133mm



Gambar 18. Grafik nilai *rolling* pada gelombang 1

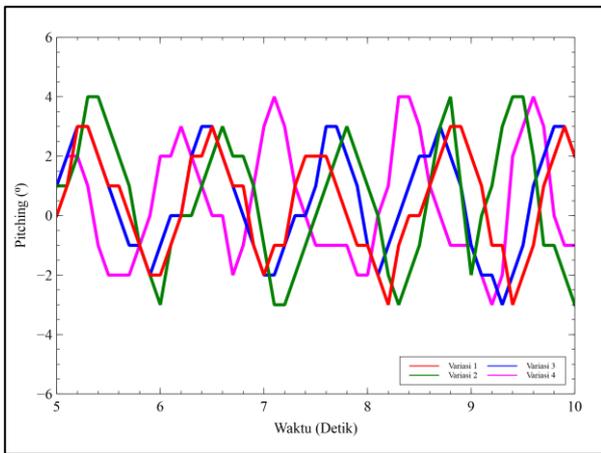


Gambar 19. Grafik nilai *rolling* pada gelombang 2

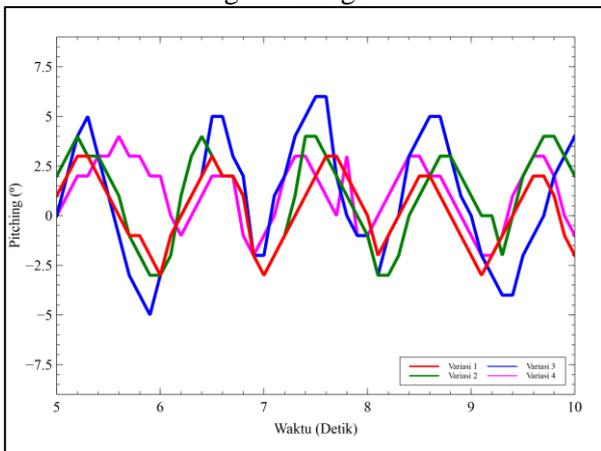
Pada penelitian ini nilai *rolling* hanya digunakan sebagai arah sumbu x ponton dari datangnya gelombang saja tanpa mempengaruhi kinerja dari ponton guna pembangkit listrik tenaga gelombang. Sehingga tidak diperlukan mencari nilai maksimal dari masing-masing variasi.

c. Pitching

Berikut merupakan gambar dari grafik nilai *heaving* berdasarkan variasi gelombang yang dibuat yaitu 15 volt dan 20 volt. Variasi 1 merupakan ponton dengan beban $\frac{1}{4}$ H ponton dengan spar 167mm, variasi 2 merupakan ponton dengan muatan dan spar 133mm, variasi 3 merupakan ponton tanpa muatan dengan spar 167mm, dan variasi ke 4 merupakan ponton tanpa muatan dengan spar 133mm



Gambar 20. Grafik nilai pitching pada gelombang 1



Gambar 21. Grafik nilai pitching pada gelombang 2

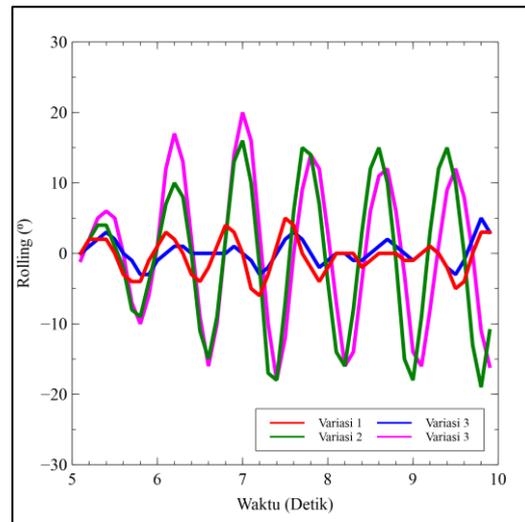
Sama seperti dengan rolling, pitching juga hanya untuk mengetahui arah dari sumbu y dponton dari datangnya gelombang sehingga tidak diperlukan mencari nilai maksimal dari masing-masing variasi dikarekan tidak adanya pengaruh untuk pembangkit listrik tenaga gelombang

3.4 Pengukuran Olah Gerak Pada Ponton Tanpa Heaving plate

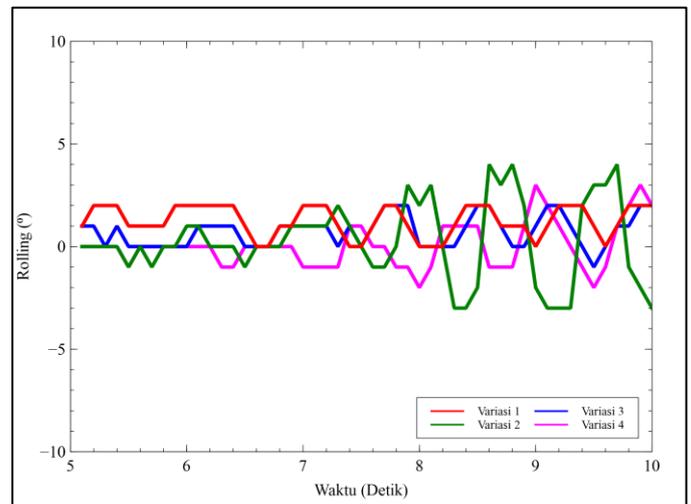
Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 9, gambar 27, gambar 28 dan gambar 29. (sarat 0 = muatan kosong, sarat 0,25 = muatan yang setinggi 0,25 H ponton). (gel 1 = gelombang 15 V dengan tinggi 0,75 cm, gel 2 = gelombang 20 V dengan tinggi 1,25 cm).

Tabel 9. Data Pengukuran tanpa Heaving Plate

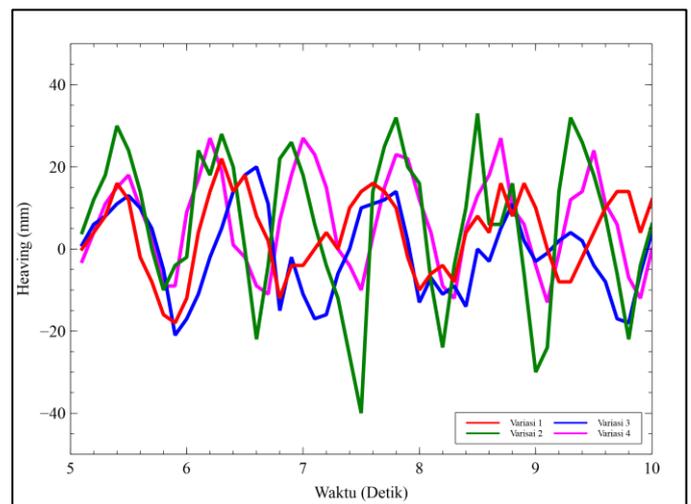
variasi	pitch (°)	roll (°)	Heave (mm)
Sarat 0 gel 1	5	2	10
Sarat 0 gel 2	16	7	19
Sarat 0,25 gel 1	5	2	20
Sarat 0,25 gel 2	20	3	27



Gambar 22. Grafik Pitching Ponton tanpa Heaving Plate



Gambar 23. Grafik Rolling Ponton tanpa Heaving Plate



Gambar 24. Grafik Heaving Ponton tanpa Heaving Plate

e. Perbandingan Pengukuran Ponton dengan Heaving Plate dan Ponton Tanpa Heaving Plate

Perbandingan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari heaving plate untuk nilai dari heaving ponton sehingga dapat memaksimalkan kinerja ponton sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang.

Berdasarkan nilai di atas dapat dihitung

$$\frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Ket : a = Nilai heaving ponton tanpa heaving plate

b = Nilai heaving ponton dengan heaving plate

$$\frac{27 - 23}{27} \times 100\%$$

$$\frac{4}{27} \times 100\% = 26,14\%$$

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pengukuran yang telah dilakukan pada alat ukur olah gerak dan pengukuran olah gerak setiap variasi heaving plate dengan pengaruh tinggi muatan, sarat, variasi gelombang maka disimpulkan bahwa:

Penambahan *heaving plate* meredam nilai heaving sebesar 26,14% dari ponton tanpa heaving plate dikarenakan luas *heaving plate* yang semakin besar menyebabkan makin bertambahnya volume air yang tertahan oleh penampang *heaving plate* itu sendiri saat ponton mengalami gerak *heaving*.

Tinggi spar 133mm mengakibatkan semakin besarnya nilai beban heaving dikarenakan posisi ponton berada pada gelombang permukaan dimana pada gelombang permukaan merupakan gelombang reguler

Gelombang 2 mengakibatkan nilai heaving yang cukup besar dikarenakan tinggi dari gelombang tersebut juga tinggi sehingga mengakibatkan ponton mengalami gerakan yang besar pula

Nilai beban heaving terbesar berada pada nilai 177,98 gram pada variasi heaving plate 2 berbentuk lingkaran berlubang berdiameter lubang 30 mm dan jumlah lubang 5 buah. Sedangkan nilai heaving terbesar berada pada heaving plate 4 berbentuk lingkaran berlubang dengan diameter 20 mm dengan jumlah lubang 3 buah. Sehingga dapat disimpulkan jika nilai heaving terbesar berada pada luasan heaving plate yang kecil sedangkan nilai maksimal beban heaving berada pada heaving plate dengan luasan yang besar. Nilai olah gerak ponton terbaik guna pembangkit listrik tenaga gelombang

adalah ponton yang memiliki nilai heaving dan beban heaving terbesar sehingga dapat menghasilkan daya yang besar pula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. B. Mustofa, and I. S. Arief, "Analisa Gerakan Ponton Model Tripod untuk Energi Gelombang Sistem Bandulan," JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, (Sept, 2012) ISSN: 2301-9271 . vol. 1, pp. 203–206, 2012
- [2] I. S. Arief and Z. Sy, "Analysis of barge models to capture the energy from ocean wave," Paper ICSOT-Irfan Syarif-ITS. pp. 127–134, 2010.
- [3] D. Bull, "(12) Ulllited States Patent," Patent NO. (45) Date of Patent: US 7,878,734 B2 *Feb. 1, 2011 (54) vol. 2, no. 12, 2011.
- [4] L. T. Ã and D. Dray, "Hydrodynamic performance of solid and porous heave plates," Ocean Engineering, ISSN: 00298018. vol. 35, pp. 1006–1014, 2008.
- [5] N. Seeninaidu, "Hydrodynamic Responses of Spar Hull with Single and Double Heave Plates in Random Waves Hydrodynamic Responses of Spar Hull with Single and Double Heave Plates in Random Waves," International Journal of Ocean System Engineering 1-18 no. 4 February 2014, 2015.
- [6] 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.
- [7] I. Inc., "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification," *Inven. Inc. Prod. Specif.*, vol. 1, no. 408, pp. 1–57, 2013.
- [8] B. W. Evans, "Arduino Programming Notebook," 2008.
- [9] Y. Yuliza, "Komunikasi Antar Robot Menggunakan RF Xbee dan Arduino Microcontroller," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, p. 53, 2017.
- [10] A. Wibawa and B. Santosa, "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.
Volume 9, Issue 10, October 2018, pp.
614–624, ISSN Print: 0976-6340 and
ISSN Online: 0976-6359