



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengukuran Olah Gerak Ponton Dengan Penambahan *Heaving Plate* Berbentuk Segitiga Berlubang Pada Gelombang Reguler Menggunakan Mikrokontroler Berbasis *Wireless*

Muhammad Rynaldi¹⁾, Eko Sasmito Hadi¹⁾, Berlian Arswendo Adiyta¹⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*e-mail : rynaldimuhammad@gmail.com, ekosasmito@ft.undip.ac.id, berlian@undip.ac.id

Abstrak

Bangunan Apung sangatlah identik dengan industri lepas pantai atau *offshore*. Pontoon menjadi salah satu upaya untuk memanfaatkan energi gelombang laut. Gerakan ponton akan berpengaruh terhadap daya yang akan dihasilkan sehingga perlu dilakukan penelitian menggunakan teknologi *Heave plates*. *Heave plates* digunakan sebagai penunjang stabilitas pada *floating offshore wind platforms*. Penelitian ini dilakukan di *towing tank* di laboratorium hidrodinamika teknik perkapalan Universitas Diponegoro 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 *heaving*, dan juga Xbee S2C sebagai komunikasi dari Arduino ke PC (*wireless*). Pengujian dilakukan pada ponton prisma segi enam dengan variasi *heave plate* segitiga dengan jumlah lubang 3 (variasi HP 1 dan HP 5), lubang 4 (variasi HP 3 dan HP 4) dan Lubang 5 (variasi HP 2 dan HP 6) masing – masing memiliki diameter 20mm dan 30mm. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai maksimal *heaving* berada pada 28mm, nilai maksimal *pitching* pada 13° dan nilai maksimal *rolling* pada 8°, lebih kecil dibandingkan dengan nilai *pitching* dan *rolling* pada *heave plate* segitiga polos. Penambahan *heave plate* segitiga berlubang memberikan efek lebih baik terhadap gerakan *pitching* dan *rolling*.

Kata Kunci : *Towing Tank, Olah Gerak, Mikrokontroler, Wireless, Heaving Plate*

1. PENDAHULUAN

Wilayah negara Indonesia yang didominasi oleh daerah perairan, menjadikan sektor maritim di Indonesia memiliki potensi yang cukup besar. Optimasi di bidang Perkapalan, termasuk *offshore* dapat menjadi peluang untuk memajukan teknologi maritim di Indonesia.

Bangunan Apung sangatlah identik dengan industri lepas pantai atau *offshore*, terlebih lagi pada bidang penyulingan minyak dan gas bumi. Gas bumi merupakan sumber daya alam dengan cadangan terbesar ketiga di dunia setelah batubara dan minyak bumi [1]. selain gas bumi, bangunan apung juga digunakan dalam mengembangkan energi alternatif menggunakan tenaga gelombang laut. 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*) [2].

Beberapa studi memfokuskan penelitian pada parameter desain yang digunakan untuk melihat performa hidrodinamik pada *Heave plates*. Variasi pada *plate porosity*, ketebalan, dan bentuk sudut dapat mempengaruhi penambahan masa efektif yang akan berpengaruh terhadap *Keulegan-Carpenter number* (KC). KC digunakan untuk menunjukkan ukuran *non-dimensional* dari aliran disekitar *heave plate*. Koefisien *added mass* (Ca) dan Koefisien drag (Cd) bervariasi secara linear dengan KC [3]. Hasil penelitian tentang gaya interaksi yang mempengaruhi posisi dari

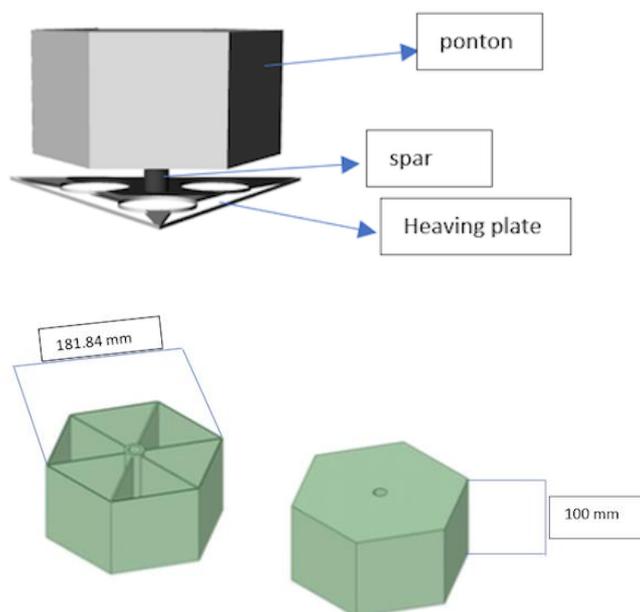
plate vertikal menunjukkan, Analisa dari beberapa koefisien hidrodinamik memberikan hasil yaitu, posisi vertikal *plate* membuat koefisien *added mass* (Ca) bertambah dan *Keulegan-Carpenter number* (KC) bertambah. Seiring bertambahnya frekuensi, nilai C meningkat secara perlahan, namun *oscillating frequency* memiliki efek yang kecil pada *mass coefficient* dari *Heave plate* dengan vertikal *plate*. Perbedaan pada posisi dari vertikal *plate* di *Heave Plate* mempengaruhi nilai dari koefisien drag (Cd), Cd memiliki nilai lebih rendah dan relatif konstan pada $KC > 0.75$ untuk semua variasi. Pada $KC < 0.75$, Cd menunjukkan penurunan exponential [4]. Analisa pada *Wave Energy Converter dynamics* menggunakan plat hidrodinamis simetris dan asimetris menunjukkan penambahan massa efektif pada variasi plat mendominasi dinamika gerak hidrodinamis yang dihasilkan [5]. Eksperimen pada parameter Draft *Wave Energy Converter* menunjukkan hasil pada magnitude 0,7m menghasilkan arah gerakan *pitch* terbaik untuk semua Periode kecuali Periode 2.4s. Gerak hidrodinamik untuk draft 0.6m dan 0.65m memiliki hasil yang tidak terlampaui jauh, namun *Draft* 0.65 menunjukkan gerak hidrodinamik yang lebih kecil [6]. Penambahan massa efektif pada *triangular plate* dan *semicircular plate* memiliki nilai yang tidak terlampaui jauh, plat dengan *rectangular edge* memiliki penambahan massa efektif terbaik, koefisien drag bergantung pada bentuk dari sudut yang digunakan [7]. Penggunaan *Heave Plate Excurtion effect* mempengaruhi respon dinamik pada semi *submersible Floating Wind Turbine* [8]. Parameter rasio diameter pada *Heave plate* juga mempengaruhi hasil respon gerak hidrodinamik, respon *Heave* berkurang seiring bertambahnya diameter pada *Heave plate* [9]. Pengaruh olah gerak vertikal pada bangunan apung terjadi karena pengaruh peningkatan massa efektif dari penambahan *heave plate* [10].

Pada pembahasan kali ini akan difokuskan pada pengaruh modifikasi bangunan apung (pontoon) terhadap respon olah gerak bangunan apung karena gelombang. Modifikasi dilakukan pada penambahan *heave plate* dengan bentuk segitiga berlubang pada bagian bawah pontoon. Pengukuran akan dilakukan menggunakan mikrokontroler berbasis wireless terhadap olah gerak pontoon tersebut. Harapannya penambahan *heave plate* berbentuk segitiga berlubang ini dapat menstabilkan respon olah gerak dari bangunan apung dengan meredam dampak gerak *heaving*.

2. METODE

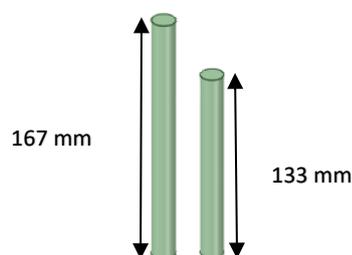
2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian yang diteliti adalah pontoon yang terbuat dari akrilik dengan diameter 181,184 mm dan tinggi 100 mm, serta didalam pontoon terdapat sekat untuk keperluan pengisian muatan dan analisa, dengan sesuai dimensi yang telah didesain, yang ditunjukkan pada gambar 1, sebagai berikut:



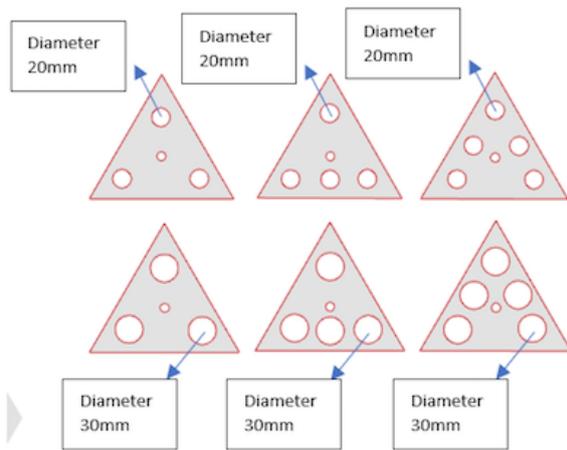
Gambar 1. Desain pontoon (millimeter)

Spar yang digunakan memiliki 2 variasi tinggi spar dengan ukuran 167 mm dan 133 mm.



Gambar 2. Desain Spar (millimeter)

Variasi Heaving Plate yang digunakan adalah bentuk Segitiga berlubang, dengan jumlah lubang 3, lubang 4 dan lubang lima. Masing masing lubang memiliki diameter 20 mm dan 30 mm.



Gambar 3. Desain Heaving Plate (milimeter)

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian *seakeeping* sebelumnya yang dilakukan di Towing Tank *Microcontroller* berbasis *wireless* di Laboratorium Hidrodinamika Teknik Perkapalan dengan bentuk ponton sama namun tanpa *heaving plate*. Parameter yang diberikan untuk menunjukkan nilai *seakeeping* atau olah gerak ponton bila diberi variasi adalah:

1. Parameter tetap : Bentuk ponton prisma segi enam berbahan akrilik dan mempunyai 6 sekat dengan *heaving plate* berbentuk segi enam.
2. Parameter berubah : variasi volume muatan, voltase gelombang, tinggi spar, ukuran *heaving plate*

2.2. Perlakuan pada objek

Pengukuran ponton diberikan perlakuan penambahan *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. Berikut variasi berubah yang dilakukan pada ponton :

- Variasi volume muatan (pasir) :
 1. muatan 1 = muatan kosong
 2. muatan 2 = 0,25 tinggi ponton
- Variasi voltase gelombang, meliputi :
 1. Gelombang 1 = 15 V
 2. Gelombang 2 = 20 V
- Variasi tinggi spar, meliputi :
 1. Spar 1, yaitu ;
 $H \text{ ponton} + \frac{2}{3} \times H \text{ ponton} = 16,7 \text{ cm}$
 2. Spar 2, yaitu ;
 $H \text{ ponton} + \frac{1}{3} \times H \text{ ponton} = 13,3 \text{ cm}$

- Variasi ukuran *heaving plate*, meliputi :

Variasi Heave Plate	Jumlah Lubang	Diameter Lubang (mm)
HP 1	3	30
HP 2	5	20
HP 3	4	30
HP 4	4	20
HP 5	3	20
HP 6	5	30

2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Towing Tank Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Tepatnya ada di Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia.

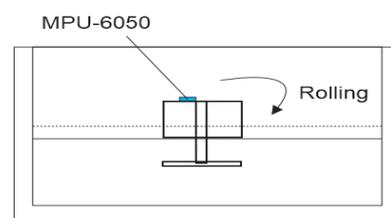
2.4. Proses Pengujian

2.4.1 Pengujian pada Towing Tank

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 ekstrim tiap data.

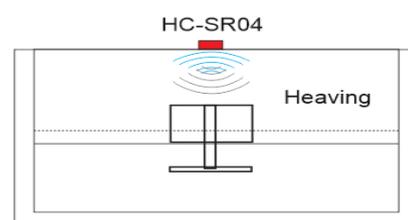
Berikut skema pengukuran nilai olah gerak, skema pengukuran gelombang, proses pengukuran menggunakan *wireless* yang ditunjukkan pada gambar 4 - 7:

Sensor MPU-6050 diletakkan pada bagian atas ponton, sehingga akan merekam olah gerak yang dihasilkan ponton.



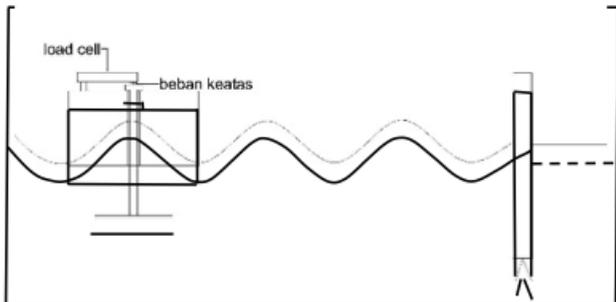
Gambar 4. Skema pengukuran gerakan rotasi

Sensor HC-SR04 diletakkan pada bagian atas *towing tank*, akan mengukur pergerakan ponton yang berada dibawah sensor.

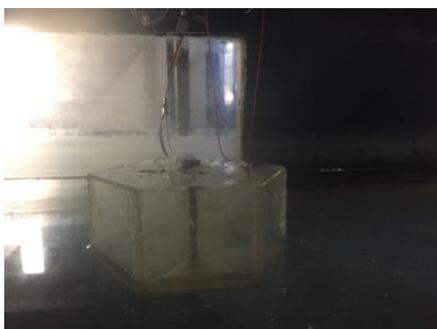


Gambar 5. Skema pengukuran gerakan translasi

Loadcell diletakkan pada bagian atas ponton, akan merekam pergerakan yang dihasilkan oleh spar pada saat terkena gelombang.



Gambar 6. Skema pengukuran gaya angkat



Gambar 7. Pengukuran dengan menggunakan wireless

2.4.2 Pengujian menggunakan CFD

Pengujian dilakukan pada software analisa olah gerak untuk mengetahui respon dari sampel variasi model ponton. Simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

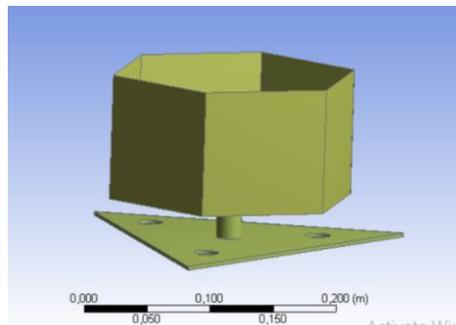
a. Geometry

Tahap ini merupakan tahap import dari software modeler ke analisa olah gerak yang dilakukan pada Software

Hydrodynamic Diffraction, Geometry (Design Modeler)

b. Model

Perlakuan pada Import model 3D pada Software analisa, membagi part model menjadi bagian yang tercelup fluida dan tidak tercelup fluida.



Gambar 8. Skema Hasil Model Geometry

c. Setup

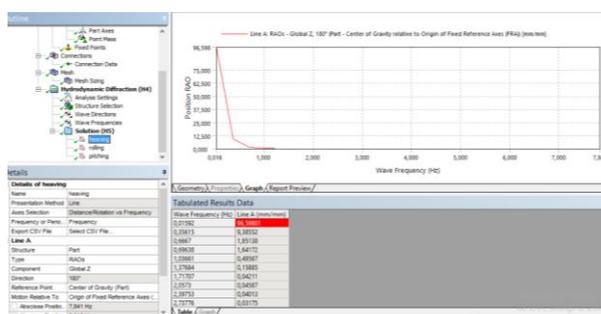
Tahap pengaturan untuk menentukan ukuran Geometry, Point mass, Meshing, Analyst Setting, Wave Direction dan juga Wave Frequencies

Details		Wave Frequencies	
Name		Wave Frequencies	
Definition		Manual Definition	
Intervals Based Upon		Frequency	
Incident Wave Frequency/Period Definition		Encounter Frequency (Hz)	
Range	Manual Definition	0,01592	0,02241
Definition Type	Range	0,33615	0,50372
Lowest Frequency	Program Controlled	0,6867	0,95455
Lowest Frequency	0,01692 Hz	0,69638	0,99965
Longest Period	62,83185 s	1,03661	1,52462
Highest Frequency	Program Controlled	1,37684	2,1075
Highest Frequency	7,8412 Hz	1,71707	2,77828
Shortest Period	0,12763 s	2,05729	3,55229
Number of Intermedi.	22	2,39752	4,4214
Interval Frequency	0,34023 Hz	2,73775	5,37587

Gambar 9. Skema Perubahan Inputan pada Analyst Setting

d. Solution

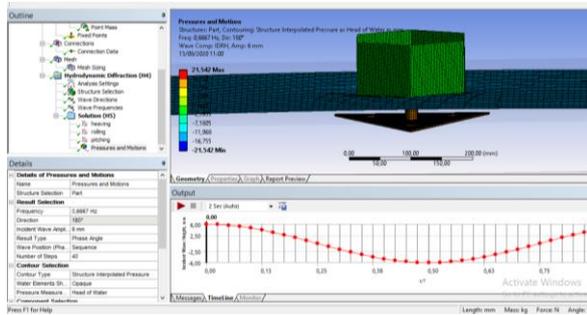
Perlakuan untuk menentukan hasil dari Seakeeping Analyst, menentukan Detail RAO



Gambar 10. Skema Analisa RAO Heaving

e. Result

Hasil akhir dari Running Seakeeping Analyst untuk melihat olah gerak hidrodinamik



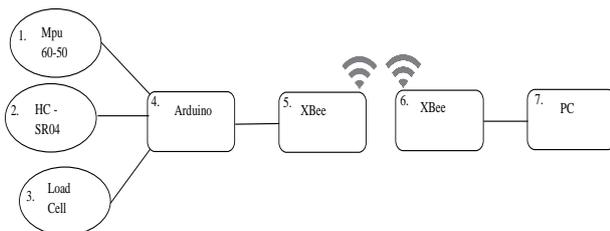
Gambar 11. Skema Hasil Pressure & Motion

2.5. Alat dan Bahan yang digunakan dalam Penelitian

Alat dan bahan untuk membuat rangkaian *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 *receiver*, disini XBee yang terhubung dengan PC/Laptop menerima data dari XBee transmitter dan data langsung ditampilkan di display PC/Laptop.

Rangkaian dapat dilihat pada gambar 8, berikut skema rangkaiannya.



Gambar 12. Rangkaian *wireless*

Keterangan dari skema rangkaian dari gambar 4:

1. MPU-6050, alat yang digunakan untuk mengetahui sudut saat ponton *pitching* ataupun *rolling*. *Rolling* dan *pitching* bisa dideteksi menggunakan sensor MPU karena didalam mpu terdapat accelerometer dan gyroskop [11].
2. HC-SR04, alat yang digunakan untuk mengukur jarak *heaving* pada ponton [12].
3. HX711 alat konversi load cell menuju arduino [13].
4. Load Cell, alat yang digunakan untuk mengukur beban heaving yang ditimbulkan oleh *heaving plate* [14].
5. Arduino berfungsi sebagai mikrokontroler atau alat pemroses data [15].
6. XBee S2, modul radio frekuensi yang beroperasi pada frekuensi 2.4 ghz, sebagai *transmitter* dan *reciver* untuk jaringan *wireless* [16].
7. PC (personal computer) sebagai display hasil dari pengukuran.

Setelah melakukan perangkaian alat-alat di atas maka dilakukan validasi menggunakan Personal Computer, jika bahasa pemrograman (Arduino IDE) dapat dibaca maka coding dinyatakan berhasil dan valid.

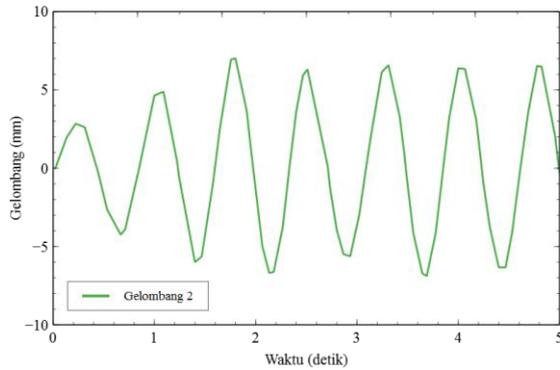
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perakitan Alat Ukur

Kabel penghubung antar komponen menggunakan kabel *jumper*, kecuali XBee S2C. Skema perakitan alat ukur bisa dilihat pada gambar 8.

3.2. Pengujian dan Validasi Alat Ukur

Hasil pengukuran validasi dengan mengambil sample *pitching*, pada tampilan display PC menunjukkan 52° dan pada busur derajat juga menunjukkan kurang lebih 52°, ini menunjukkan tingkat akurasi mencapai 97%.



Gambar 17. Grafik Pengukuran Profile Gelombang Dengan Tegangan Input Pada Ramp Sistem 20 V

3.3.2 Pengukuran Olah Gerak Ponton

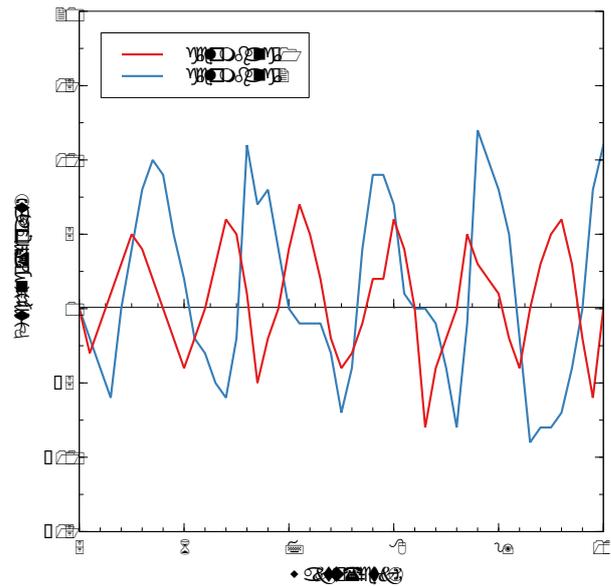
Hasil dari pengukuran olah gerak menggunakan 1 sensor MPU yang terletak ditengah ponton dan menggunakan HC-SR04 yang terletak seperti pada gambar 4.

a. Hasil Pengukuran *Pitching, Rolling, Heaving* pada Ponton prisma segi enam dengan *Heaving Plate* segitiga polos

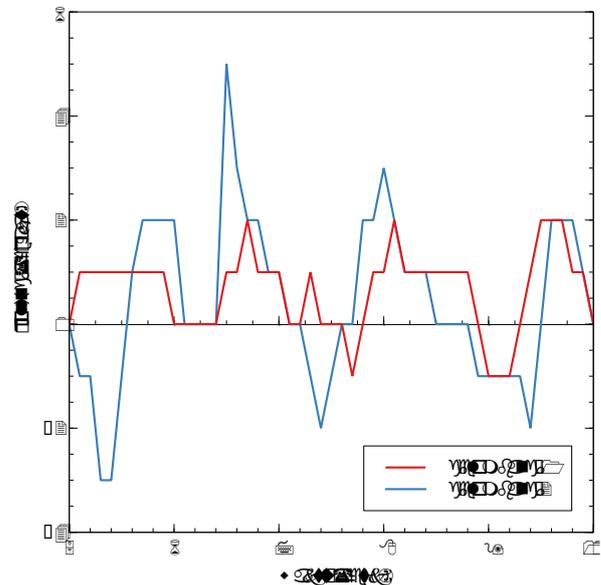
Hasil pengukuran ponton dengan heaving plate segitiga polos dapat dilihat pada tabel 1 serta gambar 18, 19 dan 20. Nilai yang diambil merupakan nilai ekstrim dari data yang diperoleh. Berdasarkan data pengukuran, nilai maksimal pitching berada pada 14 derajat, nilai maksimal rolling berada pada 9 derajat dan nilai maksimal heaving berada pada 29 mm. Perubahan nilai terjadi secara konstan pada variasi gelombang, ini menunjukkan bahwa semakin besar gelombang maka semakin besar juga nilainya. Dalam hal ini nilai pitching dan rolling hanya untuk mengetahui arah dari ponton dikarenakan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga gelombang.

Tabel 1. Data hasil pengukuran *Pitching, Rolling, dan Heaving*

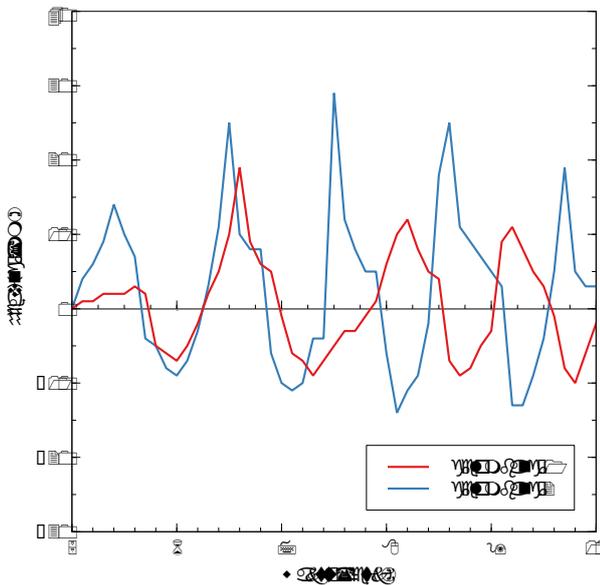
Spar, Muatan dan Gelombang	<i>Pitching</i> (°)	<i>Rolling</i> (°)	<i>Heaving</i> (mm)
Variasi 1 gel 1	-3	3	10
Variasi 1 gel 2	7	9	27
Variasi 2 gel 1	-8	-4	19
Variasi 2 gel 2	14	6	29
Variasi 3 gel 1	-4	1	11
Variasi 3 gel 2	7	3	14
Variasi 4 gel 1	9	-2	18



Gambar 18. Grafik hasil pengukuran *Pitching* pada *heaving plate* segitiga polos (variasi 2)



Gambar 19. Grafik hasil pengukuran *Rolling* pada *heaving plate* segitiga polos (variasi 1)



Gambar 20. Grafik hasil pengukuran *Heaving* pada *heaving plate* segitiga polos (variasi 2)

b. Hasil Pengukuran Pitching dengan *Heaving Plate*

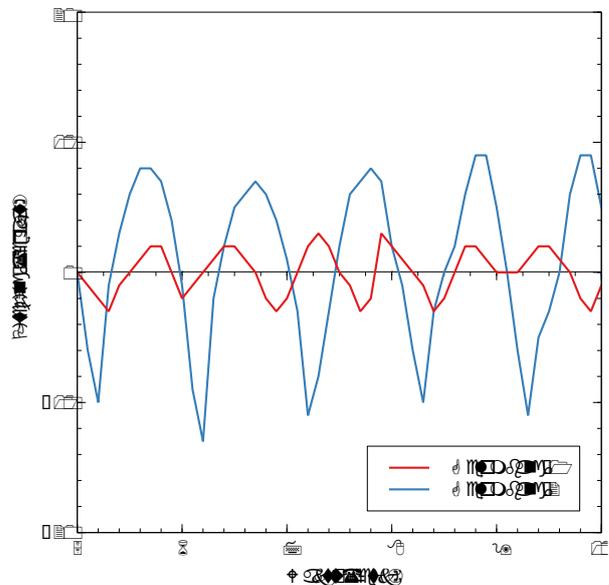
Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 2, gambar 21. Nilai yang diambil merupakan nilai ekstrim dari data yang diperoleh. untuk keterangan dari gambar yaitu:

1. Variasi 1 = Sarat 0H dengan spar 133mm.
 2. Variasi 2 = Sarat 0,25H dengan spar 133mm.
 3. Variasi 3 = Sarat 0H dengan spar 167 mm.
 4. Variasi 4 = Sarat 0,25H dengan spar 167mm.
- Dimana, Gelombang 1 = 15V dan Gelombang 2 = 20V.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran *Pitching*

Spar, Muatan dan Gelombang	Hp 1	Hp 2	Hp 3	Hp 4	Hp 5	Hp 6
Variasi 1 gel 1	-4°	10°	6°	5°	5°	4°
Variasi 1 gel 2	6°	6°	-8°	8°	-7°	5°
Variasi 2 gel 1	3°	4°	3°	4°	5°	5°
Variasi 2 gel 2	-13°	11°	11°	-12°	10°	-11°
Variasi 3 gel 1	3°	3°	-3°	4°	3°	3°
Variasi 3 gel 2	5°	4°	5°	6°	8°	-6°
Variasi 4 gel 1	4°	3°	4°	4°	4°	3°
Variasi 4 gel 2	7°	11°	10°	-10°	-10°	9°

Berdasarkan pengamatan perubahan sudut pitching pada gelombang 20V, tinggi muatan 0,25H dan spar 133mm memiliki nilai derajat yang lebih besar diakibatkan karena tinggi gelombang, ini menandakan bahwa semakin besar gelombang semakin besar juga nilai pitching nya. untuk ponton yang memiliki muatan juga grafik pitching terlihat lebih besar dan spar 133mm karena memiliki ukuran yang lebih pendek. Nilai maksimal pitching berada pada 13°, sedangkan nilai pitching terkecil berada pada 3°. Pada tabel 1, nilai maksimal pitching pada ponton dengan heaving plate segitiga polos sebesar 14°. Dibandingkan dengan heaving plate segitiga polos dan heaving plate segitiga berlubang, nilai pitching dengan heaving plate segitiga berlubang lebih kecil. Nilai pitching dalam hal ini hanya untuk mengetahui arah dari ponton dan tidak berpengaruh pada kinerja pembangkit listrik tenaga gelombang.



Gambar 21. Grafik Hasil pengukuran *Pitching* (variasi 2, HP 1)

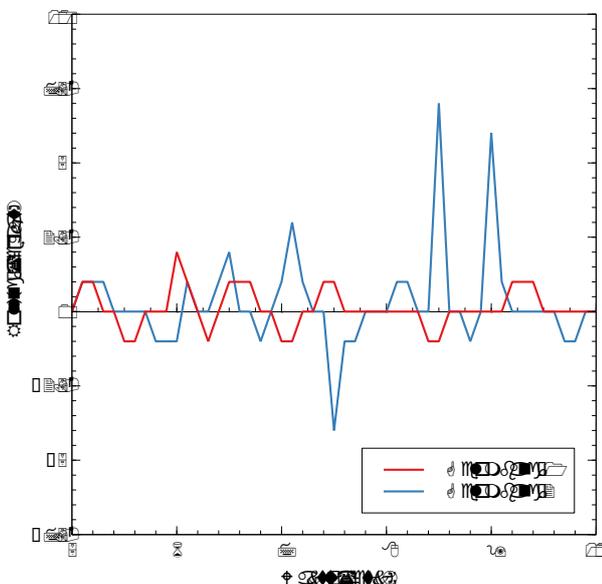
c. Hasil Pengukuran *Rolling* dengan *Heaving Plate*

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran *Rolling*

Spar, Muatan dan Gelombang	Hp 1	Hp 2	Hp 3	Hp 4	Hp 5	Hp 6
Variasi 1 gel 1	3°	4°	4°	-2°	-1°	-4°
Variasi 1 gel 2	5°	5°	-8°	-4°	4°	-2°
Variasi 2 gel 1	2°	3°	-3°	4°	-5°	3°
Variasi 2 gel 2	3°	4°	6°	5°	4°	5°
Variasi 3 gel 1	3°	3°	5°	4°	-2°	1°
Variasi 3 gel 2	4°	4°	6°	4°	6°	2°

Variasi 4 gel 1	1°	1°	2°	2°	1°	1°
Variasi 4 gel 2	5°	3°	7°	4°	4°	2°

Berdasarkan pengamatan perubahan sudut rolling dapat dilihat pada tabel 3. Hasilnya menunjukkan perubahan sudut rolling pada gelombang 2 dominan lebih besar. Sudut rolling maksimal berada pada 8°. Sedangkan sudut rolling terkecil berada pada 1°. Pada tabel 3, nilai maksimal rolling pada ponton dengan heaving plate segitiga polos sebesar 9°. Dibandingkan dengan heaving plate segitiga polos dan heaving plate segitiga berlubang, nilai rolling dengan heaving plate berlubang lebih kecil. Sama halnya dengan nilai *pitching* bahwa nilai rolling dalam hal ini juga hanya untuk mengetahui arah dari ponton sehingga tidak berpengaruh pada kinerja heaving dan kinerja pembangkit listrik tenaga gelombang.



Gambar 22. Grafik Hasil pengukuran *rolling* (variasi 4, HP 3)

d. Hasil Pengukuran *Heaving* dan Beban *Heaving* Oleh *Heaving Plate* Pada Ponton

Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada table 4-5 dan gambar 23-24. Nilai yang diambil merupakan nilai ekstrim dari data yang diperoleh. Untuk keterangan dari gambar yaitu:

- Variasi 1 = Sarat 0H dengan spar 133mm.
- Variasi 2 = Sarat 0,25H dengan spar 133mm.

- Variasi 3 = Sarat 0H dengan spar 167 mm.
- Variasi 4 = Sarat 0,25H dengan spar 167mm.

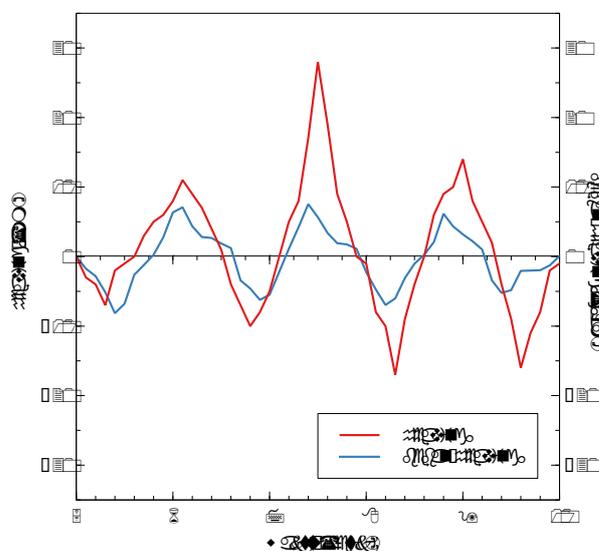
Dimana, Gelombang 1 = 15V dan Gelombang 2 = 20V.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran *Heaving* (mm)

Spar, Muatan dan Gelombang	Hp 1	Hp 2	Hp 3	Hp 4	Hp 5	Hp 6
Variasi 1 gel 1	13	12	12	13	28	10
Variasi 1 gel 2	17	16	16	19	22	15
Variasi 2 gel 1	10	12	11	13	12	9
Variasi 2 gel 2	17	25	23	24	27	18
Variasi 3 gel 1	8	8	11	11	7	8
Variasi 3 gel 2	15	18	19	18	22	19
Variasi 4 gel 1	8	16	13	10	15	9
Variasi 4 gel 2	16	26	20	18	26	14

Tabel 5. Data hasil pengukuran Beban *Heaving*

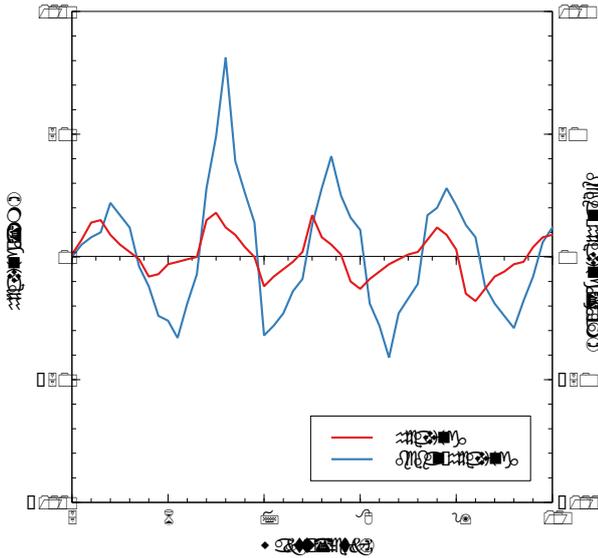
Spar, Muatan dan Gelombang	Hp 1	Hp 2	Hp 3	Hp 4	Hp 5	Hp 6
variiasi 1 gel 1	17.07	14.03	19.67	19.01	8.14	20.83
variiasi 1 gel 2	21.01	19.15	37.64	42.21	12.9	54.6
variiasi 2 gel 1	8.40	7.10	9.30	8.50	6.60	9.10
variiasi 2 gel 2	35.6	64.8	27.83	38.28	34.8	81.24
variiasi 3 gel 1	14.6	2.23	1.46	2.45	13.62	19.96
variiasi 3 gel 2	18.78	30.98	15.79	43.54	26.24	41.77
variiasi 4 gel 1	6.1	2.02	0.75	0.48	36.79	38.63
variiasi 4 gel 2	15.42	10.59	27.51	5.74	41.24	58.71



Gambar 23. Grafik hasil pengukuran *Heaving* dan beban *heaving* pada *Heaving Plate* 5 (Variasi 1, Gelombang 1)

$$= 0,798534 \text{ N}$$

Ket : Nilai beban heaving HP 6 variasi 2, gelombang 20V



Gambar 24. Grafik hasil pengukuran Heaving dan beban *heaving* pada Heaving Plate 6 (Variasi 2, Gelombang 2)

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 23 terlihat jika nilai maksimal heaving berada pada 28 mm yaitu pada heaving plate 5 dengan 3 lubang dan diameter lubang 20 mm pada variasi 1 gelombang 1. Heaving plate 5 merupakan heaving plate dengan luasan terkecil, maka dapat disimpulkan jika semakin kecil luasan pada heaving plate maka semakin besar nilai heaving. Sedangkan pada tabel 5 dan Gambar 24 nilai maksimal beban heaving berada pada 81,4 gram yaitu pada heaving plate 6 dengan 5 lubang dan diameter lubang 30 mm pada variasi 2 gelombang 2. Heaving plate 6 merupakan heaving plate dengan luasan terbesar. Pada beban heaving, semakin besar luasan heaving plate maka semakin besar nilai beban heaving.

e. Perhitungan energi yang dihasilkan

Energi yang dihasilkan berupa beban heaving yang dikonversi dari gram gaya ke newton. Gram gaya sama dengan massa dari satu gram dikali dengan percepatan standar gaya gravitasi di Bumi.

$$\begin{aligned} &\text{Berdasarkan data yang dimiliki gram gaya} \\ &\text{dapat dihitung} \\ &\text{beban heaving} \times \text{percepatan gravitasi} \\ &= 81,4 \text{ gram} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 798,534 \text{ g.m/s}^2 \\ &= 0,798534 \text{ kg.m/s}^2 \end{aligned}$$

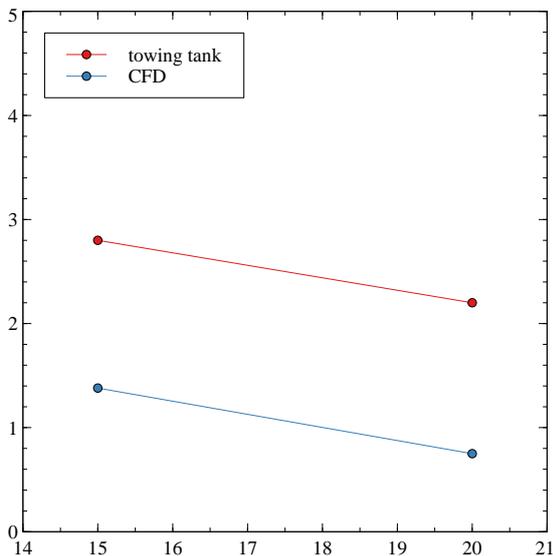
f. Validasi Pengukuran Di Towing Tank Dengan CFD

validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran heaving, pitching, rolling heave plate segitiga berlubang diameter 30mm sekali dan heave plate diameter 20mm sekali dengan hasil running CFD.

(Pengukuran = Hasil yang didapat dari towing tank, CFD = Hasil yang di dapat dari running CFD)

Tabel 6. Data Heaving, Pitching, Rolling pada heave plate segitiga dengan 3 lubang (variasi 1) Metode Pengukuran dan CFD

Metode, Gelombang dan diameter	Heaving	Pitching	Rolling
Pengukuran gel 1 (diameter 30mm)	1.3 cm	4°	3°
CFD gel 1 (diameter 30mm)	1.08 cm	0.51°	0.0008°
Pengukuran gel 2 (diameter 30mm)	1.7 cm	6°	5°
CFD gel 2 (diameter 30mm)	0.675 cm	0.5°	0.009°
Pengukuran gel 1 (diameter 20mm)	2.8 cm	5°	1°
CFD gel 1 (diameter 20mm)	1.38 cm	0.59°	0.0005°
Pengukuran gel 2 (diameter 20mm)	2.2 cm	7°	4°
CFD gel 2 (diameter 20mm)	0.75 cm	0.36°	0.001°



Gambar 25. Grafik Perbandingan Nilai *Heaving* pada heave plate segitiga dengan 3 lubang (variasi 1) diameter 20mm

Dari grafik terlihat perbedaan nilai olah gerak ponton prisma segi enam metode pengukuran dengan metode CFD. Perbedaan tersebut terjadi karena beberapa faktor yaitu gelombang yang tidak rata, datangnya antara kiri dan kanan posisi ponton yang tidak diam di tengah, posisi ponton yang tidak diam di tengah, kelembaban yang berbeda sehingga memiliki nilai yang berbeda.

4. KESIMPULAN

Hasil analisa dan pengukuran yang telah dilakukan pada pengukuran olah gerak setiap variasi heaving plate dengan pengaruh tinggi spar, tinggi muatan dan variasi gelombang maka dapat disimpulkan bahwa :

Penambahan heaving plate dapat meredam nilai heaving dikarenakan luas heaving plate akan menyebabkan volume air yang tertahan oleh penampang heaving plate saat ponton mengalami gerak heaving.

Pada Heaving plate segitiga berlubang dibandingkan dengan heaving plate segitiga polos, heaving plate segitiga polos memiliki penampang yang polos sehingga menyebabkan lebih banyak volume air yang tertahan dan menghasilkan gerak heaving yang besar. Sedangkan heaving plate segitiga berlubang memiliki penampang yang berlubang sehingga menyebabkan aliran air dapat melewati penampang heave plate dan menghasilkan gerak pitching dan rolling yang lebih kecil. Dilihat dari tabel perbedaan nilai heaving dan beban heaving, Tinggi spar yang lebih pendek memiliki nilai olah gerak heaving

dan beban heaving yang lebih besar. Ini disebabkan karena jarak antara heaving plate dan ponton kecil sehingga memaksimalkan gerakan heaving.

Gelombang 2 menghasilkan nilai heaving lebih besar dikarenakan tinggi dari gelombang menyebabkan ponton mengalami gerakan heaving yang besar pula.

Nilai maksimal heaving berada pada 28mm yaitu pada heaving plate 5 dengan 3 lubang dan diameter lubang 20 mm. Sedangkan nilai maksimal beban heaving berada pada 81,4 gram yaitu pada heaving plate 6 dengan 5 lubang dan diameter lubang 30 mm. Sehingga dapat disimpulkan jika nilai heaving terbesar berada pada heave plate dengan luasan yang kecil dan nilai beban heaving terbesar berada pada heave plate dengan luasan yg 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H. Syukur, "Potensi Gas Alam Di Indonesia," [Online]. Available: http://pusdiklatmigas.esdm.go.id/file/t1_Potensi_____M_Hasan_S.pdf. [Accessed: 5-May-2019].
- [2] P. Indiyono, *Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*. Surabaya: SIC, 2004.
- [3] L. Tao, and D. Dray, "Hydrodynamic performance of solid and porous heave plates," *Ocean Eng.*, Vol. 35, pp. 1006-1014, 2008.
- [4] E. Hadi, M. Iqbal, A. Wibawa, O. Kurdi, and K. Karnoto, "Experimental Studies of Interaction Forces Affect the Position of Vertical Plates on Oscillating Heave Plates with Cylindrical Bodies in Regular Waves," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 9, no. 1, pp. 77-84, Feb. 2020.
- [5] A. C. Brown, and J. Thomson, "Heave Plate Dynamics for a Point Absorbing Wave Energy Converter," *METS2015*, 2015.
- [6] R. Alamian, R. Shafaghat, R. Bayani, and A. H. Amouei, "An Experimental Evaluation of the Effects of Sea Depth, Wave Energy Converter's Draft and Position of Centre of Gravity on the Performance of a Point Absorber Wave Energy Converter," *Journal of Marine*

Engineering & Tech., pp. 70-83, 2017.

- [7] J. Li, S. Liu, M. Zhao, and B. Teng, "Experimental Investigation of the Hydrodynamic Characteristics of Heave Plates using Forced Oscillation," *Ocean Eng.*, pp. 82-91, 2013.
- [8] R. Antonutti, C. Peyrard, L. Johanning, and D. Ingram, "An Investigation of the Effects of Wind Induced Inclination on Floating Wind Turbine Dynamics; Heave Plate Excursion," *Ocean Eng.*, vol. 91, pp. 208-217, 2014.
- [9] A. Subbulakshmi, J. Jose, R. Sundaravadivelu, and R. P. Selvam, "Effect of Viscous Damping on Hydrodynamic Response of Spar with Heave Plate," *Aquatic Procedia*, pp. 508-515, 2015.
- [10] D. Bull, J. Gerber, and W. Powers, "Heave plate with improved characteristics," *Ocean Eng.*, vol. 2, no. 12, 2011.
- [11] I. Inc., "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification," *Inven. Inc. Prod. Specif.*, vol. 3.4, no. 408, pp. 1-57, 2013.
- [12] Indoware, "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04," 2013.
- [13] F. N. Amin, "Timbangan berbasis arduino dengan output lcd dan suara," 2016.
- [14] A. Rahman and M. Nawawi, "Perbandingan Nilai Ukur Sensor Load Cell pada Alat Penyortir Buah Otomatis terhadap Timbangan Manual," vol. 5, no. 2, pp. 207-220, 2017.
- [15] B. W. Evans, "Arduino Programming Notebook," pp. 1-36, 2008.
- [16] Y. Yuliza, "Komunikasi Antar Robot Menggunakan RF Xbee dan Arduino Microcontroller," *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, p. 53, 2017.