



Analisa Olah Gerak Ponton Bentuk Segi Enam Dengan Penambahan *Heaving Plate* Segi Enam Pada Gelombang Reguler Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Roby Widiyanto^{1*)}, Eko Sasmito Hadi¹⁾, Kiryanto¹⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : robwidiyanto@students.undip.ac.id

Abstrak

Ponton adalah salah satu platform apung yang biasa digunakan untuk keperluan pemanfaatan sumber daya laut, salah satunya konversi energi yang memanfaatkan gelombang dan selanjutnya menghasilkan nilai olah gerak tertentu. Untuk mengetahui variasi nilai olah gerak, maka digunakan tambahan platform berupa *heaving plate* yang dipasang di bagian bawah ponton dengan penghubung konstruksi tiang yang disebut *spar*. Dengan tambahan konstruksi tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh *heaving plate* dengan beberapa variasi luas area *heaving plate* terhadap nilai olah gerak ponton serta menjadikan penelitian ini sebagai acuan untuk penelitian berikutnya yang serupa. Maka dari itu, metode yang dipakai adalah simulasi pada software CFD berupa analisa olah gerak (*seakeeping*) dengan variasi luas area *heaving plate*, gelombang, sarat ponton, dan ketinggian *spar*. Nilai olah gerak *heaving* terbesar terjadi pada ponton dengan *heaving plate* 120 dengan *spar* 67 pada gelombang 2 di sarat 50 mm, dengan nilai sebesar 12,69 mm/mm. Nilai olah gerak *pitching* terbesar terjadi pada ponton dengan *heaving plate* 120 dengan *spar* 67 pada gelombang 2 di sarat 50 mm, dengan nilai sebesar 7,10°/mm. Dari hasil penelitian ini bisa disimpulkan bahwa luas area *heaving plate* sangat berpengaruh terhadap nilai olah gerak, yang didukung pengaruh gelombang, sarat ponton, dan ketinggian *spar*.

Kata Kunci : *Heaving*, *Pitching*, *Heaving Plate*, *Spar*, *Added Mass*, *CFD*

1. PENDAHULUAN

Ponton merupakan salah satu benda apung multifungsi yang digunakan banyak perusahaan di bidang maritim dan sejenisnya. Hingga kini, ponton banyak menunjang beberapa kegiatan di pelabuhan yang lebih kompleks, yang berarti teknologi bangunan ponton sudah memiliki nilai tambah yang semakin meningkat.

Selain digunakan untuk aktivitas di sekitar pelabuhan dan galangan kapal, ponton juga bisa difungsikan menjadi *platform* dalam memanfaatkan gelombang laut untuk menjadi energi listrik. Perencanaan pembangkit gelombang mulai digalakkan mengingat sumber energi fosil yang makin menipis. Oleh sebab itu, ponton dibuat dengan variasi lain untuk menghasilkan output yang lebih produktif.

Ponton yang sudah terintegrasi akan mengalami gerakan sedemikian rupa sesuai kondisi arus dan konstruksi. Selanjutnya, energi yang dihasilkan sangat bergantung dari bagaimana gerakan ponton dalam merespons gelombang [1].

Untuk menunjang variasi gerakan-gerakan akibat gelombang, ponton diberi tambahan konstruksi berupa *heaving plate*, yang dipasang di beberapa kedalaman dan dihubungkan dengan konstruksi *spar*. Dalam studi lebih lanjut, *heaving plate* dapat menambah inersia ponton dan juga memberikan stabilitas pada ponton [2].

Di sisi lain, penelitian ini menjadikan *heaving plate* sebagai fokus utama dalam analisa olah gerak. *Heaving plate* akan menjadikan inersia bertambah, yang mana akan

menghasilkan *added mass* dan selanjutnya memberi efek dinamika lebih besar pada gerakan ponton [3], yang dapat menghasilkan variasi olah gerak baru. Dalam kasus *double plates*, nilai *added mass* sangat bergantung dari jarak *plates* yang digunakan [4].

Pergerakan ponton dalam penelitian ini juga menganalisa bagaimana sistem akan memperoleh gaya reaksi akibat adanya gelombang. Dari penelitian beberapa waktu kebelakang, gaya reaksi yang diterima ponton dipengaruhi oleh muatan ponton yang didesain tanpa *heaving plate*. Gaya ini dipengaruhi oleh muatan, sarat, dan gelombang [5]. Pada penelitian ini, *heaving plate* menjadi pengaruh tambahan untuk hasil dinamika gaya reaksi pada sistem ponton.

Pada penelitian ini, ponton akan diuji dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan juga numerik, yang nantinya bisa menjadi acuan dalam pengujian berbasis *towing tank* dengan tetap memperhatikan parameter yang ada.

Penelitian ini menggunakan *software* berbasis *seakeeping analysis*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan gelombang reguler dengan beberapa variasi.

Dengan mengetahui variasi yang baru, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai analisa pengaruh adanya *platform heaving plate* beserta *spar* dengan berbagai variasi dalam menentukan nilai olah gerak yang baru, yang akan dibandingkan dengan ponton segi enam tanpa adanya *heaving plate*.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data-data dimensi ponton dan dimensi kolam *towing tank* yang dipakai pada beberapa penelitian sebelumnya. Hanya saja ada tambahan geometri seperti *heaving plate*, dan juga *spar* dengan beberapa variasi. Berikut rincian variasi *heaving plate* pada tabel 1.

Tabel 1. Variasi *Heaving Plate*

Geometri	Bentuk	Sisi (mm)	Area (mm ²)	Massa (Kg)	Tinggi (mm)
Heaving Plate 1	Segi Enam	80	34696.4	0.049	3
Heaving Plate 2	Segi Enam	100	53761.5	0.078	3
Heaving Plate 3	Segi Enam	120	76984.6	0.112	3

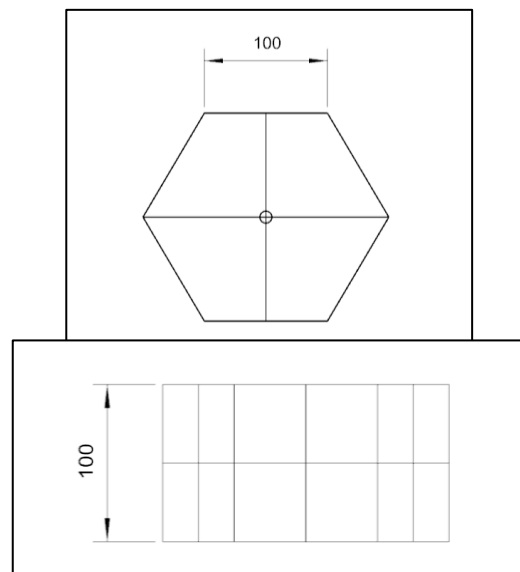
Selanjutnya, *heaving plate* akan terhubung dengan ponton melalui konstruksi khusus berbentuk silinder yang disebut *spar* dengan ketinggian tertentu. Berikut rinciannya pada tabel 2.

Tabel 2. Variasi *Spar*

Spar	Bentuk	Area (mm ²)	Massa (Kg)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)
Spar 1	Silinder	1330.4	0.0031	11	30
Spar 2	Silinder	2505.4	0.0063	11	64

Ponton yang digunakan adalah ponton dengan geometri segi enam. Ukuran ponton ini sama dengan ukuran ponton pada beberapa pengujian sebelumnya, yang mengikuti dimensi *towing tank* pada laboratorium hidrodinamika.

Hasil pengujian ini akan diberikan komparasi atau perbandingan dengan ponton segi enam tanpa tambahan geometri *heaving plate* dengan metode yang sama. Geometri ponton bisa dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bentuk dan Dimensi ponton (Tampak Atas dan Samping)

2.2 Perlakuan Penelitian

Dalam mencari nilai olah gerak, fokus pada penelitian ini adalah beberapa variasi sebagai berikut :

1. Variasi sisi *heaving plate*
 - a. Sisi 80 mm
 - b. Sisi 100 mm
 - c. Sisi 120 mm
2. Variasi ketinggian *spar*
 - a. Ketinggian 33 mm (30 +3)
 - b. Ketinggian 67 mm (64 +3)

3. Variasi *Draft* (Sarat Ponton), diukur dari dasar ponton
 - a. 25 mm
 - b. 50 mm
4. Variasi frekuensi gelombang
 - a. 0,667 Hz dengan kecepatan gelombang 549,33 mm/s dan memiliki ketinggian sebesar 7,5 mm
 - b. 0,947 Hz dengan kecepatan gelombang 643,87 mm/s dan memiliki ketinggian sebesar 12,5 mm

Variasi gelombang diatas merupakan data hasil studi pengukuran gelombang pada laboratorium hidrodinamika di beberapa pengujian berbasis *microcontroller* dengan media *towing tank*. Hanya saja ada penambahan variasi sendiri dengan perlakuan berbeda seperti geometri *heaving plate* dengan *spar*.

Untuk arah gelombang, penelitian ini menggunakan arah pada sudut 180°.

2.3 Olah Gerak (*Seakeeping*)

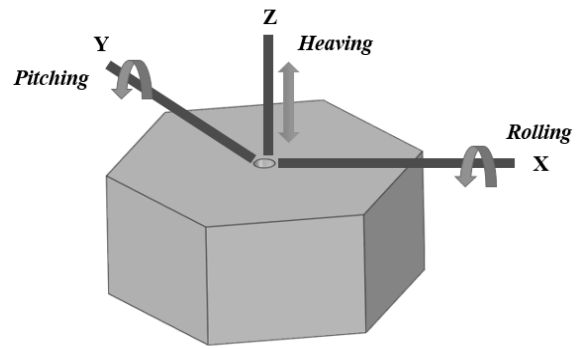
Seakeeping adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. Ada enam macam gerakan kapal di laut yaitu tiga gerakan translasi (*surging, swaying, heaving*) dan tiga gerakan rotasi (*rolling, pitching, yawing*). Dalam kajian lebih lanjut, gerakan ini akan menghasilkan alur osilasi yang meliputi gerakan *rolling, heaving, dan pitching* [6].

Karakteristik *seakeeping* sebuah benda apung sangat bergantung pada kondisi perairan, kondisi benda apung itu sendiri, dan juga karakteristik gelombang datang [7]. Pada penelitian ini, semua karakteristik tersebut mengikuti kondisi pada Laboratorium Hidrodinamika.

Heaving adalah gerakan kapal yang sejajar sumbu Z dan saat terjadi *heaving* kapal atau benda apung mengalami naik turun secara vertical. *Heaving* merupakan gerakan translasi yang berarti memiliki satuan jarak.

Pitching adalah gerakan kapal yang memutar sumbu Y, ketika terjadi *pitching* kapal atau benda apung mengalami perubahan *trim* bagian *bow* dan *stern* secara bergantian. *Pitching* merupakan gerakan rotasi yang berarti memiliki satuan derajat.

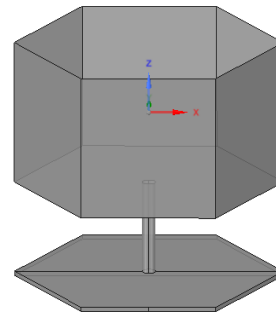
Penelitian ini hanya memfokuskan pada analisa gerakan *heaving* dan *pitching* saja, dikarenakan bentuk model yang simetris. Respons gerakan ponton dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Gerakan Respons Ponton [8]

2.4 Pembuatan Model Ponton

Semua model baik itu ponton, *heaving plate*, dan *spar* dibuat dengan menggunakan software *rhinoceros* berbasis 3D yang dimodifikasi sesuai kebutuhan penelitian. Hasil pemodelan akhir bisa dilihat melalui gambar 3.



Gambar 3. Model Ponton *Full Model*

2.5 Pengujian Model

Penelitian ini bersifat simulasi berdasarkan eksperimen, yang artinya data-data pendukung diperoleh dari beberapa penelitian sebelumnya. Semua penelitian ini menggunakan pengujian dengan metode *computational fluid dynamics* (CFD). Setelah analisa olah gerak, selanjutnya adalah analisa inersia (*added mass*) pada gerakan *heaving* sebagai pengaruh dari *heaving plate*.

Selain menggunakan *seakeeping software*, penelitian ini juga menganalisa adanya gaya reaksi ponton akibat aliran gelombang dengan kecepatan tertentu, yang menggunakan metode analisa aliran (*fluid flow*).

2.6 Perbandingan Hasil Olah Gerak

Karena penelitian ini bersifat simulasi, maka semua data hasil pengujian akan berdasarkan simulasi *software*. Sedangkan fokus utama penelitian ini adalah pengaruh *heaving plate*, yang artinya akan ada perbandingan hasil

olah gerak ponton dengan *heaving plate* terhadap hasil olah gerak ponton tanpa *heaving plate*, dengan perlakuan dan metode yang sama.

2.7 Gelombang Reguler

Gelombang reguler merupakan gelombang dengan periode tunggal dan juga mempunyai spektrum tunggal, yang terdefinisi dengan baik dan konstan dalam setiap periode waktu [9]. Gelombang Reguler terjadi ketika amplitudo gelombang dan panjang gelombang mengalami nilai yang sama dalam waktu tertentu.

Berikut persamaan umum gelombang reguler.

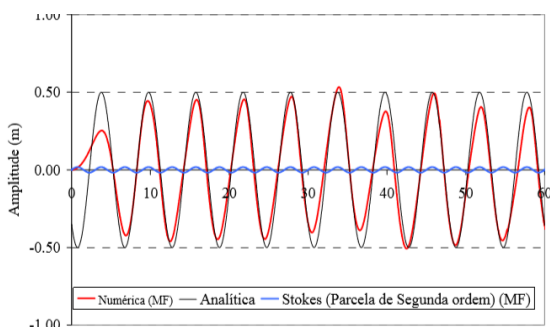
$$\eta = A \cos(kx \pm \omega t) \quad (1)$$

Kecepatan aliran gelombang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\mu = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{gAk}{\omega} \frac{\cos h(kz+kh)}{\cos h(kh)} \cos(kx - \omega t) \quad (2)$$

$$w = \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{gAk}{\omega} \frac{\sin h(kz+kh)}{\cos h(kh)} \sin(kx - \omega t) \quad (3)$$

dimana η adalah simpangan dalam arah sumbu Y, μ adalah kecepatan aliran gelombang dalam sumbu X, w kecepatan gelombang dalam arah sumbu Z, ϕ adalah kecepatan potensial, A adalah amplitudo, k adalah bilangan gelombang, dan ω adalah kecepatan sudut [10]. Contoh dari spectrum gelombang reguler bisa dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Spektrum Gelombang Reguler [10]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Persiapan Pengujian

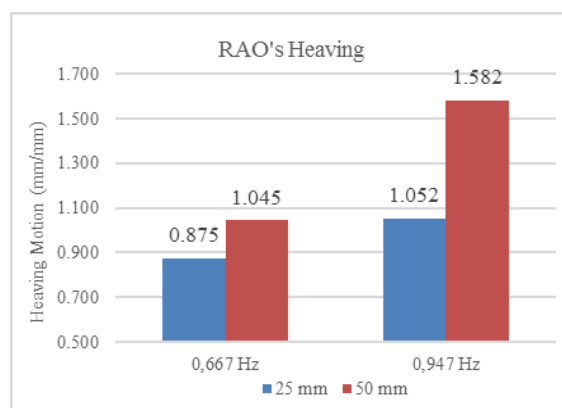
Sebelum masuk ke pengujian utama, diperlukan data-data hasil pengujian *seakeeping* ponton segi enam tanpa *heaving plate* dengan perlakuan dan variabel yang sama. Hasil pengujian ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian utama dalam penelitian ini.

Hasil running dapat dilihat pada tabel 3, gambar 5, dan gambar 6 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengukuran *Seakeeping* Ponton Tanpa *Heaving Plate*

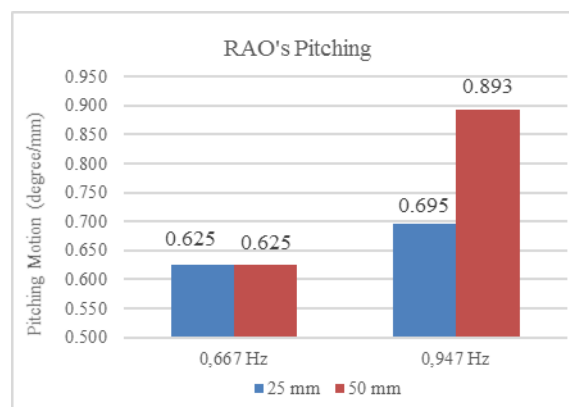
RAO	Frekuensi Gelombang	Draft 25 mm	Draft 50 mm
Heaving (mm)	0,667 Hz	0.875	1.045
	0,947 Hz	1.052	1.582
Pitching (°)	0,667 Hz	0.625	0.625
	0,947 Hz	0.695	0.893

Dari tabel 3, nilai *heaving* tertinggi terletak pada sarat 50 mm (0,5H) pada gelombang 2 dengan nilai 1,582 mm/mm. Untuk nilai *pitching* tertinggi terletak pada sarat 50 mm pada gelombang 2 dengan nilai 0,893 °/mm.



Gambar 5. Grafik Nilai *Heaving* Ponton Tanpa *Heaving Plate*

Nilai *heaving* tertinggi pada gambar 5 sangat jelas dipengaruhi oleh variasi gelombang dan sarat ponton. Sarat dan gelombang yang lebih besar menghasilkan respons yang lebih besar juga.



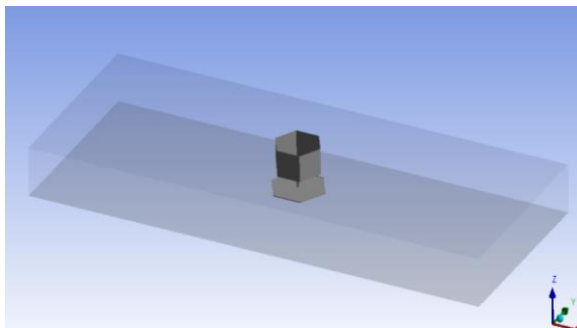
Gambar 6. Grafik Nilai *Pitching* Ponton Tanpa *Heaving Plate*

Pada gambar 6, nilai respons *pitching* tertinggi terdapat di variasi gelombang dan sarat yang lebih besar yang sama halnya dengan *heaving*. Arah gelombang yang hanya satu arah menjadi penyebab adanya perbedaan antara *pitching* dan *heaving*.

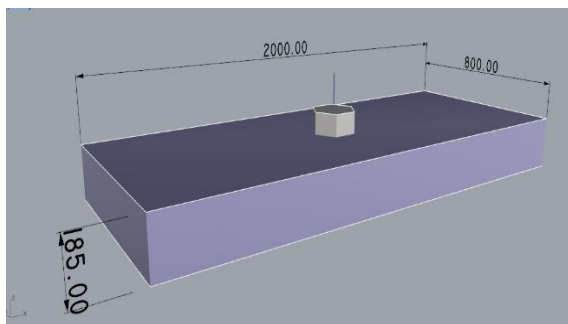
3.2 Pengujian pada Software *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

Setelah semua model dibuat dengan software *rhinoceros*, tahapan berikutnya adalah menganalisa langsung dengan software *seakeeping* yang diawali dengan pemodelan kolam *towing tank*.

Bentuk kolam dan dimensi kolam bisa dilihat pada gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Bentuk Kolam Dan Ponton *Full Model*



Gambar 8. Dimensi Kolam

Salah satu parameter penting dalam pengujian CFD adalah dengan menentukan dimensi kolam. Berikut dimensi kolam yang sesuai dengan *towing tank* laboratorium hidrodinamika :

- a. Panjang kolam 2000 mm
- b. Lebar kolam 800 mm
- c. Kedalaman air 185 mm

Dalam pengujian menggunakan software CFD, ada beberapa model ponton yang dikembangkan sesuai dengan beberapa variasi, seperti variasi *heaving plate*, variasi ketinggian *spar*, variasi frekuensi gelombang, dan variasi sarat ponton.

3.3 Perhitungan Nilai RAO

Respons gerakan benda apung akibat adanya gelombang dengan kecepatan dan frekuensi tertentu baik secara *regular* maupun *irregular* disebut *response amplitudo operator* (RAO). Secara singkatnya, RAO adalah suatu fungsi dari frekuensi respons, yaitu perbandingan atau rasio antara amplitudo gerakan benda apung dengan amplitudo gelombang [11].

RAO untuk gerakan benda apung dibagi menjadi dua, yaitu RAO translasi (*heaving, surging, swaying*) dan RAO rotasi (*rolling, pitching, yawing*).

Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi :

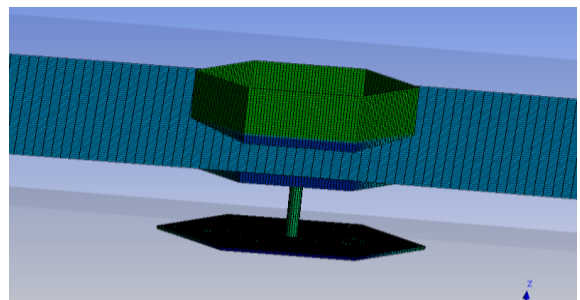
$$RAO_z = \frac{z_0}{\zeta_0} \quad (\text{mm/mm}) \quad (4)$$

Respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi :

$$RAO_\theta = \frac{z_0}{K\zeta_0} \quad (\text{derajat/mm}) \quad (5)$$

3.4 Hasil Pengujian *Seakeeping* Ponton

Setelah dilakukan proses *running* untuk memperoleh nilai RAO, tahapan berikutnya adalah pengolahan data hasil *running* berupa data excel dan juga grafik pada setiap gerakan (*heaving* dan *pitching*) yang dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu olah gerak dengan platform *heaving plate* 80, 100, dan 120. Contoh simulasi olah gerak dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Pengujian *Seakeeping* berbasis CFD

3.4.1 Hasil Pengukuran Heaving

Hasil pengukuran nilai olah gerak *heaving* untuk semua variasi dapat disimak pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Olah Gerak *Heaving* (mm)

Variasi Heaving Plate	Spar (mm)	Frekuensi Gelombang (Hz)	Keterangan	Sarat Ponton	
				25 mm	50 mm
Heaving Plate 80 mm	33	0,667	Model 1	0,99	1,15
	67	0,667	Model 2	1,01	1,16
	33	0,947	Model 3	1,14	1,91
	67	0,947	Model 4	1,18	2,07
Heaving Plate 100 mm	33	0,667	Model 1	1,01	1,16
	67	0,667	Model 2	1,03	1,18
	33	0,947	Model 3	1,12	2,17
	67	0,947	Model 4	1,33	2,66
Heaving Plate 120 mm	33	0,667	Model 1	0,96	1,19
	67	0,667	Model 2	0,99	1,24
	33	0,947	Model 3	1,29	3,98
	67	0,947	Model 4	1,63	12,69

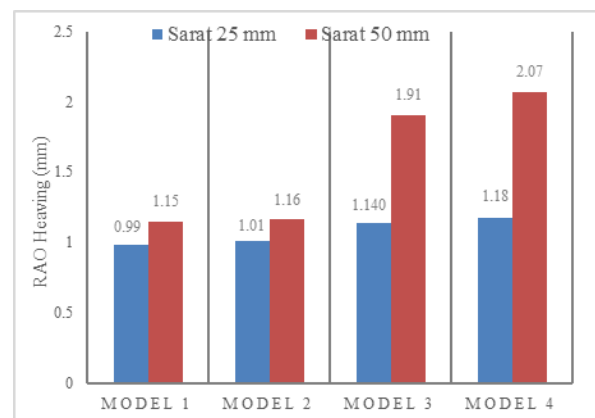
Berdasarkan hasil pengukuran pada tabel 4 diatas, nilai olah gerak *heaving* terbesar berada pada ponton dengan *heaving plate* 120, diikuti *heaving plate* 100 lalu *heaving plate* 80. Nilai terbesar terletak pada *heaving plate* 120 dengan variasi gelombang 2 (0,947 Hz), sarat 50 mm (0,5H) dan *spar* 67 dengan nilai 12,69 mm. Dan untuk nilai terkecil terletak pada *heaving plate* 120 dengan variasi gelombang 1 (0,667 Hz), sarat 25 mm (0,25H) dan *spar* 33 dengan nilai 0,96 mm.

Dari nilai tabel 4 juga bisa disimpulkan bahwa nilai maksimum sangat dominan pada variasi sarat 50 mm yang menandakan semakin besar sarat ponton maka nilai gerakan respons akibat gelombang juga semakin besar.

Dari sisi lain, nilai dominan juga didapat dari variasi *spar* 67. Nilai olah gerak pada *spar* 67 lebih besar jika dibandingkan pada *spar* 33 pada semua *heaving plate*. Semakin tinggi *spar* maka akan memperbesar respons gerakan ponton yang disebabkan lebih besarnya nilai massa pada *spar* 67.

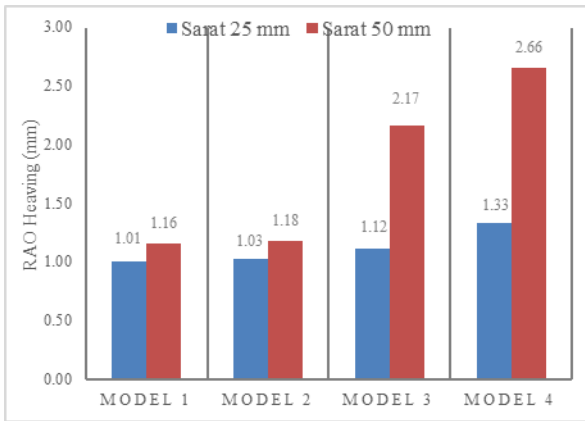
Pada variasi *heaving plate*, nilai respons gerakan *heaving* terbesar adalah pada *heaving plate* 120. Ini sesuai perhitungan hidrodinamika *heaving plate*, bahwa semakin luas area maka gaya yang dihasilkan dari adanya gelombang datang juga semakin besar.

Grafik olah gerak *heaving* pada semua variasi *heaving plate* dapat dilihat pada gambar 10, 11, dan 12 berikut.



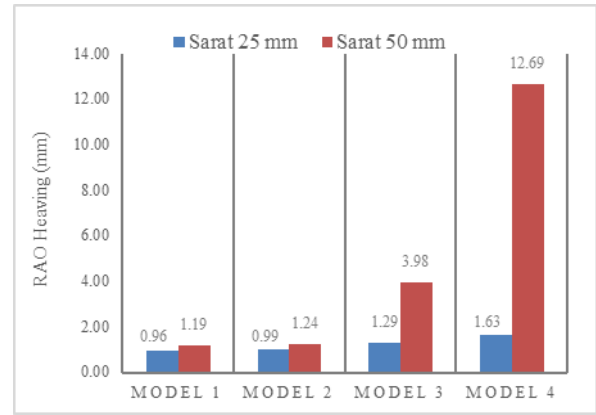
Gambar 10. Grafik Nilai *Heaving* Pada *Heaving Plate* 80

Grafik pada gambar 10 menjelaskan bagaimana respons pada *heaving plate* 80, dengan rata-rata respons tertinggi terjadi pada variasi sarat 50 mm, *spar* 67 dan variasi gelombang 2 yang memiliki frekuensi lebih besar.



Gambar 11. Grafik Nilai *Heaving* Pada *Heaving Plate* 100

Sama halnya dengan *heaving plate* 80, nilai respons *heaving plate* 100 pada gambar 11 juga dipengaruhi oleh variasi gelombang, sarat, dan *spar* yang lebih tinggi untuk menghasilkan nilai respons yang lebih besar. Rata-rata respons tertinggi terjadi pada sarat 50 mm, *spar* 67, dan variasi gelombang 2.



Gambar 12. Grafik Nilai *Heaving* Pada *Heaving Plate* 120

Dari gambar 12, nilai paling ekstrim terjadi pada *heaving plate* 120 dengan *spar* 67, yang mempunyai nilai massa sangat besar dan sangat berpengaruh terhadap nilai inersia dari sistem yang artinya akan memperbesar gaya respons dari sistem yang mulai dari gaya reaksi yang diterima *heaving plate*, dan juga akan memberikan efek gerakan osilasi yang makin tinggi.

3.4.2 Hasil Pengukuran Pitching

Hasil pengukuran nilai olah gerak *pitching* untuk semua variasi dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Olah Gerak *Pitching* (°)

RAO'S PITCHING (°)					
Variasi <i>Heaving Plate</i>	<i>Spar</i> (mm)	Frekuensi Gelombang (Hz)	Keterangan	Sarat Ponton	
				25 mm	50 mm
<i>Heaving Plate</i> 80 mm	33	0,667	Model 1	0,58	0,66
	67	0,667	Model 2	0,56	0,65
	33	0,947	Model 3	0,69	1,08
	67	0,947	Model 4	0,70	1,18
<i>Heaving Plate</i> 100 mm	33	0,667	Model 1	0,55	0,64
	67	0,667	Model 2	0,53	0,64
	33	0,947	Model 3	0,64	1,20
	67	0,947	Model 4	0,75	1,52
<i>Heaving Plate</i> 120 mm	33	0,667	Model 1	0,47	0,61
	67	0,667	Model 2	0,48	0,64
	33	0,947	Model 3	0,67	2,14
	67	0,947	Model 4	0,86	7,10

Berdasarkan hasil pengukuran pada tabel 5, nilai olah gerak *pitching* tertinggi terletak pada ponton *heaving plate* 120 dengan variasi gelombang 2 (0,947 Hz), sarat 50 mm dan *spar* 67 dengan nilai 7,10°. Sedangkan untuk nilai terendah terletak pada *heaving plate* 120 mm dengan variasi gelombang 1 (0,667 Hz), sarat 25 mm dan *spar* 33 dengan nilai 0,47°.

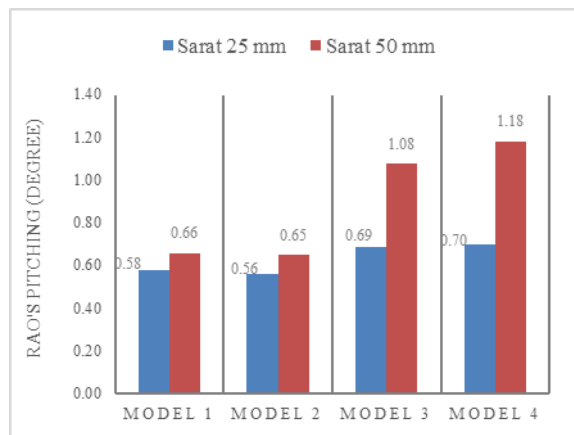
Dari tabel juga disimpulkan bahwa nilai maksimum *pitching* terletak pada variasi sarat 50 mm yang berarti semakin tinggi sarat ponton maka nilai respons *pitching* juga semakin besar.

Nilai gerakan *pitching* juga lebih dominan pada variasi gelombang 2 yang menandakan semakin besar amplitudo maka respons ponton untuk gerakan *pitching* juga semakin besar. Ini

sedikit berbeda jika dilihat dari sudut pandang variasi *spar*. Nilai olah gerak pada *spar* 67 akan lebih besar hanya jika ponton menerima gerakan gelombang pada sarat 50 mm. Ketika dilihat dari sudut pandang sarat 25 mm dan gelombang 1, maka ada beberapa variasi yang menunjukkan jika nilai respons *pitching* lebih besar pada variasi *spar* 33.

Pada sisi *heaving plate*, tidak semua nilai olah gerak pada *heaving plate* 120 lebih besar dibandingkan pada *heaving plate* 80 dan 100. Pada sarat 50 mm di variasi gelombang 2, sangat jelas terlihat bahwa untuk kenaikan luas area *heaving plate* akan diikuti dengan kenaikan nilai olah geraknya. Sedangkan pada sarat 25 mm, kenaikan luas area tidak serta merta diikuti kenaikan nilai olah geraknya, bahkan pada beberapa variasi mengalami penurunan. Dalam hal ini, sarat ponton begitu berpengaruh kuat dalam menaikkan atau menurunkan derajat gerakan respons yang diterima ponton, sehingga besarnya respons yang diterima ponton akan lebih besar dalam kenaikan derajat *pitching* apabila terletak pada sarat yang lebih besar juga.

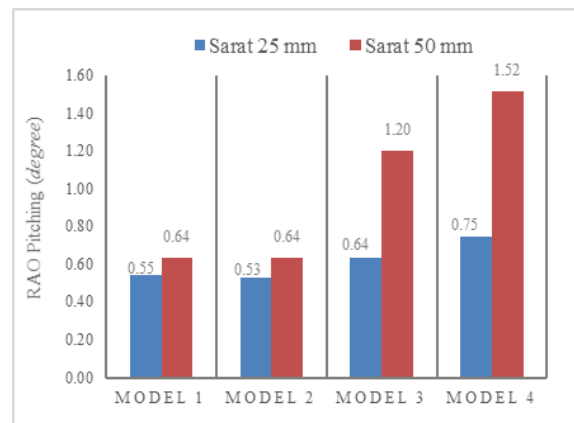
Grafik gerakan *pitching* bisa diamati pada gambar 13, 14, dan 15 berikut.



Gambar 13. Grafik Nilai *Pitching* Pada HP 80

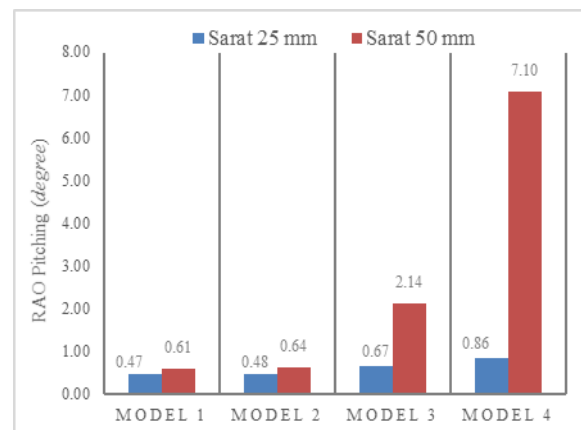
Pada gambar 13, terjadi sedikit penurunan nilai respons pada model 1 dan 2, yaitu dari *spar* 33 ke *spar* 67 pada variasi gelombang yang sama, yaitu gelombang 1 (0,667 Hz). Sedangkan untuk variasi gelombang 2 (0,947 Hz) terjadi peningkatan dari *spar* 33 ke *spar* 67.

Dari grafik juga terlihat jelas bahwa rata-rata nilai respons tertinggi terjadi pada variasi sarat 50 mm.



Gambar 14. Grafik Nilai *Pitching* Pada HP 100

Grafik *pitching* pada gambar 14 menunjukkan adanya peningkatan terhadap nilai respons pada *heaving plate* 100 terhadap 80, dengan rata-rata tertinggi terjadi pada variasi sarat 50 mm. Adapun penurunan terjadi pada gelombang 1 (0,667 Hz) yaitu dari *spar* 33 ke *spar* 67 atau dari model 1 ke model 2.



Gambar 15. Grafik Nilai *Pitching* Pada HP 120

Gambar 15 menunjukkan adanya nilai ekstrim. Sama seperti *heaving*, nilai ekstrim pada grafik terletak pada *heaving plate* 120 di variasi gelombang 2 dan *spar* 67, yang mengindikasikan bahwa luas area *heaving plate* yang semakin besar akan menambah derajat *pitching* gerakan respons ponton terhadap datangnya gelombang.

Dari ketiga grafik tersebut, sarat yang lebih tinggi menghasilkan nilai respons *pitching* yang lebih besar.

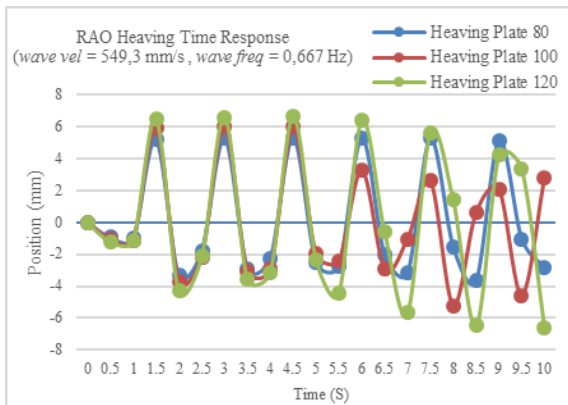
3.5 RAO Time Responses

Gerakan ponton yang telah dianalisa dari beberapa variabel, akan disajikan dalam bentuk grafik sinusoidal yang menggambarkan posisi

atau simpangan ponton berdasarkan domain waktu.

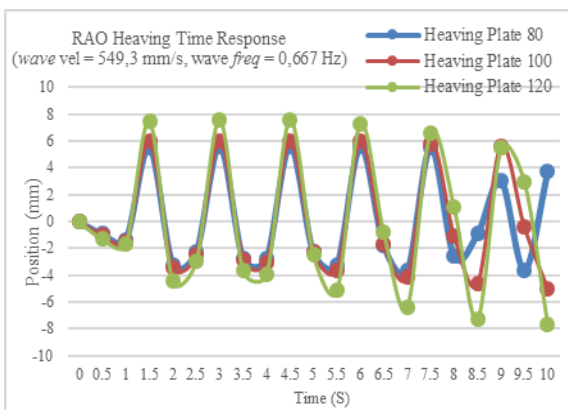
Hasil ini dihitung berdasarkan perhitungan RAO ponton pada masing-masing variasi per satuan mm amplitudo gelombang yang dipakai. Grafik semua olah gerak pada domain waktu dapat disimak pada gambar-gambar berikut.

Grafik *heaving time response* disajikan melalui gambar 16, 17, 18, dan 19.



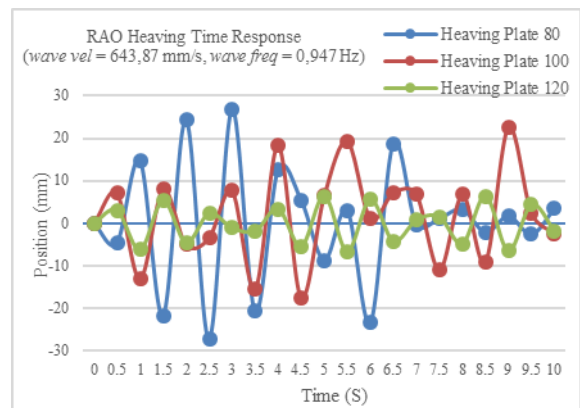
Gambar 16. *Heaving Time Response* Pada Gelombang 1 Sarat 25 mm

Dari gambar 16, alur posisi ponton pada gelombang 1 di sarat 25 mm menunjukkan perbedaan di setiap *heaving plate*. Pola osilasi terbesar terlihat pada *heaving plate* 120 sampai detik ke- 8,5. Sedangkan untuk detik berikutnya, pola terlihat lebih tidak beraturan.



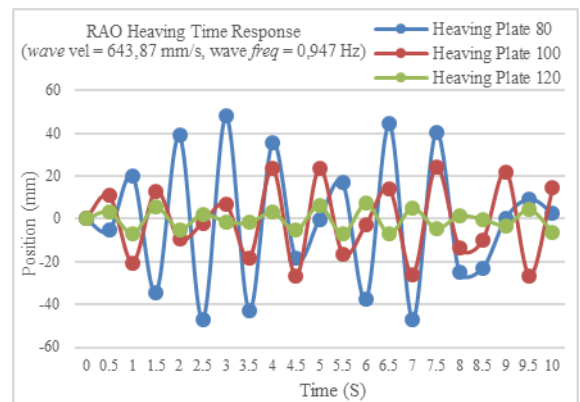
Gambar 17. *Heaving Time Response* Pada Gelombang 1 Sarat 50 mm

Sama dengan gambar 16, pada gambar 17 pola osilasi terbesar terlihat pada *heaving plate* 120 sampai detik ke- 8,5. Dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi gelombang 1 memberikan pola osilasi gerakan *heaving* terbesar pada *heaving plate* 120.



Gambar 18. *Heaving Time Response* Pada Gelombang 2 Sarat 25 mm

Berdasarkan gambar 18, pola osilasi terlihat tidak beraturan. Posisi osilasi tertinggi terjadi pada *heaving plate* 80 di detik ke-2,5 dan 3. Sedangkan rata-rata osilasi terendah terjadi pada *heaving plate* 120.

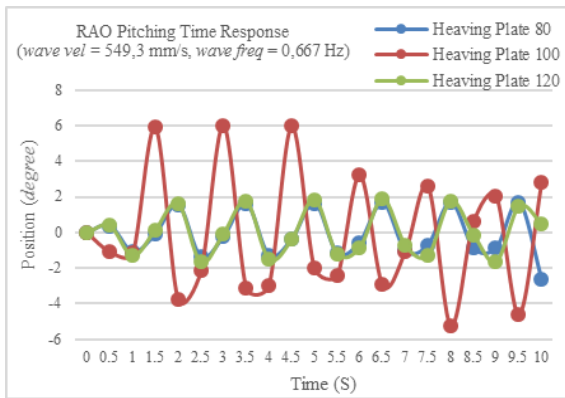


Gambar 19. *Heaving Time Response* Pada Gelombang 2 Sarat 50 mm

Grafik pada gambar 19 menunjukkan hal yang sama terhadap grafik sebelumnya, yaitu osilasi gerakan *heaving* tertinggi terjadi pada *heaving plate* 80. Sedangkan rata-rata osilasi terendah terjadi pada *heaving plate* 120.

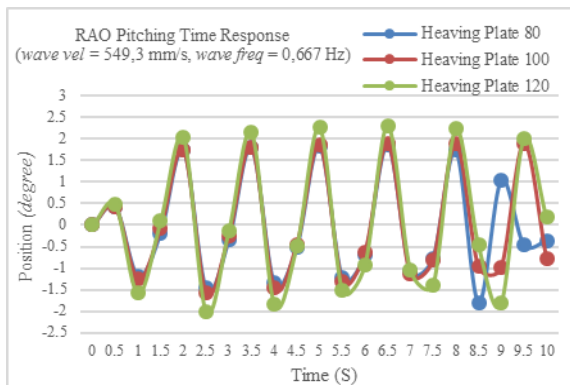
Dari pola osilasi gerakan *heaving* pada kedua variasi gelombang diatas, gelombang dengan kecepatan lebih tinggi akan menghasilkan rata-rata osilasi terbesar pada *heaving plate* 80 (yang paling kecil), sedangkan untuk gelombang dengan kecepatan lebih rendah menghasilkan rata-rata osilasi terbesar pada *heaving plate* 120 (yang paling besar).

Untuk nilai *pitching time response* dapat dilihat melalui gambar 20, 21, 22, dan 23 berikut.



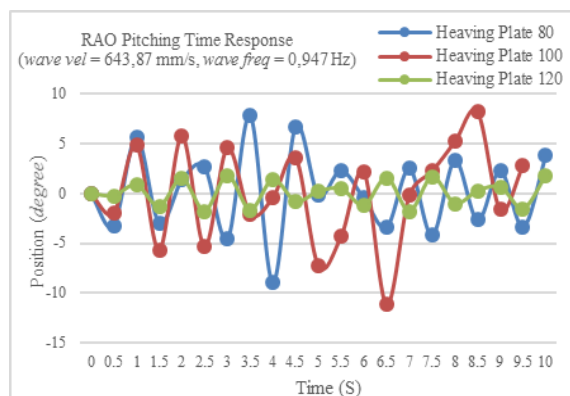
Gambar 20. *Pitching Time Response* Pada Gelombang 1 Sarat 25 mm

Pada gambar 20 menjelaskan gerakan *pitching* variasi gelombang 1, rata-rata osilasi tertinggi terjadi pada *heaving plate* 100. Namun, osilasi pada *heaving plate* 80 dan 120 terlihat lebih beraturan dibanding *heaving plate* 100.



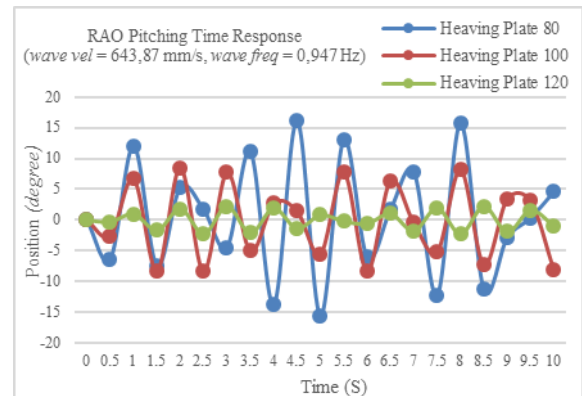
Gambar 21. *Pitching Time Response* Pada Gelombang 1 Sarat 50 mm

Pada gambar 21, rata-rata gerakan *pitching* tertinggi terjadi pada *heaving plate* 120 dan dengan alur yang terlihat cukup stabil sampai detik ke- 8. Hasil ini berbeda dengan grafik osilasi *pitching* sebelumnya, yaitu pada sarat yang lebih rendah.



Gambar 22. *Pitching Time Response* Pada Gelombang 2 Sarat 25 mm

Dari gambar 22 yang menggunakan variasi gelombang 2, pola osilasi gerakan *pitching* terlihat lebih tidak beraturan, dengan posisi osilasi tertinggi terjadi pada *heaving plate* 100 di detik ke- 6,5.



Gambar 23. *Pitching Time Response* Pada Gelombang 2 Sarat 50 mm

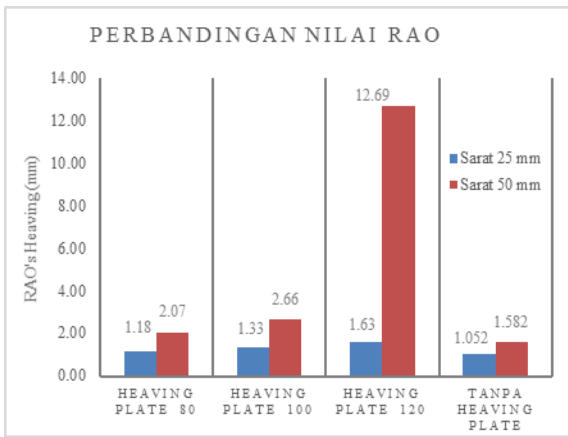
Masih dengan variasi gelombang yang sama dan sarat berbeda, pada gambar 23 terlihat pola osilasi tertinggi terjadi pada *heaving plate* 80. Sedangkan untuk pola osilasi terendah terjadi pada *heaving plate* 120.

Dari grafik *pitching time respons* pada kedua variasi gelombang tersebut, gelombang dengan kecepatan lebih tinggi menghasilkan pola osilasi lebih tinggi pada *heaving plate* 80 (yang paling kecil). Sedangkan untuk gelombang dengan kecepatan lebih rendah menghasilkan pola osilasi lebih tinggi pada *heaving plate* 120 (yang lebih besar).

3.6 Perbandingan Nilai Olah Gerak Berbasis CFD Antara Ponton Dengan *Heaving Plate* Terhadap Ponton Tanpa *Heaving Plate*

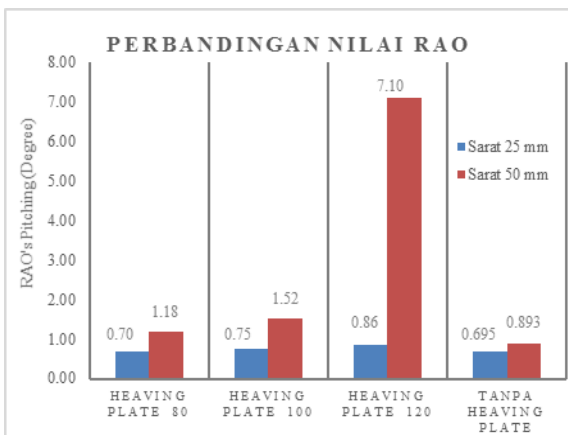
Semua hasil pengujian ponton dengan *heaving plate* perlu dibandingkan dengan pengujian ponton tanpa *heaving plate*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *platform* tambahan dalam geometri ponton seperti *heaving plate* dan silinder *spar* untuk menambah nilai olah gerak ponton, atau mengurangi nilai olah gerak dengan parameter yang sama.

Dalam membandingkan nilai RAO, data diambil dengan nilai terbesar pada setiap variasi *heaving plate*. Nilai perbandingan bisa dilihat pada grafik di gambar 24 dan 25 berikut.



Gambar 24. Perbandingan RAO Heaving

Dari grafik pada gambar 24, nilai RAO mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan area *heaving plate*, yaitu dari yang terkecil sampai terbesar. Ponton tanpa *heaving plate* memiliki nilai respons *heaving* lebih kecil dibandingkan ponton dengan penampang *heaving plate*. Peningkatan ini ditandai dengan semakin bertambahnya nilai massa sistem dari adanya *heaving plate* dan *spar* yang berakibat naiknya respons ponton terhadap gelombang.



Gambar 25. Perbandingan RAO Pitching

Sama halnya dengan *heaving*, hasil perbandingan nilai RAO *pitching* pada gambar 25 juga mengalami peningkatan dari model tanpa *heaving plate* sampai model *heaving plate* 120. Ini mengindikasikan bahwa *heaving plate* memberi pengaruh yang cukup besar dalam upaya menaikkan respons ponton, yang ditandai semakin luas area *heaving plate* maka semakin besar pengaruh kenaikan respons ponton yang diperoleh.

3.7 Analisa Added Mass Pada Gerakan Heaving

Added mass adalah tambahan inersia atau massa imajiner pada bangunan apung, yang menambah total inersia sistem akibat gerakan fluida terhadap benda apung [12]. *Added mass* yang dianalisa pada penelitian ini hanya untuk gerakan *heaving* saja, yang mana gerakan ini mendapatkan pengaruh paling besar dari adanya geometri *heaving plate*. Adanya tambahan *heaving plate* dan *spar* juga mampu meningkatkan nilai *added mass* sistem dan *damping*, yang selanjutnya akan meningkatkan nilai dari periode *natural heaving* [13].

Dalam analisa, nilai *added mass* didapat dari nilai *encounter frequency* dari setiap frekuensi gelombang.

$$\omega_\varepsilon = \omega - \frac{\omega^2 U}{g} \cos \mu \quad (6)$$

Dimana ω_ε adalah *encounter frequency*, ω adalah frekuensi gelombang datang, g adalah percepatan gravitasi, U adalah kecepatan gelombang datang, dan μ adalah sudut gelombang datang [14].

$$M = \frac{\rho}{\omega_\varepsilon} \iint_{S_0} \text{Re} [(i\omega_\varepsilon + \vec{U}\nabla)\phi_{rk}(x, y, z)]n_j dS \quad (7)$$

Dimana M adalah *added mass*, ρ adalah massa jenis fluida, \vec{U} adalah kecepatan gelombang pada vector, ∇ adalah displacement, ϕ_{rk} adalah fungsi kecepatan potensial [14].

Nilai *added mass* yang disajikan pada penelitian ini dapat disimak melalui tabel 6 sebagai berikut.

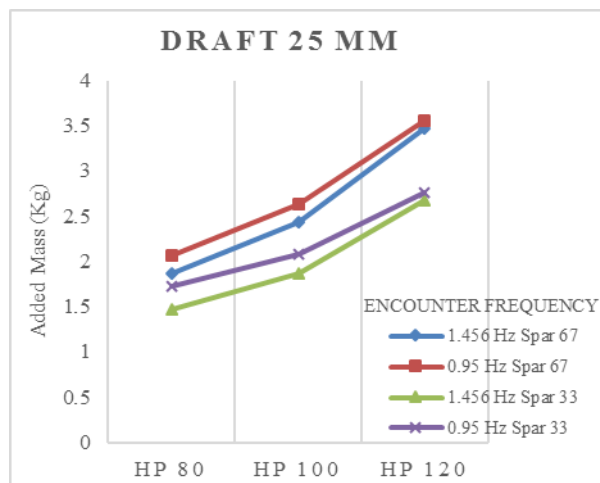
Tabel 6. Hasil Pengukuran *Added Mass* Gerakan *Heaving*

<i>Heaving Added Mass (Kg)</i>					
Draft (mm)	Encounter Frequency	HP 80	HP 100	HP 120	Spar
50	1.456 Hz	2,115	2,97	4,76	67
	0.95 Hz	2,37	3,164	4,85	
	1.456 Hz	1,657	2,158	3,464	33
	0.95 Hz	1,92	2,37	3,598	
25	1.456 Hz	1,86	2,44	3,47	67
	0.95 Hz	2,06	2,63	3,55	
	1.456 Hz	1,47	1,86	2,67	33
	0.95 Hz	1,73	2,08	2,76	

Dari tabel 6, dapat disimpulkan bahwa nilai *added mass* pada model *heaving plate* 120 lebih besar dibandingkan *heaving plate* 80 dan 100, karena dipengaruhi nilai geometri seperti luas area dan juga volume yang lebih besar. Hal inilah yang mempengaruhi nilai amplitudo osilasi gerakan *heaving* pada penampang *heaving plate* 120 menjadi lebih besar.

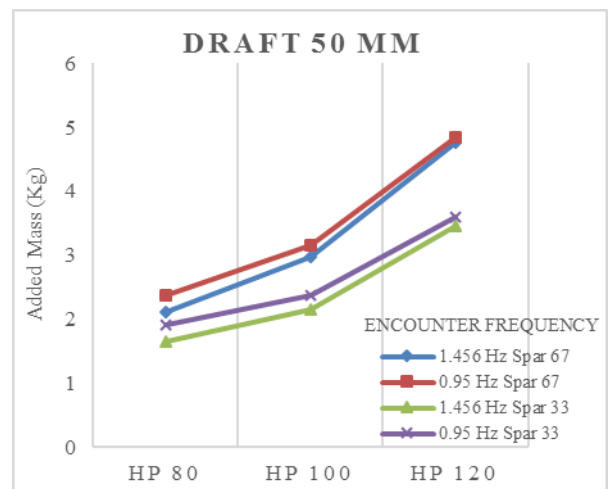
Adanya *spar* juga sangat berpengaruh terhadap nilai tambahan massa. Semakin tinggi *spar* maka semakin besar nilai tambahan massanya, yang menjadikan nilai *added mass* untuk gerakan *heaving* lebih besar pada *spar* 67.

Berikut grafik dari nilai *added mass* per sarat yang disajikan melalui gambar 26 dan 27.



Gambar 26. Grafik *Heaving Added Mass* Pada Sarat 25 mm

Pada gambar 26, nilai *added mass* tertinggi terjadi pada ponton dengan *heaving plate* 120. Nilai ini sangat bergantung dengan inersia sistem yang dimiliki ponton. Semakin tinggi *spar*, juga menambah nilai *added mass* dari ponton.



Gambar 27. Grafik *Heaving Added Mas* Pada Sarat 50 mm

Sama dengan grafik sebelumnya, nilai *added mass* tertinggi terjadi pada *heaving plate* 120. Kedua grafik diatas dibedakan oleh sarat ponton, yang mana sarat yang lebih besar dan *spar* yang lebih tinggi menghasilkan nilai *added mass* yang lebih besar juga.

Kedua alur pada grafik gambar 26 dan 27 diatas menyimpulkan bahwa kenaikan nilai *added mass* cukup stabil dari *heaving plate* 80 sampai ke 120, yang dianalisa berdasarkan nilai inersia total sistem. Keadaan ini diperjelas dengan nilai olah gerak *heaving* yang mengalami kenaikan dari *heaving plate* 80 ke 120.

3.8 Analisa Gaya Reaksi Pada Ponton

Saat benda apung berada atau berakselerasi dalam sebuah fluida bergerak, maka akan timbul gaya yang diterima benda apung sebagai reaksi terhadap gaya fluida. Hal ini berkaitan dengan adanya gaya eksternal yang bekerja terhadap benda apung, dan pergerakan akibat fluida akan ditentukan oleh keadaan lengan kerja dari benda apung [15]. Analisa gaya dilakukan dengan

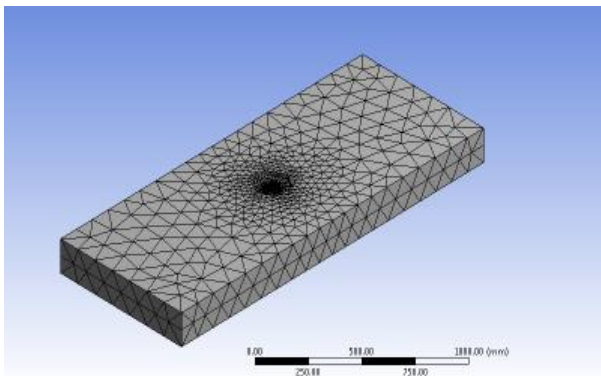
menggunakan software analisa aliran fluida yaitu *fluid flow*.

Disini menggunakan software *rhinoceros 5* untuk pembuatan model. Model ponton dibuat dengan tambahan geometri berupa kolam sebagai domain fluida.

3.8.1 Data Mesh

- Jumlah *Nodes* = 6697
- Jumlah *Elements* = 33347

Pembuatan *mesh* pada software dapat dilihat melalui gambar 28.



Gambar 28. Model Meshing

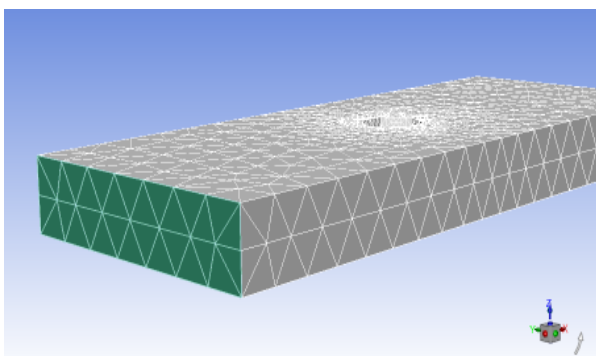
3.8.2 Data Fluida

- *Fluid density* = 998,2 kg/m³
- *Fluid viscosity* = 0,001003 kg/ms
- *Flow model* = laminar

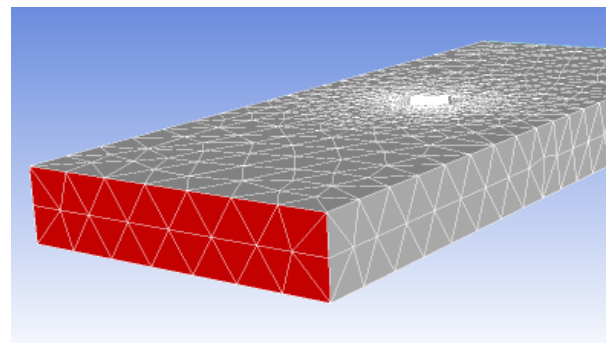
3.8.3 Data Boundary

- *Velocity inlet 1* = 0,5493 m/s
- *Velocity inlet 2* = 0,943 m/s
- *Initial pressure* = 0 Pa
- *Outlet pressure* = 0 Pa
- *Wall condition* = Stationary

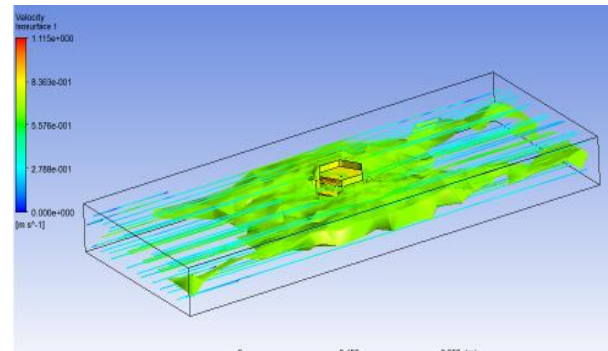
Penampang *name selection* berupa *inlet* dan *outlet* dapat dilihat melalui gambar 29 dan 30, serta *solution* simulasi aliran fluida pada gambar 31.



Gambar 29. Inlet View



Gambar 30. Outlet View



Gambar 31. Solution View

Hasil analisa gaya reaksi ponton melalui *software* analisa aliran disajikan pada tabel 7 berikut.

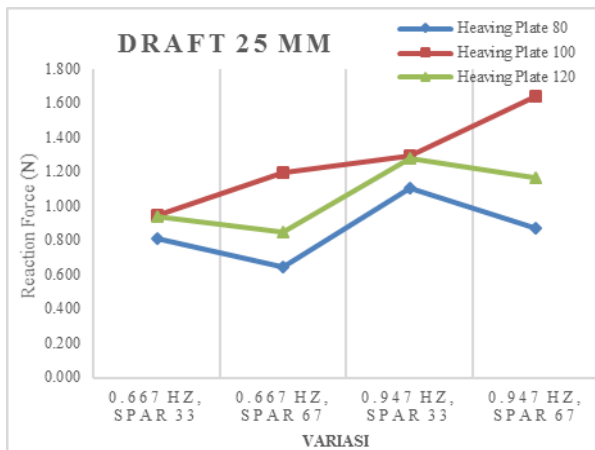
Tabel 7. Hasil Analisa Gaya Ponton

<i>REACTION FORCE (Newton)</i>			
Heaving Plate	Gelombang	Draft 25 mm	Draft 50 mm
HP 80	0,667 Hz, Spar 33	0.811	1.623
	0,667 Hz, Spar 67	0.647	1.691
	0,947 Hz, Spar 33	1.103	2.376
	0,947 Hz, Spar 67	0.875	2.240
	0,667 Hz, Spar 33	0.948	1.558
HP 100	0,667 Hz, Spar 67	1.197	1.734
	0,947 Hz, Spar 33	1.291	1.916
	0,947 Hz, Spar 67	1.643	2.497
HP 120	0,667 Hz, Spar 33	0.940	1.149
	0,667 Hz, Spar 67	0.848	1.490
	0,947 Hz, Spar 33	1.282	1.610

Berdasarkan hasil analisa dari tabel 7, gaya reaksi yang diterima ponton karena kecepatan aliran gelombang berbeda di setiap penampang *heaving plate*, sarat, ataupun kecepatan gelombang.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya terbesar didapat ponton dengan *heaving plate* 100 dengan penampang *spar* 67 pada sarat 50 mm yang dikenakan gelombang dengan frekuensi 0,947 Hz. Nilai yang diperoleh sebesar 2,497 N. Sedangkan Nilai gaya terkecil didapat pada ponton dengan *heaving plate* 80 dengan penampang *spar* 67 pada sarat 25 mm yang dikenakan gelombang dengan frekuensi 0,667 Hz. Nilai yang diperoleh sebesar 0,647 N.

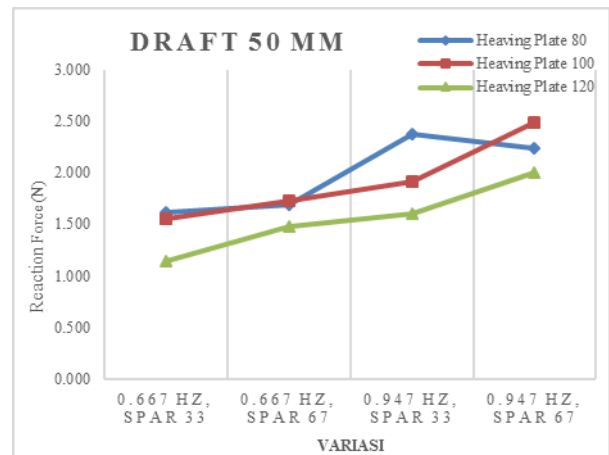
Grafik gaya bisa disimak melalui gambar 32 dan 33 berikut.



Gambar 32. Gaya Reaksi Ponton Pada Sarat 25 mm

Berdasarkan gambar 32, nilai gaya reaksi yang lebih tinggi terlihat pada alur *heaving plate* 100 dengan pola kenaikan yang cukup linear per variasi. Sedangkan untuk *heaving plate* 80 dan 120 terlihat naik turun dari variasi *spar* 33 ke *spar* 67 di tiap gelombang.

Dari grafik dapat ditarik kesimpulan bahwa gelombang 2 memberikan gaya aksi yang lebih tinggi (dengan kecepatan yang lebih tinggi) sehingga menghasilkan gaya reaksi yang lebih tinggi juga.



Gambar 33. Gaya Reaksi Ponton Pada Sarat 50 mm

Dari gambar 33 untuk analisa pada sarat 50 mm, nilai gaya tertinggi terjadi pada *heaving plate* 80 dan 100. Pada variasi *spar* 33, nilai gaya reaksi tertinggi terjadi pada *heaving plate* 80. Sedangkan pada variasi *spar* 67, nilai gaya reaksi tertinggi terjadi pada *heaving plate* 100. Pada sarat 50 mm, rata-rata nilai gaya reaksi lebih besar dibandingkan pada sarat 25 mm.

Dari gambar grafik 32 dan 33, nilai maksimum gaya reaksi terlihat lebih dominan pada gelombang 2, yang memiliki nilai amplitudo, kecepatan, serta frekuensi yang lebih besar dibandingkan gelombang 1. Adanya nilai kinematika gelombang yang lebih besar tentunya membawa transfer energi yang lebih besar juga sehingga gaya reaksi yang akan diterima ponton akan lebih besar.

3.9 Hasil Akhir Olah Stabilitas

Untuk penelitian lebih lanjut, dalam jurnal ini juga dianalisa nilai stabilitas ponton untuk kondisi tertentu pada towing tank sesuai dengan profil gelombang pada analisa olah gerak dan gaya reaksi.

Dalam perhitungan stabilitas, yang utama dicari adalah nilai GZ (lengan pembalik) ponton untuk beberapa variasi geometri sesuai dengan sudut oleng.

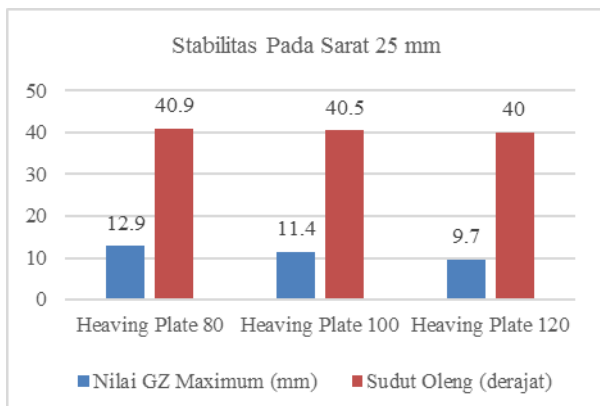
Perhitungan ini menggunakan software *Maxsurf Stability Advanced*.

Hasil perhitungan nilai GZ maksimum pada software *maxsurf* dapat dilihat pada tabel 8, gambar 34, dan gambar 35.

Gambar 35. Nilai GZ Maksimum Pada Sarat 50 mm

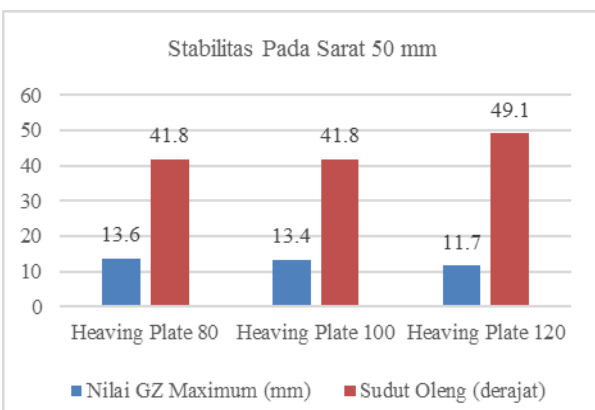
Ponton	Draft	Nilai GZ Maksimum	Sudut Oleng
Heaving Plate 80	25 mm	12,9 mm	40,9°
Heaving Plate 100	25 mm	11,4 mm	40,5°
Heaving Plate 120	25 mm	9,7 mm	40°
Heaving Plate 80	50 mm	13,6 mm	41,8°
Heaving Plate 100	50 mm	13,4 mm	41,8°
Heaving Plate 120	50 mm	11,7 mm	49,1°

Nilai GZ pada tabel 8 didasarkan pada ketinggian variasi gelombang kedua, yaitu sebesar 12,5 mm dengan kondisi sarat 25 mm dan 50 mm dengan pola gelombang reguler.



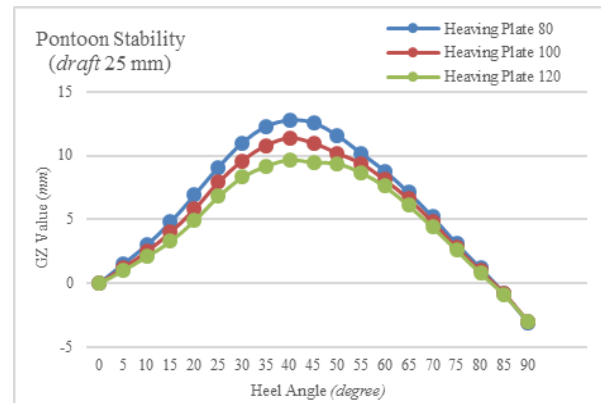
Gambar 34. Nilai GZ Maksimum Pada Sarat 25 mm

Dari gambar 34, nilai GZ maksimum terjadi pada *heaving plate* 80 dengan nilai 12,9 mm pada sudut oleng sebesar 40,9°. sedangkan nilai GZ paling kecil terjadi pada *heaving plate* 120 dengan nilai 9,7 mm pada sudut oleng 40°.

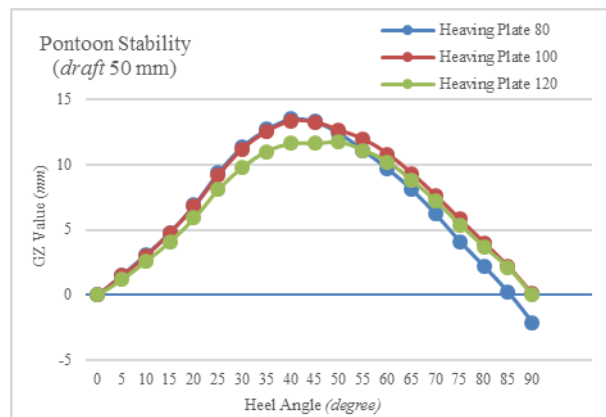


Dari gambar 35, nilai GZ maksimum di sarat 50 mm terjadi pada *heaving plate* 80 dengan nilai 13,6 mm pada sudut oleng sebesar 41,8°. sedangkan nilai GZ paling kecil terjadi pada *heaving plate* 120 dengan nilai 9,7 mm pada sudut oleng 49,1°.

Untuk persebaran nilai GZ ponton pada sudut oleng 0° – 90° dapat dilihat pada grafik 36 dan 37 berikut.



Gambar 36. Persebaran Nilai GZ Pada Sarat Ponton 25 mm (0° – 90° Sudut Oleng)



Gambar 37. Persebaran Nilai GZ Pada Sarat Ponton 50 mm (0° – 90° Sudut Oleng)

Dari grafik pada gambar 36, rata-rata nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng antara 35° sampai dengan 45°.

Dan pada gambar 37 untuk sarat 50 mm, rata-rata nilai GZ tertinggi terjadi pada sudut oleng antara 35° sampai dengan 50°.

4. KESIMPULAN

Adanya *heaving plate* sangat berpengaruh dalam menaikkan nilai olah gerak *heaving* dan *pitching*. Semakin besar luas area *heaving plate*, semakin besar juga nilai olah gerak *heaving* yang dihasilkan, terutama pada sarat ponton 50 mm (0,5H). Dan untuk *pitching*, pengaruh ini sangat terlihat hanya pada sarat 50 mm.

Variasi lainnya yang sangat menentukan adalah sarat dan frekuensi gelombang. Semakin tinggi sarat ponton, maka semakin besar nilai olah geraknya. Hal tersebut hanya berlaku untuk *heaving* dan *pitching*. Pada *heaving* dan *pitching*, semakin besar frekuensi gelombang, maka semakin besar nilai olah geraknya. Hal ini berbanding lurus dengan pengaruh kecepatan gelombang.

Nilai olah gerak *heaving* terbesar terjadi pada ponton dengan *heaving plate* 120 dengan *spar* 67 pada gelombang 2 di sarat 50 mm, dengan nilai sebesar 12,69 mm/mm. Sedangkan nilai olah gerak terkecil terjadi pada ponton dengan *heaving plate* 120 dengan *spar* 33 pada gelombang 1 di sarat 25 mm, dengan nilai sebesar 0,96 mm/mm.

Nilai olah gerak *pitching* terbesar terjadi pada ponton dengan *heaving plate* 120 dengan *spar* 67 pada gelombang 2 di sarat 50 mm, dengan nilai sebesar 7,10°/mm. Sedangkan nilai olah gerak terkecil terjadi pada ponton dengan *heaving plate* 120 dengan *spar* 33 pada gelombang 1 dengan sarat 25 mm, dengan nilai sebesar 0,47°/mm.

Nilai *added mass* pada gerakan *heaving* sangat dipengaruhi dengan sistem *heaving plate* dan *spar* yang terkoneksi secara vertikal. Tentunya nilai maksimum yang diperoleh berdasarkan total massa sistem, yang juga akan berpengaruh pada hasil olah gerak *heaving*.

Analisa gaya reaksi yang diterima ponton sangat bergantung dari nilai kecepatan gelombang yang datang. Semakin besar kecepatan maka gaya yang dihasilkan juga menjadi lebih besar.

Perhitungan stabilitas ponton didasarkan pada sudut oleng 0° – 90° dalam fluida dengan aliran gelombang reguler. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa besar kecilnya nilai GZ pada masing-masing sudut oleng sangat dipengaruhi oleh geometri ponton beserta massa sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. B. Mustofa and I. S. Arief. “Analisa Gerakan Ponton Model Tripod untuk Energi Gelombang Sistem Bandulan” J. Teknik ITS, vol. 1, pp. 203–206, 2012.
- [2] Brown, C, Adam. Thompson, Jim. and Rusch, Curtis. “Hydrodynamic Coefficient of Heave Plate, With Application to Wave Energy Converter”, IEE Journal of Oceanic Engineering., pp. 1-2, 2018.
- [3] Brown, C, Adam. and Thompson, Jim, “Heaving Plate Dynamic For A Point Absorbing Wave Energy Converter”, 3rd Marine Energy Technology Symposium., pp. 1-2, 2015.
- [4] Xinliang, Tian. Longbin, Tao. Xin, Li. And Jianmin Yang, “Hydrodynamic coefficients of oscillating flat plates at 0:15 6 KC 6 3:15”, J Mar Sci Technol., pp. 1-13, 2016.
- [5] A.F.R. Hakim, “Pengukuran Olah Gerak ponton Akibat Pengaruh Gelombang Reguler Dengan Variasi Bentuk Ponton Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)“, Jurnal Teknik Perkapalan, vol 15, no. 3, Maret.2019.
- [6] E. Tupper, *Introduction To Naval Architecture*, 4th Elsevier Ltd., 2013.
- [7] I. Martić, N. Degiuli & I. Čatipović, “Seakeeping characteristics of intact and damaged ship in the Adriatic Sea”, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Zagreb, Croatia, pp. 159-166, 2015.
- [8] E. Heriyanti, “Analisa Seakeeping Ponton Berbentuk Prisma Segi Enam Pada Gelombang Reguler Dengan Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)”, Teknik Perkapalan, vol. 7, pp. 1-10, 2019.
- [9] Bhattacharya, R. *Dynamics Of Marine Vehicles*. New York : John Wiley & Sons, 1978.
- [10] M. N. Gomes, C. R. Olinto, L. A. O. Rocha, J. A. Souza, and L. A. Isoldi, “Computational Modeling Of A Regular Wave Tank”, vol. 8, no. June, pp. 44–50, 2009.
- [11] G. K. V. Ramachandran, A. Robertson, J. M. Jonkman, and M. D. Masciola, “Investigation of Response Amplitude Operators for Floating Offshore Wind Turbines”, 23rd International Ocean, Offshore and Polar Engineering Conference – ISOPE 2013, pp. 1-2, 2013.

- [12] Sen, Thanh, Do. And Vinh, Canh, Tran. "Determination of Added Mass and Inertia Moment in Marine Ship Moving in 6 Degrees of Freedom", *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, Vol. 2, no. 1, pp. 8-14, 2016.
- [13] S.Sudhakar, SNallayarasu, "Hydrodynamics Response of Spar with Single and Double Heave Plate in Regular Wave", *International Journal of Ocean System Engineering*, pp. 188-208, 2013.
- [14] Burak Tunç ÇEKİRDEKÇİ,. CFD Applications for Seakeeping Calculations of Floating Bodies, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, 2015.
- [15] Shanghwan, Heo. and Weoncheol, Koo, "Numerical Procedures For Dynamic Response And Reaction Force Analysis Of A Heaving-Point Absorber Wave Energy Converter", Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, Incheon, Republic of Korea., pp. 1-9, 2020.