TUGAS AKHIR - TF 181801

ANALISIS KESTABILAN PONTON KATAMARAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIDROKINETIK (PLTHK)

ACHMAD RHOMAFIKA AMRULLAH
NRP. 02311640000159

Dosen Pembimbing:
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

TUGAS AKHIR - TF 181801

ANALISIS KESTABILAN PONTON KATAMARAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIDROKINETIK (PLTHk)

ACHMAD RHOMAFIKA AMRULLAH
NRP. 02311640000159

Dosen Pembimbing:
Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - **TF 181801**

ANALYSIS OF STABILITY CATAMARAN PONTOON ON HYDROKINETIC POWER PLANT

ACHMAD RHOMAFIKA AMRULLAH
NRP. 02311640000159

Supervisors:
Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.

Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama	: Achmad Rhomafika Amrullah
NRP	: 02311640000159
Departemen / Prodi	: Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "***Analisis Kestabilan Ponton Katamaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk)***" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 1 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL

22A90AHF531406204

6000

ENAM RIBU RUPIAH

Achmad Rhomafika Amrullah

NRP. 02311640000159

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS KESTABILAN PONTON KATAMARAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIDROKINETIK (PLTHk)

Oleh:

Achmad Rhomafika Amrullah

NRP. 02311640000159

Surabaya, 1 Juli 2020

Menyetujui,

Pembimbing

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

NIP. 19761223 200501 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FTI-ITS

Dr. Suyanto, S.T., M.T.

NIP. 1971111.331995 1 002

Dipindai dengan CamScanner

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KESTABILAN PONTON KATAMARAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIDROKINETIK (PLTHk)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ACHMAD RHOMAFIKA AMRULLAH

NRP. 02311640000159

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. ..... (Pembimbing I)
2. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T. ..... (Ketua Penguji)
3. Ir. Sarwono, M.M. ..... (Penguji I)
4. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng. ..... (Penguji II)
5. Erna Septyaningrum, S.T., M.T. ..... (Penguji III)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS KESTABILAN PONTON KATAMARAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIDROKINETIK (PLTHk)

Nama	**:**	**Achmad Rhomafika Amrullah**
NRP	**:**	**02311640000159**
Departemen	**:**	**Teknik Fisika FT-IRS - ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Dr. Ridho Hantoro, S.T.,M.T.**

ABSTRAK

Energi hidrokinetik merupakan salah satu energi terbarukan yang memanfaatkan energi kinetik air untuk memutar turbin yang dikonversi ke energi listrik. Energi hidrokinetik merupakan energi terbarukan yang berpotensi dan banyak dikembangkan, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk) dengan mekanisme mengapung. PLTHk dengan mekanisme mengapung disusun dari ponton katamaran, diantara lambung ponton diletakkan turbin yang berputar ketika dikenai arus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kestabilan ponton katamaran. Terdapat tiga variasi jarak antar lambung ponton yaitu 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter. Variasi bentuk ponton yaitu ponton simetri dan ponton *outer flat*. Sedangkan variasi peletakan turbin yaitu di depan 0,25 meter dari tengah, ditengah, dan di belakang 0,25 meter dari tengah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Berdasarkan grafik *actual response* variasi jarak antar lambung ponton didapatkan hasil sudut *pitching* yang tidak menentu. Variasi bentuk ponton didapatkan ponton *outer flat* memiliki sudut *pitching* lebih kecil dibandingkan ponton simetri. Variasi peletakan turbin didapatkan peletakan di belakang 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* paling kecil dibandingkan dengan peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah dan peletakan turbin di tengah. Semua variasi yang telah dilakukan memiliki nilai GM (tinggi metasentris) positif atau letak titik M berada diatas titik G, yang berarti semua variasi masih dalam keseimbangan stabil atau stabilitas positif.

Kata Kunci: PLTHk, Ponton Katamaran, *Actual Response*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS OF STABILITY CATAMARAN PONTOON ON HYDROKINETIC POWER PLANT

Name	**:**	**Achmad Rhomafika Amrullah**
NRP	**:**	**02311640000159**
Department	**:**	**Teknik Fisika FT-IRS - ITS**
Supervisors	**:**	**Dr. Ridho Hantoro, S.T.,M.T.**

ABSTRACT

Hydrokinetic energy is a renewable energy that utilizes the kinetic energy of water to turn turbines that are converted to electrical energy. Hydrokinetic energy is a renewable energy that has the potential and is widely developed, one of which is the Hydrokinetic Power Plant (PLTHk) with a floating mechanism. PLTHk with floating mechanism is composed of a catamaran pontoon, between the pontoons hulls are placed turbines that will rotate when subjected to a current. This study aims to analyze the stability of catamaran pontoon. There are three variations of the distance between the pontoon hulls namely 0.6 meters, 0.75 meters and 0.9 meters. Variations in the form of the pontoon are the symmetry pontoon and the outer flat pontoon. While the variation of laying the turbine is in front of 0.25 meters from the middle, in the middle, and behind 0.25 meters from the middle. The method used in this study is a Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation. Based on the actual response graph variations in the distance between the pontoon hulls result in erratic pitching angles. Variation in the shape of the pontoon is found the outer flat pontoon has a smaller pitching angle than the symmetry pontoon. The variation of laying of the turbine is found laying behind 0.25 meters from the middle has the smallest pitching angle compared to laying the turbine in front of 0.25 meters from the middle and laying the turbine in the middle. All variations that have been carried out have a positive GM (metacentric height) value or the location of point M is above point G, which means all variations are still in a stable balance or positive stability.

Keywords: PLTHk, Catamaran Pontoon, Actual Response

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Kestabilan Ponton Katamaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk)” Selama pengerjaan tugas akhir dan penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan segala pihak. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, mengarahkan, dan memberikan motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak dan Ibu di rumah yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan kuliah di ITS.
4. Saudari Aprilia yang selalu menyemangati untuk selalu mengerjakan.
5. Teman-teman kontrakan *home story* dan ponpes Nortaviuz yang selalu memberikan kebahagiaan dan candaan ketika bertemu.
6. Saudara Sony dan yayan Teknik Kelautan orang yang yang mengajari saya tentang *software* simulasi dan konsep dasar kestabilan maupun respon gerak.
7. Teman-teman Teknik Fisika Angkatan 2016 yang masih berjuang dalam kuliah di Teknik Fisika ITS atas kebersamaan yang saling menyemangati, dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebut satu per satu yang

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 18 Mei 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL……i
COVER PAGE..... iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI v
LEMBAR PENGESAHAN vii
LEMBAR PENGESAHAN ix
ABSTRAK xi
ABSTRACT..... xiii
KATA PENGANTAR xv
DAFTAR ISI..... xvii
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL..... xxi
BAB I PENDAHULUAN..... 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan.....3
1.4 Batasan Masalah.....4
1.5 Sistematika Laporan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI..... 7
2.1 Energi Hidrokinetik.....7
2.2 Bangunan Apung.....9
2.3 Stabilitas Benda di Air 11
2.4 Katamaran 14
2.5 *Response Amplitude Operator* (RAO).....16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 17

3.1 Studi literatur 18
3.2 Pengumpulan Data 18
3.3 Pembuatan Model 3D Ponton Katamaran 19
3.4 Perhitungan Nilai COG dan Jari-Jari Girasi 20
3.5 Simulasi CFD 21
3.6 Analisis Data dan Pembahasan 22
3.7 Kesimpulan 23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 25
4.1 Verifikasi Simulasi 25
4.2 Pengaruh Perubahan Geometri Ponton dan Peletakan Turbin Terhadap Gerakan Ponton 27
4.3 Diskusi 34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 39
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 40
DAFTAR PUSTAKA 41
LAMPIRAN 43
BIODATA PENULIS 63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kebutuhan Energi Final Indonesia 1
Gambar 2. 1 Prediksi Kapasitas Energi Hidrokinetik di Dunia..... 8
Gambar 2. 2 Jenis-jenis Turbin Hidrokinetik 8
Gambar 2. 3 Konfigurasi umum turbin hidrokinetik : (a) *seabed system* dan *(b) floating system*..... 9
Gambar 2. 4 Keseimbangan Stabil 11
Gambar 2. 5 Keseimbangan Unstabil 12
Gambar 2. 6 Letak Titik Stabilitas..... 13
Gambar 2. 7 Profil Kecepatan pada Kapal Katamaran..... 15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian..... 17
Gambar 3. 2 Model 3D Ponton Katamaran Simetri 19
Gambar 3. 3 Model 3D Ponton Katamaran *Outer Flat* 19
Gambar 3. 4 Contoh Hasil Simulasi Gelombang 23
Gambar 4. 1 *Set Up* pada *Point of Mass*..... 25
Gambar 4. 2 *Set Up* pada *Hydrodynamic Response* 26
Gambar 4. 3 Grafik *Actual Response* Variasi Jarak Antar Lambung Ponton (Variasi 14, 16, dan 18)..... 27
Gambar 4. 4 Grafik *Actual Response* Variasi Jarak Antar Lambung Ponton (Variasi 13, 15, dan 17)..... 28
Gambar 4. 5 Grafik *Actual Response* Variasi Bentuk Ponton (Variasi 5)..... 29
Gambar 4. 6 Grafik *Actual Response* Variasi Bentuk Ponton (Variasi 6)..... 30
Gambar 4. 7 Grafik *Actual Response* Variasi Peletakan Turbin (Variasi 1, 7, dan 13) 31
Gambar 4. 8 Grafik *Actual Response* Variasi Peletakan Turbin (Variasi 3, 9, dan 15) 32
Gambar 4. 9 Grafik *Actual Response* Variasi Peletakan Turbin (Variasi 5, 11, dan 17) 33

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

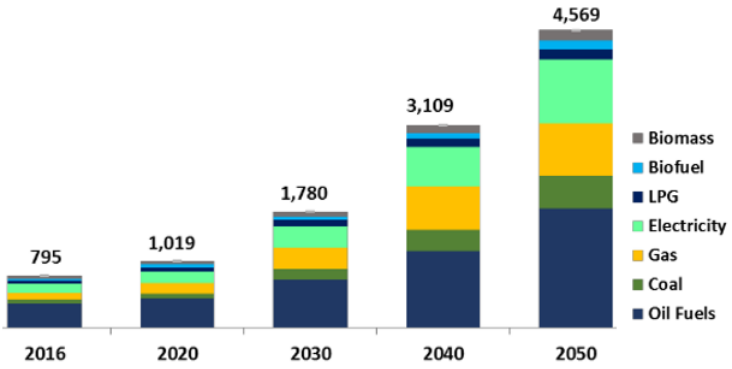
Tabel 3. 1 Data Massa Total 18
Tabel 3. 2 Data Kecepatan Arus 18
Tabel 3. 3 Data Parameter Gelombang 18
Tabel 3. 4 Spesifikasi Ponton Katamaran 19
Tabel 3. 5 perhitungan *Center of Gravity* 20
Tabel 3. 6 Perhitungan Jari-Jari Girasi 20
Tabel 3. 7 Hasil *Meshing* 21
Tabel 4. 1 Hasil Nilai GM Variasi Jarak Antar Lambung Ponton 35
Tabel 4. 2 Hasil Nilai Momen Pembalik pada Sudut *Pitching* Maksimal Variasi Jarak Antar Lambung Ponton 35
Tabel 4. 3 Hasil Nilai GM Variasi Bentuk Ponton 36
Tabel 4. 4 Hasil Nilai GM Variasi Peletakan Turbin 37
Tabel 4. 5 Hasil Nilai Momen Pembalik pada Sudut *Pitching* Maksimal Variasi Peletakan Turbin 37

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya zaman kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat, terutama kebutuhan energi listrik. Listrik menjadi kebutuhan pokok masyarakat dan menjadi penunjang disegala aspek kehidupan, hal ini terjadi karena energi listrik mudah dalam penyaluran dan juga dapat dengan mudah dirubah ke bentuk energi. Begitu pentingnya kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik, mengakibatkan sebagian besar kehidupan masyarakat didukung oleh listrik. Tidak hanya masyarakat yang membutuhkan melainkan pembangunan nasional, yang dapat meningkatan taraf hidup bangsa Indonesia. Dapat dibuktikan melalui *Outlook* Energi Indonesia 2018 yang dibuat oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yaitu rata-rata pertumbuhan PDB sebesar 6,04% per tahun dalam rentang tahun 2016-2050 yang mengakibatkan laju pertumbuhan kebutuhan energi final sebesar 5,3% per tahun. Maka dari itu, kebutuhan energi final meningkat dari 795 juta SBM pada tahun 2016 menjadi 4.569 SBM pada tahun 2050 dan kebutuhan energi final untuk listrik sebesar 21,3% pada tahun 2050 (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018).



Gambar 1. 1 Kebutuhan Energi Final Indonesia

Kebutuhan energi final listrik tercatat kebutuhan terbesar kedua setelah kebutuhan BBM sebesar 40,1%, kebutuhan gas di urutan ketiga sebesar 17,7%, diikuti batubara sebesar 11%, dan LPG, bahan bakat nabati (BBN) dan biomass

dibawah 4% (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018). Namun, ketersediaan energi listrik untuk kebutuhan dalam lingkup nasional kurang merata secara keseluruhan dapat dibuktikan masih banyaknya desa – desa yang belum terjangkau aliran listrik, hal ini disebabkan dengan meningkatnya kebutuhan beban listrik di perkotaan, mengakibatkan peningkatan kebutuhan energi listrik yang signifikan. Sehingga diperlukan inovasi terbaru untuk mengembangkan energi yang telah ada menjadi energi baru-terbarukan agar dapat digunakan secara berkelanjutan. Salah satu implementasi dari energi baru-terbarukan yaitu menggunakan energi hidrokinetik. Energi hidrokinetik merupakan energi yang memanfaatkan turbin yang biasa disebut dengan turbin hidrokinetik.

Turbin hidrokinetik merupakan salah satu jenis turbin yang digunakan sebagai pengonversi energi yang dapat dioptimalkan untuk mengekstraksi energi kinetik air menjadi energi listrik (Febrianto & Santoso, 2016). Pemanfaatan turbin hidrokinetik dalam energi baru-terbarukan adalah sebagai Pembangkit Listrik, sehingga diperlukan sebuah inovasi untuk mengembangkan turbin hidrokinetik tersebut. New Energy Corporation Inc. yang didukung oleh Natural Resources Canada dan the CANMET Energy Technology Centre telah mengembangkan sebuah jenis turbin sumbu vertikal yang dapat menghasilkan energi listrik sebesar 5 kWh-25 kWh (Rachman & Haluoleo, 2014). Sebuah eksperimen yang telah dilakukan oleh Kirke (2005) yaitu melakukan pengembangan turbin hidrokinetik tipe Darrieus sumbu vertikal dengan menggunakan ponton atau dengan menggunakan mekanisme mengapung. Konfigurasi turbin arus laut dibagi menjadi dua yaitu di dasar laut dan mekanisme mengapung (Akimoto et al., 2013). Untuk penggunaan turbin hidrokinetik di sungai juga bisa menggunakan mekanisme jembatan. Pada tugas akhir ini menggunakan konfigurasi turbin dengan mekanisme mengapung.

Mekanisme mengapung dengan menggunakan ponton pada turbin hidrokinetik dipercaya memiliki beberapa keunggulan. Beberapa keunggulan penggunaan ponton pada turbin hidrokinetik yaitu berfungsi untuk mengurangi kerusakan ekosistem dasar perairan, dikarenakan ponton menggunakan mekanisme mengapung, sehingga turbin hidrokinetik tidak akan bersentuhan dengan dasar atau tanah disekitar sungai (Rachman & Haluoleo, 2014). Ponton juga dapat menjaga

komponen-komponen elektrikal dan mekanikal dari air karena komponen-komponen elektrikal dan mekanikal berada diatas air, sehingga umur dari komponen lebih tahan lama. Komponen yang digunakan seperti generator, *rectifier*, *regulator*, *gearbox*, dan lain-lain. Ponton memungkinkan sistem untuk mendapatkan energi yang tinggi, karena ponton memungkinkan turbin beroperasi didekat permukaan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa aliran di dasar sungai atau di dekat dinding sungai terpengaruh pada gesekan yang terjadi pada dinding dan dasar sungai yang dapat menyebabkan aliran pada dasar dan dinding sungai relatif kecil dan aliran di permukaan sungai relatif besar, karena tidak terpengaruh oleh gesekan apapun.

Mekanisme mengapung dengan menggunakan ponton memiliki tantangan, dimana ponton akan selalu bergoyang terkena efek gelombang dan arus yang menyebabkan perfomansi turbin berkurang (Junianto & Prastianto, 2017) (Mahmashani, 2018), maka dalam Tugas Akhir ini dapat dibuat Desain Ponton pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk) dengan mekanisme mengapung yang disimulasikan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan meninjau kestabilan ponton terhadap variasi peletakan turbin, jarak antar lambung ponton, dan bentuk dari ponton.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kestabilan ponton katamaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk) ketika diberikan variasi jarak antar lambung ponton?
2. Bagaimana pengaruh variasi bentuk ponton terhadap kestabilan ponton katamaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk)?
3. Bagaimana pengaruh variasi peletakan turbin terhadap Kestabilan ponton katamaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk)?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, memiliki tujuan pembuatan proposal ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa kestabilan ponton katamaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk) ketika diberikan variasi jarak antar lambung ponton.
2. Menganalisa pengaruh variasi bentuk ponton terhadap kestabilan ponton katamaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk).
3. Menganalisa pengaruh variasi peletakan turbin terhadap Kestabilan ponton katamaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk)

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada analisis kestabilan ponton
2. Ponton yang digunakan jenis katamaran
3. Gelombang dan arus air pada penelitian kali ini memiliki arah datang dari depan ponton katamaran
4. Simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan gelombang regular.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan penelitian ini disusun secara sistematis dengan perincian sebagai berikut ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian, dan sistematika laporan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang teori energy hidrokinetik, teori benda apung, teori katamaran, dan teori *response amplitude operator* (RAO)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang analisa hasil simulasi respon ponton terhadap perubahan-perubahan yang dilakukan pada bentuk ponton, jarak antar ponton dan peletakan turbin.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dari hasil respon ponton dan multi pendulum dan juga saran

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka dari semua referensi yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

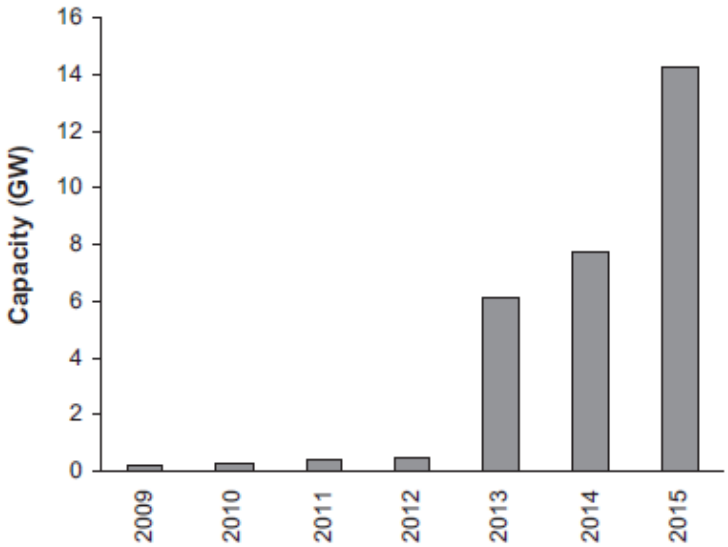
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Energi Hidrokinetik

Kebutuhan energi dunia semakin meningkat setiap tahunnya, karena meningkatnya jumlah penduduk di dunia. Mayoritas energi yang digunakan dipasok dari energi fosil yang jumkahnya semakin berkurang setiap tahunnya, karena energi fosil tidak dapat diperbarui. Pemanfaatan energi fosil menyebabkan polusi pada lingkungan dari hasil pembakaran dari Bahan Bakar Minyak (BBM), seperti karbon dioksida (CO_2), 3DUWLFXODWH0DWWHUM10 µm (PM10), timbal (Pb), dan lain-lain. Untuk mengatasi masalah tersebut, banyak penelitian dilakukan untuk menghasilkan sumber energi baru-terbarukan. Salah satu sumber energi baru-terbarukan yaitu dengan memanfaatkan sumber daya air. Pemanfaatan air sebagai sumber energi baru-terbarukan diyakini memiliki potensi yang besar, karena sebagian besar dari bumi terdiri dari air yang dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan. Pemanfaatan energi air memiliki beberapa cara untuk dikembangkan, salah satunya dengan memanfaatkan energi aliran air (hidrokinetik). Energi hidrokinetik adalah energi yang memanfaatkan pergerakan aliran dari air dengan cara dikonversi menjadi energi listrik menggunakan turbin yang diletakkan di bawah air, sehingga pemanfaatan energi hidrokinetik memiliki bentuk konstruksi yang lebih sederhana daripada turbin konvensional (Rachman & Haluoleo, 2014).

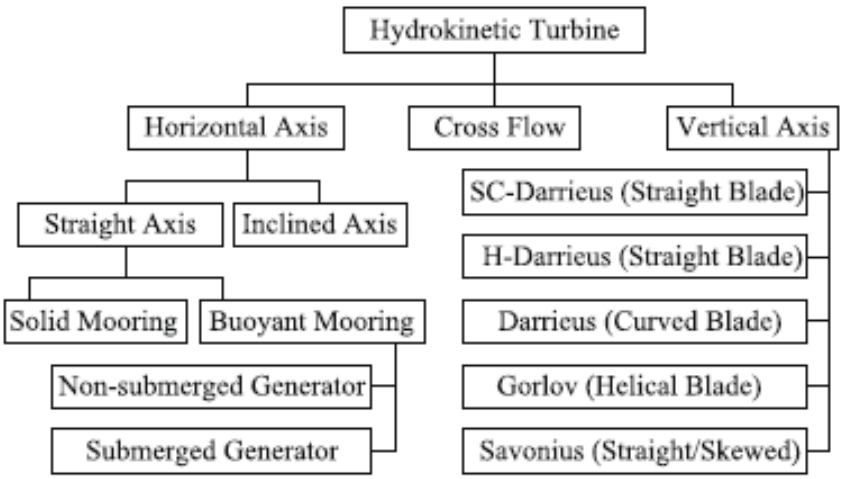
pasang surut, dan saluran air lainnya yang dibuat oleh manusia untuk pembangkit listrik (Khan et al., 2009). Ada beberapa pemanfaatan energi hidrokinetik diantaranya adalah menggunakan turbin dan tidak menggunakan turbin. Beberapa pemanfaatan energi hidrokinetik dengan sistem tidak menggunakan turbin adalah *flutter vane, piezoelectric, vortex induced vibration, oscillating hydrofoil* dan *sails.* Jenis sistem menggunakan sistem adalah turbin sumbu vertikal, turbin sumbu horizontal, *cross flow,* venturi, dan *gravitational vortex* (Ladokun et al., 2013). Untuk kedepannya energi hidrokinetik sangat berpotensi untuk dikembangkan. Menurut Guney, rentang tahun 2009-2015

prediksi kapasitas energi hidrokinetik terus meningkat (Guney, 2011). Prediksi kapasitas energi hidrokinetik dapat dilihat pada gambar dibawah ini



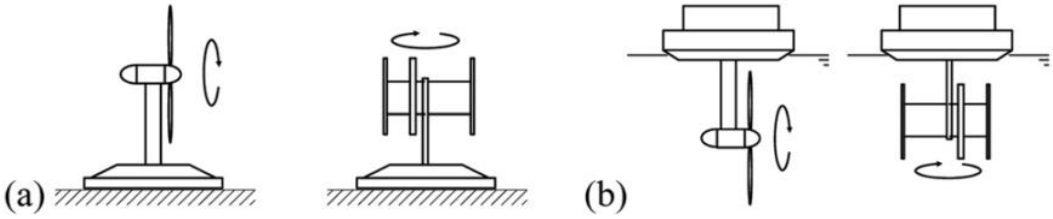
Gambar 2. 1 Prediksi Kapasitas Energi Hidrokinetik di Dunia

Konfersi energi hidrokinetik memanfaatkan pergerakan aliran air dengan menggunakan turbin hidrokinetik. Secara umun turbin hidrokinetik dibagi menjadi tiga jenis yaitu *Horizontal Axis Turbine* (HAT), *Vertical Axis Turbine* (VAT), dan *Cross Flow Turbine*. Masing-masing jenis masih dibagi lagi kedalam model yang lebih spesifik. Pembagian bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 2 Jenis-jenis Turbin Hidrokinetik

Turbin jenis *Vertical Axis Turbine* (VAT) diyakini lebih unggul daripada *Horizontal Axis Turbine* (HAT), dapat dilihat dari bentuk sudu VAT lebih sederhana dibandingkan HAT, investasi VAT lebih rendah disbandingkan HAT, dan VAT dapat berputar pada arus yang relatif rendah, dimana hal ini sangat cocok pada kondisi arus yang ada di Indonesia. Untuk konfigurasi turbin hidrokinetik dilaut memiliki dua cara yaitu dengan diletakkan di dasar laut dan menggunakan mekanisme mengapung (*floating hydrokinetic turbine*) (Akimoto et al., 2013). Turbin hidrokinetik juga dapat di gunakan pada kanal terbuka. Konfigurasi turbin hidorkinetik pada sungai juga memiliki dua cara yaitu dengan menggunakan sistem jembatan dan mekanisme mengapung. Konfigurasi Turbin dapat diliat pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Konfigurasi umum turbin hidrokinetik : (a) *seabed system* dan *(b) floating system*

Untuk penelitian ini menggunakan turbin hidrokinetik jenis sumbu vertikal menggunakan sistem mengapung (*floating hydrokinetic turbine*) pada kanal terbuka. Penelitian kali ini mempunyai beberapa tantangan. Dapat diketahui bahwa *floating hydrokinetic turbine* tidak bisa memiliki posisi yang tetap karena pengaruh beban lingkungan (arus air dan angin). Beban lingkungan akan menyebabkan *floating hydrokinetic turbine* mengalami inklinasi, dimana keadaan tersebut akan menyebabkan ekstraksi energi dari turbin akan berkurang.

2.2 Bangunan Apung

Pengertian dari bangunan apung adalah suatu objek atau konstruksi yang mengapung di atas air yang digunakan untuk tujuan tertentu. Contoh dari bangunan apung yang banyak dikenal adalah kapal yang biasa digunakan sebagai sarana angkutan barang ataupun transportasi. Ponton juga merupakan salah satu jenis bangunan apung, tidak memiliki sistem penggerak sehingga gerakannya sangat

dipengaruhi oleh gerakan gelombang laut atau arus air pada sungai. Berikut gaya-gaya yang berlaku pada bangunan apung

2.2.1 Gaya Apung

Hukum gaya apung ditemukan ditemukan oleh Archimedes lebih dari 2200 tahun yang lalu (Mohazzabi, 2017). Prinsip Archimedes didapatkan melalui pengamatan sederhana yaitu sebuah benda yang mengapung di air yang mengalami fenomena dimana bobot dari benda tersebut berkurang meskipun pada benda sudah bekerja gaya berat, fenomena tersebut dikarenakan adanya gaya keatas, yang dinamakan gaya apung (*buoyancy*). Besar dari gaya apung setara dengan massa air yang dipindahkan oleh benda yang tercelup di air (Francescutto & Papanikolaou, 2010). Seperti yang telah dibahas pada hukum Archimedes, semua benda yang berada di dalam air akan mengalami gaya apung (*bouyancy*). Adapun bunyi hukum Archimedes adalah :

"Benda yang tercelup ke dalam zat cair akan mengalami gaya angkat yang besarnya setara dengan berat volume zat cair yang dipindahkan."

Berdasarkan Kim, Chang Gil, (2001) memformulasikan *buoyancy* dengan persamaan sebagai berikut :

L Oä‰äf (2.1)

Dimana :

FA = Gaya Apung

ρ = Massa Jenis

g = Kecepatan Gravitasi

Va = Volume Air yang dipindahkan

2.2.2 Gaya Berat

Pada bangunan apung selain memperoleh gaya apung, bangunan apung juga memperoleh gaya yang mengarah ke bawah yaitu gaya berat. Pada semua benda terdapat memiliki gaya berat dan pada suatu benda terdapat titik kumpul dari semua gaya yang bekerja pada benda yang biasa disebut titik berat (*center of gravity*). Untuk mencari nilai dari gaya berat bias dilihat melalui persamaan dibawah ini.

L • ä‰ (2.2)

Dimana :

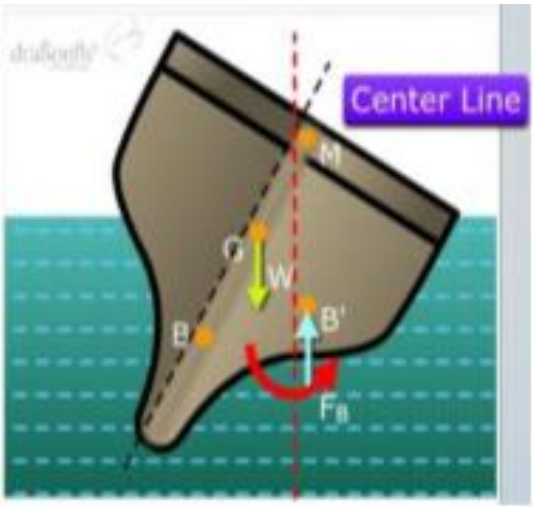
W = Gaya Berat

m = massa benda

g = kecepatan gravitas

2.3 Stabilitas Benda di Air

Sebuah benda dikatakan stabil atau dalam keadaan seimbang ketika jumlah dari gaya yang bekerja pada benda dan jumlah dari momen yang bekerja pada benda terhadap suatu titik sama dengan nol. Ketika suatu benda di air mengalami senget/kemiringan maka titik B akan bergeser ke titik B', jarak antara metasentris (M) dengan titik G dapat disebut ketinggian metasentris (GM). Keadaan setimbang suatu benda dibagi menjadi tiga kondisi yaitu keseimbangan stabil (*stable equilibrium*), keseimbangan netral (*neutral equilibrium*) dan keseimbangan labil (*unstable equilibrium*) (Sivaraj, 2019).

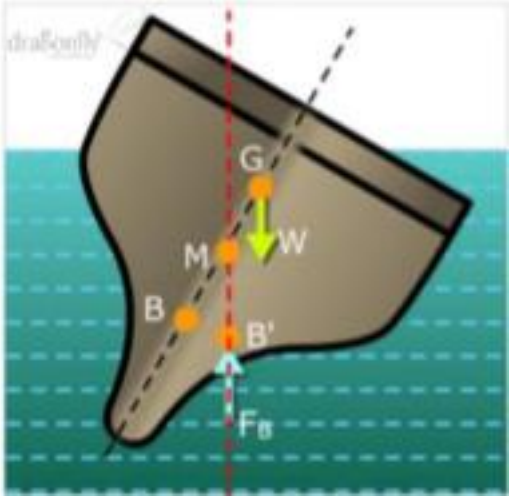


Gambar 2. 4 Keseimbangan Stabil

Sebuah benda yang berada pada posisi keseimbangan dikenai pengaruh dari luar dan berubah ke suatu posisi baru, lalu ketika pengaruh luar hilang/tidak ada mampu bergerak kembali ke posisi awal, kondisi ini disebut keseimbangan stabil (*stable equilibrium*) dan bisa disebut stabilitas positif terhadap acuan keseimbangan

posisi awalnya yang terbentuk karena adanya gaya apung dan gaya berat. Kondisi kesetimbangan stabil terjadi ketika titik M berada diatas titik G (Sivaraj, 2019).

Apabila saat benda tersebut dikenai pengaruh luar dan bergerak dari posisi kesetimbanganya ke posisi baru, kemudian ketika pengaruh luar tersebut hilang/tidak ada, benda tidak kembali ke posisi awalnya dan tetap pada posisi baru tersebut, kondisi ini disebut keseimbangan netral (*neutral equilibrium*), dimana letak titik titik M dan titik G bertepatan atau GM sama dengan nol (Sivaraj, 2019).



Gambar 2. 5 Keseimbangan Unstabil

Apabila suatu benda setelah dikenai pengaruh luar dan bergerak ke posisi baru, kemudian ketika pengaruh dari luar hilang/tidak ada, benda tersebut terus bergerak menjauhi posisi awalnya, maka kondisi keseimbangan ini dikatakan keseimbangan labil (*unstable equilibrium*), dimana letak titik M berada dibawah titik G dan kondisi ini dapat digolongkan sebagai stabilitas negatif terhadap acuan posisi awalnya. Perbedaan nilai GM mempengaruhi respon dari ponton tersebut. Ketika ponton memiliki nilai GM yang besar, ponton akan cenderung kaku, sedangkan ketika ponton memiliki nilai GM yang kecil, ponton akan cenderung lunak/tidak kaku (Barrass & Derrett, 2006). Kata kaku yang dimaksud yaitu ketika ponton memiliki nilai GM besar akan memiliki periode gulingan (kembali ke posisi awal) pendek dan ketika ponton memiliki nilai GM kecil akan memiliki periode guling yang panjang. Jadi, ponton dengan nilai GM besar akan lebih cepat kembali ke posisi awal lebih cepat dibandingkan ponton dengan nilai GM kecil. Pada saat

ponton dalam keaadan diam letak titik M, titik G, dan titik B akan berada pada satu garis lurus dan ketika ponton mengalami kemiringan posisi titik B akan berubah dan akan bergerak dengan titik M sebagai pusat pergerakannya, sehingga posisi titik B sudah tidak segaris lagi. Akibat perpindahan titik B ketika ponton mengalami kemiringan terjadi sebuah momen kopel antara momen akibat gaya tekan yang mengarah kebawah yang berpusat pada titik G dan momen akibat gaya tekan keatas atau momen pembalik yang berpusat pada titik B (Barrass & Derrett, 2006). Besar momen pembalik dapat diketahui dengan menggunakan persaman berikut:

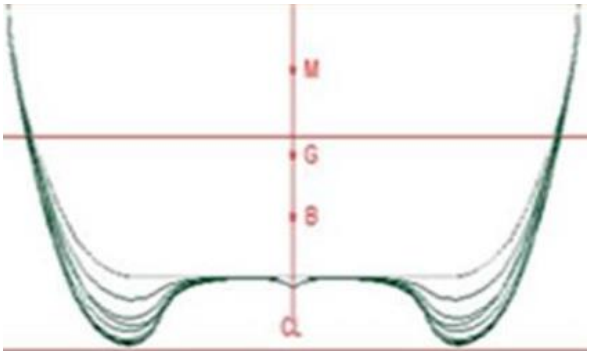
L š • E (2.3)

Dimana:

M = Momen Pembalik (kg.m)

W = Massa air yang dipindahkan (kg)

GM = Tinggi Metasentris (m)



Gambar 2. 6 Letak Titik Stabilitas

x Titik Berat (*Center of Gravity*, G)

Titik berat (G) dapat diartikan sebagai titik tangkap dari semua gaya yang bekerja pada suatu benda dan mengarah ke bawah. Letak titik berat (G) pada benda tanpa muatan ditentukan oleh hasil percobaan stabilitas. Perlu diketahui bahwa letak titik berat (G) bergantung dari pembagian berat yang bekerja pada benda. Jadi, selama tidak ada berat yang digeser titik berat (G) tidak akan berubah walaupun benda mengalami oleng atau mengangguk/trim. Berat turbin pada penelitian ini ± 1 ton, dimana akan mempengaruhi letak titik berat (G) jikalau posisi dari turbin digeser dan mempengaruhi respon gerak ponton ketika terkena gaya dari luar.

x Titik Apung (*Center of Buoyancy*, B)

Titik apung (*center of buoyancy*) biasa dikenal dengan titik B dari sebuah benda yang mengapung, merupakan titik tangkap dari semua gaya yang menekan kearah atas dari bagian benda yang tercelup di dalam air. Titik apung (B) akan berubah-ubah seiring dengan perubahan sarat kapal (*draft*), jadi titik apung (B) tidak merupakan suatu titik yang tetap. Dalam teori stabilitas benda di air, titik apung (B) yang menyebabkan suatu benda mampu untuk kembali ke posisi awal setelah mengalami oleng atau mengangguk/trim. Letak dari titik apung (B) juga bergantung pada besarnya kemiringan dari benda (bila kemiringan berubah maka letak titik apung (B) akan berubah).

x Titik Metasentris (M)

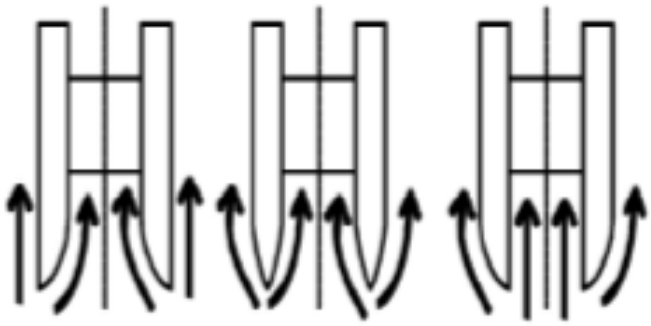
Titik metasentris atau sering disebut dengan titik M ialah sebuah titik semu dari batas dimana titik berat (G) tidak boleh melewati dan berada di atasnya agar benda tetap pada kondisi stabilitas positif atau keseimbangan stabil dan titik putus-putus yang jalur ayunannya dilalui oleh titik B. Meta memiliki arti berubah, jadi letak titik metasentris tidak tetap atau berubah-berubah bergantung dari besarnya sudut senget/kemiringan. Apabila benda mengalami senget, maka titik apung (B) bergerak di sepanjang busur dengan titik M poros atau titik pusat pada bidang tengah benda (*center of line)*. Apabila sudut senget/kemiringan kurang dari 15° perpindahan sudut senget sangat kecil dan masih dianggap tetap.

2.4 Katamaran

Kapal tipe katamaran merupakan jenis kapal yang memiliki dua lambung yang saling terhubung dengan geladak yang kuat yang mampu menahan momen bending (*bending moment)* dan gaya geser (*shear force*) yang bekerja pada garis tengah kapal (*center of line*). Kapal jenis ini sudah banyak diterapkan dalam dunia perkapalan. Sampai sekarang kapal jenis ini banyak digunakan untuk kapal-kapal penumpang, perahu-perahu layar, dan juga perahu nelayan. Banyak model bentuk dari kapal katamaran, namun dapat disederhanakan menjadi tiga model bentuk dasar yaitu :

1. Simetri
2. Flat dibagian dalam (*inner flat hull*)
3. Flat dibagian luar (*outer flat hull*)

Profil aliran setelah menabrak ketiga bentuk diatas dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2. 7 Profil Kecepatan pada Kapal Katamaran

Penelitian yang dilakukan oleh Deddy Chrismianto (2014) menunjukkan bahwa bentuk lambung kapal yang memiliki bentuk flat di salah satu sisi nya memiliki hambatan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan bentuk lambung kapal yang simetri.

Banyak dilakukan penelitian dan pengembangan kapal katamaran untuk berbagai penerapan pada dunia perkapalan yang diyakini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan kapal monomaran. Keunggulan kapal katamaran yaitu :

1. Kapal katamaran memiliki tahanan geser yang lebih kecil dibandingkan kapal monomaran dengan lebar kapal sama, sehingga memiliki imbas pada kecepatan kapal katamaran lebih besar dengan daya dorong yang sama.
2. Kapal katamaran memiliki lebar geladak yang lebih besar
3. Volume benaman dan luas permukaan basah cenderung kecil
4. Memiliki stabilitas yang lebih baik karena memiliki dua lambung
5. Memiliki tahanan yang lebih kecil, maka menghemat biaya operasional
6. Frekuensi gelombang yang tinggi namun amplitude gelombang relative kecil, sehingga kenyamanannya lebih tinggi (Chrismianto et al., 2014)

2.5 *Response Amplitude Operator* (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam domain frekuensi yang mengenai struktur mengapung, dimana merupakan rasio output terhadap input yang diberikan (Ramachandran et al., 2013). Penerapan RAO biasa digunakan dalam industri minyak dan gas lepas pantai untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam domain frekuensi ke bentuk respon pada suatu struktur. Menurut Djatmiko (2012), respon gerakan RAO terbagi menjadi dua yaitu:

a) Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi yaitu *surge*, *sway*¸ dan *heave* (k = 1, 2, 3 atau x, y, z), merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang insidental. Persamaan dibawah ini digunakan untuk menentukan RAO untuk gerakan translasi.

$$L \frac{\text{ħ} :©;}{¸ :©;} :^{\bullet} ¤_{\bullet} ; \qquad (2.4)$$

Dimana :

Xp (ω) = Amplitudo dari struktur

Ƞ (ω) = Amplitudo gelombang

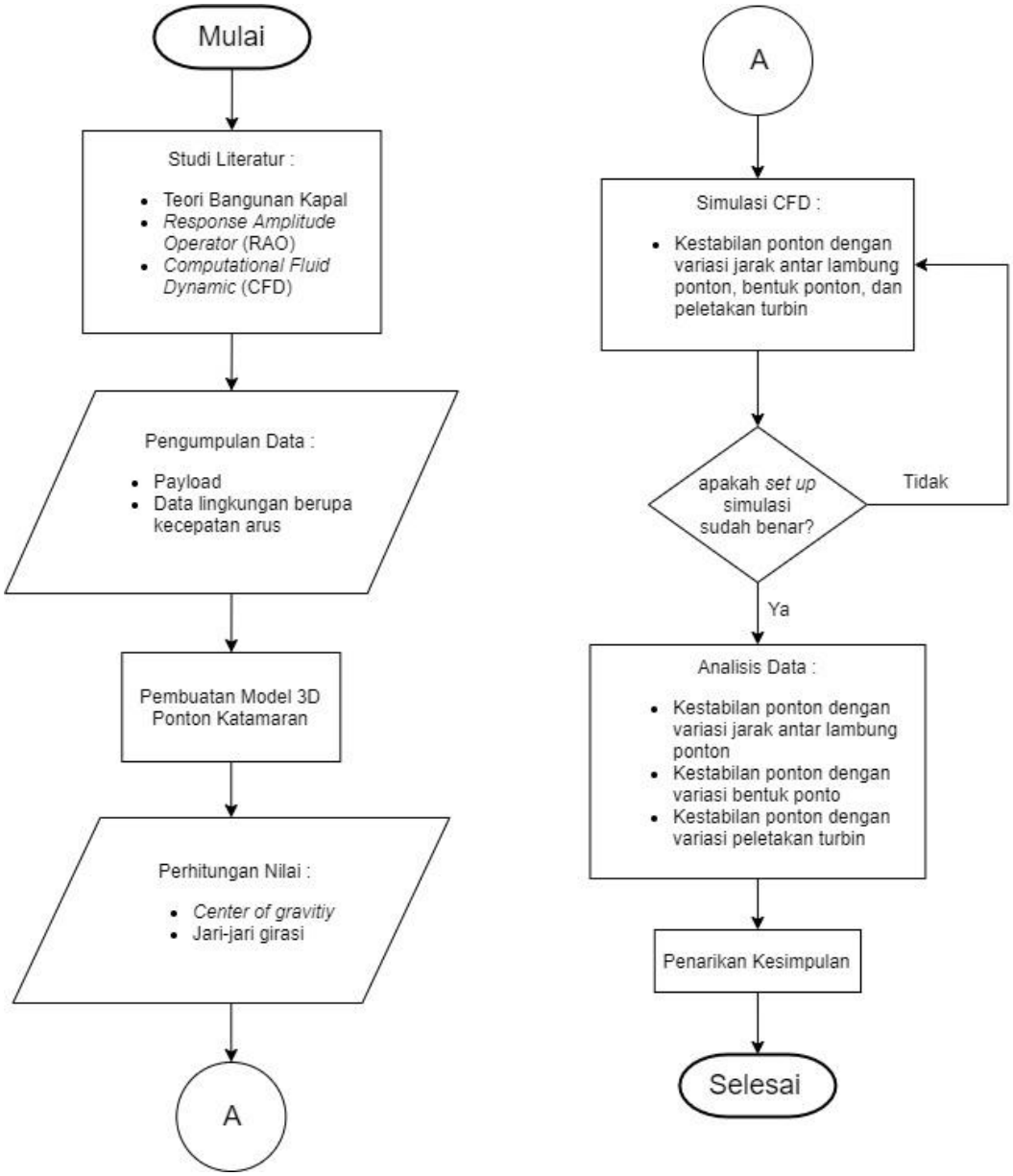
b) RAO untuk gerakan rotasi yaitu *roll*, *pitch*, *dan yaw* (k = 3, 4, 5 atau θ, ϕ , ψ) adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang (hasil kali antara angka gelombang, Kw= ω^2/g, dengan amplitudo gelombang datang)(Baidowi et al., 2019) (Djatmiko, 2012) . Persamaan digunakan untuk menentukan RAO gerakan rotasi adalah sebagai berikut

$$4 \quad L \frac{\text{ħ} :©;}{\text{Ou ä¸ :©;}} L \frac{\text{ħ} :©;}{@^{©} \text{ We A¸ :©;}} :^{\#} \quad W_{\#} \quad ; \qquad (2.5)$$

Jika ingin mengubah amplitude respon gerakan rotasi kedalam satuan derajat, maka persamaan diatas dirubah dengan 1 rad = 57,3°

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Flowchart dari penelitian ini adalah sebagai berikut



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep-konsep yang terkait dan berhubungan dengan tugas akhir ini. Studi literatur dilakukan dengan membaca buku dan me-*review* jurnal atau paper dari topik-topik seperti teori bangun kapal, pengaruh bentuk ponton terhadap kestabilan ponton, *Response Amplitude Operational* (RAO) dan *computational fluid dynamic* (CFD). Pematangan konsep terkait topik tersebut sangat diperlukan untuk dapat memahami fenomena yang akan disimulasikan dan menganalisa hasil simulasi dengan baik.

3.2 Pengumpulan Data

Adapun data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah massa turbin, komponen mekanikal dan elektrikal, ponton, kecepatan arus, dan parameter gelombang. Adapaun data-data diatas dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 3. 1 Data Massa Total

Parameter	Massa (kg)
Ponton Katamaran	80
Turbin	125,6
Komponen mekanikal dan elektrikal	158,77

Data lain yang dibutuhkan adalah data lingkungan yang berupa kecepatan arus dan parameter gelombang yang akan digunakan untuk simulasi CFD. Berikut data kecepatan arus dan parameter gelombang.

Tabel 3. 2 Data Kecepatan Arus

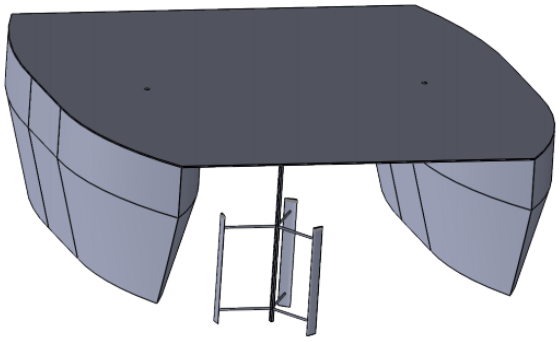
Kedalaman (m)	Kecepatan (m/s)
0	0,242
4	0,205
8	0,141

Tabel 3. 3 Data Parameter Gelombang

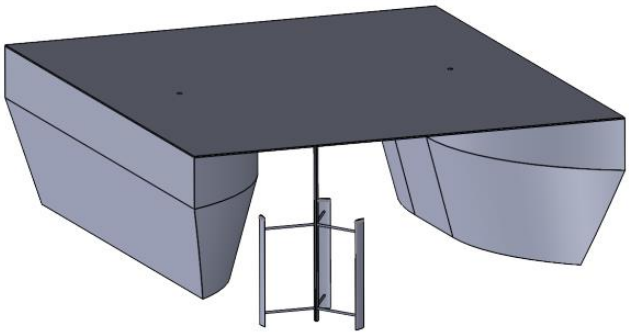
Parameter	Ukuran
Amplitudo	0,1 m
Periode	5 s
Frekuensi	1,26 rad/s

3.3 Pembuatan Model 3D Ponton Katamaran

Desain ponton pada penelitian kali ini menggunakan ponton katamaran dengan bentuk simetri dan *outer flat* dan turbin diletakkan diantara dua lambung dari ponton. Proses pembuatan model 3D menggunakan *software Solidwork*. Berikut desain ponton katamaran simetri dan *outer flat.*



Gambar 3. 2 Model 3D Ponton Katamaran Simetri



Gambar 3. 3 Model 3D Ponton Katamaran *Outer Flat*

Spesifikasi dari ponton yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut

Tabel 3. 4 Spesifikasi Ponton Katamaran

Spesifikasi Ponton Katamaran	
Panjang ponton	2 meter
Lebar setiap lambung ponton	0,5 meter
Tinggi lambung ponton	0,6 meter
Massa jenis lambung ponton	2770 kg/m^3
Massa jenis plat penghubung	7850 kg/m^3

3.4 Perhitungan Nilai COG dan Jari-Jari Girasi

Untuk menentukan nilai COG dan jari-jari girasi menggunakan perhitungan manual. Untuk hasil salah satu perhitungan bisa dilihat pada table dibawah ini

Tabel 3. 5 perhitungan *Center of Gravity*

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,05	0	0	-0,10	0	0	-8,01
b	Plat Penghubung	125,60	0	0	0,20	0	0	25,42
c	Item Tambahan	370,25	0	0	0,32	1,50	0	118,66
	Σ Massa	575,9		Σ Mass*(x/y/z)		1,50	0	136,07
						0,0026	**0**	**0,2363**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**
						COGgabungan		

Tabel 3. 6 Perhitungan Jari-Jari Girasi

x^2	y^2	z^2	$(y^2 + z^2)$ (1)	$(x^2 + z^2)$ (2)	$(x^2 + y^2)$ (3)	mass * (1) (m)	mass * (2) (m)	mass * (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,8	0,8	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,14	5,14	0
0	0	0,1	0,1	0,1	0	38,03	38,03	0,01
				Σ Mass*(1/2/3)		43,97	43,97	0,01
						0,276	0,276	0,00325
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

Table 3.2 dan table 3.3 merupakan salah satu perhitungan nilai COG dan jari-jari girasi yaitu ponton simetri dengan peleteakan turbin ditengah dan jarak antar lambung ponton 0,6 meter. Untuk menghitung COG gabungan diatas dengan menggunakan persamaan

%1)T L ,:âë ë; / ,âë (3.1)

%1)U L ,:âë ä; / ,âë (3.2)

%1)V L ,:âë ä́; / ,âë (3.3)

Untuk menghitung jari-jari girasi dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

-TT L § $\frac{\overline{,:\hat{\text{æ}} \quad \text{ä}:w6 > x6;;}}{,\hat{\text{æ}}}$ (3.4)

-UU L § $\frac{\overline{,:\hat{\text{æ}} \quad \text{ä}:v6 > x6;;}}{,\hat{\text{æ}}}$ (3.5)

-VV L § $\frac{\overline{,:\hat{\text{æ}} \quad \text{ä}:v6 > w6;;}}{,\hat{\text{æ}}}$ (3.6)

3.5 Simulasi CFD

Simulasi CFD merupakan simulasi untuk melihat interaksi gelombang ketika mengenai ponton. Simulasi CFD terdiri dari dua kali simulasi yaitu yang pertama *hydridinamic diffraction* dan yang kedua *hydrodynamic response.* Tahapan-tahapan pada simulasi adalah sebagai berikut:

Pre-Processing

Tahap awal simulasi adalah melakukan *set up* pada geometri ponton yang telah dibuat dengan memberikan sarat air yang telah ditentukan. Sarat air yang digunakan pada tugas akhir ini 0,4 meter. Selanjutnya melakukan *set up* dengan menginputkan data – data berupa *water size* dengan rincian 20 meter sumbu x atau panjang sungai, 20 meter sumbu y atau lebar sungai, dan 8 meter sumbu z atau kedalaman sungai. Selanjutnya melakukan *set up* pada *point of mass* yaitu memasukkan nilai COG (*Center of Gravity*), massa ponton, dan jari-jari girasi. Untuk hasil perhitungan COG dan jari-jari girasi bisa dilihat pada tabel 3.2 dan table 3.3. Kemudian dilakukan *meshing* dengan menginputkan *defeaturing tolerance* dengan nilai 0,02 m dan *maximum element size* dengan nilai 0,035 m. Berikut hasil *meshing* yang dilakukan

Tabel 3. 7 Hasil *Meshing*

Detail *Meshing*	
defeaturing tolerance	0,02
maximum element size	0,035
Total Nodes	28644
Total Element	28891

Detail *Meshing*	
Diffracting Nodes	12420
Diffracting Element	12315

Meshing merupakan sebuah proses pemecahan bagian domain menjadi kecil- kecil. Pada tahap *meshing* yang dilakukan dengan memasukkan *defeaturing tolerance* dan *maximum element size*. Pada bagian *Generated mesh information* akan ditampilkan jumlah node dan element dari hasil *meshing* yang telah dilakukan. Jumlah maksimal elemen adalah sebanyak 28891 elemen dan 12315 bagian elemen yang terdifraksi. *Number of nodes* dan *number of element* adalah node dan elemen hasil *meshing*. *Number of node (diffracting body)* dan *number of element (diffracting body)* adalah jumlah node dan elemen pada ponton yang tercelup air.

Processing

Tahap ini dilakukan simulasi gelombang dengan memasukkan data lingkungan gelombangnya berupa periode atau frekuensi gelombang dan arah datang gelombang dan kecepatan arus. Arah datang gelombang dan arus dari depan ponton. selanjutnya menginputkan waktu analisis, periode, amplitudo gelombang, dan kecepatan arus di setiap kedalaman nya.

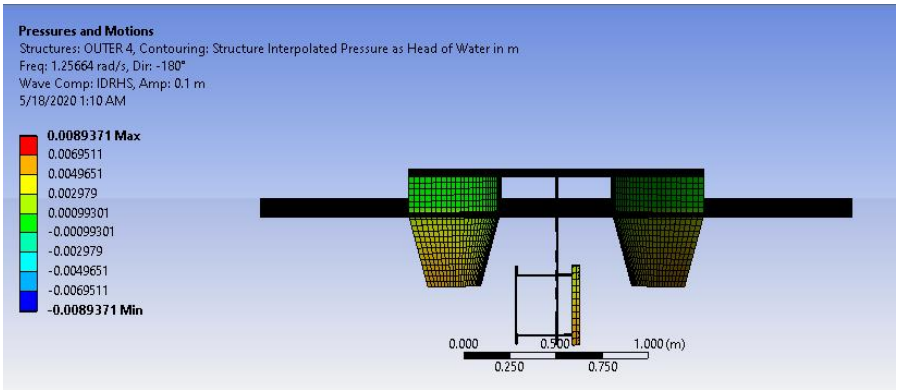
Post Processing

Tahap ini adalah *result* atau hasil. Pada bagian ini penulis dapat menentukan hasil apa yang ingin dikeluarkan. Yaitu tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui respon ponton akibat gelombang laut maka grafik *actual response* ditampilkan dalam bentuk grafik.

3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan terkait beberapa variasi dilakukan analisis hasil untuk dijadikan dalam bentuk tabel atau grafik agar pembaca mudah

untuk memahami melalui tabel atau grafik yang disajikan dan dilakukan pembahasan dari simulasi yang telah dilakukan.



Gambar 3. 4 Contoh Hasil Simulasi Gelombang

3.7 Kesimpulan

Berdasarkan pada analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan, kemudian dapat ditarik kesimpulan sesuai dengan tujuan tugas akhir yang telah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV ini berisi tentang verifikasi simulasi, analisis data dan pembahasan. Analisa yang dilakukan yaitu gerakan ponton katamaran akibat dikenai gelombang yang datang dan arus. Variasi yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu peletakan turbin, jarak antar lambung ponton, dan bentuk dari ponton.

4.1 Verifikasi Simulasi

Verifikasi hasil simulasi adalah proses menentukan sebuah simulasi CFD bisa mempresentasikan model matematis dan solusi secara akurat. Memastikan *set up* yang dilakukan pada simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) sudah sesuai dengan teori yang ada. Parameter yang penting dalam melakukan simulasi CFD benda terapung adalah *point of mass* yaitu letak *Center Of Gravity* (COG), jari-jari girasi dan momen inersia ponton beserta turbin.

Mass Properties	
Mass Definition	Manual Definition
X Position	0.0203 m
Y Position	0.0 m
Z Position	0.1931 m
Mass	363.41 kg
Inertia Properties	
Define Inertia Values ...	Radius of Gyration
Kxx	0.26 m
Kyy	0.26 m
Kzz	0.031 m
Ixx	24.566516 kg.m²
Ixy	0.0 kg.m²
Ixz	0.0 kg.m²
Iyy	24.566516 kg.m²
Iyz	0.0 kg.m²
Izz	0.34923701 kg.m²

Gambar 4. 1 *Set Up* pada *Point of Mass*

Set up pada *mass definition* menggunakan *manual definition* untuk memasukkan nilai *Center Of Gravity* (COG) dan massa dari ponton. Jika tidak menggunakan *manual definition* (menggunakan *program controlled*) ketika memasukkan nilai Kxx, Kyy, dan Kzz, nilai tersebut tidak akan dikonversi ke nilai Ixx, Iyy, dan Izz. Sehingga simulasi tidak bisa berjalan atau mengalami error. *Set up* pada *define inertia values* bisa memilih *radius of gyration* atau *direct input of inertia* maka salah satu nya akan dikonversi secara otomatis oleh *software*.

Set up pada *meshing* yang digunakan bisa dilihat pada tabel 3.4. Penentuan nilai *maximum element size* dan *defeaturing tolerance* dalam simulasi adalah dari hasil *meshing* yang dilakukan, dimana total elemen tidak boleh melebihi 40.000 elemen untuk komputer dengan versi 64-bit. Untuk versi 32-bit total elemen tidak boleh melebihi 18.000 elemen. Untuk nilai *defeaturing tolerance* tidak boleh lebih besar atau sama dengan (0,6 x *maximum element size*). Untuk nilai *maximum element size* pada tugas akhir ini menggunakan 0,035. Jadi nilai nilai *defeaturing tolerant* tidak boleh lebih besar atau sama dengan 0,021.

Details of Analysis Settings	
Name	Analysis Settings
Computation Type	Time Response Analysis
Parallel Processing	Program Controlled
Use Cable Dynamics	Yes
Time Response Specific Options	
Analysis Type	Regular Wave Response
Start Time	0.0 s
Time Step	0.1 s
Duration	60 s
Number of Steps	601
Finish Time	60 s
Starting Position	Based on Geometry
X-Position for Wave Surface Elevation Output	0.0 cm
Y-Position for Wave Surface Elevation Output	0.0 cm
Common Analysis Options	
Convolution	No
Call Routine "user_force"	No
Use Linear Starting Conditions	Yes
Use Linear Stiffness Matrix to Calculate Hydros...	No
Account for Current Phase Shift	Yes
Use Wheeler Stretching	Yes

Gambar 4. 2 *Set Up* pada *Hydrodynamic Response*

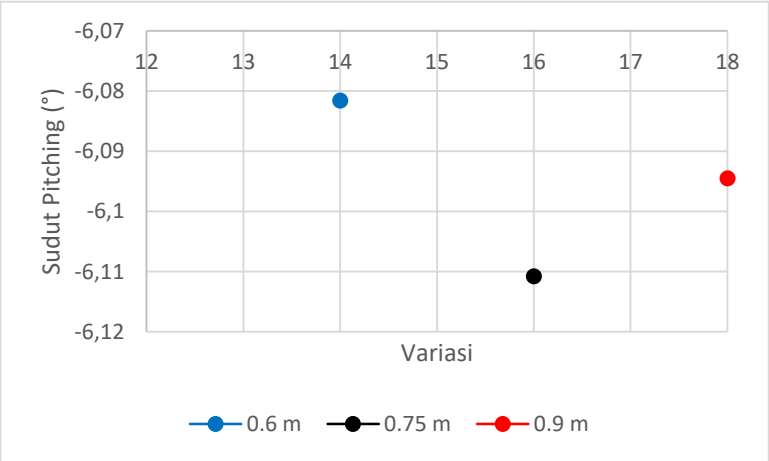
Set up pada *hyddrodinamic response* bagian *computation type* dipilih menjadi *time response analysis* bertujuan untuk mengatur *time step* dan durasi, maka pada bagian *starting position* akan berubah menjadi *based on geometry*. Selanjutnya pada bagian *use linier starting conGLWLRQHV´* karena simulasi *hydrodynamic response* merupakan simulasi lanjutan dari *hydrodynamic diffraction* dan agar posisi ponton katamaran pada simulasi *hydrodynamic response* sama dengan posisi pada simulasi *hydrodynamic diffraction.*

4.2 Pengaruh Perubahan Geometri Ponton dan Peletakan Turbin Terhadap Gerakan Ponton

Analisa respon gerak ponton dilakukan setelah data didapatkan dari simulasi CFD. Keluaran dari simulasi CFD ini yaitu *actual response* ponton akibat pengaruh gelombang regular dan arus. Gelombang dan arus yang mengenai ponton datang dari depan ponton katamaran. Pada tugas akhir ini ponton memiliki sarat air 0,4 meter untuk bentuk ponton simetri dan *outer flat.* Analisa gerak ponton dilakukan berdasarkan variasi bentuk ponton yaitu simetri dan *outer flat*, variasi jarak antar lambung ponton yaitu 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter, dan variasi peletakan turbin yaitu tengah, depan dengan jarak 0,25 meter dari tengah, dan belakang dengan jarak 0,25 meter dari tengah yang disimulasikan pada gelombang reguler. Rincian variasi simulasi dapat dilihat pada halaman lampiran.

4.2.1 Gerak Ponton Terhadap Variasi Jarak Antar Lambung Ponton

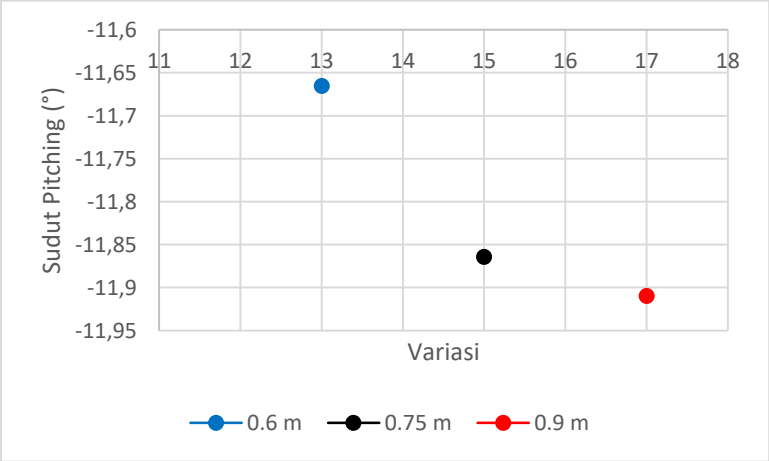
Hasil respon gerak ponton katamaran dengan variasi jarak antar lambung ponton 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter dengan parameter bentuk ponton simetri, *outer flat*, dan peletakan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah, mengacu variasi 13, 14, 15, 16, 17, dan 18. Barikut grafik *actual response* ponton katamaran dengan pembebanan gelombang dan arus datang dari depan ponton.



Gambar 4. 3 Grafik *Actual Response* Variasi Jarak Antar Lambung Ponton (Variasi 14, 16, dan 18)

Gambar 4.3 dengan variasi 14, 16, dan 18 merupakan grafik perbandingan nilai sudut *pitching* maksimal dengan parameter peletakan turbin di belakang 0,25

meter dari tengah, bentuk ponton *outer flat*, dan sarat air 0,4 meter. Terlihat bahwa ketika jarak antar lambung 0,6 meter memiliki sudut *pitching* maksimal yang paling kecil sebesar 6,08° dibandingkan dengan jarak antar lambung ponton 0,75 meter yang memiliki sudut *pitching* maksimal paling besar yaitu sebesar 6,11°. Sedangkan jarak antar lambung ponton 0,9 meter memiliki sudut *pitching* maksimal sebesar 6,09°. Jarak antar lambung ponton 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter memiliki nilai sudut *pitching* rata-rata sebesar 2,54°, 2,55°, dan 2,55°. Ketika jarak antar lambung ponton 0,6 meter memiliki nilai GM (tinggi metasentris) sebesar 0,79 meter, ketika jarak antar lambung ponton 0,75 meter memiliki nilai GM sebesar 1,11 meter, dan untuk jarak antar lambung ponton 0,9 meter memiliki nilai GM sebesar 1.47 meter. Dengan menggunakan persamaan 2.3 didapatkan momen pembalik ketika jarak antar lambung ponton 0,6 m sebesar 57 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 20,7 kgm pada sudut *pitching* rata-rata. Momen pembalik ketika jarak antar lambung ponton 0,75 m sebesar 80,1 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 29,1 kgm pada sudut *pitching* rata-rata dan momen pembalik ketika jarak antar lambung ponton 0,9 m sebesar 106,1 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 38,6 kgm pada sudut *pitching* rata-rata.



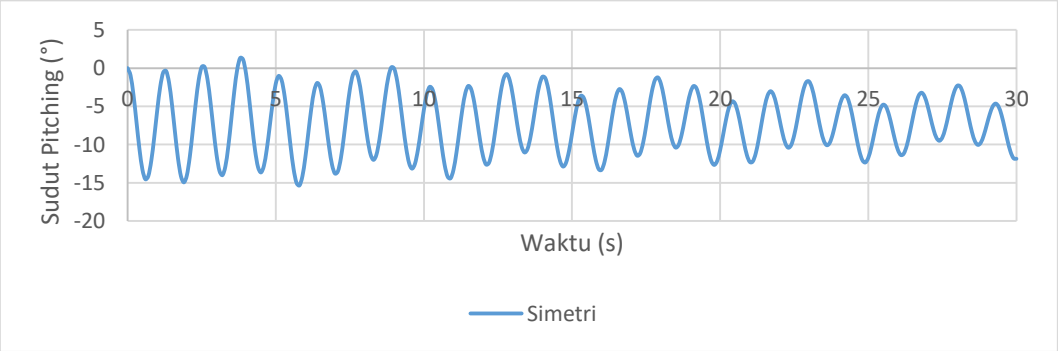
Gambar 4. 4 Grafik *Actual Response* Variasi Jarak Antar Lambung Ponton (Variasi 13, 15, dan 17)

Gambar 4.4 dengan variasi 13, 15, dan 17 merupakan grafik perbandingan nilai sudut *pitching* maksimal dengan parameter peletakan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah, bentuk ponton simetri, dan sarat air 0,4 meter. Terlihat bahwa

semakin lebar jarak antar lambung ponton maka sudut *pitching* yang dihasilkan akan semakin besar. Jarak antar lambung ponton 0,6 meter memiliki sudut *pitching* maksimal yang paling kecil yaitu sebesar 11,67° dibandingkan dengan jarak antar lambung ponton 0,75 meter memiliki sudut *pitching* maksimal sebesar 11,86° dan ketika jarak antar lambung ponton 0,9 meter memiliki sudut *pitching* maksimal paling besar yaitu 11,91°. Jarak antar lambung ponton 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter memiliki nilai sudut *pitching* rata-rata sebesar 5,54°, 5,54°, dan 5,55°. Ketika jarak antar lambung ponton 0,6 meter memiliki nilai GM (tinggi metasentris) sebesar 0,67 meter, ketika jarak antar lambung ponton 0,75 meter memiliki nilai GM sebesar 0,97 meter, dan untuk jarak antar lambung ponton 0,9 meter memiliki nilai GM sebesar 1,31 meter. Dengan menggunakan persamaan 2.3 didapatkan momen pembalik ketika jarak antar lambung ponton 0,6 m sebesar 87,3 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 39,3 kgm pada sudut *pitching* rata-rata. Momen pembalik ketika jarak antar lambung ponton 0,75 m sebesar 133,3 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 57,2 kgm pada sudut *pitching* rata-rata dan momen pembalik ketika jarak antar lambung ponton 0,9 m sebesar 180,4 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 77,3 kgm pada sudut *pitching* rata-rata.

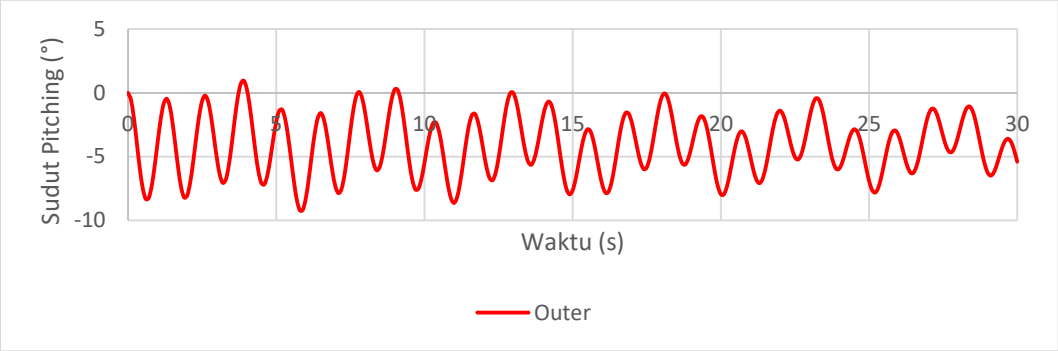
4.2.2 Gerak Ponton Terhadap Variasi Bentuk Ponton

Hasil respon gerak ponton katamaran dengan variasi bentuk ponton simetri dan *outer flat* dengan parameter peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah, dan jarak antar lambung ponton 0,9 meter, dan sarat air 0,4 meter mengacu variasi 5 dan 6. Barikut grafik *actual response* ponton katamaran dengan pembebanan gelombang dan arus datang dari depan ponton.



Gambar 4. 5 Grafik *Actual Response* Variasi Bentuk Ponton (Variasi 5)

Gambar 4.5 dengan variasi 5 merupakan grafik *actual response* dengan parameter peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah, jarak antar ponton 0,9 meter, dan sarat air 0,4 meter. Grafik pada gambar 4.5 memiliki sudut *pitching* maksimal yaitu sebesar 15,34° dan sudut *pitching* rata-rata sebesar 7,21°. Bentuk ponton simetri memiliki nilai GM (tinggi metasentris) sebesar 1,31 meter. Dengan menggunakan persamaan 2.3 didapatkan momen pembalik ketika bentuk ponton simetri sebesar 226,6 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 111,7 kgm pada sudut *pitching* rata-rata.

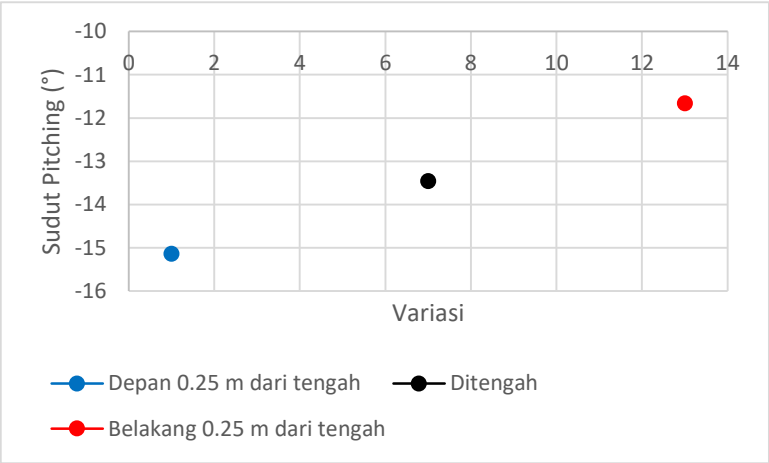


Gambar 4. 6 Grafik *Actual Response* Variasi Bentuk Ponton (Variasi 6)

Gambar 4.6 dengan variasi 6 merupakan grafik *actual response* dengan parameter peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah, jarak antar ponton 0,9 meter, dan sarat air 0,4 meter. Grafik pada gambar 4.6 memiliki sudut *pitching* maksimal yaitu sebesar 9,22° dan sudut *pitching* rata-rata sebesar 4,17°. Ponton bentuk *outer flat* memiliki nilai GM (tinggi metasentris) sebesar 1,47 meter. Dengan menggunakan persamaan 2.3 didapatkan momen pembalik ketika bentuk ponton *outer flat* sebesar 154,3 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 67,5 kgm pada sudut *pitching* rata-rata.

4.2.3 Gerak Ponton Terhadap Variasi Peletakan Turbin

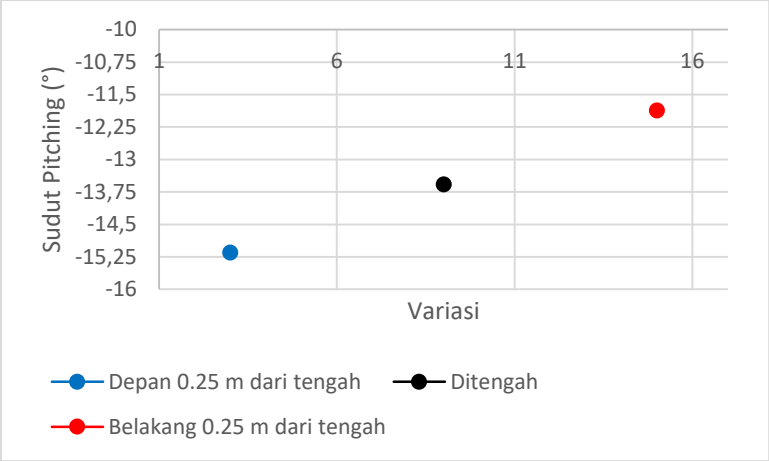
Grafik *actual response* ponton katamaran didapatkan dari hasil simulasi CFD dengan variasi peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah, ditengah, dan di belakang 0,25 meter dari tengah, pada jarak antar lambung 0,6 meter, 0,75 meter, 0,9 meter dan bentuk ponton simetri mengacu pada variasi 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, dan 17. Berikut merupakan grafik respon gerak ponton katamaran dengan pembebanan gelombang dan arus dari depan ponton



Gambar 4. 7 Grafik *Actual Response* Variasi Peletakan Turbin (Variasi 1, 7, dan 13)

Gambar 4.7 dengan variasi 1, 7, dan 13 merupakan grafik perbandingan sudut *pitching* maksimal dengan parameter jarak antar ponton 0,6 meter, bentuk ponton simetri dan sarat air 0,4 meter. Dimana perubahan posisi peletakan turbin mempengaruhi respon gerakan *pitching*, terlihat bahwa peletekan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* maksimal yang paling kecil yaitu sebesar 11,67° dibandingkan dengan peletakan turbin di tengah yang memiliki sudut *pitching* maksimal 13,46° serta peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah yang memiliki sudut *pitching* maksimal sebesar 15,14°. Peletakan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah, peletakan turbin di tengah, dan peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* rata-rata sebesar 5,54°, 6,38°, dan 7,21°. Ketika turbin diletakkan di depan dengan jarak 0,25 meter dari tengah, di tengah, dan di belakang dengan jarak 0,25 meter dari tengah memiliki nilai GM (tinggi metasentris) yang hampir sama yaitu berkisar dinilai 0,67

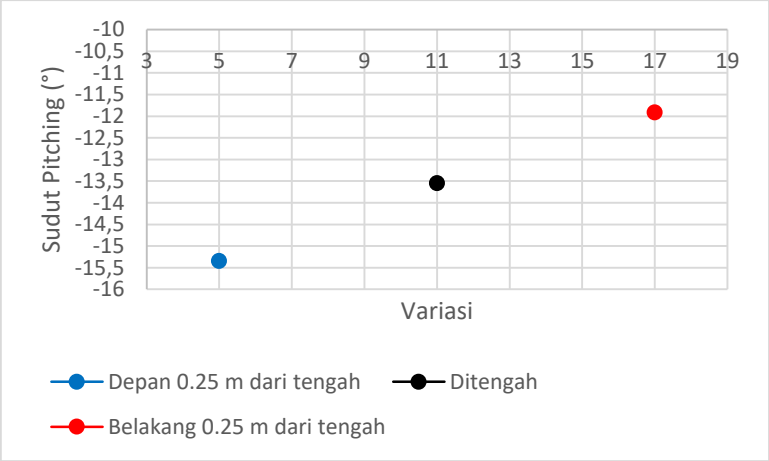
meter. Dengan menggunakan persamaan 2.3 didapatkan momen pembalik ketika peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah sebesar 112,9 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 56,7 kgm pada sudut *pitching* rata-rata. Momen pembalik ketika peletakan turbin di tengah sebesar 100,3 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 48 kgm pada sudut *pitching* rata-rata dan momen pembalik ketika peletakan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah sebesar 87,3 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 39,3 kgm pada sudut *pitching* rata-rata.



Gambar 4. 8 Grafik *Actual Response* Variasi Peletakan Turbin (Variasi 3, 9, dan 15)

Gambar 4.8 dengan variasi 3, 9, dan 15 merupakan grafik perbandingan sudut *pitching* maksimal dengan parameter jarak antar ponton 0,75 meter, bentuk ponton simetri dan sarat air 0,4 meter. Dimana perubahan posisi peletakan turbin mempengaruhi respon gerakan *pitching*, didapatkan data bahwa peletekan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* maksimal yang paling kecil yaitu sebesar 11,86° dibandingkan dengan peletakan turbin di tengah yang memiliki sudut *pitching* maksimal sebesar 13,57° dan peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah yang memiliki sudut *pitching* maksimal sebesar 15,15°. Peletakan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah, peletakan turbin di tengah, dan peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* rata-rata sebesar 5,54°, 6,38°, dan 7,21°. Ketika turbin diletakkan di depan dengan jarak 0,25 meter dari tengah, di tengah, dan di belakang dengan jarak 0,25 meter dari tengah memiliki nilai GM (tinggi metasentris) yang hampir sama yaitu berkisar dinilai 0,97

meter. Dengan menggunakan persamaan 2.3 didapatkan momen pembalik ketika peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah sebesar 164,3 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 82,5 kgm pada sudut *pitching* rata-rata. Momen pembalik ketika peletakan turbin di tengah sebesar 146 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 69,9 kgm pada sudut *pitching* rata-rata dan momen pembalik ketika peletakan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah sebesar 133,3 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 57,2 kgm pada sudut *pitching* rata-rata.



Gambar 4. 9 Grafik *Actual Response* Variasi Peletakan Turbin (Variasi 5, 11, dan 17)

Gambar 4.9 dengan variasi 5, 11, dan 17 merupakan merupakan grafik perbandingan sudut *pitching* maksimal dengan parameter jarak antar ponton 0,9 meter, bentuk ponton simetri dan sarat air 0,4 meter. Dimana perubahan posisi peletakan turbin mempengaruhi respon gerakan *pitching*, didapatkan data sama seperti sebelum nya, diamana peletekan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* maksimal yang paling kecil yaitu sebesar 11,91° dibandingkan dengan peletakan turbin di tengah yang memiliki sudut *pitching* maksimal sebesar 13,54° dan peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* maksimal sebesar 15,34°. Peletakan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah, peletakan turbin di tengah, dan peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* rata-rata sebesar 5,55°, 6,38°, dan 7,21°. Ketika turbin diletakkan di depan dengan jarak 0,25 meter dari tengah, di tengah, dan di belakang dengan jarak 0,25 meter dari tengah memiliki nilai GM

(tinggi metasentris) yang hampir sama yaitu berkisar dinilai 1,31 meter. Dengan menggunakan persamaan 2.3 didapatkan momen pembalik ketika peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah sebesar 226,6 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 111,7 kgm pada sudut *pitching* rata-rata. Momen pembalik ketika peletakan turbin di tengah sebesar 197,5 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 94,5 kgm pada sudut *pitching* rata-rata dan momen pembalik ketika peletakan turbin di belakang 0,25 meter dari tengah sebesar 180,4 kgm pada sudut *pitching* maksimal dan 77,3 kgm pada sudut *pitching* rata-rata.

4.3 Diskusi

Pembangkit Listrik Tenaga Hidrokinetik (PLTHk) merupakan salah satu energi baru-terbarukan yang memanfaatkan energi kinetik air untuk memutar sebuah turbin hidrokinetik yang kemudian dikonversikan ke energi listrik. Dalam pemanfaatan energi hidrokinetik terdapat tiga konfigurasi yaitu di dasar, menggunakan sistem jembatan, dan menggunakan sistem terapung dengan menggunakan ponton. Pada tugas akhir ini menggunakan pemanfaatan energi hidrokinetik dengan sistem terapung. Ponton yang digunakan pada tugas akhir ini adalah jenis katamaran atau memiliki dua lambung yang disambungkan dengan sebuah plat dan turbin hidrokinetik diletakkan diantara lambung. Diyakini bahwa model katamaran lebih stabil atau memiliki respon gerak yang lebih baik dibandingkan model monomaran ataupun model struktur lainnya (Junianto & Prastianto, 2017)(Erlangga et al., 2018). Untuk mendapatkan *actual response* dari ponton katamaran menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Variasi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah peletakan turbin pada ponton katamaran, bentuk dari ponton katamaran, dan jarak antar lambung ponton katamaran.

Hasil simulasi respon gerak ponton katamaran dengan perubahan geometri ponton dan peletakan turbin. Dengan perubahan jarak antar lambung ponton dari 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter menghasilkan respon gerak yang tidak menentu, untuk ponton dengan bentuk *outer flat* memiliki hasil sudut *pitching* maksimal fluktuatif dan untuk ponton bentuk simetri memiliki hasil semakin

bertambah besar sudut *pitching* maksimalnya setiap perubahan jarak antar lambung ponton. Untuk hasil nilai GM (tinggi metasentris) dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil Nilai GM Variasi Jarak Antar Lambung Ponton

Jarak Antar Lambung Ponton	Gambar 4.3	Gambar 4.4
0.6 m	0.75 m	0.67 m
0.75 m	1.11 m	0.97 m
0.9 m	1.47 m	1.31 m

Tabel 4.1 merupakan hasil nilai GM (tinggi metasentris) dengan pemberian variasi jarak antar lambung ponton 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter memiliki nilai GM positif atau letak titik M berada diatas titik G. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa semua variasi jarak antar lambung ponton dalam keadaan keseimbangan yang stabil (Sivaraj, 2019). Variasi jarak antar lambung ponton memberikan efek semakin lebar jarak antar lambung ponton maka akan lebih cepat kembali ke posisi awalnya, dikarenakan semakin besar nilai GM (tinggi metasentris) akan memiliki periode guling pendek atau akan cepat kembali ke posisi awalnya (Barrass & Derrett, 2006). Dengan nilai GM yang sudah didapatkan, maka bisa didapatkan nilai momen pembalik dari ponton menggunakan persamaan 2.3 yang dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Nilai Momen Pembalik pada Sudut *Pitching* Maksimal Variasi Jarak Antar Lambung Ponton

Jarak Antar Lambung Ponton	Momen Pembalik (kgm)	
	Gambar 4.3	Gambar 4.4
0.6 m	57	87,3
0.75 m	80,1	133,3
0.9 m	106,1	180,4

Dilihat dari persamaan 2.3, besar momen pembalik ini di pengaruhi jumlah massa air yang dipindahkan, nilai GM (tinggi metasentris), dan besar sudut oleng dari ponton tersebut. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa semakin lebar jarak antar lambung ponton, momen pembalik nya akan semakin besar yang akan menyebabkan ponton akan semakin cepat untuk kembali ke posisi awalnya.

Hasil simulasi respon gerak ponton katamaran dengan perubahan bentuk dari ponton yaitu ponton dengan bentuk simetri dan ponton dengan bentuk *outer flat* menghasilkan *actual response* untuk ponton dengan bentuk *outer flat* memiliki

sudut *pitching* yang lebih kecil dibandingkan dengan ponton dengan bentuk simetri. Hal tersebut dikarenakan ponton dengan bentuk *outer flat* mempunyai hambatan yang lebih kecil dibandingkan ponton dengan bentuk simetri. Dengan nilai hambatan yang lebih kecil membuat respon gerak dari ponton dengan bentuk *outer flat* lebih baik dibandingkan dengan ponton dengan bentuk simetri (Erlangga et al., 2018). Untuk hasil nilai GM bisa dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 3 Hasil Nilai GM Variasi Bentuk Ponton

Bentuk Ponton	Gambar 4.5	Gambar 4.6	Gambar 4.7
Simetri	1.31 m	1.31 m	1.31 m
Outer Flat	1.47 m	1.47 m	1.47 m

Tabel 4.3 merupakan hasil nilai GM (tinggi metasentris) dengan pemberian variasi bentuk ponton simetri dan *outer flat* memiliki nilai GM positif atau letak titik M berada diatas titik G. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa semua variasi bentuk ponton dalam keadaan keseimbangan yang stabil (Sivaraj, 2019). Ponton *outer flat* akan lebih cepat kembali ke posisi awal, karena ponton *outer flat* memiliki nilai GM yang lebih besar dibandingkan ponton simetri. Jika ponton memiliki nilai GM besar akan memiliki periode guling yang pendek, sehingga akan cepat kembali ke posisi awal (Barrass & Derrett, 2006). Dengan nilai GM yang sudah didapatkan, maka bisa didapatkan nilai momen pembalik dari ponton simetri dan ponton *outer flat.* Ponton simetri memiliki momen pembalik pada saat sudut *pitching* maksimal sebesar 226,6 kgm dan ponton *outer flat* didapatkan momen pembalik pada saat sudut *pitching* maksimal sebesar 154,3 kgm.

Actual response yang dihasilkan dari simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang telah dilakukan dengan perubahan peletakan turbin pada ponton katamaran yaitu di depan 0,25 meter dari tengah, di tengah, dan di belakang 0,25 meter dari tengah. Menghasilkan respon gerak yang semakin stabil dan memiliki sudut *pitching* yang semakin kecil untuk perubahan peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah, di tengah, dan di belakang 0,25 meter dari tengah. Hal ini dikarenakan peletakan turbin mempengaruhi kestabilan dari ponton. Ketika turbin diletakkan dibagian depan, maka bagian depan ponton akan mengalami senget/kemiringan lebih tenggelam daripada bagian belakang ponton. Jadi, ketika turbin diletakkan di depan 0,25 meter dari tengah akan mengalami sudut *pitching*

yang lebih besar dibandingkan yang diletakkan ditengah dan di belakang 0,25 meter dari tengah. Untuk variasi peletakan turbin memiliki nilai GM yang hampir sama. Lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 5.3

Tabel 4. 4 Hasil Nilai GM Variasi Peletakan Turbin

Peletakan Turbin	Gambar 4.8	Gambar 4.9	Gambar 4.10
Di depan 0.25 m dari tengah	0.67 m	0.97 m	1.31 m
Di tengah	0.67 m	0.97 m	1.31 m
Di belakang 0.25 m dari tengah	0.67 m	0.97 m	1.31 m

Tabel 4.4 merupakan hasil nilai GM (tinggi metasentris) dengan pemberian variasi peletakan turbin di depan dengan jarak 0,25 meter dari tengah, di tengah, dan di belakang dengan jarak 0,25 meter dari tengah memiliki nilai GM positif atau letak titik M berada diatas titik G. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa semua variasi bentuk ponton dalam keadaan keseimbangan yang stabil (Sivaraj, 2019). Dengan nilai GM yang sudah didapatkan, maka bisa didapatkan nilai momen pembalik dari ponton menggunakan persamaan 2.3 yang dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4. 5 Hasil Nilai Momen Pembalik pada Sudut *Pitching* Maksimal Variasi Peletakan Turbin

Peletakan Turbin	Momen Pembalik (kgm)		
	Gambar 4.8	Gambar 4.9	Gambar 4.10
Di depan 0,25 m dari tengah	112,94	164,3	226,6
Di tengah	100,3	146	197,5
Di belakang 0,25 m dari tengah	87,3	133,3	180,4

Dilihat dari persamaan 2.3, besar momen pembalik ini di pengaruhi jumlah massa air yang dipindahkan, nilai GM (tinggi metasentris), dan besar sudut oleng dari ponton tersebut. Tabel 4.5 menunjukkan bahwa semakin lebar jarak antar

lambung ponton, momen pembalik nya akan semakin besar yang akan menyebabkan ponton akan semakin cepat untuk kembali ke posisi awalnya.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab tujuan yaitu sebagai berikut:

1. Perbedaan jarak antar lambung ponton akan mempengaruhi respon gerak dari ponton tersebut. Untuk parameter ponton *outer flat* didapatkan hasil sudut *pitching* terbesar pada jarak antar lambung ponton 0,75 meter dan untuk parameter ponton simetri didapatkan hasil dengan penambahan jarak antar lambung ponton dari 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter sudut *pitching* yang dihasilkan semakin besar. Jarak antar lambung 0,6 meter, 0,75 meter, dan 0,9 meter masih dalam keseimbangan stabil atau positif, karena hasil nilai GM (tinggi metasentris) bernilai positif atau letak titik M diatas titik G.
2. Hasil respon gerak untuk ponton berbentuk simteri dan *outer flat* yaitu ponton *outer flat* memiliki sudut *pitching* yang lebih kecil dibandingkan ponton berbentuk simetri. Namun, kedua bentuk masih memiliki keseimbangan yang stabil atau positif. Karena, memiliki nilai GM yang positif atau letak titik M masih diatas titik G.
3. Peletakan turbin akan mempengaruhi respon gerak ponton katamaran. Ketika turbin diletakkan di depan 0,25 meter dari tengah, bagian depan ponton akan cenderung lebih tenggelam dari daripada bagian belakang. Ketika turbin diletakkan di tengah, maka bagian depan yang cenderung tenggelam akan memiliki sudut kemiringan yang lebih kecil dibandingkan bagian belakang. Begitupun ketika turbin diletakkan di belakang 0,25 meter dari tengah, sudut kemiringannya akan semakin kecil dibandingkan ketika turbin diletakkan di depan 0,25 meter dari tengah dan turbin diletakkan di tengah. Didapatkan hasil sudut *pitching* dengan pemindahan peletakan turbin di depan 0,25 meter dari tengah, di tengah, dan di belakang 0,25 meter dari tengah semakin mengecil, peletakan di depan 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching*

terbesar dan peletakan di belakang 0,25 meter dari tengah memiliki sudut *pitching* paling kecil dan Ketiga variasi peletakan turbin diatas masih dalam keseimbangan yang stabil atau positif. Karena memiliki nilai GM positif atau letak titik M diatas titik G.

5.2 Saran

Penelitian ini masih perlu dikembangkan lebih lanjut, maka saran yang diberikan pada penelitian ini antara:

1. Simulasi CFD dengan melakukan pendekatan untuk mempertimbangkan efek putaran turbin.
2. Membandingkan ponton katamaran dengan jenis ponton yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

Akimoto, H., Tanaka, K., & Uzawa, K. (2013). A conceptual study of floating axis water current turbine for low-cost energy capturing from river, tide and ocean currents. *Renewable Energy*, *57*, 283–288. https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.02.002

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2018). Outlook Energi Indonesia 2018. In Yudiartono, Anindhita, A. Sugiyono, L. M. A. Wahid, & Adiarso (Eds.), *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Baidowi, A., Arief, I. S., & Munib, A. (2019). Analysis of the Motion Response on the Cylindrical Platform of the Deep Sea. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, *3*(4), 118–127. https://doi.org/10.12962/j25481479.v3i4.4766

Barrass, B., & Derrett, C. R. (2006). Ship Stability for Masters and Mates. In *Ship Stability for Masters and Mates* (Fifth Edit).

Chrismianto, D., Arswendo, B. A., & Sobirin, Y. (2014). *Pengaruh Variasi Bentuk Hull Kapal Catamaran Terhadap Besar Hambatan Total Menggunakan Cfd*. *11*(2), 99–106. https://doi.org/10.12777/kpl.11.2.99-106

Djatmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak* (Issue September).

Erlangga, J., Arswendo, B., & Chrismianto, D. (2018). Studi Analisa Perbandingan Hambatan dan Stabilitas Kapal Tipe Lambung Monomaran dengan Catamaran Jalur Pelayaran Lembar NTB ke Padang Bai Bali. *Jurnal Teknik Perkapalan*, *7*(2), 152–160.

Febrianto, A., & Santoso, A. (2016). *Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin*. *5*(2).

Francescutto, A., & Papanikolaou, A. D. (2010). Buoyancy, Stability, and Subdivision: From Archimedes to SOLAS 2009 and the Way Ahead. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, *225*(1), 17–32. https://doi.org/10.1177/14750902JEME238

Guney, M. S. (2011). Evaluation and measures to increase performance coefficient of hydrokinetic turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(8), 3669–3675. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.009

Junianto, S., & Prastianto, R. W. (2017). *Motion Response Modeling of Catamaran Type for Floating Tidal Current Energy Conversion System in Beam Seas Condition*. *December*, 12–16.

Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications : A technology status review. *Applied Energy*, *86*(10), 1823–1835. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.02.017

Ladokun, L. L., Ajao, K. R., & Sule, B. F. (2013). Hydrokinetic Energy Conversion Systems : Prospects and Challenges in Nigerian Hydrological Setting. *Nigerian Journal of Technology*, *32*(3), 538–549.

Mahmashani, A. W. (2018). *Efek Kemiringan Poros Terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Tipe Darrieus - Straight Blade Cascaded*.

Mohazzabi, P. (2017). Archimedes' Principle Revisited. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, *05*(04), 836–843. https://doi.org/10.4236/jamp.2017.54073

Rachman, A., & Haluoleo, U. (2014). 5HYLHZ7ßRQWRRQDQDOWHUQDWLYHIOHĮLEDOH *cheap mounting option for the renewable decentralized river current turbine power service*. *May*.

Ramachandran, G. K. V., Robertson, A., Jonkman, J. M., & Masciola, M. D. (2013). Investigation of Response Amplitude Operators for Floating Offshore Wind Turbines. *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*, *July*, 369–376.

Sivaraj, P. (2019). A Study on Mathematichal Modelling of Ship Stability. *Internasional Journal of Multidisciplinary Research and Studies*, *02*(July).

LAMPIRAN

LAMPIRAN A Variasi Simulasi

No	Letak Turbin	Jarak Antar Ponton	Bentuk Ponton
1	depan 0.25 m dari tengah	0,6 m	Simetri
2			Outer flat
3		0,75 m	Simetri
4			Outer flat
5		0,9 m	Simetri
6			Outer flat
7	tengah	0,6 m	Simetri
8			Outer flat
9		0,75 m	Simetri
10			Outer flat
11		0,9 m	Simetri
12			Outer flat
13	belakang 0.25 m dari tengah	0,6 m	Simetri
14			Outer flat
15		0,75 m	Simetri
16			Outer flat
17		0,9 m	Simetri
18			Outer flat

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 1

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,05	0	0	-0,10	0	0	-8,01
b	Plat Penghubung	125,60	0	0	0,202	0	0	25,42
c	Item Tambahan	370,25	-0,0027	0	0,32	-1	0	118,66
		575,90				-1	0	136,07
						-0,0017	**0**	**0,2363**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,010	0,01	0	0,801	0,801	0
0	0	0,041	0,041	0,041	0	5,143	5,143	0
0,000007	0	0,103	0,103	0,103	0,000007	38,028	38,030	0,003
						43,971	43,974	0,003
						0,276	**0,276**	**0,0022**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 2

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,94	0	0	-0,10	0	0	-7,09
b	Plat Penghubung	125,60	0	0	0,20	0	0	25,42
c	Item Tambahan	388,46	-0,0026	0,00	0,32	-1,00	0	122,39
		585,00				-1,00	0	140,71
						-0,0017	**0,0000**	**0,2405**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,71	0,71	0
0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,00	5,14	5,14	0
0,0000066	0,00	0,10	0,10	0,10	0,0000066	38,56	38,56	0,0026
						44,41	44,42	0,0026
						0,276	**0,276**	**0,00210**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 3

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,05	0	0	-0,10	0	0	-8,01
b	Plat Penghubung	137,38	0	0	0,202	0	0	27,80
c	Item Tambahan	358,47	-0,0028	0	0,32	-1,00	0	116,24
		575,90				-1,00	0	136,04
						-0,0017	**0,0000**	**0,2362**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,010	0,010	0,010	0	0,801	0,801	0
0	0	0,041	0,041	0,041	0	5,625	5,625	0
0,000008	0	0,105	0,105	0,105	0	37,695	37,698	0,003
						44,120	44,123	0,003
						0,277	**0,277**	**0,0022**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 4

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,94	0	0	-0,10	0	0	-7,09
b	Plat Penghubung	137,38	0	0	0,20	0	0	27,80
c	Item Tambahan	376,69	-0,0027	0	0,32	-1,00	0	119,98
		585,00				-1,00	0	140,68
						-0,0017	**0**	**0,2405**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,71	0,71	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,62	5,62	0
0,000007	0	0,10	0,10	0,10	0,000007	38,21	38,22	0,0027
						44,55	44,55	0,0027
						0,276	**0,276**	**0,00213**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 5

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,05	0	0	-0,10	0	0	-8,01
b	Plat Penghubung	149,15	0	0	0,202	0	0	30,18
c	Item Tambahan	346,70	-0,0029	0	0,33	-1,00	0	113,83
		575,90				-1,00	0	136,01
						-0,0017	0	**0,2362**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,010	0,010	0,010	0	0,801	0,801	0
0	0	0,041	0,041	0,041	0	6,107	6,107	0
0,000008	0	0,108	0,108	0,108	0,000008	37,373	37,376	0,003
						44,281	44,284	0,003
						0,277	**0,277**	**0,0022**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 6

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,94	0,00	0,00	-0,10	0,00	0,00	-7,09
b	Plat Penghubung	149,15	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	30,18
c	Item Tambahan	364,91	-0,0027	0,00	0,32	-1,00	0,00	117,56
		585,00				-1,00	0,00	140,65
						-0,0017	**0,0000**	**0,2404**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,71	0,71	0
0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,00	6,11	6,11	0
0,000008	0,00	0,10	0,10	0,10	0,000008	37,88	37,88	0,0027
						44,69	44,69	0,0027
						0,276	**0,276**	**0,00216**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 7

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,053	0	0	-0,1	0	0	-8,0053
b	Plat Penghubung	125,6	0	0	0,20	0	0	25,4152
c	Item Tambahan	370,25	0,0041	0	0,32	1,5	0	118,658
		575,9				1,5	0	136,068
						0,0026	**0**	**0,23627**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,80	0,80	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,14	5,14	0
1,64E-05	0	0,10	0,10	0,10	1,64E-05	38,03	38,03	0,0061
						43,97	43,98	0,0061
						0,28	**0,28**	**0,0032**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 8

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,93	0	0	-0,1	0	0	-7,09
b	Plat Penghubung	125,6	0	0	0,20	0	0	25,41
c	Item Tambahan	388,46	0,0038	0	0,31	1,5	0	122,39
		585				1,5	0	140,71
						0,0025	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,71	0,71	0
0	0	0,041	0,041	0,041	0	5,14	5,14	0
1,5E-05	0	0,099	0,099	0,099	1,49E-05	38,56	38,57	0,0058
						44,41	44,42	0,0058
						0,28	**0,28**	**0,0031**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 9

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,053	0	0	-0,1	0	0	-8,01
b	Plat Penghubung	137,375	0	0	0,20	0	0	27,80
c	Item Tambahan	358,47	0,004	0	0,32	1,5	0	116,24
		575,90				1,5	0	136,04
						0,0026	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	$(y^2+ z^2)$ (1)	$(x^2+ z^2)$ (2)	$(x^2+ y^2)$ (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,80	0,80	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,62	5,62	0
1,75E-05	0	0,11	0,11	0,11	1,75E-05	37,69	37,70	0,006
						44,12	44,13	0,006
						0,28	**0,28**	**0,003**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 10

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,9	0	0	-0,1	0	0	-7,09
b	Plat Penghubung	137,4	0	0	0,20	0	0	27,80
c	Item Tambahan	376,7	0,004	0	0,32	1,5	0	119,98
		585,0				1,5	0	140,68
						0,00256	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,71	0,71	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,62	5,62	0
1,59E-05	0	0,10	0,10	0,10	1,59E-05	38,21	38,22	0,006
						44,55	44,55	0,006
						0,28	**0,28**	**0,003**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 11

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,053	0	0	-0,1	0	0	-8,0053
b	Plat Penghubung	149,15	0	0	0,20235	0	0	30,1805
c	Item Tambahan	346,7	0,00433	0	0,32833	1,5	0	113,831
		575,903				1,5	0	136,006
						0,0026	**0**	**0,23616**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,80	0,80	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	6,11	6,11	0
1,87E-05	0	0,11	0,11	0,11	1,87E-05	37,37	37,38	0,006
						44,28	44,29	0,006
						0,28	**0,28**	**0,003**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 12

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,9397	0	0	-0,1	0	0	-7,09
b	Plat Penghubung	149,15	0	0	0,20235	0	0	30,18
c	Item Tambahan	364,91	0,00411	0	0,32217	1,5	0	117,56
		585				1,5	0	140,65
						0,003	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,71	0,71	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	6,11	6,11	0
1,69E-05	0	0,10	0,10	0,10	1,69E-05	37,88	37,88	0,006
						44,69	44,70	0,006
						0,28	**0,28**	**0,003**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 13

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,053	0	0	-0,1	0	0	-8,01
b	Plat Penghubung	125,6	0	0	0,20	0	0	25,42
c	Item Tambahan	370,25	0,01	0	0,32	4	0	118,66
		575,90				4	0	136,07
						0,007	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,80	0,80	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,14	5,14	0
0,00012	0	0,10	0,10	0,10	0,00012	38,03	38,07	0,043
						43,97	44,01	0,043
						0,28	**0,28**	**0,009**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 14

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,94	0	0	-0,1	0	0	-7,09
b	Plat Penghubung	125,6	0	0	0,20235	0	0	25,42
c	Item Tambahan	388,46	0,0103	0	0,315068	4	0	122,39
		585				4	0	140,71
						0,007	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,71	0,71	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,14	5,14	0
0,00011	0	0,10	0,10	0,10	0,00011	38,56	38,60	0,041
						44,41	44,45	0,041
						0,28	**0,28**	**0,008**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 15

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,05	0	0	-0,1	0	0	-8,01
b	Plat Penghubung	137,38	0	0	0,20	0	0	27,80
c	Item Tambahan	358,47	0,01116	0	0,32	4	0	116,24
		575,90				4	0	136,04
						0,007	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,80	0,80	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,62	5,62	0
0,00012	0	0,11	0,11	0,11	0,00012	37,69	37,74	0,045
						44,12	44,17	0,045
						0,28	**0,28**	**0,009**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 16

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,9	0	0	-0,1	0	0	-7,09
b	Plat Penghubung	137,4	0	0	0,20	0	0	27,80
c	Item Tambahan	376,7	0,01062	0	0,32	4	0	119,98
		585				4	0	140,68
						0,007	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,71	0,71	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	5,62	5,62	0
0,00011	0	0,10	0,10	0,10	0,00011	38,21	38,26	0,042
						44,55	44,59	0,042
						0,28	**0,28**	**0,009**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 17

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	80,05	0	0	-0,1	0	0	-8,01
b	Plat Penghubung	149,15	0	0	0,20	0	0	30,18
c	Item Tambahan	346,70	0,01154	0	0,33	4	0	113,83
		575,90				4	0	136,01
						0,007	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,80	0,80	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	6,11	6,11	0
0,00013	0	0,11	0,11	0,11	0,00013	37,37	37,42	0,046
						44,28	44,33	0,046
						0,28	**0,28**	**0,009**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN B Perhitungan COG dan *Radius of Giration* Variasi 18

Sub.	Item	Mass (kg)	Center of Gravity (COG)			Mass * x	Mass * y	Mass * z
			x	y	z			
a	Ponton	70,94	0	0	-0,1	0	0	-7,09
b	Plat Penghubung	149,15	0	0	0,20	0	0	30,18
c	Item Tambahan	364,91	0,01096	0	0,32	4	0	117,56
		585				4	0	140,65
						0,007	**0**	**0,24**
						COG_x	**COG_y**	**COG_z**

x^2	y^2	z^2	(y^2+z^2) (1)	(x^2+z^2) (2)	(x^2+y^2) (3)	mass x (1) (m)	mass x (2) (m)	mass x (3) (m)
0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,71	0,71	0
0	0	0,04	0,04	0,04	0	6,11	6,11	0
0,00012	0	0,10	0,10	0,10	0,00012	37,88	37,92	0,044
						44,69	44,74	0,044
						0,28	**0,28**	**0,009**
						Kxx	**Kyy**	**Kzz**

LAMPIRAN C Nilai sudut *pitching* maksimal dan rata-rata

Variasi	Sudut Pitching (°)	
	Maksimum	Rata-rata
1	15,138	7,214
2	9,262	4,17
3	15,147	7,21
4	9,3	4,174
5	15,341	7,207
6	9,224	4,174
7	13,463	6,381
8	7,609	3,348
9	13,569	6,383
10	7,678	3,35
11	13,538	6,38
12	7,652	3,351
13	11,666	5,54
14	6,082	2,543
15	11,864	5,542
16	6,111	2,546
17	11,91	5,548
18	6,095	2,545

BIODATA PENULIS

Penulis lahir pada tanggal 18 Mei 1998 di Bojonegoro, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan di MIM 18 Sumberrejo (2004-2010), SMP Plus Ar-Rahmat Bojonegoro (2010-2013), dan MBI Amanatul Ummah Pacet (2013-2016). Penulis melanjutkan studinya di S-1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis mengambil bidang minat rekayasa energi dan pengkondisian lingkungan dan menjadi asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF). Pengalaman internship penulis adalah menghitung *head loss* pada pendingin *avionic systems* pada pesawat tahun 2019 di PT. Dirgantara Indonesia (Persero) Bandung. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail achmadrhomafika@gmail.