

## Pembuatan Prototipe dan Analisis Unjuk Kerja Mekanis Perahu Otonom Propulsi Tenaga Angin

Joga D. Setiawan\*, Rohman Saputro, Norman Iskandar, P. Paryanto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto Kampus UNDIP Tembalang Semarang 50275

\*E-mail: joga.setiawan@ft.undip.ac.id

### Abstract

*Wind power propulsion autonomous boat (POPTAN) is a robotic boat that moves by utilizing wind energy through the automatic control of its sails and rudders. POPTAN can be used as an ocean monitoring tool with the advantage of operating autonomously for a relatively long period. In this study, the POPTAN has a main wing and a flap to adjust the angle of attack of the main wing, the steering section to determine the direction, and the keel section to maintain stability. A dynamic simulation model of POPTAN with MATLAB was made to assess the response of the speed and direction of the boat motion, with a specific flap angle flap and rudder angle, constant wind speed, and calm seawater conditions. Measurements and calculations of the non-essential mass added to the boat were carried out. The roll and pitch motion testings were performed by varying the wind speed by 4, 6, 8, and 10 m/s for two keel configurations. It is concluded that the greater the wind speed, the higher the response speed, the higher the steady-state speed in the resultant direction dominated by the longitudinal axis direction velocity, and the steady-state angle of motion the boat will be smaller. The boat can carry non-essential mass up to 4.5 kg. In the roll motion test, the results of the 2<sup>nd</sup> keel showed better performance than the 1<sup>st</sup> keel, based on the value of the oscillation period and damping constant.*

**Keywords:** Ocean monitoring, autonomous boat, dynamic simulation, wind-power propulsion

### Abstrak

Perahu otonom propulsi tenaga angin (POPTAN) adalah perahu robotik yang memanfaatkan energi angin sebagai pendorong dan mampu mengendalikan layar dan kemudinya secara otomatis. POPTAN dapat digunakan sebagai alat pemantauan wilayah perairan laut dengan kelebihan dapat melakukan operasi secara otonom dalam jangka waktu yang relatif panjang. Pada penelitian ini, POPTAN terdiri dari bagian layar yaitu sayap utama dan *flap* untuk mengatur sudut serang sayap utama, bagian kemudi untuk menentukan arah, dan bagian *keel* untuk menjaga kestabilan. Dibuat model simulasi dinamika POPTAN dengan MATLAB untuk mengetahui respon kecepatan dan arah gerak perahu, dengan sudut defleksi flap dan sudut *rudder* tertentu, kecepatan angin konstan, dan kondisi air laut tenang. Selain itu, dilakukan pembuatan prototipe perahu otonom, kemudian dilakukan pengukuran dan perhitungan massa non-esensial yang dapat ditambahkan ke dalam perahu. Serta dilakukan pengujian gerak *roll* dan *pitch* dengan memvariasikan kecepatan angin sebesar 4, 6, 8, dan 10 m/s dan variasi *keel* ke-1 dan ke-2, diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin tinggi kecepatan respon, semakin tinggi kecepatan *steady state* pada arah resultan yang didominasi oleh kecepatan arah sumbu longitudinal, dan sudut gerak *steady state* perahu akan semakin kecil. Besar massa maksimal non-esensial yang dapat ditambahkan ke dalam perahu adalah sebesar 4.5 kg. Pada pengujian gerakan *roll* diperoleh hasil *keel* ke-2 menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan *keel* ke-1, berdasarkan nilai periode osilasi dan konstanta redaman.

**Kata kunci:** Pemantauan perairan, perahu otonom, simulasi dinamika, propulsi tenaga angin

### 1. Pendahuluan

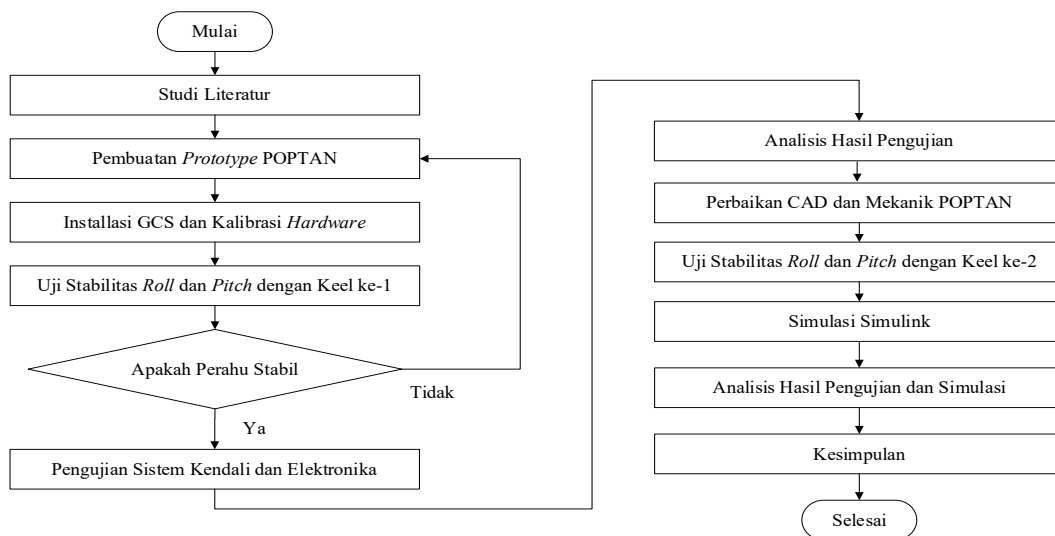
Laut Indonesia tidak hanya menyediakan sumber makanan dan obat-obatan bagi manusia tetapi juga menyediakan kandungan mineral dan pertambangan di dasar laut. Indonesia merupakan pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yang menyebabkan timbulnya gunung berapi yang kaya dengan mineral logam seperti emas, perak, timah, timbal, tembaga, dan nikel. Dari 60 cekungan minyak dan gas di seluruh wilayah Indonesia, 70 % berada di laut, dan cadangan minyak bumi sebesar 9,1 mineral barel sebagian besar berada di perairan lepas (*offshore*). Ini menunjukkan bahwa betapa besarnya potensi kelautan, khususnya minyak, gas bumi dan mineral yang berada di wilayah Indonesia [1-3]. Selain dari besarnya potensi, berbagai bencana alam dapat datang dari wilayah perairan. Diantaranya adalah banjir, tsunami, letusan gunung bawah laut, dan erupsi limnik. Diantara berbagai bencana, tsunami Samudera Hindia yang menyapu Aceh menyebabkan jumlah korban jiwa yang tinggi [4].

Untuk memaksimalkan pemanfaatan potensi dan mencegah dampak bencana alam yang lebih besar maka diperlukan pemantauan yang baik pada kondisi wilayah perairan. Selain itu untuk mendukung program kemaritiman Indonesia dalam upaya memperkuat jati diri sebagai negara maritim, dan pengembangan ekonomi maritim dan kelautan [2, 5]. Teknologi yang digunakan untuk pemantauan wilayah laut sejauh ini adalah stasiun cuaca dan satelit yang memiliki harga dan biaya operasional yang mahal, sehingga tidak semua tempat dapat terpantau. Maka dari itu diperlukan suatu alat yang dapat membantu survei laut dengan memperoleh data pengukuran jangka panjang, melaporkan polusi, data hidrografi, topografi dan meteorologi, dll. dengan harga yang relatif lebih murah.

Alat yang ideal untuk tugas tersebut ialah *Unmanned Surface Vehicle* (USV) yaitu suatu kapal tanpa awak yang dapat mengendalikan dirinya sendiri sesuai dengan yang telah diprogram oleh operator yang dilengkapi dengan sensor pendukung untuk memetakan topografi perairan. Perahu otonom bisa menjadi alternatif yang bermanfaat dan murah untuk kapal penelitian komersial[6]. Perahu layar otonom digunakan sebagai *platform* pemantauan atau pengumpulan data di lautan karena kelebihanannya yaitu dapat beropersai dalam jangka waktu yang relative lama (sekitar 1 tahun), bisa membawa banyak sensor, mengirim data secara *realtime*, dan pemasangan relatif mudah dan terjangkau dibandingkan stasiun cuaca dan satelit. Sebuah gerakan perahu otonom menggunakan *input control* yang ditentukan oleh algoritma berdasarkan kondisi lingkungan dan data titik tujuan[7-8].

## 2. Material dan Metode Penelitian

Kerangka pikir penelitian yang terdiri dari 12 tahap seperti ditunjukkan pada Gambar 1, antara lain dilakukan studi literatur untuk mencari informasi mengenai perahu otonom, kemudian dilanjutkan pembuatan *prototype* dengan skematik komponen elektronika seperti pada Gambar 2.a kemudian dilanjutkan dengan pengujian *roll*, *pitch*, dan sistem kendali dan elektronika dengan variasi bentuk *keel*. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan membuat model dinamik pada Matlab Simulink dengan ilustrasi gerak perahu dan gaya-gaya yang bekerja ditunjukkan pada Gambar 2.b.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Skematik diagram pada Gambar 2.a digunakan hanya untuk keperluan uji coba. Dalam diagram tersebut garis berwarna merah menunjukkan aliran arus listrik, garis warna hitam menunjukkan transfer sinyal/data menggunakan kabel, dan garis putus-putus menunjukkan transfer data secara nirkabel. Sedangkan dalam pembuatan blok diagram simulasi digunakan skema dengan asumsi perahu berlayar dengan sudut *rudder*  $\delta_r = -15^\circ$ , sudut *flap*  $\delta_f = 4^\circ$ , dan sudut serang layar sayap  $\alpha_s = 12.8^\circ$ , serta tidak ada ombak dan arus air.

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan diagram benda bebas pada gambar 2. B dilakukan penghitungan menggunakan persamaan 1, yaitu:

$$F = \vec{F}_L + \vec{F}_D + \vec{R}_{A1} + \vec{R}_{A2} + \vec{R}_V + \vec{D}_{yr} + \vec{D}_{xr} + \vec{D}_H \quad (1)$$

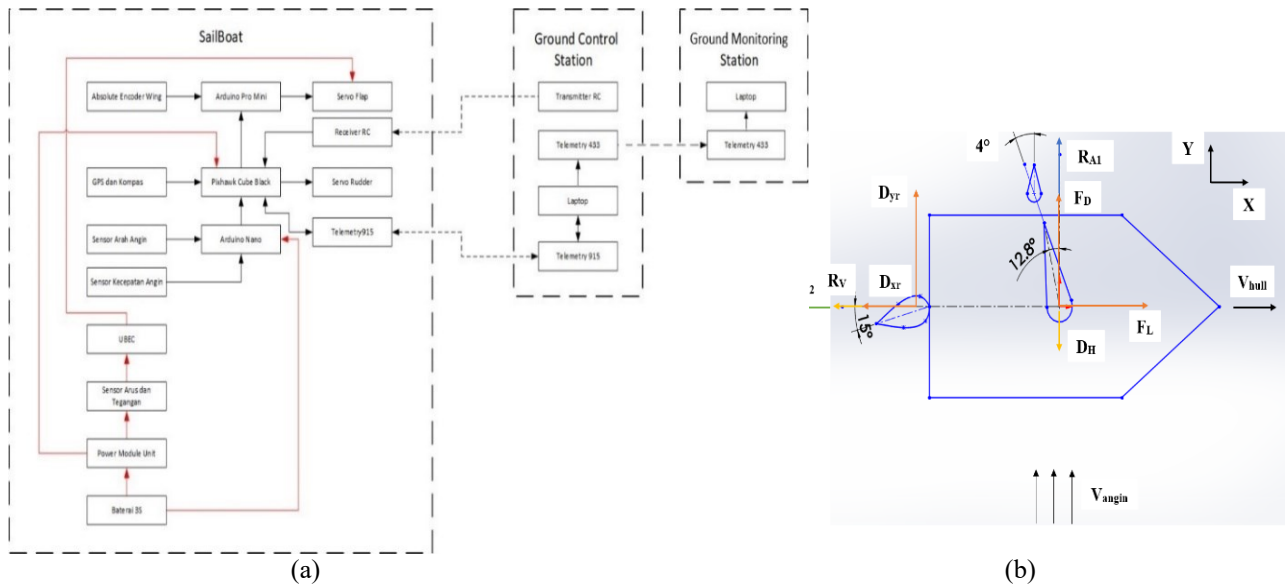
Diperoleh persamaan akhir yaitu pada saat menggunakan *keel* ke-1 dan *keel* ke-2 sebagai berikut:

Persamaan untuk perahu menggunakan *keel* ke-1

$$22.98\dot{v} = \left( 0.28V_{\text{angin}}^2 - 0.03V_x - \frac{25.1625V_x^2}{(4.182 + \log V_x)^2} - 0.6V_x^2 \right) i + \left( 0.016V_{\text{angin}}^2 + 0.13V_{\text{angin}} + 2.23V_x^2 - 146.2V_y^2 \right) j$$

Persamaan untuk perahu menggunakan *keel* ke-2

$$22.98\dot{v} = \left( 0.28V_{\text{angin}}^2 - 0.03V_x - \frac{29.3163V_x^2}{(4.182 + \log V_x)^2} - 0.6V_x^2 \right) i + \left( 0.016V_{\text{angin}}^2 + 0.13V_{\text{angin}} + 2.23V_x^2 - 193.11 V_y^2 \right) j$$

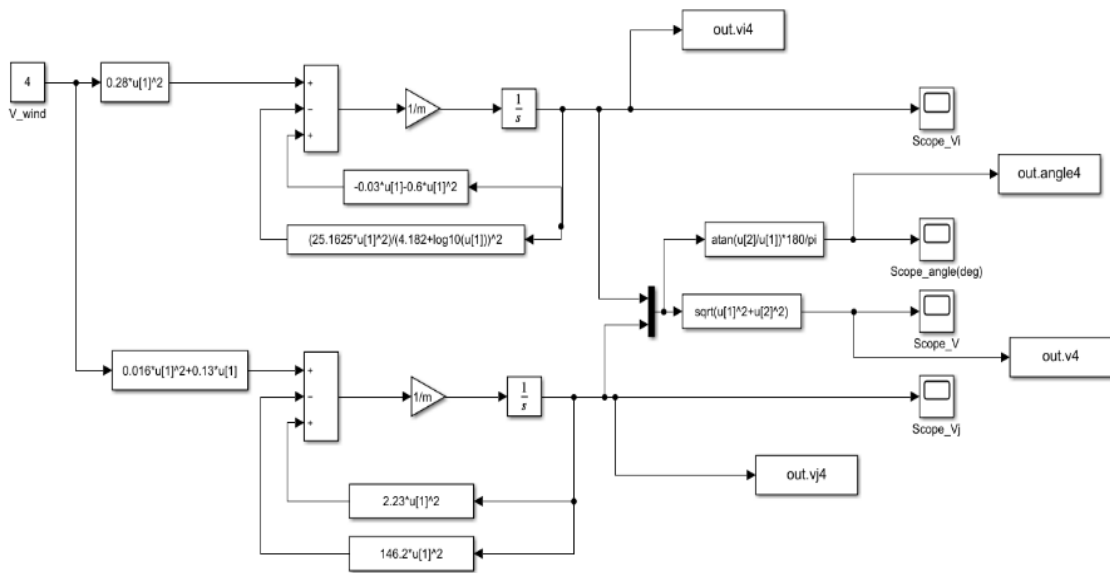


Gambar 2. (a) Skematik komponen elektronika, (b) Ilustrasi gerak perahu

Tabel 1. Hitungan matematis blok diagram Simulink

No.	Keterangan	Persamaan	Data Inputan	Hasil (N)
1.	Aerodinamis Wing	$F_L = C_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{\text{angin}}^2 \cdot A$ $F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{\text{angin}}^2 \cdot A$	$C_D = 0.05$ ; $C_L = 0.9$ ; $A = 0.507 \text{ m}^2$ ; $\rho = 1.226 \text{ kg/m}^3$	$F_L = 0.28 V_{\text{angin}} \text{ i}$ $F_D = 0.016 V_{\text{angin}}^2 \text{ j}$
2.	Aerodinamis Hull	$R_{A1} = \xi_A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_s \cdot V_{\text{angin}}$ $R_{A2} = \xi_A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_d \cdot V_x$	$A_s = 0.2111 \text{ m}^2$ ; $A_d = 0.0508 \text{ m}^2$	$R_{A1} = 0.13 V_{\text{angin}} \text{ j}$ $R_{A2} = -0.03 V_x \text{ i}$
3.	Hambatan kental Hull dan Keel ke-1	$R_v = (1+k) C_f \left( \frac{1}{2} \rho V_x^2 \right) S_{\text{tot}}$ $R_c = \frac{v_x L}{v}; C_f = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2}$ $1+k = 1+k_1 + (1+k_2 - (1+k_1)) \cdot \frac{S_{\text{app}}}{S_{\text{tot}}}$	$LWL = 1.27 \text{ m}$ ; $v = 8.356 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; $1+k_1 = 1.012$ ; $1+k_2 = 1.4$ ; $S_{\text{app}} = 0.137 \text{ m}^2$ ; $S_{\text{tot}} = 0.61 \text{ m}^2$	$R_v = -\frac{25.1625 V_x^2}{(4.182 + \log V_x)^2} \text{ i}$
4.	Hambatan kental Hull dan Keel ke-2	$R_v = (1+k) C_f \left( \frac{1}{2} \rho V_x^2 \right) S_{\text{tot}}$ $R_c = \frac{v_x L}{v}; C_f = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2}$ $1+k = 1+k_1 + (1+k_2 - (1+k_1)) \cdot \frac{S_{\text{app}}}{S_{\text{tot}}}$	$S_{\text{app}} = 0.216 \text{ m}^2$ ; $S_{\text{tot}} = 0.69 \text{ m}^2$	$R_v = -\frac{29.3163 V_x^2}{(4.182 + \log V_x)^2} \text{ i}$
5.	Hull dan Keel ke-1 arah sway	$D_h = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_y^2 \cdot A_s$	$C_D = 1.36$ ; $A_s = 0.215 \text{ m}^2$	$D_{h1} = -146.2 V_y^2 \text{ j}$
6.	Hull dan Keel ke-2 arah sway	$D_h = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_y^2 \cdot A_s$	$C_D = 1.57$ ; $A_s = 0.246 \text{ m}^2$	$D_{h2} = -193.11 V_y^2 \text{ j}$
7.	Hidrodinamis Rudder	$F_x = F \sin \delta_r$ $F_y = F \cos \delta_r$	$A = 0.0089 \text{ m}^2$ ; $\delta_r = 15^\circ$	$D_{xr} = -0.6 V_x^2 \text{ i}$ $D_{yr} = 2.23 V_x^2 \text{ j}$

Hasil akhir pengitungan kedua persamaan diatas diubah menjadi blok diagram seperti pada Gambar 3, yang kemudian disimulasikan dengan variasi kecepatan angin sebesar 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s, dan 10 m/s. Simulasi ini dilakukan untuk melihat besar kecepatan respon sistem (*time constant*), kecepatan arah sumbu x (longitudinal) dan y (lateral), kecepatan arah resultan, dan sudut gerak perahu.



Gambar 3. Blok diagram simulink

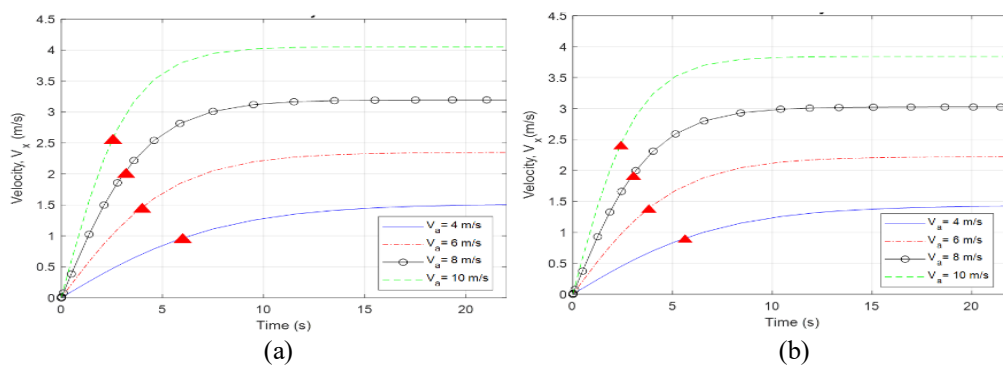
Kemudian untuk membandingkan kestabilan perahu yang menggunakan *keel* ke-1 dan *keel* ke-2, dilakukan uji *roll* dan *pitch* dengan cara memberikan simpangan tertentu. Kemudian dilepaskan dan dibiarkan berosilasi hingga kembali ke posisi semula. Data hasil pengujian *roll* dan *pitch* direkam secara otomatis dalam *data flash* Pixhawk, seperti yang terlihat pada Gambar 8.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Simulink MATLAB

##### 3.1.1 Kecepatan Arah Sumbu X (longitudinal)

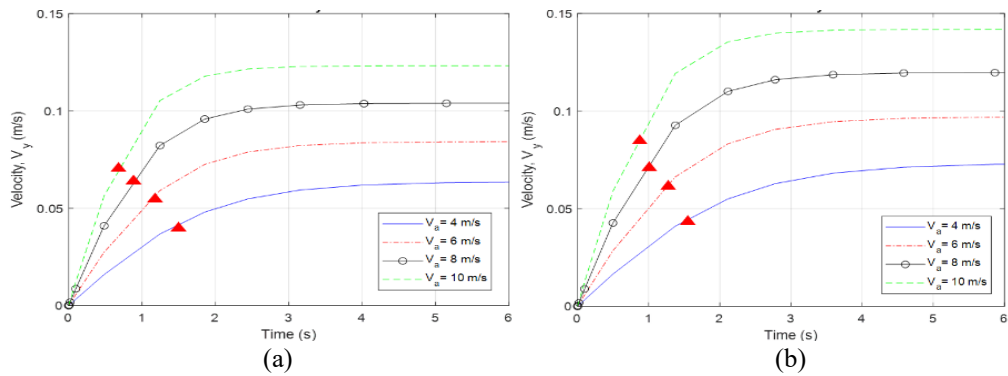
Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa semakin tinggi nilai kecepatan angin maka nilai *time constant* akan semakin rendah. Namun, kecepatan *steady state* perahu pada arah sumbu x akan semakin tinggi dikarenakan semakin besarnya gaya *lift* yang dihasilkan oleh layar sayap. Selain itu, *keel* ke-1 memiliki nilai *time constant* yang selalu lebih besar dibandingkan *keel* ke-2, dan hasilnya *keel* ke-1 mengakibatkan *magnitude* kecepatan *steady state* arah sumbu x selalu lebih tinggi dari *keel* ke-2, hal ini disebabkan besarnya gaya *drag* arah sumbu x dari *keel* ke-1 lebih kecil dibandingkan *keel* ke-2.



Gambar 4. Kecepatan Arah Sumbu X dengan a) *Keel* ke-1, b) *Keel* ke-2

##### 3.1.2 Kecepatan Arah Sumbu Y (lateral)

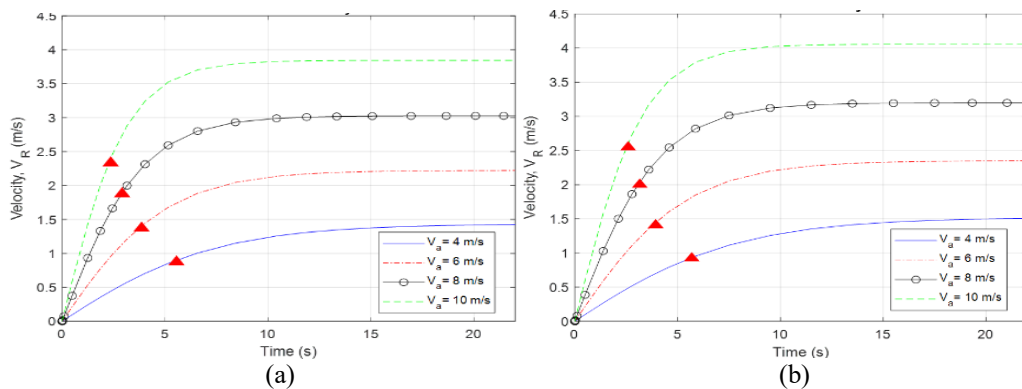
Berdasarkan Gambar 5 diketahui bahwa semakin tinggi nilai kecepatan angin maka nilai *time constant* akan semakin rendah. Namun, kecepatan *steady state* perahu arah sumbu y semakin tinggi dikarenakan gaya *drag* yang dihasilkan layar sayap semakin besar. Selain itu, *keel* ke-1 memiliki nilai *time constant* yang selalu lebih besar dibandingkan *keel* ke-2, dan hasilnya *keel* ke-1 mengakibatkan *magnitude* kecepatan *steady state* arah sumbu y selalu lebih tinggi dari *keel* ke-2, hal ini disebabkan *keel* ke-1 memiliki gaya *drag* arah sumbu y yang lebih kecil dibandingkan *keel* ke-2.



Gambar 5. Kecepatan Arah Sumbu Y dengan a) Keel ke-1, b) Keel ke-2

### 3.1.3 Kecepatan Arah Resultan

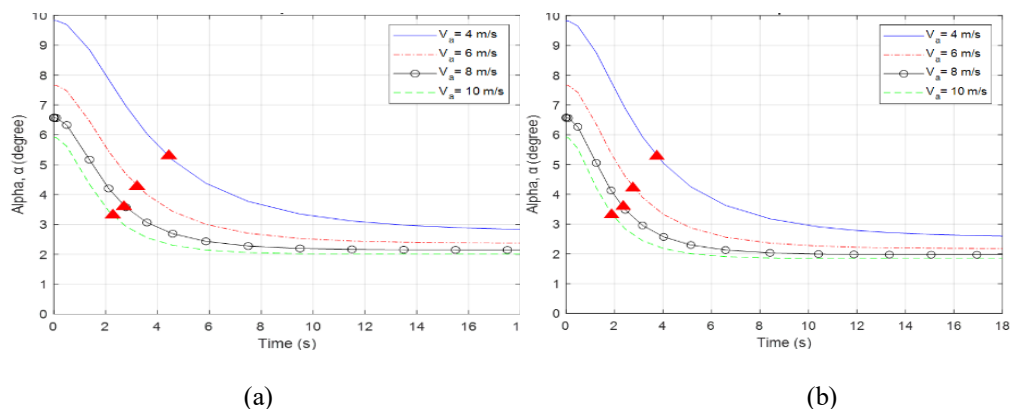
Berdasarkan Gambar 4.6 diketahui bahwa semakin tinggi nilai kecepatan angin maka nilai *time constant* akan semakin rendah. Namun, kecepatan *steady state* perahu arah resultan semakin tinggi nilai resultan. Selain itu, keel ke-1 memiliki nilai *time constant* yang selalu lebih besar dibandingkan keel ke-2, dan hasilnya keel ke-1 mengakibatkan *magnitude* kecepatan *steady state* arah resultan selalu lebih tinggi dari keel ke-2. Dari hasil *plotting* pada Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 diketahui bahwa kecepatan arah sumbu x memiliki nilai *time constant* yang lebih lama dibandingkan dengan *time constant* kecepatan arah sumbu y. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem didominasi oleh kecepatan arah sumbu x.



Gambar 6. Kecepatan Arah Resultan dengan a) Keel ke-1, b) Keel ke-2

### 3.1.4 Sudut Gerak Perahu ( $\alpha$ )

Berdasarkan Gambar 4.7 diketahui bahwa semakin tinggi nilai kecepatan angin maka nilai *time constant* akan semakin rendah. Namun, sudut gerak perahu *steady state* ( $\alpha_{ss}$ ) semakin tinggi. Hal ini diakibatkan sudut alpha dipengaruhi oleh kecepatan arah sumbu y sehingga semakin besar kecepatan arah sumbu y maka sudut  $\alpha$  akan semakin besar. Selain itu, keel ke-1 memiliki nilai *time constant* yang selalu lebih besar dibandingkan keel ke-2, dan hasilnya keel ke-1 mengakibatkan *magnitude* sudut alpha *steady state* selalu lebih tinggi dibandingkan keel ke-2. Hal ini diakibatkan oleh besarnya gaya drag arah sumbu y dari keel ke-1 lebih kecil dibandingkan keel ke-2.



Gambar 7. Alpha Sudut Gerak Perahu dengan a) Keel ke-1, b) Keel ke-1

### 3.2 Hitungan Massa Maksimal Non-Esensial

Berdasarkan data Solidworks diketahui nilai volume total perahu sebesar 0.02751 m<sup>3</sup>, sehingga dengan menggunakan persamaan 2 diperoleh nilai gaya apungnya sebagai berikut:

$$F = \rho_{air} g V_{celup} \tag{2}$$

Dari persamaan (2) didapatkan besar gaya apung dari hull adalah 269.88 N, sehingga perahu mampu menahan benda dengan massa maksimal sebesar 27.51 kg. Besar nilai massa esensial dari perahu otonom adalah seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2** Massa Esensial Perahu Otonom

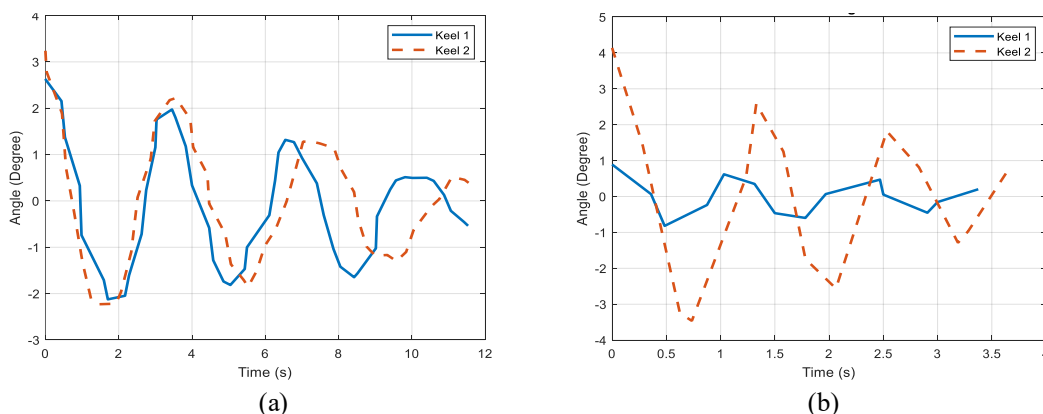
No	Komponen	Massa (gram)
1	Hull	5500
2	Keel	10000
3	Wing	1600
4	Rudder	300
5	Dudukan wing	1500
6	Box elektronik	1000
7	Sensor angin	1000
8	Tutup hull	500
9	Baterai	650
10	encoder	100
11	Mass balancing	200
12	Flap	250
13	Antena RC	100
14	Antena telemetri	100
15	Servo rudder	100
16	Servo flap	80
<b>Total</b>		<b>22980</b>

Berdasarkan hasil penghitungan maka perahu otonom masih bisa ditambahkan benda/sensor-sensor (non-esensial) dengan massa maksimal sebesar 4.53 kg. Nilai ini diverifikasi dengan melakukan pengujian secara langsung didalam air dengan memasukkan pemberat dengan massa 4.5 kg dan diperoleh hasil *waterline* yang sama.

### 3.3 Uji Stabilitas Roll dan Pitch.

Berdasarkan hasil plot pengujian *roll* dan *pitch* pada gambar 4.8 diketahui bahwa pengujian ini adalah getaran teredam (*underdamped*). Gaya pembalik yang dihasilkan oleh keel berkurang oleh gaya peredam yang dihasilkan oleh air. Hal ini mengakibatkan amplitudo osilasi semakin lama semakin berkurang hingga akhirnya menjadi nol dengan mengikuti pola penurunan dinamika sistem osilasi orde 2 seperti pada persamaan 3.

$$X(t) = Ae^{-\frac{bt}{2m}}; b = -\frac{2m}{t} \ln \frac{x}{A} \tag{3}$$



**Gambar 8.** (a) Plot Pengujian *roll* Keel ke-1 dan Keel ke-2, (b) Plot Pengujian *pitch* Keel ke-1 dan Keel ke-2

Dari plot pada Gambar .8 dengan menggunakan data simpangan ke-2 dan ke-3 diperoleh hasil pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil perhitungan dari grafik plot pengujian *roll* dan pengujian *pitch*

Pengujian Roll			
Keel	Periode	Frekuensi	Nilai Redaman
Keel ke-1	$(T_1) = 6.547 - 3.454 = 3.093$ s	$(F_1) = \frac{1}{T_1} = 0.32$ Hz	$b = -\frac{2 \times 27.5}{3.093} \ln \frac{1.317}{1.974} = 7.2$ Ns/m
Keel ke-2	$(T_2) = 7.031 - 3.562 = 3.469$ s	$(F_2) = \frac{1}{T_2} = 0.29$ Hz	$b = -\frac{2 \times 27.5}{3.469} \ln \frac{1.28}{2.22} = 8.73$ Ns/m
Pengujian Pitch			
Keel	Periode	Frekuensi	Nilai Redaman
Keel ke-1	$(T_1) = 2.469 - 1.031 = 1.438$ s	$(F_1) = \frac{1}{T_1} = 0.7$ Hz	$b = -\frac{2 \times 27.5}{1.438} \ln \frac{0.47}{0.619} = 10.53$ Ns/m
Keel ke-2	$(T_2) = 2.532 - 1.329 = 1.203$ s	$(F_2) = \frac{1}{T_2} = 0.83$ Hz	$b = -\frac{2 \times 27.5}{1.203} \ln \frac{1.819}{2.583} = 16.03$ Ns/m

Berdasarkan hasil perhitungan nilai konstanta redaman (b) diperoleh kesimpulan sementara bahwa *keel* ke-2 pada pengujian *roll* menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan *keel* ke-1 dikarenakan memiliki nilai konstanta redaman yang lebih tinggi. Selain itu, pada pengujian *pitch* diperoleh hasil bahwa *keel* ke-2 menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding menggunakan *keel* ke-1 berdasarkan nilai koefisien redaman yang dihasilkan lebih besar dari *keel* ke-1. Hal diakibatkan pada *keel* ke-1 distribusi massa mayoritas berada pada *hull*, sedangkan pada *keel* ke-2 distribusi massa mayoritas berada pada *keel* sehingga posisi *center of gravity* lebih ke bawah dan kestabilan perahu menjadi lebih baik.

Berdasarkan data hasil pengujian *pitch*, besar *sampling rate* antara 0.031 s hingga 0.5 s. Meskipun besar periode osilasi pengujian *pitch* adalah 1.203 s namun dengan besar *sampling rate* 0.5 s diperkirakan adanya fenomena bergesernya frekuensi tinggi gelombang menjadi lebih rendah yang diakibatkan pemilihan *sampling period* yang terlalu besar. Sehingga kendala pada pengujian ini terdapat pada keterbatasan komponen elektronika yang digunakan dan memerlukan uji ulang dengan sistem data akuisisi yang memiliki *sampling period* yang lebih kecil.

#### 4. Kesimpulan

Hasil simulasi gaya aerodinamis dan hidrodinamis perahu otonom pada kecepatan angin 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s, dan 10 m/s, diperoleh bahwa semakin besar kecepatan angin ( $V_a$ ) maka semakin tinggi kecepatan respon (*time constant* ( $\tau$ ) semakin kecil) dan pada arah resultan semakin tinggi kecepatan *steady statenya* ( $V_{Rss}$ ) yang didominasi oleh kecepatan pada arah sumbu x ( $V_x$ ). Selain itu semakin besar kecepatan angin maka sudut gerak perahu *steady state* ( $\alpha_{ss}$ ) akan semakin kecil. Berdasarkan proses pemodelan di *software* Solidworks dan pengujian secara langsung di kolam renang diperoleh nilai kapasitas muatan non-esensial sebesar 4.5 kg. Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa *keel* ke-1 memiliki nilai *time constant* ( $\tau$ ) dan kecepatan *steady state* arah resultan ( $V_{Rss}$ ) yang selalu lebih besar dibandingkan *keel* ke-2. Kemudian pengaruh terhadap kestabilan, yaitu *keel* ke-2 menunjukkan hasil gerakan osilasi *roll* yang lebih baik dibandingkan *keel* ke-1, berdasarkan nilai periode osilasi dan konstanta redaman. Sedangkan pada uji gerak *pitch* perlu dilakukan data akuisisi ulang menggunakan *sampling period* yang lebih kecil.

#### Daftar Pustaka

- [1] Paonangan, 2012, "9 Perspektif Menuju Masa Depan Maritim Indonesia," Yayasan Institut Maritim. Jakarta.
- [2] Diposaptono, S., 2017, "Membangun Poros Maritim Dunia: Dalam Perspektif Tata Ruang Laut," Kementerian Kelautan dan Perikanan, Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang laut, Direktorat Penencanaan Ruang Laut. Jakarta Pusat.
- [3] BPS, 2021, "Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir 2021," Subdirektorat Statistik Lingkungan Hidup, Jakarta.
- [4] Nakai, H., 2018, "Tsunami evacuation simulation using geographic information systems for homecare recipients depending on electric device," PLOS ONE, Kanazawa.
- [5] Kebijakan Kelautan Indonesia, 2017, "Indonesia: Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 16."
- [6] Tretow, C., 2017, "Design of a free-rotating wing sail for an autonomous sailboat," KTH Royal Institute Of Technology.
- [7] Setiawan, J.D., 2020, "Development of Dynamic Model of Autonomous Sailboat for Simulation and Control" 2020 7th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Indonesia.
- [8] Setiawan, J.D., 2019, "Experimental Study on the Aerodynamic Performance of Autonomous Boat with Wind Propulsion and Solar Power," Proceeding of the 6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT).