

Pemodelan Sistem Kontrol Stabilizer PWM Motor Thruster Menggunakan Electric Speed Controller Pada Prototipe Autonomous Tourism Surface Vessel Berbasis PID

Ahmad Syafiq I'tishom

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: ahmad.20007@mhs.unesa.ac.id

Agus Wiyono¹, Muhamad Syariffuddin Zuhrie², Lusia Rakhmawati³

¹S1 Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

²S1 Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya

³S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, universitas Negeri Surabaya

e-mail: aguswiyono@unesa.ac.id, zuhrie@unesa.ac.id, lusiarakhmawati@unesa.ac.id

Abstrak

Prototipe ATSV (*Autonomous Tourism Surface Vessel*) adalah sebuah prototipe kapal otomatis yang bergantung pada akurasi dan ketepatan untuk mengoperasikan misi secara otomatis. Sistem kontrol pada prototipe ATSV menggunakan metode kontrol PID (*Proportional – Intergral - Derivative*) yang merupakan instrumen yang digunakan sebagai kontrol untuk mengatur nilai kecepatan dengan menggunakan mekanisme umpan balik sehingga bisa memaksimalkan nilai yang akurat dan stabil. Kendali PID adalah opsi yang sangat efisien untuk mengarahkan sesuai dengan posisi target dan parameter yang optimal. Tujuan dari penelitian berikut adalah sebagai sarana perancangan kontrol PID untuk menjaga keluaran aktual dari suatu proses berdasarkan *setpoint*. Integrasi dari sistem kontrol PID terhubung pada motor *thruster* yang merupakan pengembangan teknologi pendorong yang dipasang pada kapal-kapal tertentu untuk membantu pergerakan kapal. Unit pendorong terdiri dari suatu *propeller* yang berada dalam sebuah *tunnel* melintang kapal dan dilengkapi dengan suatu alat bantu seperti motor *brushless*. Perancangan sistem kontrol tersebut tergantung dengan titik koordinat kapal yang digunakan pada sensor GPS dan Kompas, hal tersebut sebagai input titik acuan sebagai set point yang digunakan untuk operasional. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada variabel sistem yang dihasilkan pada PID dapat dikonversikan pada ESC dengan *output* PWM sehingga bisa memiliki hasil yang optimal untuk sarana oprasional kapal dengan akurasi yang presisi dan estimasi waktu yang efisien sehingga mengurangi nilai *error* pada saat operasional.

Kata Kunci: Sistem Kendali PID, *Driver* ESC (*Electric Speed Controller*), PWM, Motor *Thruster*, GPS dan Sensor Kompas.

Abstract

The ATSV (*Autonomous Tourism Surface Vessel*) prototype is an automated vessel that relies on precision and accuracy to operate missions automatically. The control system on the ATSV prototype uses the PID (*Proportional-Integral-Derivative*) control method, which is an instrument used to regulate speed values using a feedback mechanism, ensuring accurate and stable outputs. PID control is a highly efficient option for steering according to optimal targets and parameters. The aim of this research is to design a PID control system that maintains the actual output of a process based on a *setpoint*. The integration of the PID control system is connected to the propulsion motor, a development in propulsion technology installed on certain ships to assist in their movement. The propulsion unit consists of a propeller located in a transverse ship tunnel, equipped with an auxiliary device such as a brushless motor. The design of the control system depends on the ship's coordinates used in the GPS and Compass sensors, which serve as input reference points for operations. The results of this research show that system variables produced by PID can be converted to ESC with PWM output, achieving optimal results for ship operational facilities with precise accuracy and efficient time estimation, thereby reducing error values during operations.

Keywords: PID Control System, ESC (*Electric Speed Controller*) Driver, PWM, Thruster Motor, GPS dan CompassSensor.

PENDAHULUAN

Di zaman yang semakin berkembang, perkembangan era teknologi telah membawa perubahan secara drastis di berbagai bidang, termasuk pada sektor perkapalan. Digitalisasi serta bidang teknologi yang memberikan dampak pada industri, mencakup otomatisasi dalam bidang otomasi dan perkembangan teknologi, serta memberikan jalan untuk peningkatan *efesiens*, peningkatan *safety*, dan potensi yang menarik. Pada artikel ini, penulis mengeksplorasi perihwal inovasi terbaru telah mempresentasikan teknologi, meriliskan era baru yang kaya akan potensi dan tantangan.

KKI (Kontes Kapal Indonesia) merupakan kompetisi yang diadakan oleh Pusat Prestasi Nasional di setiap tahunnya, sebagai platform bagi mahasiswa bertalenta untuk pengembangan teknologi terbaru di sektor maritim dalam aspek Pertahanan, Teknologi, dan Wisata.

Pengembang inovasi niscaya sangat efektif jika di *demo* kan dahulu dengan media *prototype*, yang dapat memaksimalkan inovasi. *Prototype* adalah miniatur yang mudah di implementasikan dalam mengilustrasikan rancangan untuk mengurangi kesalahan teknis yang segera di impementasikan di kapal nyata. Secara umum, UVS terbagi dalam kelas yang ditentukan oleh lingkungan pengoperasiannya (udara, darat, dan laut), otonomi dan ukuran, yang pada gilirannya menentukan berat, konfigurasi muatan, ketahanan, misi, dll (Lakhmi, 2009).

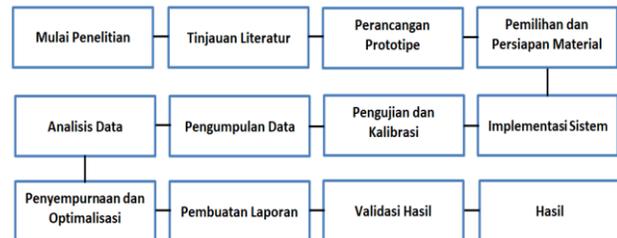
Problematika yang sering terlihat saat penerapan *prototype* yakni terdapat pada kontrol teknis otomatis. Konfigurasi dan inisialisasi teknis harus tepat dengan spesifikasi misi yang ditetapkan (Andrew.dkk 2018), namun pada tahap pembangunan strategi yang akan di implementasikan sesuai yang dipertimbangkan sistem kendali yang *minim* pengeluaran pada *budget* dengan sekurang-kurangnya sehingga dapat terwujudkan perancangan teknis yang akurat dan hemat.

Kendali PID adalah pilihan yang sangat sesuai sebagai metode yang handal untuk di implementasikan dalam segi teknis kendali yang memprioritaskan kepresisian sehingga sangat sedikit kesalahan sistem yang dihasilkan dalam per-inisialisasi (Kwong, dkk 2012). Kendali PID mempengaruhi terhadap respon proses yang berupa *pwm*, *Inverter* termodulasi PWM seringkali ditemukan menjadi penyebab utama kegagalan konversi sinyal pada sistem penggerak motor utama. Secara khusus, semua *inverter* menghasilkan tegangan mode umum relatif terhadap *grounding*. Tegangan menyediakan arus kopling atau bantalan melalui parasit motor kapasitansi terhadap besi rotor yang mengalir melalui bantalan ke kotak motor yang dibumikan (Shaotang.dkk. 1996), hal tersebut merupakan modulasi lebar pulsa yang menghasilkan sebuah perintah sebagai sarana integrasi

komunikasi masukan data analog kepada *dc brushless* (Rawr, 2014).

METODE PENELITIAN

Tahapan yang digunakan sebagai kendali *stabilizer* pada prototipe kapal ATSV dengan mengaplikasikan sistem PID yang terdapat di Gambar 1 seperti dibawah.



Gambar 1. Alur Penelitian

Prioritas awal oleh sistem pada penelitian ini yaitu untuk mengoptimalkan model *stabilizer* yang berperan untuk pengendali untuk kontrol penggerak. Pengoptimalan bertujuan untuk memberikan dampak pada propulsi sehingga dapat menghasilkan kinerja lebih baik terhadap pengaruh thruster dan memberikan respon yang sangat akurat apabila melakukan pergerakan dan transmisi lewat *tracking* halangan.

Melalui penerapan perancangan tersebut, diharapkan dapat memaksimalkan stabilisasi yang mengoptimalkan kerja keseluruhan metode kendali. Dampak sangat penting terhadap pada waktu implementasi yang membutuhkan kepresisian akurat atau transmisi yang memerlukan pembacaan secara akurat pada perpindahan nilai rintangan. Perihal lain, pengoptimalan ini ditujukan untuk memastikan bahwa sistem memiliki kemampuan untuk menanggapi dengan cepat dan tepat saat menghadapi rintangan, *result* penangkapan rintangan yang benar dan menghasilkan data efektif.

Selaras dengan target utama, variabel yang digunakan pada masa uji coba dan analisa diharapkan memberikan hasil maksimal sesuai tujuan awal dan target yang telah ditentukan. Oleh karena itu, model perencanaan tersebut berfokus dalam segi operasional dari kinerja stabilitas serta kendali *motor DC thruster*, namun termasuk melingkupi tujuan agar menghasilkan sesuatu sebagai pendukung kesuksesan operasional target secara maksimal.

Speksifikasi

Prototipe kapal ATSV pada penelitian ini memiliki spesifikasi komponen yang digunakan, sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

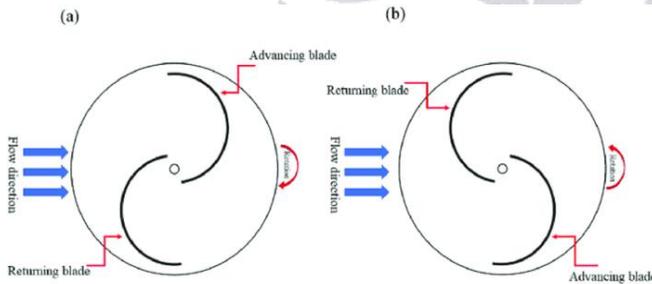
Tabel 1. Speksifikasi Komponen ATSV

Fungsi	Komponen	Speksifikasi
Komputasi Utama	Raspberry pi 3B	Arm Cortex-A53 QuadCore 64bit
	Kompas HMC5883L	X,Y,Z Integrasi I2C
Sensor	GPS Neo6MV2	4800bps - 115200bps
	ESP32	Ram512kb-4mb
Sumber	Lipo Battery	12000mAh 25c
Propulsi	DC Motor T200	7-20v 17A
Software	Raspbian OS	Linux, Python++
ESC	Basic ESC30A	30A 5v-12v
Kamera	Logitech C9030e	1080p 30fps

Desain Mekanik

Prototipe ATSV memiliki konfigurasi 2 *thruster* sebagai penggerak utama yang terletak pada bagian buritan. Hal tersebut dilakukan dengan pertimbangan sudut panjang dari LWL (*Long Water Line*) yang merupakan variabel jarak yang memiliki nilai 30 milimeter dengan ketentuan skala 1:0.4 (10.90cm).

Pengaplikasian 2 propulsi harus mempunyai mekanisme putaran yang berbeda yaitu, *Clockwise* searah jarum jam dan *Counter Clock Wise* melawan arah jarum jam dalam sebuah metode, sehingga hasil pergerakan yang didapatkan bisa stabil bergerak lurus. Permisalan pada prototipe *underwater drone* atau *multicopter*, memiliki beberapa fungsi. Pada Gambar 2 merupakan fungsi menggunakan kombinasi model *Clockwise* dan *Counter Clock Wise*.



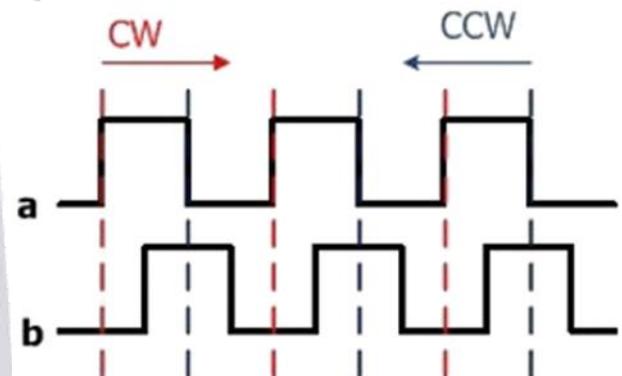
Gambar 2. Model Thruster Clockwise dan Counter Clock Wise

Kendali rotasi meliputi penggunaan 1 penggerak *Clockwise* dan 1 penggerak *Counter Clock Wise* memungkinkan mekanisme untuk mengatur secara efisien perputaran secara arah *vertical*. Mempertimbangkan akselerasi rotasi yang terdapat pada propulsi sehingga memberikan *output* rotasi yang bagus (Masoom dkk 2016).

Penggunaan penggerak *Clockwise* dan *Counter Clock Wise* mudah kepada stabilisasi prototipe. Ketika semua penggerak bekerja bersama, hal tersebut menciptakan gaya yang efektif (Utne, dkk 2020.) untuk mengontrol dan mempertahankan stabilitas sistem.

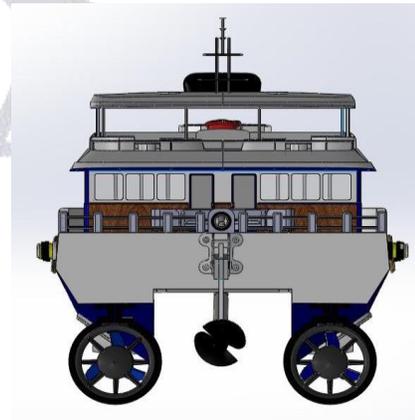
Sesuai aturan percepatan meliputi rotasi pada tiap penggerak, penggunaan penggerak menggunakan arah yang berbeda akan meningkatkan *manuver* (Anil, dkk 2012.). Ketika dua thruster berputar dalam arah yang berlawanan, program akan melakukan perintah pergerakan yang sangat *efisien* (Mokhtar., dkk 2013). Hal tersebut dapat menanggulangi pengaruh rotasi ataupun pergeseran rotasi yang tidak sesuai karena optimalisasi yang didapatkan pada 1 penggerak bisa diklasifikasikan pada variabel tertentu.

Penggunaan kombinasi thruster CW dan CCW saat diterapkan, seperti pada kapal ATSV, menghasilkan peningkatan efisiensi dan *safety operating*. Hal tersebut dapat menanggulangi *crash* dan *problem* pada pengaplikasian yang diperoleh dalam rotasi yang tidak teratur.

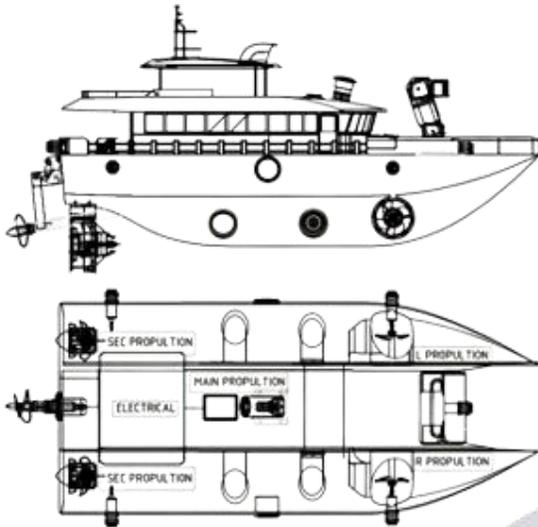


Gambar 3. Duty Cycle Pulse Width Modulation

Pada Gambar 3 diatas merupakan sebuah Konfigurasi dengan konfigurasi penggerak 1 dan 2 menghasilkan kemudi yang sangat maksimal terhadap *manuver* kendali pada pengaruh keadaan saat operasi. Konfigurasi tersebut biasanya dipakai saat prototipe untuk kendali atas sistem dan arah yang akurat. Peletakan penggerak prototipe terdapat seperti yang terdapat pada Gambar 4 dan 5, yang dapat dilihat di bawah.



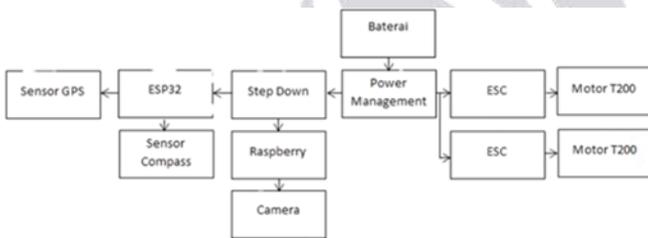
Gambar 4. Peletakan Propulsi



Gambar 5. Rancangan Umum Prototipe

Desain Hardware

Pada Gambar 6 dibawah menunjukkan blok diagram desain rangkaian manajemen daya dan algoritma pemrosesan unit pada kapal ATSV yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 6. Skematik Distribusi Power

Metode kapal ATSV menggunakan daya dari baterai Lipo 3s dengan 12,6v/3,5v per sel. Kemudian, daya ini didistribusikan ke manajemen daya sebagai pembagi tegangan kepada dua *input*, yaitu prosesor dan kontroler, untuk mengurangi korsleting dalam rangkaian. Dalam kalibrasi *microcontroller*, penurun tegangan 5v digunakan untuk penurunan daya pada *supply* yang terintegrasi pada *MicroSTM32*, *Compass Sensor*, dan *receiver*. Dalam pengaturan perangkat lunak, ada konversi daya 12v yang terintegrasi di komputasi, *Electric Driver*, dan motor propulsi.

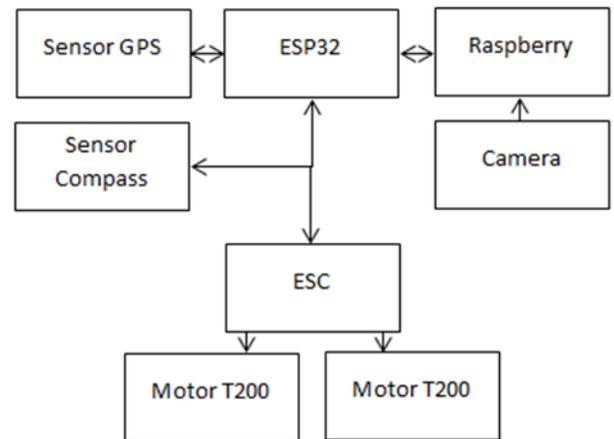
Prototipe dalam analisa meliputi pc komputasi utama sebagai pengendali *input* pada kendali prototipe. Algoritma utama untuk sistem komputasi adalah kontrol *Propotional Integral Derevative*. STM32 akan terhubung ke program PID, yang kemudian memberikan

trigger pada *driver* untuk digunakan untuk kendali percepatan motor.

Prototipe *hybrid* di desain menggunakan kendali mode saklar. Prototipe ini mampu dikontrol berdasarkan manual dan mampu beroperasi secara otonom berdasarkan penyesuaian nilai *input* yang didapat dari *gps sensor* maupun masukan variabel oleh *webcam*.

Rancangan Kontrol

Dari Gambar 7 menunjukan bahwa setelah intregrasi *output* Raspberry Pi, ESP32 menjadi pemrosesan utama, dan menggunakan pemograman bahasa *Python* untuk mendapatkan hasil pengawasan kamera melalui seri *webcam* Logitech.



Gambar 7. Skematisasi Pemrosesan

Dalam pengembangan tersebut, algoritma Propotional Integral Derevatif digunakan untuk mengimplementasikan serta kendali agar memastikan rotasi maupun nilai yang diharapkan. Fungsi "*waypoint*" berfungsi untuk mengidentifikasi poin utama algoritma PID program ini. Bagian awal script Python mengandung bagian pengaturan PID yang memasukkan nilai parameter:

1. K_p ; digunakan sebagai kontrol kecepatan respon sistem terhadap kesalahan *real time*.
2. K_i ; digunakan sebagai menanggapi *error* yang diakumulasikan dari per waktu.
3. K_d ; digunakan sebagai pengurangan gangguan dan kelebihan *error* untuk mengendalikan kecepatan teknik merespon terhadap perpindahan pada *error*.

Nialai K_p , K_i , dan K_d dipakai dalam ketentuan sistem menggunakan program *Python* yang memakai *library OpenSource* dan *GeographLibrary*, berdasarkan variabel titik berlandasan uji coba.

Kendali Proporsional, Integral, dan Derivatif adalah opsi paling efisien baik untuk mengoptimalkan *stabilizer* BLDC motor *thruster* T200; ini berfungsi untuk mendekati holisasi yang menggabungkan ketiga pilihan *propotional integral dan derivative*.

Sistem dapat mengatasi perbedaan cepat antara posisi *thruster* yang sebenarnya dan yang seharusnya dengan menggunakan proporsionalitas (Erol. Can., Huseyin Sayan Hasan 2017), *Integral* memberikan bantuan untuk menanggulangi *error* secara estimasi yang dan mampu mengakumulasi secara *real time*, mendapatkan stabilisasi dalam waktu, dan meresponsif terhadap *error* yang terlewat pada kendali *proportional* mampu diklasifikasi yang sangat efektif. Ini juga memungkinkan penyesuaian langsung dan meminimalkan *overshooting*.

Sebaliknya, komponen derivatif sangat penting untuk mengantisipasi perubahan kesalahan cepat, yang mampu menghalang keadaan *crash*, yang terdapat kondisi pergerakan pada 1 kondisi terhadap kondisi lainnya dengan tepat. Perihal merespon kondisi maju berubah dari sudut *error*, komponen *derivative* peningkatan kestabilan serta presisi kendali.

Kendali PID digunakan terhadap motor penggerak untuk meningkatkan kendali perputaran propulsi (Tugay. Bozik., Gurkan Guray 2023). hingga kemungkinan dapat meningkatkan perihal stabilisasi dan kerja semua kendali. Cara penghubung nilai PID agar selaras dengan karakter propulsi dan bobot saat operasi, kondisi mampu dioptimalisasi sebagai merespon sangat laju pada perpindahan variabel operasi, memastikan keandalan dan optimalisasi yang maksimal pada sistem stabilitas.

Persamaan metode PID yang digunakan sebagai berikut:

1. Proposional (*P*):

Proposional akan memberikan aksi terhadap selisih antara *setpoint* (*SP*) dan *output* (*PV*) secara *real time*.

$$P = K_p \cdot (SP - PV) \quad [1]$$

Nilai K_p adalah nilai *gain* proposional.

2. Integral (*I*):

Integral akan menangani kesalahan akumulatif sepanjang waktu.

$$I = K_i \cdot \int (SP - PV) \Delta \quad [2]$$

K_i adalah *gain* integral dan menunjukkan operasi terhadap estimasi waktu.

3. Derivatif (*D*):

Derivatif akan memberikan respons pada laju perubahan yang signifikan terhadap *error*.

$$D = K_d \cdot \frac{d}{dt} (SP - PV) \quad [3]$$

K_d adalah *gain* dan akan menunjukkan turunan terhadap respon waktu

4. Output PID (*U*):

Output PID merupakan hasil dari komplikasi ketiga persamaan K_p , K_i , dan K_d ;

$$U = P + I + D \quad [4]$$

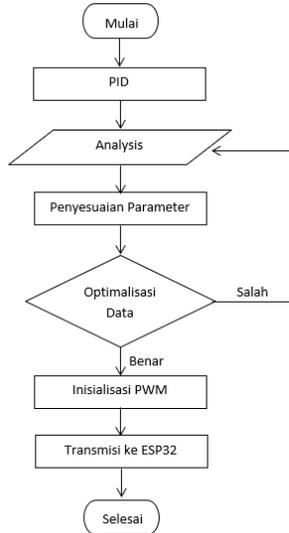
$$15 = 8 + 2 + 5$$

(Nilai Variabel Diambil Saat Melakukan *Trial Error*)

Dalam konteks pengendalian propulsi menggunakan motor *thruster*, segala aspek parameter harus dimaksimalkan berdasarkan *trial* dan analisa peforma untuk kepastian hasil respon yang optimal dan stabilitas berdasarakan perpindahan posisi operasi. Pengklasifikasian nilai yang benar akan memberikan pengaruh pada kondisi dinamika pada penggerak serta peforma.

Metode yang digunakan dapat bergabung perangkat Raspberry Pi 3B dan ESP32 agar membentuk *serial* komunikasi yang lengkap. *Mini pc* memiliki peran untuk pusat proses, memakai *webcam* terintegrasi agar mampu memproses *tracking object*. Berdasarkan penerapan kendali pid, *mini pc* mebuahkan hasil masukan yang efisien berlandaskan analisa data dalam pengolahan dasar yang dapat dibaca. Selanjutnya, nilai pembacaan gambar dan variabel pid disusun dan dikirim ke ESP32 melewati interuksi serial komunikasi. Di sisi lain, *micro* menguraikan nilai variabel serta menggunakannya sebagai konfigurasi kendali *duty cycle* pada penggerak. propulsi, untuk alat *manuver*, mengubah percepatan dan arah rotasi berdasarakan dengan interupsi sinyal yang diberikan oleh *micro*. Aplikasi seperti prototipe bawah air dan otonom membutuhkan navigasi berbasis visual dari solusi terintegrasi yang dibuat oleh sistem terintegrasi. Penggambaran *flowchart* pemrosesan unit dapat dilihat pada prototipe seperti pada Gambar 8. Metode pada konfigurasi perencanaan, pembacaan gambar, serta konfigurasi menggunakan kabel diantara *mini pc*, *microcontroller*, serta motor penggerak akan berpengaruh baik pada kestabilan pergerakan prototipe, teruntuk dengan terdapatnya program stabilitas. Kemungkinan kendali yang sangat akurat berdasarakan data pwm didapatkan dari komputasi utama sehingga mampu mengkonfigurasi sebagai adaptasi *oriental* penggerak dalam akurasi yang mapan, hal tersebut akan memberikan respon yang sangat *realtime* pada perpindahan yang kondisiona yang signifikan pada variabel masukan. Metode tersebut pun mampu mempertahankan stabilisasi propulsi dalam keadaan yang tidak menentu. Konfigurasi *duty cycle* dalam penggerak mampu mengoptimalkan penyesuaian

supply dan responsif, dan mampu untuk meminimalisir vibrasi dan turbulensi. Menggunakan penyesuaian dengan metode visualisasi, program akan menghasilkan data akurat serta stabilitas, hal ini sangat *crusial* pada prototipe bawah air. Dalam hal ini, penggunaan *stabilizer* pada motor harus dapat memberikan data secara pasti untuk mekanisme kerja yang mapan untuk operasional. Sistem akan memberikan kinerja yang sangat bagus secara maksimal, yang meningkatkan efisien serta kemampuan program keseluruhan.



Gambar 6. Flowchart Pemrosesan Unit

Data pulsa masukan pada sistem ini adalah *ratio* baik saat kondisi nyala (terdapat dalam siklus nyala) dikomparasi oleh masukan rasio sinyal secara keseluruhan. Data pulsa ditunjukkan untuk mem-presentasikan pada rasio kinerja secara keseluruhan.

$$Duty\ cycle\ (\%) = \left(\frac{Waktu\ On\ (420)}{Total\ Masukan} \right) \times 100 \quad [5]$$

Status nyala merupakan kondisi saat data masukan ke *trigger*. Periode keseluruhan adalah estimasi waktu PWM maksimal.

Pada penerapan metode menggunakan kendali stabilitas, hasil data yang baik digunakan sebagai *setpoint* yang bagus antara respon penggerak dan kestabilan penerapan. Setting data yang diakumulasikan diharapkan mampu memberikan kendali yang baik, serta mampu memperlihatkan orientasi penggerak sangat akurat berdasarkan ketentuan. Langkah beberapa pengujian dan konfigurasi, rentang ini dipilih sebagai pendukung kinerja sistem yang baik dan menghasilkan dampak baik sehingga dapat diandalkan untuk sistem kontrol otomatis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

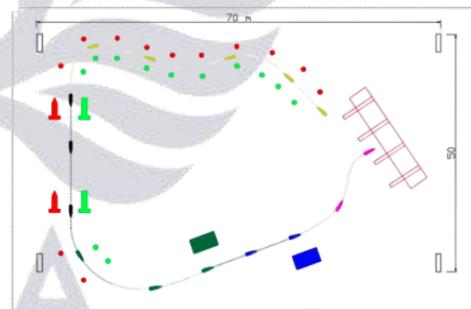
Langkah pertama adalah pengujian *output* sinyal pada program yang dipakai. Perancangan metode ini mengadopsi

masukan sensor kompas, *positioning*, pengolahan gambar, koneksi, dan data pada *thruster* sebagai penentu keberhasilan pada pengaplikasian metode kendali stabilisasi. Setelah percobaan masukan variabel selesai dapat menghasilkan variabel kerusakan yang ringan, pendapatan data lanjutan mampu dijalankan dengan pengujian berdasarkan skematik yang tertera. *Result mapping* yang bagus berdasarkan algoritma maka menunjukkan bahwa hasil PID yang baik diuji. Selanjutnya, penentuan arah dan *trajectory* lapangan pada wahana memungkinkan mendapatkan hasil sistem *positioning*.

Data Sensor

Untuk mencapai sejumlah tujuan utama dalam pengembangan sistem, percobaan data kompas termasuk pengembangan data sensor serta integrasi variabel pada komponen gps yang tertaut dengan kompas dalam penerapan prototipe otomatis. Hal tersebut mencakup peningkatan ke akurasian, kepresisian, dan kendali manuverabilitas yang sempurna. Tujuan terminasi tersebut adalah agar menghasilkan *safety* yang tinggi dan stabilisasi yang sangat maksimal berlandaskan memanfaatkan pendapat oriental prototipe. Tambahan masukan termasuk meningkatkan kepresisian integritas sensor, manajemen proyeksi yang lebih bagus, serta mengembangkan penyusunan kendali yang *terupdate* yang dapat disesuaikan secara adaptif dengan dinamis terhadap wahana.

Percobaan gps diaplikasikan melalui mengumpulkan data tentang penyesuaian jalur wahana yang dipakai sebagai target.



Gambar 9. Wahana

Pada Gambar 9 merupakan pengambilan data kalibrasi yang diperoleh pada saat pengujian sensor pada prototipe yang di operasikan di lintasan sesuai dengan misi. Di saat keseluruhan *output* komponen ditulis dengan versi sudut serta derajat agar menampilkan alur relatifitas pada *point* tertentu. Pada komponen, rotasi biasanya diatur dari standarisasi umum, misalnya nilai 00, 90 derajat arah timur, 0.180 derajat arah selatan, serta 0.270 derajat arah barat. masukan GPS juga menyediakan data sensor tambahan dengan menghasilkan *latitude* dan *longitude*.

Latitude dan *Longitude* merupakan data yang memasukan didapatkannya sebuah data derajat dari sebuah arah yang diukur. *Latitude* berarti garis lintang, sedangkan *Longitude* adalah garis bujur. Sumbu kordinat sangat diperlukan sebagai penentu suatu lokasi secara detail. Data yang dihasilkan bisa dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Data Kalibrasi Kompas dan GPS

Output Kompas	Output GPS	
	Latitude	Longitude
0°	-7.35982139	112.7234129
325°	-7.41413285	112.41249999245
62°	-7.351241212400	112.09809184
239°	-7.38691991	112.44010489
98°	-7.3140320778	112.7259674072
0°	-7.3140192032	112.7259674072
180°	-7.313996791801	112.7259674072
180°	-7.313975811	112.7259674072
74°	-7.3139638901	112.7259750366
74°	-7.31395721499	112.725982666
47°	-7.3139500618	112.725982666
47°	-7.3139429092	112.725982666
50°	-7.313934803	112.725982666
49°	-7.3139271736	112.725982666
46°	-7.3139181137	112.725982666
57°	-7.310905380001	112.7259902954
47°	-7.313900947999	112.7259902954
47°	-7.313893795	112.7259902954
53°	-7.3138828278	112.7259902954
62°	-7.3138780594	112.725982666
45°	-7.3138751984	112.725982666
42°	-7.3138737679	112.7259750366
43°	-7.3138728142	112.7259674072

Dapat diketahui dalam Tabel 2 dan 3, data dari sensor kompas dan sensor GPS digunakan untuk menghasilkan nilai parameter pergerakan kanan atau kiri. perencanaan secara *general* bahwa sudut 0° hingga 180° tergolong manuver kiri, dan sudut 180° hingga 360° (termasuk 0°) tergolong belokan kanan. Karena data masukan hasil yang didapatkan dalam *range* 180° hingga 360°, maka cenderung hasil keputusan yang segera mengarah ke manuver tersebut apabila pendistribusiannya lebih condong pada data arah yang tinggi.

Data Image Tracking

Selama proses pengolahan gambar, gambar dimuat dan metode pembacaan saturasi dalam *sample* warna HSV (*Hue, Saturation, Value*) digunakan untuk mendeteksi warna merah dan hijau. Hasil deteksi kemudian dihitung dengan menghitung banyak *pixel* yang ditemukan untuk pewarna.

Masukan warna merah dan hijau kemudian dihitung. Apabilah batasan data merah lebih besar dari jumlah piksel hijau, sistem memilih agar manuver selatan. Jika jumlah piksel hijau lebih kecil terhadap piksel merah, sistem memilih

untuk belok ke kanan. Namun, apabila perubahan secara konstan dari keseluruhan data warna, hasil tidak mampu didapat secara benar.

Tidak hanya keputusan, hasil pendeteksi dalam saturasi merah dan hijau juga dibaca untuk menunjukkan tahapan pendeteksi. Untuk akurasi HSV (*Hue, Saturation, Value*) yang membaca warna, batas bawah dan batas atas dapat diwakili dengan satuan dibawah:

1. Merah
 - *Range_Lower*: (0, 100, 100)
 - *Range_Upper*: (10, 255, 255)
2. Hijau
 - *Range_Lower*: (40, 40, 40)
 - *Range_Upper*: (80, 255, 255)

Satuan ini memvisualkan data HSV yang dipakai sebagai penentu kalkulasi pada saturasi merah dan hijau. Mulai awal diperlukan untuk menemukan data paling cocok.

Tabel 3. Data Kalibrasi Kompas dan GPS

Output Kompas	Output GPS	
	Latitude	Longitude
63°	-7.3138642311	112.725944519
60°	-7.31599396001	112.7259368896
66°	-7.3138561249	112.7259292603
68°	-7.313489723001	112.7259216309
66°	-7.313861119999	112.7259140015
78°	-7.3138551712	112.7258987427
80°	-7.313878605000	112.7258911133
85°	-7.3138861656	112.7258834839
73°	-7.3138999939	112.7258758545
76°	-7.3139181137	112.7258682251
77°	-7.3139371872	112.7258605957
75°	-7.3139548302	112.7258529663
76°	-7.313965974000	112.7258453369
74°	-7.3139791489	112.7258453369
72°	-7.3139867783	112.7258453369
71°	-7.3139929771	112.7258453369
75°	-7.313996718001	112.7258529663
78°	-7.3140010834	112.7258682251
74°	-7.314002037	112.7258758545
76°	-7.314005851999	112.7258834839
78°	-7.3140091896	112.7258911133
76°	-7.3140130043	112.7258987427
77°	-7.3140192032	112.7259063721
79°	-7.314025878899	112.7259063721

Sistem memilih untuk melakukan pergerakan belok kanan jika banyak warna merah terdapat dalam area tertentu, contohnya dari titik_A hingga titik_B. Sebaliknya, jika datasaturasi warna hijau terdapat dalam wilayah tersebut, misalnya dari X hingga Y, program akan memilih agar bergerak belok kiri. Dengan memberikan opsi pergerakan

yang didasarkan pada intensitas atau kekuatan warna yang terlihat pada gambar, hal ini meningkatkan fungsionalitas sistem.

Data PID

Hasil variabel sistem didasarkan pada masukan nilai yang akurat pada komponen pemrosesan gambar. Program yang telah disempurnakan dapat mendapatkan nilai masukan untuk mengendalikan sinyal *driver* dengan mempertimbangkan P, I, dan D.

Untuk kapal ATSV, metode program menggunakan masukan reaktif dan pengolahan gambar dengan semua aspek, seperti sinyal, sebagai pemberikan perintah yang tepat serta tanggap. Penjelasan keseluruhan dapat ditemukan di sini: penjelasan metode Prototipe otomatis:

1. Masukan Nilai:

Nilai sensor digunakan untuk memberi prototipe informasi arah lengkap berlandaskan koordinat letaknya. Dan juga dipakai untuk memberikan gerak yang dipakai. Data Pengolahan Gambar; Hasil identifikasi warna merah dan hijau dari pengolahan gambar. Membantu menentukan posisi prototipe dibandingkan dengan jalur yang diinginkan.

2. Metode Implementasi:

Proporsional (P) adalah pengukuran perbedaan sebuah gerak yang dipakai pada prototipe yang sebenarnya. Proporsional berkontribusi pada perpindahan gerak pada perbedaan ini.

Integral (I); merespon *error* sistem secara bertahap dan menanggapi pergeseran atau perpindahan arah. Derivatif (D); mencegah *overshooting* atau osilasi berlebihan dan mengidentifikasi perubahan arah yang cepat.

3. Output Kontrol PID:

Kontrol PID mengontrol sistem prototipe. PWM percepatan penggerak maupun *device* propulsi yang lain, dan menghasilkan kendali akurat pada power yang dihasilkan untuk komponen keseluruhan.

4. Umpan Balik (*Feedback*):

Sensor kompas dan hasil pengolahan gambar memberikan umpan balik terus-menerus kepada sistem. Umpan balik ini dipakai agar mendapatkan pembaruan nilai serta memberikan interupsi akurat.

5. Implementasi:

Pwm dipakai sebagai pengatur power yang dihasilkan untuk komponen propulsi di kapal. Data yang didapatkan oleh program menunjukkan keluaran hasil prototipe manuver dan menetapkan manuver.

6. Optimalisasi:

Acuan serta data PWM mampu diaplikasikan sebagai peningkatan kerja prototipe dalam segala kondisi. Pengoptimalan bisa juga dibutuhkan sebagai

penanggung jawab atas variabel wahana serta terhadap responsibilitas maksimal.

7. *Safety and Redundance*:

Prototipe juga harus memiliki opsi keselamatan pada pengaplikasian untuk mencegah menabrak ataupun kegagalan lain. Redundansi dapat digunakan untuk menambahkan kemampuan program.

Prototipe otomatis mampu memaksimalkan sistem navigasi, mempertahankan rotasi dengan baik, serta menanggapi secara tepat berdasarkan keadaan wahana sekitar dengan menggabungkan program pid dengan nilai sensor, pengolahan gambar, dan menggunakan sinyal (Ali. Haseltalab., dan Negenborn Rudy 2019).

Mengakumulasi data pada prototipe otomatis berlandaskan nilai sensor serta keluaran pemrosesan gambar membutuhkan banyak tahapan dan rumus yang menggabungkan variabel dari 3 *input* diatas.

Variabel proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D) disusun oleh acuan K_p , K_i , dan K_d . Konfigurasi sensor, serta pengolahan gambar digabungkan dan dipakai sebagai penghitung data dengan cara metode pid.

Perlu diingat bahwa perhitungan PWM dan nilai PID yang tepat harus disesuaikan dengan fitur dan kondisi prototipe tertentu. Untuk mencapai kinerja terbaik, mungkin diperlukan *fine-tuning* dan pengujian di lapangan.

Dalam skenario ini, sistem prototipe otonom menggunakan data GPS dan kompas untuk menghitung nilai PWM untuk kontrolnya. Konfigurasi pada *manuver* yang diharapkan oleh sensor, pengarahan dari sensor, dan banyak masukan antara warna oleh pemrosesan gambar digabungkan agar memberikan nilai sinyal. Pemakaian kontrol program memaksimalkan program *update* secara akurat berlandaskan data pwm. Dalam kendali p,i,d variabel proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D) dapat diubah untuk mengimbangi respon dan stabilitas prototipe otonom secara ideal. Untuk mengoptimalkan kinerja sistem dalam lingkungan kehidupan nyata, pengujian dan *fine-tuning* diperlukan *trial error* sebanyak mungkin untuk mengambil nilai yang paling akurat.

Dari perolehan data pada Tabel 4 dan 5, nilai *range* PWM kiri dan kanan, yang masing-masing mempunyai nilai bertolak belakang, dikumpulkan secara data kestabilan agar mampu mendapatkan pergerakan melalui pertimbangan *setpoint* model p,i,d yang keterminasi secara teknis yang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Output data respon sistem di atas mempunyai rata-rata variabel tidak sama walaupun secara masukan nilai memiliki persamaan karena juga termasuk keluaran pengatur p,i,d. Pengatur pid mempengaruhi sinyal pwm berlandaskan kesalahan, yaitu jarak melalui variabel yang dilihat dan *setpoint*. Dengan demikian, setiap perpindahan pada hasil pengatur program mampu mempengaruhi klasifikasi data

sinyal supara program tanggap pada perpindahan keadaan atau titik target.

Tabel 4. Data *Output* PWM

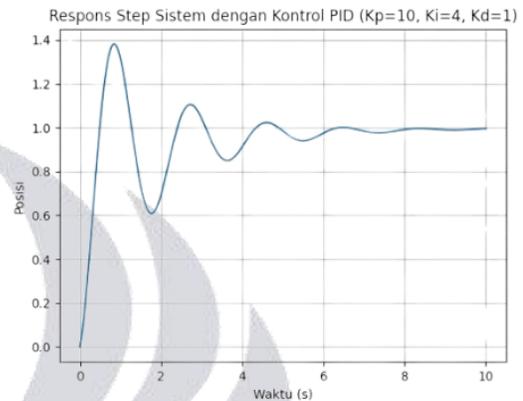
Derajat	PID	PWM (R)	PWM (L)
352°	15	245	215
62°	15	58	28
239°	15	184	154
98°	15	84	54
0°	15	15	0
180°	15	127	142
180°	15	180	195
74°	15	69	79
74°	15	76	14
47°	15	68	82
47°	15	166	84
50°	15	22	52
49°	15	79	73
46°	15	72	78
57°	15	62	62
47°	15	92	162
47°	15	178	172
53°	15	214	192
62°	15	150	192
45°	15	93	105
42°	15	114	93
43°	15	72	84
63°	15	183	182
60°	15	198	183
66°	15	153	138
68°	15	81	102
66°	15	192	171
78°	15	93	68
80°	15	182	177
85°	15	58	68
73°	15	151	198
76°	15	152	141
77°	15	120	98
75°	15	91	90
76°	15	89	61
74°	15	87	65
72°	15	86	87
71°	15	180	44
75°	15	135	120
78°	15	134	120
74°	15	136	116
76°	15	179	116
78°	15	94	167

Pada gambar 11 dan 12, data kanan dan kiri merujuk pada nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dikirimkan ke *thruster* kanan dan kiri pada kapal ATSV. PWM (R) mengontrol kecepatan atau putaran propeler di sebelah kanan prototipe, sementara PWM (L) mengendalikan propeler di sebelah kiri. Dengan memanipulasi nilai PWM (R) dan PWM (L) secara terpisah, prototipe dapat melakukan sejumlah

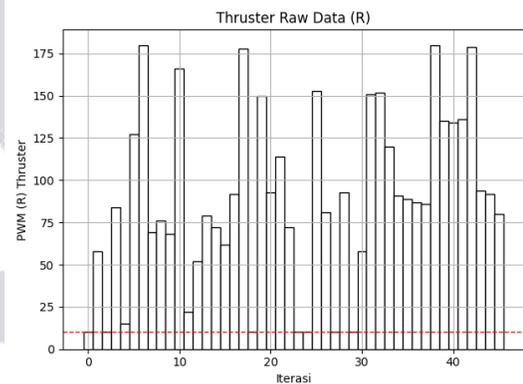
pergerakan kompleks, termasuk berbelok, berputar, maju, mundur, serta mengatur kecepatan dan arah dengan presisi yang tinggi. Hal tersebut memungkinkan prototipe untuk beradaptasi dengan berbagai situasi dan tuntutan navigasi yang berbeda.

Tabel 5. Data *Output* PWM

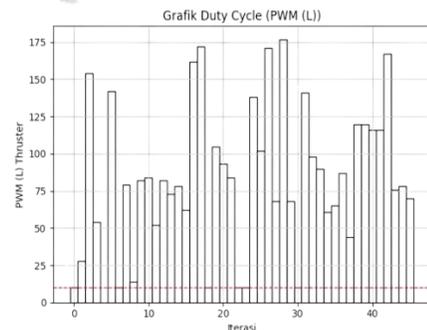
Derajat	PID	PWM (R)
76°	15	92
77°	15	80
79°	15	80



Gambar 7. *Response* Sistem PID



Gambar 8. *Raw Data Thruster Kanan*



Gambar 9. *Raw Data Thruster Kiri*

PENUTUP

Simpulan

Dalam pembuatan penyetabil sinyal penggerak melalui program *Propotional, Integral, dan Derivative*, ditemukan metode terminasi dalam *driver* menggunakan nilai *setpoint* variabel yang telah ditambahkan oleh sensor GPS. Nilai variabel ini telah digabungkan melalui analisa program yang tersedia dalam *library source opencv Py*, yang memakai *numpy* serta *matplotlib*. Efek program terhadap metode kontrol merespon kerja secara menyeluruh. sehingga diperlukan informasi yang akurat untuk menyelesaikan tugas melakukan perjalanan dengan tepat sesuai dengan rute misi prototipe.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa rekomendasi yang harus dipertimbangkan untuk pengembangan lanjutan. Salah satunya adalah penggunaan sensor GPS yang sangat akurat dalam hal parameter kesesuaian. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kesalahan pendataan yang memerlukan *trial error* berulang-ulang.

Konfigurasi *trusther* menggunakan konfigurasi yang sudah ada pada modul program, sehingga tidak perlu memodifikasi banyak program dan sistem PID nya tidak rusak.

Penggunaan ESC dengan batas arus yang sangat diatas wajar. perihal ini dianggap bahwa prototipe memiliki kemampuan untuk bergerak arah bebas serta tidak memiliki batas, teruntut pada masa pemecahan *fluida* resistansi air yang memerlukan daya yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali. Haseltalab., Negenborn., dan Rudy. (2019). *Adaptive Control for Autonomous Ships with Uncertain Model and Unknown Propeller Dynamics*. *Control Engineering Practice*. Department of Maritime and Transport
- Andrew. Gong., Rens. Macneill., dan Verstraete Dries. (2018). *Performance Testing and Modeling of a Brushless Dc Motor, Electronic Speed Controller and Propeller for A Small Uav*. *2018 Joint Propulsion Conference*. The University of Sydney, Sydney, Australia.
- Anil. Kumar Yadav., Prerna. Gaur., Khant Jha Shyma., Gupta, J.R.P., dan Mittal, A.P. (2012). *Optimal Speed Control of Hybrid Electric Vehicles*. Technology Meerut, Uttar Pradesh, India dan Technology, Dwarka New Delhi, India
- Apriyanti. Anugrah Nurul., Darlys. Denny., dan Angga Rusdinar. (2023) *Design And Development Of Autonomous Ship Control System Based On Raspberry Pi Zero W To Support Autonomous Fish Feeder Boat Research At Incos Laboratory, Universitas Of Telkom*. ISSN : 2442-5826.
- Erol. Can., dan Hasan. Hüseyin Sayan. (2017). *The Performance of The Dc Motor By The Pid Controlling Pwm Dc-Dc Boost Converter*. *Technical Journal*, 11, 182–187. Erzincan University dan Gazi University
- Hafizh. Muhammad Tegar., Endrasmono. Joko., Agus Khumaidi., Isa Rachman., Ryan Yudha Adhitya., dan Zindhu Maulana Ahmad Putra. (2023) *Rancang Bangun Dan Analisis Hidrodinamika Autonomous Submarine Surface Vehicle Menggunakan Propulsi Multirotor*. Politeknik Negeri Malang.
- Kurniawan. Didi., Santyadiputra. Gede Saindra., dan Gede Aditra Pradnyana. (2022) *Pengembangan Prototipe Kapal Tanpa Awak Untuk Pemantauan Daerah Perairan Berbasis Ardupilot*. e-ISSN: 2685-7006 | p-ISSN: 2252-9063. Universitas Pendidikan Ganesha.
- Kwong. Wong Wing., Kai. Yin Sheng., dan Chang Hsu Sheng. (2012). *Using a Compass for The Localization of a Robot with Pid Control*. Ltd, Switzerland.
- Lakhmi. Mumford. (2009). *Computational Intelligence: Collaboration, Fusion and Emergence*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Masoom. Raza Khan., Mohd. Kamil., dan Kumar Pushprendra. (2016). *Ijarccc ‘Speed Control of Dc Motor by Using Pwm’*. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5. Electrical Engg Department, MIT Moradabad.
- Mokhtar. Mohd., M.H.R.A. Aziz., Arshad, M.R, Husaini, A.B., dan Noh M.M. (2013). *Model Identification and Control Analysis for Underwater Thruster System*. In *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* (Vol. 42, Issue 8). National Institute of Science Communication and Policy Research.
- Rawr. Sharma., Giodalan Sharma., dan Omer Pushta. (2014). *Cascaded Nine Level Inverter Using Pulse Width Modulation and Hybrid Pwm*. In *Journal of Engineering Research and Applications*. Journal of Engineering Research and Applications (IJERA).
- Shaotang. Chen., Andreas. Lipo Thomas., dan Fitzgerald, Dennis. (1996). *Modeling of Motor Bearing Currents in Pwm Inverter Drives*. In *IEEE Transactions on Industry Applications* (Vol. 32, Issue 6). Department of Electrical and Computer Engineering, University of Wisconsin, Madison, WI, USA.
- Tugay. Bozik., dan Guray. Gurkan. (2023). *An Arduino Uno Application: Gps Guided Unmanned Ground Vehicle*. Retrieved 15 February 2024, from 2017

10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)

Utne., Bhogen. Rokseth., Sorensen, Ajid., dan Vinnem, Jennifere Edolan. (2020). *Towards Supervisory Risk Control of Autonomous Ships Nomenclature Auv-Autonomous Underwater Vehicles Bbn-Bayesian Belief Network Cpt-Conditional Probability Tables Dp-Dynamic Positioning Hmi-Human Machine Interface Loa-Level of Autonomy Mass-Maritime Autonomous Surface Ships Pms-Power Management System Pv-Process Variables Rif-Risk Influencing Factor Rov-Remotely Operated Vehicle Sa-Situation Awareness Sc-Safety Constraint*. Centre for Autonomous Marine Operations and Systems (NTNU AMOS), Norwegian University of Science and Technology.

