

SKRIPSI

**PENGATURAN KECEPATAN KAPAL AUTOPILOT
MENGUNAKAN METODE PID**

Disusun dan diajukan oleh:

**ZUL SYAHRIL
D091191032**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM
PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGATURAN KECEPATAN KAPAL AUTOPILOT MENGUNAKAN METODE PID

Disusun dan diajukan oleh

Zul Syahril
D091191032

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 19.11.2024.
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing,



Rahimuddin, S.T., M.T., Ph.D
NIP 19710825 199903 1 002

Ketua Program Studi,



Dr.Eng. Ir. Faisal Mahimuddin, ST, M.Inf.Tech.,M.Eng, IPM
NIP 19810211 200501 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Zul Syahril
NIM : D091191032
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(PENGATURAN KECEPATAN KAPAL AUTOPILOT MENGGUNAKAN
METODE PID)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 November 2024

Yang Menyatakan



Zul Syahril

ABSTRAK

ZUL SYAHRIL. D091191032. **PENGATURAN KECEPATAN KAPAL AUTOPILOT MENGGUNAKAN METODE PID**, (Dibimbing oleh :Rahimuddin S.T., M.T).

Pengaturan kecepatan kapal memiliki peranan penting dalam peningkatan kualitas pelayaran. Kegagalan dalam mempertahankan kecepatan kapal dapat mengakibatkan kesalahan estimasi waktu tiba (Estimate Time Arrival) yang dapat mengakibatkan kerugian ekonomis bahkan dapat memicu perspektif negatif publik terhadap pihak penyelenggara jasa pelayaran. Pada kapal dengan sistem navigasi konvensional, hal ini dapat dengan mudah dilakukan oleh manusia. Namun sebaliknya, kapal dengan sistem navigasi autopilot memerlukan mekanisme khusus untuk dapat mengatur pergerakan kapal. Oleh karena itu, pada penelitian ini dirancang sistem pengaturan kecepatan kapal serta model komunikasi antara kapal dengan groundstation pada model kapal ikan . Pengaturan kecepatan dilakukan dengan memanfaatkan error kecepatan dari pembacaan GPS terhadap nilai setpoint. Nilai error dari hasil pembacaan diproses dengan metode kendali PID (*Proportional Integral, Derivative*) untuk membangkitkan sinyal kendali kecepatan kapal. Penentuan nilai parameter kendali PID dilakukan dengan metode *trial&error* hingga diperoleh variasi nilai dengan performa terbaik. Dari hasil percobaan didapatkan nilai parameter kendali $K_p = 6$, $K_i = 1$ dan $K_d = 0,5$. Variasi nilai tersebut memiliki performa yang baik dengan nilai persentase *steady state error* sebesar 0.4% dan *settling time* sebesar 8.5 detik.

Kata Kunci : Kendali Otomatis, PID , Kontrol Kecepatan

ABSTRACT

ZUL SYAHRIL. D091191032. ***SPEED CONTROL OF AUTOPILOT SHIP USING PID CONTROL*** (supervised by : Rahimuddin S.T., M.T).

The ship's speed regulation plays a crucial role in improving the quality of navigation. Failure to maintain the ship's speed can lead to errors in estimating the Estimated Time of Arrival (ETA), which may result in economic losses and even trigger negative public perceptions toward the shipping service provider. On ships with conventional navigation systems, this can easily be handled by humans. However, ships with autopilot navigation systems require a special mechanism to control the ship's movement. Therefore, in this research, a ship speed regulation system and a communication model between the ship and the ground station are designed on the fishing vessel model. Speed regulation is carried out by utilizing the speed error from GPS readings against the setpoint value. The error value from the readings is processed using the PID (Proportional, Integral, Derivative) control method to generate the ship's speed control signal. The determination of PID control parameter values is done through a trial-and-error method until the best-performing value variation is obtained. The experiment results yielded PID control parameter values of $K_p = 6$, $K_i = 1$, and $K_d = 0.5$. These values showed good performance with a steady-state error percentage of 0.4% and a settling time of 8.5 seconds.

Keywords : Ship Autopilot, PID, Speed Control.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sistem Navigasi Autopilot	4
2.2 Karakteristik Respon Sistem Kendali	5
2.3 Model Kendali PID	8
2.4 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	10
2.5 Sistem Navigasi Kapal	11
2.6 Mikrokontroler Arduino.....	19
2.7 Aplikasi OpenCPN.....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian	23
3.2 Objek Penelitian.....	23
3.3 Tahapan Penelitian.....	24
3.4 Rangkaian Sistem Kendali Kapal	27
3.4.1 Komponen rangkaian.....	27
3.4.2 Skema Rangkaian	29
3.5 Pemetaan <i>Waypoint</i> untuk Uji Tracking Model Kapal	30
3.6 Kerangka Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Identifikasi Kecepatan Maksimum Kapal	36
4.2 Ujicoba Sistem Kendali Kecepatan.....	37
4.3 Ujicoba Sistem Kendali dengan Variasi Jarak antar <i>Waypoint</i>	42
4.4 Ujicoba Autopilot dan Komunikasi Kapal.....	44
BAB V PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran.....	51
REFERENSI	52
LAMPIRAN.....	54

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis dimudahkan dalam menyelesaikan penelitian ini. Penelitian yang berjudul “Pengaturan Kecepatan Kapal dengan Metode PID” ini dilakukan dalam rangka penyelesaian tugas akhir sebagai syarat kelulusan pada jenjang strata satu (S1) pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari betul bahwa keberhasilan dari penelitian ini tidak terlepas dari dukungan dan dorongan dari berbagai pihak. Untuk itu dengan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis yaitu Ibu Masita Ta’Bi dan Bapak Rusli Yusuf, serta ketiga saudara penulis yang senantiasa memberi kepercayaan dan dukungan baik moral maupun materi kepada penulis saat menempuh studi di Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Rahimuddin S.T, M.T, Ph.D yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sejak perumusan judul hingga penelitian ini selesai.
3. Saudara Adriansyah S.T, Saudara Al Alif Allanuary S.T, Saudara Rahim S.T dan saudara Adiparwata Raka Sanjaya S.T yang senantiasa membersamai penulis dalam proses penelitian ini.
4. Sanak keluarga penulis yang telah terlibat selama penulis berkuliah di Universitas Hasanuddin.
5. Teman – teman seangkatan dari Teknik Sistem Perkapalan 2019 yang telah menerima penulis sebagai bagian dari keluarga besar mereka.

Besar harapan penulis agar penelitian ini dapat memberikan dampak bagi pengembangan teknologi perkapalan khususnya bagi Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Universitas Hasanuddin demi terwujudnya visi negara maritim yang lebih maju. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sebagai bahan bakar bagi kemajuan bersama baik dalam bidang akademik dan non-akademik. Demikianlah pengantar yang penulis sampaikan, semoga Allah SWT merahmati kita semua.

Makassar, 14 September 2024

Penulis

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Karakteristik respon sistem dalam domain waktu.....	6
Gambar 2. Karakteristik respon transien pada sistem orde dua	7
Gambar 3. Diagram blok sistem kendali PID	9
Gambar 4. Kurva tanggapan plant berbentuk kurva S	10
Gambar 5. Komponen pada sinyal PWM	11
Gambar 6. Track untuk waypoint berikutnya	13
Gambar 7. Diagram kendali rudder sederhana.....	15
Gambar 8. Diagram kendali autopilot dan kendali kecepatan kapal.....	16
Gambar 9. Board arduino Mega2560.....	19
Gambar 10. Jendela awal aplikasi Arduino IDE.....	21
Gambar 11. <i>Interface</i> Aplikasi open CPN	22
Gambar 12. Lokasi penelitian	23
Gambar 13. Prototype kapal ikan Lab.listrik dan kendali.....	24
Gambar 14. Skema rangkaian pengaturan kecepatan kapal autopilot.....	25
Gambar 15. Potongan program kendali kecepatan kapal.....	25
Gambar 16. Potongan program komunikasi data AIS	26
Gambar 17. Skema rangkaian kendali kapal.....	29
Gambar 18. Skema rangkaian komunikasi data.....	30
Gambar 19. Sketsa model komunikasi data kapal	30
Gambar 20. Lintasan lurus pada Google Earth.....	31
Gambar 21. Lintasan lurus dengan beda jarak waypoint 10 meter.....	32
Gambar 22. Lintasan lurus dengan beda jarak waypoint 20 meter.....	33
Gambar 23. Lintasan kapal berbentuk zig – zag pada Google Earth.....	34
Gambar 24. Grafik kecepatan kapal pada PWM maksimum.....	36
Gambar 25. Respon kecepatan kapal dengan kendali <i>proportional</i> (P).....	38
Gambar 26. Grafik Kecepatan kapal dengan pengendali <i>proportional integral</i> (PI).....	39
Gambar 27. Grafik kecepatan kapal dengan pengendali PID	40
Gambar 28. Grafik performa kendali kecepatan pada variasi jarak 10 meter.....	43
Gambar 29. Grafik performa kendali kecepatan dengan jarak antar waypoint 20 meter.....	44
Gambar 30. Penggambaran rute pergerakan kapal pada aplikasi OpenCPN	45
Gambar 31. Monitoring kapal melalui aplikasi OpenCPN	46
Gambar 32. Visualisasi data posisi kapal pada platform <i>Google Earth</i>	47
Gambar 33. Grafik performa sistem autopilot dengan pengendali kecepatan menggunakan kendali PID	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik parameter kendali PID.....	8
Tabel 2. Nilai Konstanta PID metode 1 Ziegler-Nichols.....	10
Tabel 3. Format Pesan NMEA0183.....	12
Tabel 4. Daftar format kalimat NMEA0183.....	13
Tabel 5. Struktur pesan AIS type 1, 2, & 3.....	18
Tabel 6. Komponen rangkaian penggerak dan komunikasi kapal	27
Tabel 7. Koordinat waypoint dengan lintasan lurus	32
Tabel 8 Koordinat waypoint dengan beda jarak 10 meter	32
Tabel 9. Koordinat waypoint dengan beda jarak 20 meter	33
Tabel 10 Koordinat waypoint zig - zag.....	34
Tabel 11. Respon sistem pada beberapa kondisi.....	41
Tabel 12. Spesifikasi sistem kendali kecepatan kapal	41
Tabel 13. Perencanaan kecepatan kapal.....	45
Tabel 14. Contoh data monitoring kapal yang belum di- <i>decode</i>	46
Tabel 15. Data tracking waypoint terdekat terhadap waypoint tujuan.....	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data performansi kecepatan dengan sistem kendali PID	55
Lampiran 2. Data performansi sistem kendali pada variasi jarak antar waypoint 10 meter.....	56
Lampiran 3. Data performansi sistem kendali pada variasi jarak antar waypoint 20 meter.....	58
Lampiran 4. Data monitoring waypoint zigzag.....	60
Lampiran 5. Format pengiriman data.....	64
Lampiran 8. <i>Skematic diagram</i> sistem autopilot dan komunikasi kapal.....	66
Lampiran 9 . <i>Wiring diagram</i> sistem autopilot dan komunikasi kapal.....	67
Lampiran 10. Dokumentasi Pengambilan Data	68

DAFTAR NOTASI

Lambang /Singkatan	Arti dan Satuan
K_p	Penguat Proporsional
K_d	Penguat derivative
K_i	Penguat Integral
$e(t)$	Error saat ini
U	Kecepatan kapal (m/s)
L_{pp}	Panjang kapal (m)
∂	Sudut rudder (derajat)
$\dot{\partial}_{min}$	Laju minimum putaran rudder (deg/s)
$\hat{V}$	Tegangan rata-rata (volt)
%DC	Persentase <i>duty cycle</i>
V_{max}	Tegangan maximum masuk ke <i>driver motor</i> (volt)
% ϵ	Persentase <i>steady state error</i>
V_m	Kecepatan model kapal (knot)
V_t	Target kecepatan kapal (knot)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Moda transportasi kapal telah menjadi opsi utama dalam transportasi perairan. Dengan kapasitas angkut yang besar dan biaya yang relatif murah menjadikan kapal sebagai primadona dunia transportasi sampai sekarang. Sejauh ini teknologi kapal telah mengalami berbagai evolusi mulai dari bentuk lambung, propulsi kapal, komponen stabilitas, peralatan pendukung di atas kapal hingga teknologi digital. Salah satu terobosan penting yang memiliki mafaat besar di bidang perkapalan yaitu penerapan sistem autopilot. Sistem kendali autopilot pada kapal berperan untuk menavigasi kapal dalam mempertahankan haluannya agar tetap berada pada lintasan atau bergerak ke arah yang ditentukan, menangani gangguan, dan dapat beradaptasi jika terjadi perubahan kondisi (Irmawan et al., 2016). Teknologi ini dapat memangkas sebagian besar biaya operasional kapal dikarenakan berkurangnya pemanfaatan tenaga manusia dalam pengoperasian kapal.

Kapal yang berlayar di laut terbuka biasa mengalami perubahan gerak yang besar dan bervariasi sesuai dengan gelombang di lautan.(Liu et al., 2019). Akibatnya terjadi penambahan tahanan yang berdampak pada penurunan kecepatan dan kehilangan energi. Di sisi lain efisiensi bahan bakar dan konservasi energi merupakan aspek penting yang perlu perhatian lebih karena berkaitan erat dengan nilai ekonomis pelayaran. Hal ini kemudian mendorong berbagai jenis penelitian di bidang sistem kendali kapal. Beberapa penelitian terdahulu dilakukan dengan menganggap kapal bergerak dengan kecepatan konstan serta dinamika kapal tidak berubah terhadap kecepatan (Liu et al., 2019). Pada kenyataannya, perubahan parameter model kapal saat berlayar di laut terbuka justru banyak disebabkan oleh perubahan kecepatan. Kecepatan kapal merupakan variabel yang berubah terhadap waktu (*time-varying*) sehingga terjadinya penurunan kecepatan dapat menyebabkan perubahan parameter kendalinya.(Liu et al., 2019).

Penelitian lain berkaitan tentang sistem kendali autopilot telah dilakukan oleh (Muhammad,2018) dan (Abdillah,2017). Kedua penelitian tersebut fokus pada

kendali rudder dalam rangka mengubah haluan kapal dengan masing-masing menggunakan metode kendali PID dan Fuzzy Logic. Kekurangan dari kedua penelitian tersebut yaitu belum mendukung pengaturan kecepatan kapal. Kekurangan tersebut dapat menjadi kelemahan terbesar bagi kapal dengan sistem navigasi autopilot . Kegagalan kapal untuk mencapai dan mempertahankan kecepatan dinas dapat menyebabkan keterlambatan estimasi waktu tiba di pelabuhan tujuan (*Estimated Time Arrival*). Hal ini dapat memicu kerugian dari berbagai sisi baik dari segi ekonomi, manajemen, dan pemasaran. Sejalan dengan hal itu, maka dalam penelitian ini akan diadaptasi metode PID sebagai sistem kendali kecepatan pada model kapal ikan untuk menciptakan sistem autopilot yang lebih efektif. Konsep model kapal yang akan digunakan yaitu model kapal ikan milik Laboratorium Listrik dan Kendali, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Universitas Hasanuddin.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana desain kendali PID untuk mengatur kecepatan kapal autopilot ?
2. Bagaimana performa sistem kendali PID dalam mengatur kecepatan kapal autopilot ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dan manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Mendesain sistem kendali PID untuk mengatur kecepatan kapal autopilot dengan menggunakan mikrokontroler.
2. Menganalisa performa sistem kendali PID dalam mengatur kecepatan kapal autopilot .

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan memberi manfaat pada pengembangan metode sistem kendali kapal autonomous. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan stimulus untuk pengembangan penelitian dan minat mahasiswa Sistem Perkapalan untuk meneliti kendali kapal autonomous.

1.5 Ruang Lingkup

Agar lingkup pembahasan dalam penelitian ini tidak meluas maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian hanya mencakup 3 DOF yaitu *Surge* , *Sway*, *Yaw*.
2. Desain propeller dan kemudi tidak diperhitungkan.
3. Model kapal yang digunakan adalah model kapal ikan milik Laboratorium Listrik dan Kendali, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino Mega2560 dan GPS Ublox Neo-6M.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Navigasi Autopilot

Kapal dengan sistem navigasi *autopilot* atau yang dikenal dengan sebutan *Marine Automatic Surface Ships* (MASS) adalah sebutan bagi kapal yang berlayar di permukaan air tanpa awak. MASS merupakan teknologi baru yang memungkinkan pengiriman barang melalui kapal yang dikendalikan dari jarak jauh tanpa memerlukan awak kapal. Kondisi operasi semacam itu akan berpengaruh pada efisiensi dan keamanan pelayaran karena dapat mengurangi *human-based error* pada saat beroperasi. Maka dari pada itu, *International Maritime Organisation* (IMO) dalam agenda sesi ke-105 yang diadakan oleh *Legal Committee* (LEG) dan juga dalam sesi ke-99 pada pembahasan oleh *Maritime Safety Committee* (MSC) 27 pengoperasian MASS mulai dibahas secara serius mengingat teknologi ini akan berdampak luas jika telah beroperasi secara umum. Selain bahasan mengenai pengurangan faktor *human-based error*, IMO juga secara serius membahas terkait mengenai faktor polusi lingkungan yang umum terjadi pada teknologi konvensional seperti tumpahan minyak dan buangan gas karbon²⁸. Teknologi MASS diproyeksikan akan menggunakan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan rencananya akan diterapkan secara bertahap mengingat adanya faktor geografis serta faktor politik dan hukum terkait penggunaan MASS. IMO menyadari bahwa kemajuan teknologi tanpa awak bagi dunia perkapalan tidak mungkin dihindari. Untuk menjawab tantangan masa depan tersebut IMO telah menghasilkan regulasi terkait penggunaan MASS untuk memastikan kinerja MASS sejalan dengan tiga fungsi anjungan (*three key bridge functions*) yaitu pengoperasian, kesadaran situasional, dan pengambil keputusan (Nugraha, Sudirman, & Putro, 2022).

Pada perkembangannya IMO melalui *the Regulatory Scoping Exercise* (RSE 2021) mengidentifikasi MASS dalam empat tingkatan berdasarkan derajat keotonomiannya, yaitu :

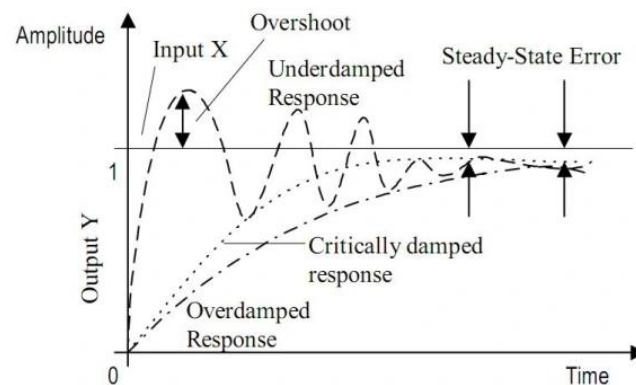
1. Kapal dengan kemampuan otomatis dan dukungan pengambilan keputusan. Kapal tetap dilengkapi dan diawaki oleh kru, namun beberapa hal dapat berjalan otomatis.
2. Kapal yang dikendalikan dari jarak jauh, namun kru tetap ada di dalam kapal tersebut. Kapal dikendalikan dari jarak jauh untuk navigasinya, namun kru tetap hadir di dalam kapal guna keperluan yang lain (*back-up mode*).
3. Kapal yang dikendalikan dari jarak jauh, tanpa adanya kru yang hadir di kapal tersebut. Kapal dikendalikan dari jarak jauh, dan tidak ada kru yang naik di dalam kapal tersebut (*semi-fully automation*).
4. Kapal dengan otonom penuh. Kapal tidak dikendalikan dari jarak jauh, melainkan kapal dapat mengambil tindakan dan melakukan navigasi secara mandiri dibantu oleh *artificial intelligence*.

2.2 Karakteristik Respon Sistem Kendali

Reaksi sistem atau respons sistem merujuk pada perubahan dalam keluaran sistem sebagai respons terhadap perubahan dalam sinyal masukan. Grafik respons sistem ini akan digunakan sebagai dasar untuk menganalisis karakteristik sistem, selain dari pendekatan menggunakan persamaan atau model matematika. Terdapat 3 tipe input sinyal test yang dapat digunakan dalam analisa respon sistem kendali dari bentuk kurva responnya yaitu *Impulse Signal* (sinyal kejutan), *step signal* (sinyal input tetap DC secara mendadak), dan *ramp signal* (sinyal yang berubah mendadak : $\sin$, $\cos$). Respon sistem sendiri dapat dibagi menjadi dua berdasarkan kawasan/domain sistem yaitu :

1. Domain waktu (*Time Respons*)

Karakteristik respon sistem dalam domain waktu adalah karakteristik respon yang spesifikasi performansinya didasarkan pada pengamatan bentuk respon *output* sistem terhadap berubahnya waktu. Secara umum spesifikasi performansi respon waktu dapat dibagi atas dua tahapan pengamatan yaitu : respon peralihan (*transient respons*) dan *steady-state respons*.



Gambar 1. Karakteristik respon sistem dalam domain waktu

Bentuk sinyal yang terdapat pada respon transien ada tiga jenis seperti yang terlihat pada Gambar 1 dengan penjelasan sebagai berikut :

- a. *Underdamped response*, output melesat naik untuk mencapai input kemudian turun dari nilai yang kemudian berhenti pada kisaran nilai input. Respon ini memiliki efek osilasi.
- b. *Critically damped response*, output tidak melewati nilai input tapi butuh waktu lama untuk mencapai target akhirnya.
- c. *Overdamped response*, respon yang dapat mencapai nilai input dengan cepat dan tidak melewati batas input.
- d. *Steady-state response (SS)* adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat respon masuk dalam keadaan steady state sampai waktu tak terbatas (dalam praktek waktu pengamatan dilakukan saat $TS \leq t \leq 5TS$). Tolak ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon *steady state* ini antara lain; *%error steady state* baik untuk eror posisi, eror kecepatan maupun eror percepatan.

$$\% \varepsilon = \left| \frac{v_t - v_m}{v_t} \right| \times 100\% \quad (2.1)$$

Respon transien adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat terjadinya perubahan sinyal input/gangguan/beban sampai respon masuk dalam keadaan *steady state*. Tolak ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon transient ini antara lain :

a. *Time constant (T)*

Merupakan ukuran waktu yang menyatakan kecepatan respon sistem kendali. Nilainya diukur dari posisi waktu $(t) = 0$ sampai respon mencapai 63,2% dari respon steady state.

$$T = t_{0.632ss} - t_0 \quad (2.2)$$

b. *Rise time (Tr)*

Ukuran waktu yang dibutuhkan sistem dari 5% sampai 95% dari respon steady state dapat juga dihitung dari 10% sampai 90%.

$$Tr = t_{0.95ss} - t_{0.05ss} \quad (2.3)$$

c. *Delay time (Td)*

Merupakan ukuran waktu untuk menyatakan keterlambatan respon output terhadap input. Nilainya diukur mulai dari nilai $t = 0$ hingga respon mencapai 50% dari respon steady state .

$$Td = t_{0.5ss} - t_0 \quad (2.4)$$

d. *Peak time (Tp)*

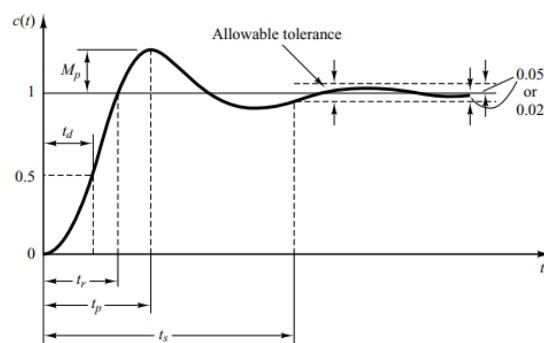
Merupakan ukuran waktu yang dibutuhkan respon mulai dari $t = 0$ hingga mencapai puncak pertama overshoot.

e. *Settling time (TS)*

Merupakan ukuran waktu untuk menyatakan respon telah memasuki $\pm 5\%$ atau $\pm 2\%$ atau $\pm 0,5\%$ dari nilai setpoint yang ditetapkan.

f. *%overshoot*

Merupakan nilai relatif yang menyatakan perbandingan antara nilai maksimum respon (*overshoot*) dibanding dengan nilai *steady state*.



Gambar 2. Karakteristik respon transien pada sistem orde dua

2. Domain frekwensi (*Frequency Respons*)

Karakter respon frekuensi adalah karakteristik respon yang spesifikasi performansinya didasarkan pengamatan *magnitude* dan sudut fase dari penguatan/*gain* (*output/input*) sistem untuk masukan sinyal sinus ($A \sin t$).

2.3 Model Kendali PID

Sistem kontrol PID (*Proportional, Integral, Derivative*) adalah sebuah kontroler yang digunakan untuk memastikan ketepatan atau presisi suatu sistem instrumentasi dengan memanfaatkan umpan balik (*feedback*) pada sistem tersebut. Sistem pengendalian PID terbagi menjadi tiga jenis, yaitu kendali P (*Proporsional*), D (*Diferensial*), dan I (*Integral*), masing-masing dengan keunggulan dan kelemahannya. Ketiga aksi kontrol tersebut dapat digunakan berbeda – beda maupun digunakan bersamaan dalam suatu sistem tetapi perlu diingat bahwa masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol Proporsional mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol Integral mempunyai keunggulan memperkecil error, dan aksi kontrol *derivative* mempunyai keunggulan untuk memperkecil error atau meredam *overshoot/undershoot*.

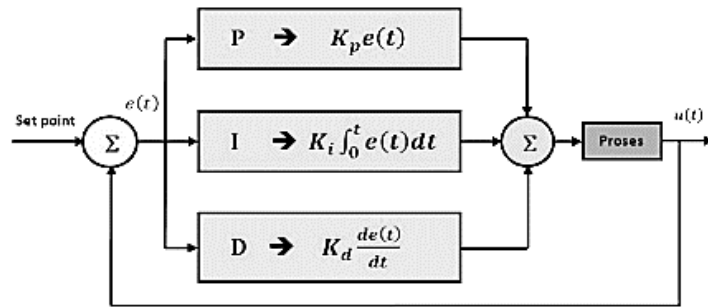
Tabel 1. Karakteristik parameter kendali PID

Parameter	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling time</i>	<i>s-s Error</i>
Kp	Berkurang	Bertambah	<i>Minor change</i>	Berkurang
Ki	Berkurang	Bertambah	Bertambah	Menghilangkan
Kd	<i>Minor Change</i>	Berkurang	Berkurang	<i>Minor Change</i>

Tujuan penggabungan ketiga jenis pengendalian ini adalah untuk mengkompensasi kekurangan dan memanfaatkan keunggulan yang dimiliki oleh setiap jenis pengendalian tersebut. Kontrol PID sangat luas pengaplikasiannya dikarenakan sistem ini merupakan sistem kontrol loop tertutup yang cukup sederhana dan kompatibel dengan sistem kontrol lainnya sehingga dapat dikombinasikan dengan sistem kontrol lain seperti : *Fuzzy control*, *Adaptif control*, dan *Robust control*.

Model matematika sistem PID dinyatakan dalam bentuk persamaan 2.5.

$$\partial(t) = K_p \cdot e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_i \int e(t) dt \quad (2.5)$$



Gambar 3. Diagram blok sistem kendali PID

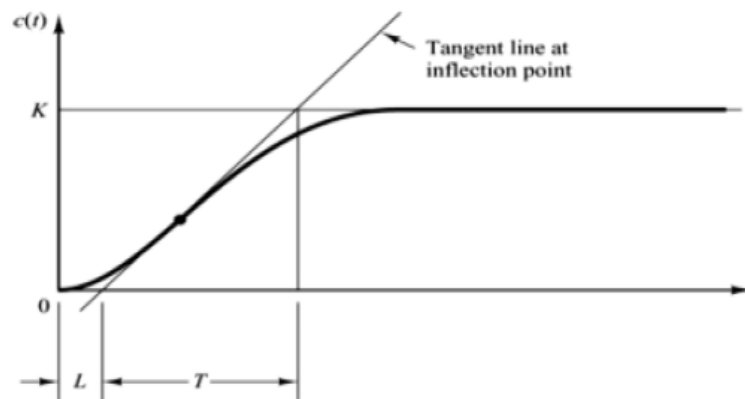
2.3.1 Tuning PID

Salah satu tantangan utama dalam perancangan pengendali PID adalah menentukan nilai-nilai K_p , K_i , dan K_d yang optimal. Proses penyetelan biasanya mengikuti metode matematis berdasarkan model sistem atau *plant*. Namun, jika model matematis tidak tersedia atau tidak diketahui, maka penyetelan dilakukan melalui eksperimen pada sistem tersebut. Dalam perancangan sistem kontrol PID, seringkali digunakan metode coba-coba atau "*trial & error*." Hal ini disebabkan oleh kenyataan bahwa parameter K_p , K_i , dan K_d tidak saling independen. Untuk mencapai kinerja pengendalian yang optimal, diperlukan serangkaian eksperimen dengan berbagai kombinasi antara P (*Proporsional*), I (*Integral*), dan D (*Diferensial*) hingga ditemukan nilai-nilai K_p , K_i , dan K_d yang sesuai dengan yang diinginkan. Selain metode *trial & error* ada beberapa metode tuning PID, salah satu yang paling umum digunakan ialah metode tuning Ziegler-Nichols. Metode ini bertujuan untuk pencapaian *maximum overshoot* (MO): 25 % terhadap masukan step.

2.3.2 Metode 1 Ziegler – Nichols

Metode pertama Ziegler-Nichol didasarkan pada respon alami dari *plant* terhadap masukan *step*. Jika respon *plant* yang belum memiliki *integrator* menghasilkan kurva tanggapan yang berbentuk huruf S maka metode ini dapat diterapkan. Kurva tanggapan tersebut digunakan untuk mencari waktu tunda (L)

dan waktu transisi (T) dengan cara menggambar garis singgung tepat pada titik belok kurva S seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva tanggapan plant berbentuk kurva S

Konstanta kendali PID dapat ditentukan dari kurva reaksi dengan mengacu pada tetapan empiris Ziegler-Nichols sesuai Tabel 2.

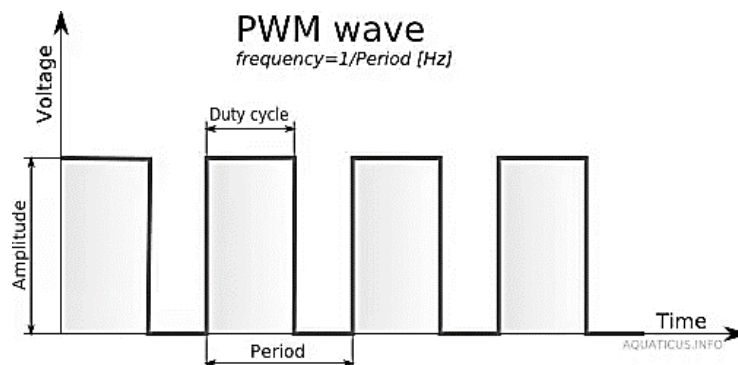
Tabel 2. Nilai Konstanta PID metode 1 Ziegler-Nichols

Jenis Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2L$	$0.5 L$

2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

"PWM" (*Pulse Width Modulation*) atau Modulasi Lebar Pulsa merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengatur secara digital jumlah tegangan listrik yang dihantar kepada peranti atau komponen. Hal ini dapat dicapai dengan mematikan dan menyalakan daya secara cepat pada selang waktu yang bervariasi, dengan rasio waktu hidup terhadap waktu mati yang menentukan daya rata-rata yang dikirimkan. PWM umumnya digunakan dalam perangkat elektronik seperti kontrol kecepatan motor, pengaturan kecerahan lampu LED, dan regulasi daya dalam berbagai aplikasi. Dalam satu siklus sinyal PWM terdiri dari sinyal kondisi ON dan sinyal kondisi OFF dan banyak waktu (lebar pulsa) yang terjadi saat sinyal ON ditambah banyak waktu pada kondisi OFF disebut sebagai periode. Sebuah siklus sinyal PWM dapat terjadi beberapa kali tiap detik sehingga jumlah siklus tiap detik disebut frekuensi PWM.

$$DutyCycle (DC) = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} * 100 \quad (2.6)$$



Gambar 5. Komponen pada sinyal PWM

Mikrokontroler arduino menggunakan frekuensi PWM sekitar 500 Hz sehingga periode PWM = 1/frekuensi PWM atau sekitar 2 ms . Arduino memakai perintah `analogWrite ( )` dengan skala 0-255 yang berarti `analogWrite ( 255)` untuk DC = 100% , `analogWrite (127)` untuk DC = 50% dan seterusnya.

2.5 Sistem Navigasi Kapal

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem radio navigasi untuk menentukan posisi menggunakan satelit. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS atau *Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System*. GPS adalah perangkat navigasi yang bisa digunakan untuk menentukan atau mengidentifikasi lokasi suatu objek yang ingin diketahui atau dikendalikan. Dalam praktiknya, sistem GPS seringkali diterapkan secara luas dalam industri perkapalan untuk memudahkan proses kerja di kapal, terutama dalam pengendalian sistem kemudi kapal.

Data GPS dikomunikasikan menggunakan beberapa jenis protokol termasuk format pesan standar maupun yang bukan . Dari sekian protokol komunikasi data tersebut informasi dapat dikirim berupa data binary yaitu 1 dan 0 ataupun juga menggunakan format data ASCII. Salah satu protokol komunikasi data GPS yang paling umum digunakan pada kapal yaitu protokol NMEA 0183. NMEA sendiri merupakan singkatan dari “ *National Marine Electronics Association*” yang merupakan organisasi yang didirikan pada tahun 1957. Protokol NMEA 0183 cukup sederhana dimana data dikirim dalam bentuk *ASCII string* yang dapat

dianalogikan seperti sebuah kalimat biasa yang dikirim dari seorang “pembicara” dan diterima oleh banyak “pendengar” secara bersamaan. Karakteristik lain dari protokol ini yaitu menggunakan standar kelistrikan RS-422 namun masih kompatibel dengan standard kelistrikan RS-232.

Semua kalimat NMEA 0183 dimulai dengan tanda \$ dan diakhiri dengan baris ganti(*Line Feed*) dan aliran garis(*Carriage Return*); setiap bidang data dalam kalimat dipisahkan dengan tanda koma. Contoh dalam format kalimat berikut :

```
$GPGGA,181908.00,3404.7041778,N,07044.3966270,W,4,13,1.00,495.144,M,29.200,M,0.10,0000,*40
```

\$ GPGGA adalah pesan GPS NMEA dasar, yang menyediakan lokasi 3D dan data akurasi. GP setelah tanda \$ menunjukkan posisi GPS. Dari format tersebut dapat diurai menjadi berapa informasi yang dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Format Pesan NMEA0183

Text	Keterangan
GP	Posisi GPS
181908.00	waktu di mana lokasi GPS Modul, 11:06:17 UTC
3404.7041778	Menunjukkan latitude dengan format DDMM.MMMMM
N	Menyatakan North Latitude (lintang utara)
07044.3966270	Menunjukkan koordinat bujur dengan format DDDMM.MMMMM
W	Menyatakan West Longitude (bujur barat)
4	Indikator Kualitas (tingkat presisi)
13	Jumlah satelit yang dilacak
1.00	Horizontal dilution of Position
495,144	Altitude/Ketinggian antena gps
M	Unit ketinggian (meter/feet)
29.200	Tinggi geoid (permukaan laut rata-rata) di atas ellipsoid WGS84
M	Unit geoid (meter/feet)
1.0	waktu dalam detik sejak pembaruan DGPS terakhir (jika ada)
0000	nomor ID stasiun DGPS (jika ada)
*40	data checksum, selalu dimulai dengan *

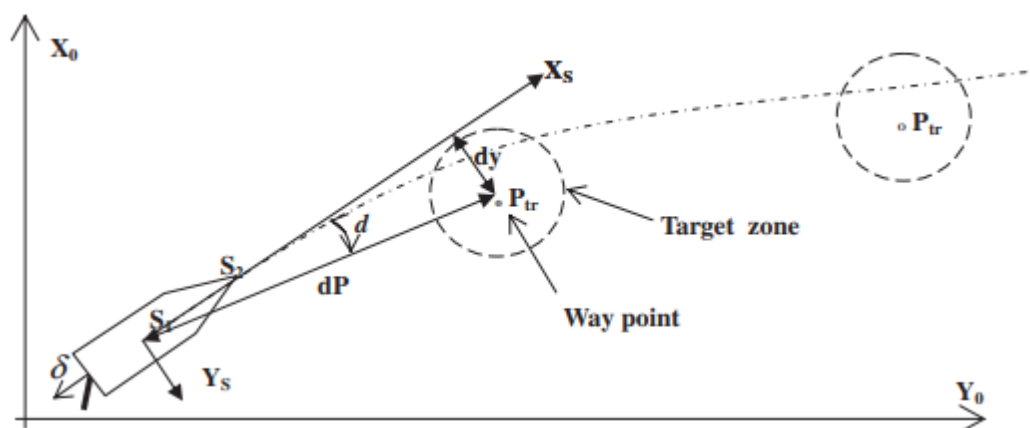
Selain \$GPGGA masih ada format hexadesimal lainnya pada protokol komunikasi NMEA0183 seperti yang dijelaskan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Daftar format kalimat NMEA0183

<i>Sentence</i>	<i>Description</i>
\$GPGGA	Time, Position , fix type data
\$GPGLL	<i>Latitude, Longitude, UTC time Of position fix and Status</i>
\$GPGSA	GPS receiver operating mode, satellite used in the position solution , DOP values
\$GPGSV	Number of satellite in view, satellite ID number, elevation, azimuth, SNR values
\$GPRMC	Time, Date, position, course, speed data
\$GPVTG	Course, speed information relative to the ground

2.5.1 Konsep kapal mengikuti lintasan

Sistem autopilot pada kapal perlu memenuhi dua kriteria kerja . Kriteria pertama yaitu menyangkut perubahan rute (*course-changing*) dimana kapal perlu untuk mengikuti rute yang tepat sesuai yang telah ditentukan. Oleh karena itu, sistem autopilot bertugas untuk memicu respon manuver secara cepat dan akurat. Tugas yang kedua yaitu *course-keeping*, dimana kapal harus tetap berada pada lintasan yang sedang dilalui sehingga sistem autopilot harus dapat meminimalkan aktivitas daun kemudi.(Moradi & Katebi, 2001).



Gambar 6. Track untuk waypoint berikutnya

Sumber : Maimun et al., (2013)

Konsep kapal autopilot dengan sistem waypoint bekerja sesuai dengan Gambar 6. Autopilot kapal akan menghitung perbedaan sudut antara lokasi aktual kapal terhadap waypoint tujuan. Selisih sudut yang diperoleh kemudian dijadikan

sebagai input kendali servo yang akan mengatur sudut rudder (Maimun et al., 2013). Kapal dianggap telah mencapai waypoint setelah berada dalam zona berbentuk lingkaran. Selanjutnya, kapal akan bergerak ke waypoint berikutnya.

Perhitungan heading error antara heading kapal dengan sudut waypoin dapat dikalkulasikan dengan formula berikut :

$$\partial\psi = \pm(P_{st}) \sin^{-1} \left(\frac{dy}{dP_{tr}} \right) \quad (2.7)$$

Dimana :

$$dy = \frac{(y_{tr}-a_{tr}-b)}{\sqrt{(a^2-1)}} \quad (2.8)$$

$$dP_{tr} = \sqrt{(y_p - y_{s1})^2 + (x_p - x_{s1})^2} \quad (2.9)$$

$$a = \frac{(y_{s2}-y_{s1})}{(x_{s2}-x_{s1})} \quad (2.10)$$

$$b = -ax_{s2} + y_{s1} \quad (2.11)$$

$$P_{st} = (y_p - y_{s1})(x_{s2} - x_{s1}) - (x_p - x_{s1})(y_{s2} - y_{s1}) \quad (2.12)$$

Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa :

Nilai $P_{st} > 0$; tracking point berada di sisi kanan garis S_1S_2

Nilai $P_{st} < 0$; tracking point berada di sisi kiri garis S_1S_2

Nilai $P_{st} = 0$; tracking point berada tepat di garis S_1S_2

dy ;merupakan jarak lateral dari tracking point terhadap garis S_1S_2

dP_{tr} ;merupakan jarak lateral dari tracking point terhadap titik S_1

2.5.2 Konsep gerakan rudder

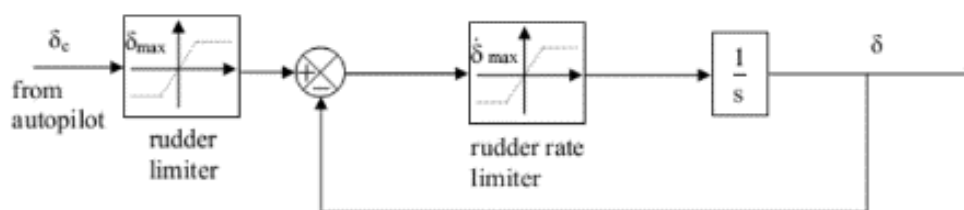
Gerak manuver kapal diperoleh dengan menggerakkan daun kemudi ke kiri atau kanan dengan derajat tertentu. Pada kebanyakan kapal, kecepatan dan sudut kemudi harus berada dalam batas yang sudah ditetapkan yang mempunyai spesifikasi kemampuan kerja antara -35^0 sampai 35^0 dengan laju kerja rudder antara 0^0 sampai 7^0 /detik. Dari pesyaratan tersebut dapat diketahui bahwa rudder harus dapat digerakkan 35^0 dari portside menuju 35^0 ke starboard tidak lebih dari 30 detik.

$$\delta_{\max} = 35 \text{ (deg)}; \quad 2\frac{1}{3} \text{ (deg/s)} \leq \dot{\delta}_{\max} < 7 \text{ (deg/s)} \quad (2.13)$$

Menurut Eda dan Crane (1965) bahwa kecepatan minimum rudder dapat dihitung dengan persamaan 2.4

$$\dot{\delta}_{\min} = 132,9 \left(\frac{U}{L_{pp}} \right) \left(\frac{\text{deg}}{s} \right) \cdot 14$$

Ada beberapa mesin kemudi yang jauh lebih cepat telah dirancang dengan kecepatan kemudi hingga 15-20 (derajat/detik). Kecepatan kemudi pada kisaran tersebut diperlukan untuk mendukung sistem *Rudder-Roll Stabilization* (RRS) dapat berfungsi dengan baik.



Gambar 7. Diagram kendali rudder sederhana

Mengendalikan rudder yang terhubung dengan sebuah motor servo dilakukan dengan mengatur *duty cycle* PWM. Biasanya besaran *duty cycle* tidak dinyatakan dalam bentuk persentase (%) melainkan dinyatakan dalam bentuk jumlah waktu kondisi ON dalam *milisecond*. Sebagai contoh servo akan menggerakkan rudder sebesar 90 derajat dari titik 0 derajat jika diberi tegangan PWM sebesar 1050 *microsecond*.

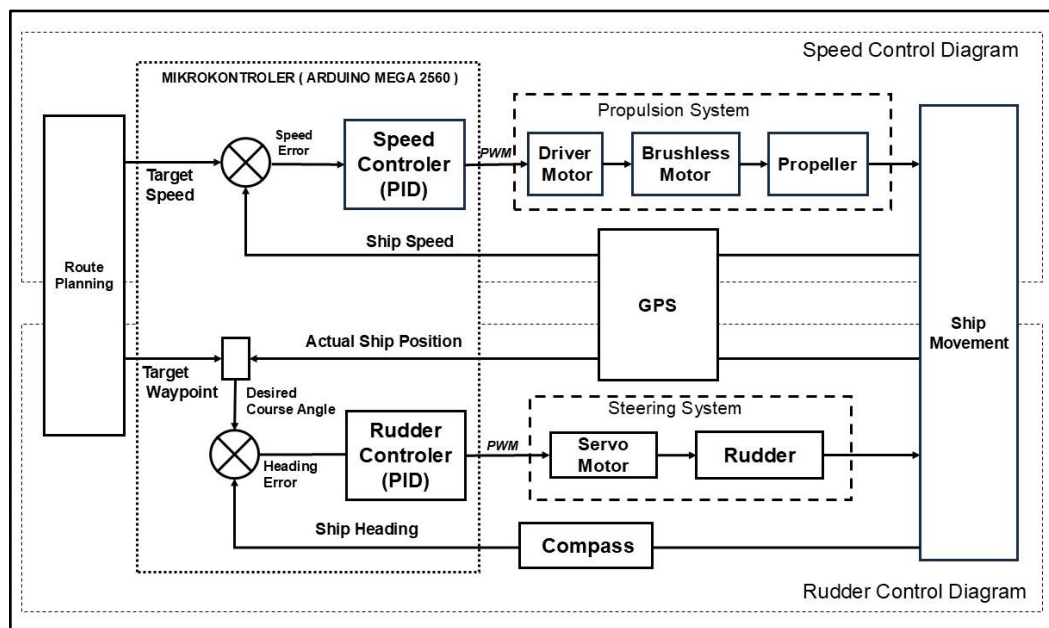
2.5.3 Konsep kendali kecepatan pada kapal autopilot

Usaha untuk mengontrol kecepatan kapal memiliki strategi yang berbeda tergantung pada jenis penggerak kapal yang digunakan. Mengatur kecepatan kapal berpengerak mesin diesel berkaitan dengan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar sedangkan untuk penggerak motor listrik seperti motor DC berkaitan dengan tegangan yang masuk ke motor.

Pengaturan tegangan masuk motor dilakukan oleh komponen *driver motor* dengan mengatur persentase *duty cycle* (DC) PWM. *Duty cycle* mendeskripsikan banyaknya waktu sinyal pada kondisi ON (*high*) sebagai persentase dari keseluruhan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu siklus lengkap (Permana & Soedarto, 2015).

Jika pembangkitan sinyal digital on dan off dilakukan dengan *rate* cukup cepat pada *dutycycle* tertentu maka akan diperoleh tegangan keluaran berupa tegangan rerata konstan yang persis seperti tegangan analog (Permana & Soedarto, 2015). Tegangan rerata semacam itu diatur oleh driver motor dimana tegangan inilah yang akan digunakan untuk menjalankan motor . Rumus untuk menghitung tegangan rerata menggunakan persamaan 2.9.

$$\hat{V} = \%DC \times V_{\max} \quad (2.15)$$



Gambar 8. Diagram kendali autopilot dan kendali kecepatan kapal

2.5.4 Automatic Identification System (AIS)

Automatic Identification System (AIS) adalah sistem otomatis yang digunakan di dunia maritim untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi navigasi. AIS berfungsi untuk mengidentifikasi kapal, memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan arah, serta mengirimkan peringatan mengenai potensi tabrakan dan kondisi lingkungan. Ada dua tipe utama AIS yang umum digunakan: AIS kelas A, yang diwajibkan untuk kapal komersial besar dan kapal penumpang, dan AIS kelas B, yang dirancang untuk kapal kecil, kapal rekreasi, dan kapal yang tidak diwajibkan menggunakan AIS kelas A. Manfaat utama AIS termasuk peningkatan kesadaran situasional bagi pengemudi kapal dan otoritas pelabuhan, manajemen lalu lintas laut yang lebih baik, serta penegakan hukum terhadap aktivitas ilegal di perairan. Di tingkat internasional, AIS diatur oleh konvensi SOLAS (*Safety of Life at Sea*), yang menetapkan kewajiban bagi jenis kapal tertentu untuk memasang sistem ini. Jenis kapal yang diwajibkan termasuk kapal penumpang, kapal kargo dengan tonase bruto di atas 300 ton, kapal tanker, kapal pengangkut barang berbahaya, dan dalam beberapa kasus, kapal penangkap ikan besar. Di Indonesia, regulasi yang mengatur penggunaan AIS tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 36 Tahun 2015 tentang Pengaturan dan Pengawasan Navigasi Kapal, yang mengharuskan kapal-kapal dengan kategori tertentu, seperti kapal penumpang dan kapal kargo besar, untuk dilengkapi dengan AIS guna mendukung keselamatan navigasi dan pengawasan lalu lintas laut. Dengan adanya regulasi ini, diharapkan penggunaan AIS dapat dioptimalkan untuk meningkatkan keselamatan di perairan Indonesia.

2.5.4.1 Protokol encoding data AIS

Pesan AIS ditulis dalam format pesan NMEA0183. Format data tersebut disusun sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah pesan utuh yang berisi sekumpulan karakter ASCII-6 Bit. Secara sederhana kumpulan karakter (char) tersebut merupakan kumpulan informasi kapal yang telah disusun sesuai urutan tertentu. Setelah semua informasi tersebut disusun maka diperoleh sebanyak 168 bit. Bit tersebut kemudian dikonversikan menjadi sebuah character ASCII setiap 6

bit. Dengan demikian akan diperoleh sebanyak 28 karakter ASCII-6 bit seperti yang digarisbawahi pada contoh berikut ini.

`!AIVDM,1,1,,B,177KQJ5000G?tO`K>RA1wUbN0TKH,0*5C`

!AIVDM merupakan header pengenalan pesan, AIVDM menandakan pesan dari yang diterima dari kapal lain sedangkan AIVDO menandakan pesan dari kapal sendiri. Bagian yang digarisbawahi lah yang mengandung informasi kapal. Sedangkan karakter 5C setelah tanda * merupakan nilai checksum pesan dalam format hexadecimal. Tabel 5 berikut ini merupakan informasi kapal yang dimuat dalam pesan AIS dasar type 1,2, & 3.

Tabel 5. Struktur pesan AIS type 1, 2, & 3

Posisi bit	Panjang bit	Deskripsi
0-5	6	Message Type
6-7	2	Repeat Indicator
8-37	30	MMSI
38-41	4	Navigation Status
42-49	8	Rate of Turn (ROT)
50-59	10	Speed Over Ground (SOG)
60-60	1	Position Accuracy
61-88	28	Longitude
89-115	27	Latitude
116-127	12	Course Over Ground (COG)
128-136	9	True Heading (HDG)
137-142	6	Time Stamp
143-144	2	Maneuver Indicator
145-147	3	Spare
148-148	1	RAIM flag
149-167	19	Radio status

Sumber : gpsd.gitlab.io

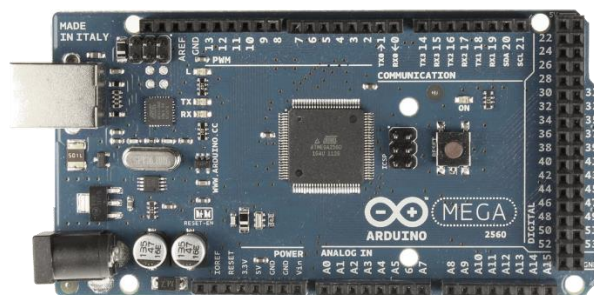
Konversi data AIS menjadi character ASCII-6 bit dilakukan dengan langkah - langkah sebagai berikut :

1. Menyesuaikan dan mengatur semua informasi pada Tabel 5 sesuai format dan urutan yang benar
2. Mengambil setiap 6 bit dari total 168 bit dari data yang telah disusun. Contohnya 6 bit pertama (bit ke 0-5) yang memuat informasi *message type*, bit ke 6-11, 12-17 dan seterusnya.

3. Tiap 6 bit yang diambil pada langkah kedua dikonversi menjadi karakter ASCII dengan cara menambahkan nilai 48 (DEC) pada bit-bit yang akan dikonversi. Misalnya untuk nilai b000000 atau 0 (DEC) ditambah dengan 48 yaitu $0 + 48$ menghasilkan karakter ASCII “0” saat dikonversi.
4. Apabila nilai DEC dari potongan bit tersebut bernilai 40 (DEC) ke atas maka tambahkan 8 (DEC) lalu tambah 48 (DEC), setelah itu lanjut konversikan nilainya menjadi karakter ASCII. Hal ini dilakukan karena karakter ASCII pada nilai decimal 40 hingga 47 tidak digunakan.
5. Susun setiap karakter sesuai dengan urutan pengambilan bit-nya
6. Setelah semua bit dikonversi menjadi karakter ASCII , langkah selanjutnya yaitu menggabungkan kumpulan karakter bersama dengan komponen pesan yang lain.
7. Langkah terakhir yaitu menambahkan nilai checksum yang dihitung dengan men-xor semua karakter yang terletak di antara tanda ! dan * . Nilai checksum diberikan dalam format hexadecimal dan diletakkan diujung kalimat setelah tanda (*) sebagai penanda checksum.
8. Dengan demikian diperoleh sebuah pesan AIS yang komplit.

2.6 Mikrokontroler Arduino

Arduino merupakan papan tunggal mikrokontroler yang dapat diprogram dan bersifat *open-source* . Arduino menggunakan bahasa pemrograman C++ yang telah disederhanakan sehingga dapat lebih mudah dipelajari dan dioperasikan. Salah satu contoh mikrokontroler arduino yaitu Mega2560. Arduino Mega 2560 merupakan papan Arduino yang mikrokontroler ATmega2560



Gambar 9. Board arduino Mega2560

Sumber : elprocus.com

Beberapa bagian utama dari board arduino yaitu :

1. Power supply

Terdapat dua alternatif power suplai yang dapat digunakan yaitu dari port USB dan dari power eksternal. Tegangan yang direkomendasikan yaitu antara 7 – 12 V, tegangan yang kurang dari 7 V dapat menyebabkan ketidakstabilan tegangan, sedangkan tegangan yang terlalu besar dapat menyebabkan panas hingga kerusakan board.

2. Pin Input-Output

Pada arduino Mega2560 terdapat pin digital (0-53) untuk input dan output digital, pin analog (A0-A15) untuk membaca sinyal analog dengan konverter analog-ke-digital, serta pin PWM pada pin digital 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 44, 45, dan 46. Papan ini juga memiliki pin power seperti 3.3V, 5V, GND, dan Vin untuk daya, pin serial (TX, RX) untuk komunikasi serial, serta pin I2C (SDA, SCL) dan SPI (MISO, MOSI, SCK, SS) untuk komunikasi I2C dan SPI dengan perangkat lain

3. Analog Input

Arduino Mega2560 juga memiliki 16 pin analog input yaitu A0 hingga A15. Pin tersebut berfungsi untuk membaca sinyal masukan analog seperti sensor analog.

2.6.1 Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman Java. Selain itu, Arduino IDE dilengkapi dengan pustaka C/C++ yang sering disebut sebagai Wiring, yang secara signifikan mempermudah operasi masukan dan keluaran. Arduino IDE awalnya dikembangkan dari perangkat lunak bernama *Processing* yang kemudian dimodifikasi menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan platform Arduino. Program yang ditulis menggunakan Arduino Software (IDE) disebut sebagai "sketch." *Sketch* ditulis dalam editor teks dan disimpan dalam file dengan ekstensi .ino. Editor teks dalam Arduino Software dilengkapi dengan berbagai fitur seperti pemotongan/duplikasi dan pencarian/penggantian teks, yang mempermudah dalam penulisan kode program.



Gambar 10. Jendela awal aplikasi Arduino IDE

Sumber : dokumentasi pribadi

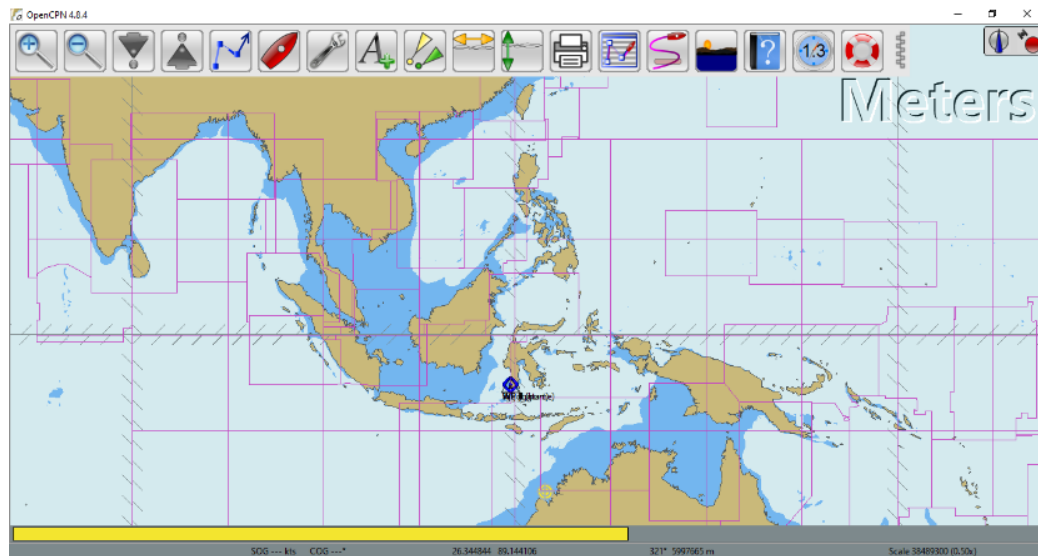
Keenam tombol yang ditunjuk pada Gambar 2.10 berfungsi untuk :

- **Verify**, untuk checking kode yang telah dibuat apakah sudahsesuai dengan kaidah pemrograman yang ada atau belum.
- **Upload**, melakukan kompilasi program atau kode yang dibuat menjadi bahasa yang dapat dipahami oleh kontroler dalam hal ini board arduino itu sendiri.
- **New**, berfungsi untuk membuat Sketch baru.
- **Open**, untuk membuka kembali sketch yang pernah dibuat untuk keperluan editing atau hendak diupload ulang ke Arduino.
- **Save**, berfungsi untuk menyimpan Sketch yang telah dibuat.
- **Serial Monitor**, untuk membuka jendela serial monitor yang dapat menampilkan data apa saja yang dikirimkan atau dipertukarkan antara arduino dengan sketch pada port serialnya. Melalui serial monitor programmer dapat melihat nilai proses, nilai pembacaan, bahkan pesan error.

2.7 Aplikasi OpenCPN

OpenCPN (*Open Chart Plotter Navigator*) adalah aplikasi perangkat lunak sumber terbuka yang digunakan untuk navigasi maritim. Aplikasi ini dirancang untuk membantu pelaut dalam merencanakan rute pelayaran, memantau perjalanan, dan memastikan keselamatan selama berada di laut. OpenCPN kompatibel dengan

berbagai sistem operasi seperti Windows, Mac OS X, dan Linux, serta mendukung berbagai jenis peta elektronik.



Gambar 11. Interface Aplikasi open CPN

Sumber : dokumentasi pribadi

Fitur utama dari aplikasi OpenCPN yaitu :

1. Pemetaan elektronik: OpenCPN mendukung berbagai format peta elektronik seperti ENC (*Electronic Navigational Chart*) dan *raster charts*. Pengguna dapat mengunduh dan mengintegrasikan peta dari berbagai sumber.
2. Perencanaan rute: Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk merencanakan rute pelayaran dengan mudah melalui antarmuka yang intuitif. Pengguna dapat menentukan titik-titik waypoint dan mengukur jarak serta waktu tempuh.
3. Pelacakan dan *monitoring*: OpenCPN dapat terhubung dengan perangkat GPS untuk memantau posisi kapal secara real-time. Fitur ini sangat berguna untuk memastikan kapal tetap berada di jalur yang telah direncanakan.
4. Integrasi AIS (*Automatic Identification System*): OpenCPN dapat menerima data AIS untuk memantau pergerakan kapal lain di sekitar.