

# Optimasi Posisi Kapal Autonomous Menggunakan Modul GNSS – RTK dengan Metode FGS - PID

Gandhi Achmad Tegar Prakasa<sup>1</sup>, Joko Endrasmono<sup>2</sup>, Dimas Pristovani Riananda<sup>3</sup>, Purwidi Asri<sup>4</sup>, Mohammad Abu Jami'in<sup>5</sup>, Ii Munadhif<sup>6</sup>, Zindhu Maulana Ahmad Putra<sup>7</sup>

e-mail: [gandhiachmad@student.ppns.ac.id](mailto:gandhiachmad@student.ppns.ac.id), [endrasmono@ppns.ac.id](mailto:endrasmono@ppns.ac.id), [dimaspristovani@ppns.ac.id](mailto:dimaspristovani@ppns.ac.id),  
[purwidi@ppns.ac.id](mailto:purwidi@ppns.ac.id), [jammy@ppns.ac.id](mailto:jammy@ppns.ac.id), [zindhu@ppns.ac.id](mailto:zindhu@ppns.ac.id)

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup>Jurusan Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Indonesia

## Informasi Artikel

### Riwayat Artikel

Diterima 19 Juni 2024

Direvisi 30 Juli 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

### Kata kunci:

FGS-PID,  
GNSS RTK,  
Kapal Autonomous,  
Waypoint,

### Keywords:

Autonomous Ship,  
FGS-PID,  
GNSS-RTK,  
Waypoint,

## ABSTRAK (9 PT)

Sistem navigasi otomatis yang berbasis satelit yaitu *Global Navigation Satellite System* (GNSS) atau lebih dikenal dengan *Global Positioning System* (GPS) sangat umum digunakan untuk menentukan lokasi yakni mengambil data dari titik koordinatnya. Penelitian ini bertujuan meningkatkan akurasi dan efisiensi navigasi kapal dengan mengoptimalkan metode positioning waypoint menggunakan *Global Navigation Satellite System Real-Time Kinematic* (GNSS RTK) dan menerapkan metode *Fuzzy Gain Scheduling of PID* (FGS-PID). GNSS RTK menyediakan informasi posisi real-time dengan akurasi tinggi, sedangkan metode FGS-PID mengombinasikan kontrol PID dengan penyesuaian parameter otomatis melalui fuzzy logic untuk optimalisasi posisi kapal survei batimetri otonom. Meskipun GPS telah meningkatkan akurasi navigasi, tantangan tetap ada dalam mencapai akurasi optimal, terutama di perairan yang membutuhkan ketepatan tinggi. Hasil dari simulasi pada simulink MATLAB metode FGS PID memiliki waktu 19.901 ms untuk mencapai steady state. Pada penelitian ini akan diterapkan di Kapal *Autonomous Survei Batimetri* dengan sistem waypoint.

## ABSTRACT (9 PT)

*A satellite-based automatic navigation system, namely the Global Navigation Satellite System (GNSS) or better known as the Global Positioning System (GPS), is very commonly used to determine location, namely taking data from coordinate points. This research aims to improve the accuracy and efficiency of ship navigation by optimizing the waypoint positioning method using the Global Navigation Satellite System Real-Time Kinematic (GNSS RTK) and applying the Fuzzy Gain Scheduling of PID (FGS-PID) method. GNSS RTK provides real-time position information with high accuracy, while the FGS-PID method combines PID control with automatic parameter adjustment via fuzzy logic for position optimization of autonomous bathymetric survey vessels. Although GPS has improved navigation accuracy, challenges remain in achieving optimal accuracy, especially in waters. The results of the simulation on the MATLAB simulink FGS PID method have a time of 16,040 ms to reach steady state. In this study, it will be applied to the Autonomous Bathymetric Survey Ship with a waypoint system. By implementing GNSS RTK and the FGS PID method, the ship can pass the track with a time of  $\pm 1$  minute 28 seconds.*

## Penulis Korespondensi:

Gandhi Achmad Tegar Prakasa,  
Teknik Otomasi,  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,  
Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Surabaya, Indonesia.

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

## 1. PENDAHULUAN

Global Navigation Satellite System (GNSS), yang lebih dikenal dengan Global Positioning System (GPS), adalah teknologi navigasi berbasis satelit yang umum digunakan untuk menentukan lokasi dengan mengambil data dari titik koordinatnya. Perkembangan GNSS yang pesat ditandai dengan semakin banyaknya receiver GNSS yang tersedia di pasaran. Dalam era teknologi perkapalan modern, penggunaan GPS telah menjadi standar untuk menentukan posisi kapal di laut, memberikan peningkatan signifikan dalam akurasi sistem navigasi [1]. Meskipun GPS telah mampu meningkatkan akurasi dalam navigasi, masih terdapat tantangan untuk mencapai tingkat keakuratan yang optimal. Tantangan ini terutama terlihat dalam aplikasi pemetaan lokasi di perairan, yang membutuhkan akurasi sangat tinggi. Kesalahan kecil dalam penentuan posisi dapat berakibat signifikan, terutama dalam kegiatan survei batimetri yang membutuhkan data posisi yang sangat presisi. Kebutuhan akan akurasi tinggi ini menjadi krusial karena pemetaan dasar laut tidak hanya penting untuk navigasi, tetapi juga untuk penelitian ilmiah, pembangunan infrastruktur kelautan, dan eksplorasi sumber daya alam.

Metode RTK merupakan penentuan posisi *real-time* secara diferensial menggunakan data fase. Metode ini dapat dijalankan dengan menggunakan dua perangkat GNSS yaitu *Base station* dan *rover*. Bagian pertama yaitu sebagai *base station* yang memiliki fungsi sebagai pengoreksi dan posisinya tetap, sedangkan *rover* posisinya dapat berpindah – pindah sesuai dengan *positioning* yang diinginkan. Perkembangan teknologi ini menjadi sangat penting mengingat kebutuhan data lokasi yang akurat dalam berbagai pengaplikasian, termasuk navigasi, pemetaan lokasi dan keamanan maritim. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan peningkatan akurasi posisi dengan modul GNSS dalam survei batimetri dengan menggunakan kapal *autonomous* yang menerapkan metode RTK.

Namun, dalam kondisi operasional tertentu, seperti lingkungan perairan yang kompleks atau interferensi sinyal, performa GNSS RTK dapat mengalami tantangan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan kontrol yang cerdas dan adaptif untuk mengoptimalkan posisi kapal Autonomous Survei Batimetri. Metode PID (*Proportional-Integral-Derivative*) Fuzzy memiliki potensi untuk meningkatkan kinerja kontrol posisi dengan menggabungkan keunggulan PID dalam menanggapi perubahan cepat dengan kemampuan adaptasi Fuzzy dalam menghadapi ketidakpastian lingkungan. Dengan adanya tantangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan posisi kapal Autonomous Survei Batimetri menggunakan modul GNSS RTK dengan menerapkan Metode FGS - PID.

*Fuzzy Gain Scheduling of PID* (FGS – PID) merupakan pendekatan kontrol yang menggabungkan keunggulan dari dua metode, yaitu *Proportional-Integral-Derivative* (PID) dan logika Fuzzy. Pada PID, elemen proporsional memberikan respons sebanding dengan kesalahan saat ini, integral menanggapi kesalahan kumulatif, dan derivatif mengukur tingkat perubahan kesalahan. Sementara itu, logika Fuzzy memodelkan kecerdasan manusia dengan mempertimbangkan ketidakpastian dan keambiguan. Dalam FGS - PID, integrasi dilakukan dengan menggunakan logika Fuzzy untuk menentukan sejauh mana setiap komponen PID harus berkontribusi pada respons sistem kontrol. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk merespons dengan cepat dan beradaptasi dengan baik terhadap perubahan kondisi, terutama dalam situasi ketidakpastian atau fluktuasi lingkungan. Penerapan FGS - PID sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk otomatisasi industri, robotika, navigasi kendaraan, dan kontrol proses, di mana respons yang cepat dan adaptasi terhadap ketidakpastian menjadi kritis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan tersebut dengan mengoptimalkan metode positioning waypoint menggunakan Global Navigation Satellite System Real-Time Kinematic (GNSS RTK) dan menerapkan metode Fuzzy Gain Scheduling of PID (FGS-PID). GNSS RTK merupakan teknologi navigasi yang menyediakan informasi posisi secara real-time dengan akurasi tinggi, yang sangat diperlukan untuk navigasi kapal di perairan. Teknologi ini memungkinkan koreksi data posisi dengan memanfaatkan stasiun referensi, sehingga menghasilkan akurasi hingga sentimeter, jauh lebih baik dibandingkan metode GPS konvensional [2]. Metode FGS-PID, yang menggabungkan kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) dengan penyesuaian parameter otomatis melalui fuzzy logic, digunakan untuk mengoptimalkan posisi kapal survei batimetri otonom. PID adalah salah satu metode kontrol yang paling umum digunakan dalam industri karena kesederhanaan dan efektivitasnya dalam mengatur berbagai parameter sistem. Namun, performa PID sering kali tergantung pada penentuan parameter yang tepat. Dengan menerapkan fuzzy logic,



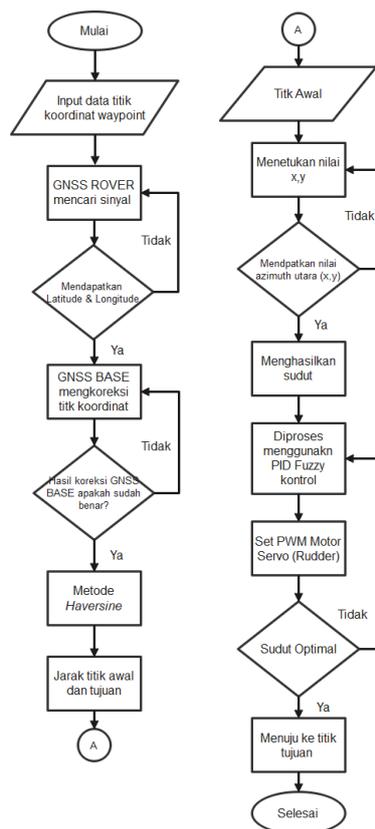
parameter PID dapat disesuaikan secara dinamis berdasarkan kondisi aktual di lapangan, sehingga meningkatkan responsivitas dan akurasi sistem navigasi[3].

## 2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang berfokus pada tujuan, desain penelitian, objek penelitian, pengumpulan data, implementasi sistem, dan analisis data untuk penelitian yang berjudul "Optimasi Posisi Kapal Autonomous Menggunakan Modul GNSS – RTK dengan Metode FGS – PID"

### 2.1 Alur Kerja Sistem

Alur kerja system ini. Proses dimulai dengan memasukkan input berupa titik koordinat waypoint yang dikirim dari Remote Control ke mikrokontroler. GNSS ROVER kemudian mencari sinyal untuk menghasilkan titik koordinat, yaitu latitude dan longitude, yang akan dikirim ke GNSS BASE untuk dikoreksi. Jika GNSS ROVER belum mendapatkan sinyal, proses pencarian akan terus dilakukan hingga titik koordinat berhasil diperoleh. Selanjutnya, GNSS BASE menerima data titik koordinat dari GNSS ROVER untuk dikoreksi, dengan tujuan menghasilkan titik lokasi dengan akurasi tinggi. Setelah koreksi dilakukan dan akurasi cukup tinggi tercapai, hasilnya akan diukur menggunakan metode Haversine untuk menghitung jarak antara titik awal dan titik tujuan. Dengan jarak yang sudah diketahui, kompas akan memproses titik awal untuk mendapatkan nilai x dan y, serta nilai azimuth x dan y, yang akan menentukan sudut servo ke arah tujuan. Setelah sudut diperoleh, mikrokontroler akan memprosesnya menggunakan metode Fuzzy Gain Scheduling of PID (FGS-PID) untuk mengoptimalkan sudut motor servo. Setelah sudut optimal tercapai, kapal akan bergerak menuju titik tujuan dengan akurasi dan efisiensi tinggi. Flowchart alur penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

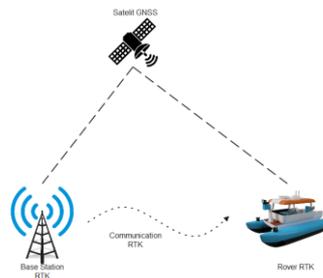


Gambar 1. Alur Kerja Sistem



### 2.2 Real Time Kinematic

Sistem RTK menggunakan satelit GNSS (Global Navigation Satellite System) untuk menentukan posisi dan ketinggian suatu objek dengan akurasi yang sangat tinggi. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama: Satelit GNSS, Base Station, dan Rover[4]. Satelit GNSS adalah satelit yang mengorbit Bumi dan memancarkan sinyal radio yang dapat dideteksi oleh receiver GPS untuk menentukan posisi dan ketinggian suatu objek [5]. Base Station adalah receiver GPS yang dipasang pada lokasi dengan koordinat yang diketahui secara akurat, yang mengirimkan sinyal radio ke receiver GPS lainnya yang disebut Rover [6]. Rover adalah receiver GPS yang dipasang pada objek yang ingin ditentukan posisi dan ketinggiannya, menerima sinyal radio dari satelit GNSS dan Base Station untuk menghitung posisi dan ketinggiannya[7].

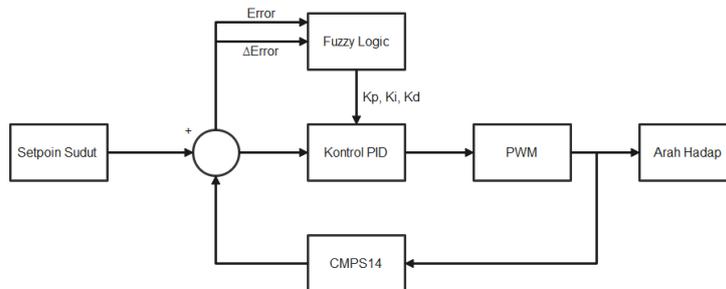


Gambar 2. Diagram Sistem Penentuan Posisi Global (GPS)

Proses kerja sistem RTK dimulai ketika Rover menerima sinyal radio dari satelit GNSS, yang digunakan untuk menghitung posisi dan ketinggian Rover relatif terhadap satelit GNSS[8]. Rover juga menerima sinyal radio dari Base Station, yang digunakan untuk menghitung perbedaan fase sinyal dari satelit GNSS. Perbedaan fase sinyal ini digunakan untuk menghitung koreksi posisi dan ketinggian Rover. Dengan koreksi tersebut, posisi dan ketinggian Rover dapat ditentukan dengan akurasi yang sangat tinggi[9].

### 2.3 Fuzzy Gain Scheduling (FGS -PID)

Kontroler FGS – PID merupakan koordinasi dari 2 macam kontroler yaitu PID dengan fuzzy logic. Fungsi dari fuzzy logic adalah menambah atau mengurangi nilai dari parameter PID Ketika terdapat gangguan yang dapat merubah parameter sistem[10].



Gambar 3. Perancangan Fuzzy Mamdani

Perancangan *fuzzy* kali ini akan menggunakan *fuzzy* mamdani. *Error* dan  $\Delta error$  digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  secara adaptif.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan menyajikan data yang ringkas dengan tinjauan menggunakan teks naratif, tabel, atau gambar. Perlu diingat hanya hasil yang disajikan, tidak ada interpretasi data atau kesimpulan dari data dalam bagian ini. Data yang dikumpulkan dalam tabel/gambar harus dilengkapi teks naratif dan disajikan dalam bentuk yang mudah dimengerti. Jangan ulangi secara panjang lebar data yang telah disajikan dalam tabel dan gambar. Analisa harus menjadi jembatan antara hasil dan tinjauan pustaka dalam pendahuluan.



### 3.1 Pengujian Real Time Kinematic

Sistem base station dan rover merupakan dua komponen penting dalam metode Real-Time Kinematic (RTK) yang digunakan untuk memperoleh posisi yang sangat akurat dalam aplikasi pemetaan, survei, dan navigasi. Stasiun dasar, atau base station, merupakan titik referensi dengan koordinat yang diketahui secara pasti. Base station mengumpulkan data GNSS dari satelit di ruang angkasa dan mengirimkan data koreksi secara real-time kepada stasiun rover. Di sisi lain, rover adalah perangkat yang bergerak di lapangan dan membutuhkan penentuan posisi yang akurat. Penerima GNSS di rover menerima sinyal langsung dari satelit serta data koreksi dari base station untuk meningkatkan akurasi posisi secara real-time. Kerja sama antara base station dan rover memungkinkan penggunaan sistem GNSS dengan tingkat akurasi yang tinggi. Pengujian akurasi GPS dilakukan dengan membandingkan performa akurasi GPS Ublox Zed F9P dengan beberapa tipe GPS dengan validasi jarak yang dapat dihitung menggunakan persamaan haversine. Dokumentasi pengujian modul GPS Ublox Zed F9P ditunjukkan pada Gambar 6 dan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 4. Pengujian Modul GNSS U-Blox ZED F9P dengan RTK

$$d = 2r \cdot \arcsin \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta lat}{2} \right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2 \left( \frac{\Delta long}{2} \right)} \quad (1)$$

Keterangan :

$d$  = Jarak (Km)

$r$  = Jari – jari bumi (6371 Km)

$\Delta lat$  = Selisih *latitude*

$\Delta long$  = Selisih *longitude*

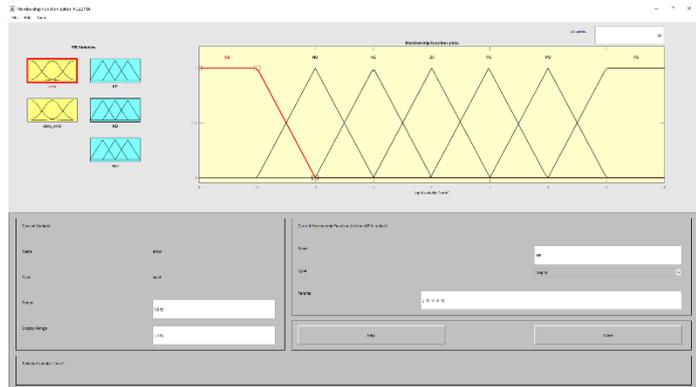
Tabel 1 Hasil Pengujian GNSS

Hardware (GNSS)	Jarak Real (Meter)										Rata- rata Selisih(meter)
	1	2	3	4	5	6	10	15	20	25	
U-Blox Neo 6M	23.18	32.21	35.29	28.09	23.51	47.21	34.62	37.71	44.01	35.93	19.26
U-Blox ZED F9P	0.8	2.08	2.85	4.67	6.18	6.31	9.69	16.37	20.93	26.3	0.72
U-Blox ZED F9P RTK	1.05	1.99	3.06	3.98	5.02	6.05	10.03	15.03	20.05	24.97	0.03
Smartphone	0.05	9.44	8.76	9.36	1.48	8.73	4.2	17.31	24.17	30.10	3.89



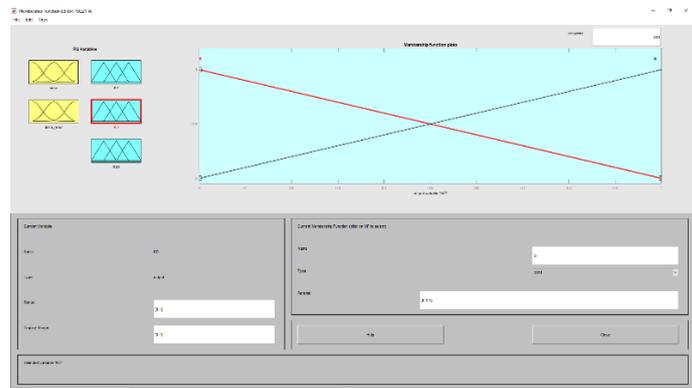
### 3.2 Pemodelan Fuzzy Gain Scheduling PID

Pemodelan metode Fuzzy Gain Scheduling PID (FGS – PID) memiliki tujuan untuk mengatur parameter kontroler PID secara dinamis untuk meningkatkan kinerja system control. Metode ini memiliki dasar yaitu sistem fuzzy, gain scheduling, dan kontroler PID. Tahap pertama untuk pengujian metode FGS – PID yaitu dengan membuat sistem fuzzy, fuzzy yang digunakan adalah fuzzy mamdani. Dengan inputan nilai error dan delta error yang diambil dari pengujian dengan inputan sensor CMPS 14 dan GNSS Ublox ZED F9P untuk menggerakkan sudut servo. Setelah mengetahui data error dan delta errornya maka akan dibuat inputan fuzzy dengan range -180 sampai 180 untuk error dan delta error.



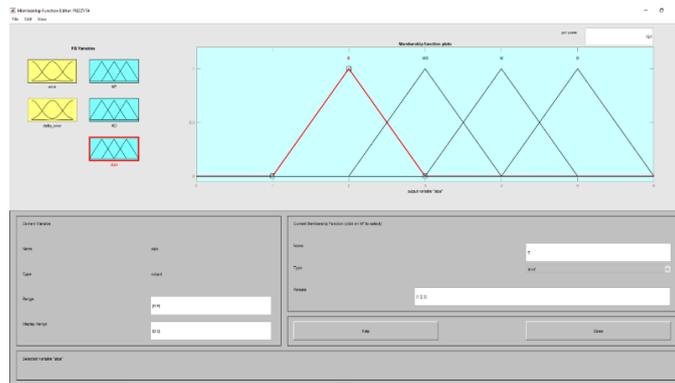
Gambar 5. Fuzzy untuk Variabel Input Error

Gambar 5 menunjukkan merupakan membership function untuk input error, terdapat nilai range antara -8 hingga 8 dan input variabel error dan delta error ini memiliki tujuh anggota yaitu ini dengan menggunakan 7 fungsi keanggotaan dengan label *Negative Big* (NB), *Negative Medium* (NM), *Negative Small* (NS), *Zero* (ZO), *Positive Small* (PS), *Positive Medium* (PM), dan *Positive Big* (PB). Setelah membuat inputan maka selanjutnya yaitu menentukan outputan  $K_d'$ ,  $K_p'$ , dan  $\alpha$ .  $K_p'$  dan  $K_d'$ . Pada penelitian ini, terlihat pada Gambar 6 bahwa *output* dari  $K_p'$  dan  $K_d'$  memiliki 2 fungsi keanggotaan yaitu *Big* (B) dan *Small* (S). Untuk *output* dari  $\alpha$  memiliki fungsi keanggotaan *singleton*, yang terdiri dari *Small* (S), *Medium Small* (MS), *Medium* (M), dan *Big* (B).



Gambar 6. Fuzzy untuk Variabel Output KP





Gambar 7. Fuzzy untuk Variabel Output alpha

Selanjutnya yaitu Penentuan *rules base* ditunjukkan pada Tabel 2 yang akan digunakan sebagai pengendali dari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  agar semakin kecil responnya saat akan mendekati *setpoint*, semakin kecil respon maka akan dapat mengurangi *overshoot* dan waktu respon sistem.

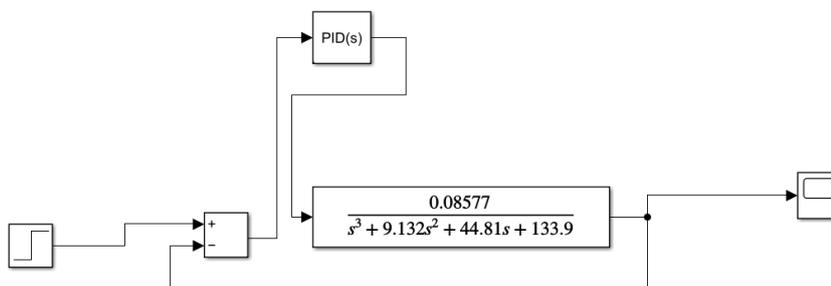
Tabel 2 Rule Base  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$

		$\Delta Error$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
Error	NB	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2
	NM	S,B,3	B,B,3	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,B,3	S,B,3
	NS	S,B,4	S,B,3	B,B,3	B,S,2	B,B,3	S,B,3	S,B,4
	ZO	S,B,5	S,B,4	S,B,3	B,B,3	S,B,3	S,B,4	S,B,5
	PS	S,B,4	S,B,3	B,B,3	B,S,2	B,B,3	S,B,3	S,B,4
	PM	S,B,3	B,B,3	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,B,3	S,B,3
	PB	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2

Tahap selanjutnya yaitu menentukan nilai  $K_{pmin}$ ,  $K_{pmax}$ ,  $K_{dmin}$ , dan  $K_{dmax}$  seperti terlihat pada Gambar 8 dengan menggunakan rangkaian untuk mengetahui nilai  $K_u$  dan  $T_u$  nya , dan memasukkan nilai tersebut kedalam rumus. Berdasarkan aturan untuk menentukan kisaran  $K_p$  dan  $K_d$  terdapat persamaan (2) dan (3) sebagai berikut,

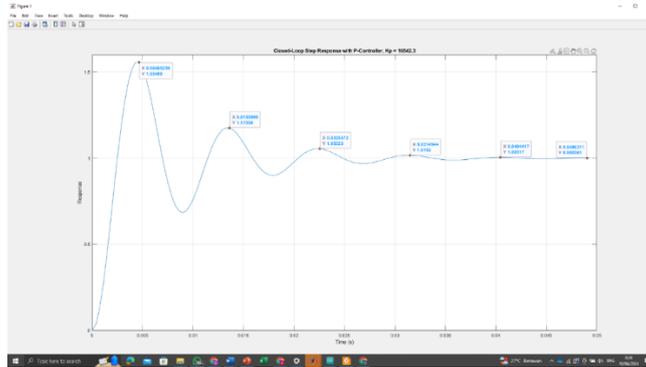
$$K_{p,min} = 0.32 K_u , K_{p,max} = 0.6 K_u \tag{2}$$

$$K_{d,min} = 0.08 K_u T_u , K_{d,max} = 0.15 K_u T_u \tag{3}$$



Gambar 8. Menentukan Nilai  $K_{pmin}$ ,  $K_{pmax}$ ,  $K_{dmin}$ , dan  $K_{dmax}$





Gambar 9. Grafik Respon

Sesuai dengan grafik pada Gambar 9, maka nilai yang dihasilkan sebagai berikut :

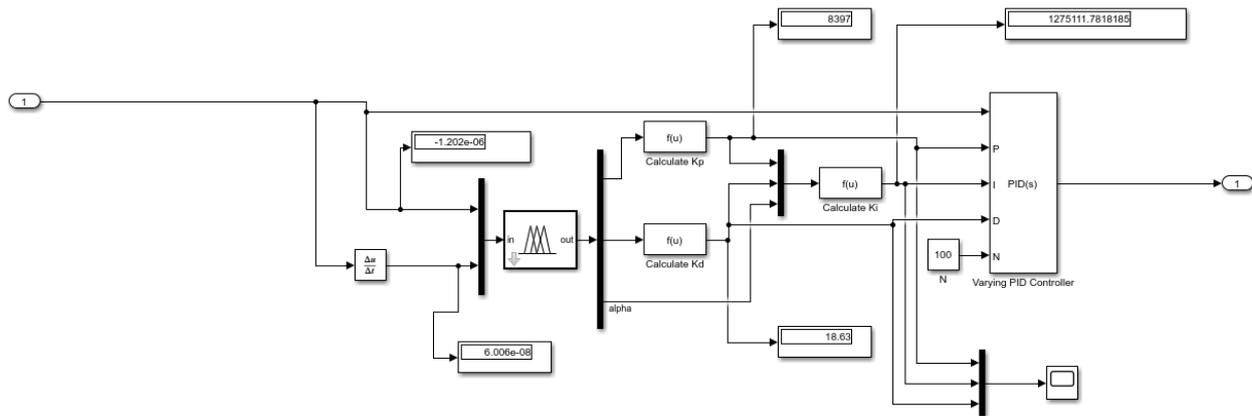
- Nilai Ku : 16542.3
- Nilai Tu : 0.0088757
- Nilai Kpmin : 5293.536
- Nilai Kpmax : 9925.38
- Nilai Kdmin : 11.746
- Nilai Kdmax : 22.0237

Setelah menemukan nilai tersebut, akan dilanjutkan ke dalam rangkaian metode FGS -PID yang ditunjukkan pada Gambar 10 untuk mendapatkan respon yang dihasilkan untuk mencapai set point yang telah ditentukan. Setelah nilai Kp', Kd', dan α diperoleh, parameter PID untuk FGS – PID dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut,

$$K_p = (K_{p,max} - K_{p,min}) K_p' + K_{p,min}$$

$$K_d = (K_{d,max} - K_{d,min}) K_d' + K_{d,min}$$

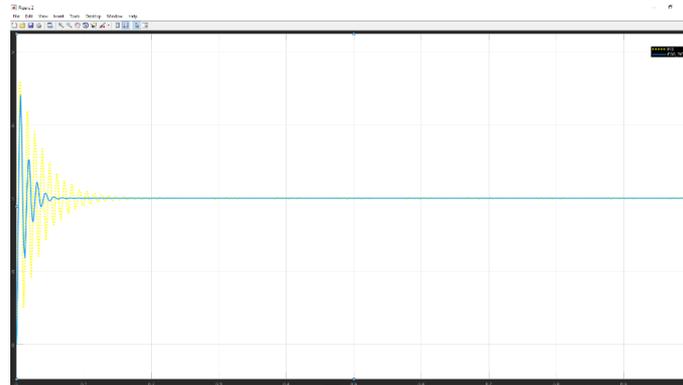
$$K_i = K_p^2 / (\alpha K_d)$$



Gambar 10. Simulasi FGS-PID pada MATLAB

Gambar 11 merupakan grafik respon untuk mencapai set point dari Metode FGS – PID dan dibandingkan dengan PID dengan tuning ziegler nichols. Dari hasil grafik f dapat dilihat dengan warna biru yaitu untuk Metode FGS – PID dan warna kuning merupakan PID Ziegler Nichols. Dapat dilihat bahwa respon FGS – PID lebih cepat untuk mencapai di steady state dengan kurun waktu kurang dari 19.901 ms dan PID memiliki respon yang lebih lama untuk mencapai steady state.





Gambar 11. Grafik Respon Metode FGS-PID

#### 4. KESIMPULAN

Dalam studi ini, terdapat dua perbandingan teknologi signifikan yang diperiksa: GNSS RTK (Global Navigation Satellite System Real Time Kinematic) dibandingkan dengan GNSS biasa, serta metode Fuzzy Gain Scheduling PID dibandingkan dengan kontroler PID biasa. Hasil analisis menunjukkan bahwa GNSS RTK memiliki keunggulan yang jelas dalam hal akurasi, dengan tingkat kesalahan hanya 1 hingga 10 cm. Hal ini menjadikan GNSS RTK pilihan yang lebih efektif untuk aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi, seperti survei geodesi, konstruksi, dan pertanian presisi, di mana ketelitian posisi adalah kritis. Di sisi lain, Fuzzy Gain Scheduling PID menampilkan respon yang lebih cepat dalam mencapai setpoint yaitu dengan waktu 19.901 ms jika dibandingkan dengan kontroler PID biasa. Penggunaan logika fuzzy untuk menyesuaikan parameter kontrol berdasarkan kondisi operasional yang berfluktuasi menyediakan respon yang lebih efisien dan tepat, yang krusial untuk menjaga stabilitas dan efisiensi dalam proses industri. Kedua penemuan ini menggarisbawahi pentingnya mengadopsi pendekatan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi dan performa dalam aplikasi yang sangat spesifik, menunjukkan kemajuan teknologi sebagai alat vital dalam mengatasi keterbatasan metode konvensional.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. J. Dewi, A. R. St, I. Prasetya, D. Wibawa, dan S. T. Mt, "PROTOTYPE SISTEM MONITORING POSISI PERAHU NELAYAN MENGGUNAKAN SISTEM GPS PROTOTYPE MONITORING SYSTEM OF FISHING BOAT POSITIONING BY USING GPS SYSTEM."
- [2] A. Kusuma dan E. Sigit Kurniawan, "PURWARUPA DIFFERENTIAL GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM DENGAN METODE REAL TIME KINEMATIK BERBASIS RADIO LINK TYPE HTOX."
- [3] I. Munadhif, A. Siti Aisjah, dan A. Agus Masroeri, "PERANCANGAN SISTEM KENDALI KESTABILAN ROLLING KAPAL PERANG KELAS SIGMA SAAT BERMANUVER MENGGUNAKAN FUZZY GAIN SCHEDULING-PID," hlm. 6–8, 2015.
- [4] P. Jurusan, T. Geodesi, dan D. Geomatika, "AKURASI PENGAMATAN GNSS METODE RTK NTRIP MENGGUNAKAN CORS ULPC Oleh SANDI MICKA PRATAMA (SKRIPSI) Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK," 2023.
- [5] S. Mahato, A. Santra, S. Dan, P. Rakshit, P. Banerjee, dan A. Bose, "Preliminary Results on the Performance of Cost-effective GNSS Receivers for RTK."
- [6] G. Sanna, T. Pisanu, dan S. Garau, "Behavior of Low-Cost Receivers in Base-Rover Configuration with Geodetic-Grade Antennas," *Sensors*, vol. 22, no. 7, Apr 2022, doi: 10.3390/s22072779.
- [7] H. Keshavarzi, C. Lee, M. Johnson, D. Abbott, W. Ni, dan D. L. M. Campbell, "Validation of real-time kinematic (RTK) devices on sheep to detect grazing movement leaders and social networks in merino ewes," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 3, hlm. 1–19, Feb 2021, doi: 10.3390/s21030924.
- [8] R. Hohensinn *dkk.*, "Low-Cost GNSS and Real-Time PPP: Assessing the Precision of the u-blox ZED-F9P for Kinematic Monitoring Applications," *Remote Sens (Basel)*, vol. 14, no. 20, Okt 2022, doi: 10.3390/rs14205100.
- [9] D. S. M. Valente, A. Momin, T. Grift, dan A. Hansen, "Accuracy and precision evaluation of two low-cost RTK global navigation satellite systems," *Comput Electron Agric*, vol. 168, Jan 2020, doi: 10.1016/j.compag.2019.105142.
- [10] Z.-Y. Zhao, M. Tomizuka, dan S. Isaka, "Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers," 1993.

