

Penggunaan Metode PID Untuk Sistem Kontrol Gerak Zig-Zag Pada Pengujian *Seakeeping* Miniatur Kapal Cepat

Lucky Putri Rahayu^{1*}, Ahmad Rifky Perdana¹, Chandra Permana², Ciptian Wieried Priyananda¹ dan Fauzi Imaduddin Adhim¹

¹Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

²Balai Teknologi Hidrodinamika, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Surabaya, Indonesia

*Email: lucky@eea.its.ac.id

Abstract— Pada pengujian *seakeeping* miniatur kapal cepat gerak zig-zag mengalami *overshoot* sebesar $13,5^\circ$ melewati jalur yang telah ditentukan 20° , sehingga tidak terwujud konsistensi kestabilan kapal dan kemiringan arah sudut yang berakibat pada hasil pengambilan data. Pada penelitian ini berfokus pada pembuatan sistem kontrol otomatis untuk mengendalikan gerak *rudder*. Metode yang digunakan yaitu PID dengan tuning Ziegler-Nichols. Sistem ini menggunakan *teensyduino* sebagai mikrokontroler untuk mengontrol dua servo motor sebagai *rudder* kapal, HWT 905 sebagai sensor dan motor DC sebagai laju kecepatan pada miniatur kapal cepat. Sensor HWT905 akan mendeteksi kemiringan arah pada badan kapal akibat gelombang. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan parameter *gain* yang mampu memberikan hasil terbaik yaitu pada saat nilai $K_p = 1,1$, $K_i = 3,3$, $K_d = 0,09$, didapatkan nilai *error steady state* sebesar 15% dan *overshoot* sebesar 3° . Nilai *rise time* yang diperoleh sebesar 3 detik dan *settling time* diperoleh sebesar 5 detik yang menunjukkan bahwa gerak dari motor servo mulai stabil pada waktu tersebut.

Keyword: Miniatur Kapal Cepat, *Overshoot*, PID, *Rudder*, *Seakeeping*

I. PENDAHULUAN

SAAT ini instansi pemerintah maupun swasta banyak menggunakan kapal cepat, yaitu sebagai pertahanan, penumpang, perikanan, *crew boats*, *fast suppliers*, patroli, dll. Kapal cepat merupakan sebuah kapal transportasi jarak dekat yang memenuhi syarat-syarat pelayaran di laut yang digunakan dalam pengiriman barang, kapal penumpang pulau atau kota terdekat. Sehingga perlu adanya pengujian *seakeeping* untuk melihat kehandalan khususnya dari sisi unjuk kerja [1].

Salah satu permasalahan ketika proses pengujian *seakeeping* arah gerak zig-zag pada miniatur kapal cepat yaitu sering kali mengalami kemiringan arah hingga 10° yang tidak sesuai dengan sudut *set-point* yaitu sejauh 0,5 meter meski telah dikendalikan oleh *remote control*. Hal ini berdampak pada kestabilan arah kapal cepat dan terdapat kesalahan data.

Penelitian mengenai proses pengujian kapal cepat semakin mendapat perhatian demi upaya mencapai nol kemiringan arah pada sudut 20° (sudut yang ditentukan sebagai *set point*), agar data yang dihasilkan akurat dan nantinya kestabilan kapal dapat diperoleh. Dalam menyelidiki arsitektur kontrol yang memiliki potensi untuk meningkatkan stabilitas gerak zig-zag dengan mencapai konvergensi yang lebih cepat tanpa mengurangi dampak pada dinamika gelombang yang telah diberikan pada kapal cepat. Sehingga diperlukan suatu sistem yang dapat mengontrol secara otomatis gerak *rudder* yakni pada kedua servo motor. Sudut pada *rudder* perlu dikontrol agar menghindari tabrakan kapal yang berbahaya di jalur laut [2].

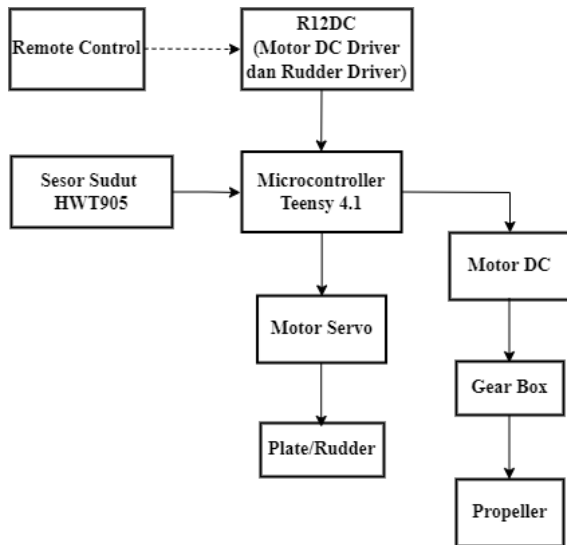
Beberapa metode kontrol gerak *rudder*, yaitu menggunakan controller PID [3][4][5], Fuzzy Logic [6][7], Genetic Algorithm [8], Particle Swarm Optimasi atau kombinasi dari Fuzzy-Neural Network [9], Fuzzy Genetic Algorithm [10], Fuzzy-Ants Colony [11], kombinasi Genetic Algorithm-Ants Colony- Neural Network [12], Adaptive Mutation Beetle Particle Swarm-PID [13], dll. Pada performanya, sistem *rudder* jauh lebih baik dikendalikan oleh pengontrol otomatis yang memiliki respon cepat atau akurasi tinggi dan ketahanan yang kuat terhadap variasi parameter dan gangguan beban pada miniatur kapal cepat, salah satunya menggunakan kontrol PID.

Proportional Integral Derivative (PID) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut, dimana saat ini banyak dipakai dalam dunia industri. Pengontrol PID akan memberikan aksi kepada *control valve* berdasarkan besar kesalahan yang diperoleh. Metode tuning PID salah satunya menggunakan Ziegler-Nichols, dimana dapat menghasilkan hasil *maximum overshoot* (MO) yaitu 25% terhadap input *step* [14]. Melihat hal tersebut, sehingga penelitian ini berfokus pada metode PID dengan *tuning* Ziegler-Nichols untuk pembuatan sistem kontrol sudut otomatis gerak zig-zag pada pengujian miniatur kapal cepat untuk mengurangi nilai *overshoot*.

II. METODE

A. Perancangan Sistem

Pada bagian ini dijelaskan mengenai blok diagram dari sistem kontrol gerak zig-zag miniatur kapal cepat yang diperlihatkan pada Gambar 1. Penggunaan *power supply* dengan tegangan 4000 mAH diinputkan ke kontroler teensy, *rudder*, R12DC, dan juga motor DC. Mikrokontroler nantinya mengendalikan dua *rudder* secara otomatis sesuai arah gerak zig-zag yaitu ke-kanan dan ke-kiri pada miniatur kapal cepat dengan arah sudut yang sudah ditentukan yaitu 20°. Sehingga ketika kapal berbelok ke-kanan hingga mencapai sudut *set point*, mikrokontroler otomatis akan mengembalikan arah *body* kapal dengan mengontrol dua *rudder* berbelok ke-kiri begitupula sebaliknya. Pada sistem miniatur kapal cepat, *remote control* berfungsi untuk menggerakkan motor DC sehingga *propeller* bergerak mendorong kapal untuk melaju ke depan, kemudian kedua *rudder* aktif sebagai arah pergerakan pada miniatur kapal cepat ke kanan dan ke kiri. Akibat adanya gelombang kapal, derajat kemiringan berubah arah sebesar 5-10 derajat melewati arah sudut yang telah ditentukan akan dideteksi oleh sensor HWT905 dan data perubahan akan dikirim kepada Teensy 4.1 dan diakusisi sesuai arah sudut yang telah ditentukan. *Rudder* disini berfungsi sebagai pengemudi yaitu penggerak pada miniatur kapal cepat ke kanan dan ke kiri.

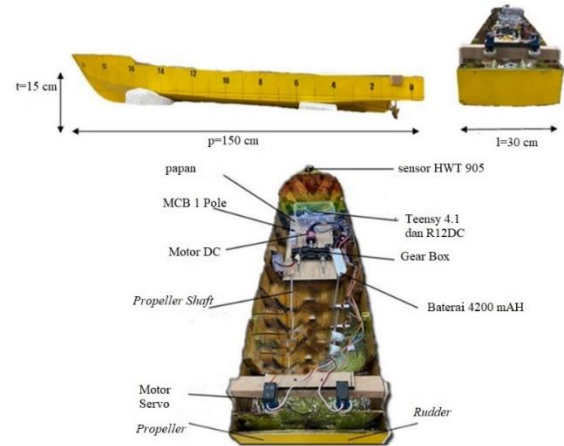


Gambar. 1. Blok Diagram Sistem Kontrol Gerak Zig-Zag

B. Desain Mekanik

Desain mekanik yang berupa beberapa komponen, mulai dari *body miniature* kapal cepat tampak samping dan belakang, box rangkaian kontroler, papan *gear box* dan motor DC, motor servo (*rudder*) dan papan sensor HWT 905 diperlihatkan pada Gambar 2. *Gear box* yang berfungsi sebagai alat penghubung pemutar *propeller* yang berada dibagian kapal atau disebut sebagai alur dari baling-baling kapal, sehingga nantinya miniatur kapal cepat bisa melaju dengan melawan gelombang

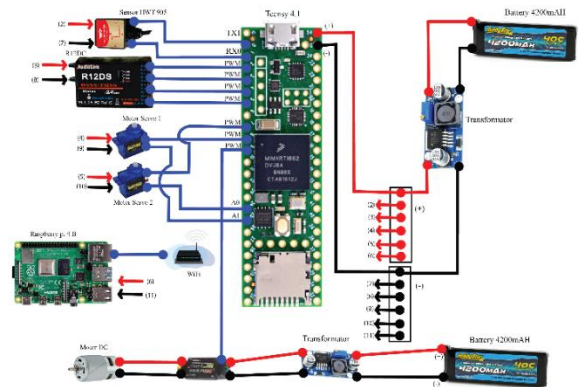
yang ada. *Shaft propeller* digunakan sebagai alat penghubung untuk menggerakkan baling-baling pada *propeller*, dimana terletak pada *gear box* yang tersambung dibagian *propeller* dibawah body miniatur kapal cepat. Baling-baling *propeller* pada bagian belakang bawah kapal yang terhubung dengan shaft *propeller* motor DC berfungsi sebagai pengendali kecepatan.



Gambar. 2. Perancangan Mekanik Miniatur Kapal Cepat

C. Diagram Rangkaian Elektrikal

Rangkaian diagram elektrikal dibuat dengan tujuan memudahkan pada saat perancangan rangkaian kelistrikan dan pemasangan komponen secara fisik serta mencegah kesalahan korsleting dalam proses pemasangan yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar. 3. Rangkaian Diagram Elektrikal

D. PID Tuning Ziegler-Nichols

PID kontroler (Proportional-Integral-Derivative) merupakan gabungan dari tiga jenis kontroler. Jika masing-masing dari ketiga jenis kontroler tersebut berdiri sendiri, maka hasil yang dicapai akan kurang baik karena masing-masing memiliki kelemahan dan kelebihan tersendiri. Sehingga untuk memenuhi sistem yang diinginkan, ketiga parameter PID diatur secara optimal. Ada beberapa metode *tuning* atau *tuning* PID konvensional yang pernah dikembangkan seperti *metode cut and try*, Ziegler-Nichols, *step response* dan analitik [14]. Aspek

yang paling penting yaitu penentuan parameter PID, metode pertama Ziegler-Nichols menentukan berdasarkan aturan [15] yang terlihat pada Tabel 1.

TABEL 1
ATURAN TUNING ZIEGLER-NICHOLS UNTUK P, PI DAN PID KONTROLLER

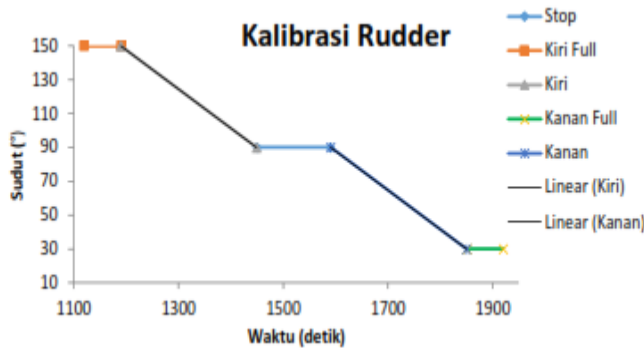
	K_p	T_i	T_d
P controller	$\frac{T}{KL}$	∞	0
PI controller	$0,9 \frac{T}{KL}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID controller	$1,2 \frac{T}{KL}$	2L	0,5L

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem ini bertujuan untuk mendapatkan data yang kemudian dianalisa dari kalibrasi motor servo (*rudder*), pengujian miniatur kapal cepat, *tunning* Ziegler-Nichols dan pengujian menggunakan kontrol PID.

A. Pengujian Kalibrasi Rudder

Pengujian ini bertujuan untuk menyesuaikan sudut pada titik 0° dengan nilai *set-point* 20°. Grafik kalibrasi *rudder* yang merupakan hasil telah terkalibrasi diperlihatkan pada Gambar 5. menunjukkan bahwa batas dari sudut *rudder* saat kondisi *stop* berada di sudut 90° yang merupakan *set-point* atau titik tengah posisi sesuai dengan gerak orientasi kapal. Batas minimal *rudder* pada saat belok ke kiri mulai dari 90° sampai 150°, dan batas maksimal belok ke kanan yaitu ke arah bawah dari 90° sampai 30°.

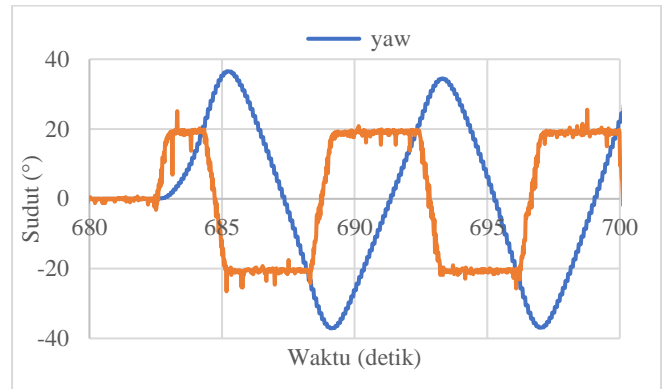


Gambar. 4. Grafik Kalibrasi Rudder

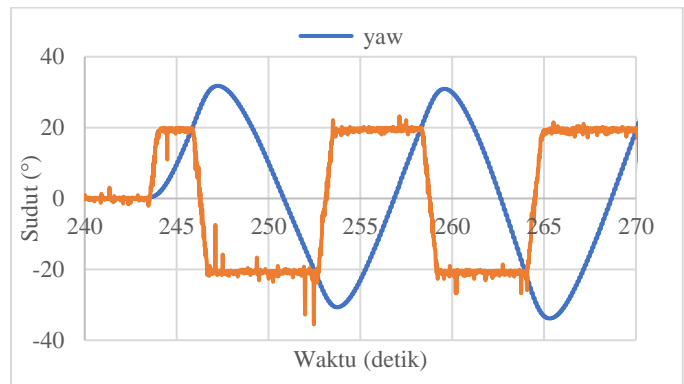
B. Pengujian Miniatur Kapal Cepat Tanpa PID

Pengujian miniatur kapal cepat menggunakan kontrol konvensional yaitu menggunakan *remote control* diperlihatkan pada grafik Gambar 6-8, dimana gerak yaw atau zig-zag pada kapal ditandai garis berwarna biru sedangkan yang berwarna jingga merupakan gerak dari *rudder* pada kapal. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali. Dari pengujian 1 yaitu Gambar 6. didapatkan nilai *overshoot* sebesar 12° untuk gerak ke arah kanan, dan ke kiri diperoleh sebesar 10°, sehingga didapatkan nilai rata-rata dari *overshoot* pada gerak zig-zag sebesar 11°, dimana pengujian selama 30 detik. Pada hasil pengujian kedua yaitu Gambar 7. Didapatkan nilai *overshoot* untuk gerak ke

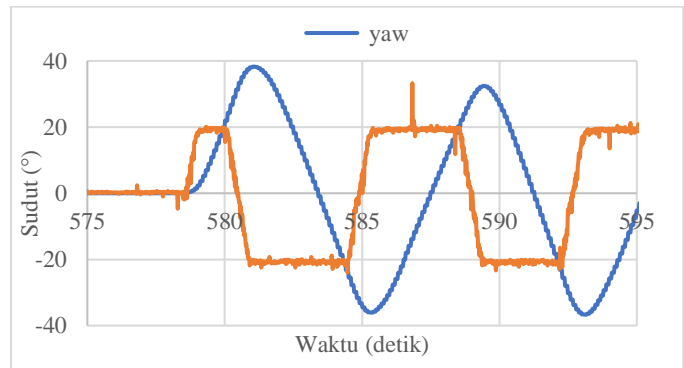
kanan sebesar 11°, ke kiri 12°, dan rata-rata 11,5° serta pengujian dilakukan selama 30 detik. Grafik pengujian ketiga diperlihatkan pada Gambar 8. diperoleh nilai *overshoot* untuk gerak ke kanan sebesar 18°, ke kiri 16°, dan rata-rata 17° dengan pengujian selama 20 detik. Dari hasil beberapa pengujian didapatkan *overshoot* sebesar 13,5°, sehingga diperlukan metode kontrol PID untuk mengurangi nilai tersebut sehingga kapal dapat bergerak dengan stabil.



Gambar. 5. Grafik Pengujian Ke-1 pada Miniatur Kapal Cepat Sebelum menggunakan Kontrol PID



Gambar. 6. Grafik Pengujian Ke-2 pada Miniatur Kapal Cepat Sebelum menggunakan Kontrol PID

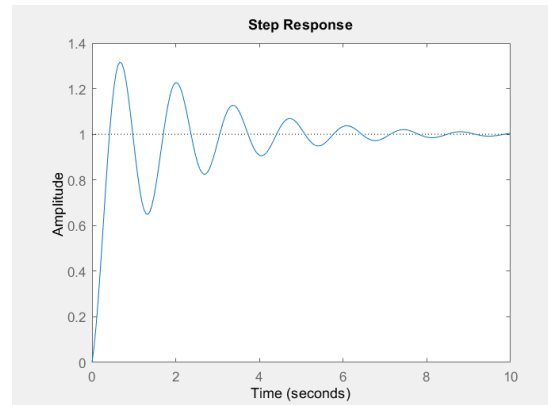


Gambar. 7. Grafik Pengujian Ke-3 pada Miniatur Kapal Cepat Sebelum menggunakan Kontrol PID

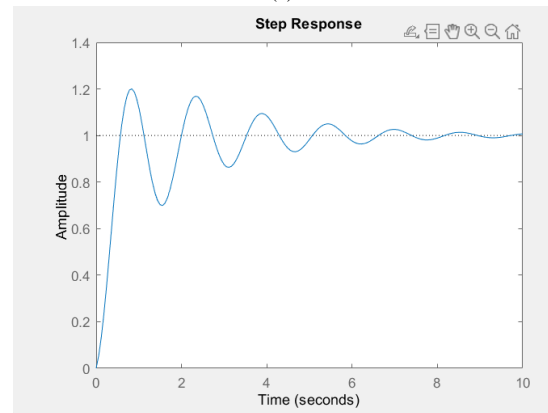
C. Simulasi Kontrol PID menggunakan Metode Tuning Ziegler-Nichols

Pertama yaitu mencari nilai *transfer function* dari sistem, didapatkan dengan memasukkan data *output* yang merupakan data respon dari *rudder* terhadap *set-point*. Data ini diambil sebelum menggunakan kontrol PID. Setelah didapatkan data respon *rudder* tersebut diolah menggunakan *system identification* pada *software* Matlab. Setelah proses *estimare* selesai maka akan ditemukan nilai *transfer function* yang digunakan sebagai acuan untuk menemukan nilai parameter kontrol PID dengan metode *tuning*. Nilai *transfer function* yang didapatkan sebesar $\frac{7,585}{s^2+1,654 s+9,302}$

Setelah didapatkan nilai *transfer function*, selanjutnya diberikan nilai step dan untuk memperoleh nilai waktu tunda (L) dan waktu mati (T), dimana waktu tunda merupakan waktu dari awal hingga mencapai *set-point* dan waktu mati merupakan waktu ketika tegangan awal masuk hingga *rudder* bergerak. Dilakukan empat kali *tuning* nilai parameter Kp, Ki dan Kd, dihasilkan grafik respon yang diperlihatkan pada Gambar 8. Hasil simulasi berupa nilai *rise time*, *settling time*, *settling min* dan *max*, dan *overshoot* diperlihatkan pada Tabel 2. Untuk keempat nilai Kp, Ki dan Kd tersebut. Dari hasil percobaan simulasi tersebut didapatkan nilai *overshoot* terendah dan *rise time* tercepat yaitu pada nilai Kp=1,1; Ki=3,3 dan Kd=0,09, sehingga untuk pengujian langsung pada miniatur kapal cepat menggunakan nilai *gain* tersebut.

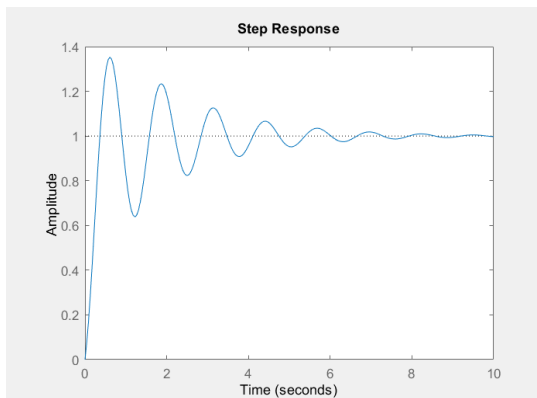


(c)

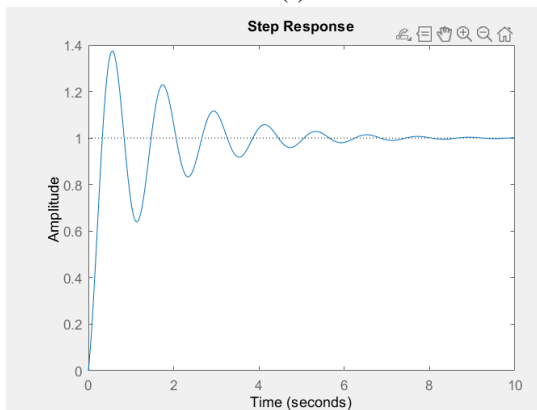


(d)

Gambar. 8. Grafik Respon dengan Nilai Kp, Ki, dan Kd (a) Kp=2,3; Ki=6,84 dan Kd=0,19; (b) Kp=2,81; Ki=8,35 dan Kd=0,23; (c) Kp=1,85; Ki=5,51 dan Kd=0,15 (d) Kp=1,1; Ki=3,3 dan Kd=0,09



(a)



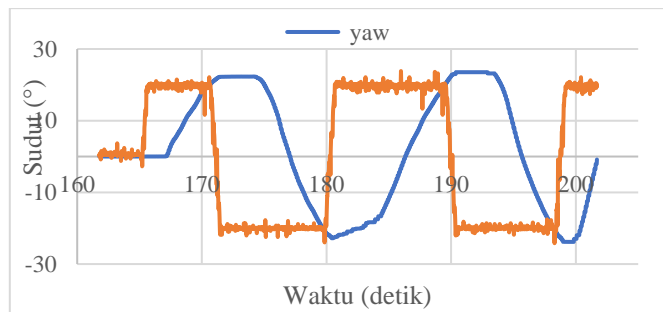
(b)

TABEL II
HASIL SIMULASI BEBERAPA PARAMETER KONTROL PID

Parameter	Rise Time (detik)	Settling Time (detik)	Settling Min	Settling Max	Overshoot
Kp = 2,3, Ki= 6,84 dan Kd= 0,19	0,2755	6,4528	0,6381	1,3529	35,2878
Kp = 2,81, Ki=8,35 dan Kd=0,23	0,2471	5,9447	0,6384	1,3748	37,480
Kp = 1,85, Ki=5,51 dan Kd=0,15	0,3114	7,4871	0,6489	1,3748	31,723
Kp = 1,1, Ki=3,3 dan Kd=0,09	0,148	7,1571	0,6993	1,2008	20,075

D. Pengujian Miniatur Kapal Cepat Menggunakan Kontrol PID

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan nilai Kp, Ki dan Kd terbaik yang didapatkan dari simulasi menggunakan MATLAB. Hasil yang didapatkan tersaji pada Gambar 9.



Gambar. 9. Grafik Pengujian menggunakan PID dengan Nilai Gain $K_p=1,1$; $K_i=3,3$; dan $K_d=0,09$

Terlihat bahwa pengaruh nilai parameter gain PID terhadap respon *rudder* yang jauh lebih baik daripada menggunakan kontrol konvensional sebelumnya, didapatkan nilai *rise time* selama 3 detik, *settling time* yang jauh lebih cepat yaitu 5 detik, *overshoot* yang jauh lebih kecil yaitu 3° dengan *error steady state* yaitu 15%.

IV. KESIMPULAN

Pada pengujian *seakeeping miniature* kapal cepat arah gerak zig-zag menggunakan *remote control* secara konvensional didapatkan nilai rata-rata *overshoot* sebesar $13,5^\circ$ dengan *set-point* yang digunakan yaitu 20° , sehingga penelitian ini berfokus untuk mengurangi *overshoot* tersebut dengan mengendalikan gerak *rudder* menggunakan metode PID kontroler dengan proses *tuning* Ziegler-Nichols. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai *transfer function* sebesar $\frac{7,585}{s^2+1,654s+9,302}$ dan pada pengujian secara langsung didapatkan hasil terbaik parameter kontrol PID miniatur kapal cepat dengan nilai $K_p=1,1$; $K_i=3,3$; dan $K_d=0,09$, dengan berhasil menurunkan nilai *overshoot* hingga sebesar 3° , *rise time* dalam 3 detik, *settling time* yang lebih cepat 5 detik, dengan *error steady state* yaitu 15%. Sehingga dapat ditarik kesimpulan sistem kontrol otomatis yang telah dibuat dapat mempercepat proses pengujian dan pengambilan data, efisien karena tidak membutuhkan proses pengulangan pada pengujian dan data yang didapatkan lebih akurat karena menurunkan nilai *overshoot* hingga 77,8% dibandingkan secara konvensional.

ACKNOWLEDGMENT

Terima kasih kepada Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) Surabaya atas kesempatan dan fasilitas dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. Kushwah and A. Patra, "PID Controller Tuning using Ziegler-Nichols Method for Speed Control of DC Motor," *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, vol. 03, no. 13, pp. 2924–2929, 2014, [Online]. Available: www.semargroup.org.
- [2] D. Paroka, M. F. Kamil, and A. H. Muhammad, "Experimental Study on Automatic Control for Collision Avoidance of Ships," *Makara Journal of Technology*, vol. 21, no. 3, p. 137, Jan. 2018, doi: 10.7454/mst.v21i3.3447.
- [3] M. Y. Santoso, I. Munadhif, A. Wahidin, Ruddianto, Fathulloh, and R. T. Soelistijono, "Rudder-Roll Stabilization using Fgs-PID Controller for Sigma-E Warship," in *Journal of Physics: Conference Series*, Jun. 2017, vol. 855, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/855/1/012044.
- [4] S. Jagannathan, "PID Based Rudder Controller," in *International Journal of Engineering Research and Development*, Oct. 2012, vol. 4, no. 4, pp. 47–53. [Online]. Available: www.ijerd.com
- [5] I. Munadhif, A. S. Aisjah, and A. A. Masroeri, "Stability Control Design of Sigma Class Ship Firing Mode Using Fuzzy Gain Scheduling-PID," in *International Seminar on Science and Technology*, Aug. 2015, pp. 207–208.
- [6] T. K. Sethuramalingam, "Fuzzy Logic Controller Based Ship Navigation System," in *Journal of Physics: Conference Series*, Jul. 2021, vol. 1850, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1850/1/012113.
- [7] Rahimuddin, A. Maimun, and P. A. Gani, "Application of Fuzzy Logic Controller to Enhance The Semi-SWATH Performance in Following Seas," *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, vol. 69, no. 7, pp. 17–25, 2014, doi: 10.11113/jt.v69.3261.
- [8] L. Yu, S. Liu, F. Liu, and H. Wang, "Energy Optimization of The Fin/Rudder Roll Stabilization System Based on The Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA)," *Journal of Marine Science and Application*, vol. 14, no. 2, pp. 202–207, Jun. 2015, doi: 10.1007/s11804-015-1292-z.
- [9] T. K. Sethuramalingam and B. Nagaraj, "A Proposed System of Ship Trajectory Control Using Particle Swarm Optimization," in *Procedia Computer Science*, 2016, vol. 87, pp. 294–299. doi: 10.1016/j.procs.2016.05.164.
- [10] W. Wang, R. Yang, C. Guo, and H. Qin, "CNN-Based Hybrid Optimization for Anomaly Detection of Rudder System," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 121845–121858, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3109630.
- [11] M. Tomera, "Ant colony optimization algorithm applied to ship steering control," in *Procedia Computer Science*, 2014, vol. 35, no. C, pp. 83–92. doi: 10.1016/j.procs.2014.08.087.
- [12] Y. Zheng, X. Lv, L. Qian, and X. Liu, "An Optimal BP Neural Network Track Prediction Method Based on a GA-ACO Hybrid Algorithm," *J Mar Sci Eng*, vol. 10, no. 10, Oct. 2022, doi: 10.3390/jmse10101399.
- [13] L. Wang, Q. Wu, J. Liu, S. Li, and R. R. Negenborn, "Ship Motion Control Based on AMBPS-PID Algorithm," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 183656–183671, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2960098.
- [14] N. Allu and A. Toding, "Tuning with Ziegler Nichols Method for Design PID Controller at Rotate Speed DC Motor," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, May 2020, vol. 846, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/846/1/012046.
- [15] A. G. Brito, "On the misunderstanding of the ziegler-nicholss formulae usage," *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 6, no. 1, pp. 142–147, Jan. 2019, doi: 10.1109/JAS.2019.1911336.