



Penentuan Metode Kendali yang Optimal untuk Kestabilan *Rolling* Kapal Perang Indonesia

Ii Munadhif^{a,*}, Mat Syaiin^b, Joko Endrasmono^{a,b}

^a Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

* Alamat Surel: iimunadhif@ppns.ac.id

Abstrak

Kapal perang Indonesia yang dimiliki oleh TNI AL digunakan untuk menjaga keamanan perairan Indonesia. Kemampuan manuver kapal sangat penting agar dapat menjalankan tugas dengan maksimal. Salah satu strategi peningkatan kemampuan manuver adalah stabilisasi *rudder roll* untuk menjaga sudut *yaw* dan sudut *roll* dengan aktuator *rudder*. Pada umumnya stabilisasi *rudder roll* menggunakan kendali PID. Namun kenyataannya *tuning* parameter PID secara manual dan konvensional membutuhkan waktu yang lama untuk menghasilkan respon terbaik. Pada penelitian ini menentukan metode kendali yang optimal untuk kestabilan *rolling* Kapal perang Indonesia. Metode yang diuji terhadap sistem adalah PID, *Particle Swarm Optimization* (PSO)-PID dan *fuzzy*. Penelitian dilakukan secara simulasi. Hasil simulasi yaitu membandingkan kendali PID dengan PSO, kendali PID Ziegler Nichols (ZN) dan *fuzzy*. Saat *heading* 20° kendali PID dengan PSO menghasilkan *maximum overshoot* 20.55% dan *roll steady state* 110 sekon. PID ZN menghasilkan *maximum overshoot* 52.5% dan *roll steady state* 112 sekon. Logika *fuzzy* menghasilkan *maximum overshoot* 26.6% dan tidak memiliki *roll steady state*.

Kata kunci:

Kapal perang Indonesia, stabilisasi *rudder roll*, *rudder*, kendali PID, PSO.

© 2022 Dipublikasikan oleh Jurusan Matematika, Universitas Negeri Semarang

1. Pendahuluan

Salah satu Kapal Perang Indonesia (KRI) untuk pertahanan maritim adalah KRI Hasanuddin 366. Kapal ini dioperasikan TNI AL sejak tahun 2007 dan dilengkapi senjata anti kapal laut dan anti pesawat udara (Himam, 2013). Pergerakan terbaik saat bermanuver dibutuhkan kapal karena berpengaruh terhadap kestabilan kapal. *Rudder* merupakan aktuator untuk mengendalikan sudut *yaw* dan *roll* kapal. Selama ini, tangki *roll* pasif digunakan kapal sebagai sistem kestabilan untuk menjaga keseimbangan kapal yang terletak di dek 3 kapal (Himam, 2013).

Beberapa peralatan telah dibuat untuk mengurangi sudut *roll* kapal. Pertama adalah *bilge keels*, alat ini paling sederhana, tidak dapat dikendalikan dan mampu mengurangi *roll* sebesar (10 – 20)%. Kedua adalah *u-tanks* aktif/pasif yang mampu mengurangi *roll* sebesar (40 – 50)% namun membutuhkan ruang yang besar. Ketiga dan keempat adalah stabilisasi *gyro* dan stabilisasi *fin*, keduanya mampu mengurangi *roll* sebesar (60 – 90)% namun harganya mahal. Kelima adalah stabilisasi *rudder roll* yang relatif murah, dapat dikendalikan dan bekerja mengandalkan kecepatan kapal (Perez & Blanke, 2010).

Pada umumnya stabilisasi *rudder roll* menggunakan kendali PID. Kendali PID masih populer digunakan karena implementasinya mudah dan dapat diaplikasikan di berbagai pengendalian (K. Ang, G. Chong, & Y. Li, 2005) khususnya di industri perkapalan dan industri proses. Namun kenyataannya *tuning* parameter PID secara manual dan konvensional membutuhkan waktu yang lama untuk menghasilkan respon terbaik. Pada penelitian ini menentukan metode kendali yang optimal untuk kestabilan *rolling* Kapal perang Indonesia. Metode yang diuji terhadap sistem adalah PID, *Particle Swarm Optimization* (PSO)-PID dan *fuzzy*. PSO merupakan teknik optimasi yang memiliki kelebihan yaitu mudah implementasinya, cukup cepat komputasinya dan sederhana algoritmanya (Kennedy, J. & Eberhart, C., 1995). Hasil performansi akan membandingkan antara metode *tuning* konvensional PID-Ziegler Nichols, *Particle Swarm Optimization* -PID dan metode kecerdasan buatan logika *fuzzy*.

To cite this article:

Munadhif, I., Syaiin, M., & Endrasmono, J. (20192). Penentuan Metode Kendali yang Optimal untuk Kestabilan *Rolling* Kapal Perang Indonesia. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika* 5, 767-772

2. Metode

Pada metode ini, penulis membahas PSO-PID. Terdapat beberapa langkah mendapatkan parameter optimal pada kendali PID menggunakan algoritma PSO untuk kestabilan *rolling* kapal perang yaitu sebagai berikut:

1. Memodelkan kapal berdasarkan data spesifikasi kapal
2. Membuat simulasi stabilisasi *rudder roll* dengan *software* matlab
3. Membuat algoritma PSO untuk menentukan parameter PID
4. Pengujian parameter PID-PSO terhadap sistem secara keseluruhan dan membandingkan performansi dengan PID ZN dan logika *fuzzy*

2.1. Data Spesifikasi Kapal

Data spesifikasi kapal secara rinci dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. Data Spesifikasi Kapal (Himam, 2013)

| Nama | Simbol | Ukuran |
|-----------------------------------|----------------|--------------------------|
| <i>Overall Length of the Ship</i> | LOA | 90,71 m |
| <i>Breadth</i> | B | 13,02 m |
| <i>Mass of Ship</i> | m | 1,818x10 ⁶ Kg |
| <i>Velocity</i> | U | 9,53 m/s |
| <i>Draught</i> | D | 3,5 m |
| <i>Volume of Displacement</i> | ∇ | 1793 m ³ |
| <i>Coefficient Block</i> | CB | 0.491 |
| <i>Nominal x coordinate of CG</i> | X _g | -3,38 m |
| <i>Nominal z coordinate of CG</i> | Z _g | -1,75 m |
| <i>Nominal metacentric height</i> | GM | 0,776 m |

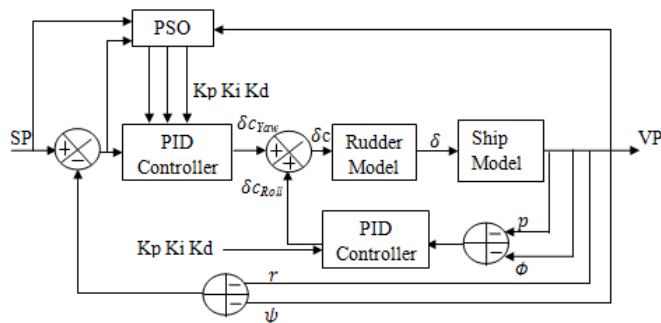
2.2 Model Kapal

Pemodelan kapal perang Indonesia menggunakan persamaan dinamika kapal dengan 4 gerakan bebas yang diusulkan Fedyevsky dan Sobolev (Perez & Blanke, 2010). Data spesifikasi kapal diperlukan untuk membentuk model kapal. Kemudian dilakukan perubahan persamaan dinamika kapal menjadi persamaan matriks. Kemudian persamaan matriks dilinearisasi dalam bentuk persamaan *state space*. Model kapal disimulasi dengan *software* simulink matlab. Parameter keluaran model kapal dalam persamaan *state space* adalah laju *sway* (v), laju *roll* (p), laju *yaw* (r), sudut *roll* (ϕ), dan sudut *yaw* (ψ) dengan masukan sudut *rudder* (δ). *Sway* adalah gerakan linier ke samping kiri/kanan kapal. *Roll* adalah gerakan memutar ke sisi kiri/kanan kapal (*oleng*). *Yaw* adalah gerakan memutar ke samping kiri/kanan (belok). Sudut *rudder* (δ) adalah besaran sudut yang dibentuk *rudder* terhadap posisi normalnya.

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{p} \\ \dot{r} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.08563 & 0.026367 & 0.889808 & 1.351474 & 0 \\ 0.006979 & -0.121443 & -0.137992 & -6.249712 & 0 \\ 0.000447 & 0.00005 & 0.006931 & 0.0003715 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.420918 \\ 0.023502 \\ 0.008185 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta \quad (1)$$

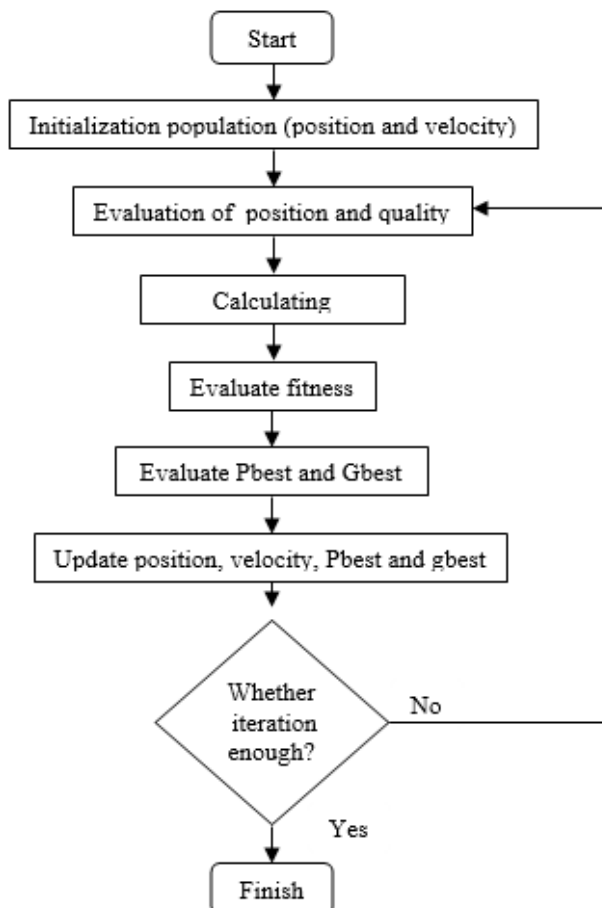
2.3 PSO pada Kendali PID

Diagram blok PSO pada kendali PID ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok PSO-PID

Setiap sampling waktu, PSO menentukan parameter PID terbaik untuk mengendalikan gerak *yaw* dan *roll* melalui *rudder*. Nilai K_p , K_i dan K_d untuk gerak *yaw* dan *roll* adalah sama. K_p adalah *gain proporsional* PID, K_i adalah *gain integral* PID dan K_d adalah *gain derivative* PID. Diagram alir penentuan parameter terbaik PID dengan PSO ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Algoritma PSO

Tujuan PSO untuk memperbaiki respon sistem agar memiliki maksimum *overshoot* kurang dari 20% sesuai kriteria kestabilan dan memiliki *settling time* cepat. Parameter-parameter algoritma PSO-PID adalah sebagai berikut:

1. Jumlah iterasi adalah 50
2. Jumlah populasi adalah 50

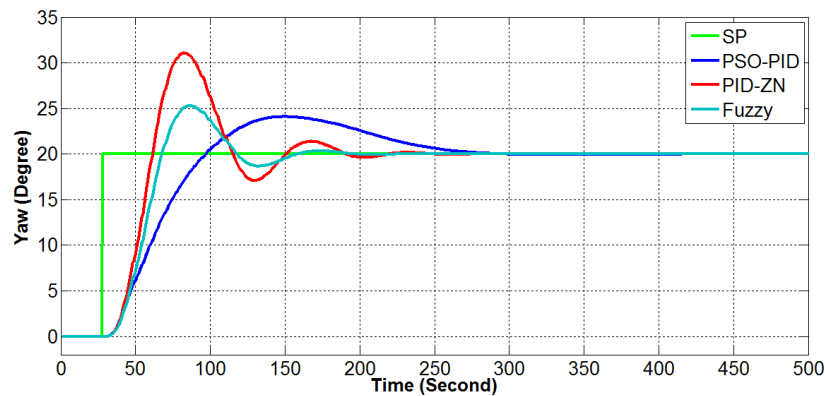
3. Jumlah inersia adalah 1.0
4. Faktor koreksi adalah 2.0
5. Konstanta c1 dan c2 adalah 0.7404

3. Hasil dan Pembahasan

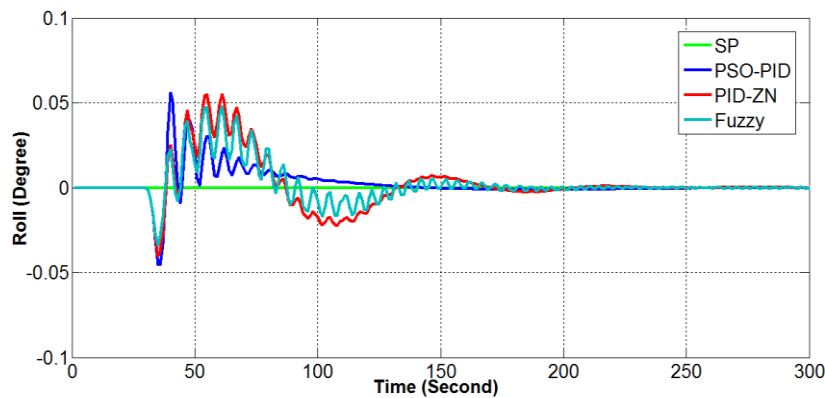
Pada penelitian ini menentukan metode kendali yang optimal antara *tuning* PSO-PID, kendali PID Ziegler-Nichols dan kecerdasan buatan logika *fuzzy*. Masukan berupa sudut *heading* sebesar 20° dan 30° sesuai aturan *International Maritime Organization* (IMO).

3.1. Respon Close loop Heading 20°

Pengujian pertama adalah respon *close loop* sudut *heading* 20°. Asumsi kapal bergerak surge selama 50 sekon sebelum *heading* karena *rudder* lebih efektif digunakan ketika kapal telah berlayar. Respon *close loop heading* 20° gerak *yaw* dan *roll* ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Respon yaw heading 20°



Gambar 4. Respon roll heading 20°

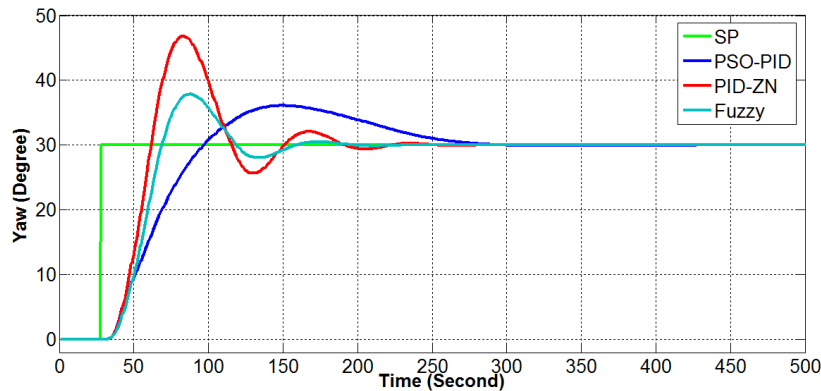
Tabel 2. Hasil Respon Heading 20°

| Kendali | Maximum overshoot (%) | Settling time yaw | Roll steady state |
|---------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Fuzzy | 26,6 | 121 s | - |
| PID-ZN | 52,2 | 137 s | 112 s |
| PSO-PID | 20,55 | 151 s | 110 s |

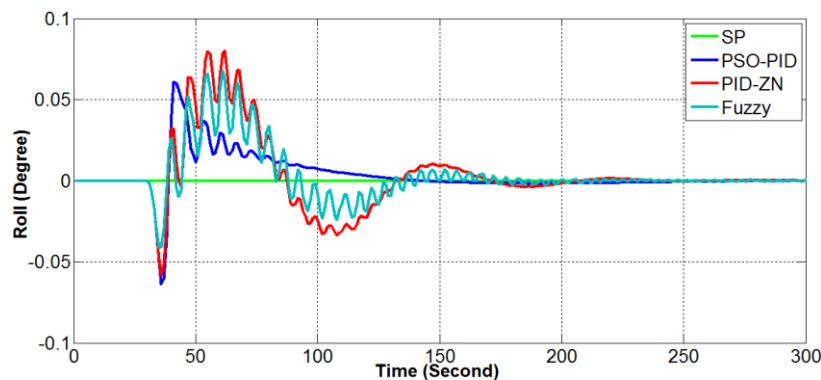
Gambar 3, 4 dan tabel 2 menunjukkan kendali PSO-PID memiliki *overshoot* terkecil yaitu 20,55% dan *roll steady state* terkecil yaitu 110 sekon. Waktu tunak tercepat adalah kendali *fuzzy* sebesar 121 sekon.

3.2. Respon Close loop Heading 30°

Pengujian kedua adalah respon *close loop* sudut heading 30°. Respon *close loop heading* 30° gerak yaw dan roll ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Respon yaw heading 30°



Gambar 6. Respon roll heading 30°

Tabel 3. Hasil Respon Heading 30°

| Kendali | Maximum overshoot (%) | Settling time yaw | Roll steady state |
|---------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Fuzzy | 26,17 | 162 s | - |
| PID-ZN | 56,17 | 186 s | 206 s |
| PSO-PID | 20,33 | 191 s | 200 s |

Gambar 5, 6 dan tabel 3 menunjukkan kendali PSO-PID memiliki *overshoot* terkecil yaitu 20,33% dan *roll steady state* terkecil yaitu 200 sekon. Waktu tunak tercepat adalah kendali *fuzzy* sebesar 162 sekon. Perbandingan parameter PSO-PID dan PID-ZN ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Parameter PSO-PID dan PID-ZN

| Kendali | Kp | Ti | Td |
|---------|--------|---------|---------|
| PID-ZN | 0,42 | 20 | 5 |
| PSO-PID | 0,7129 | 36,8733 | 15,4032 |

4. Simpulan

Beberapa kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) *Tuning* parameter PID dengan PSO memiliki performansi *overshoot* lebih baik dan waktu *roll steady state* lebih baik dibandingkan metode PID ZN dan *fuzzy*, (2) Metode *fuzzy* memiliki performansi *settling time yaw* lebih baik dibandingkan metode PID ZN dan PID-PSO.

Daftar Pustaka

- Herrero, Elias R. Rodriguez, M Tomas, & Velasco, Fransisco. (2014). Iterative Lead Compensation Control of Nonlinear Marine Vessels Manoeuvring Models. *Aplied Ocean Research* 48, hal 266-276.
- Himam, M. Faikhul. Letda Laut. (2013). Kri Sultan Hasanudin 366.pdf. *Satuan Kapal Eskorta Ko-Armatim*. Surabaya.
- Hui Li, Xiao Shen, Cong Shen, & Chen Guo. (2018). Adaptive backstepping sliding mode control for rudder/fin joint roll stabilization system. *Proceedings of the 37th Chinese Control Conference*, hal 322-326. Wuhan, China.
- K. Ang, G. Chong, & Y. Li. (2005). PID control system analysis, design and technology. *IEEE Trans. Control System Technology*. Vol. 13, pp.559-576.
- Kennedy, J. & Eberhart, C. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks*. Australia. pp. 1942-1948.
- Lihua Liang, Peng Zhao, & Songtao Zhang. (2018). Research and simulation of ship roll control in turning motion. *Proceedings of the 37th Chinese Control Conference*, hal 3841-3846. Wuhan, China.
- Peter H. Heins, Bryn LI. Jones, & Dominic J. Taunton. (2017). Design and validation of an unmanned surface vehicle simulation model. *Applied Mathematical Modelling*.
- Peng Xiuyan, Hu Jincai, & Sun Tao. (2015). Rudder roll stabilization based on sliding mode variable structure control research. *Proceedings of the 34th Chinese Control Conference*, hal 2373-2378. Hangzhou, China.
- T. Perez, & M. Blanke. (2010). Ship Roll Motion Control. (Online). (https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/4663353/2010_IFAC_CAMS_Perez_Blanke.pdf, diakses pada 10 maret 2021)