

Analisa Pengendalian *Level* Berbasis MRAC-PID pada Tangki *Hotwell* Kondensor

Yuliandini Norhaliza Adhe¹, Putut Son Maria², Hilman Zarory³ dan Jufrizel⁴
^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293
e-mail: 11850521552@students.uin-suska.ac.id

Abstrak— Penjagaan *level* air kondensat pada tangki *hotwell* ditujukan untuk menjaga efisiensi dari pembangkit. PT. Pertamina RUU II Dumai mengatur keluaran dari tangki *hotwell* untuk menjaga *level* di keadaan normal menggunakan kendali otomatis PI, namun kendali PI yang diterapkan memiliki respon sistem yang berfluktuasi pada *level* yang dijaga. Pada penelitian ini dilakukan pengujian menggunakan sistem kendali adaptif Model Reference Adaptive Control (MRAC) kombinasi PID untuk meningkatkan performansi dari respon sistem dengan menggunakan pemodelan matematis yang mendekati real plant. Kendali MRAC-PID didapatkan P senilai 1, I senilai 0,1, D senilai 10, dan Gain senilai 4 memiliki *overshoot* sebesar 0,015%, *error steady state* sebesar 4,3E-06 dengan *rise time* sebesar 6,2727 detik. Pengujian dengan pemodelan matematis dengan kendali PI yang memiliki *overshoot* sebesar 0,9055%, *error steady state* sebesar 0,0016 dan *rise time* sebesar 0,1583 detik. Kendali MRAC-PID memiliki *overshoot* dan *error steady state* yang lebih kecil dengan *rise* yang lebih lambat dibandingkan dengan kendali PI. Kendali MRAC-PID memiliki kehandalan dapat mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan naik maupun turun serta pengujian gangguan yang dilakukan kendali MRAC-PID mampu beradaptasi sehingga dapat kembali mencapai *setpoint* meski masih terdapat *overshoot* sebesar 0,0081% saat gangguan sebesar 6% dan *overshoot* sebesar 0,042% saat gangguan sebesar 10%.

Kata kunci: *Level*, MRAC Controller, PI Controller, PID Controller, Tangki Hotwell

Abstract— Maintenance of the condensate water level in the hotwell tank is intended to maintain the efficiency of the generator. PT. Pertamina RUU II Dumai regulates the output from the hotwell tank to maintain the level in normal conditions using PI automatic control, but the applied PI control has a fluctuating system response at a maintained level. In this study, testing was carried out using an adaptive control system with a combination of PID Reference Model Reference Adaptive Control (MRAC) to improve the performance of the system response using mathematical modeling that is close to a real plant. MRAC-PID control obtained P worth 1, I worth 0.1, D worth 10, and Gain worth 4 has an overshoot of 0.015%, steady state error of 4.3E-06 with a rise time of 6.2727 seconds. Testing with mathematical modeling with PI control which has an overshoot of 0.9055%, a steady state error of 0.0016 and a rise time of 0.1583 seconds. The MRAC-PID control has a smaller overshoot and steady state error with a slower rise than the PI control. The MRAC-PID control has the reliability to be able to follow changes in the given setpoint up or down and the disturbance testing carried out by the MRAC-PID control is able to adapt so that it can return to the setpoint even though there is still an overshoot of 0.0081% when the disturbance is 6% and overshoot is 0.042% the time of disturbance by 10%.

Keywords: Hotwell Tank ,Level, MRAC Controller, PI Controller, PID Controller

I. PENDAHULUAN

Prinsip kerja PLTU menggunakan siklus rankine tertutup yang memanfaatkan fluida gas. Siklus rankine merupakan proses perubahan bentuk dari air menjadi uap dan sebaliknya. Salah satu komponen utama dalam siklus rankine yaitu kondensor[1] yang berfungsi untuk proses kondensasi yang mana mengubah sisa uap panas dari turbin bertekanan rendah menjadi air dengan prinsip kerja perbedaan suhu yang terjadi pada *surface* kondensor. Hasil dari proses kondensasi adalah air kondensat yang akan digunakan untuk siklus rankine selanjutnya[2],[3].

Pada kondensor terdapat tangki *hotwell* sebagai penampung air kondensat sebelum dialirkan ke tahap selanjutnya [4]. *Level* air kondensat pada tangki *hotwell* harus dipertahankan pada *level* normal untuk menjaga efisiensi pembangkit listrik karena jika *level* air di bawah *level* normal tingkat vakum pada tangki *hotwell* akan meningkat dan jika *level* di atas *level* normal maka akan menyebabkan kerusakan pada vakum tangki[5].

Dalam menjaga *level* pada tangki *hotwell* diperlukan *control* otomatis agar *level* dapat terjaga pada kondisi normal. PLTU PT. Pertamina RUU II Dumai mengontrol *level* pada tangki *hotwell* menggunakan pengendali PI dengan

melakukan *control* laju aliran keluar dari tangki *hotwell* dengan *level* yang dijaga berada pada *range* 50%[6]. Sistem kendali PI yang digunakan memiliki respon sistem yang berfluktuasi dalam menjaga level maka digunakan pengendali PID untuk meningkatkan performansi respon sistem dengan pengaturan tiga parameter yaitu P,I, dan D dengan kelebihan dan kekurangan yang dapat berdiri sendiri atau saling mempengaruhi parameter satu sama lain. Agar perubahan parameter PID pada kendali otomatis dapat menyesuaikan sehingga menghasilkan respon sistem yang baik dapat digunakan sistem *control* adaptif yang memiliki mekanisme pengaturan pada parameter-parameternya.

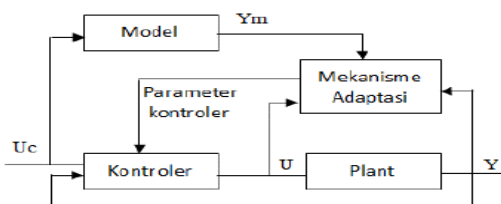
Pada penelitian ini penulis menggunakan sistem *control* adaptif yaitu *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) PID yang diterapkan pada *control level* tangki *hotwell* kondensor. Kendali MRAC merupakan salah satu kendali adaptif dengan skema performansi keluaran sistem mengikuti performansi keluaran model referensinya. Sehingga nantinya dapat di analisa respon sistem dari kendali MRAC-PID dengan melihat perbedaan pada respon sistem kendali PI yang diuji berdasarkan pemodelan yang didapatkan berdasarkan nilai parameter lapangan.

Penelitian terkait *level* tangki *hotwell* kondensor yang pernah dilakukan menggunakan metode algoritma genetika dengan data yang didapatkan berdasarkan tempat studi kasus peneliti menghasilkan respon sistem memiliki *overshoot* 1,6% dengan *rise time* senilai 1218 detik, *settling time* sebesar 2200 detik dan *error steady state* sebesar 0,001[8]. Penelitian terkait membahas tentang pengendali MRAC PID pada penelitian sebelumnya membahas kendali tekanan *Modul Training Pressure Process Rig 38-714*. Pada penelitian tersebut *control* MRAC PID menghasilkan respon sistem yang cepat dari penelitian sebelumnya dengan *settling time* 0.59 detik dan *rise time* 0.36 detik dengan *error steady state* 0[9]. Penelitian lainnya pada kendali konsentrasi pada sistem *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Pada penelitian ini *control* MRAC PID dapat meminimalisir *error steady state* dengan hasil yang didapatkan 0g.moll/liter dengan *rise time* sebesar 8.9807 dan *overshoot* sebesar 0.00001% dan saat diberi gangguan sistem dapat kembali cepat ke *setpoint* [10].

II. TEORI

A. Sistem Control Model Reference Adaptive Control

Model Reference Adaptive Control (MRAC) merupakan kendali dengan skema performansi *output* mengikuti performansi dari *output* model referensi. Kendali MRAC dapat beradaptasi terhadap perubahan lingkungannya dalam menjaga kestabilan sistem [10].



Gambar 1. Blok Diagram Skema MRAC

Sistem Kendali MRAC memiliki loop umpan balik yang terdiri dari proses dan pengontrol dan loop umpan balik lain yang mengubah parameter pengontrol. parameter diubah

berdasarkan umpan balik dari kesalahan, yang merupakan perbedaan antara keluaran sistem dan keluaran model referensi. loop umpan balik biasa disebut loop dalam, dan loop penyesuaian parameter disebut loop luar. Pada proses kedua loop dilakukan proses *update* pada parameter sistem menyesuaikan skema dari kendali adaptif yang digunakan. Mekanisme pengaturan pada MRAC terhadap parameternya dapat dilakukan dengan metode *MIT Rule*[11].

B. MIT Rule

Metode *MIT Rule* dipilih dikarenakan persamaan matematis yang sedikit dan tidak terlalu rumit. Pengendali sistem tertutup pada metode *MIT Rule* memiliki parameter yang diatur berupa θ . Model keluaran pada sistem dinotasikan dengan y_m menentukan respon sistem dari loop tertutup dengan *output* proses dinotasikan dengan y . Selisih antara y dan y_m merupakan *error* yang dinotasikan dengan e [11].

Menggunakan metode *MIT Rule* maka model referensi pada sistem dengan karakteristik orde dua dapat dilakukan melalu persamaan sebagai berikut:

$$y_m(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{1}$$

Keterangan:

ω_n = Frekuensi alami tak teredam

ζ = Rasio Redaman

III. METODE PENELITIAN

A. Pemodelan Matematis Sistem Pengaturan Level Tangki Hotwell

Karakteristik dari sistem diwakili ke dalam bentuk model matematis, bertujuan untuk memberi gambaran *input* terhadap *output* sistem. Model matematis disusun berdasarkan proses *input* dan *output* pada tangki *hotwell* kondensor dengan pendekatan *real plant* agar dapat disimulasikan. Nilai pada model matematis didapatkan dari parameter lapangan pada tangki kondensor yang ada di PLTU PT. Pertamina RUU II Dumai sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter Plant

| No. | Keterangan | Nilai |
|-----|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. | Length (L) | 7 m |
| 2. | Diameter (D) | 1.904 m |
| 3. | High (h) | 0.95 m |
| 4. | Flow outlet tangki hotwell | 104,03 m ³ /h |
| 5. | Flow rate control valve | 28.9 kg/s |
| 6. | Arus outlet | 4 – 20mA |
| 7. | Time stroke control valve | 2 s |
| 8. | Time pertime strock control valve | 0.003 |

B. Model Matematis Tangki Hotwell

Penjaga *level* air pada tangki *hotwell* dapat diperhitungkan dengan persamaan kesetimbangan massa memperhitungkan kuantitas uap yang terkondensasi dan laju aliran keluar dari tangki *hotwell*. maka dapat dirumuskan:

$$[\text{Laju Perubahan Massa Dalam Tangki Hotwell}] = [\text{Laju massa input}] - [\text{Laju massa output}]$$

Dimana persamaan dari massa jenis merupakan $m = \rho V$, sehingga dapat disederhanakan menjadi:

$$\rho \frac{dV}{dt} = F_i \rho_i + m_s - F_{out} \rho_{out} \quad (2)$$

Keterangan:

V = Volume (m³)

F_i = Flow atau laju aliran massa yang masuk ke tangki (kg/s)

F_{out} = Flow atau laju aliran massa yang keluar dari tangki (kg/s)

m_s = Laju aliran steam (kg/s)

ρ = Massa jenis cairan diasumsikan konstan (kg/m³).

Tahap selanjutnya diperlukannya pemodelan bentuk tangki. Tangki hotwell memiliki bentuk menyerupai tabung dan didapatkan pendekatan model tangki sehingga hubungan antara volume dan ketinggian adalah:

$$dV = A dh = W_t L dh \quad (3)$$

Keterangan:

A = Luas permukaan air dalam tangki (m²)

h = Ketinggian fluida dalam tangki (m)

W_t = Luas permukaan cairan (m²)

L = Panjang tangki (m)

Diasumsikan massa jenis air kondensat tetap. Sehingga persamaan 2 dan 3 dapat disederhanakan menjadi:

$$A \frac{dh}{dt} = F_i + \frac{m_s}{\rho} - F_{out} \quad (4)$$

Hubungan aliran keluaran air kondensat F_{out} dengan ketinggian tangki h adalah sebagai berikut :

$$F_{out} = \frac{h}{R} \quad (5)$$

Dari persamaan 4 dan 5 dapat dijabarkan rumus sebagai berikut:

$$A \frac{dh}{dt} + \frac{h}{R} = F_i + \frac{m_s}{\rho} \quad (6)$$

Dari persamaan 6 dapat disederhanakan menjadi:

$$RA \frac{dh}{dt} + h = RF_i + \frac{Rm_s}{\rho} \quad (7)$$

Persamaan 7 ubah dalam bentuk transformasi laplace, menjadi:

$$(RAS + 1) H(s) = RF_i(s) + \frac{R}{\rho} m_s(s) \quad (8)$$

Kemudian disederhanakan, sehingga didapatkan fungsi alih tangki hotwell dengan massa steam dianggap 0.

$$H(s) = \frac{R}{RAS+1} F_i(s) + \frac{R}{(RAS+1)\rho} m_s(s) \quad (9)$$

Untuk mendapatkan nilai A digunakan pendekatan model tangki yang berupa tabung dengan rumus sebagai berikut:

$$A = 2(\pi r^2) + 2\pi r t \quad (10)$$

Dari persamaan 5 didapatkan nilai R dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{h}{F_{out}} \quad (11)$$

C. Model Matematis Control valve

Dalam mengatur level ketinggian air control valve berfungsi sebagai kendali akhir yang akan mengatur laju aliran fluida sehingga level dapat terjaga dengan bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Maka dapat dirumuskan untuk mendapatkan fungsi alih control valve yaitu:

$$G_{CV} = \frac{K_{tot}}{\tau_{CV}s+1} \quad (12)$$

Keterangan:

K_{tot} = Gain total control valve

τ_{CV} = Time constant control valve

Berdasarkan flow rate dari control valve dan input dari control valve, dapat dihitung gain control valve, yaitu:

$$K_{tot} = \frac{0-100\%}{(20-4)mA} \times \frac{Flow Rate}{0-100\%} \quad (13)$$

Berdasarkan data sheet perusahaan didapatkan time stroke penuh control valve adalah 2 detik dengan perbandingan waktu inerent terhadap time stroke adalah 0,003 detik maka didapatkan nilai:

$$\tau_{CV} = T_V(\Delta V + R_V) \quad (14)$$

Keterangan:

T_V = Time stroke penuh control valve

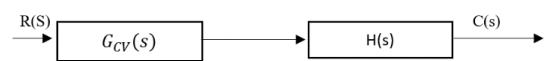
R_V = konstanta waktu berbanding waktu stroke

$$\Delta V = \frac{Flow Max - Flow Min}{Flow Max} \quad (15)$$

$$\tau_{CV} = 2(\Delta V + 0,003) \quad (16)$$

D. Model Matematis Simulasi Control Level Tangki Hotwell

Setelah didapatkannya fungsi alih masing-masing sistem berdasarkan penurunan rumus maka model fungsi alih sistem kendali level air kondensat tangki hotwell didapatkan dengan menyederhanakan fungsi alih control valve dan tangki hotwell secara open loop adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Blok Diagram Open Loop

Didapatkan persamaan:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = G_{CV}(s)(control valve) \times H(s)(tangki) \quad (17)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{5,2}{2,06s+1} \times \frac{32,875}{372,65s+1} \quad (18)$$

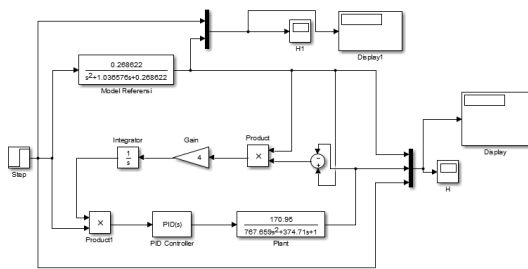
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{170,95}{767,659s^2+374,71s+1} \quad (19)$$

E. Perancangan Control MRAC-PID

Model referensi didapatkan menggunakan metode MIT Rule berdasarkan respon sistem secara open loop dan didapatkan model referensi sebagai berikut:

$$y_m(s) = \frac{0,268622}{s^2+1.036576s+0.268622} \quad (20)$$

Fungsi alih control level tangki dan fungsi alih model referensi yang telah didapatkan dimasukkan pada blok diagram MRAC-PID kemudian dilakukan pengaturan pada nilai gain dan PID secara *trial and error* untuk mendapatkan hasil respon sistem.



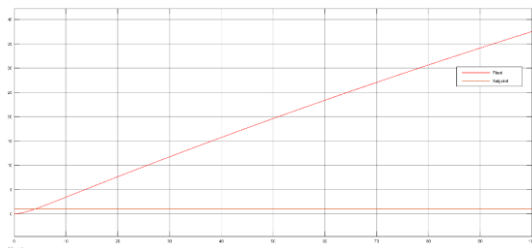
Gambar 3. Blok Diagram Pengendali Level MRAC-PID

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi pada penelitian menggunakan software simulink matlab yang bertujuan untuk melihat respon sistem dalam bentuk grafik kemudian akan di analisa *rise time*, *overshoot*, *error steady state* dengan nilai PID dan Gain yang berbeda beda. Hasil keseluruhan dari simulasi sistem akan di analisa dengan melihat kinerja kendali MRAC-PID dalam menjaga level tangki hotwell kondensor sehingga dapat dilihat hasil respon sistem menggunakan pemodelan matematis yang didapatkan dengan kendali PI dan kendali MRAC-PID.

A. Open Loop Tangki Hotwell Condensor

Pengujian *open loop* dilakukan secara simulasi menggunakan software simulink matlab untuk mengetahui karakteristik respon sistem dan didapatkan hasil:



Gambar 4. Grafik Open Loop

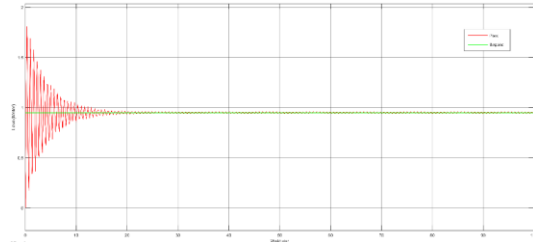
Berdasarkan hasil grafik pengujian secara *open loop* didapatkan grafik respon sistem yang memiliki overshoot melebihi dari *setpoint* yang diberikan sebesar 0,95 sehingga perlu dikendalikan.

B. Pengujian Pengendali PI Pada Control Level Tangki Hotwell

Pengujian menggunakan model matematis yang mendekati karakteristik *real plant* berdasarkan data yang didapatkan dari PT. Pertamina menggunakan nilai pengendali PI yang diterapkan pada PT. Pertamina dan didapati hasil:

Tabel 2. Hasil Pengujian dan Perhitungan PI

| | |
|------------------------|--------|
| Rise time (Sec) | 0,1583 |
| Overshoot (%) | 0,9055 |
| Error steady state (%) | 0,0016 |



Gambar 5. Grafik Respon Sistem Kendali Level Dengan PI

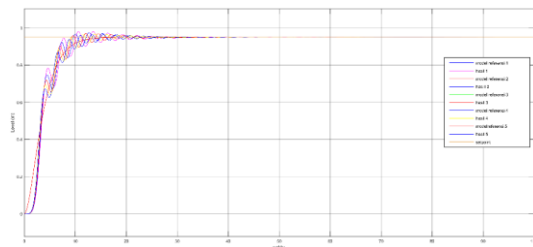
Berdasarkan hasil grafik didapat kan *overshoot* sebesar 0.9055% dengan *rise time* sebesar 0.1583 detik dengan respon sistem beresilasi yang memiliki *error steady state* sebesar 0.0016 dan nilai *error steady state* berubah ubah seiring kenaikan.

C. Pengujian Pengendali MRAC-PID Pada Control Level Tangki Hotwell Kondensor

Pengaturan nilai gain dan PID dilakukan menggunakan metode *trial and error* dengan mengganti nilai parameter satu persatu untuk melihat respon sistem dalam menentukan nilai parameter yang akan digunakan. Berdasarkan pengaturan nilai parameter didapatkan nilai Gain, nilai P dan nilai I lebih kecil dibandingkan nilai D dikarenakan respon sistem yang dihasilkan dapat mengikuti model referensi sehingga dilakukan beberapa simulasi kemudian didapatkan hasil pada tabel dan grafik seperti di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian dan Perhitungan

| Paramete r | Simulasi | | | | |
|------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| P | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| I | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| D | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Gain | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Rise time (Sec) | 6,9546 | 6,7017 | 6,5094 | 6,3653 | 6,2727 |
| Overshoot (%) | 0,032 | 0,026 | 0,021 | 0,017 | 0,015 |
| Error steady state (%) | 3,9E-06 | 9,9E-06 | 1,5E-06 | 1,4E-06 | 4,3E-06 |

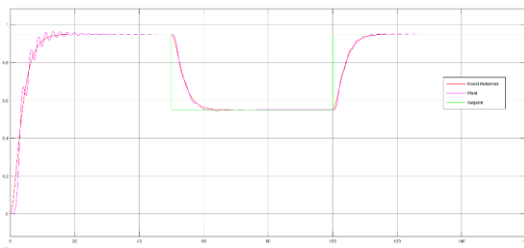


Gambar 6. Grafik Respon Sistem Kendali Level Dengan MRAC-PID

Berdasarkan percobaan respon sistem didapatkan nilai P sebesar 1, nilai I sebesar 0,1, nilai D sebesar 10 dan nilai gain sebesar 4 dengan *setpoint* yang diberikan sebesar 0,95 memiliki hasil *overshoot* lebih kecil sebesar 0,0015% dan *rise time* yang lebih cepat sebesar 6,2727 detik dengan *error steady state* sebesar $4,3E-06$ dibandingkan percobaan simulasi lainnya.

D. Pengujian Sistem Dengan Perubahan Setpoint

Pengujian perubahan nilai *setpoint* dilakukan dengan merubah nilai *setpoint* awal pada sistem bertujuan mengetahui performansi dari respon sistem dengan kendali MRAC-PID saat nilai *setpoint* berubah-ubah.

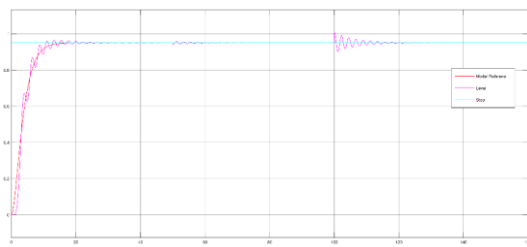


Gambar 7. Grafik Respon Sistem Kendali Level Dengan MRAC-PID Saat Perubahan Setpoint

Pada pengujian perubahan *setpoint* didapatkan bahwa respon sistem dengan kendali MRAC-PID dapat mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan saat *setpoint* dirubah menjadi 0,55 diwaktu 50 detik didapati *settling time* pada nilai 59,4195 detik dan pada saat perubahan *setpoint* dikembalikan pada *setpoint* awal sebesar 0,95 pada waktu 100 detik didapati *settling time* pada nilai 109,0856 detik.

E. Pengujian Dengan Perubahan Parameter

Pengujian dilakukan dengan pemberian perubahan *input* saat respon sistem di keadaan tunak. Pengujian disimulasikan dengan pemberian perubahan *input* sebesar 6% dan 10 % dari nilai *setpoint*



Gambar 8. Grafik Respon Sistem Kendali Level Dengan MRAC-PID Saat Diberikan Perubahan Parameter

Hasil pengujian didapatkan respon sistem dengan kendali MRAC-PID saat diberi gangguan sebesar 6% dapat beradaptasi kembali mencapai *setpoint* dengan *overshoot* sebesar 0,0081% dan saat diberi gangguan sebesar 10% dapat beradaptasi dengan *overshoot* sebesar 0,042%.

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengendali MRAC-PID memiliki *overshoot* sebesar 0,015% dengan *error steady state* sebesar $4,3E-06$ yang lebih kecil dibandingkan dengan kendali PI yang memiliki *overshoot* sebesar 0,9055% dan *error steady state* sebesar 0,0016, namun kendali MRAC PID memiliki *rise* lebih lambat sebesar 6,2727 detik dibandingkan dengan kendali PI sebesar 0,1583 detik. Kendali MRAC-PID memiliki keandalan dapat mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan naik maupun turun serta pengujian gangguan yang dilakukan kendali MRAC-PID mampu beradaptasi sehingga dapat kembali mencapai *setpoint* meski masih terdapat *overshoot* sebesar 0,0081% saat gangguan sebesar 6% dan *overshoot* sebesar 0,042% saat gangguan sebesar 10%.

REFERENSI

- [1] Pasra, N., 2015. Pengoperasian Water Treatment Plant pengoperasian Water Treatment Plant. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 7, pp.41-48. Available : <https://www.neliti.com/publications/390535/pengoperasian-water-treatment-plant-di-pt-pjb-unit-pembangkitan-paiton>
- [2] Kurniawati, I., Pratilastiarso, J. and Satrio, 2020. Analysis Of The Effect of Cooling Water Condenser to Power Plant Cycle Using Cycle Tempo Software. *IEE*, pp.37-42. Available : <https://ieeexplore.ieee.org/document/9231722>
- [3] Dumai, P., 2010. *UTL Manual Book*. Dumai: PT. Pertamina.
- [4] ChandrakanthSagar, S., Narayana, M. and Lohitha, M., 2013. Modified Hot Well Level Control System using Basic Logic Gates. *International Journal of Computer Applications*, 83(1), pp.36-39. Available : <https://research.ijcaonline.org/volume83/number1/pxc3892519.pdf>
- [5] Lindsley, D., 2005. *Power Plant Control and Instrumentation The Control of Boilers and HRSG System*. London: The Institution of Electrical Engineers. Available : <https://lib.ui.ac.id/detail.jsp?id=98740>
- [6] Dumai, P., 2010. *UTL Manual Book*. Dumai: PT. Pertamina.
- [7] Abidin, Z. and Ihsanto, E., 2021. Perancangan Kontroler PID Level Deaerator dan Kondensor pada Steam Power Plant Berbasis Algoritma Genetika. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(3), p.153. Available : <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jte/article/view/12637>
- [8] Setiawan, I., 2008. *Kontrol PID Untuk Proses Industri*. Semarang: PT Elex Media Komputindo. Available :
- [9] Gemeli, N., 2018. Desain Pengendali Model Reference Adaptive Control(Mrac) Dengan Kombinasi Pid Untuk Mengendalikan Tekanan Pada Modul Training Pressure Process Rig 38-714. *Skripsi*,. Available : <http://repository.uin-suska.ac.id/16556/>
- [10] Reski, M., 2019. Analisa Pengendali Mrac-Pid Untuk Mengendalikan Konsentrasi Pada Sistem Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (Cstr). *Skripsi*,. Available : <http://repository.uin-suska.ac.id/21670/>
- [11] Åström, K., 2013. *Adaptive Control*. Dover Publications.