

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v8i1.1761>

Desain Model Kendali Mrac-pd Untuk Pengaturan Level Deaerator Pada PT Pertamina Ru II Dumai

Surya Andy Wananda^{1*}, Putut Son Maria¹, Aulia Ullah¹, Jufrizel¹¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Jl. HR. Soebrantas No. 155, Pekanbaru, 28293Penulis untuk Korespondensi/E-mail: 11850512457@students.uin-suska.ac.id

Abstract - Level Control in the deaerator system is important to maintain to minimize the cause of corrosion in the boiler system. At the Pertamina RU II Dumai power plant, the deaerator uses PI control with a fixed value of Kp 300, and Ki 1.5, the PI control still has a steady state error and the PI control still experiences an error which causes a decrease in the deaerator level below 50% three times in one month, which is caused by internal and external disturbances and a long rise time of up to 4 hours to reach a steady state, in an interview at PT Pertamina RU II Dumai, normally only 30-60 minutes. In this study, the design of MRAC-PD control was carried out using the MIT Rule method to control non-linear characteristics at the deaerator level, and improve rise time performance, steady-state errors, and settling time. with data obtained through PT. Pertamina RU II Dumai. Deaerator modeling using the mass equilibrium approach equation, with gamma coefficients of -50, Kp 0.04, and Kd 50 obtained through the heuristic method obtained uninterrupted MRAC-PD control results with a rise time of 33.39672 seconds, settling time of 2% error criteria for 53.1145893 seconds, and an error range of setpoint of 0.000029428 meters. this shows a decrease in the rise time of 44.18605%, the settling time of 86.0125%, and a steady-state error of 99.9765% after using MRAC-PD control.

Abstrak - Pengendalian *Level* pada sistem *deaerator* penting untuk dijaga guna meminimalkan penyebab korosi pada sistem boiler. Pada PLTU Pertamina RU II Dumai, *deaerator* menggunakan kendali PI dengan nilai tetap Kp 300, dan Ki 1,5, kendali PI masih memiliki *error steady state* dan kendali PI masih mengalami *error* yang menyebabkan turunnya *level deaerator* dibawah 50% disebabkan gangguan internal dan eksternal serta *rise time* yang lama hingga 4 jam untuk mencapai keadaan *steady*, dalam wawancara pada PT Pertamina RU II Dumai normalnya hanya sebesar 30-60 menit. Dalam penelitian ini, dilakukan perancangan kendali MRAC-PD dengan metode *MIT Rule* untuk mengendalikan karakteristik *non linear* pada *level deaerator*, dan memperbaiki performansi *rise time*, *error steady state*, serta *settling time*. dengan data yang diperoleh melalui PT. Pertamina RU II Dumai. Pemodelan *deaerator* menggunakan persamaan pendekatan kesetimbangan massa. Dengan koefisien gamma -50, Kp 0,04, dan Kd 50 yang didapatkan melalui metode *heuristic* mendapatkan hasil kendali MRAC-PD tanpa gangguan dengan *rise time* 24 detik, *settling time kriteria error 2%* selama 53,1145893 detik, serta rentang *error* dari *setpoint* sebesar 0,000029428 meter, hal ini menunjukkan penurunan *risetime* sebesar 44,18605%, *settling time* sebesar 86,0125% dan *error steady statate* sebesar 99,9765% setelah menggunakan kendali MRAC-PD.

Keywords - Control, Deaerator, Level, MRAC, PD

PENDAHULUAN

Deaerator digunakan di perindustrian kimia dan juga pembangkit sebagai umpan air kepada boiler. Deaerator berperan sebagai penghilang gas O₂ serta CO₂ dalam air yang digunakan dalam

boiler agar tidak mengakibatkan korosi pada bilik pipa serta boiler [1], deaerator bekerja sesuai hukum henry dengan metode memasukkan uap panas ke dalam fluida hingga temperatur ±121°C. Penurunan gas terlarut dilakukan dengan memasukkan uap panas ke dalam deaerator, uap

panas tersebut akan membuat suhu air meningkat sehingga tekanan parsial gas dalam air akan menurun menyebabkan kelarutannya menurun dan terbawa keluar oleh uap [2].

Deaerator dengan nilai *setpoint* sebesar 60% berfungsi untuk menjaga proses deaerasi secara maksimal, jika *level* berada dibawah *setpoint*, maka dapat menyebabkan kerusakan pada pompa dan mengurangi suplai ke *boiler* [3], ketinggian air pada *deaerator* dapat dikendalikan dengan mengendalikan laju aliran pada *control valve* yang menerima *input* kerja dari sensor *level* yang berada pada *deaerator*. *Deaerator* memiliki dua bagian utama, yaitu tangki pemanas yang berfungsi sebagai tempat deaerasi air umpan dan tangki penampung berfungsi sebagai tempat penampungan air dan pemanasan lanjutan [4].

Kinerja sistem kontrol *level* pada *deaerator* penting untuk dijaga agar fluktuasi *level* air dapat diminimalkan. Pada PT Pertamina RU II Dumai *deaerator* memiliki suhu *steam* sebesar 140°C dengan pemanasan fluida 121°C [5], sistem *deaerator* menggunakan kendali PI dengan nilai tetap, maka operator harus menyesuaikan *control valve* jika terjadi beban yang berlebih dari nilai *control* yang diberikan [6] [7], pada pengamatan langsung pada data riil *deaerator*, kendali PI masih memiliki *error steadystate* yang mengurangi keoptimalan kinerja *deaerator* dan juga kendali PI masih mengalami *error* sistem kerja yang menyebabkan turunnya *level deaerator* sebanyak tiga kali dalam satu bulan, yang disebabkan gangguan *internal* dan *eksternal*, serta *rise time* yang lama hingga 4 jam untuk mencapai keadaan *steady*, dalam wawancara pada PT Pertamina RU II Dumai normalnya hanya sebesar 30-60 menit, maka hal ini perlu ditanggulangi dikarenakan generator memerlukan uap untuk memutar turbin.

Pada penelitian [8], pengendalian *level deaerator*, menggunakan kendali Proportional Integral Derivative (PID) berbasis *ziegler nichols*, kendali PID dirancang untuk mengatur *rise time*, *Overshoot*, *Settling Time*, *Error Steady State*. Pada hasil uji, pengendalian *level deaerator* mendapatkan respons *maximum overshoot* 18,1 %, *rise time* sebesar 1150 detik, *error steady state* (ess) sebesar 0,3, dengan *settling time* 4730 detik [8], kelemahan dari kendali PID ialah karakteristik parameter *Propositional*, *Integral*, *Diferensial* yang saling berkaitan.

Peneliti [9], membahas permasalahan *deaerator* yang terletak pada sistemnya yang *nonlinear* sering terjadi gangguan. Peneliti menggunakan kendali Model Reference Adaptive Control (MRAC) dikarenakan mempunyai mekanisme sistem yang dapat memperbaiki sinyal kendali berdasarkan *error* yang dihasilkan antara keluaran *plant* dengan model referensi. ketika di uji pada *setpoint* naik 2,28 m, mendapatkan hasil *settling time* 228,5 s, dengan *overshoot* sebesar 1,06%, *error steady state* (ess) sebesar 0,032%, pada *setpoint* kedua 2,48 m, mendapatkan hasil *settling time* sebesar 224,2s, dengan *overshoot* sebesar 0,64%, *ess* sebesar 0,004%, pada *setpoint* ketiga 2,68 m, menghasilkan *overshoot* 0,6% dan *ess* 0,0023%, dilihat dari hasil yang didapat, kendali MRAC dapat mengikuti perubahan *setpoint*.

Riset yang dilakukan [10], memanfaatkan kendali MRAC dengan metode kestabilan Lyapunov untuk mengendalikan kestabilan *level* pada separator, dengan metode uji coba *tracking* serta pemberian, kendala hasil yang didapatkan dari uji coba tersebut yakni MRAC dapat mengikut model referensi yang berganti naik turun dari perubahan *setpoint* dengan menghasilkan RMSE (*Root Mean Square Error*) yang kecil ialah sebesar 0,0059 begitu pula dengan uji *tracking* turun, menciptakan RMSE yang sama dengan uji coba *tracking* naik, pada uji coba kendala dengan metode merubah besaran laju aliran *input* ke separator sebesar 20% ataupun 0,001668 m³/s, menampilkan kendali MRAC bisa menanggulangi kendala tersebut dengan baik.

Berdasarkan permasalahan pada *deaerator* di PT. Pertamina RU II Dumai, *Deaerator* membutuhkan kendali yang memiliki *rise time* cepat untuk mengembalikan *level deaerator* jika mengalami gangguan, serta kendali yang dapat meminimalisir *error* agar *deaerator* dapat bekerja secara optimal untuk mendeaeraskan senyawa yang dapat menyebabkan kerusakan pada pipa-pipa *boiler*. Berdasarkan penelitian [6] [7] [8] [9] [10], pengendalian PID dan juga MRAC memiliki kelebihan masing-masing, namun juga masih terdapat kelemahan yaitu PID sulit mencapai *setpoint* ketika terjadi gangguan *input* suplai, ataupun perubahan *setpoint*, dan MRAC memiliki *rise time* yang cepat dan dapat mudah mengikuti perubahan yang terjadi. Namun pada penelitian ini, MRAC mengalami osilasi jika kendali hanya menggunakan kendali MRAC saja.

Model Reference Adaptive Control memiliki performansi keluaran sistem mengikuti performansi keluaran model referensi yang dapat ditetapkan, dengan dua metode perancangan yaitu *MIT Rule* dan juga kestabilan *Lyapunov* [11] [12], sifat utama dari kendali PD adalah mendahului sinyal masukan dalam hal waktu *derivative* ialah waktu yang diperlukan sehingga keluaran kendali *proportional* besarnya sama dengan keluaran kendali *derivative*, yang dapat diartikan kontrol *derivative* memperbaiki stabilitas dan mempercepat respon keluaran proses [13], pada penelitian [14], menghasilkan hasil penelitian bahwasannya kendali hibrida MRAC PID dapat lebih baik mengatasi permasalahan output yang *non linier* yang terjadi pada *plant* dibandingkan dengan kendali PID konvensional.

Maka dari itu peneliti memilih menggunakan kendali *hybrid* MRAC-PD, dan menyelesaikan masalah yang terjadi pada kendali *deaerator* saat ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain kendali MRAC-PD untuk mengurangi *rise time* yang lama, mengurangi terjadinya *error steady state* yang besar, dan juga mampu mempertahankan *level* ketika terjadi gangguan pada *deaerator* PT. Pertamina RU II Dumai.

METODE

Desain, Tempat Dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di PT. Pertamina RU II Dumai, dengan pengambilan data operasi dan juga *properties plant deaerator* tipe *tray* pada bagian *Utilities Production* Dumai, pada waktu 06 Juni 2022 hingga Juli 2022.

Cara Pengambilan Subjek

Pengambilan data primer penelitian dilakukan dengan metode observasi langsung terhadap riil *plant deaerator*. Dalam pengambilan data properti dilakukan wawancara terstruktur pada narasumber di PT. Pertamina RU II Dumai. Dalam pengambilan data sekunder dilakukan literatur review pada jurnal terkait dalam penelitian ini.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu, Pengumpulan data *plant deaerator* tipe *tray* dari PT. Pertamina RU II Dumai, perancangan model *plant deaerator* menggunakan aplikasi MATLAB, validasi model *plant deaerator* dengan

plant deaerator yang sesungguhnya (riil) perancangan pengendali level *deaerator*. analisis hasil uji.

Tahapan berikut dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada untuk mendesain kendali MRAC-PD pada sistem *deaerator*.

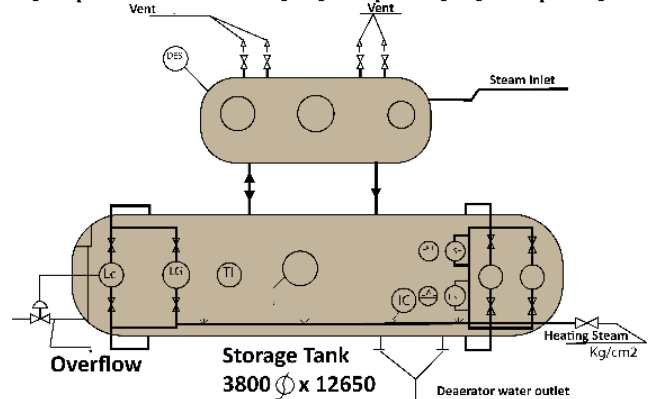
Pengolahan dan Analisis data

Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan proses aritmatika dan logis untuk data, yang berfungsi untuk menyelesaikan masalah yang terjadi pada *plant deaerator*.

Pemodelan Matematis Deaerator

Pemodelan matematis *deaerator* dilakukan dengan pendekatan kesetimbangan massa, dengan mengakumulasi selisih laju aliran yang masuk dengan laju aliran yang keluar. Mekanisme massa per satuan waktu dapat dirumuskan jika diketahui laju aliran massa yang terakumulasi [8]:

$$[\text{laju perubahan massa pada deaerator}] = [\text{laju massa input}] - [\text{laju massa output}]$$



Gambar 1. Desain *Deaerator* Tipe *Tray*

Dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho \frac{dV}{dt} = F_i \rho_i + m_s - F_o \rho_o \tag{1}$$

$$\frac{dV}{dt} = F_i + \frac{m_s}{\rho} - F_o \tag{2}$$

Dimana:

ρ = Massa jenis fluida diasumsikan *constant* (kg/m³)

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

m_s = Laju aliran *steam* (kg/s)

V = Volume (m³)

F_o = *Flow* atau laju aliran massa yang keluar (kg/s)

Gambar 1 [15], menunjukkan *deaerator* tipe *tray* yang menjadi model dalam penelitian ini.

Perumusan perubahan volume terhadap ketinggian cairan dapat dituliskan pada persamaan (3).

$$dV=Adh \quad (3)$$

Dimana:

A= Luas Permukaan *fluida* dalam tabung (m^2)

h= Ketinggian cairan (m)

L= Panjang tabung (m)

Diasumsikan massa jenis *deaerator* tetap, maka Persamaan 3 dapat mensubstitusi Persamaan (2), maka menghasilkan Persamaan:

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

Hubungan antara aliran keluaran *deaerator* F_o dengan ketinggian air(h) [16]

$$F_o = \frac{h}{R}, \quad (5)$$

Dengan :

R = Resistan

Dari Persamaan (5) maka Persamaan (4) menjadi:

$$A \frac{dh}{dt} + \frac{h}{R} = F_i + \frac{m_s}{\rho} \quad (7)$$

$$RA \frac{dh}{dt} + h = R F_i + \frac{Rm_s}{\rho} \quad (8)$$

Dengan transformasi Laplace maka didapatkan persamaan

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

Persamaan (9) jika disederhanakan menjadi

$$H(s) = \frac{R}{RAS+1} Fi(s) + \frac{R}{(RAS+1)\rho} m_s(s) \quad (10)$$

luas permukaan *fluida* (A) dari persamaan (10) dapat menggunakan pendekatan model tangki berbentuk tabung, dengan data pada Tabel 1 [15].

$$A = 2(\pi r^2) + 2\pi r t \quad (11)$$

$$A = 2(3,14 \times (1,9m)^2)$$

$$+ 2 \times 3,14 \times 1,9m \times 3,8m = 68,0124 m^2$$

Laju aliran keluar *fluida deaerator* pada Tabel 1 adalah $748,944 m^3/h$, dengan Persamaan (5) dapat diketahui nilai R. Dengan aliran masuk air *deaerator* sama dengan aliran keluaran *deaerator* diasumsikan konstan untuk menjaga *level deaerator*, maka *resistansi* didapatkan sebagai berikut

$$R = \frac{3,8m}{0,20804 m^3/s} = 18,353 s/m^2$$

setelah diketahui *resistansi* dan juga luasan permukaan *fluida* (A) maka dengan Persamaan (10) didapatkan model *transfer function* sebagai berikut:

$$H(s) = \frac{18,353}{1248,231s+1} Fi(s) + \frac{0,018353}{1248,231s+1} m_s(s) \quad (12)$$

Pemodelan Transfer Function Control Valve

Control valve yang berfungsi menjaga laju aliran *fluida* dari *Demineralizer* ke *deaerator* agar sesuai *setpoint*, dimodelkan dengan asumsi *control valve* beroperasi dengan laju aliran sesuai kemampuan dari manufaktur, dan *output* dari level *control valve* adalah *flow rate* air *demineralizer* sama dengan *input deaerator*[17], maka model matematis dari *control valve* adalah sebagai berikut.

$$\frac{MV_{CV}(s)}{U(s)} = \frac{K_{CV}}{\tau_{CV}s+1} \quad (13)$$

$$K_{cv} = \frac{(3-15)psi}{(4-20)mA} \times \frac{(3-15)m^3/s}{(3-15)psi} = 0,00876$$

Nilai *time constant* ditetapkan merujuk pada penelitian [18], dengan dasar kesamaan model aktuator tipe piston diaphragm.

Keterangan:

K_{CV} = Gain total *control valve*

τ_{CV} = Time constant *control valve*
= 1,785 s

MV_{CV} = Laju aliran *feed water* yang termanipulasi (kg/s)

U = Sinyal masukan (mA)

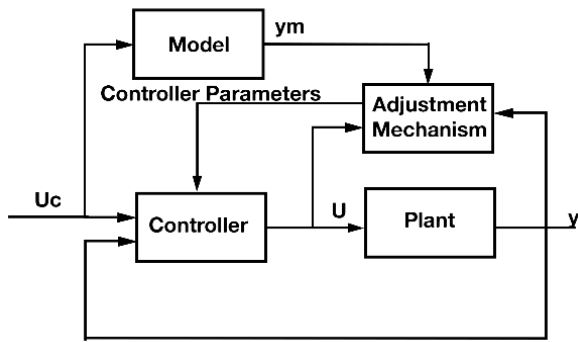
Maka model *transfer function* dari *control valve* seperti pada persamaan (17):

$$\frac{MV_{CV}(s)}{U(s)} = \frac{0,008763}{1,785s+1} \quad (14)$$

Perancangan Kendali MRAC Dan Perancangan Model Referensi

Model referensi yang terlihat pada Gambar 2 [11], sebagai keluaran y_m pada penelitian ini dirancang berdasarkan rumus umum orde 2 seperti pada persamaan (18) [11].

$$y_m(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (15)$$



Gambar 2. Blok diagram MRAC

Nilai frekuensi natural dapat diketahui dengan menggunakan persamaan kriteria 5% yang ditunjukkan pada persamaan (16):

$$5\%ts = \frac{3}{\zeta\omega_n} \tag{16}$$

Koefisien settling time 5% dapat diketahui dengan menggunakan metode interpolasi pada respon sistem *openloop* dengan nilai 24,69345839 ketika sinyal respon telah mencapai *setpoint*, dengan nilai rasio redaman 1, maka persamaan (16) menjadi

$$\omega_n = \frac{3}{1 \times 24,69345839} = 0,121489$$

Keterangan:

ω_n = Frekuensi natural

ζ = rasio redaman

Metode Heuristic

Metode *heuristic* digunakan untuk melakukan pencarian dan penentuan nilai terbaik [19], pada penelitian ini metode algoritma semut digunakan sebagai pencarian nilai Kp, Kd, dan Gain adaptasi [20].

Tabel 1. Data Teknis Deaerator 940 ME-01

Data	Nilai	Satuan
Panjang tangki penyimpanan deaerator 940 ME-01	12,650	meter
Diameter penyimpanan Tangki Deaerator 940 ME-01 (h)	3,8	Meter
Laju aliran masuk total ke deaerator (F_i)	622,26	m^3/h
Laju aliran keluar total deaerator (F_o)	748,944	m^3/h
Steam in to deaerator (m_s)	147,93	m^3/h
Massa jenis fluida (air)	1000	kg/m^3

Tabel 2. Pengujian nilai *Heuristic* tanpa gangguan

gamma	Koefisien			Respon waktu		
	Kp	Kd	Tr(s)	Ts(s)	Ess(m)	
-1	1	1			Osilasi	
-1	1	10			Osilasi	
-1	1	40			Osilasi berkurang	
-5	0,1	40	106,85	761	0,0014	
-10	0,1	40	61,805	445,9	0,00076	
-30	0,1	40	30,9	59	0,00026	
-50	0,1	40	25,49	51,3	0,00016	
-70	0,1	40	23,637	49,65	0,000114	
-70	0,02	40	24,3	52,81	-0,0113	
-50	0,04	50	24	53	0,000029	
-50	0,04	60	24,5	52,3	-0,0355	

Pada Tabel 2 terlihat pada baris ke 8 memiliki nilai terbaik saat tidak terjadi gangguan, namun, metode *heuristic* juga dilakukan pada saat plant diberi gangguan, untuk mendapatkan nilai terbaik disetiap kondisi, pengujian nilai *heuristic* dengan gangguan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian nilai *Heuristic* dengan gangguan 48%

gamma	Koefisien			Respon waktu		
	Kp	Kd	Tr(s)	Ts(s)	Ess(m)	
-1	1	1			Osilasi	
-1	1	10			Osilasi	
-1	1	40			Osilasi berkurang	
-5	0,1	40	106,85	761	0,0014	
-10	0,1	40	61,805	445,9	0,00076	
-30	0,1	40	31,5	27	0,0117	
-50	0,1	40	25,7	14	0,016	
-70	0,1	40	23,637	15	0,00114	
-70	0,02	40	24,3	9,66	-0,00413	
-50	0,04	50	9,0742	15,75	0,000063	
-50	0,04	60	23	14	0,00655	

Dari Tabel 3 dan Tabel 2, dapat dilihat bahwa nilai respon waktu yang dihasilkan saat diberikan gangguan atau tidak, menghasilkan respon yang berbeda. Dari permasalahan yang ada, kendali harus memiliki *rise time* yang cepat dan *error steady state* yang kecil. Nilai gamma -50, Kp 0,04, dan Kd 50 sudah memenuhi kriteria tersebut untuk mencapai kendali yang efektif.

MIT Rule

Perancangan metode *MIT Rule* pada sistem *loop* tertutup Orde 2, dimana θ adalah parameter *control* yang dapat diatur. Respon dari *loop* tertutup ditentukan dengan model yang dikeluarkannya, dinotasikan dengan ym , *output* proses dinotasikan dengan y , dan *error* dinotasikan dengan e . pengaturan parameter dilakukan dengan

meminimalkan fungsi kerugian (*The loss function*, $J(\theta)$)[11]

$$J(\theta) = \frac{1}{2}e^2 \tag{17}$$

Agar J kecil dilakukan perubahan parameter pada *gradient negative* dari J :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma e \frac{de}{d\theta} \tag{18}$$

Persamaan (18) merupakan aturan *MIT Rule*, $\frac{de}{d\theta}$ disebut sebagai turunan kepekaan, dimana sistem dapat dipengaruhi oleh parameter yang dapat diatur [21], dalam pengaturan satu *gain* nilai *error* didefinisikan sebagai berikut :

$$e = y - y_m = kGU - k_oGU_c = KG\theta U_c - K_oGU_c \tag{19}$$

Dengan menurunkan *error* terhadap θ , maka didapatkan.

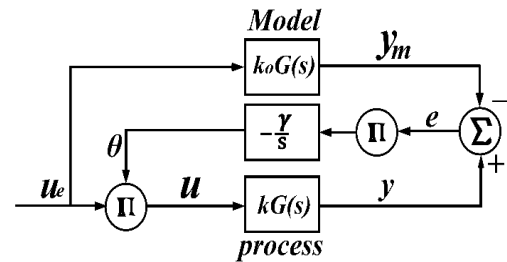
$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = kGU_c = k \frac{y_m}{k_o} = \frac{k}{k_o} y_m \tag{20}$$

Terakhir *MIT Rule* diterapkan untuk *update* parameter θ sebagai berikut.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{k}{k_o} y_m = -\gamma' y_m e \tag{21}$$

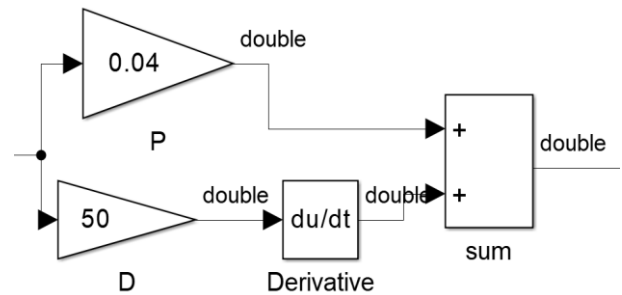
$$\theta = \int (-\gamma' y_m e) dt \tag{24}$$

Dengan $-\gamma'$ adalah $-\gamma \frac{k}{k_o}$, sehingga perancangan sistem akhirnya menjadi seperti pada Gambar 3 [11].



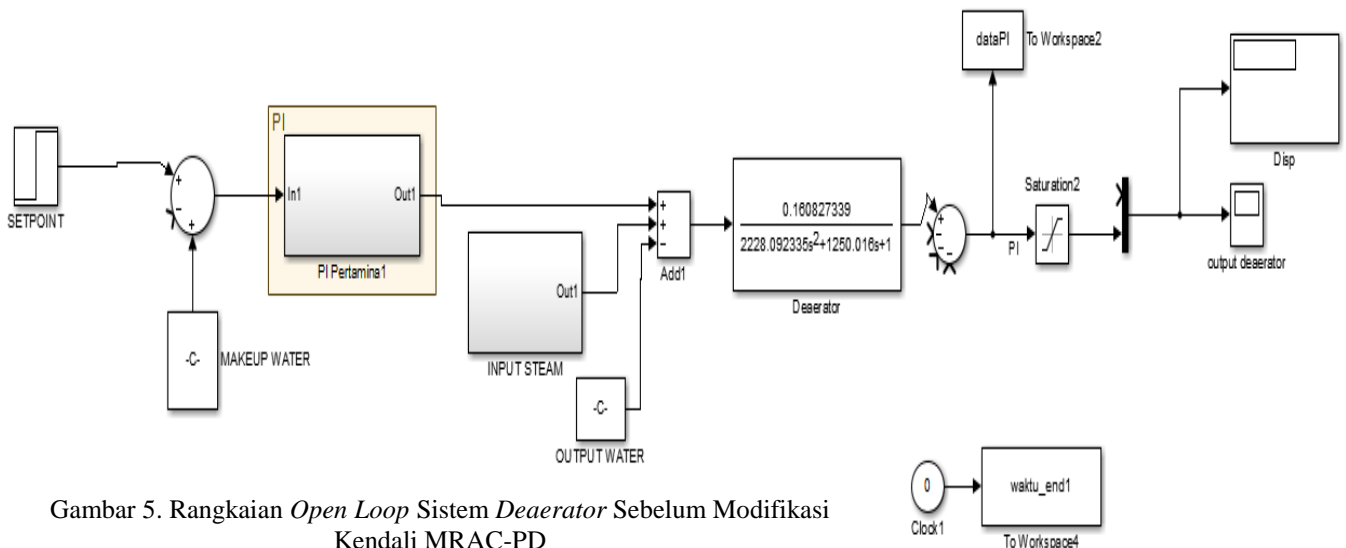
Gambar 3. Skema MRAC Dengan Metode MIT Rule Satu Gain

Perancangan kendali *Proportional-Derivatif* (PD)
Kendali PD pada sistem deaerator diposisikan pada output dari kendali MRAC menggunakan program simulink pada aplikasi MATLAB untuk memperbaiki osilasi yang terjadi pada kendali MRAC.



Gambar 4. Rangkaian Blok Kendali PD

Untuk menentukan nilai yang optimal bagi kendali PD pada metode *heuristic* berdasarkan respon sistem yang mampu menghilangkan osilasi pada kendali MRAC dan mengoptimalkan parameter *rise time*, *settling time*, dan *error* yang lebih baik dibandingkan kendali PI. Hasilnya diperoleh nilai K_p 0,04 dan K_d 50, yang kemudian diinputkan kedalam desain kendali PD pada MATLAB, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



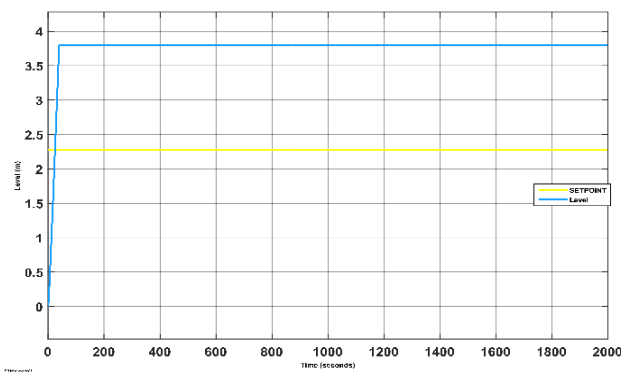
Gambar 5. Rangkaian *Open Loop* Sistem *Deaerator* Sebelum Modifikasi Kendali MRAC-PD

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada penelitian ini mencakup pengujian *open loop* pada rangkaian, proses verifikasi dan validasi rangkaian simulasi pada data riil *plant*, pengujian kendali MRAC-PD tanpa gangguan, pengujian kendali MRAC-PD dengan gangguan variatif, dan juga uji *tracking setpoint*.

Uji Open Loop

Pemodelan *plant deaerator* pada objek penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.

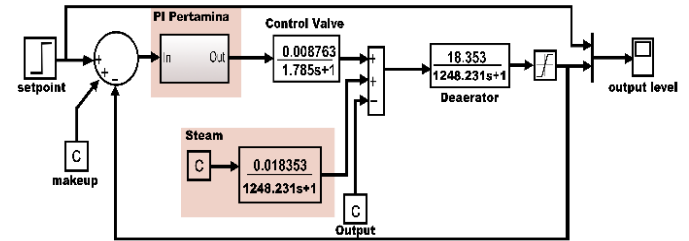


Gambar 6. Respon Sistem Rangkaian *Open Loop*

Gambar 6 menunjukkan grafik respon model *plant* yang diberikan masukan sinyal *step* sebesar 2,28 m atau 60% dari diameter *deaerator* dengan sistem *open loop*. Pada grafik terlihat bahwa setelah diberikan sinyal *step*, nilai terus bertambah hingga mencapai 100%. Hal ini disebabkan tidak adanya umpan balik terhadap sistem, sehingga *level* terus bertambah. desain *plant* sudah sesuai dengan alur

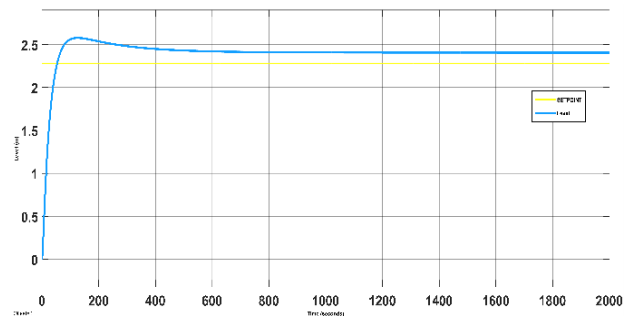
logika dari *plant deaerator* tersebut.

Proses Validasi Rangkaian



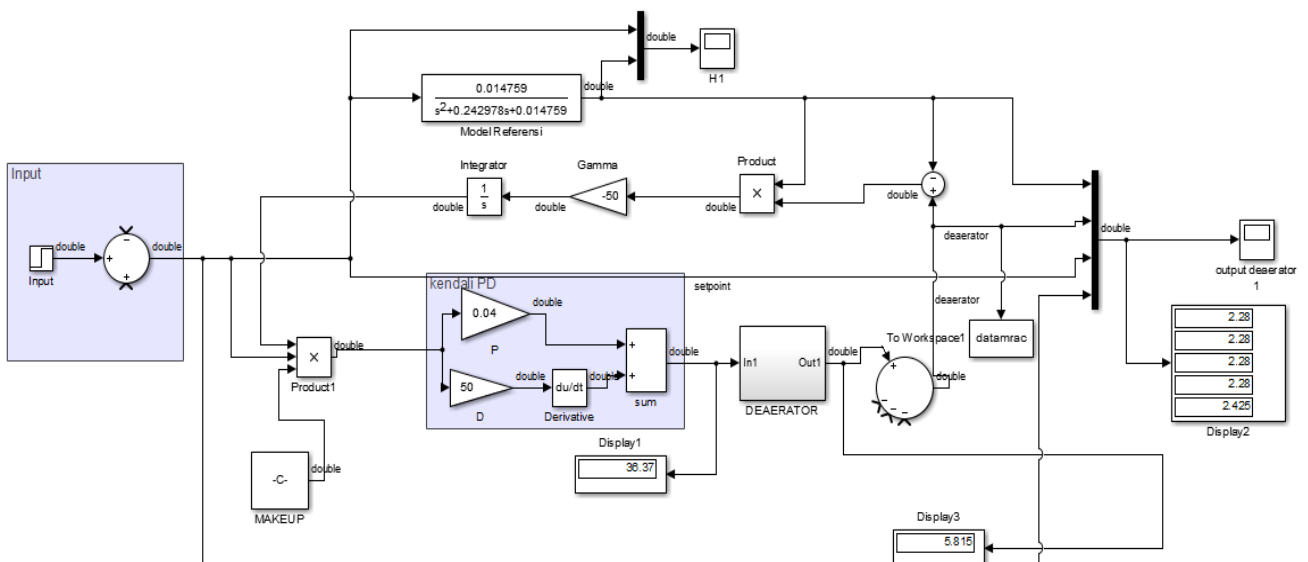
Gambar 7. Rangkaian Sistem *Deaerator* Sebelum menggunakan kendali MRAC-PD

Proses validasi rangkaian bertujuan untuk menguji apakah pemodelan matematis *deaerator* sudah sesuai pada model *plant* sesungguhnya, sebelum dilakukan pemodifikasi kendali pada rangkaian *plant deaerator* seperti Gambar 7.



Gambar 8. Respon Sistem *Deaerator* Sebelum Menggunakan Kendali MRAC-PD

Gambar 8 adalah hasil respon sistem simulasi dengan pemberian nilai *input* sebesar 60% dari diameter tabung *storage* atau 2,28 m. Didapatkan dalam pengukuran, sistem memiliki *overshoot* sebesar 13%, dengan *rise time* 43 detik, *settling*



Gambar 9. Rangkaian Sistem Kendali *Level Deaerator* Menggunakan MRAC-PD

time kriteria error 2% 379,72972 detik, serta *error steadystate* sebesar 0,12596 meter atau sebesar 5,524%.

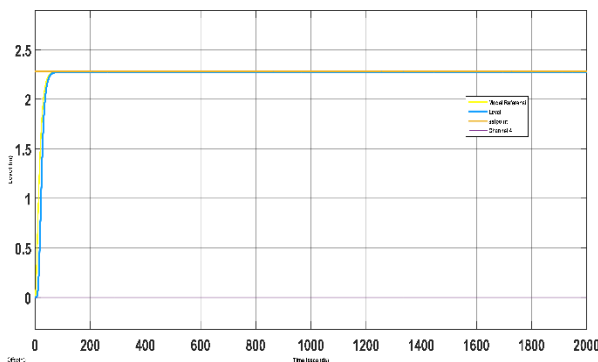
Tabel 4. Data Hasil Uji Validasi *Output Level Riil Plant* Dan Simulasi *Plant*

No	Nilai level riil plant (meter)	Level simulasi plant (meter)	Error (%)
1	2,35714	2,4065	2,094063%
2	2,35182	2,406644	2,331131%
3	2,356	2,404953	2,077801%
4	2,356	2,40686424	2,158924%
5	2,3541	2,407034864	2,248624%
6	2,35524	2,403794713	2,061561%
7	2,36778	2,405418495	1,451091%
AVG	2,35686857	2,405418495	2,059933%

Plant yang dimodelkan dianggap telah dapat mempresentasikan riil *plant deaerator* dikarenakan *error* pada data Tabel 4 kurang dari 10%.

Pengujian Kendali MRAC-PD Tanpa Gangguan

Pada Gambar 9 merupakan blok diagram kendali MRAC-PD, dengan nilai *gain* =50, dan nilai $K_p = 0,04$, $K_d = 50$, dengan *setpoint* 2,28 m.



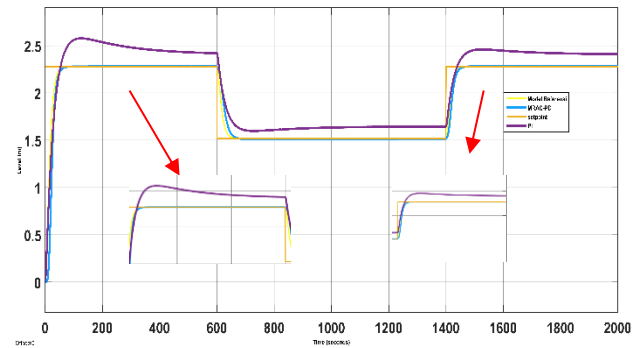
Gambar 10. Respon Sistem *Deaerator* Dengan Kendali MRAC-PD

Gambar 10 yang merupakan sinyal respon keluaran dari rangkaian MRAC-PD, sinyal dapat mencapai dan bertahan pada *setpoint* yang ditentukan, respon sistem menunjukkan *rise time* 24 detik, *settling time* kriteria error 2% dengan waktu 53,1145893 detik, respon sistem memiliki undershoot sebesar 0,0012938%, serta rentang *error* dari *setpoint* sebesar 0,000029428 meter.

Pengujian Sistem dengan Tracking Setpoint

Uji *tracking setpoint* bertujuan untuk mengetahui performansi sistem kendali jika diberikan *setpoint*

yang berubah-ubah. Pada pengujian *tracking setpoint* seperti Gambar 11, didapatkan hasil dari 2 kendali memperlihatkan MRAC-PD dan PI dapat mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan dengan pengurangan sebesar 20% atau 0,76 meter pada detik ke 600, dan dinaikkan kembali pada detik ke 1400.



Gambar 11. Respon Sistem *Tracking Setpoint* Kendali PI dan MRAC-PD

Tabel 5. Karakteristik sinyal respon kendali level daerator

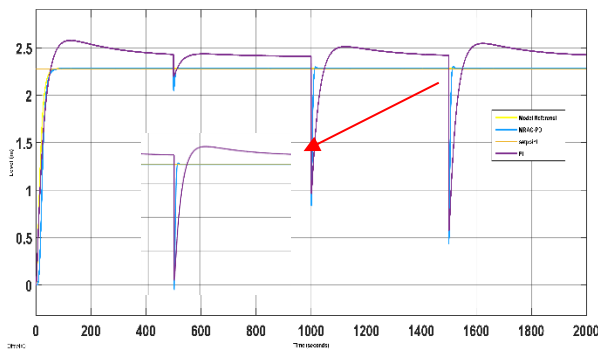
Parameter	MRAC-PD	PI
<i>Level Setpoint</i> turun		
<i>Rise time</i> (detik)	45,5283	52,83723
<i>Error steady state</i> (m)	0,00343496	0,124956
<i>Level Setpoint</i> naik		
<i>Rise time</i> (detik)	37,130426	31,9068
<i>Error steady state</i> (m)	0,000357277	0,13016
<i>Settling time</i>	42,258851	142,913

Tabel 5 menunjukkan hasil perbandingan kendali MRAC-PD dan PI pada *setpoint* turun dan naik. Ketika *setpoint* turun, MRAC-PD lebih baik dari PI dengan perbedaan 7 detik *rise time* dan 0,121522 meter *error steady state*. Ketika *setpoint* naik, MRAC-PD lebih lama dari PI dengan selisih *rise time* 5,23 detik. Namun, MRAC-PD lebih cepat dari PI dalam mencapai keadaan stabil dengan perbedaan 100,663 detik. Dalam sistem *deaerator* waktu *rise time* dan juga *settling time* sangat penting untuk diperhatikan, karena sistem *deaerator* membutuhkan waktu untuk mencapai keadaan stabil yang cepat, maka dari itu kendali MRAC-PD yang dirancang sudah dapat bekerja secara optimal ketika turun dan naiknya *setpoint*.

Pengujian Sistem dengan Gangguan

Gambar 12 menunjukkan pemodelan gangguan yang terjadi seperti pada gangguan riil *plant*,

dengan level turun pada gangguan pertama sebesar 6,1% pada gangguan ke-2 level turun pada sebesar 38,13% dari keadaan tunak, dan gangguan ke-3 level turun 48,8% dari keadaan tunak.



Gambar 12. Respon Sistem Dengan Variasi Gangguan Pada Kendali PI dan MRAC-PD

Dari hasil uji coba dengan gangguan terlihat hasil pada Tabel 6. Menunjukkan kendali MRAC-PD mampu mencapai setpoint kembali lebih baik dibandingkan kendali PI dengan selisih *rise time* 30,9 detik, untuk MRAC-PD menghasilkan *settling time* yang lebih kecil dibandingkan kendali PI dengan selisih 263,779 detik, dengan error MRAC-PD sebesar 0,000635 meter dengan perbedaan 0,145 meter dari kendali PI. Maka dari itu kendali MRAC-PD menghasilkan respon sistem lebih baik dibandingkan kendali PI ketika sistem deaerator mengalami gangguan.

Tabel 6. Karakteristik Sinyal Respon Kendali Level Deaerator dengan gangguan

Parameter	MRAC-PD	PI
<i>Rise time</i> (detik)	9,0742	40
<i>Settling time</i> (detik)	15,75	279,529
<i>Overshoot%</i>	1	11,648
<i>Error steady state</i> (m)	0,000635	0,145144

KESIMPULAN

Desain kendali MRAC-PD telah berhasil dibuat dan bekerja dengan baik dalam mempertahankan *level deaerator*, Kinerja dari kendali MRAC-PD bergantung pada penentuan koefisien gain adaptasi, K_p , dan K_d yang digunakan untuk mempertahankan *level* ketika mengalami gangguan ataupun tidak. Untuk mendapatkan *rise time* yang optimal, dapat menggunakan *gain* adaptasi yang kecil, namun semakin kecil nilai adaptasi maka

error steady state dan *osilasi* semakin besar, maka dari itu penggunaan kendali PD berfungsi sebagai penghilang osilasi dan juga mempercepat *settling time* pada sistem deaerator.

Dengan metode *heuristic* didapatkan *gain* adaptasi - 50, K_p 0,04, dan K_d 50. Tanpa gangguan MRAC-PD mampu bekerja secara optimal untuk *level* mencapai *setpoint* dibandingkan kendali PI dengan hasil *rise time* 24 detik pada MRAC-PD dan 43,76903 detik pada PI, dan kendali MRAC-PD menghasilkan *settling time* sebesar 53,1145893 detik pada kendali PI menghasilkan 379,729 detik, untuk *error steady state* MRAC-PD menghasilkan error yang lebih kecil dibandingkan PI. Dalam kondisi terjadi gangguan turunnya *level* sebesar 48% kendali MRAC-PD mampu mengembalikan nilai *level* kedalam nilai *setpoint* dengan waktu 9,0742 detik, sedangkan kendali PI 40 detik. Sedangkan untuk waktu *settling time* MRAC-PD mendapatkan waktu sebesar 15,75 detik sedangkan PI sebesar 279,529 detik. Penelitian ini masih dapat dikembangkan dengan mengganti metode pencarian koefisien pada kendali PD dengan menggunakan *fuzzy* atau ANFIS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada dosen Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dan terimakasih kepada PT. Pertamina RU II Dumai, yang telah bersedia mendukung terwujudnya penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. D. Pasha And D. K. Puspaningrum, "Simulasi Otomasi Process Shut Down Deaerator Pada Unit Boiler Dengan Parameter Suhu Dan Level Berbasis Plc Allen - Bradley," *Majalah Ilmiah Swara Patra*, Vol. 11, No. 2, Pp. 51–61, Sep. 2021, Doi: 10.37525/Sp/2021-2/295.
- [2] Sumardi, P. Sarah, E. Wista Sinuraya, Y. Christyono, And Aa. Sofwan, "Model Reference Adaptive Control For Deaerator Pressure And Level System," *International Journal Of Recent Engineering Research And Development (Ijrer)*, Vol. 03, No. 03, Pp. 156–165, Mar. 2018,
- [3] R. B. Permana, "Design Of Control Water Level System On Deaerator With Pi Nested

- Cascade At Pt. Petrokimia Gresik.” Skripsi, Universitas Gadjah Mada; 2007
- [4] J. N. Hilga *Et Al.*, “Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Sistem Uap Ekstraksi Pada Deaerator Pltu Tanjung Jati B Unit 2,” *Eksergi Jurnal Teknik Energi*, Vol. 10, No. 3, Pp. 94–98, 2014, Doi: 10.32497/Eksergi.
- [5] Aswarman, R. Nasution, And A. Nurprihastha, *Utilities Production Ru Ii Dumai*. Dumai: Pt Pertamina, 2010.
- [6] R. Arindya, “Penalaan Kendali Pid Untuk Pengendali Proses,” *Seminar Nasional Cendekiawan*, 2015.
- [7] C. N. Hamdani, A. Azizy, R. H. Triyanto, And H. K. Wardana, “Rancang Bangun Prototype Sistem Kontrol Bertingkat Menggunakan Fuzzy-Pid Berbasis Arduino,” *Transmisi*, Vol. 24, No. 3, Pp. 98–105, Aug. 2022, Doi: 10.14710/Transmisi.24.3.98-105.
- [8] Z. Abidin And E. Ihsanto, “Perancangan Kontroler Pid Level Deaerator Dan Kondensor Pada Steam Power Plant Berbasis Algoritma Genetika,” *Jurnal Teknologi Elektro*, Vol. 12, No. 3, P. 153, Oct. 2021, Doi: 10.22441/Jte.2021.V12i3.009.
- [9] N. Pricilya, “Perancangan Sistem Pengendalian Levelberbasis Mrac Pada Deaerator Unit 101-Udi PT. Petrokimia Gresik,” Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [10] I. Nur Wdiyanti, “Perancangan Sistem Pengendalian Levelberbasis Model Reference Adaptive Control(Mrac) Pada Separator Pt.Petrokimia Gresik,” Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [11] J. K. Astrom And B. Wittenmark, *Adaptive Control*, 2nd Ed. New York: Dover Publication, 2008.
- [12] S. Manna And A. K. Akella, “Designing Of An Updated Mrac With Pd Feedback For Marginally Stable Second-Order Process With Dead Time,” In *2020 Ieee 5th International Conference On Computing Communication And Automation, Iccca 2020*, Oct. 2020, Pp. 63–66. Doi: 10.1109/Iccca49541.2020.9250754.
- [13] I. Setiawan, *Kontrol Pid Untuk Proses Industri*. Surabaya: Pt Elex Media Komputindo, 2008. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/277993298>
- [14] D. Zhang And B. Wei, “Convergence Performance Comparisons Of Pid, Mrac, And Pid + Mrac Hybrid Controller,” *Frontiers Of Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 2, Pp. 213–217, Jun. 2016, Doi: 10.1007/S11465-016-0386-X.
- [15] Pertamina, *Deaerator Boiler Hdc*. 2018.
- [16] Katsuhiko. Ogata, *Modern Control Engineering*, 4th Ed., Vol. Fourth Edition. New Jersey: Printice Hall, 2002.
- [17] R. Permanahadi, “Perancangan Switching Control Pada Pompa Di Simulator Sistem Pengendalian Level Dan Temperatur,” Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.
- [18] R. Armando Haryanto Jurusan Teknologi Industri Dan Proses, “Perancangan Sistem Kendali Level Air Pada Deaerator Menggunakan Kendali Pid Studi Kasus Pltu 2x110 Mw Teluk Balikpapan,” *Simetris*, Apr. 2020.
- [19] Alamsyah, “Pemanfaatan Metode Heuristik Dalam Pencarian Minimum Spanning Tree Dengan Algoritma Semut,” *Mektek*, Palu, Sep. 2010.
- [20] M. Dorigo, V. Maniezzo, And A. Coloni, “Ant System: Optimization By A Colony Of Cooperating Agents,” *Ieee*, Vol. 26, No. 1, Feb. 1996, Doi: 10.1109/3477.484436.
- [21] Y. D. Mfoumboulou, “Design Of A Model Reference Adaptive Pid Control Algorithm For A Tank System,” *International Journal Of Electrical And Computer Engineering*, Vol. 11, No. 1, Pp. 300–318, Feb. 2021, Doi: 10.11591/Ijece.V11i1.Pp300-318.