

# Pengendalian Tekanan Pada Modul Training Pressure Process Rig 38-714 Menggunakan Pengendali MRAC Kombinasi PID

Ahmad Faizal<sup>1</sup>, Nafisah Gemeli<sup>2</sup>, Dian Mursyitah<sup>3</sup>, Ewi Ismaredah<sup>4</sup>, Muhammad Sadli<sup>5</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN SUSKA RIAU<sup>1,2,3,4</sup>

Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe<sup>5</sup>

Jl. HR. Soebrantas Km. 155 Pekanbaru - Riau

e-mail: ahmad.faizal@uin-suska.ac.id; nafisah.gemeli@uin-suska.ac.id; dmursyitah@uin-suska.ac.id<sup>1</sup>;  
ewi.ismaredah@uin-suska.ac.id; msadli@unimal.ac.id

## Abstrak

*Dalam Implementasi Modul training pressure process rig 38-714 terdapat kendala yaitu efek perubahan beban, performansi alat dan rusaknya komponen-komponen penyusun modul training saat terjadi tekanan berlebih. Pada proses simulasi respon output yang diharapkan adalah mampu mencapai set point dan stabil dengan cepat serta memiliki error steady state yang kecil dan tidak memiliki overshoot. Respon sistem saat disimulasikan secara open loop tidak mampu mengikuti set point. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka digunakan pengendali MRAC, dimana MRAC merupakan kendali adaptif yang mampu menghasilkan respon yang dapat mengikuti model referensinya. Model referensi merupakan model acuan yang karakteristiknya akan diikuti oleh respon plant. Respon yang diinginkan digambarkan dalam model referensi. Namun, respon yang dihasilkan dengan menggunakan pengendali MRAC masih menghasilkan osilasi pada responnya, sehingga dibutuhkan pengendali PID untuk meredam osilasi tersebut. Hasil simulasi dan analisa menggunakan pengendali MRAC dengan kombinasi PID, respon yang dihasilkan mampu mengikuti model referensi dengan nilai settling time 0.59 detik, rise time 0.36 detik dan error steady state 0. Pada saat diberikan gangguan mampu stabil dengan cepat pada 4.28 detik.*

**Kata Kunci** : Modul training pressure process rig 38-714, MRAC MIT Rule, PID

## Abstract

*In the implementation of the training pressure process rig module 38-714 there is a need for the load, tool performance and damage to the components of the training module when it is in excess. In the simulation process the expected response is capable of reaching a set point and stabilizing quickly and having a small steady state error and no overshoot. The response system is currently open loop does not match the set point. To overcome these problems, the MRAC controller is used, where MRAC is an adaptive control that is able to produce a response that can follow the reference model. The reference model is a reference model whose characteristics will be followed by the plant response. The desired response is described in the reference model. However, the response generated using the MRAC controller still produces an oscillation in the response, so a PID controller is needed to reduce the oscillation. Simulation and analysis results using MRAC controllers with a combination of PID, the resulting response is able to follow the reference model with a settling time value of 0.59 seconds, rise time 0.36 seconds and steady state error 0. When given a disturbance it can stabilize quickly at 4.28 seconds.*

**Keywords:** Training pressure process rig module 38-714, MRAC MIT Rule, PID

## 1. Pendahuluan

Industri merupakan kegiatan memproses atau mengolah barang dengan menggunakan sarana dan peralatan misalnya mesin[1]. Produk yang dihasilkan dalam suatu industri tergantung kepada proses yang berlangsung didalamnya, sehingga untuk menghasilkan suatu produk sesuai dengan keinginan maka proses harus dijaga. Menjaga kondisi suatu proses berhubungan dengan pengendalian yang ada dalamnya. Pengendalian proses di industri sangat erat hubungannya dengan sistem kendali

Sistem kendali merupakan sekumpulan alat yang dapat mengendalikan, memerintah dan mengatur keadaan suatu sistem. Sistem kendali dapat melakukan proses pengukuran dari suatu sistem. Pengukuran pada suatu sistem bertujuan untuk memperoleh variabel yang akan dikendalikan. Setelah mengetahui variabel yang dikendalikan maka dapat diketahui perilaku variabel tersebut dan pengaruhnya pada sistem[2]. Banyak variabel yang dapat dikendalikan salah satunya yaitu tekanan

Sistem dengan variabel kendali tekanan banyak diaplikasikan di berbagai macam alat di industri, contohnya modul *training Pressure Process Rig 38-714*. Modul *training pressure process rig 38-714* merupakan suatu alat produksi PROCON yang dapat memaparkan hal-hal yang ada dalam proses pengendalian, serta dapat dimanfaatkan untuk meneliti pengendalian proses[3]. Penggunaan modul *training pressure process rig 38-714* bertujuan agar pekerja tidak perlu turun langsung ke lapangan untuk lakukan pengontrolan.

Modul *training pressure process rig 38-714* didalamnya terdapat sistem kendali pneumatik banyak digunakan di dunia industri, hal ini dikarenakan sistem kendali pneumatik tahan terhadap ledakan, sederhana, ketersediaan yang tidak terbatas dan fleksibel terhadap suhu. Namun, dalam implementasinya terdapat kendala yaitu efek perubahan beban, performansi alat dan rusaknya komponen-komponen penyusun modul *training* saat terjadi tekanan berlebih [3][4]

Pada proses simulasi respon output yang diharapkan adalah mampu mencapai *set point* dan stabil dalam waktu yang cepat serta memiliki *error steady state* yang kecil dan tidak memiliki *overshoot* dan osilasi. *Overeshoot* dan osilasi yang dapat menyebabkan kerusakan komponen-komponen penyusun dari modul *training pressure process rig 38-714*. Pada modul *training pressure process rig 38-714* respon *plant* mengalami keterlambatan dengan waktu *dead time* 0.076 detik yang didapatkan dari proses penurunan matematis dengan menggunakan metode *process reaction curve*. *Dead time* adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mulai merespon diukur terhadap input yang diberikan.

Terdapat empat penelitian terkait yang membahas tentang *pressure process rig 38-714*. Pertama menggunakan PID dengan metode Ciancone, pada penelitian ini dimodelkan *plant* modul *training pressure process rig 38-714* menggunakan identifikasi grafik dengan pendekatan orde satu menggunakan metode *process reaction curve*. Secara *open loop* sistem belum mampu mengikuti *set point* maka digunakan pengendali PID metode Ciancone menghasilkan respon transien dengan nilai *settling time* yaitu 3.5148 detik dan *rise time* 0.5458 detik dalam waktu simulasi selama 10 detik [3]. Kedua menggunakan pengendali PI, pada penelitian ini pemodelan sistem dilakukan dengan identifikasi grafik *output* dari sistem dengan menggunakan pendekatan orde satu. menghasilkan respon transien dengan nilai *peak time* = 1.8 detik, *rise time* = 0.45 dan dapat mengikuti perubahan *set point* secara acak namun masih menghasilkan osilasi saat diberikan gangguan, hal ini menandakan bahwa sistem tidak kokoh terhadap gangguan[5]. Ketiga menggunakan pengendali *fuzzy* – PID dimana pengendalian *plant* berhubungan dengan perubahan beban tertentu, *noise* dan respon sistem yang lambat. Pada penelitian ini menghasilkan nilai *settling time* 12.1 detik dan nilai *error steady state* sebesar 0.4 %[6]. Keempat penelitian *pressure process rig 38-714* menggunakan pengendali kaskade. Respon sistem dengan menggunakan pengendali kaskade menghasilkan nilai *settling time* 90 detik, *rise time* 6.3 detik, *time peak* 12.5 detik dan *maximum overshoot* 2.8 % [7].

Dari empat penelitian terkait yang membahas tentang modul *training pressure process rig 38-714* masih menunjukkan kelemahan yaitu menghasilkan respon yang masih lambat, namun hal ini masih dapat ditingkatkan lagi. Oleh, karena itu dibutuhkan suatu pengendali untuk mempercepat respon sistem yaitu *Model Reference Adaptive Control* hal ini dikarenakan MRAC merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performansi keluaran sistem yang dapat mengikuti performansi keluaran model referensinya. Dalam MRAC, perilaku *plant* yang diinginkan dijelaskan oleh model referensinya. Model referensi merupakan model acuan yang karakteristiknya akan diikuti oleh respon *plant*. Pada MRAC terdapat mekanisme kendali adaptif yang bertujuan untuk mengendalikan keluaran dari *plant* sama dengan model referensinya [8][9].

## 2. Metode Penelitian

Alur penelitian dimulai dengan studi literature, pengumpulan data pra-disain, penentuan variabel berupa bentuk fungsi alih dari sistem *Pressure Process Rig 38-714*, validasi model matematis, merancang pengendali MRAC, mengkombinasikan pengendali MRAC dengan

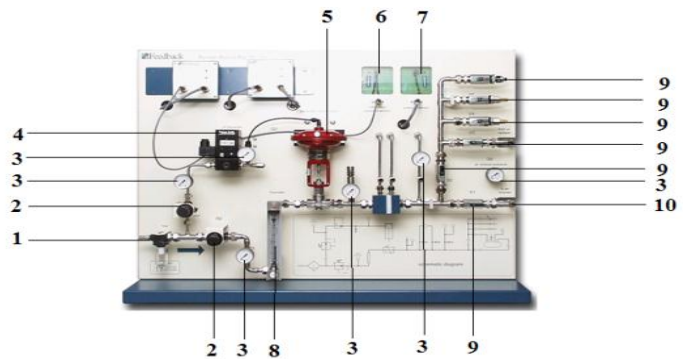
kombinasi PID, menganalisa dari hasil rancangan pengendali dan terakhir adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil penelitian.

### 2.1. Pressure Process Rig 38 714

*Pressure Process Rig 38-714* adalah peralatan produksi PROCON yang digunakan untuk mengenalkan dan mendemonstrasikan prinsip-prinsip proses pengukuran serta pengendalian[3]. Secara umum *Pressure Process Rig 38-714* terdiri atas jalur-jalur pipa yang terhubung pada *Pneumatic Control Valve, Orifice Block, Flowmeter, pressure tapping, regulator, indikator tekanan, dan valve*. Regulator R1 digunakan untuk mengendalikan tekanan yang diukur oleh G1. Regulator R2 digunakan untuk mengatur tekanan yang diukur oleh G3 atau G4 atau G5. Sementara indikator tekanan G6 digunakan untuk menunjukkan tekanan pada air receiver. [10]

Alat ini terdiri dari: [10]

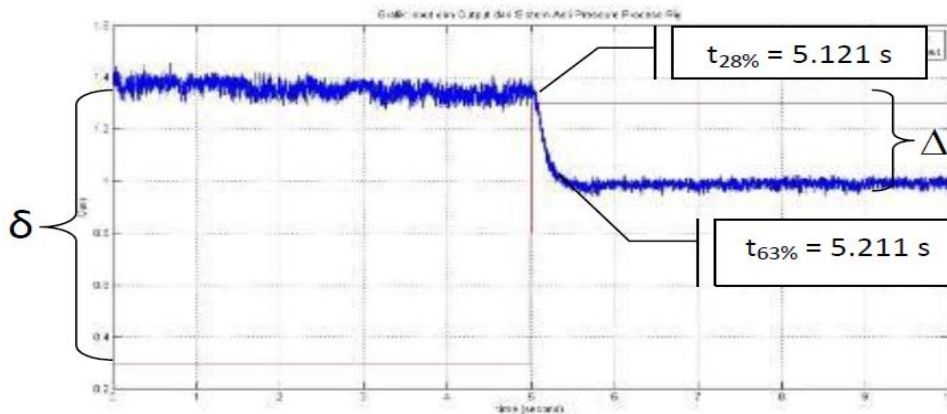
1. Filter
2. Regulator Tekanan
3. Pengukur Tekanan ( Gauge )
4. I/P Converter
5. *Pneumatic Control Valve*
6. Sensor Perbedaan Tekanan
7. Sebuah Sensor tekanan
8. *Flow Meter*
9. *Valve*
10. *Air Receiver*



Gambar 1. *Pressure Process Rig 38-714* [10]

### 2.2. Pemodelan Modul Training Pressure Process Rig 38-714

Untuk memperoleh pemodelan matematis sistem digunakan metode *Process Reaction Curve (PRC)* yang merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu sistem dengan menggunakan grafik Respon sistem tersebut [11]. PRC yang digunakan pada penelitian ini berupa PRC pada orde satu. Pengambilan data *Pressure Process Rig* dilakukan dengan memberikan *input step* dengan *initial value* sebesar 0.3 dan *final value* sebesar 1.3 dengan perubahan step dilakukan pada detik ke-5. Sehingga di dapatkan grafik respon sebagai berikut.



Gambar 2 Permodelan sistem *Pressure Process Rig* dengan *Process Reaction Curve* [3]

Dengan gambar 2.6 disubstitusikan persamaan *Process Reaction Curve* untuk mendapatkan nilai *transfer function* untuk sistem *Pressure Process Rig*

$$\begin{aligned} \Delta &= \text{Final Value} - \text{Initial Value} \\ &= 1 - 1.351 \\ &= -0.351 \end{aligned}$$

$$\text{Value}_{63\%} = \text{Intial Value} + (\Delta \times 63\%)$$

$$\begin{aligned} &= 1.351 + (-0.351 \times 63\%) \\ &= 1.351 + (-0.22) \\ &= 1.129 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Value}_{28\%} &= \text{Intial Value} + (\Delta \times 28\%) \\ &= 1.351 + (-0.351 \times 28\%) \\ &= 1.351 + (-0.098) \\ &= 1.252 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= 1.5 (t_{63\%} - t_{28\%}) \\ &= 1.5 (0.211 - 0.121) \\ &= 1.5 (0.09) \\ &= 0.135 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= t_{63\%} - \tau \\ &= 0.211 - 0.135 \\ &= 0.076 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{\Delta}{\delta} \\ &= \frac{-0.351}{1.3-0.3} \\ &= \frac{-0.351}{1} \\ &= -0.351 \end{aligned}$$

Pemodelan sistem *pressure procees rig* 38-714 :

$$G(s) = \frac{K_p}{\tau s + 1} e^{-\theta s}$$

Variabel-variabel yang didapatkan disubstitusikan pada persamaan 2.7 sehingga menghasilkan :

$$G(s) = \frac{-0.351}{0.135s + 1} e^{-0.076s}$$

### 2.3. Perancangan Pengendali

Model referensi dalam sistem mewakili yang diinginkan kinerja yang perlu disadari oleh pengendali. Model referensi yang digunakan mengikuti persamaan

$$G_m(s) = \frac{K}{\tau_s + 1}$$

Dengan nilai  $K = 1$  dan nilai  $\tau = 0.351$  sehingga model referensi *plant* menjadi :

$$G_m(s) = \frac{1}{0.135s + 1}$$

Selanjutnya adalah merancang pengendali MRAC dengan satu gama pada *pressure process rig* 38-714. Adapun penjabarannya sebagai berikut:

$$u = \theta u_c$$

$$y_m = \frac{K}{\tau_s + 1} u_c = \frac{1}{0.135s + 1} u_c = \frac{u_c}{0.135s + 1}$$

$$y = \frac{-0.351}{0.135s + 1} u = \frac{-0.351u}{0.135s + 1} = \frac{-0.351\theta u_c}{0.135s + 1}$$

Selanjutnya, Pencocokan fungsi transfer bertujuan agar *plant* berperilaku seperti model referensi untuk setiap sinyal input

$$\begin{aligned}
 y_m &= y \\
 \frac{u_c}{0.135s+1} &= \frac{-0.351\theta u_c}{0.135s+1} \\
 u_c(0.135s+1) &= -0.351\theta u_c(0.135s+1) \\
 0.135u_c s + u_c &= -0.047\theta u_c s - 0.351\theta u_c \\
 u_c(0.135s+1) &= u_c(-0.047\theta s - 0.351\theta) \\
 0.135s+1 &= -0.047\theta s - 0.351\theta \\
 0.135s+1 &= \theta(-0.047s - 0.351) \\
 \theta &= \frac{0.135s+1}{-0.047s - 0.351}
 \end{aligned}$$

Nilai *error* didefinisikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 e &= y_m - y \\
 &= \frac{u_c}{0.135s+1} - \left( \frac{-0.351\theta u_c}{0.135s+1} \right)
 \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah menerapkan MIT *Rule*, aturan *update* parameter untuk masing-masing  $\theta$  diturunkan. Sehingga untuk *filter* nilai *error* dan  $\gamma$  menjadi

$$\frac{de}{d\theta} = \frac{-0.351u_c}{0.135s+1}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\delta j}{\delta e} \cdot \frac{\delta e}{\delta \theta}$$

$$0.135s \theta(1) = -\gamma \cdot e \cdot \frac{-0.351u_c}{0.135s+1}$$

$$\theta = -\frac{\gamma}{0.135s} \cdot e \cdot \frac{-0.351u_c}{0.135s+1}$$

#### 2.4. PID Metode Heuristik

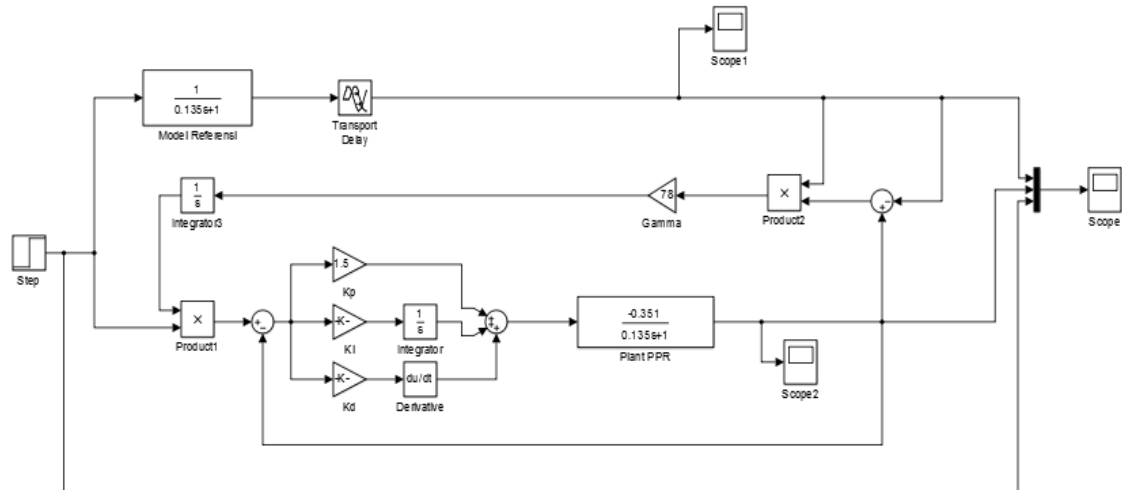
Sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba. Heuristik adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode Heuristic ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan. Untuk perancangan sistem pengendalian PID dilakukan pencarian nilai besarnya  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ . Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dengan penalaan (Heuristic Method) dimana penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P kemudian baru ditambahkan pengendali I dan terakhir ditambahkan dengan pengendali D. Pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh.[2]

Tabel 1 Tabel Penalaan Parameter PID dengan Metode Heuristik

Set Point	Uji Metode Heuristik			Settling Time ( detik )	Rise Time ( detik )	Error Steady State
	Kp	Ki	Kd			
1.3	0.1	-	-	0.79	0.55	0
	0.5	-	-	1.23	0.23	0
	1	-	-	1.27	0.17	0.0021
	1.5	-	-	1.85	0.15	0.0008
	2	-	-	2.62	0.14	-0.0034
	0.01	0.00001	-	8.10	6.00	-0.0084
	0.05	0.0001	-	1.42	1.02	0.0011
	0.1	0.001	-	0.78	0.55	0.0026
	0.15	0.01	-	0.63	0.42	0.0066
	0.2	0.1	-	0.53	0.52	0.0004
	0.1	-	0.01	1.05	0.73	0

	0.2	-	0.03	0.85	0.55	0
	0.3	-	0.05	0.78	0.49	0
	0.4	-	0.07	0.74	0.46	0.0006
	0.5	-	0.09	0.71	0.44	-0.0003
	0.7	0.009	0.01	0.72	0.21	0.0004
	0.9	0.01	0.04	0.61	0.27	-0.0004
	1.1	0.03	0.07	0.60	0.36	0.0009
	1.3	0.05	0.09	0.59	0.36	0.0005
	1.5	0.04	0.09	0.59	0.36	0

Berikut blok diagram Simulink MRAC kombina PID Metode Heuristik

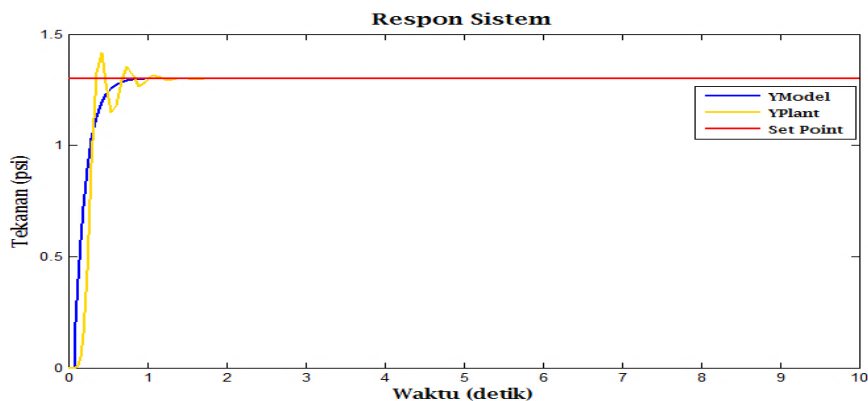


Gambar 3. Blok Diagram Pengendali MRAC dengan Kombinasi Pengendali PID

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1. Hasil Simulasi Menggunakan Pengendali MRAC

Pada pengendali MRAC dibutuhkan *gain* adaptasi atau *gamma* yang didapatkan secara *train and error*. Pada perancangan pengendali MRAC untuk mengendalikan tekanan pada modul *training pressure process rig 38-714* menggunakan nilai *gamma* 78 didapatkan respon sebagai berikut

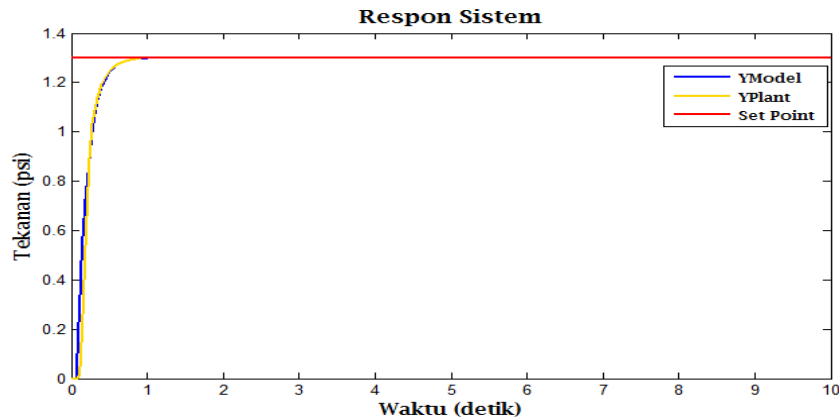


Gambar 4. Respon Sistem Menggunakan Pengendali MRAC tanpa diberikan gangguan

#### 3.2. Hasil Simulasi Menggunakan Pengendali MRAC dengan Kombinasi PID

Setelah dilakukan perancangan pengendali MRAC untuk mengendalikan tekanan pada modul *training pressure process rig 38-714*, selanjutnya dilakukan perbaikan respon sistem dengan mengkombinasikan pengendali MRAC dengan pengendali PID. Parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang dibutuhkan di PID didapatkan dengan menggunakan metode Heuristik dengan

parameter  $K_p = 1.5$ ,  $K_i = 0.04$  dan  $K_d = 0.09$ . Berikut hasil simulasi sistem dengan menggunakan pengendali PID



Gambar 5. Respon Sistem dengan Menggunakan Pengendali MRAC - PID

### 3.3. Analisa Respon Menggunakan Pengendali MRAC dan MRAC dengan Kombinasi PID

Setelah dilakukan simulasi dan analisa respon sistem maka didapatkan perbandingan anatar pengendali MRAC dan pengendali MRAC dengan kombinasi PID. Berikut perbandingan respon sistem yang dihasilkan

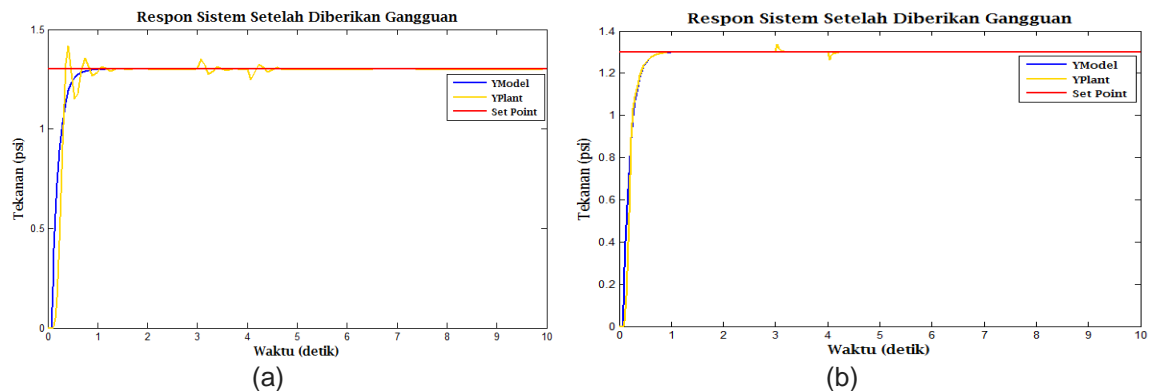
Tabel 2. Analisa Respon Menggunakan Pengendali MRAC dan MRAC dengan Kombinasi PID

Analisa Respon	Hasil Pengendali MRAC	Hasil Pengendali MRAC dengan Kombinasi PID
Konstanta Waktu	0.27 detik	0.22 detik
Waktu Tunak / <i>Settling Time</i>	0.34 detik	0.59 detik
Waktu Naik / <i>Rise Time</i>	0.19 detik	0.36 detik
Waktu Tunda / <i>Delay Time</i>	0.25 detik	0.20 detik
<i>Error Steady State</i>	0.0005	0

Dari tabel perbandingan diatas dapat dilihat bahwa dengan kombinasi pengendali MRAC dan PID mampu memperbaiki respon sistem yang dihasilkan pengendali MRAC. Dimana dengan menggunakan pengendali MRAC menghasilkan osilasi sedangkan dengan menggunakan pengendali MRAC kombinasi PID mampu menghilangkan osilasi. Pengendali MRAC menghasilkan nilai *error steady state* sebesar 0.0005 dengan menggunakan pengendali MRAC kombinasi PID mampu menghilangkan *error steady state*.

### 3.4. Respon Pengendali MRAC dan MRAC Kombinasi PID Saat Diberikan Gangguan

Berikut respon hasil simulasi untuk MRAC dan MRAC d kombinasi PID saat diberikan gangguan



Gambar 6. (a) Respon MRAC dengan Gangguan (b) Respon MRAC Kombinasi PID dengan Gangguan

Dilihat dari gambar diatas grafik respon pengendali MRAC saat diberi gangguan pada detik ke 3 dan detik ke 4 saat diberikan gangguan sebesar 50% terjadi titik puncak gangguan pada detik 3.07 dengan tekanan sebesar 1.3533 psi. Respon memasuki waktu stabil mencapai *set point* terjadi pada waktu 4.318 detik dengan *Ess* sebesar -0.0001. Sedangkan dengan menggunakan pengendali MRAC kombinasi PID titik puncak gangguan pada detik 3.03 dengan tekanan sebesar 1.3363 psi. Respon memasuki waktu stabil mencapai *set point* terjadi pada waktu 4.28 detik dengan *Ess* sebesar -0.0002.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa pengendali MRAC untuk mengendalikan tekanan pada modul *training pressure process rig 38-714* dengan nilai  $\gamma$  sebesar 78 mampu menghasilkan respon yang cepat namun respon yang dihasilkan mengalami osilasi dan memiliki *error steady state* sebesar 0.0005. Setelah dilakukan kombinasi pengendali MRAC dengan PID dengan parameter  $K_p$  pada nilai 1.5,  $K_i$  pada nilai 0.04, dan  $K_d$  pada nilai 0.09 mampu menghilangkan osilasi yang terjadi pada pengendali MRAC sebelumnya dan mampu menghilang *error steady state*. Namun, *settling time* dan *rise time* yang dihasilkan lebih lambat dari pada menggunakan pengendali MRAC. Pada saat diberikan gangguan respon sistem menggunakan pengendali MRAC dengan kombinasi PID lebih cepat mencapai *set point* dari pada yang hanya menggunakan pengendali MRAC

#### Daftar Pustaka

- [1] Departemen Pendidikan Indonesia. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta : Balai Pustaka, 2014
- [2] Katsuhiko, Ogata. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. Prentice Hall. New Jersey.2010
- [3] Kholis,Ikhwannul. *Pemodelan Sistem Pengendali PID dengan Metode Ciancone Berbasis MATLAB Simulink Pada Sistem Pressure Process Rig 38-714*. Universitas Mpu Tantular. 2017
- [4] Astrowulan, Katjuk. Ali Fatoni. Risfandra. *Desain Kontroler Robust Pada Pressure Control Trainer Feedback 38-714*.Seminar on Intellignt and Its Applications. 2009
- [5] Utomo, Satryo Bud., *Identifikasi dan Desain Controller Pada Trainer Feedback Process Rig 38-714*. Universitas Jember. 2012
- [6] Wijaya,Teddy Ade. *Pengendalian Tekanan Pada Pressure Process Rig 38-714 Melalui Modbus Menggunakan Kontroller Fuzzy – PID*. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya, 2011
- [7] Risfendra, Sukardi. *Pemodelan dan Desain Kontroler Kaskade Pada Sistem Pressure Process Trainer Feedback 38-714*. INVOTEK. 2008
- [8] K. J. Astrom and B. Wittenmark. *Adaptive control*, 2nd ed. Dover Publications, New York. 1995
- [9] Ioannou. Petros and Fidan. Baris. *Adaptive Control Tutorial*. Siam. 2006
- [10] Iyung. *Perancangan dan Aplikasi Algoritma Adaptif Level Supervisi pada Pengendalian Pressure Process Rig Feedback 38-714 Untuk Mengatasi Fenomena Bursting pada Set Point Kurang Tereksitas*. Universitas Indonesia. 2008.
- [11] Shinsky. F.G. *Process-Control Systems, Application, Design, and Tuning, fourth ed*. New York: McGraw-Hill. 1996.