

**ANALISA PENGARUH PID PADA PENGENDALI MRAC DENGAN
PENAMBAHAN NILAI GAMMA PADA SISTEM PENDINGIN
JAMUR MERANG UNTUK MENGENDALIKAN
TEMPERATUR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

YANDA PRAMANA YUDA
11555100326



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2019

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Diinangungi Ungaang-Ungaang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PENGARUH PID PADA PENGENDALI MRAC DENGAN
PENAMBAHAN NILAI GAMMA PADA SISTEM PENDINGIN
JAMUR MERANG UNTUK MENGENDALIKAN
TEMPERATUR**

TUGAS AKHIR

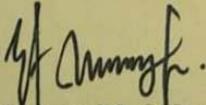
Oleh:

YANDA PRAMANA YUDA

11555100326

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 31 Oktober 2019

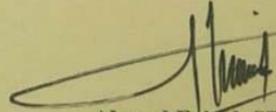
Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.

NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing



Ahmad Faizal, ST., MT.

NIP. 19870906 201503 2006



Hak Cipta Diinangungi Unang-Unang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH PID PADA PENGENDALI MRAC DENGAN PENAMBAHAN NILAI GAMMA PADA SISTEM PENDINGIN JAMUR MERANG UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR

TUGAS AKHIR

Oleh:

YANDA PRAMANA YUDA

11555100326

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 31 Oktober 2019

Pekanbaru, 31 Oktober 2019

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.

NIP. 19750922 200912 2 002



DEWAN PENGUJI :

Ketua : Dr.Teddy Purnamirza, ST. M.Eng

Sekretaris : Ahmad Faizal, ST., MT.

Anggota I : Aulia Ullah, ST., M.Eng.

Anggota II : Halim Mudia, ST., MT.

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 31 oktober 2019

Yang membuat pernyataan,

YANDA PRAMANA YUDA

NIM. 11555100326

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

PERSEMBAHAN

Teruntuk Kedua Orang Tua Tercinta

Bapak Yurnalis dan Ibu Almaida

*Kupersembahkan karya kecilku ini
sebagai bentuk rasa tanggung jawabku dan
pengukir senyuman kecil serta rasa bangga keluargaku.*

Sebuah langkah kecil namun pasti ku hadapi

walaupun dengan sebuah awal keraguan. Berkat do'a kalian aku ada disini.

*Keras ku jalani, berat ku nikmati dan pedih ku syukuri. Maafkan jika
anak kecilmu ini belum mampu*

membahagiakan kalian.

Serta

Almamater tercinta

Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Dan Dosen-Dosen yang selalu menyemangati

31 Oktober 2019

Pekanbaru

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ANALISA PENGARUH PID PADA PENGENDALI MRAC DENGAN PENAMBAHAN NILAI GAMMA PADA SISTEM PENDINGIN JAMUR MERANG UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR

YANDA PRAMANA YUDA

NIM : 11555100326

Tanggal sidang : 31 Oktober 2019

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Jamur merang memiliki umur simpan yang pendek. Jamur merang dapat diawetkan pada ruang penyimpanan dengan suhu 5°C. untuk menjaga suhu diperlukan pengendali. Dalam penelitian ini mengusulkan menggunakan pengandali MRAC sebab memiliki sifat dimana keluaran sistem mampu mengikuti model referensinya. Dalam pengendalian MRAC penambahan nilai gamma dapat dilakukan apabila masih dalam standar MIT Rule. Apabila penambahan nilai gamma mempengaruhi respon sistem, maka dengan penambahan kendali PID akan lebih mempengaruhi respon sistem. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan MRAC pada sistem pendingin jamur merang dengan penambahan satu, dua dan tiga gamma masih mengalami *error steady state*. Metode yang digunakan pada kendali MRAC adalah MIT Rule dan pada PID adalah Heuristik. Berdasarkan hasil pengujian MRAC tiga gamma mampu menghasilkan respon yang dengan nilai *settling time* 1.560 detik dan *rise time* 869 detik namun masih menghasilkan osilasi dan memiliki *error steady state* sebesar 0,003°C. Setelah dilakukan kombinasi pengendali MRAC dengan PID dengan parameter K_p pada nilai 1,5, K_i pada nilai 0,1, dan K_d pada nilai 4 menghasilkan nilai *settling time* 1.593 detik dan *rise time* 884 detik dan *error steady state* sebesar 0 °C. Maka pengaruh penambahan PID yaitu dapat meredam *error steady state* yang terjadi sebelumnya.

Kata Kunci : Gamma, Jamur Merang, *MIT Rule*, MRAC, PID.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**ANALYSIS OF THE PID EFFECT ON THE MRAC CONTROL USING
THE GAMMA VALUE IN THE COOLING SYSTEM MERANG
MUSHROOM TO CONTROL
THE TEMPERATURE**

YANDA PRAMANA YUDA

NIM : 11555100326

Date of trial: 31 Oktober 2019

*Electrical Engineering Study Program
Faculty of Science and Technology
Sultan Syarif Kasim Riau Islamic University
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru*

ABSTRACT

Mushroom has a short shelf life. Mushroom can be preserved in a storage room with a temperature of 5°C. to maintain the temperature needed a controller. In this study, proposing to use the MRAC controller because it has the nature where the system output is able to follow the reference model. In controlling MRAC, adding gamma values can be done if it is still in the MIT Rule standard. If the addition of gamma values affects the system response, then the addition of PID control will further affect the system response. Based on the simulation results using MRAC on the mushroom cooling system with the addition of one, two and three gamma still experiencing steady state error. The method used in MRAC control is MIT Rule and in PID is Heuristics. Based on the three gamma MRAC test results are able to produce a response with a settling time value of 1,560 seconds and a rise time of 869 seconds but still produces oscillations and has a steady state error of 0.003°C. After a combination of MRAC and PID controllers with Kp parameters at a value of 1.5, Ki at a value of 0.1, and Kd at a value of 4 produces a settling time value of 1.593 seconds and a rise time of 884 seconds and a steady state error of 0 °C. Then the effect of adding PID can reduce the steady state error that occurred before.

Keywords : *Gamma, Mushroom Merang, MIT Rule, MRAC, PID.*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

KATA PENGANTAR



Assalammu 'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah Rabbil Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah swt, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Pengaruh PID Pada Desain Kendali MRAC Dengan Penambahan Nilai Gamma Pada Sistem Pendingin Jamur Merang Untuk Mengendalikan Temperatur**”. Shalawat beriringan salam semoga tetap tercurah kepada junjungan alam yakninya Nabi Muhammad SAW. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan Tugas Akhir di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Banyak sekali pihak yang telah membantu dalam menyusun tugas akhir ini, baik secara moril maupun materil. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga besar yang telah mendoa'akan serta memberikan semangat dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Akhmad Mujahidin, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
3. Bapak Dr. Drs. H. Mas'ud Zein, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim-Riau
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan proyek mini.
5. Bapak Mulyono, ST, MT selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
6. Bapak Ahmad Faizal, ST, MT selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing serta memotivasi penulis hingga dapat menyelesaikan tugas akhir.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Bapak / Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam pelaksanaan tugas akhir ini.

8. Para sahabat Ari Andika (Bunga Ai), Yusuf (Ucup), Rozi Syaputra (Admin Ganteng Kita), Rio Jaya (Jaya) yang selalu membantu, menyemangati dan menemani penulis dari awal perkuliahan hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan kuliah

9. Rekan-rekan TEA dan Kosentrasi Elektronika Instrumentasi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan semangat, dorongan, serta masukan untuk tugas akhir ini.

10. Rekan-rekan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang juga turut memberikan dorongan semangat kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir.

Penulis menyadari dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu penulis mengharapkan adanya masukan berupa kritik maupun saran dari berbagai pihak untuk kesempurnaan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 31 oktober 2019

Penulis

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SIMBOL	xix
DAFTAR SINGKATAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-4
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Batasan Masalah	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Dasar Teori.....	II-2
2.2.1 Sistem Kendali.....	II-2
2.2.1.1 Istilah Dasar Dalam Sistem Kendali	II-2
2.2.1.2 Kendali Lup Tertutup Dan Kendali Lup Terbuka.....	II-3
2.3 Pengendali Sistem	II-4
2.3.1 Sistem Kendali Adaptif.....	II-4
2.3.2 Model Reference Adaptif Control (MRAC).....	II-5
2.3.3 MIT-Rule	II-5
2.3.3.1 Penggunaan Satu Gamma	II-6

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.3.3.2 Penggunaan Dua Gamma	II-7
2.3.3.3 Penggunaan Tiga Gamma	II-9
2.4 <i>Proportional Integral Derivative (PID)</i>	II-11
2.5 Sistem Pendingin	II-12
2.6 Model Matematis Jamur Merang	II-15
2.7 Analisa Respon Transien	II-20
2.8 Interpolasi Linier	II-22
2.9 Model Referensi MRAC	II-22
2.10 MATLAB	II-23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian.....	III-1
3.2 Validasi Model Matematis.....	III-3
3.3 Perancangan Pengendali	III-3
3.3.1 Alur Perancangan Pengendali	III-3
3.4 Membuat Model Referensi	III-5
3.5 Perancangan Pengendali MRAC.....	III-5
3.5.1 Penggunaan satu Gamma.....	III-5
3.5.2 Penggunaan dua Gamma.....	III-5
3.5.3 Penggunaan tiga Gamma	III-6

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Perancangan.....	IV-1
4.1.1 Hasil Validasi model matematis.....	IV-1
4.1.2 Hasil Grafik Model Referensi	IV-1
4.1.3 Hasil Perancangan MRAC satu gamma	IV-2
4.1.4 Hasil Perancangan MRAC dua gamma.....	IV-5
4.1.5 Hasil Perancangan MRAC tiga gamma.....	IV-9
4.2 Gambaran umum Analisa	IV-14
4.3 Analisa Sistem Pendingin Jamur Merang Menggunakan MRAC satu Gamma	IV-14
4.4 Analisa Sistem Pendingin Jamur Merang Menggunakan MRAC satu Gamma kombinasi PID	IV-19

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.5	Analisa Sistem Pendingin Jamur Merang Menggunakan MRAC dua Gamma	IV-25
4.6	Analisa Sistem Pendingin Jamur Merang Menggunakan MRAC dua Gamma kombinasi PID	IV-29
4.7	Analisa Sistem Pendingin Jamur Merang Menggunakan MRAC tiga Gamma.....	IV-34
4.8	Analisa Sistem Pendingin Jamur Merang Menggunakan MRAC tiga Gamma kombinasi PID	IV-39
4.9	Perbandingan Respon Sistem MRAC satu gamma, MRAC dua gamma dan MRAC tiga gamma	IV-44
4.10	Analisa Perbandingan Respon Sistem Pendingin jamur merang menggunakan pengendali MRAC satu, dua dan tiga gamma dan kombinasi PID	IV-45
4.11	Analisa sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma kombinasi PID dengan Gangguan.....	IV-46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Sistem Kendali Lup Tertutup	II-4
2.2 Blok Diagram Skema MRAC	II-5
2.3 Skema MRAC dengan Metode <i>MIT Rule</i> Satu Gamma	II-7
2.4 Skema MRAC dengan Metode <i>MIT Rule</i> Dua Gamma.....	II-8
2.5 Skema MRAC dengan Metode <i>MIT Rule</i> Tiga Gamma	II-10
2.6 Diagram blok kendali PID	II-11
2.7 Sistem Pendingin jamur merang	II-12
2.8 Rancangan sistem kendali menggunakan SIMULINK	II-13
2.9 Diagram blok sistem sistem pendingin jamur merang.....	II-13
2.10 a) <i>Process Reaction Curve – Method I dan II</i>	II-15
2.11 Grafik pemodelan temperatur	II-18
2.12 Respon sistem orde pertama.....	II-20
2.13 Kurva untuk Interpolasi Linier	II-22
2.14 Ikon MATLAB	II-23
3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian	III-1
3.2 <i>open loop</i> Sistem pendingin jamur merang.....	III-3
4.1 Respon Sistem <i>Open Loop</i>	IV-1
4.2 Grafik Model Referensi sistem pendingin jamur merang	IV-2
4.3 Desain MRAC Satu Gamma Pada Sistem Pendingin jamur merang	IV-2
4.4 Desain MRAC-PID Satu Gamma Pada Sistem Pendingin jamur merang	IV-3
4.5 Desain MRAC dua Gamma Pada Sistem Pendingin jamur merang.....	IV-5
4.6 Desain MRAC-PID dua Gamma Pada Sistem Pendingin jamur merang.....	IV-6
4.7 Desain MRAC Tiga Gamma Pada Sistem Pendingin jamur merang	IV-9
4.8 Desain MRAC-PID Tiga Gamma Pada Sistem Pendingin jamur merang	IV-10
4.9 Desain MRAC-PID Tiga Gamma dengan Gangguan Pada Sistem Pendingin jamur merang	IV-10
4.10 Hasil Respon MRAC satu gamma pada sistem pendingin jamur merang.....	IV-15
4.11 Hasil Respon MRAC satu gamma kombinasi PID pada sistem pendingin jamur merang	IV-20
4.12 Hasil Respon MRAC dua gamma pada sistem pendingin jamur merang	IV-25

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

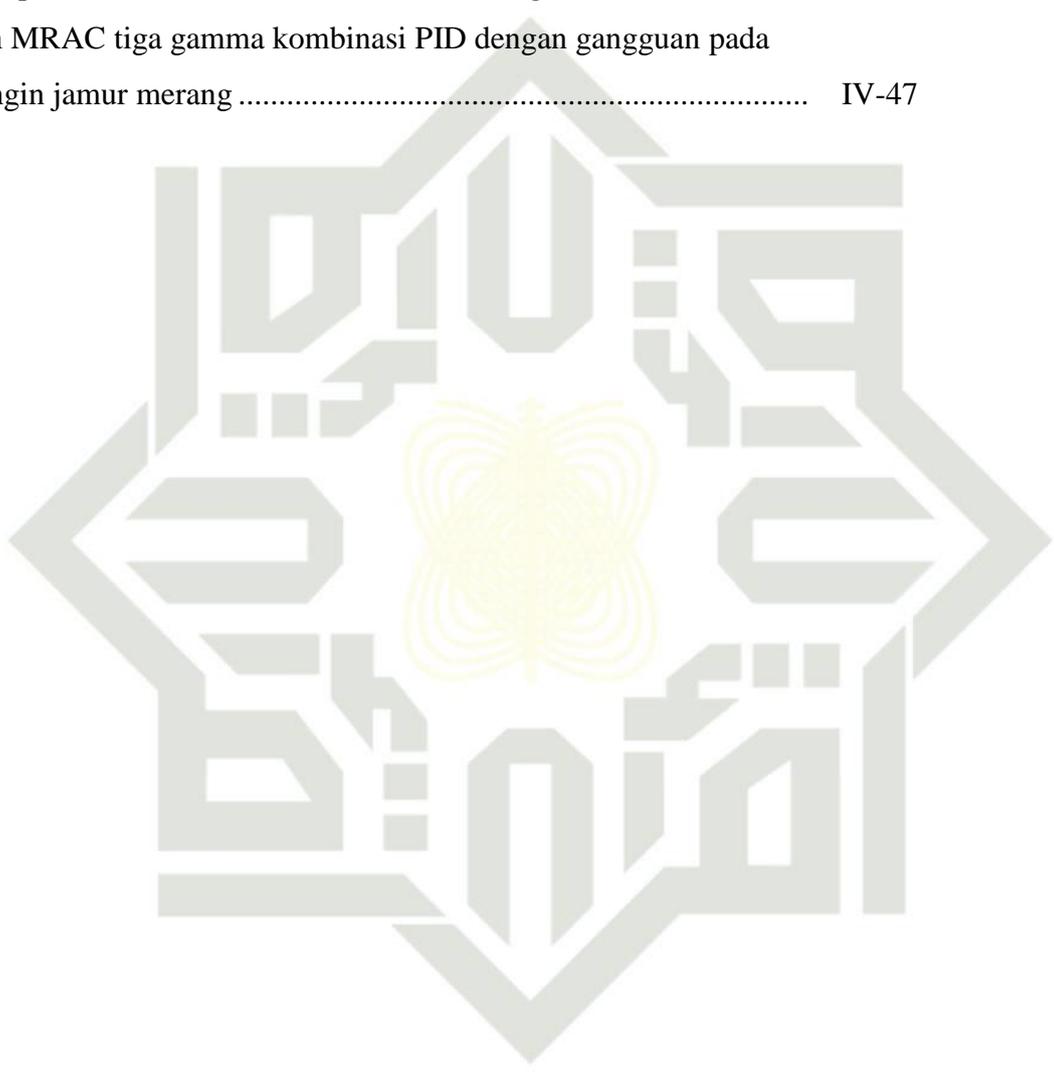
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.13	Hasil Respon MRAC dua gamma kombinasi PID pada sistem pendingin jamur merang	IV-30
4.14	Hasil Respon MRAC tiga gamma pada sistem pendingin jamur merang	IV-35
4.15	Hasil Respon MRAC tiga gamma kombinasi PID pada sistem pendingin jamur merang.....	IV-40
4.16	Gabungan Respon Keluaran MRAC Satu, Dua Dan Tiga Gamma.....	IV-45
4.17	Hasil Respon MRAC tiga gamma kombinasi PID dengan gangguan pada sistem pendingin jamur merang	IV-47

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Tanggapan Sistem Kendali PID Terhadap Perubahan Parameter	II-12
2.2 Spesifikasi Sistem Pendingin	II-14
2.3 Spesifikasi Sistem Kelembapan	II-15
2.4 Data Pemodelan	II-19
4.1 Pencarian nilai gamma MRAC satu gamma pada sistem pendingin jamur merang.....	IV-3
4.2 Pencarian nilai Kp, Ki, dan Kd pada MRAC satu gamma sistem pendingin jamur merang	IV-4
4.3 Pencarian nilai gamma MRAC dua gamma sistem pendingin jamur merang	IV-6
4.4 Pencarian nilai Kp, Ki, dan Kd MRAC dua gamma pada sistem pendingin jamur merang	IV-8
4.5 Pencarian nilai gamma MRAC Tiga Gamma Sistem pendingin jamur merang	IV-11
4.6 Pencarian nilai Kp, Ki, dan Kd MRAC tiga gamma.....	IV-13
4.7 Data Konstanta waktu 63,2 % dari Setpoint Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma dengan setpoint 5 °C.....	IV-16
4.8 Data <i>Rise Time</i> 5 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma dengan setpoint 5 °C.....	IV-16
4.9 Data <i>Rise Time</i> 95 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma dengan setpoint 5 °C.....	IV-17
4.10 Data <i>settling time</i> 98% dari Setpoint Sistem sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma dengan setpoint 5 °C.....	IV-18
4.11 Data <i>Delay time</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma dengan setpoint 5 °C	IV-18
4.12 Respon waktu menggunakan MRAC satu gamma.....	IV-19
4.13 Data Konstanta waktu 63,2 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C.....	IV-21
4.14 Data <i>Rise Time</i> 5 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C.....	IV-21
4.15 Data <i>Rise Time</i> 95 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C.....	IV-22

© Hak cipta dilindungi Undang-Undang
 PUSKASUSKA RIAU
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.16	Data <i>settling time</i> 98% dari <i>Setpoint</i> Sistem sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C.....	IV-23
4.17	Data <i>Delay time</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC satu gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-23
4.18	Respon waktu menggunakan MRAC satu gamma kombinasi PID	IV-24
4.19	Data Konstanta waktu 63,2 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma dengan setpoint 5 °C	IV-26
4.20	Data <i>Rise Time</i> 5 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma dengan setpoint 5 °C	IV-26
4.21	Data <i>Rise Time</i> 95 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma dengan setpoint 5 °C	IV-27
4.22	Data <i>settling time</i> 98% dari <i>Setpoint</i> Sistem sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma dengan setpoint 5 °C	IV-28
4.23	Data <i>Delay time</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma dengan setpoint 5 °C	IV-28
4.24	Respon waktu menggunakan MRAC dua gamma	IV-29
4.25	Data Konstanta waktu 63,2 % dari <i>Set point</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-31
4.26	Data <i>Rise Time</i> 5 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-31
4.27	Data <i>Rise Time</i> 95% dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-32
4.28	Data <i>settling time</i> 98% dari <i>Setpoint</i> Sistem sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-33
4.29	Data <i>Delay time</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC dua gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-34
4.30	Respon waktu menggunakan MRAC dua gamma kombinasi PID	IV-34
4.31	Data Konstanta waktu 63,2 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma dengan setpoint 5 °C	IV-36
4.32	Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma dengan setpoint 5 °C	IV-36
4.33	Data <i>Rise Time</i> 95% dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma dengan setpoint 5 °C	IV-37

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

4.34	Data <i>settling time</i> 98% dari <i>Setpoint</i> Sistem sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma dengan setpoint 5 °C	IV-38
4.35	Data <i>Delay time</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma dengan setpoint 5 °C	IV-38
4.36	Respon waktu menggunakan MRAC tiga gamma	IV-39
4.37	Data Konstanta waktu 63,2 % dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-41
4.38	Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-41
4.39	Data <i>Rise Time</i> 95% dari <i>Setpoint</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-42
4.40	Data <i>settling time</i> 98% dari <i>Setpoint</i> Sistem sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-43
4.41	Data <i>Delay time</i> Sistem pendingin jamur merang menggunakan MRAC tiga gamma kombinasi PID dengan setpoint 5 °C	IV-43
4.42	Respon waktu menggunakan MRAC tiga gamma kombinasi PID	IV-44
4.43	Perbandingan Respon Sistem dengan Pengendali MRAC dan MRAC dengan Kombinasi PID	IV-46
4.44	Respons MRAC-PID tiga Gamma Terhadap Gangguan	IV-47

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

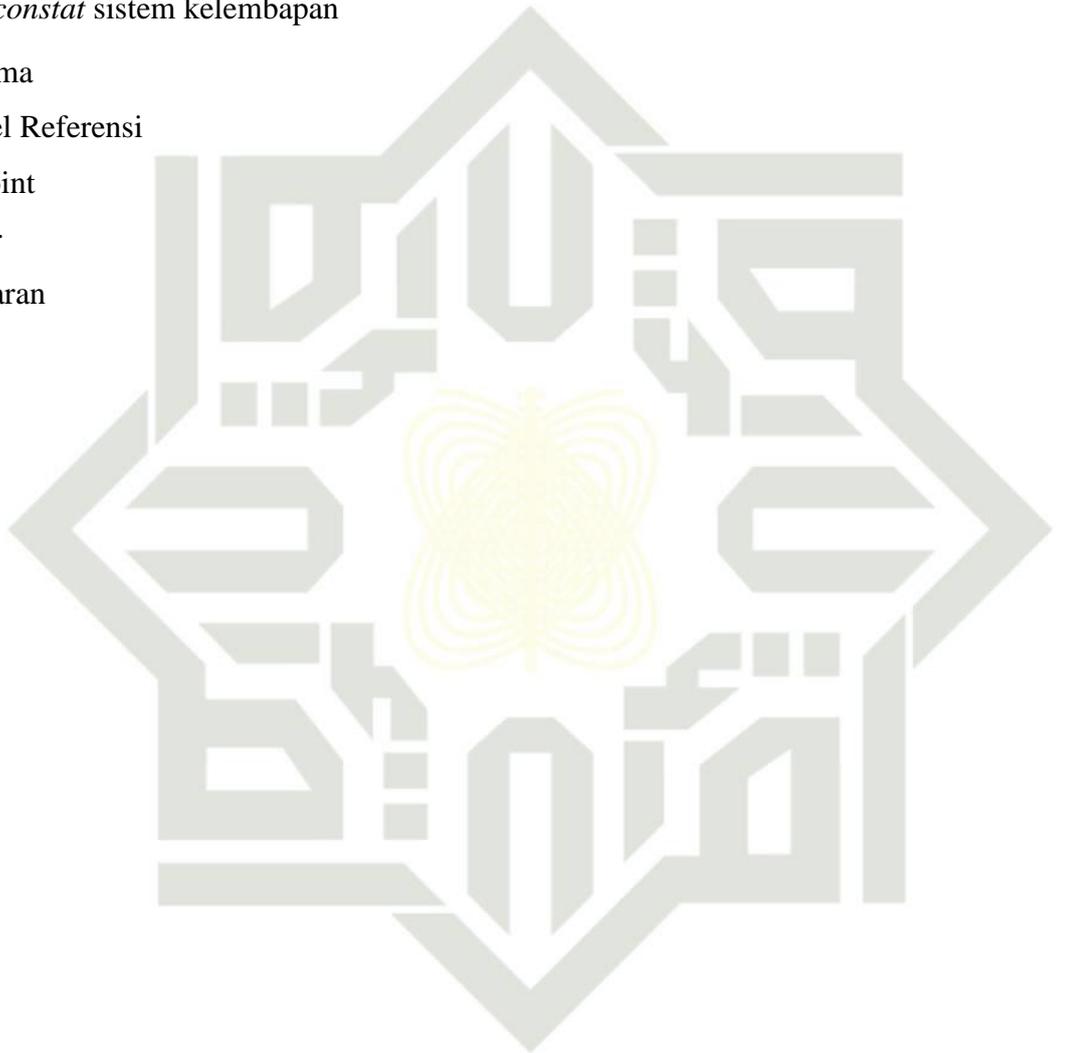
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SIMBOL

- = waktu tunda
- = waktu tunda sistem temperatur
- = waktu tunda sistem kelembaban
- = *time const* sistem temperatur
- = *time const* sistem kelembapan
- = Gamma
- = Model Referensi
- = Setpoint
- = *Error*
- = Keluaran



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR SINGKATAN

PID	= <i>Proportional Integral Derivative</i>
MRAC	= <i>Model Reference Adaptive Control</i>
MATLAB	= <i>Matrix Laboratory</i>
PRC	= <i>Process Reaction Curve</i>

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Sistem kendali merupakan sistem yang telah lama dimanfaatkan oleh manusia untuk menjaga, memerintah, dan mengatur suatu sistem tetap berjalan semestinya. Tujuan utama dari suatu sistem pengendalian adalah untuk mendapatkan kondisi kerja yang optimal pada suatu sistem yang dirancang. Salah satu contoh pengendalian sederhana pada kehidupan sehari-hari ketika kita mengendarai/menyetir mobil, saat mengendarai mobil kita harus mengatur kecepatan mobil dengan menambah maupun mengurangi larinya kendaraan. Dalam kehidupan sehari-hari dibutuhkan pengendalian sehingga dapat dipastikan pengendalian sangat dibutuhkan dalam dunia industri.

Salah satu parameter yang sering dikendalikan adalah temperatur. Pentingnya pengendalian temperatur pada jamur merang dikarenakan jamur merang memiliki umur simpan lebih rendah dari sayuran lainnya. Jamur merang mempunyai umur simpan kurang lebih dari satu hari, artinya beberapa jam setelah dipanen, jamur merang menjadi lembek, berubah warna dan membusuk, meskipun jamur dipanen pada saat tudung jamur mengincup[1]. Jamur merang dapat diawetkan dengan penyimpanan pada suhu dan kelembaban yang tepat, sehingga dapat bertahan lama. Untuk memperpanjang umur simpan jamur merang disimpan pada suhu $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan RH 85%[2]. Untuk mempertahankan suhu dan kelembaban udara tersebut diperlukan pengkondisian pada ruang penyimpanan jamur merang. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pengkondisian dengan merancang kendali MRAC dengan setpoint sebesar 5°C karena masih dalam zona teori.

Sistem kendali terbagi dua yaitu manual dan otomatis. Sistem kendali manual melibatkan peran manusia dalam proses pengendalian. Sedangkan sistem kendali otomatis menghilangkan peran manusia dalam proses pengendalian. Dalam sistem kendali otomatis diperlukan pengendali sebagai pengganti peran manusia. Seiring perkembangan zaman maka muncul berbagai jenis pengendali dengan karakteristik yang berbeda-beda seperti kendali *on-off*, PID, cerdas, optimal, robust, adaptif dan lain sebagainya[3][4].

Salah satu dari kendali tersebut adalah sistem kendali *on-off* yang mempunyai dua keadaan yaitu *on* dan *off*. Pada proses pengendalian jenis ini hanya akan terdapat 2 jenis keluaran yaitu bersifat *low* dan *high*. Hasil keluaran kendali *on-off* akan menyebabkan

process variable yang tidak akan pernah konstan[3]. Selanjutnya, pengendali yang lebih berkembang dari kendali *on-off* yaitu kendali PID. Kendali PID (*Proportional Integral Derivatif*) merupakan tiga macam kendali yang digabungkan, dimana fungsi kendali *proportional* (P) untuk mempercepat *risetime*, kendali *integral* (I) digunakan untuk mengurangi *error* keluaran sistem, dan kendali *derivative* (D) untuk menghilangkan *osilasi*. Sehingga jika ketiga kendali tersebut dikombinasikan akan menghasilkan respon yang bagus. Penggabungan 3 pengendali ini dapat melengkapi satu lain. Pengendali tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing[4]. Selanjutnya muncul kendali yang lebih berkembang dari PID yaitu kendali cerdas, dimana kendali cerdas ini mempunyai cara berpikir dan bertindak seperti manusia. Kendali cerdas adalah metode kendali yang menggunakan berbagai pendekatan perhitungan dengan menggunakan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) merupakan salah satu bagian dari ilmu komputer yang mempelajari bagaimana membuat mesin (komputer) dapat melakukan pekerjaan seperti dan sebaik yang dilakukan oleh manusia bahkan bisa lebih baik daripada yang dilakukan manusia[5]. Namun, pengendali tersebut bukan merupakan pengendali yang dirancang untuk mengatasi permasalahan gangguan. Sehingga pengendali tersebut tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan kestabilan tinggi.

Selanjutnya muncul kendali yang mampus mengatasi gangguan seperti kendali optimal, kendali robust dan kendali adaptif. Sistem kendali optimal adalah konsep optimasi sistem kendali yang mem-perhitungkan pemilihan indeks atau kriteria performansi serta desain yang akan menghasilkan sistem kendali optimal dalam batas-batas kendala fisik. Indeks performansi didefinisikan sebagai suatu fungsi yang harganya menunjukkan seberapa baik performansi sistem yang sebenarnya mendekati performansi yang diinginkan[6]. Kendali robust adalah pengendali yang tidak peka terhadap perubahan parameter, kesalahan model dan gangguan. kendali ini mengatasi masalah ketidakpastian dan desain agar dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan, selama parameter yang tidak pasti tersebut masih masuk dalam batasan yang telah diperhitungkan[4]. Kendali adaptif adalah kendali yang dapat beradaptasi terhadap perubahan, baik terhadap lingkungan eksternal maupun internalnya, untuk mempertahankan kinerja dan stabilitas sistem dengan memodifikasi parameter dari sistem tersebut[7].

Dari beberapa kendali diatas masing-masing kendali memiliki kelebihan dan kekurangan. Pemilihan metode kendali berdasarkan tingkat masalah yang terjadi pada sistem tersebut. jika masalah yang terjadi sederhana, maka metode kendali yang digunakan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© 2015 UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Sa'rif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pun seharusnya sederhana, begitu pula sebaliknya. Adapun beberapa penelitian yang melakukan penggabungan kendali untuk memperoleh respon sistem yang lebih baik[8][9].

Pengendali *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) merupakan salah satu kendali yang dapat dilakukan modifikasi. Maka pengendali yang digunakan pada penelitian ini yaitu kendali adaptif MRAC karena selain merupakan kendali yang dapat dimodifikasi, kendali adaptif MRAC merupakan kendali yang mampu mengatasi permasalahan gangguan yang diperlukan dalam dunia industri. Dibandingkan dengan kendali robust dan optimal, kendali adaptif memiliki formulasi dan algoritma yang lebih sederhana khususnya persamaan *MIT Rule*. Kendali adaptif MRAC memiliki dua metode perancangan yaitu *MIT Rule* dan Kestabilan Lyapunov. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *MIT Rule* karena lebih sederhana[9], selain itu pemodifikasian kendali adaptif MRAC metode *MIT Rule* dengan penggunaan jumlah gamma lebih sering dijumpai. Modifikasi perancangan MRAC dapat dilakukan namun masih dalam standar *MIT Rule*.

Pemodifikasian perancangan MRAC pernah dilakukan pada penelitian yang berjudul “Desain Pengendali *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) Dengan Kombinasi PID Untuk Mengendalikan Tekanan Pada Modul Training Pressure”. Pada penelitian ini kendali adaptif MRAC digabungkan dengan kendali konvensional PID dengan alasan pengendali MRAC mengalami kesulitan dalam melakukan tugasnya. Dibuktikan dengan adanya respon yang lambat dan masih mengalami osilasi. Sehingga peneliti merancang perpaduan pengendali MRAC dengan pengendali PID. Dimana *Proportional* (P) untuk membuat respon sistem menjadi cepat, *Integral* (I) untuk mengurangi *error*, dan *Derivative* (D) untuk mengurangi *overshoot* dari respon sistem, sehingga sistem dapat mencapai respon kestabilan yang diinginkan[10]. Modifikasi yang berbeda juga telah dilakukan dalam penelitian lain yang berjudul “*Design and Performance Analysis of a Modified MRAC for Second-order Processes*”. Pada penelitian ini dirancang MRAC yang ditingkatkan dengan penambahan umpan balik proposional-derivatif (PD). Penambahan PD di jalur umpan balik memberikan respons yang lebih baik dengan osilasi berkurang selama perubahan *setpoint* dibandingkan dengan MRAC tanpa modifikasi. Selain itu, ketika ada perubahan beban, proses pemulihannya lebih cepat [11].

Kendali *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) mempunyai nilai gamma dimana keluaran dari nilai tersebut yang akan diikuti oleh sistem. Penelitian yang telah membahas hubungan antara gamma dan MRAC[12][13][14][15]. Dari penelitian tersebut

menunjukkan bahwa gamma memiliki pengaruh besar terhadap pengendalian MRAC. Salah satu penelitian menyimpulkan performansi respons sistem dalam mengikuti respons model referensi sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai gamma adaptasi. Nilai gamma adaptasi yang berbeda menghasilkan respons sistem yang berbeda dalam mengikuti modelnya. Di samping besarnya pengaruh besarnya nilai gamma, dari beberapa penelitian yang menggunakan pengendali MRAC ternyata jumlah gamma yang digunakan bervariasi. Penggunaan satu, dua dan tiga gamma juga telah dilakukan pada penelitian [9][10][15].

Apabila penambahan nilai gamma mempengaruhi respon sistem, maka dengan penambahan kendali PID akan lebih mempengaruhi respon sistem. Penelitian pengaruh penambahan nilai gamma telah dilakukan sebelumnya pada penelitian [16]. Dari penelitian tersebut bahwa penambahan nilai gamma tidak berbeda jauh. Pada MRAC satu gamma jika nilai gamma semakin besar respons akan *overshoot* sampai osilasi. Pengaruh penambahan gamma kedua adalah respons yang dihasilkan tidak lebih baik dibanding MRAC satu gamma. Namun, dalam mengatasi gangguan MRAC dua gamma lebih baik dengan error lebih kecil. Pengaruh penambahan nilai gamma ketiga pada MRAC adalah mengatasi kekurangan MRAC dua gamma yaitu menghilangkan *overshoot* dan mempercepat respons [16]. Maka pada penelitian ini penulis mengangkat penelitian dengan judul **Analisa Pengaruh PID Pada Pengendali MRAC Dengan Penambahan Nilai Gamma Pada Sistem Pendingin Jamur Merang Untuk Mengendalikan Temperatur.**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah apa pengaruh PID dengan penambahan jumlah gamma pada perancangan pengendali adaptif metode *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) sistem pendingin jamur merang untuk mengendalikan temperatur.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengetahui pengaruh penambahan PID dengan penambahan jumlah gamma pada perancangan pengendali adaptif metode *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) sistem pendingin jamur merang untuk mengendalikan temperatur.

1.4 Batasan Masalah

Pembahasan penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pengujian dilakukan pada sistem orde satu yaitu sistem pendingin jamur merang
Tidak membahas *hardware*.

Aplikasi yang digunakan untuk simulasi adalah *software* MATLAB.

Metode yang digunakan pada MRAC adalah MIT *Rule* dan pada PID adalah Heuristik.

Jumlah maksimal gamma yang dirancang yaitu tiga gamma.

Model yang dipakai adalah model dari sistem matematis yang diturunkan dari persamaan dinamik berdasarkan rujukan[17].

Model referensi yang digunakan pada semua kendali adalah $\frac{1}{300s+1}$

1.5 Manfaat Penulisan

Pembahasan penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Bagi penulis

Menambah dan memperkaya pengetahuan mengenai perancangan sistem dengan kendali MRAC-PID.

2. Bagi mahasiswa Teknik Elektro dan pembaca

1. Menjadi acuan bagi mahasiswa lain untuk menambah referensi penulisan tugas akhir mengenai analisa sistem kendali
2. Menjadi referensi tambahan tentang pengendali MRAC-PID.
3. Menjadi acuan bagi mahasiswa lain dalam memilih jumlah gamma pada saat menggunakan pengendali MRAC-PID.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan menggunakan kendali adaptif *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* dengan penambahan jumlah gamma. Salah satunya penggunaan satu gamma[10]. Pada penelitian ini kendali adaptif MRAC digabungkan dengan kendali konvensional PID dengan alasan pengendali MRAC mengalami kesulitan dalam melakukan tugasnya. Dibuktikan dengan adanya respon yang lambat dan masih mengalami osilasi. Sehingga peneliti merancang perpaduan pengendali MRAC dengan pengendali PID. Dimana *Proportional (P)* untuk membuat respon sistem menjadi cepat, *Integral (I)* untuk mengurangi *error*, dan *Derivative (D)* untuk mengurangi *overshoot* dari respon sistem, sehingga sistem dapat mencapai respon kestabilan yang diinginkan[10].

Penelitian berikutnya menggunakan dua gamma[8]. Mengatakan bahwa Sebuah pendekatan dalam pengendalian *plant* yang memiliki kendala parameter *plant* sulit ditentukan karena kompleksitas *plant*, kondisi dinamik *plant* (proses), maupun adanya karakteristik dari gangguan (*Disturbance*) yang bervariasi dapat dilakukan dengan menggunakan sistem kendali adaptif. Sistem kendali adaptif memiliki pengendali dimana parameter-parameternya dapat diatur (*adjustable parameters*) dan memiliki mekanisme pengaturan terhadap parameter-parameternya (*mechanism for adjusting the parameters*). Salah satu kesimpulan peneliti yaitu performansi respon *plant* dalam mengikuti respon mode referensi sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai gain adaptasi. Nilai gamma adaptasi yang berbeda menghasilkan respon *plant* yang berbeda dalam mengikuti modelnya [8]. Pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa perubahan nilai gamma sangat mempengaruhi respon suatu sistem sehingga dengan variasi jumlah gamma yang berbeda tentunya juga mempengaruhi respon sistem yang lebih signifikan.

Penelitian berikutnya menggunakan dua gamma juga dilakukan pada penelitian[18]. Pada penelitian ini menggunakan kendali MRAC-PI untuk mengendalikan tekanan pada *couple tank*. penelitian ini mengkombinasikan kendali MRAC dengan PI dimana kendali MRAC masih mengalami kesulitan melakukan tugasnya. Dibuktikan dengan adanya respon yang lambat serta error yang masih besar. Sehingga peneliti mengkombinasikan kendali MRAC dengan kendali PI. Dimana *Proportional (P)* untuk membuat respon sistem

menjadi cepat, *Integral* (I) untuk mengurangi *error*[18]. Adapun penelitian yang lain menggunakan cara yang sama namun pada kondisi yang berbeda[10][11][19].

Dari beberapa penelitian terkait mengenai kendali adaptif *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) dapat disimpulkan bahwa kendali adaptif memungkinkan untuk dilakukan modifikasi sampai tahap penambahan jumlah gamma selama masih dalam standar *MIT Rule*. Maka pada penelitian ini penulis mengangkat penelitian yang membahas mengenai pengaruh perubahan atau penambahan gamma pada metode MRAC *MIT Rule*

Analisa Pengaruh PID Pada Desain Kendali MRAC Dengan Penambahan Nilai Gamma Pada Sistem Pendingin Jamur Merang Untuk Mengendalikan Temperatur.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Kendali

Sistem kendali pada dasarnya memiliki makna memerintah, mengatur, dan mengarahkan baik secara aktif maupun dinamis. Sehingga perancangan sistem kendali tergantung pada elemen apa yang hendak diatur, diperintah maupun diarahkan sesuai keinginan siperancang[20]. Secara umum, sistem kendali dapat dipandang sebagai hubungan berbagai komponen: elektrik, mekanik, hidrolis bahkan parameter dan variabel sosial, biologi, keuangan dengan tujuan mendapatkan fungsi yang diinginkan secara efisien dan akurat. Karena kemajuan dalam teori dan aplikasi kendali otomatis menawarkan kinerja optimal bagi suatu sistem dinamik, meningkatkan produktifitas, menyederhanakan operasi manual yang seringkali berulang-ulang maka banyak insinyur dan ilmuwan sekarang ini telah memiliki pemahaman yang baik tentang kendali otomatis[21].

2.2.1.1 Istilah Dasar Dalam Sistem Kendali

Dalam sistem kendali ada beberapa istilah yang digunakan yaitu[20] :

1. Peubah terkendali (*controlled variable*) dan peubah termanipulasi (*manipulated variable*). Peubah terkendali merupakan kuantitas ataupun kondisi yang diukur dan dikendalikan. Adapun peubah termanipulasi merupakan kuantitas atau kondisi yang diubah oleh kendali sehingga dapat mempengaruhi nilai peubah terkendali, yang biasanya merupakan keluaran sistem.
2. *Plant*. Sebuah *plant* dapat berupa peralatan dan instrumen yang difungsikan sebagai bagian dari sistem yang dikendalikan. Contoh *plant* misalkan peralatan mekanik, tungku bakar, reaktor kimia, pesawat luar angkasa dan sebagainya

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

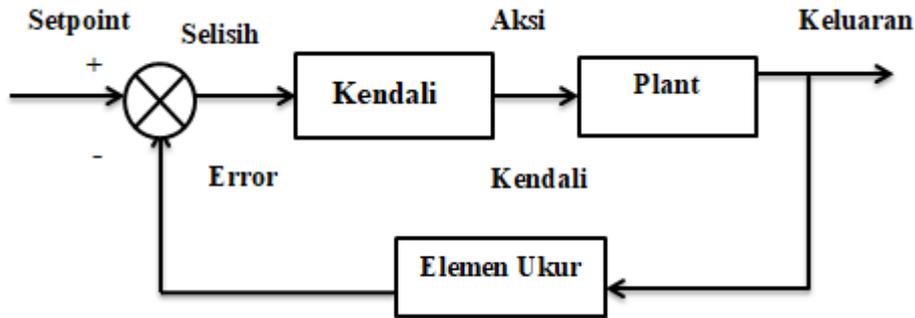
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Proses. Berbeda dengan *plant*, sebuah proses merupakan prosedur dan mekanisme yang dikendalikan sama seperti pada *plant*. Kendali sistem pemisahan cairan kimia, distilasi merupakan sistem kendali yang bekerja pada sebuah proses.
4. Sistem. Semua komponen yang berhubungan dan memiliki tujuan tertentu, termasuk efisiensi, otomasi dan optimasi membentuk sebuah sistem
5. Gangguan (*disturbance*). Pada sistem riil, gangguan hampir selalu dijumpai dan seringkali berpengaruh pada stabilitas dan kinerja sistem. Gangguan ini dapat disebabkan oleh sistem itu sendiri (*internal disturbance*) maupun gangguan luar sistem (*eksternal disturbance*)
6. Kendali Umpan Balik (*feedback control*). Adanya gangguan, perbedaan antara keluaran dengan masukan acuan sulit diprediksi mengakibatkan tujuan pengoperasian sebuah sistem tidak tercapai. Untuk itu, diperlukan umpan balik keluaran untuk dibandingkan dengan masukan acuan sehingga selisih perbedaan dapat dikendalikan, diminimalkan secara otomatis

2.2.1.2 Kendali Lup Tertutup Dan Kendali Lup Terbuka

Kendali umpan balik (*feedback control*) merupakan sistem kendali lup tertutup. Sistem ini menjaga koneksi masukan dan keluaran dengan membandingkannya dan menggunakannya sebagai sinyal kendali. Sebagai contoh, sistem pengatur temperatur ruangan yang menjaga suhu secara kontinyu pada nilai tertentu, 190 C misalnya. Jika suhu meningkat, maka *fan* pendingin akan bekerja dan jika suhu turun maka *fan* pendingin akan berhenti. Adapun sistem kendali lup terbuka, karena tidak ada umpan balik maka keluaran sistem tidak berpengaruh pada aksi kendali. Atau dengan kata lain masukan acuan bersifat tetap sehingga kinerjanya tergantung pada penyetelan secara manual, dan memerlukan kalibrasi lebih sering. Contoh sistem lup terbuka adalah *fruit juicer*, dimana kita bisa membuat jus buah dengan menekan tombol untuk mengaktifkan motor listrik dengan beberapa pilihan kecepatan putaran. Di sini, motor listrik pada *juicer* tidak bisa secara otomatis mengubah putarannya karena perbedaan tekstur buah misalnya, tanpa kita pilih terlebih dulu[20].



Gambar 2.1 Sistem Kendali Lup Tertutup[20]

2.3 Pengendali Sistem

2.3.1 Sistem Kendali Adaptif

Sistem kendali adaptif merupakan sistem kendali yang mempunyai parameter-parameter kendali yang dapat beradaptasi. Parameter-parameter kendali tersebut beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan di sekitarnya, seperti adanya gangguan, serta perubahan karakter internal dari sistem yang dikendalikan. Penggunaan sistem kendali adaptif menunjukkan peningkatan kinerja sistem karena suatu sistem umumnya berada dalam situasi yang mengandung derau dan gangguan serta kondisi internal dan eksternalnya mengandung ketidakpastian. Sistem kendali adaptif telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang industri pengolahan bahan kimia, sistem penerbangan, serta sistem otomotif. Dalam bidang pengolahan hasil bumi, pengolahan bahan dasar minyak CPO (*crude-palm oil*).

Sistem kendali adaptif secara garis besar terdiri atas berbagai tipe, di antaranya kendali adaptif model acuan (*Model Reference Adaptive Control*), kendali adaptif swatela (*self-tuning adaptive control*), penjadwalan *gain* adaptif (*adaptive gain scheduling*), dan kendali adaptif fungsi dualitas (*dual-adaptive control*). Kendali adaptif model acuan adalah sistem kendali yang memiliki pengendali dengan parameter yang dapat beradaptasi sesuai mekanisme adaptasi yang telah ditetapkan. Mekanisme ini berjalan seiring dengan adanya upaya untuk memaksakan sebuah pengendalian yang berkinerja lebih buruk (atau bahkan tidak stabil) agar mengikuti perilaku sebuah model acuan yang memiliki kinerja yang lebih baik (dan tentu saja stabil)[7].

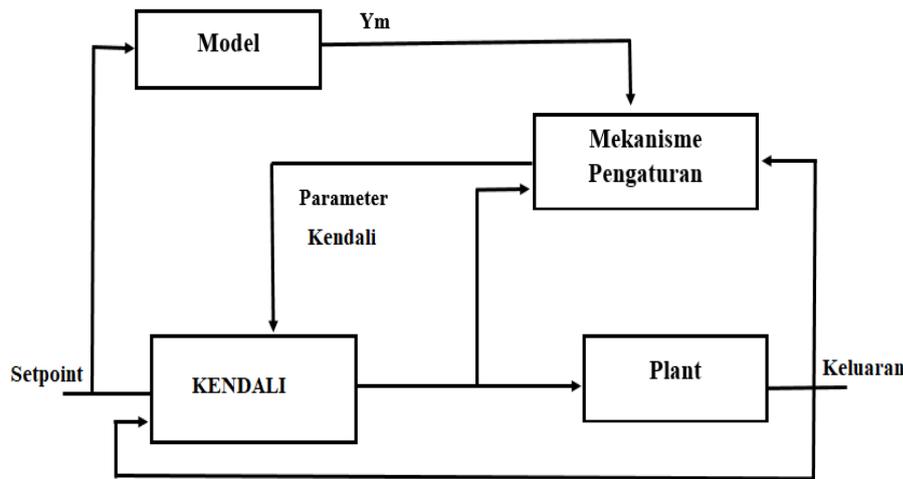
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.3.2 Model Reference Adaptive Controller (MRAC)

Model Reference Adaptive Control (MRAC) merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performansi keluaran sistem (proses) mengikuti performansi keluaran model referensinya. Parameter-parameter pengendali diatur melalui mekanisme pengaturan yang didasarkan pada *error* yang merupakan selisih antara keluaran *plant* dengan keluaran model referensi. Blok diagram skema *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Blok Diagram Skema *Model Reference Adaptive Control (MRAC)*[7]

Dari Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa skema sistem MRAC terdapat dua *loop*, *Loop* pertama adalah *loop* umpan balik normal antara *output* proses dengan pengendali sedangkan *loop* kedua adalah *loop* yang digunakan untuk melakukan mekanisme pengaturan parameter pengendali. Pada *loop* kedua ini dilakukan proses untuk *update* parameter – parameter pengendali maupun parameter *plant* sesuai dengan skema adaptif yang digunakan. Pengaturan dilakukan dengan meminimalkan sinyal *error*, sehingga keluaran sistem (y) sesuai dengan keluaran model referensinya (y_m). Mekanisme pengaturan pada MRAC terhadap parameternya dapat dilakukan dengan metode *MIT Rule*.

2.3.3 MIT Rule

MIT Rule adalah salah satu metode yang dipakai pada MRAC selain metode kestabilan Lyapunov. Metode *MIT Rule* dipilih karena persamaan matematis yang sedikit dan tidak terlalu rumit. Berikut ini akan dijabarkan metode *MIT Rule* pada sistem *loop* tertutup yang mana pengendalinya memiliki sebuah parameter yang dapat diatur berupa θ . Respon sistem *loop* tertutup ditentukan oleh model yang keluarannya dinotasikan y_m ,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

output proses dinotasikan sebagai y . *Error* merupakan selisih antara keluaran y dari sistem tertutup dan keluaran dari model y_m . *Error* dinotasikan sebagai e . Pengaturan parameter dilakukan dengan meminimalkan fungsi kerugian (*The loss function, $J(\theta)$*) [7]:

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \tag{2.1}$$

Agar J kecil dilakukan perubahan parameter pada gradien negatif dari J [7]:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \tag{2.2}$$

Persamaan di atas disebut aturan *MIT (MIT Rule)*. Turunan parsial $\frac{d\theta}{dt}$ disebut sebagai turunan kepekaan (*sensitivity derivative*) sistem yang menunjukkan bagaimana *error* dipengaruhi oleh parameter yang dapat diukur (*adjustable parameters*). Jika diasumsikan parameter berubah lebih lambat dari variabel lain dari sistem, $\frac{d\theta}{dt}$ diasumsikan konstan.

2.3.3.1 Penggunaan Satu Gamma

Untuk penggunaan satu gain nilai eror didefinisikan sebagai berikut[7] :

$$e = y - y_m = kGU - k_0GU_c = kG\theta U_c - k_0GU_c \tag{2.3}$$

dengan menurunkan *error e* terhadap θ , maka didapatkan[7]:

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = kGU_c = k * \frac{y_m}{k_0} = \frac{k}{k_0} y_m \tag{2.4}$$

Terakhir *MIT Rule* diterapkann untuk *update* parameter θ sebagai berikut[7]:

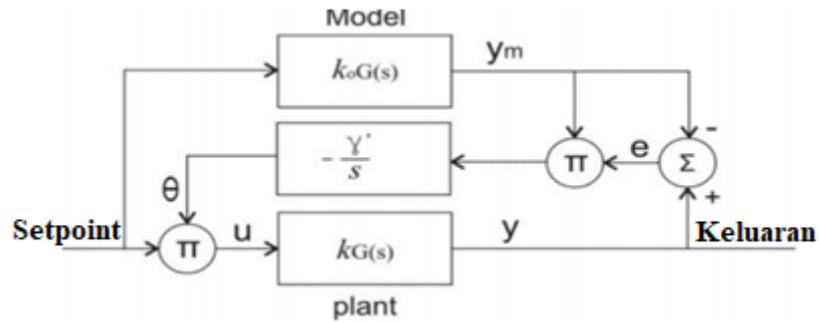
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{k}{k_0} y_m = -\gamma' y_m e \tag{2.5}$$

$$\theta = \int (-\gamma' y_m e) dt \tag{2.6}$$

Dengan $-\gamma'$ adalah $-\gamma \frac{k}{k_0}$, sehingga perancangan sistem akhirnya menjadi seperti pada gambar berikut.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.3 Skema MRAC dengan Metode *MIT Rule* Satu Gamma[7]

2.3.3.2 Penggunaan Dua Gamma

Selanjutnya, persamaan untuk memperbarui θ disebut sebagai fungsi turunan sensitivitas.

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (2.7)$$

Kemudian diasumsikan bahwa pengendali memiliki umpan balik adaptif (θ_1) dan umpan balik adaptif (θ_2). Selanjutnya adalah menurunkan umpan balik adaptif (θ_1) dan umpan balik adaptif (θ_2) untuk mendapatkan y_{plant} . Namun, *input* u dapat ditulis ulang menggunakan kedua umpan balik, umpan balik ini bisa digunakan untuk mendapatkan persamaan y_{plant} .

$$u = \theta_1 u_c - \theta_2 y_{plant} \quad (2.8)$$

$$e = y_{plant} - y_{model} = G_p u - G_m u_c \quad (2.9)$$

$$y_{plant} = G_p u = \left(\frac{am}{s+am} \right) (\theta_1 u_c - \theta_2 y_{plant}) \quad (2.10)$$

$$y_{plant} = \left(\frac{am\theta_1}{s+am\theta_2} \right) u_c \quad (2.11)$$

Selanjutnya adalah mencari nilai *error* dengan mengambil turunan parsial *error* dengan nilai (θ_1) dan (θ_2). Nilai u_c tidak termasuk parameter, oleh karena itu tidak penting saat mengevaluasi turunannya

$$e = \left(\frac{am\theta_1}{s+am\theta_2} \right) u_c - G_m u_c \quad (2.12)$$

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_1} = \left(\frac{am}{s+am\theta_2} \right) u_c \quad (2.13)$$



$$\begin{aligned} \frac{\delta e}{\delta \theta_2} &= -\frac{am\theta_1}{(s+am\theta_2)^2} u_c \\ &= -\frac{am}{s+am\theta_2} y_{plant} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Turunan sensitivitas yang diperoleh mengandung parameter dari *plant*. Jika modelnya mendekati *plant* aktual, karakteristik model dapat disesuaikan dengan karakteristik *plant*, sehingga memberikan turunan sensitivitas sebagai berikut[7]:

$$s + am\theta_2 \approx s + am$$

Mengambil turunan dari umpan balik MRAC, maka didapatkan[7]:

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_1} = \frac{a_m}{s+am} u_c \quad (2.15)$$

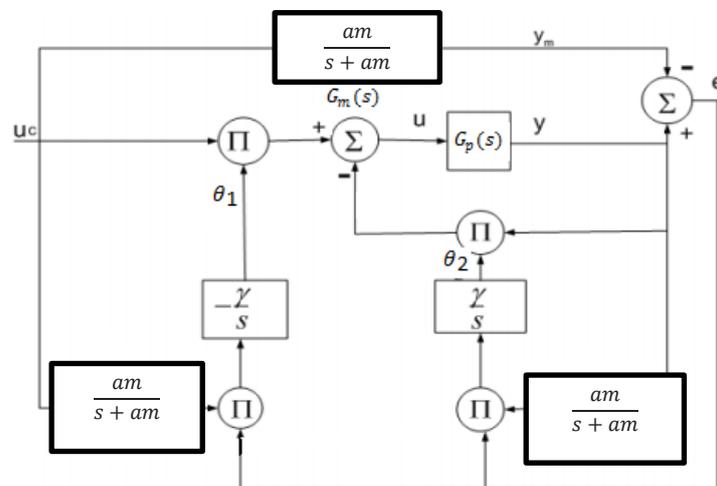
$$\frac{\delta e}{\delta \theta_2} = -\frac{a_m}{s+am} y_{plant} \quad (2.16)$$

Selanjutnya adalah menerapkan *MIT Rule*, aturan *update* parameter untuk masing-masing θ diturunkan. Sehingga untuk *filter* nilai *error* dan γ menjadi[7] :

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_1} e = -\gamma \left(\frac{a_m}{s+am} u_c \right) e \quad (2.17)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_2} e = \gamma \left(\frac{am}{s+am} y_{plant} \right) e \quad (2.18)$$

Sehingga berdasarkan persamaan matematis yang sudah diturunkan, didapatkan skema MRAC sebagai berikut :



Gambar 2.4 Skema MRAC dengan Metode *MIT Rule* Dua Gamma[7]

Hak cipta diinungungi undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.3.3.3 Penggunaan Tiga Gamma

Kemudian diasumsikan bahwa pengendali memiliki umpan balik adaptif (θ_1) , (θ_2) dan (θ_3) . Selanjutnya adalah menurunkan umpan balik adaptif (θ_1) , (θ_2) dan (θ_3) untuk mendapatkan y_{plant} . Namun, *input* u dapat ditulis ulang menggunakan kedua umpan balik, umpan balik ini bisa digunakan untuk mendapatkan persamaan y_{plant} [7].

$$u = \theta_1 u_c + \theta_2 u_c + \theta_3 y_{plant} \quad (2.19)$$

$$e = y_{plant} - y_{model} = G_p u - G_m u_c \quad (2.20)$$

$$y_{plant} = G_p u = \left(\frac{am}{s+am} \right) (\theta_1 u_c + \theta_2 u_c + \theta_3 y_{plant}) \quad (2.21)$$

$$y_{plant} = \left(\frac{am\theta_1 + \theta_2}{s+am\theta_3} \right) u_c \quad (2.22)$$

Selanjutnya adalah mencari nilai *error* dengan mengambil turunan parsial *error* dengan nilai (θ_1) , (θ_2) dan (θ_3) [7].

$$e = \left(\frac{am\theta_1 + \theta_2}{s+am\theta_1+am\theta_2+am\theta_3} \right) u_c - G_m u_c \quad (2.23)$$

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_1} = \left(\frac{am}{s+am\theta_1+am\theta_2+am\theta_3} \right) u_c \quad (2.24)$$

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_2} = \left(\frac{am}{s+am\theta_1+am\theta_2+am\theta_3} \right) u_c \quad (2.25)$$

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_3} = - \left(\frac{am}{(s+am\theta_1+am\theta_2+am\theta_3)^2} \right) Y_p \quad (2.26)$$

Turunan sensitivitas yang diperoleh mengandung parameter dari *plant*. Jika modelnya mendekati *plant* aktual, karakteristik model dapat disesuaikan dengan karakteristik *plant*, sehingga memberikan turunan sensitivitas sebagai berikut[7]:

$$s + am\theta_2 + am\theta_3 \approx s + am$$

Mengambil turunan dari umpan balik MRAC, maka didapatkan[7]:

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_1} = \frac{a_m}{s+a_m} u_c \quad (2.27)$$

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_2} = \frac{a_m}{s+a_m} u_c \quad (2.28)$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak cipta dimiliki undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_3} = -\frac{a_m}{s+a_m} Y_p \tag{2.29}$$

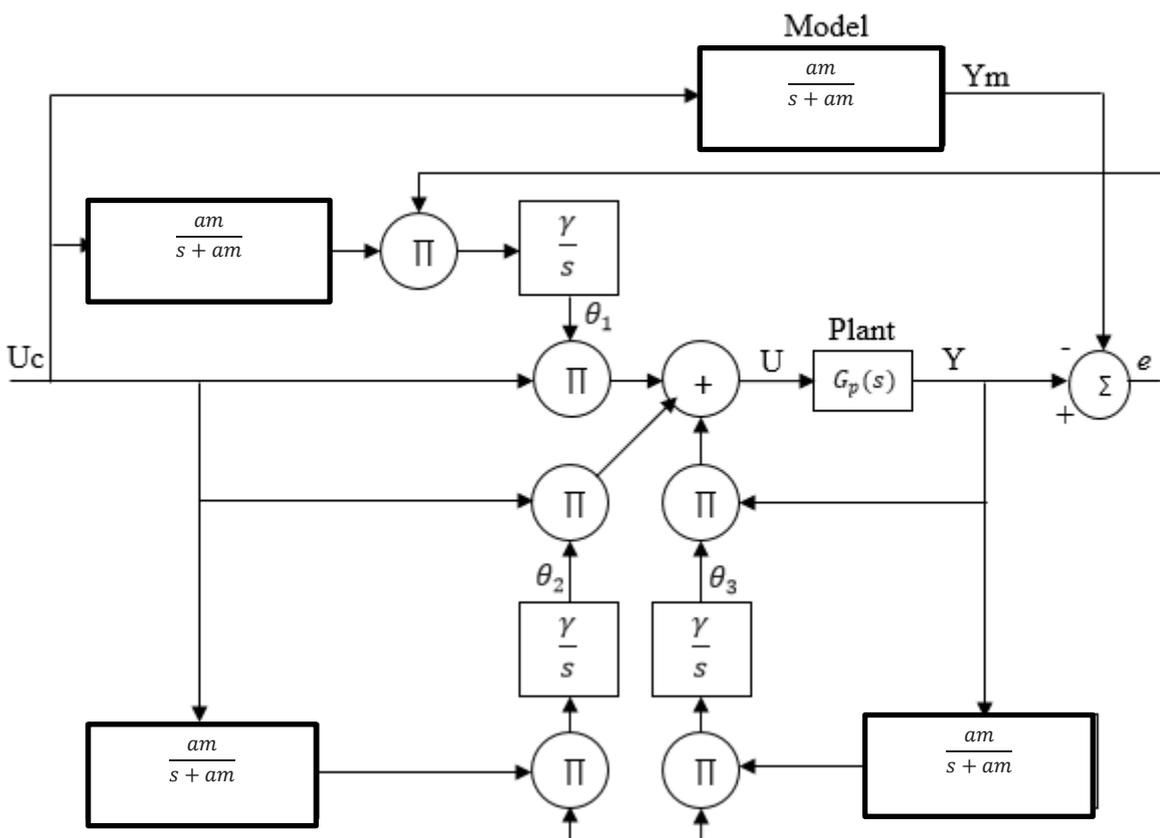
Selanjutnya adalah menerapkan *MIT Rule*, aturan *update* parameter untuk masing-masing θ diturunkan. Sehingga untuk *filter* nilai *error* dan γ menjadi[7]:

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_1} e = \gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} u_c \right) e \tag{2.30}$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_2} e = \gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} u_c \right) e \tag{2.31}$$

$$\frac{d\theta_3}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_2} e = \gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} y_{plant} \right) e \tag{2.32}$$

Sehingga berdasarkan persamaan matematis yang sudah diturunkan, didapatkan skema MRAC sebagai berikut :

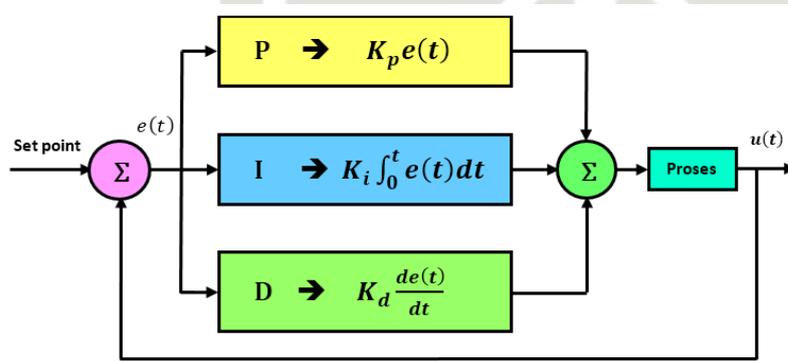


Gambar 2.5 Skema MRAC dengan Metode *MIT Rule* Tiga Gamma[7]

2.4 Proportional Integral Derivative (PID)

Pengendali PID terdiri dari perpaduan dasar beberapa aksi pengendalian yaitu *proportional*, *integral* dan *derivative*. PID merupakan pengendali konvensional yang paling banyak digunakan di dunia sejak awal ditemukan. Selama lebih dari 50 tahun, pengendali PID dimanfaatkan dengan baik pada beberapa aplikasi proses industri, penerbangan, dan lain sebagainya. Pengendali ini dapat digunakan sendiri-sendiri ataupun dipadukan sekaligus ketiganya.

Berikut bentuk umum dari pengendali PID :



Gambar 2.6 Diagram blok kendali PID[20]

Berikut persamaan matematik kendali PID :

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (2.33)$$

Dimana:

K_p = *Proporsional Gain*

K_i = *Integral Gain*

K_d = *Derivatif Gain*

Kendali *proportional* (P) dapat digunakan untuk mempercepat respon sistem, kendali *integral* (I) digunakan untuk mengurangi *error* keluaran sistem, dan kendali *derivative* (D) dapat difungsikan untuk menghilangkan *overshoot*. Sehingga jika ketiga kendali tersebut dikombinasikan akan menghasilkan respon yang bagus. Pengabungan 3 pengendali ini dapat melengkapi satu lain. Pengendali tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing. Efek dari masing pengendali adalah sebagai berikut.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Tabel 2.1 Tanggapan Sistem Kendali PID Terhadap Perubahan Parameter[4]

	<i>Rise Time</i>	<i>Osilasi</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Error Stady State</i>
<i>Propotional</i>	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan Sedikit	Menurunkan
<i>Integral</i>	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Menghilangkan
<i>Derivative</i>	Perubahan Sedikit	Menurunkan	Menurunkan	Perubahan Sedikit

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing masing pengendali P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengendali *proportional plus integral plus derivative* (pengendali PID). Elemen-elemen pengendali P, I dan D masing masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Karakteristik pengendali PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i , dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan[4].

2.5 Sistem Pendingin

Sistem Pendingin adalah sebuah ruangan yang akan di rancang khusus dengan kondisi suhu tertentu dan akan digunakan untuk menyimpan berbagai macam produk dengan tujuan untuk mempertahankan kesegaran. Dimana sistem kendali melibatkan masukan berupa variabel temperatur dan kelembaban, komputer dan *arduino* berfungsi sebagai pengendali, sedangkan kompresor dan *humidifier* berfungsi sebagai *actuator*, adapun umpan balik sistem dapat dilakukan dengan menambahkan sensor temperatur dan kelembaban yaitu sensor DHT22[17].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

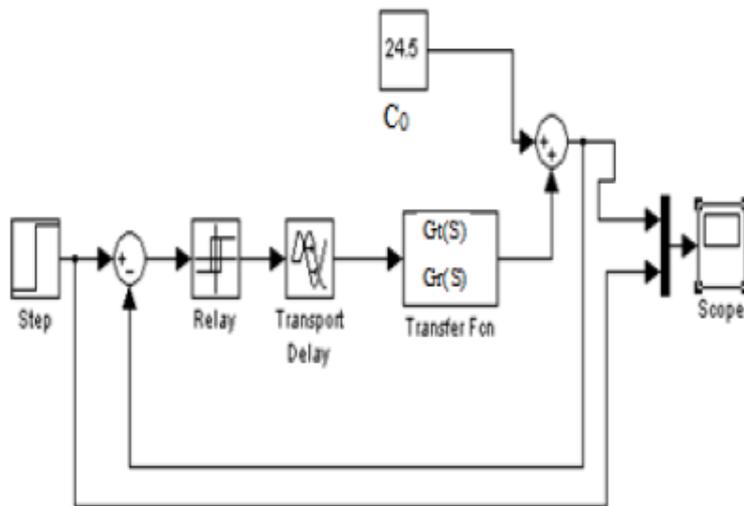
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



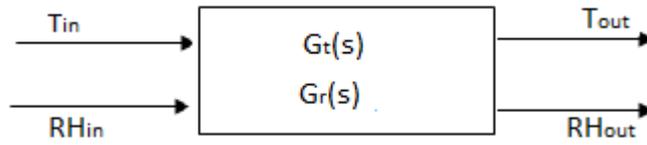
Gambar 2.7 Sistem Pendingin jamur merang[17]

Pengendali melibatkan komponen arduino uno sebagai *central processing unit* dan modul relay untuk mengendalikan aktuator. Adapun aktuator yang digunakan adalah kompresor untuk kompensasi temperatur dan *humidifier* untuk kompensasi kelembaban udara.



Gambar 2.8 Rancangan sistem kendali menggunakan SIMULINK [17].

Pengendalian proses akan berjalan dengan baik bila dilakukan perancangan dan simulasi sebelum diterapkan pada sistem fisik. Sistem yang terlibat pada pengendalian proses pengawetan jamur merang dapat dilihat pada Gambar 2.4 Dimana $G_t(s)$ adalah sistem yang melibatkan variabel temperatur dan $G_r(s)$ merupakan sistem yang melibatkan variabel kelembaban udara[17].



Gambar 2.9 Diagram blok sistem sistem pendingin jamur merang [17]

Keterangan :

T_{in} : Temperatur masukan

T_{out} : Temperatur keluaran

RH_{in} : Kelembaban udara masukan

RH_{out} : Kelembaban udara keluaran

$G_t(s)$: Sistem temperatur

$G_r(s)$: Sistem kelembaban udara

$$G_t(s) = \frac{k_1 e^{-\theta_1 s}}{\tau_1 s + 1} \quad (2.34)$$

$$G_r(s) = \frac{k_2 e^{-\theta_2 s}}{\tau_2 s + 1} \quad (2.35)$$

K_1 : Penguatan sistem temperatur

K_2 : Penguatan sistem kelembaban

θ_1 : waktu tunda sistem temperatur

θ_2 : waktu tunda sistem kelembaban

τ_1 : *time const* sistem temperatur

τ_2 : *time const* sistem kelembapa

Tabel 2.2 Spesifikasi Sistem Pendingin[17]

Ukuran (p x l x t)	63, 5 x 56, 5 x 82, 8 cm
Kapasitas	120 liter
Tegangan	220 V/50 Hz
Gas Pendingin	R-134A
Daya Listrik	90 W
Berat Bersih	28 Kg

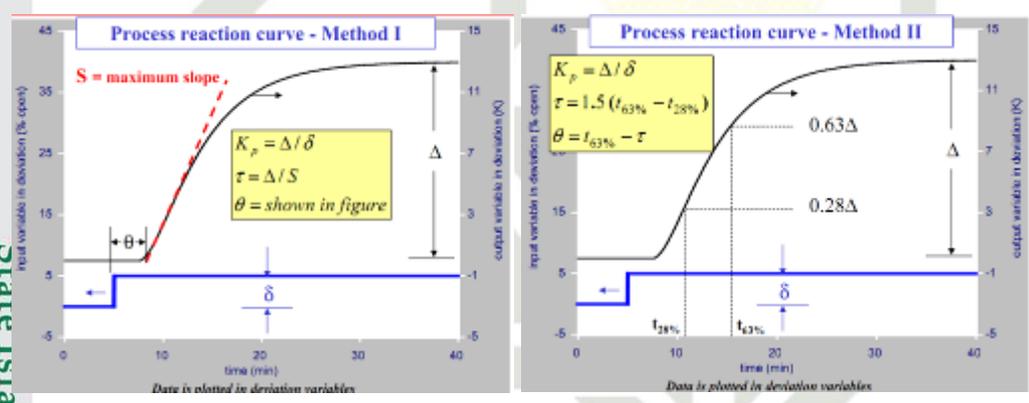
Kompresor	¼ P
-----------	-----

Tabel 2.3 Spesifikasi Sistem Kelembapan[17]

Noise	35 dB
Kapasitas	2,5 Ltr
Tegangan	220 V/50 Hz
Water (mist) flow	250 ml/h
Gas Pendingin	R-134A
Tegangan	20 W
Dimension	220 V/50 Hz
Daya Listrik	193x193x323 mm

2.6 Model Matematis Jamur Merang

Untuk mendapatkan model matematis sistem Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Process Reaction Curve* (PRC) orde satu untuk mengidentifikasi grafik respon sistem tersebut. Berikut persamaan PRC orde satu :



Gambar 2.10 (a) *Process Reaction Curve – Method I*; (b) *Process Reaction Curve – Method II* [22]

Kendali proses ditandai oleh sistem yang memiliki waktu tunda. Kompleksitas sistem yang biasanya berisi beberapa sub urutan pertama sistem, sering akan menghasilkan kurva reaction proses (dinamis terhadap perubahan step dalam input), yang memiliki waktu tunda murni. Kurva reaksi dapat ditundukan dengan mengesampingkan prosedur uji langkah berikut. Dengan pengendali pada ‘manual’ yaitu loop terbuka. Langkah perubahan magnitude δ dalam sinyal kendali $u(t)$ diterapkan pada proses. Besaran δ harus cukup besar untuk perubahan berurutan $\Delta(t)$ dalam variabel keluaran proses menjadi terukur, tetapi tidak begitu besar sehingga respon akan terdistorsi oleh proses nonlinear. *Output*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 © Hak Cipta milik UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

proses dicatat untuk periode dari pengendali langkah perubahan dalam input, sampai proses mencapai kondisi *steady state* yang baru. Model yang paling umum digunakan untuk karakteristik kurva reaksi proses adalah sebagai berikut[23]

$$G_t(s) = \frac{k_1 e^{-\theta_1 s}}{\tau_1 s + 1} \quad (2.36)$$

Berikut pemodelan orde pertama plus waktu tunda. Respon untuk perubahan langkah dalam sinyal input besarnya δ diberikan oleh [23]

$$G_t(s) = \frac{k_1 e^{-\theta_1 s}}{\tau_1 s + 1} \frac{\delta}{s} = k\delta e^{-\theta s} \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{\tau_1 s + 1} \right] \quad (2.37)$$

Pembalikan dengan bantuan tabel transformasi dan menerapkan teorema laplace mengubah $\mathcal{L}[y(t - t_0) \mu(t - t_0)] = e^{-st_0} Y(s); t_0 > 0$, sehingga didapatkan[23]

$$\Delta(t) = k\delta \left[1 - e^{-\frac{t-\theta}{\tau}} \right]; t > \theta \quad (2.38)$$

$$= 0 \quad ; t \leq \theta$$

Istilah Δ adalah perturbasi atau perubahan dalam output dari nilai awalnya [23]

$$\Delta(t) = \Delta(t) - \Delta(0)$$

Gambar 2.3 Menunjukkan respon model terhadap perubahan langkah magnitude δ pada sinyal input, Δ adalah perubahan status *steady state* dalam output proses [23]

$$0.63\Delta = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta(t) = k\delta$$

Pada titik $t = \theta$ sumbu waktu, variabel *output* proses meninggalkan kondisi *steady state* awal dengan tingkat perubahan maksimum pada persamaan (2.5) :

$$\frac{d}{dt} \Delta(t) |_{t = \theta} = k\delta \left(\frac{1}{\tau} \right) = \frac{0.63\Delta}{\tau}$$

Konstanta waktu menaikkan jarak pada sumbu waktu antara titik $t = \theta$, dan titik dimana ujung ke kurva respon model, digambar pada $t = \theta$, melintasi keadaan *steady state* yang baru. Perhatikan bahwa respon model pada $t = \theta + \tau$ diberikan oleh [23]

$$\Delta(\theta + \tau) = k\delta(1 - e^{-1}) = 0.63\Delta$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Parameter model K diberikan oleh [23]:

$$K = \frac{\text{perubahan output pada kondisi steady state}}{\text{perubahan input step}} = \frac{\Delta}{\delta} \quad (2.39)$$

Estimasi parameter model τ dan θ dapat dilakukan oleh, setidaknya tiga metode yang masing-masing menghasilkan nilai yang berbeda [23]

1. Metode tangent

Metode ini memanfaatkan garis yang bersinggungan dengan kurva reaksi proses pada titik laju perubahan maksimum. Konstanta waktu kemudian didefinisikan sebagai jarak pada sumbu waktu, di antara titik dimana tangent memotong *steady state* awal dari variabel output, dan titik dimana ia melintasi nilai *steady state* baru. Waktu mati adalah jarak pada sumbu waktu, antara terjadinya perubahan langkah input dan titik dimana garis tangent memotong keadaan mapan awal.

2. Metode tangent dan point

Dalam metode ini, θ ditentukan dengan cara yang sama seperti pada metode sebelumnya, tetapi nilai τ adalah salah satu yang memaksa respon model bertetapan dengan respon yang sebenarnya pada $\theta + \tau$. Nilai τ yang diperoleh dengan metode ini biasanya kurang dari yang diperoleh dengan metode yang sebelumnya, dan proses kurva reaksi biasanya lebih dekat dengan respon model yang diperoleh dengan metode ini dibandingkan dengan yang diperoleh dengan metode sebelumnya.

3. Metode dua point

Langkah paling tepat dalam penentuan θ dan τ dengan metode dua metode sebelumnya, dimana garis yang bersinggungan dengan kurva reaksi proses pada titik laju perubahan maksimum. Untuk menghilangkan ketergantungan ini pada garis singgung, diusulkan bahwa nilai-nilai θ dan τ dipilih sedemikian rupa sehingga model dan respon yang sebenarnya bertepatan pada dua titik di wilayah tingkat perubahan yang tinggi. Dua poin yang direkomendasikan adalah $(\theta + \frac{1}{3}\tau)$ dan $(\theta + \tau)$. Untuk menemukan titik-titik ini dapat menggunakan persamaan (2.5)

$$\Delta \left(\theta + \frac{1}{3}\tau \right) = k\delta \left[1 - e^{-\frac{1}{3}} \right] = 0.28\Delta$$

$$\Delta (\theta + \tau) = k\delta [1 - e^{-1}] = 0.63\Delta$$

Diketahui t_1 dan t_2 sehingga didapatkan θ dan τ

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\theta + \tau = t_2; \theta + \frac{1}{3} \tau = t_1$$

sehingga

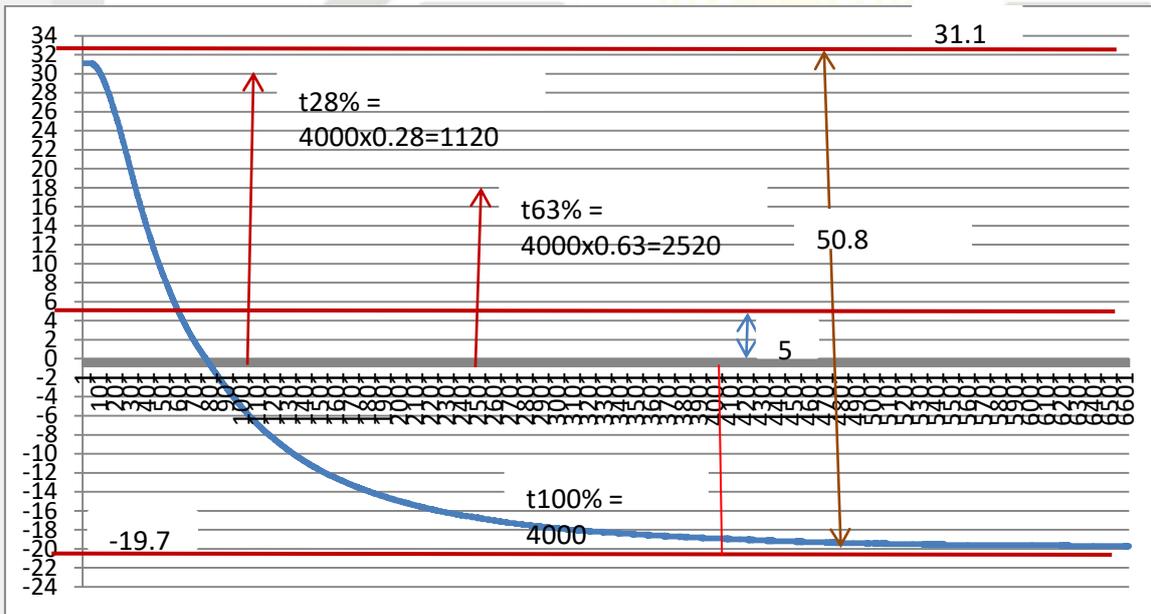
$$\tau = \frac{2}{3}(t_2 - t_1); \theta = t_2 - \tau$$

dimana :

$$t_1 = \text{waktu dimana } \Delta(t) = 0.28\Delta$$

$$t_2 = \text{waktu dimana } \Delta(t) = 0.63\Delta$$

Langkah awal dalam pemodelan sistem ini adalah melakukan pengambilan data temperatur udara sebelum diterapkan pengendali. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *arduino uno* yang dikomunikasikan secara serial ke komputer, respon *output* temperatur udara dapat dilihat pada gambar 2.6 dan disubsitusikan persamaan pemodelan eksperimental sistem pendingin jamur merang untuk mendapatkan nilai *transfer function* :



Gambar 2.11 Grafik pemodelan temperatur [17]

Nilai delta (Δ) di plot langsung dari grafik[17]:

$$\Delta = 50.8 \text{ } ^\circ\text{C} \tag{2.40}$$

Nilai awal diperoleh dari konstanta yaitu 31.1 dimana fungsi konstanta untuk menaikan nilai awal.

Untuk mendapatkan nilai akhir maka :

Nilai awal – delta (Δ)

$$= 31,1 - 50,8$$

$$= -19,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Maka nilai delta (Δ) :

$$\Delta = \text{nilai akhir} - \text{nilai awal}$$

$$= -19,7 - 31,1$$

$$= -50,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= \frac{\Delta}{\delta}$$

$$= \frac{-50,8}{5}$$

$$= -10.16 \tag{2.41}$$

$$t_{100\%} = 4.000 \times 1$$

$$= 4.000 \text{ detik} \tag{2.42}$$

$$t_{28\%} = 4.000 \times 0.28$$

$$= 1.120 \text{ detik} \tag{2.43}$$

$$t_{63\%} = 4.000 \times 0.63$$

$$= 2.520 \text{ detik} \tag{2.44}$$

$$\tau = 1,5 (t_{63\%} - t_{28\%})$$

$$= 1,5 (2.520 - 1.120)$$

$$= 1,5 (1.400)$$

$$= 2.100 \text{ detik} \tag{2.45}$$

$$\theta = t_{63\%} - \tau$$

$$= 2.520 - 1.120$$

$$= 420 \text{ detik} \tag{2.46}$$

Table 2.4 Data Pemodelan

Deskripsi	Nilai
Δ	-50,8 $^\circ\text{C}$
θ	420 detik
T	2.100 detik

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$t_{100\%}$	4.000 detik
$t_{28\%}$	1.120 detik
$t_{63\%}$	2.520 detik
k	-10,16

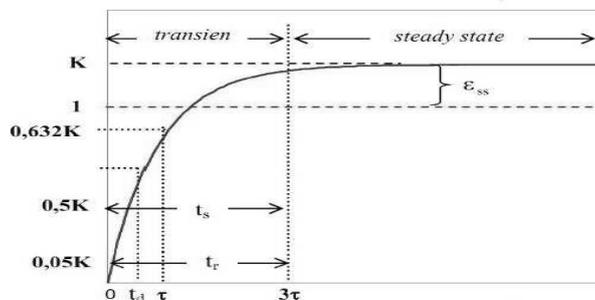
Variabel-variabel yang didapatkan disubstitusikan pada persamaan 2.36 Jadi fungsi alih sistem pendingin jamur merang untuk mengendalikan temperatur adalah :

$$G_t(s) = \frac{-10,16e^{-420s}}{2.100s+1} \quad (2.47)$$

2.7 Analisa Respon Transien

Pengendalian sistem pendingin jamur merang merupakan sistem berorde satu, oleh sebab itu metode identifikasi yang dilakukan adalah metode identifikasi statis. Metode identifikasi dilakukan dengan pendekatan grafis, di mana sinyal uji diberikan pada sistem untuk mengetahui respon *open loop* sistem. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem.

Salah satu metode identifikasi statis adalah metode pengamatan respon waktu. Identifikasi sistem dengan metode ini bekerja berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan *step*. Karakteristik respon waktu untuk sistem orde pertama diberikan berdasarkan respon sistem terhadap masukan sinyal *step*. Karakteristik respon waktu sistem orde pertama dibedakan menjadi karakteristik respon transien dan keadaan tunak (*steady state*). Grafik respon sistem orde pertama untuk $X_{ss} = 1$ dan $Y_{ss} = K$ ditunjukkan pada Gambar 2.4[20].



Gambar 2.12 Respon sistem orde pertama

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Respon transien terdiri dari:

1) Spesifikasi teoritis:

Konstanta waktu (τ), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai dari $t=0$ sampai dengan respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*. Konstanta waktu menyatakan kecepatan respon sistem. Konstanta waktu yang lebih kecil akan mempercepat respon sistem

2) Spesifikasi praktis:

1. Waktu tunak atau *settling time* (t_s), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah stabil. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ , maka t_s dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$t_s (\pm 3\%) \approx 5\tau$$

$$t_s (\pm 4\%) \approx 2\tau$$

$$t_s (\pm 5\%) \approx 0,5\tau$$

2. Waktu naik atau *rise time* (t_r), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan tunak (*steady state*). Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ , maka t_r dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$t_r (5\% - 95\%) \approx \tau \ln 19$$

$$t_r (10\% - 90\%) \approx \tau \ln 9$$

3. Waktu tunda atau *delay time* (t_d), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai $t=0$ sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan tunak (*steady state*). Waktu tunda menyatakan besarnya faktor keterlambatan respon akibat proses *sampling*. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ , maka t_d dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$t_d (\pm 3\%) \approx \tau \ln 2$$

4. Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*) sistem orde pertama diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* (e_{ss}).

$$e_{ss} = R_{ss} - C_{ss}$$

dengan C_{ss} dan R_{ss} masing – masing adalah keluaran dan masukan sistem pada keadaan tunak.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

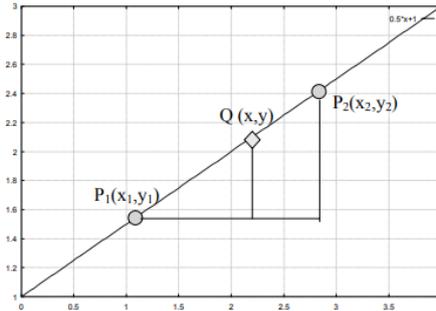
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

2.8 Interpolasi Linier

Interpolasi adalah menentukan titik-titik antara dari n buah titik dengan menggunakan suatu fungsi pendekatan tertentu. Salah satu metode interpolasi adalah interpolasi linier yaitu menentukan titik-titik antara 2 buah titik dengan menggunakan garis lurus.



Gambar 2.13 Kurva untuk Interpolasi Linier [24]

Persamaan garis lurus yang melalui 2 titik $P_1(x_1, y_1)$ dan $P_2(x_2, y_2)$ dapat dituliskan dengan:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.48)$$

Sehingga diperoleh persamaan dari interpolasi linier sebagai berikut:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 \quad (2.49)$$

Algoritma Interpolasi Linier adalah sebagai berikut :

1. Tentukan dua titik P_1 dan P_2 dengan koordinatnya masing-masing (x_1, y_1) dan (x_2, y_2)
2. Tentukan nilai x dari titik yang akan dicari
3. Hitung nilai y dengan persamaan

Tampilkan nilai titik yang baru $Q(x, y)$

2.9 Model Referensi MRAC

Untuk membuat model referensi dengan karakteristik orde satu maka mengikuti persamaan berikut[25]:

$$\frac{Y_m(s)}{Z(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2.50)$$

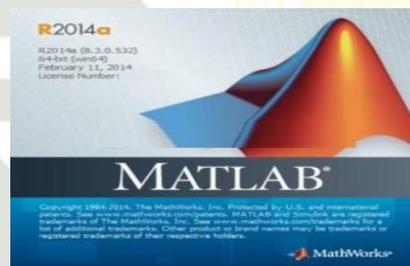
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada perancangan tugas akhir ini diinginkan model dengan spesifikasi disain memiliki karakteristik orde pertama dengan $\%Ess = 0$, tidak ada *Osilasi* dan *Offset*. Nilai dari K dipengaruhi oleh t_s . Dalam pembuatan model nilai t_s bisa ditentukan sendiri sesuai keinginan pada waktu berapa respons model mencapai daerah stabil.

2.10 MATLAB

MATLAB atau yang kita sebut dengan (*Matrix Laboratory*) yaitu sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan MATLAB juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks. MATLAB bersifat *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk menambahkan pada *library*, ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Kemampuan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit bila kita telah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C, PASCAL, atau FORTRAN.



Gambar 2.14 Ikon MATLAB

Matlab dikembangkan oleh Mathwork pada tahun 1970. Aplikasi Matlab itu sendiri banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik. Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk plot grafik dan dapat juga dirancang menggunakan GUI (*Graphical User Interface*) yang kita rancang. Pada *software* Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program yaitu:

1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Command history* berfungsi agar fungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat digunakan kembali.
3. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Simulink-Matlab Simulink adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam Matlab untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Program simulink memudahkan user untuk membuat suatu simulasi lebih interaktif. Tiruan sistem diharapkan mempunyai perilaku yang sangat mirip dengan sistem fisik. Jika digunakan dengan benar, simulasi akan membantu proses analisis dan desain sistem.



UIN SUSKA RIAU

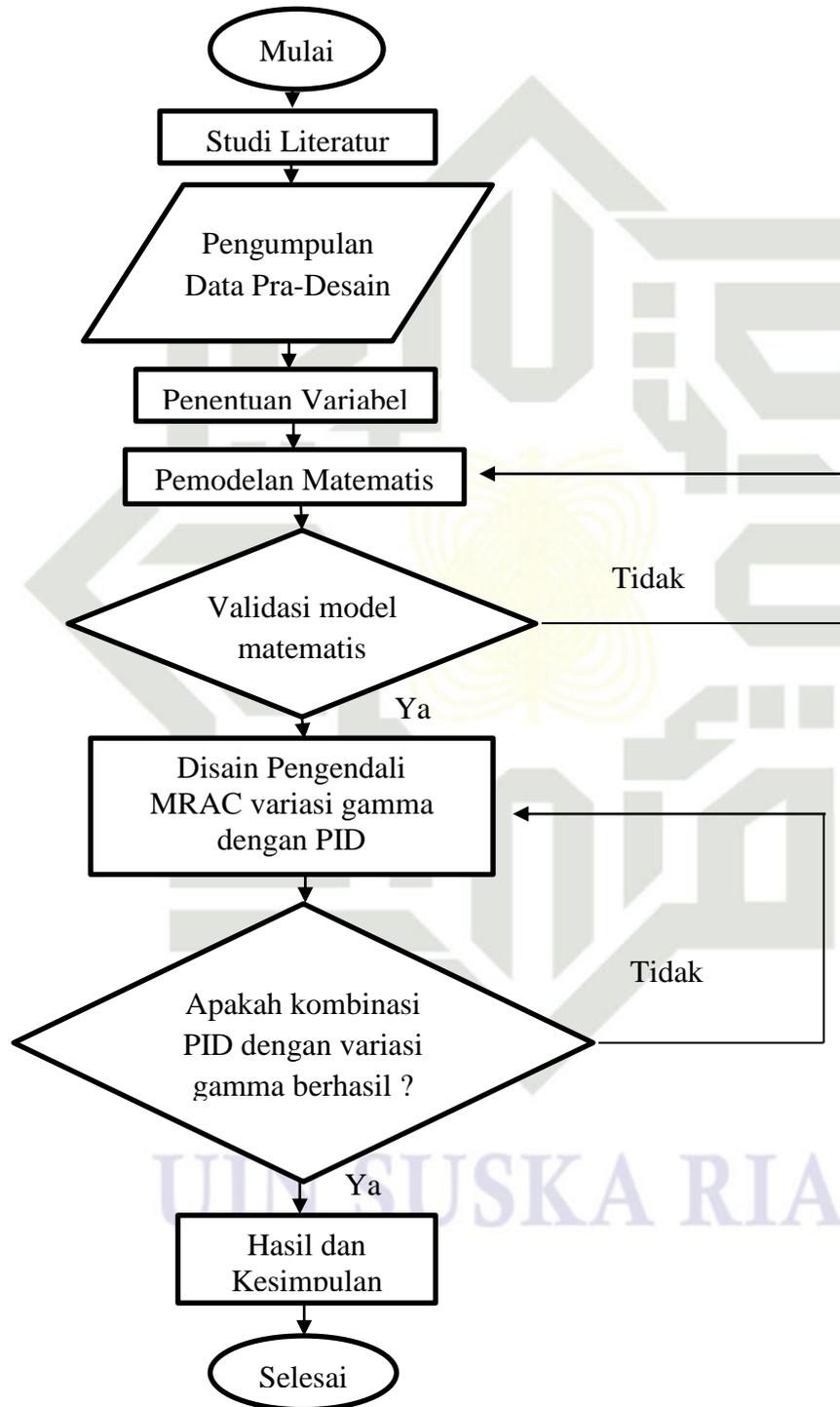
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian



Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Studi literatur

Mencari dan mempelajari referensi yang terkait dengan tema yang dibahas pada penelitian tugas akhir ini, yaitu mengenai pengaruh PID pada penambahan nilai gamma MRAC baik dari jurnal, artikel penelitian yang telah dipublikasikan di internet maupun buku-buku.

2. Pengumpulan Data Pra-Desain

Pada tahap ini, pengumpulan data dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sistem yang akan diteliti meliputi data setpoint sebesar 5°C dan ketetapan *transfer function* berdasarkan persamaan (2.34).

3. Penentuan Variabel

Data-data yang sudah didapatkan dibuat dalam model matematis berbentuk persamaan *transfer function* pada persamaan (2.47).

4. Pemodelan matematis

Pemodelan matematis pada sistem pendingin jamur merang dirujuk berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Karsid dan Rofan Aziz.

5. Validasi model matematis

Validasi model matematis sistem adalah tahap pengujian model matematis dalam bentuk *transfer function* dari sistem yang sudah diubah ke dalam bentuk bahasa pemrograman *matlab simulink* guna divalidasi bentuk keluarannya, apakah hasil keluarannya sudah sesuai dengan rujukan[17].

6. Disain pengendali MRAC variasi gamma dengan PID

Untuk merancang pengendali MRAC dengan variasi gamma terlebih dahulu dilakukan penentuan matematis pengendali MRAC menggunakan metode MIT-Rule orde satu. Penggunaan metode MIT-Rule dikarenakan pemodelan matematis sistem termasuk kedalam sistem orde satu. Selanjutnya melakukan kombinasi MRAC dengan satu, dua, tiga gamma dengan PID.

7. Analisa Hasil Pasca-Disain

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Analisa Hasil Pasca-Disain

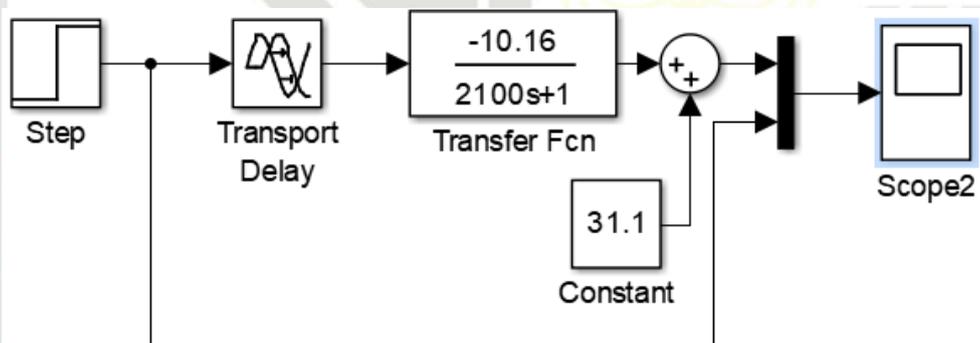
Pada tahap ini penulis akan melakukan analisa dari hasil perancangan MRAC dengan variasi jumlah gamma dengan kombinasi PID setelah diujikan pada sistem pengendalian temperatur pada *Cold Storage*. Sehingga diketahui pengaruh dari perubahan dan penambahan pada perancangan pengendali adaptif metode *Model Reference Adaptive Control (MRAC)*.

8. Hasil Disain dan Kesimpulan

Pada tahap ini penulis menarik kesimpulan bagaimana pengaruh perubahan dan penambahan gamma pada perancangan pengendali adaptif metode *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* dengan kombinasi PID berdasarkan dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan.

3.2 Validasi Model Matematis

Validasi model matematis untuk sistem pendingin jamur merang dilakukan dengan mensimulasi persamaan 2.47 secara *open loop* tanpa pengendali untuk mengetahui perilaku dan karakteristik dari sistem sebelum dirancang pengendali.



Gambar 3.2 *open loop* Sistem pendingin jamur merang

3.3 Perancangan Pengendali

3.3.1 Alur Perancangan Pengendali

Adapun alur perancangan kendali sebagai berikut :

1. Menentukan Model Matematis Sistem (*plant*)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Karakteristik dari sistem harus dipastikan, apakah sistem termasuk dalam sistem orde satu atau orde dua. Kedua sistem yang digunakan pada penelitian ini merupakan sistem orde satu.

2. Membuat Model Referensi

Jika sistem yang akan dikendalikan merupakan sistem orde satu maka model referensi yang dibuat juga harus sesuai karakteristik sistem orde satu.

3. Perancangan Pengendali MRAC

Setelah membuat model referensi langkah selanjutnya yaitu merancang pengendali MRAC. Perancangan pengendali MRAC menggunakan metode *MIT Rule* yang merujuk pada buku dan jurnal-jurnal penelitian dengan variasi gamma (1-3)

4. Setelah selesai perancangan pengendali MRAC selanjutnya menentukan nilai masing-masing gamma untuk mendapatkan hasil respons yang diinginkan. Metode yang digunakan untuk menentukan nilai gamma yaitu metode Heuristik. Metode Heuristik merupakan sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba. Heuristik adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode Heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan. Adapun alur penentuan nilai gain pada MRAC sebagai berikut:

1. Dimulai dengan memberi nilai gamma 0. Perhatikan respons sistem apakah sudah menyerupai model atau tidak.
2. Jika tidak atau tidak ada respons dari sistem, beri nilai gamma 10^{-10} . Jika belum ada perubahan naikkan nilai gain menjadi, $10^{-9}, 10^{-8}, 10^{-7}, \dots 10^{-6}$ sampai terjadi perubahan pada respons sistem.
3. Jika perubahan respons semakin mendekati model, lanjutkan penaikan nilai gain sampai respons sistem persis seperti model. Jika perubahan respons semakin menjauhi model, ubah nilai gain menjadi negatif (-10^{-7}) dan lanjutkan penaikan nilai gain sampai respons sistem persis seperti model.

Pemilihan nilai gamma adaptasi yang kecil menghasilkan respon plant yang lambat dalam mengikuti model referensinya, sebaliknya nilai gain adaptasi yang besar menghasilkan respon sistem beresilasi.

3.4 Membuat Model Referensi

Pada sistem *model reference adaptive control* dibutuhkan model referensi. Pada perancangan tugas akhir ini diinginkan spesifikasi disain memiliki karakteristik orde pertama dengan %Ess= 0, tidak ada *osilasi* dan *offset*, nilai dari K dipengaruhi oleh t_s . Dalam pembuatan model nilai t_s bisa ditentukan sendiri sesuai keinginan pada waktu berapa respons model mencapai daerah stabil. Dengan memberikan nilai t_s 300 detik dan nilai gain *overall* (K)= 1. Agar respon mulai masuk ke daerah stabil pada waktu ± 300 detik. Dengan waktu kontinu orde satu dapat kita representasikan dalam bentuk persamaan:

$$\frac{Y_m(s)}{u_c(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (3.1)$$

3.5 Perancangan Pengendali MRAC, MRAC kombinasi PID dan Penentuan Nilai Gamma dan PID

3.5.1 Penggunaan Satu Gamma

Perancangan pengendali MRAC yang menggunakan satu gamma pada sistem pendingin jamur merang dilakukan setelah mensubstitusikan persamaan (3.1) ke persamaan (2.5). Adapun penjabarannya sebagai berikut:

Diketahui:

$$G_m(s) = \frac{1}{300s + 1}$$

Maka

$$y_m = \frac{1}{300s + 1} U_c$$

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{k}{k_0} y_m = -\gamma' y_m e$$

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma' \frac{1}{300s + 1} U_c e$$

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = \frac{1}{s} - \gamma' \frac{1}{300s + 1} U_c e \quad (3.3)$$

3.5.2 Penggunaan Dua Gamma

Dengan nilai fungsi alih model referensi berdasarkan skema MRAC pada gambar 2.4 adalah $a_m / s + a_m$, selanjutnya adalah nilai filter θ_1 dan θ_2 dibuat menyerupai fungsi

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

alih model referensi, karena filter harus menyaring keluaran y_{plant} agar mengikuti keluaran model referensi, sehingga nilai filter yang diberikan menjadi :

$$\frac{a_m}{s+am} = \frac{1}{300s+1} \quad (3.4)$$

Adapun penjabaran persamaan matematis perancangan MRAC dua gamma pada sistem pendingin jamur merang adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$G_m(s) = \frac{1}{300s+1}$$

$$u = \theta_1 u_c - \theta_2 y_{plant}$$

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_1} e = -\gamma \left(\frac{a_m}{s+am} u_c \right) e$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_2} e = \gamma \left(\frac{a_m}{s+am} y_{plant} \right) e$$

Maka:

$$y_{plant} = G_p u = \left(\frac{a}{s+a} \right) (\theta_1 u_c - \theta_2 y_{plant})$$

$$y_{plant} = \left(\frac{a}{s+a} \right) \left(-\gamma \left(\frac{a_m}{s+am} u_c \right) e - \gamma \left(\frac{a_m}{s+am} y_{plant} \right) e \right)$$

$$y_{plant} = \left(\frac{-10.16}{2100s+1} \right) \left(-\gamma \left(\frac{1}{300s+1} u_c \right) e - \gamma \left(\frac{1}{300s+1} y_{plant} \right) e \right) \quad (3.5)$$

3.5.3 Penggunaan Tiga Gamma

Dengan nilai fungsi alih model referensi berdasarkan skema MRAC pada gambar 2.6 adalah $a_m / s + a_m$, selanjutnya adalah nilai filter θ_1 , θ_2 , dan θ_3 dibuat menyerupai fungsi alih model referensi, karena filter harus menyaring keluaran y_{plant} agar mengikuti keluaran model referensi, sehingga nilai filter yang diberikan menjadi :

$$\frac{a_m}{s+am} = \frac{1}{300s+1} \quad (3.6)$$

Adapun penjabaran persamaan matematis perancangan MRAC tiga gamma pada sistem pendingin jamur merang adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$G_m(s) = \frac{1}{300s+1}$$

$$u = \theta_1 u_c + \theta_2 u_c + \theta_3 y_{plant}$$

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_1} e = \gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} u_c \right) e$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_2} e = \gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} u_c \right) e$$

Maka:

$$\frac{\partial \theta_3}{\partial t} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_2} e = \gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} y_{plant} \right) e$$

$$y_{plant} = G_p u = \left(\frac{a}{s+a} \right) (\theta_1 u_c + \theta_2 u_c + \theta_3 y_{plant})$$

$$y_{plant} = \left(\frac{a}{s+a} \right) \left(\gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} u_c \right) e + \gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} u_c \right) e + \gamma \left(\frac{a_m}{s+a_m} y_{plant} \right) e \right)$$

$$y_{plant} = \left(\frac{-10.16}{2100s+1} \right) \left(\gamma \left(\frac{1}{300s+1} u_c \right) e + \gamma \left(\frac{1}{300s+1} u_c \right) e + \gamma \left(\frac{1}{300s+1} y_{plant} \right) e \right) \quad (3.7)$$



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan nilai gamma pada pengendali MRAC mampu memperkecil *error steady state*. Namun, kombinasi MRAC dengan PID untuk mengendalikan temperatur pada sistem pendingin jamur merang mampu menghilangkan *error steady state* serta dapat membuat respon sistem menjadi lebih baik dari pada MRAC tanpa PID.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti melakukan pengujian sampai batas penggunaan tiga gain serta kombinasi dengan PID, sehingga untuk penelitian selanjutnya mungkin bisa dicobakan menggunakan lebih dari tiga gamma. Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode MIT Rule pada pengendali MRAC, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode lyapunov, serta pada penalaan PID dipenelitian ini menggunakan metode Heuristik penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan metode penalaan PID yang lain misalnya Ziegler Nichols. Apakah respon sistem dengan metode yang berbeda mampu menghasilkan respon yang lebih baik.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sumiati, Ety. Djuariah, *Teknologi Budidaya Dan Penanganan Pascapanen Jamur Merang, Volvariella Volvacea*, no. 30. Bandung: Balai Penelitian Tanaman Sayuran, 2007.
- [2] F. Tao, M. Zhang, and J. Sun, "Preservation of mushroom in storage after vacuum cooling treatment," *Int. Agrophysics*, vol. 19, no. 4, pp. 293–297, 2005.
- [3] M. Muchlas, N. S. Widodo, and W. Wulur, "Karakteristik Sistem Kendali on-Off Suhu Cairan Berbasis Mikrokontroler At90S8535," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 3, no. 2, p. 123, 2005.
- [4] K. J. Åström and T. Hägglund, "PID controllers: theory, design, and tuning," vol. 2. instrument society, Triangel Park, 1995.
- [5] M. Dahria, "Kecerdasan buatan (Artificial Intelligence)," *Artif. Intell.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2014.
- [6] Asnil and I. Husnaini, "Sistem Kontrol Optimal Pada Kontrol Posisi Motor Dc," *Tek. Energi*, vol. 6, no. 1, 2010.
- [7] K. J. A. and B. Wittenmark, *Adaptive control*, 2nd ed. New York: Dover Publications, 2001.
- [8] S. Amelia, K. Astrowulan, and E. Iskandar, "Perancangan dan Simulasi MRAC PID Control untuk Proses Pengendalian Temperatur pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," vol. 3, no. 1, pp. 128–133, 2014.
- [9] Rechy Vernandhes, "Desain Pengendali Mrac-Pid Untuk Mengendalikan Posisi Pada Sistem Magnetic Levitation Ball," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2018.
- [10] nafisah Gemeli, "OPTIMASI TUNING PID MENGGUNAKAN AUTO TUNING SIMULINK MATLAB UNTUK PENGENDALIAN TEKANAN PADA MODUL TRAINING PRESSURE PROCESS RIG 38-714," 2018.
- [11] R. Sengupta, *Design and Performance Analysis of a Modified MRAC for Second-order Processes*. kolkata, 2017.
- [12] G. T. Qian Sang, "Gain Margins of Multivariable MRAC Systems," University of Virginia Charlottesville, 2008.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- © Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
- [13] N. Y. P. Ramesh, “MRAC with Variable Adaptation Gain for First Order Systems,” Hyderabad, 2017.
 - [14] Y. Liu, “Multivariable MRAC Using Nussbaum Gains for Aircraft with Abrupt Damages,” University of Virginia Charlottesville, Mexico, 2008.
 - [15] N. Wang, “MRAC for Nonlinear Systems with Unknown Gain Signs and Unmodeled Dynamics,” 2016.
 - [16] T. R. . Maruli, “Analisis pengaruh penambahan jumlah gain pada rancangan pengendali adaptif metode mrac diuji pada sistem orde dua tugas akhir,” Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2018.
 - [17] R. Aziz, “Studi Perbandingan Model dan Aplikasi Kontrol On-Off pada Cold Storage Jamur Merang,” 20015.
 - [18] F. F. Mahmod, *Perancangan Kontroler PI dengan Teknik MRAC untuk Pengaturan Level pada Coupled Tanks*. 2017.
 - [19] T. Sudewo, T. Sudewo, E. Iskandar, and K. Astrowulan, “Disain dan implementasi kontrol PID model reference adaptive control untuk automatic safe landing pada pesawat UAV quadcopter,” *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. A78–A83, 2012.
 - [20] K. OGATA, “Teknik Kontrol Automatik(Sistem Pengaturan),” p. 384, 1995.
 - [21] Erwin Susanto, “Sistem Kendali Multivariabel,” Universitas Telkom, Bandung, 2017.
 - [22] Kholis.Ikhwannul, “METODE CIANCONE BERBASIS MATLAB SIMULINK PADA SISTEM PRESSURE PROCESS RIG 38-714 SYSTEM MODELLING WITH PID CONTROLLER APPLYING CIANCONE METHOD USING MATLAB SIMULINK ON PRESSURE PROCESS RIG 38-714 SYSTEM,” Universitas Mpu Tantular, 2017.
 - [23] M.Gopal, “Digital Control and State Variable Method (Conventional and Intelligent control system) Third Editon,” 2010.
 - [24] Munir.Rinaldi, “Metode Numerik,” *Penerbit Inform.*, vol. 4, 2015.
 - [25] K. Ogata, *Modern Control Engineering Fifth Edition*. New Jersey, 2010.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

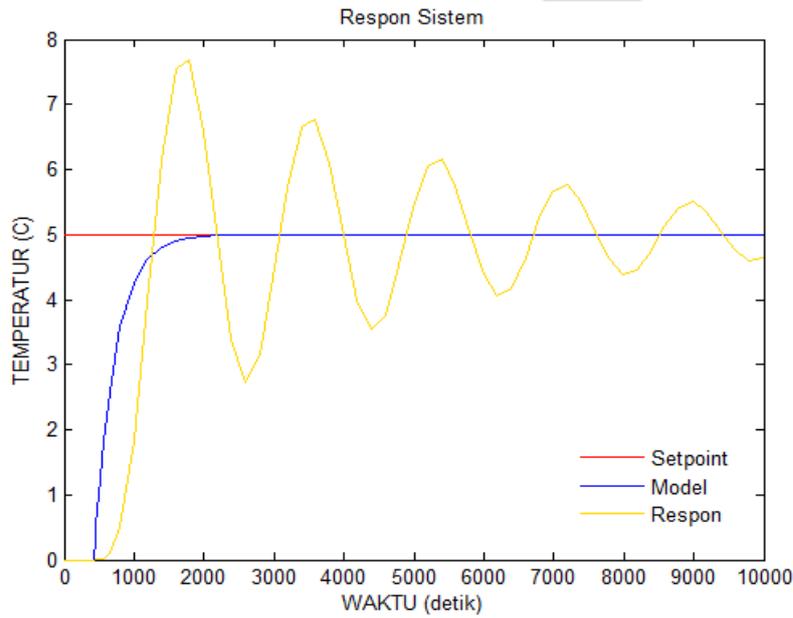
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

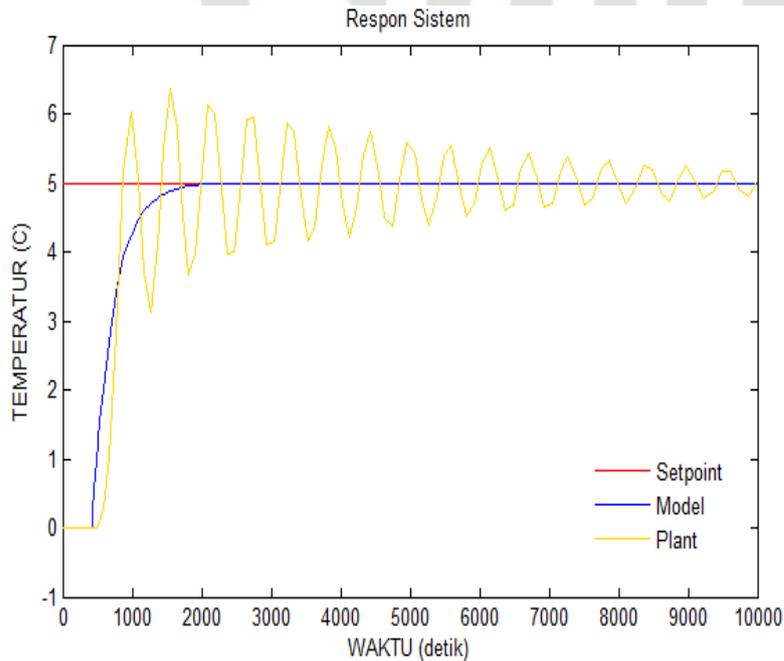
LAMPIRAN A

Proses Tuning Nilai Gamma (γ) Pada Pengendali MRAC Satu Gamma Dengan Trial Dan Error

1. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 0.0001$



2. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 0.001$



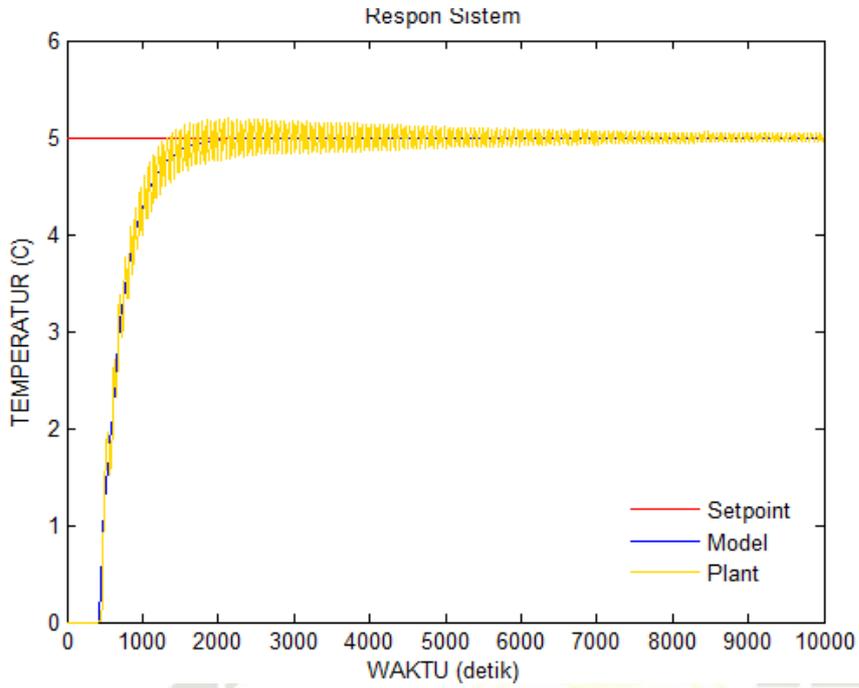
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

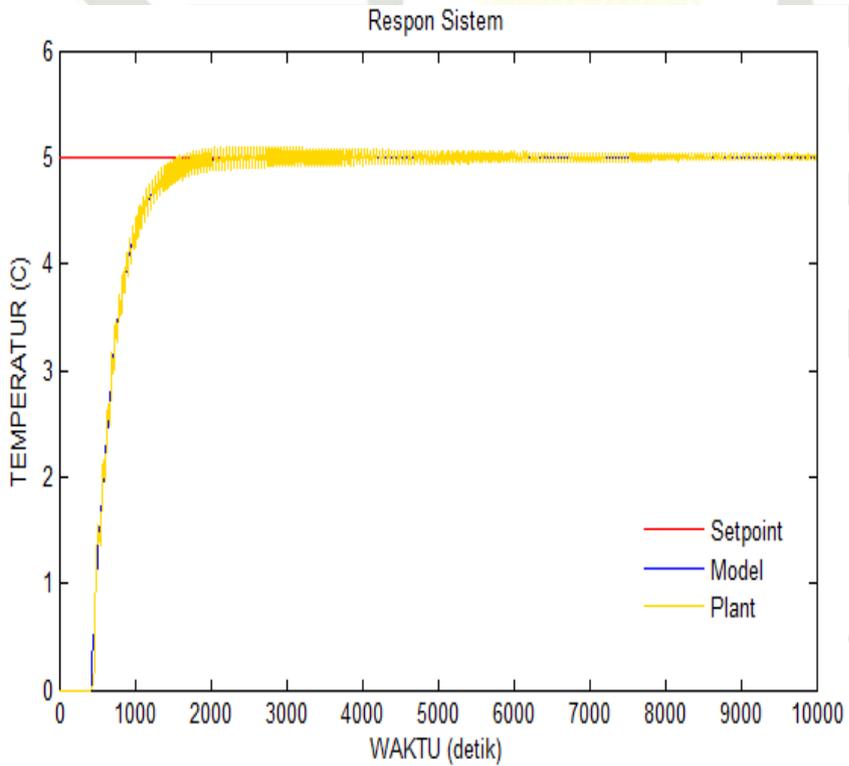
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 0.1$



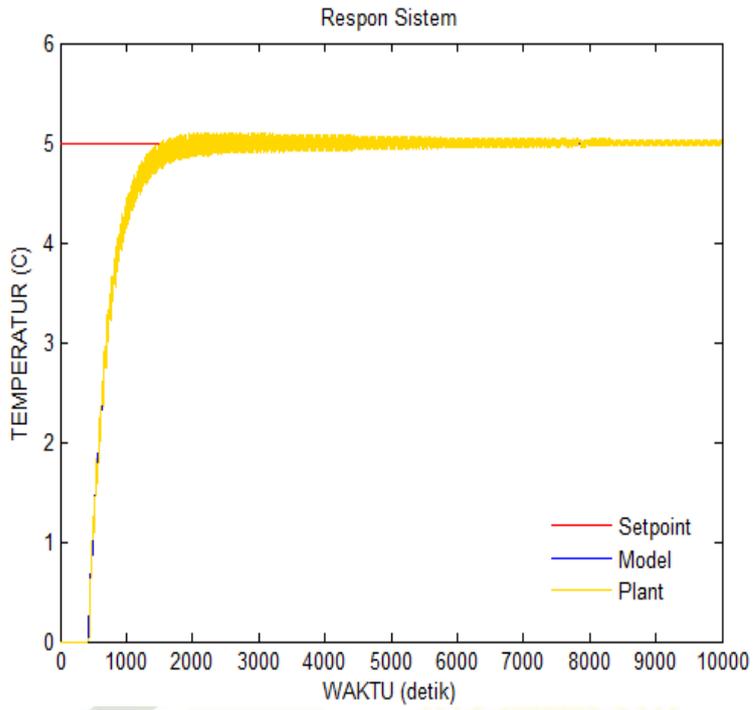
4. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 0.2$



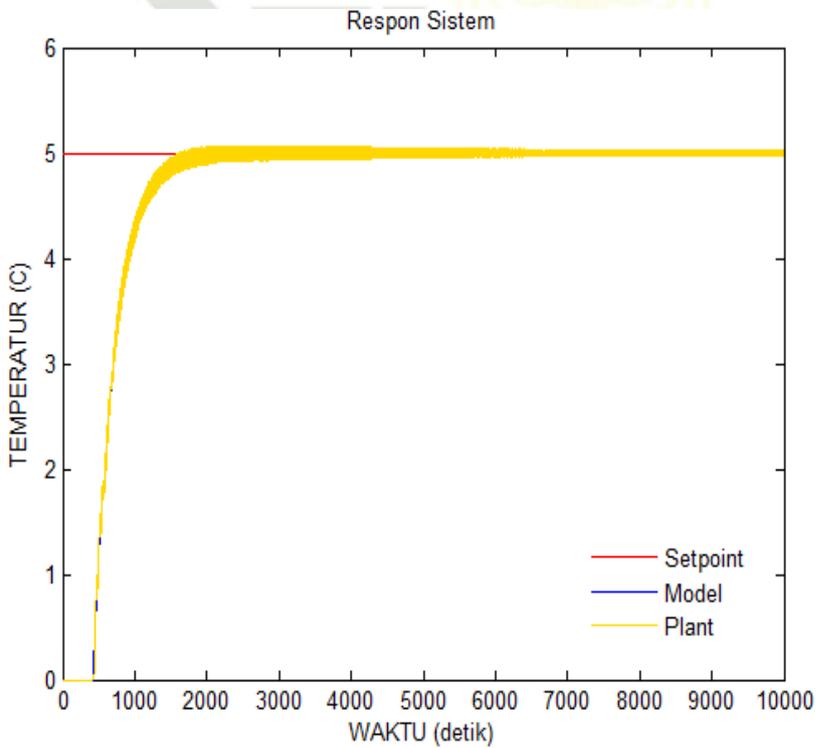
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

6. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 0.4$



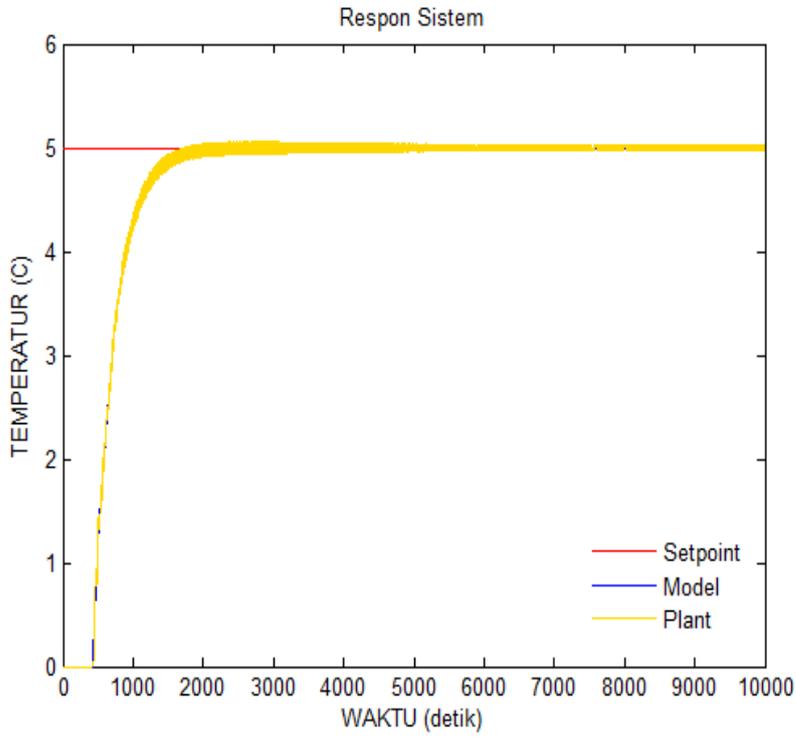
6. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 0.8$



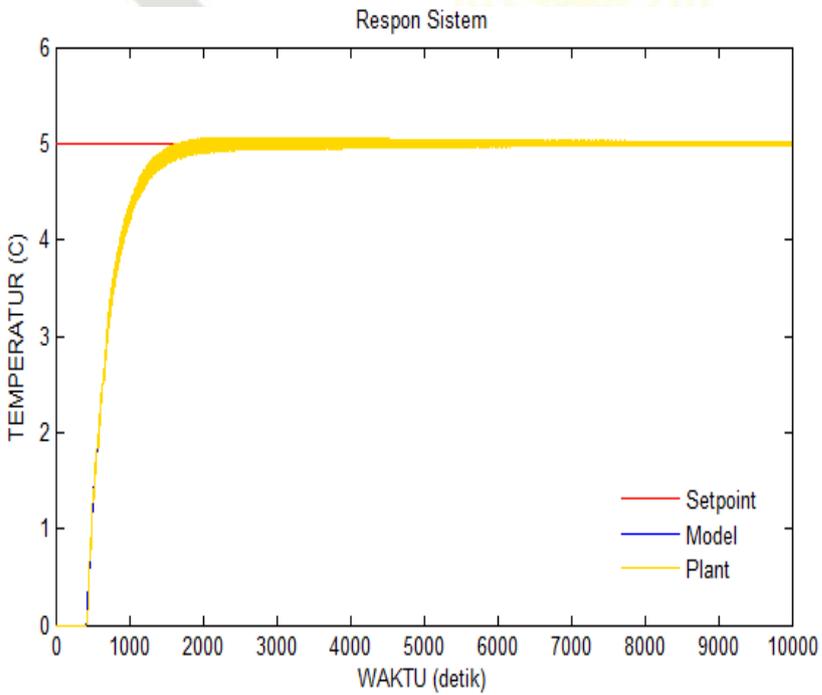
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

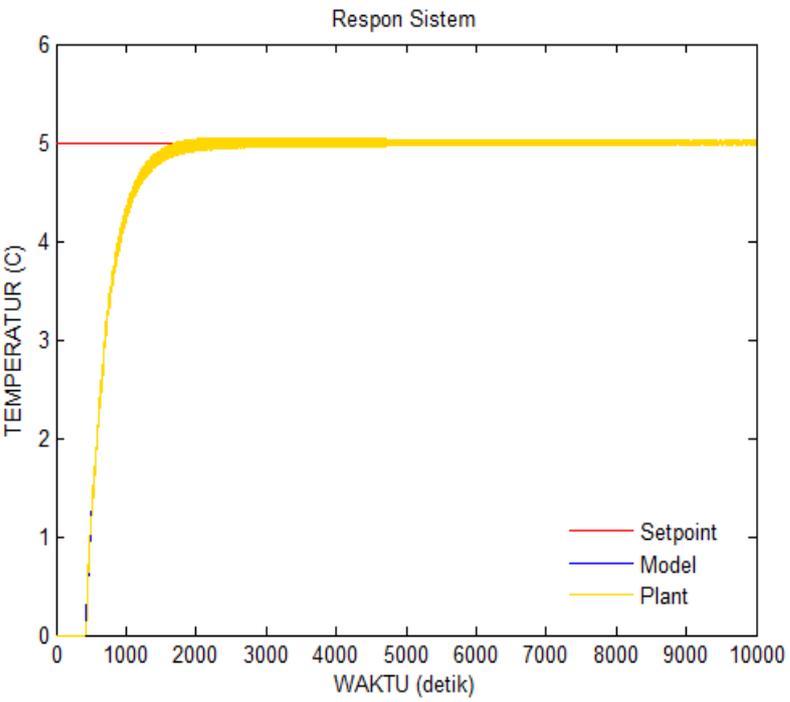
7. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 1$



8. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 1.1$



Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma = 2$

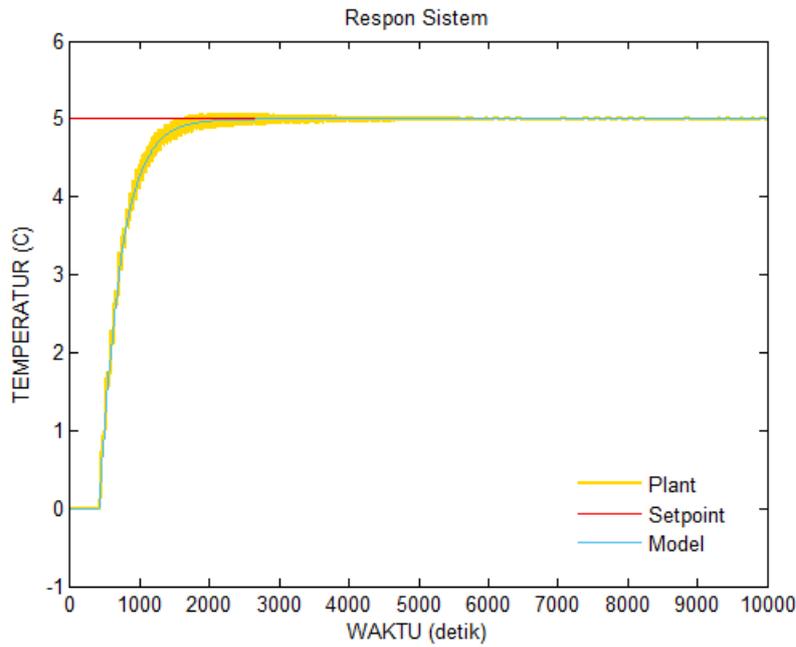


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

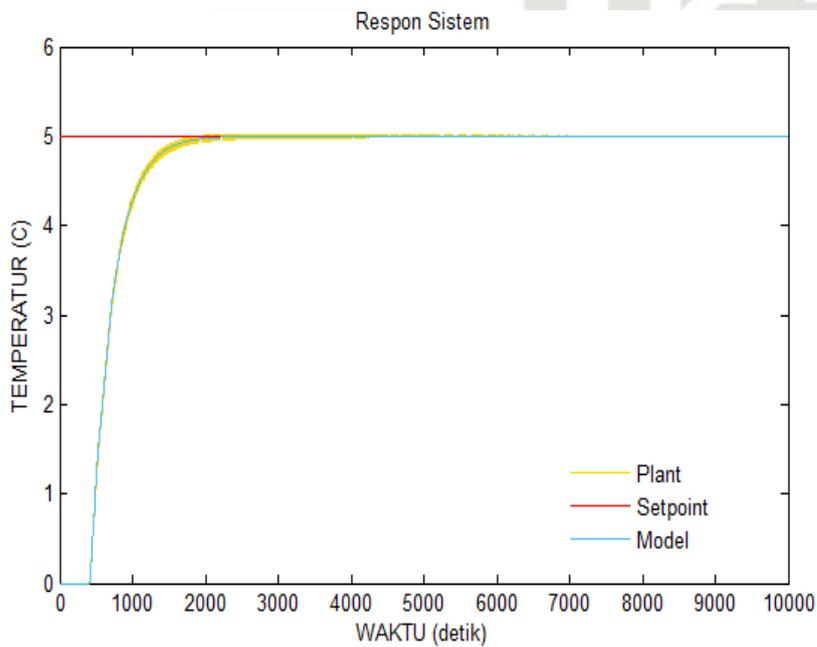
LAMPIRAN B

Proses Tuning Nilai Gamma (γ) Pada Pengendali MRAC Dua Gamma Dengan Trial Dan Error

1. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 0.1$ dan $\gamma_2 = -0.1$



2. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 0.8$ dan $\gamma_2 = -0.8$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

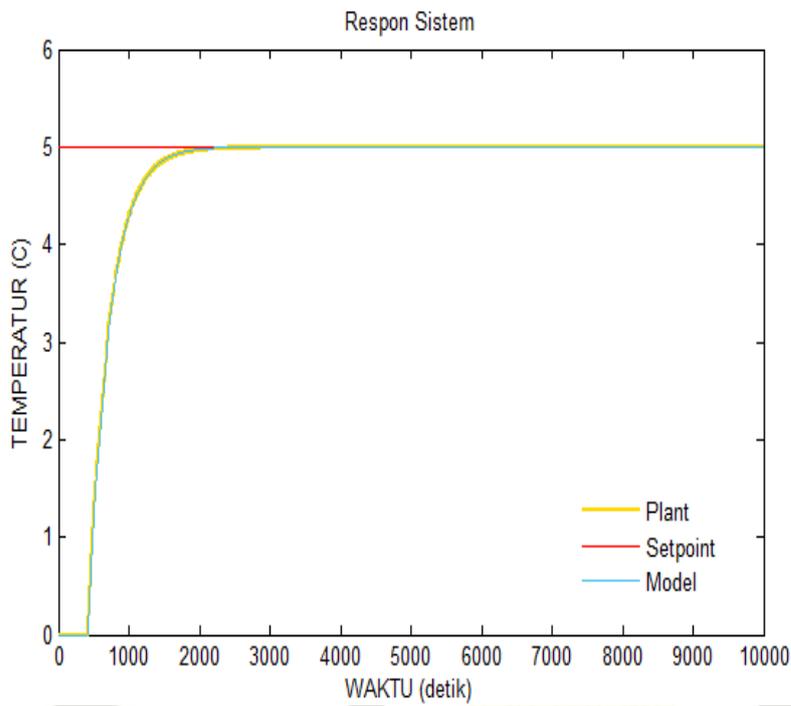
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

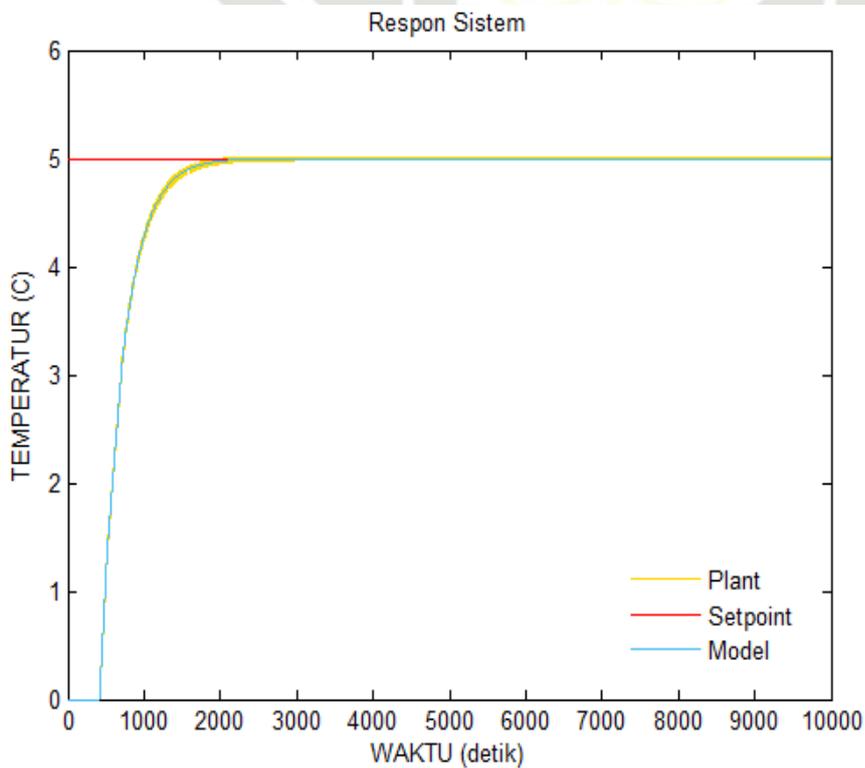
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 1$ dan $\gamma_2 = -1$



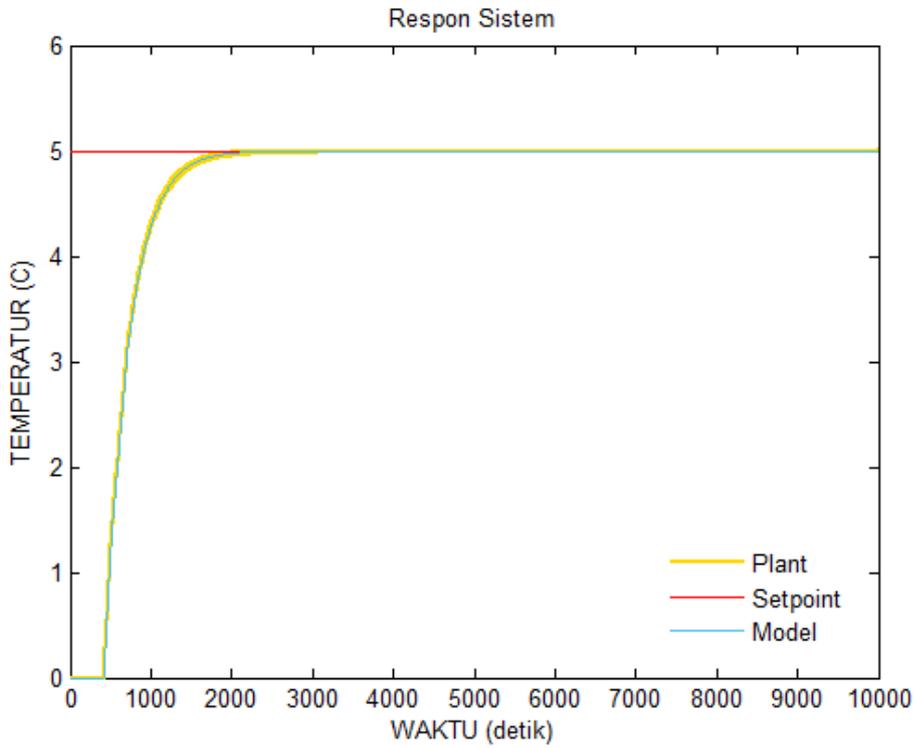
4. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 1.2$ dan $\gamma_2 = -1.2$



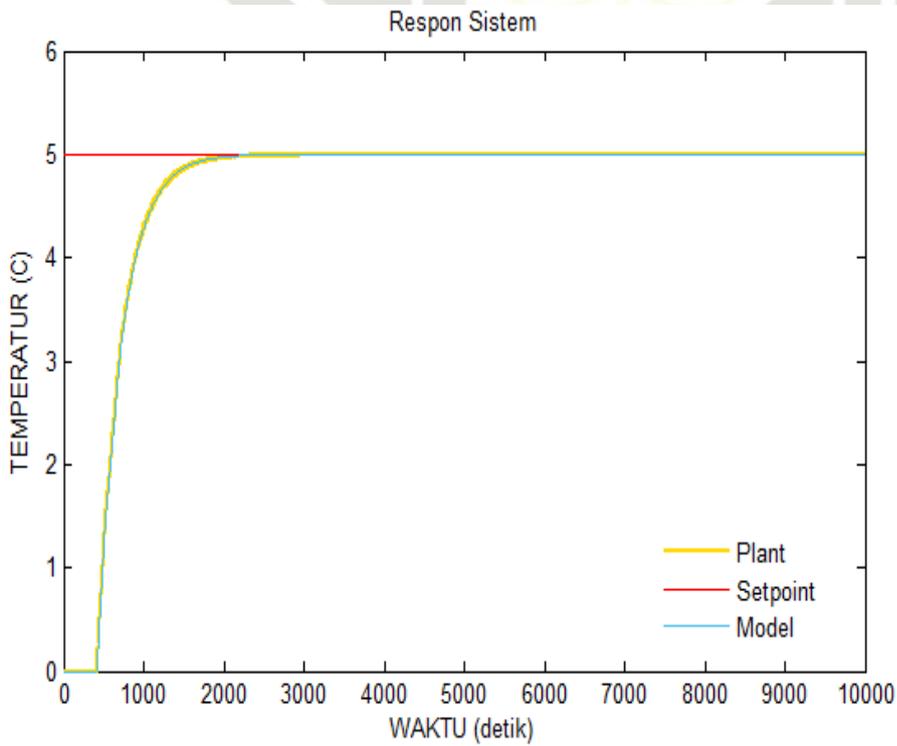
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 1.3$ dan $\gamma_2 = -1.3$



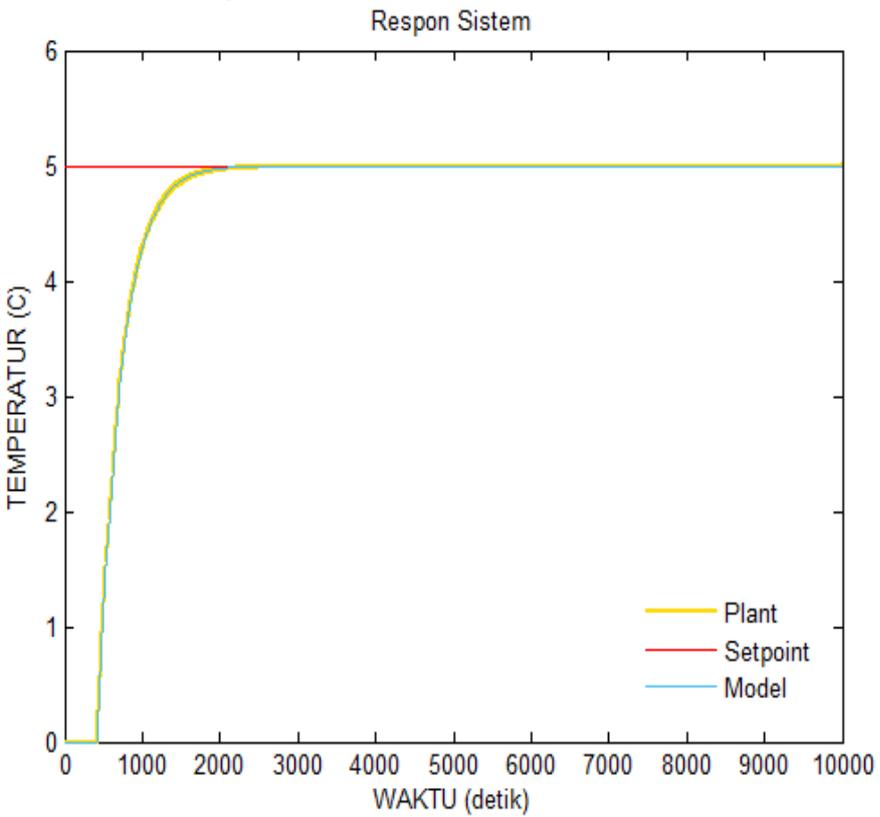
6. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 1.4$ dan $\gamma_2 = -1.4$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

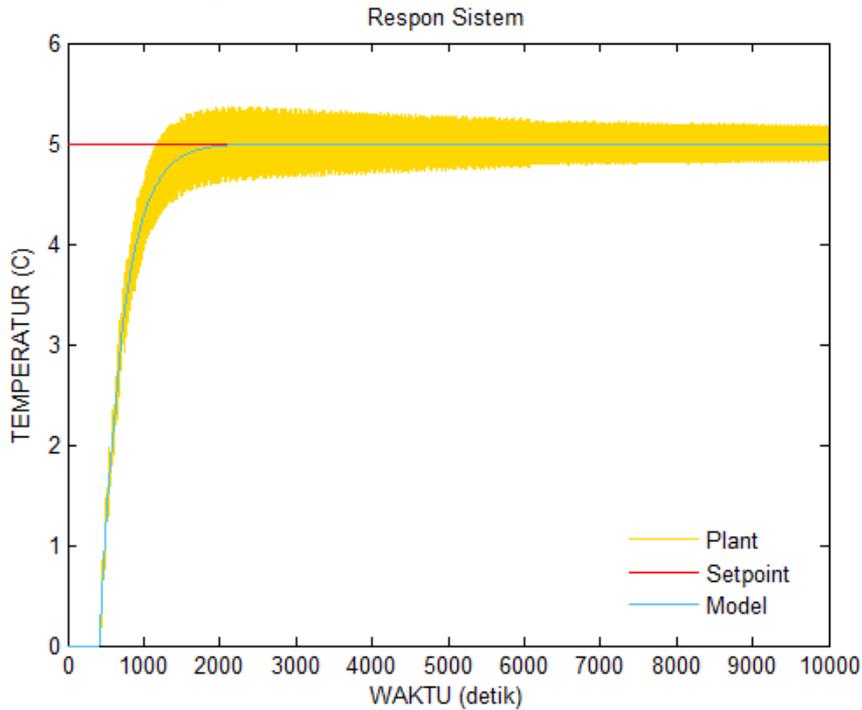
7. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 1.5$ dan $\gamma_2 = -1.5$



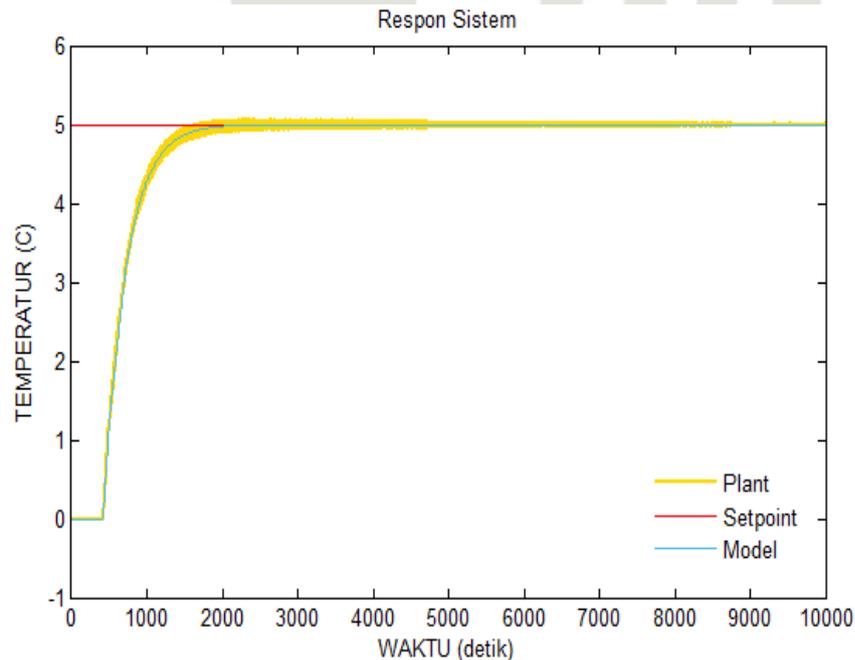
LAMPIRAN C

Proses Tuning Nilai Gamma (γ) Pada Pengendali MRAC Tiga Gamma Dengan Trial Dan Error

1. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 0.1$, $\gamma_2 = 0.2$ dan $\gamma_3 = 0.4$



2. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 0.5$, $\gamma_2 = 0.4$ dan $\gamma_3 = 0.4$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

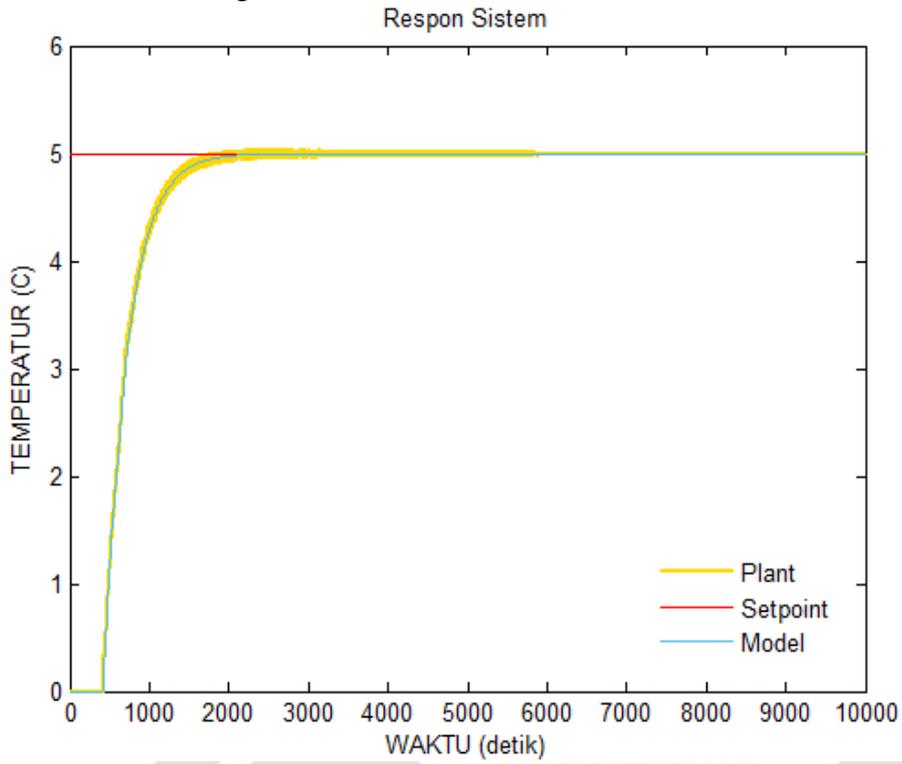
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

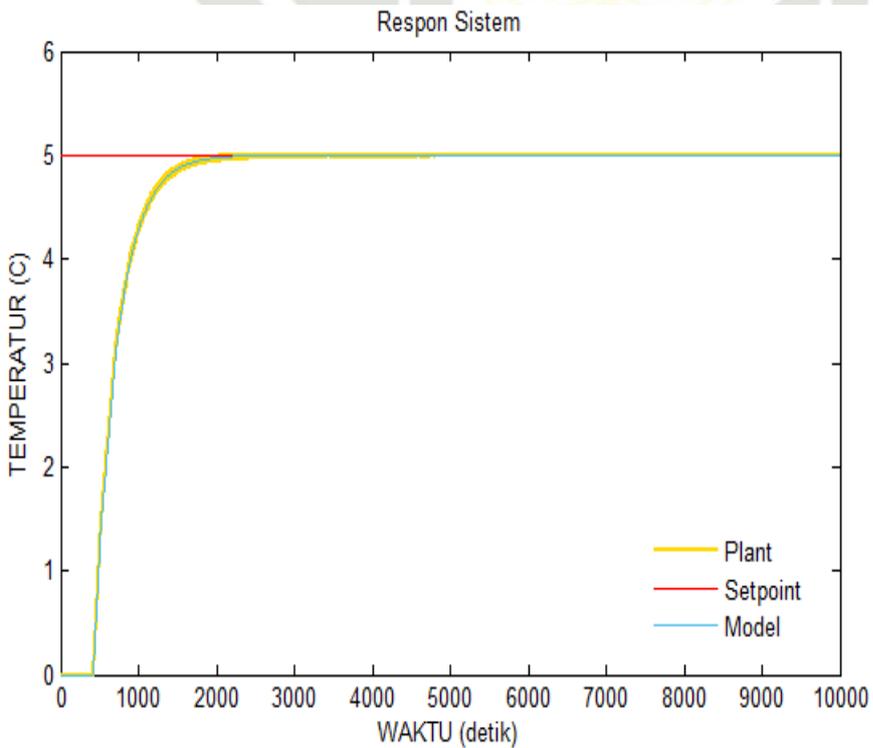
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 0.6$, $\gamma_2 = 0.6$ dan $\gamma_3 = 0.3$



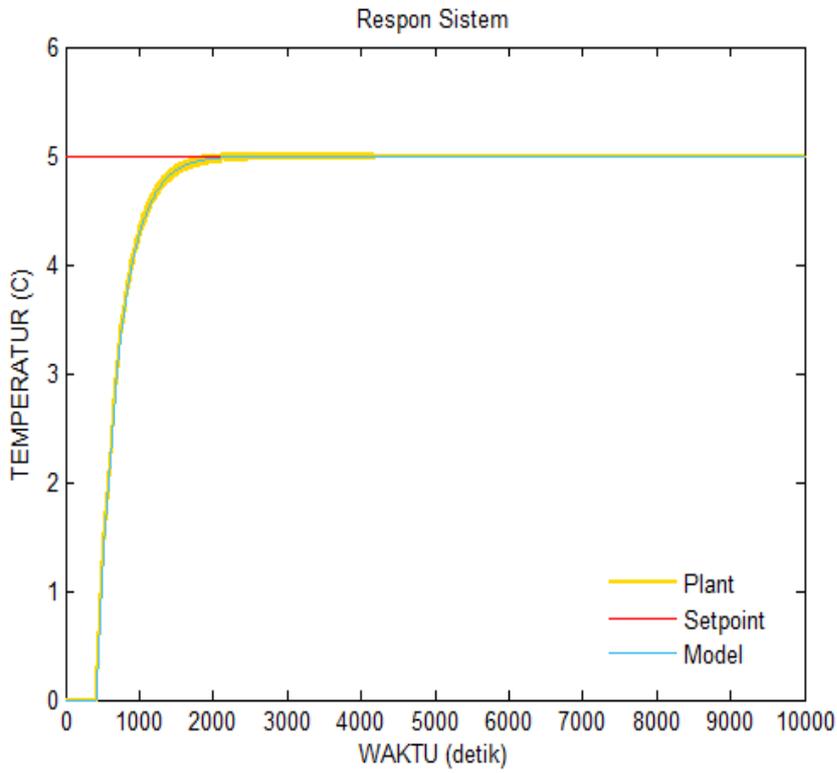
4. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 0.7$, $\gamma_2 = 0.6$ dan $\gamma_3 = 0.2$



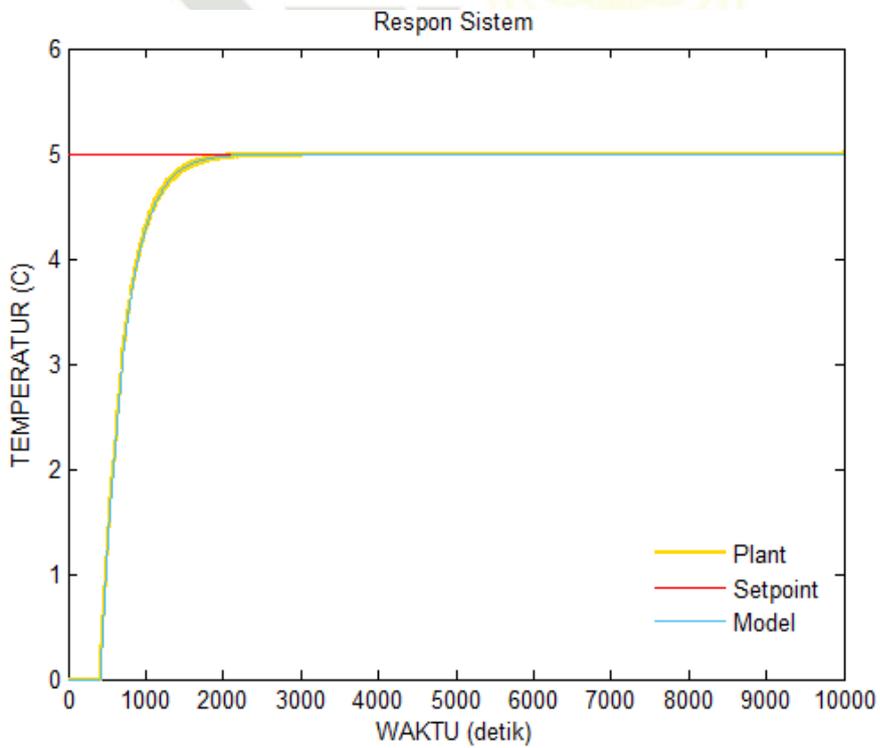
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 0.8$, $\gamma_2 = 0.7$ dan $\gamma_3 = 0.2$



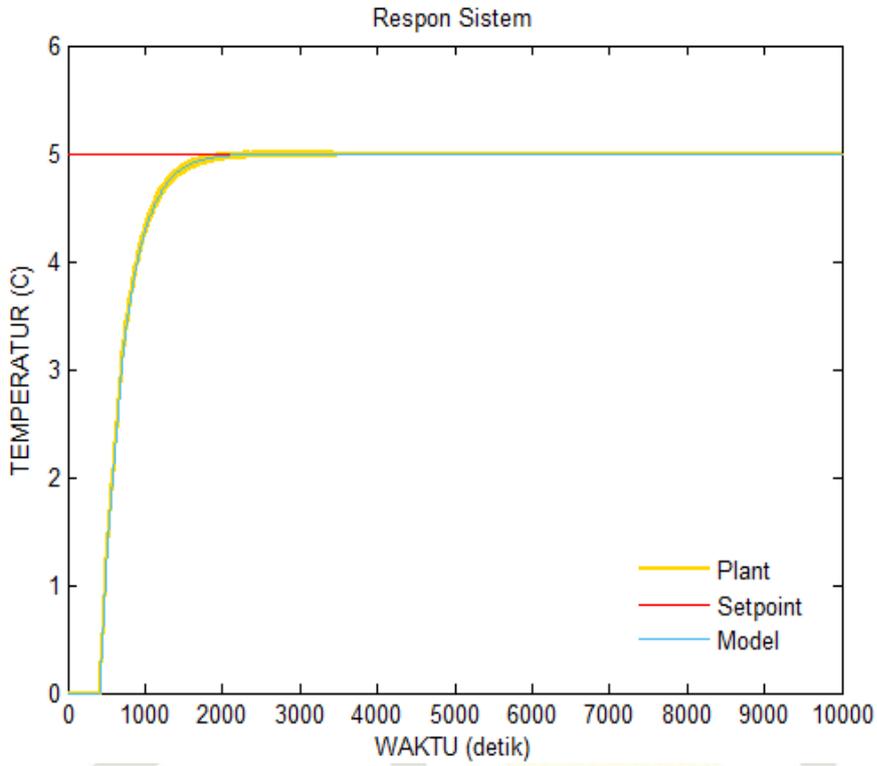
6. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 1$, $\gamma_2 = 1$ dan $\gamma_3 = 0.2$



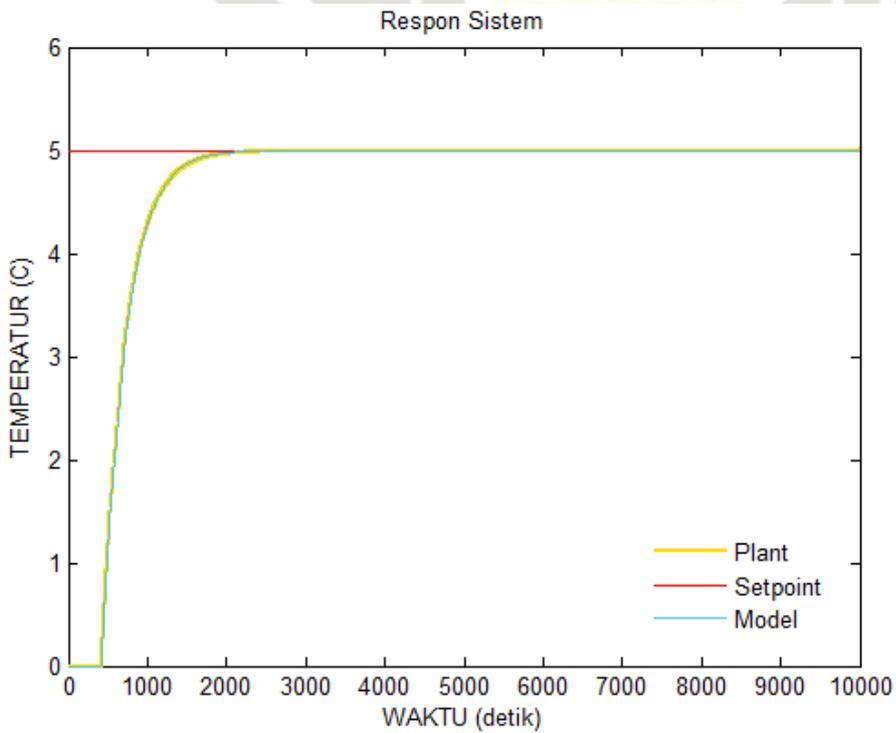
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 1.3$, $\gamma_2 = 1.2$ dan $\gamma_3 = 0.1$



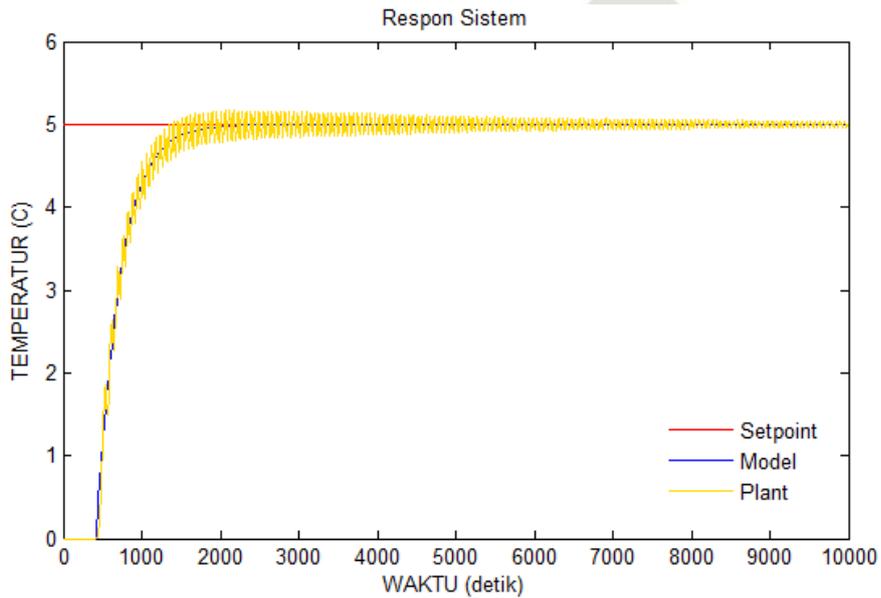
8. Hasil simulasi MRAC dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$ dan $\gamma_3 = 0.1$



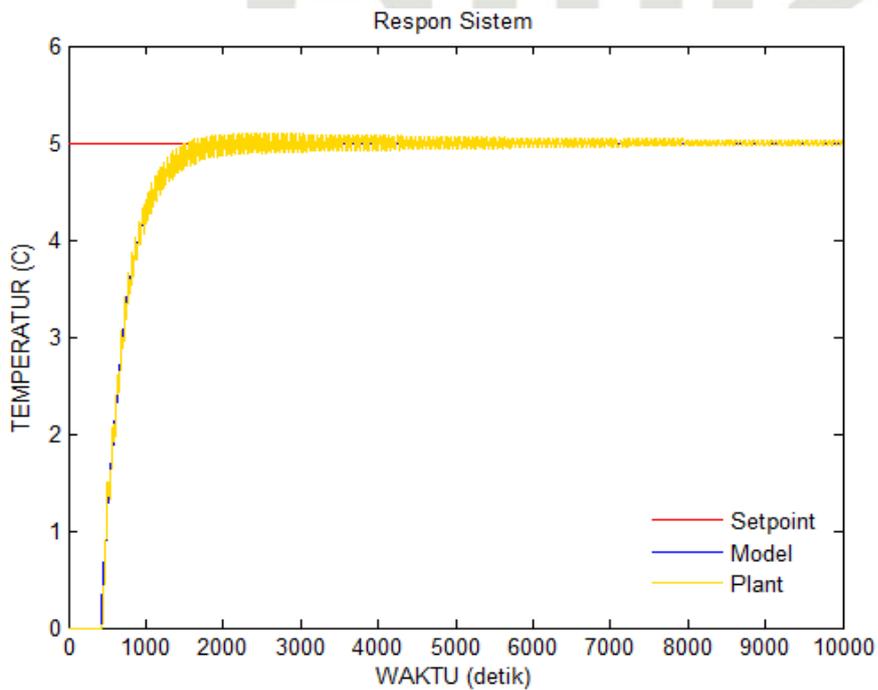
LAMPIRAN D

Proses Tuning Parameter K_p , K_i dan K_d Pada pengendalian MRAC satu gamma kombinasi PID

1. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.1$



2. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.2$



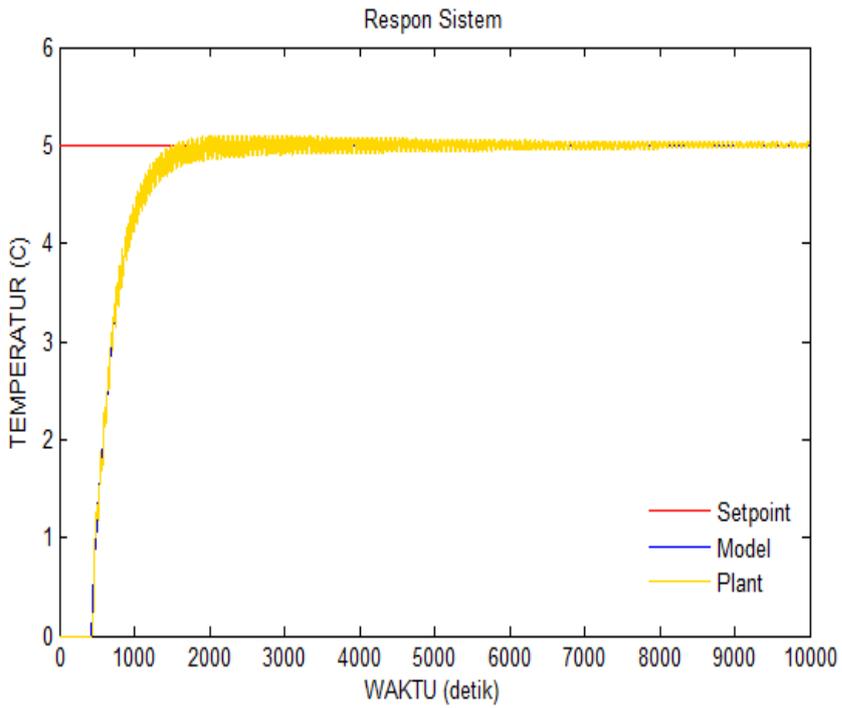
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

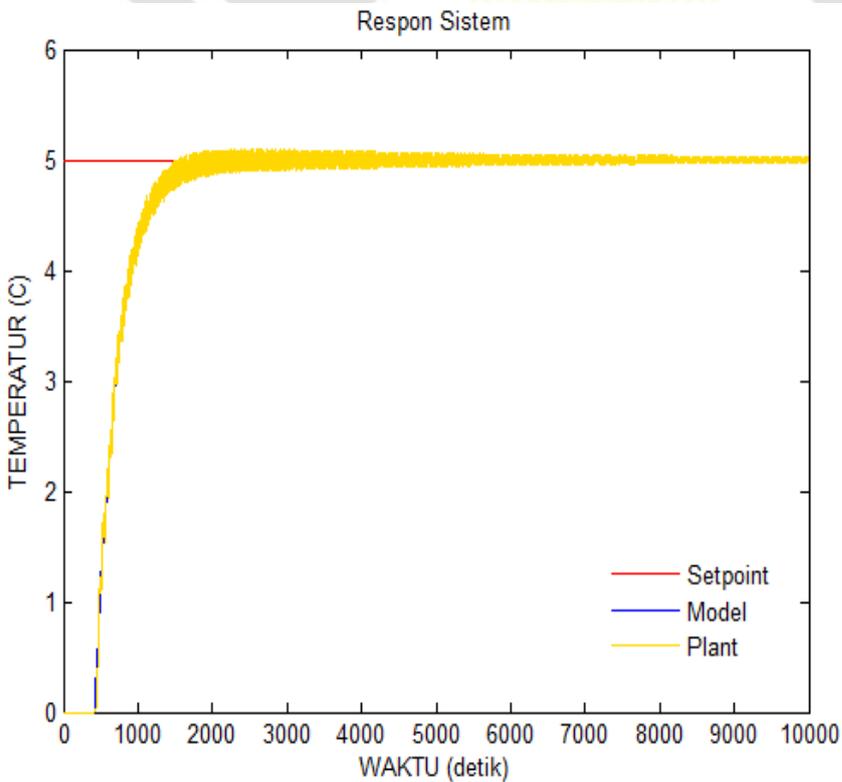
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.3$



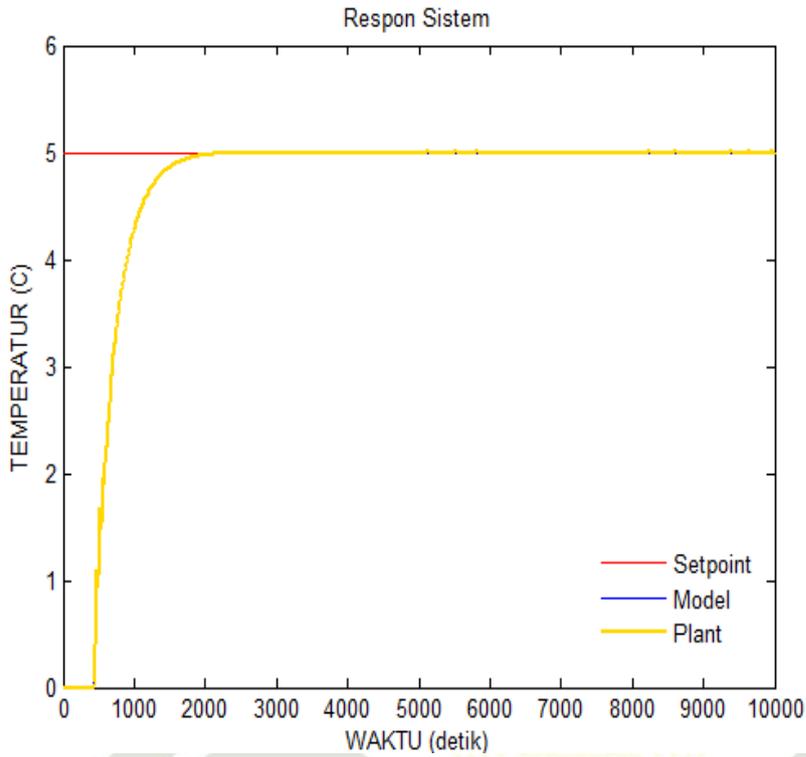
4. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.4$



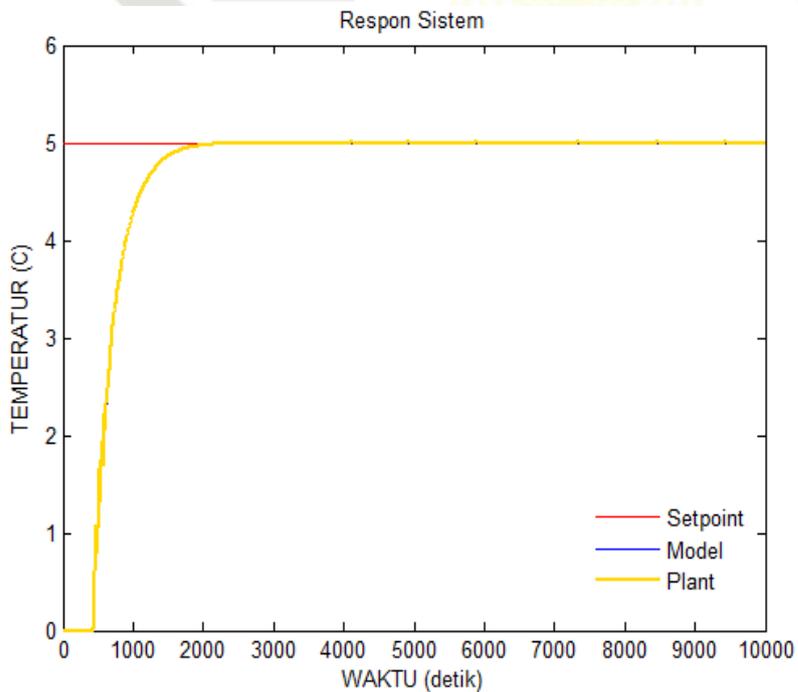
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.5$, $K_i = 0.001$, $K_d = 1$



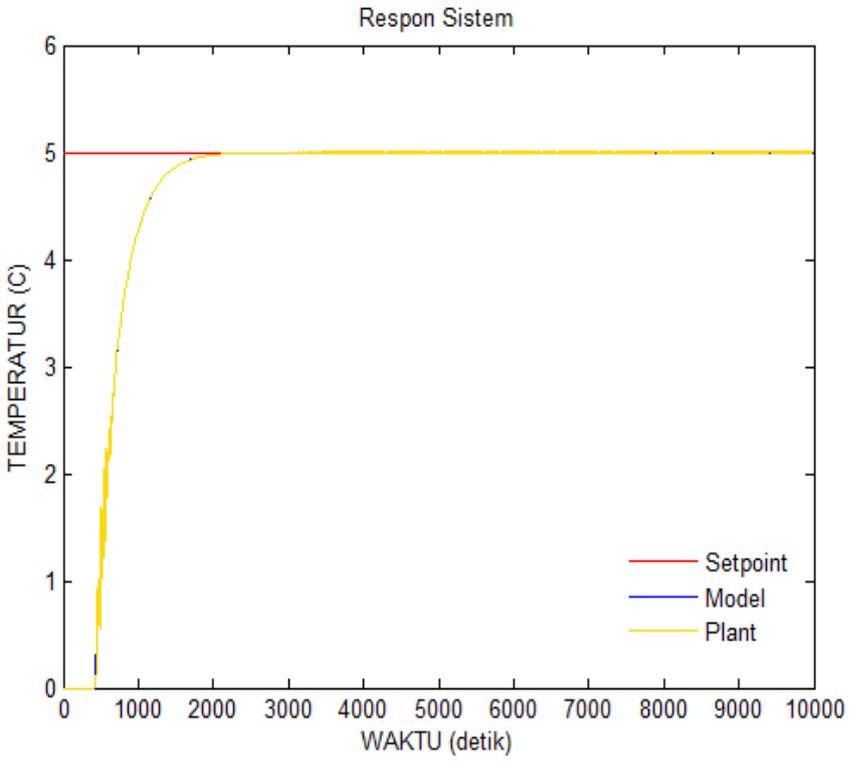
6. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.6$, $K_i = 0.02$, $K_d = 1$



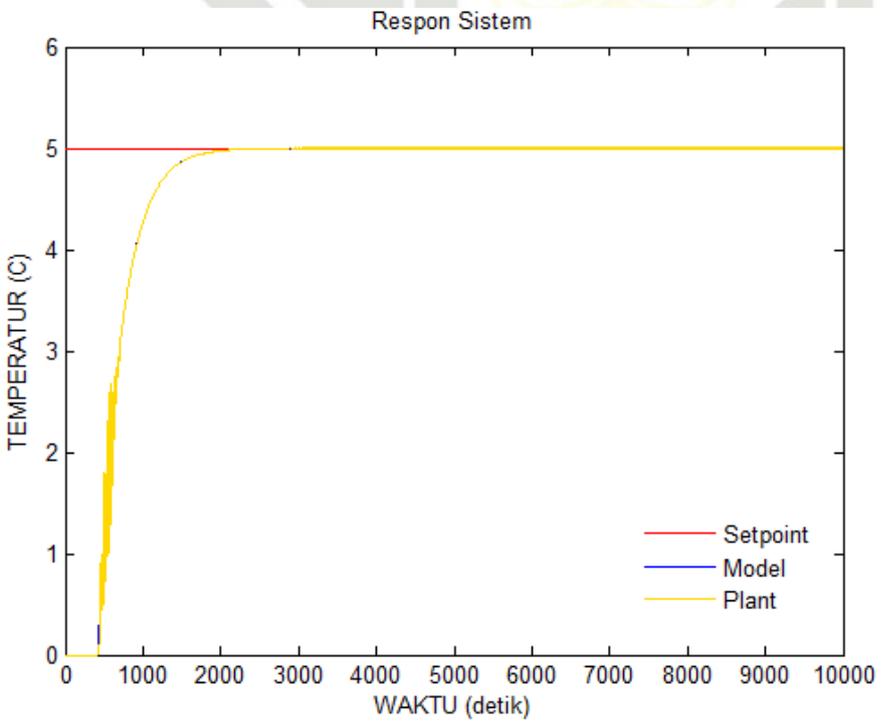
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.7$, $K_i = 0.06$, $K_d = 2$



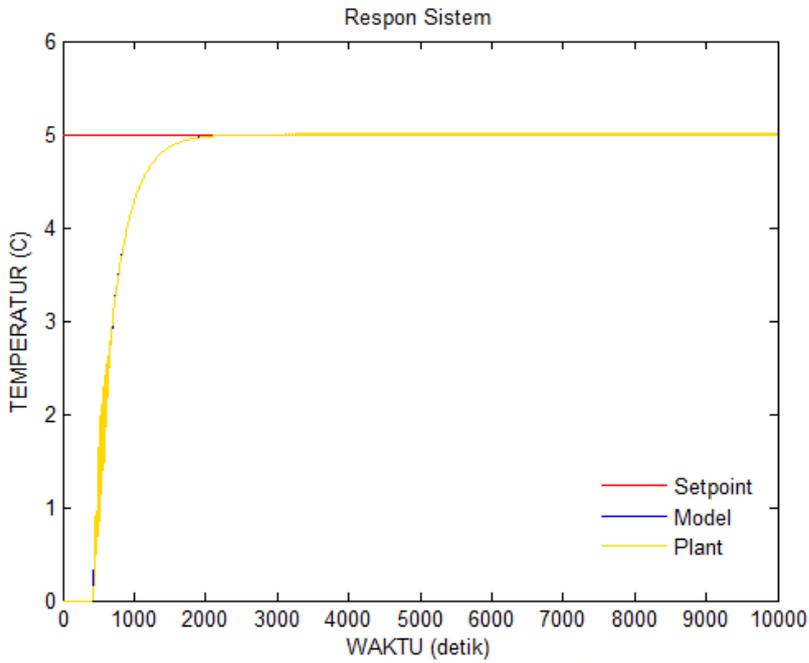
8. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.8$, $K_i = 0.08$, $K_d = 2$



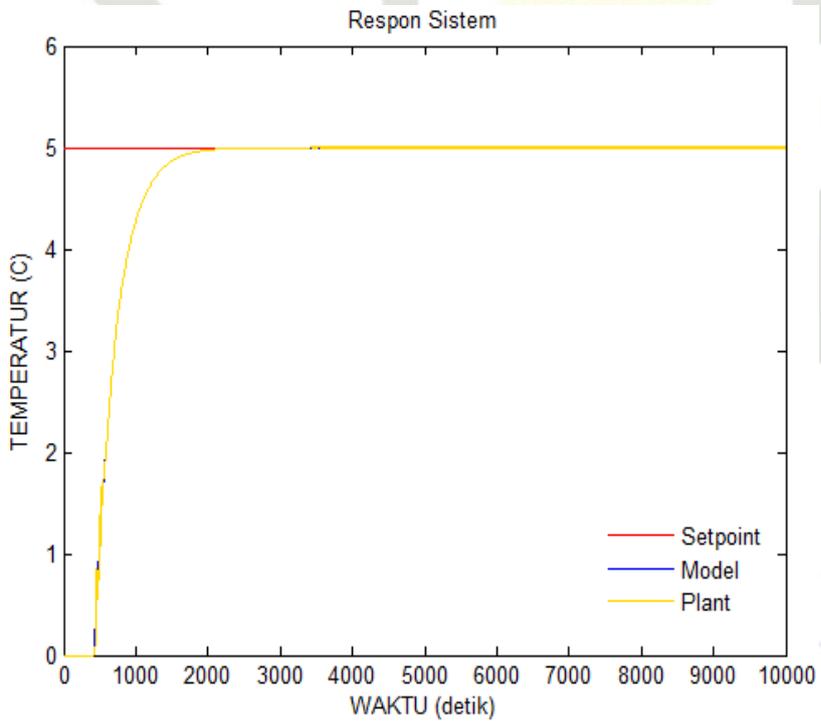
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

9. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 0.9$, $K_i = 0.08$, $K_d = 2$



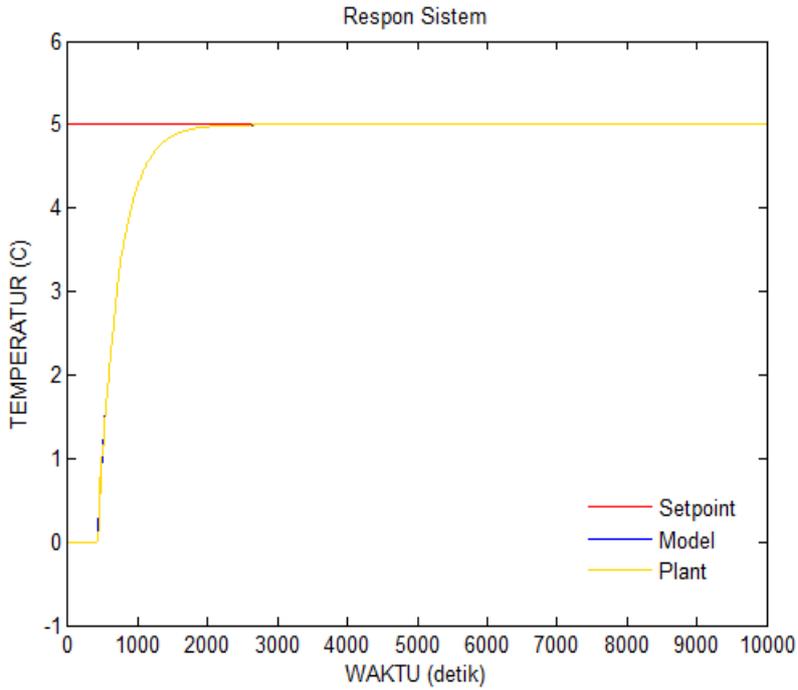
10. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 1$, $K_i = 0.1$, $K_d = 3.5$



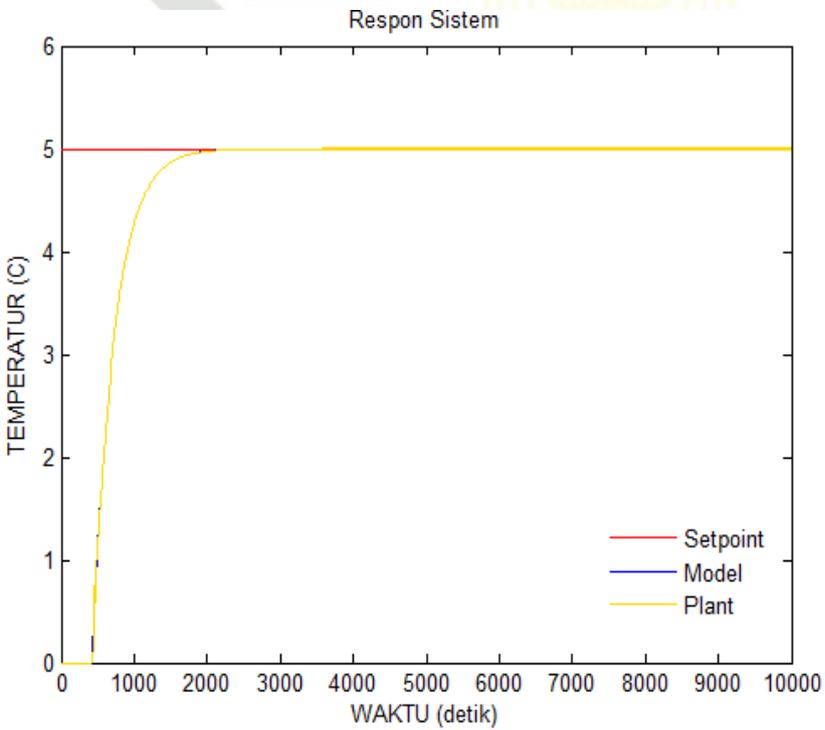
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

11. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 1.5$, $K_i = 0.1$, $K_d = 4$



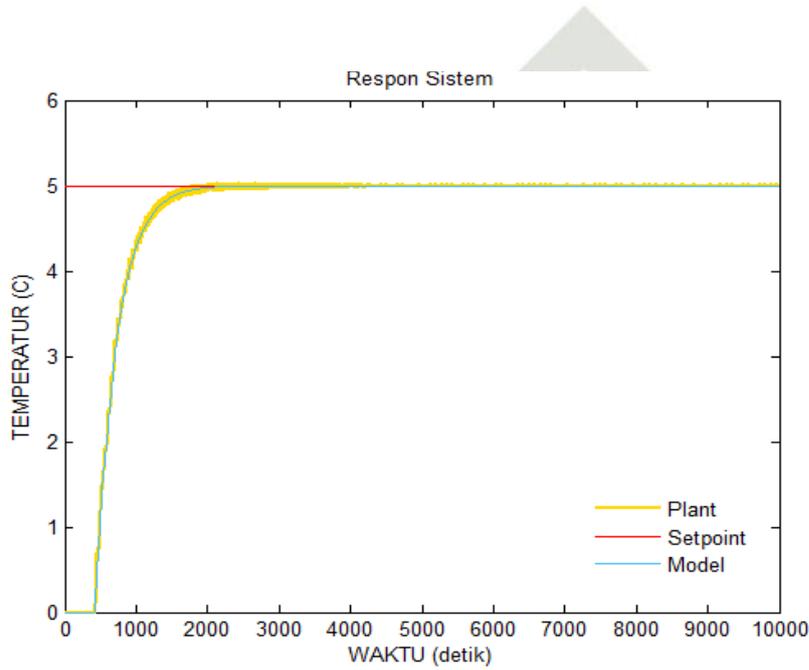
12. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma = 1.1$, $K_p = 1.6$, $K_i = 0.1$, $K_d = 4$



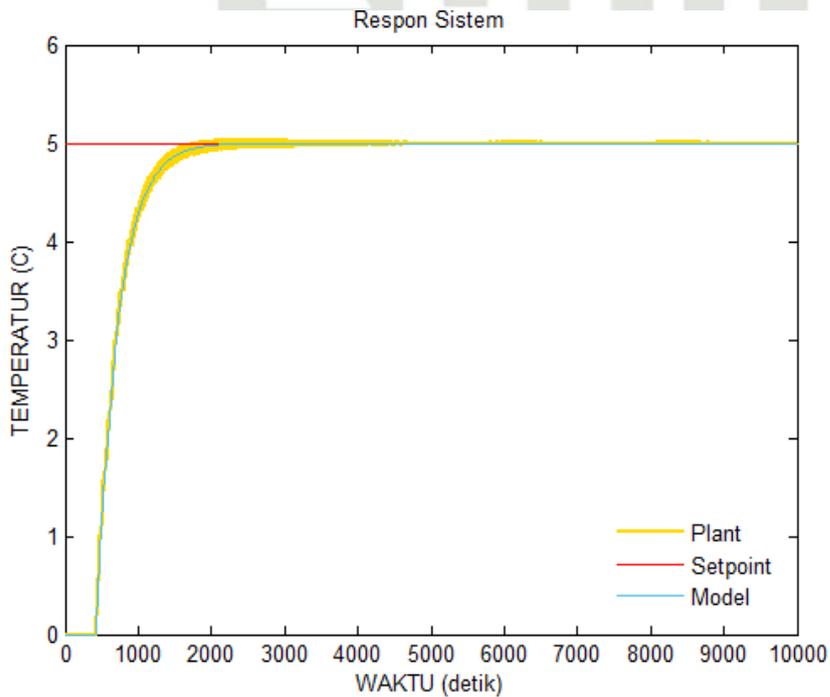
LAMPIRAN E

Proses Tuning Parameter Kp, Ki dan Kd Pada pengendalian MRAC dua gamma kombinasi PID

1. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.1$



2. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.2$



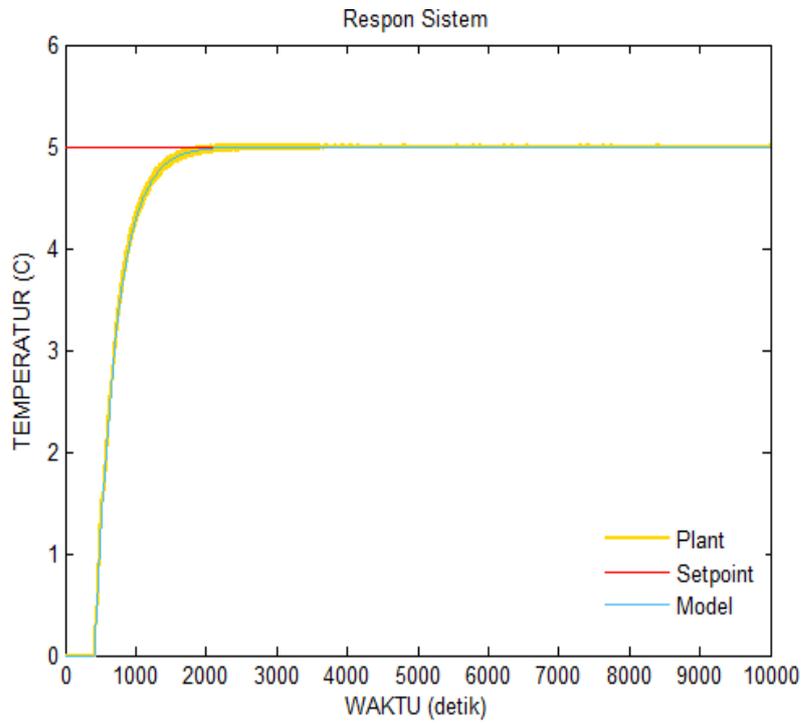
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

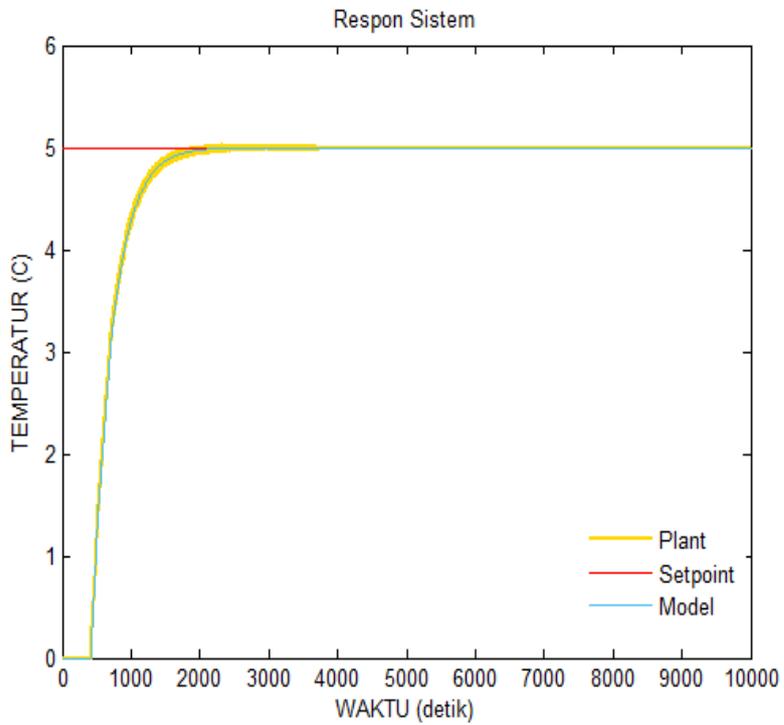
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

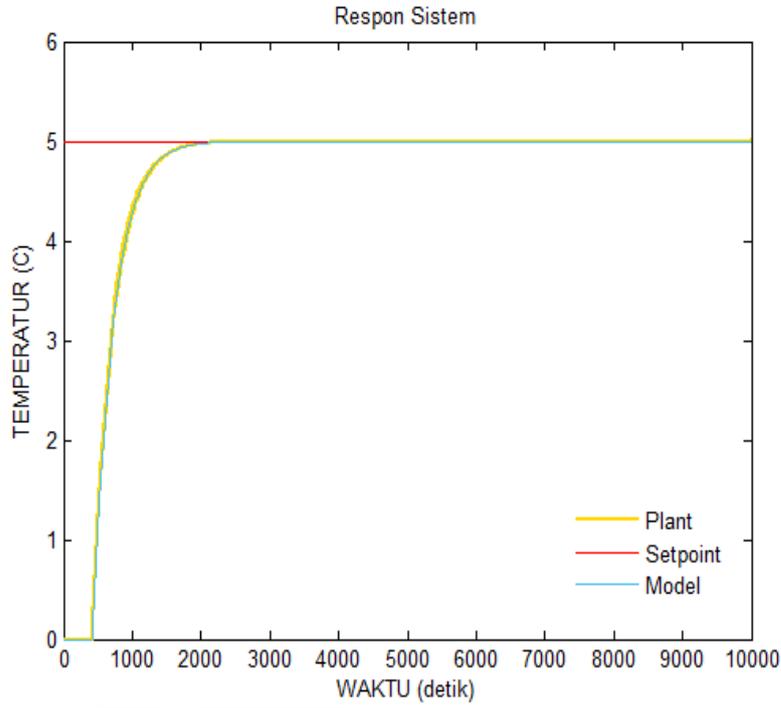
3. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.3$



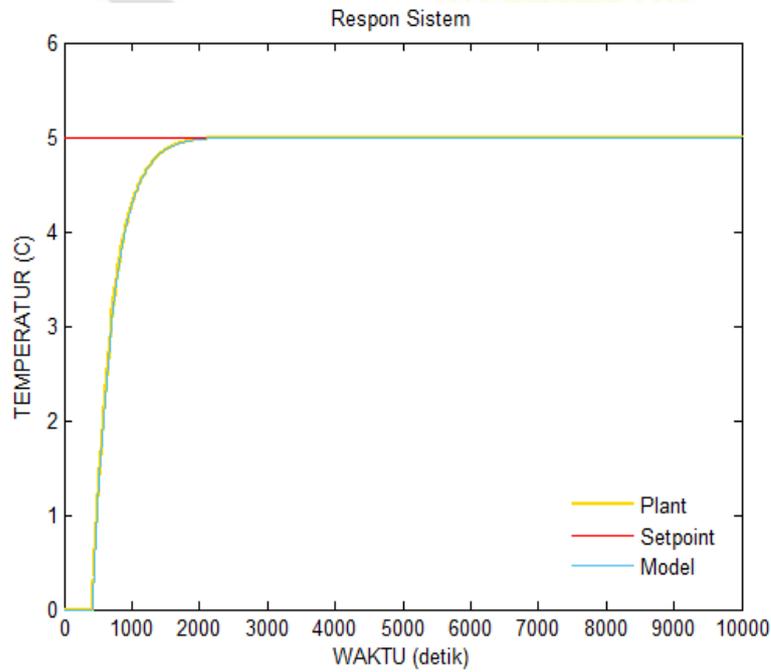
4. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.4$



5. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.5$, $K_i = 0.01$, $K_d = 0.1$



6. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.6$, $K_i = 0.02$, $K_d = 0.2$



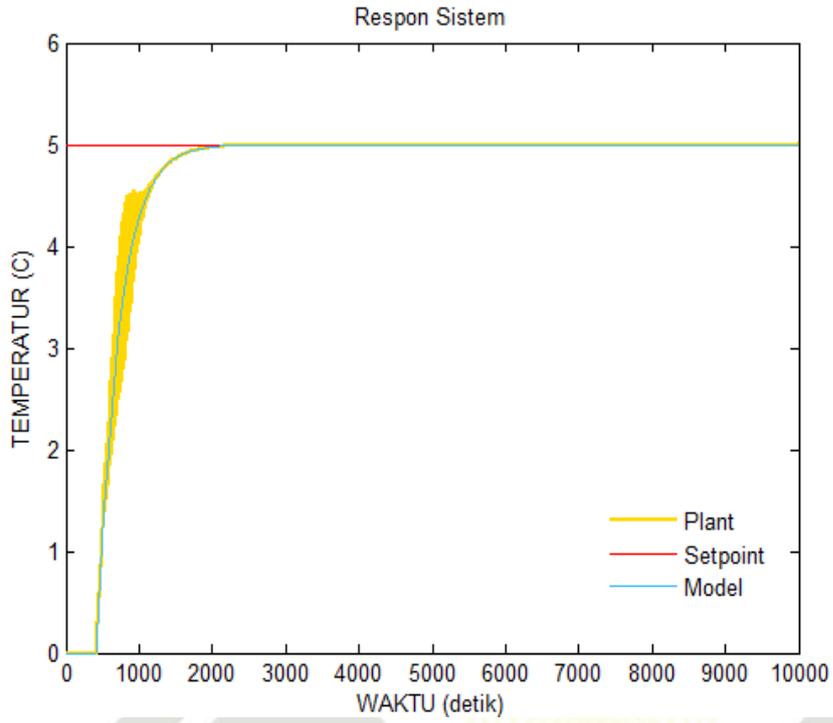
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

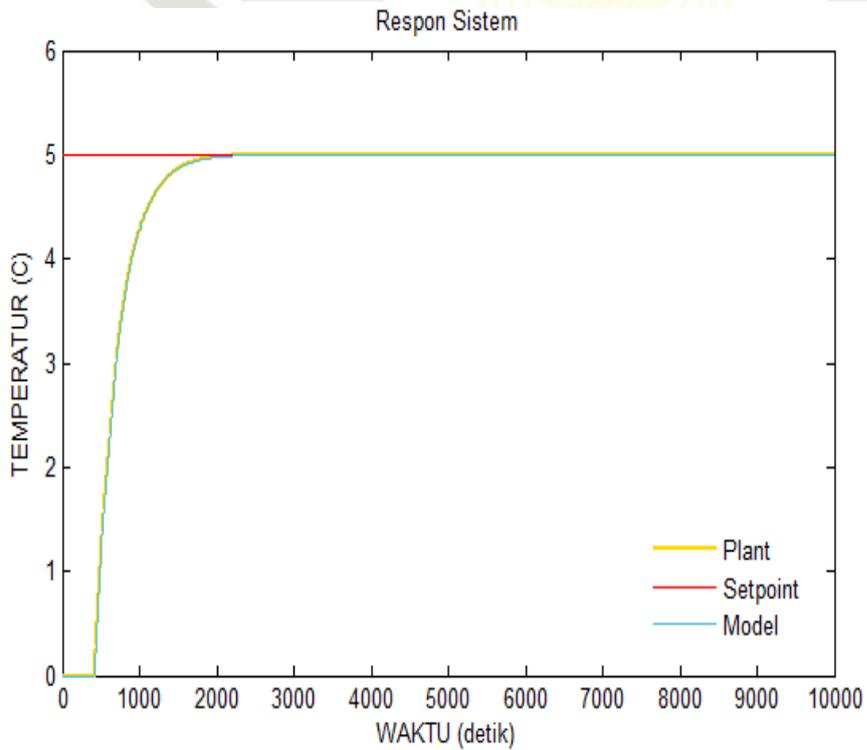
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

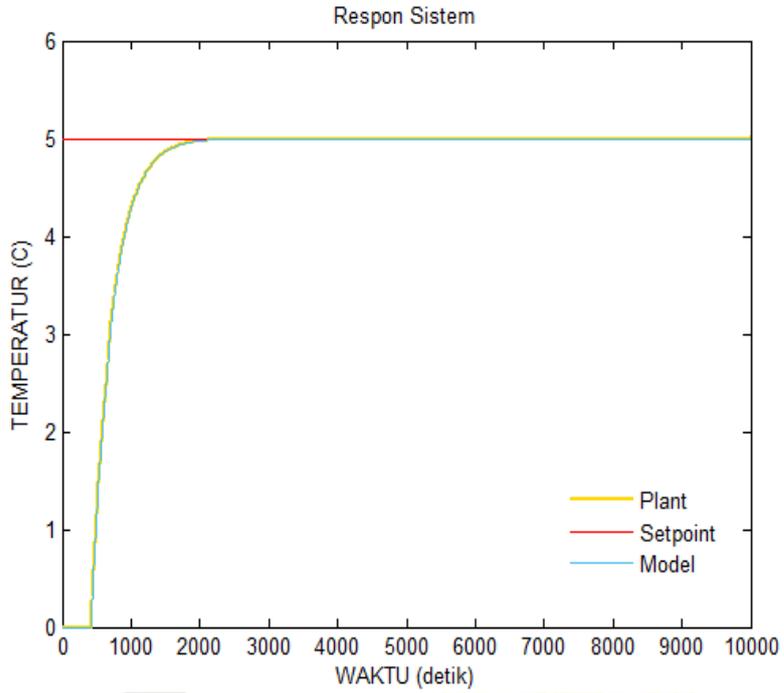
7. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.7$, $K_i = 0.06$, $K_d = 0.4$



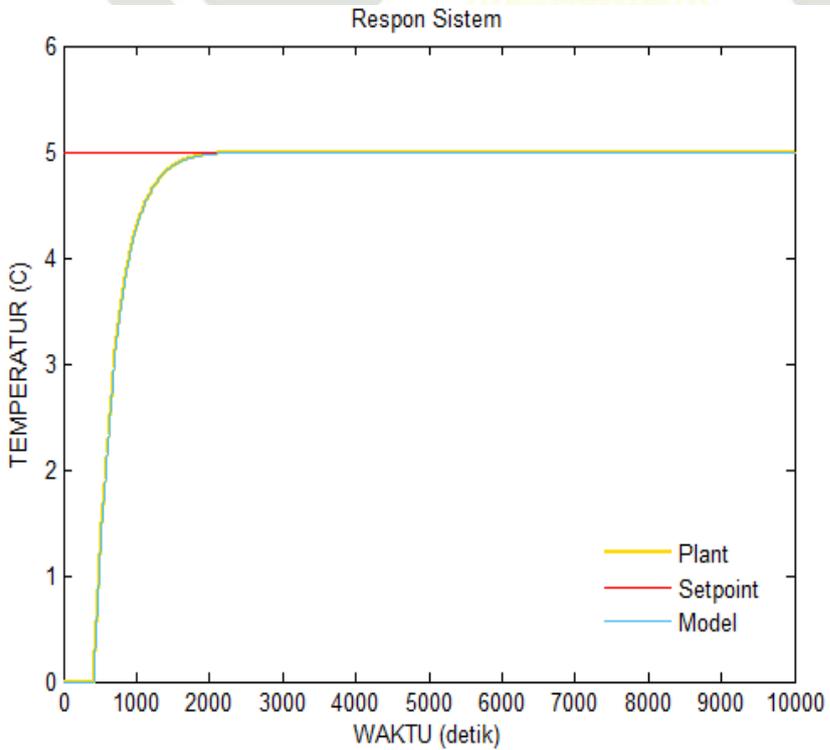
8. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.8$, $K_i = 0.08$, $K_d = 0.8$



9. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 0.9$, $K_i = 0.08$, $K_d = 2$



10. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 1$, $K_i = 0.1$, $K_d = 3$



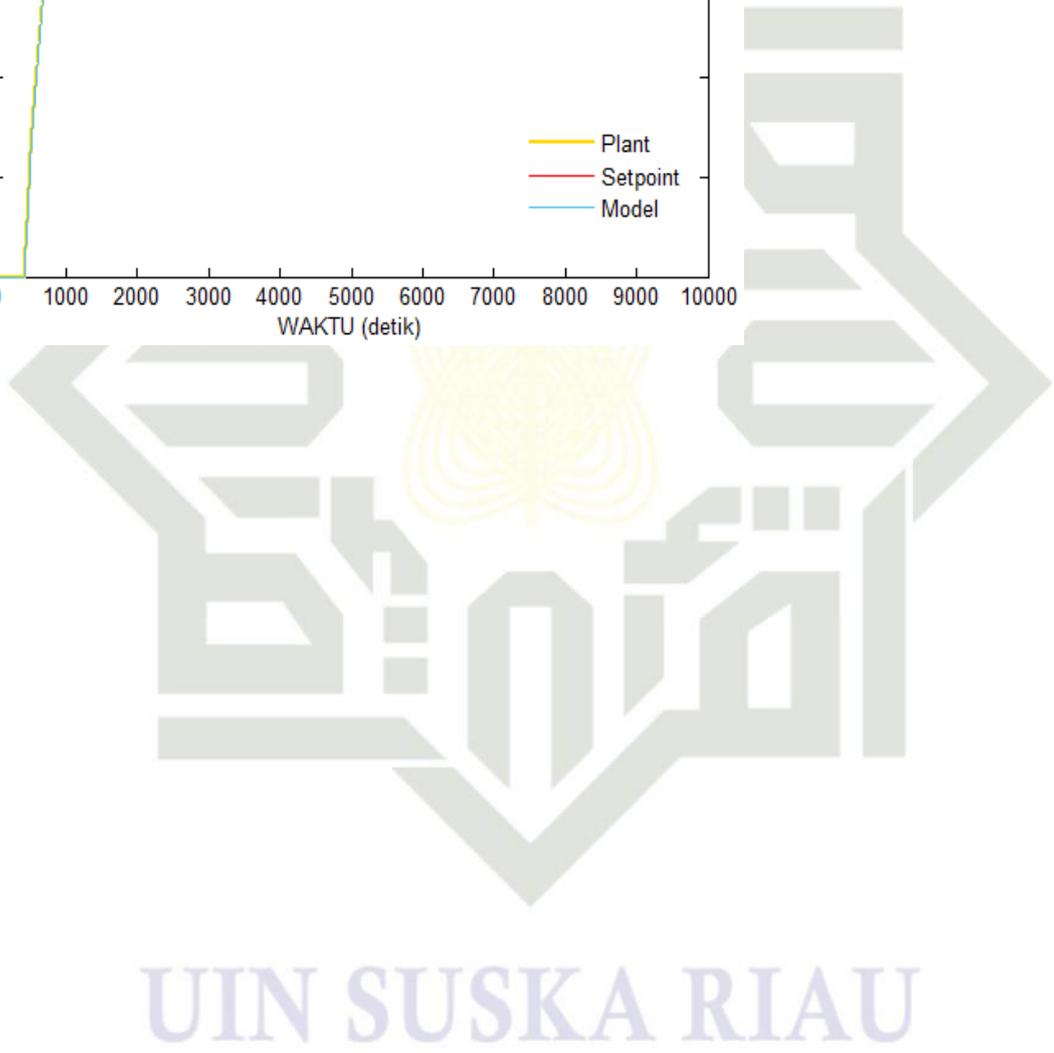
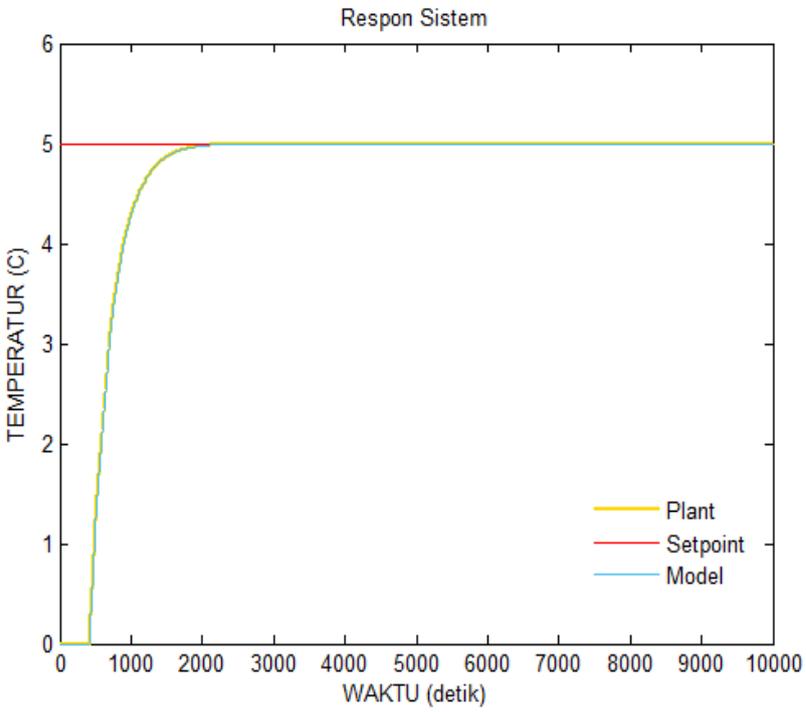
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

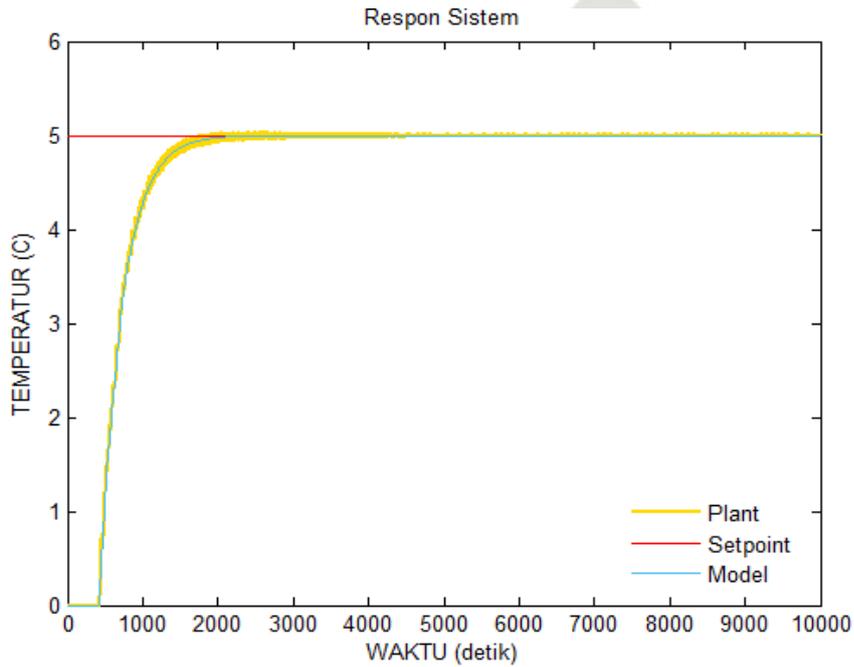
1. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = -1.5$ dan $K_p = 1.5$, $K_i = 0.1$, $K_d = 4$



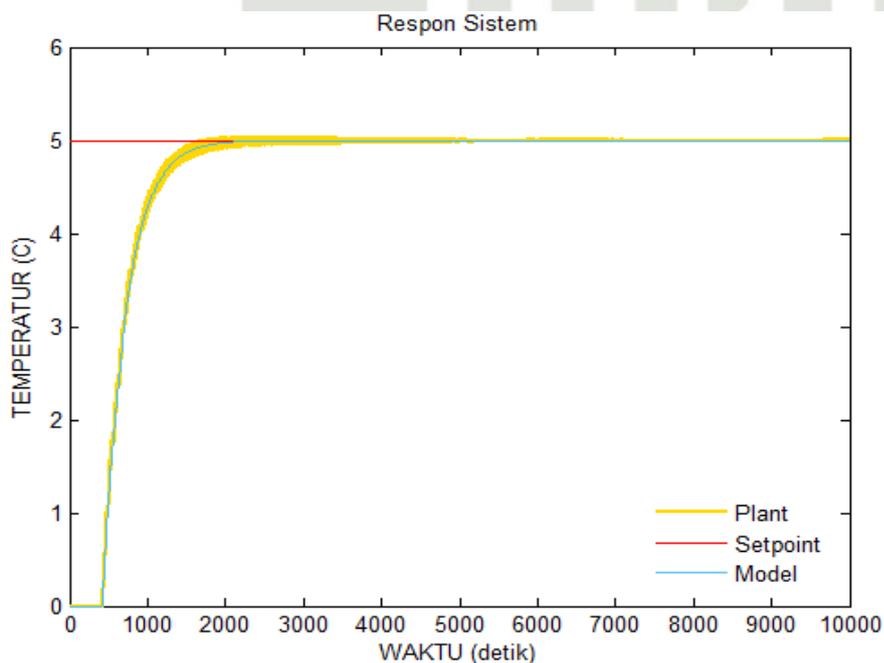
LAMPIRAN F

Proses Tuning Parameter Kp, Ki dan Kd Pada pengendalian MRAC Tiga gamma kombinasi PID

1. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.1$



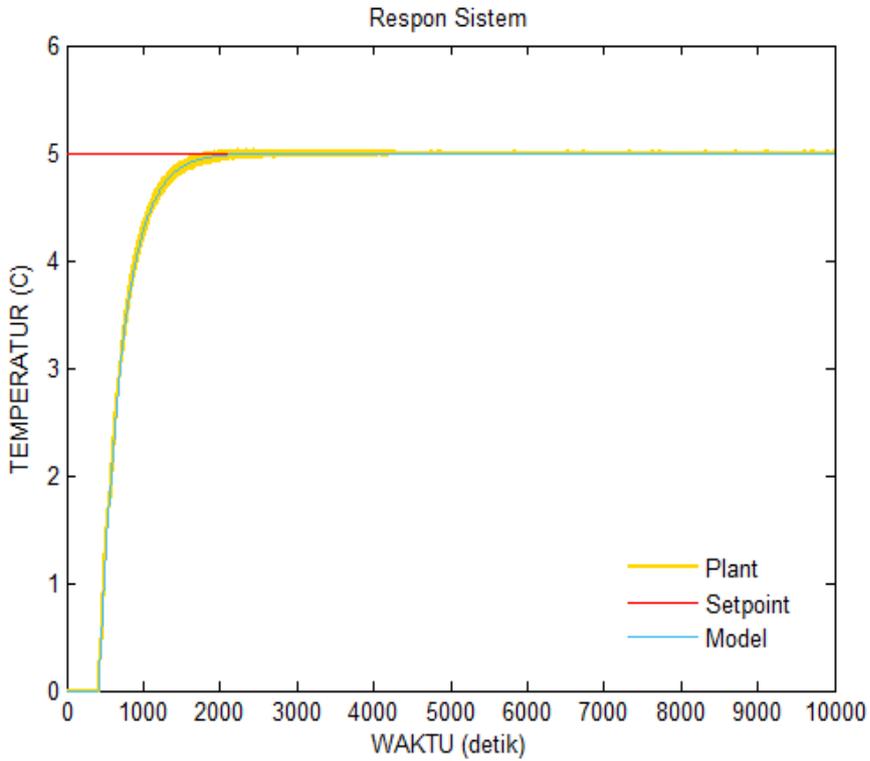
2. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.2$



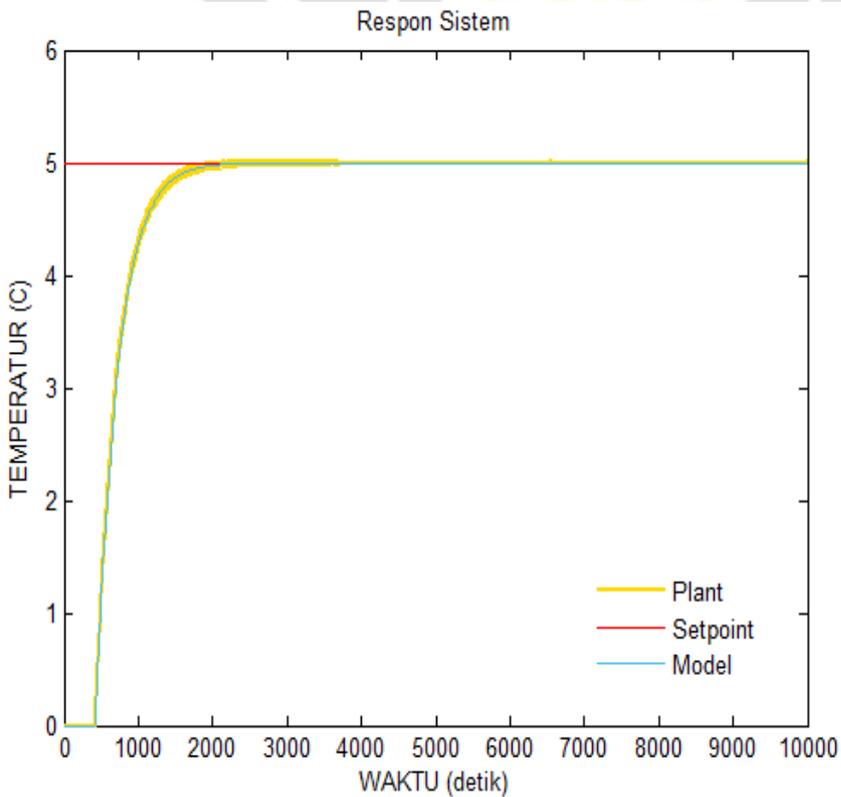
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.3$



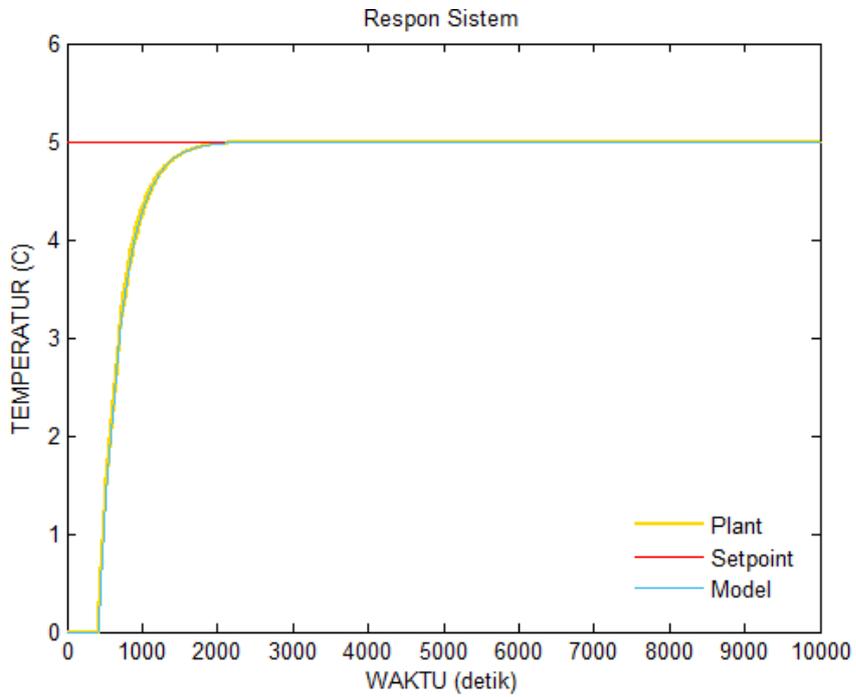
4. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.4$



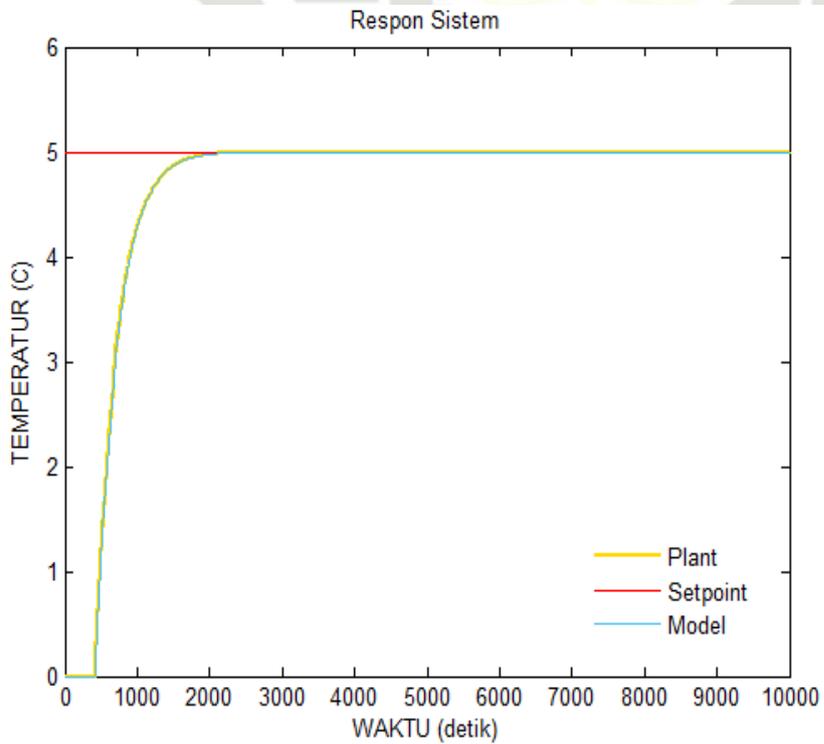
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.5$, $K_i = 0.01$, $K_d = 0.1$



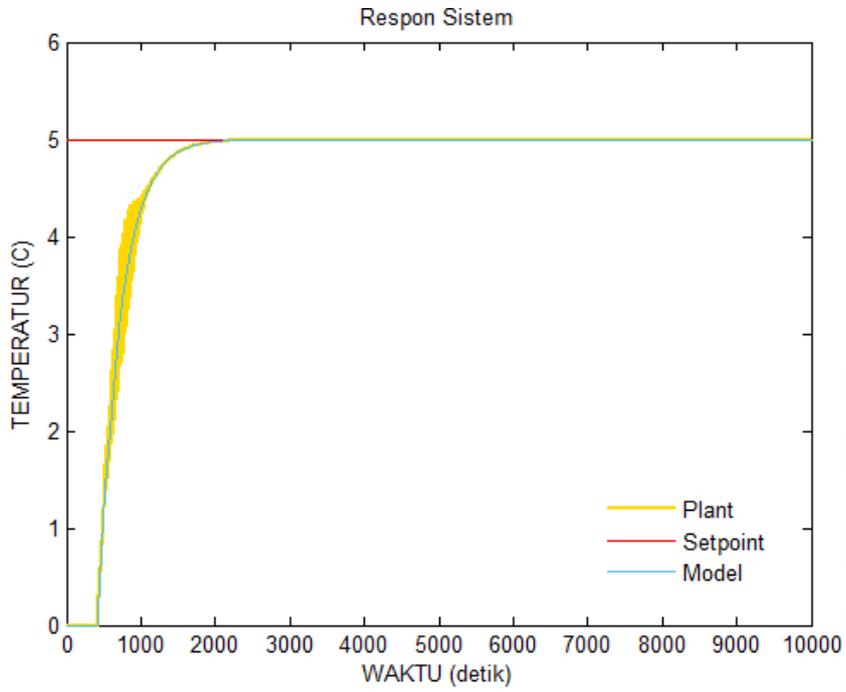
6. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.6$, $K_i = 0.02$, $K_d = 0.2$



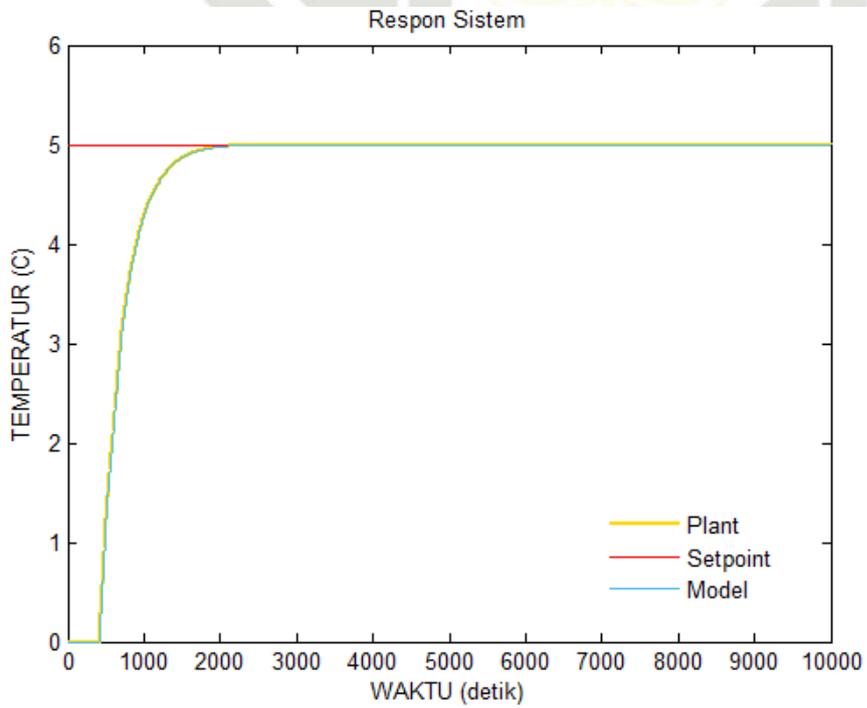
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

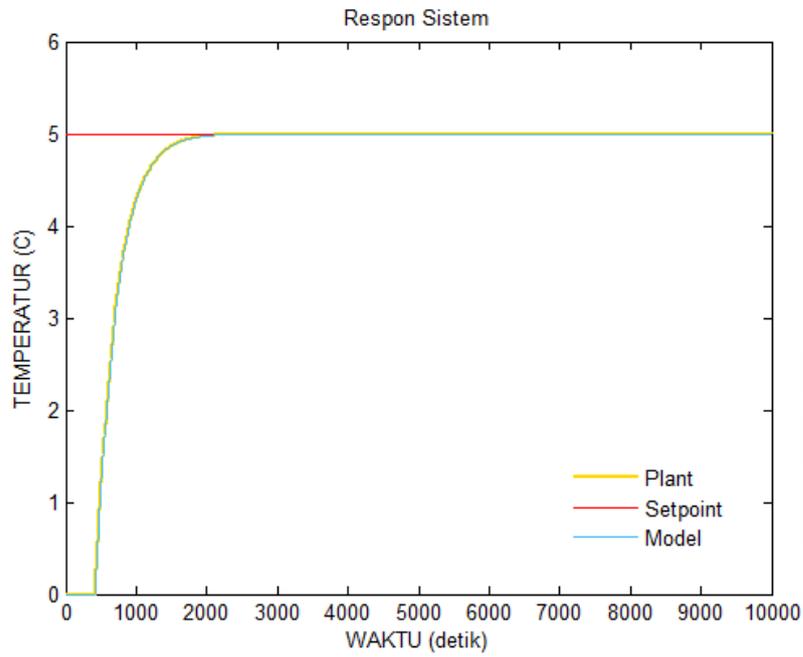
7. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.7$, $K_i = 0.06$, $K_d = 0.4$



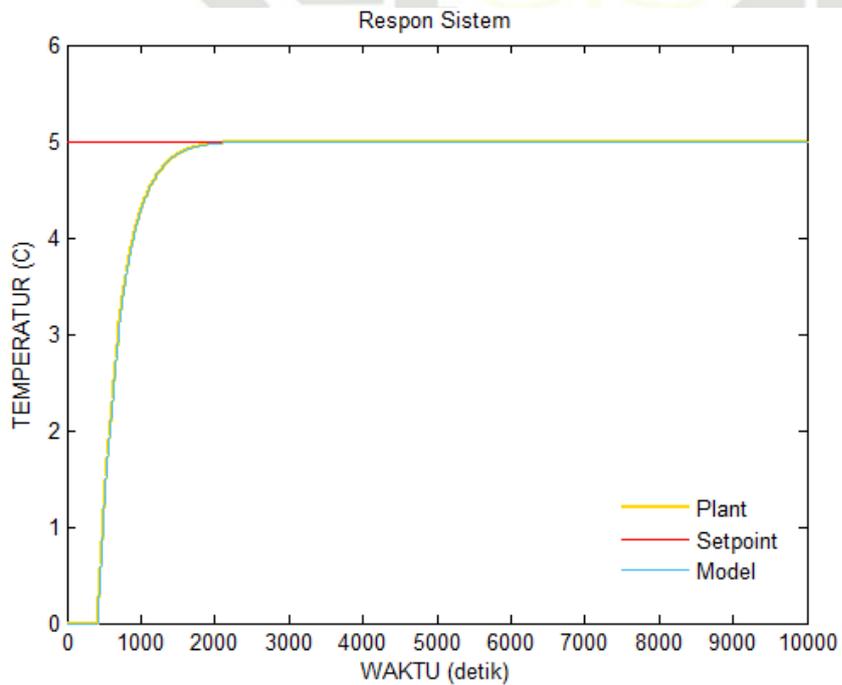
8. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.8$, $K_i = 0.08$, $K_d = 0.8$



9. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 0.9$, $K_i = 0.08$, $K_d = 2$



10. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 1$, $K_i = 0.1$, $K_d = 3$



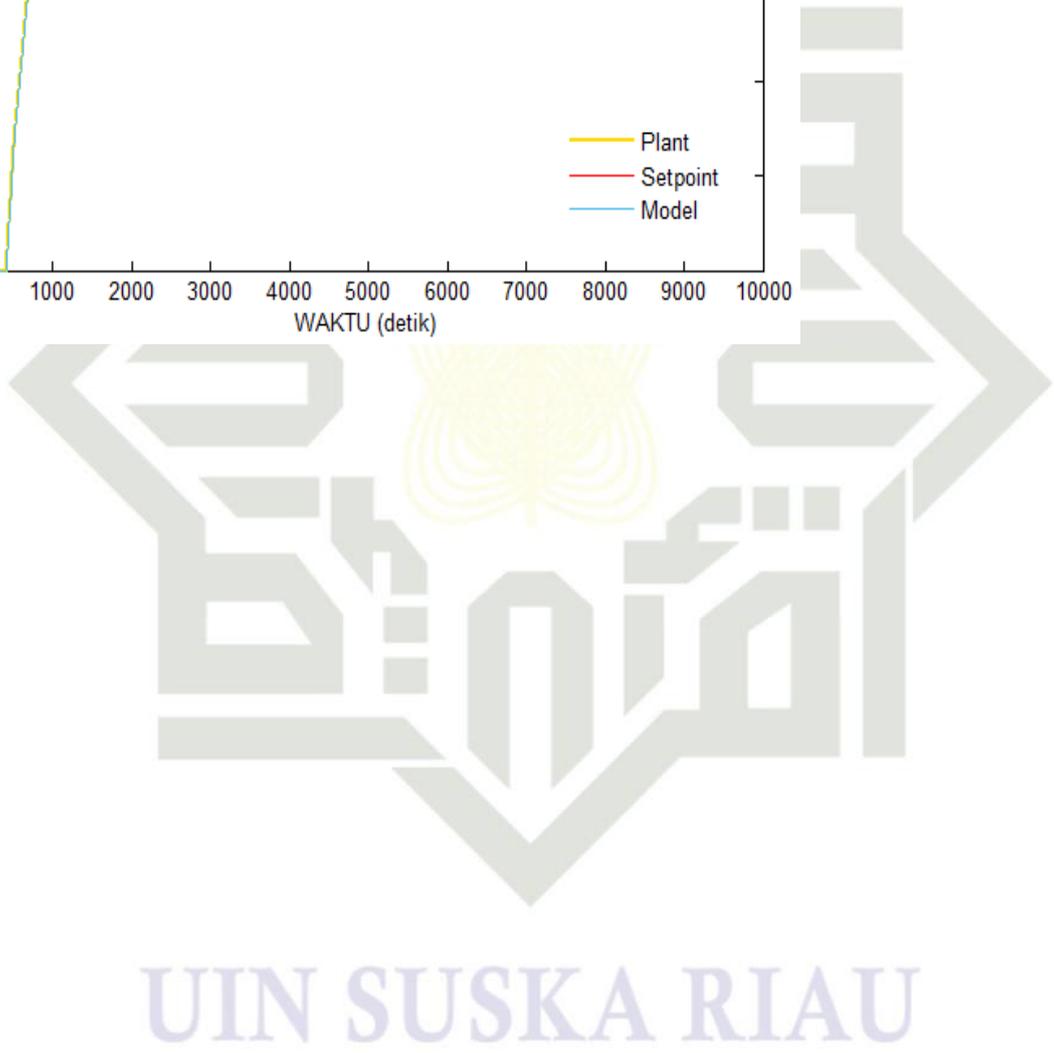
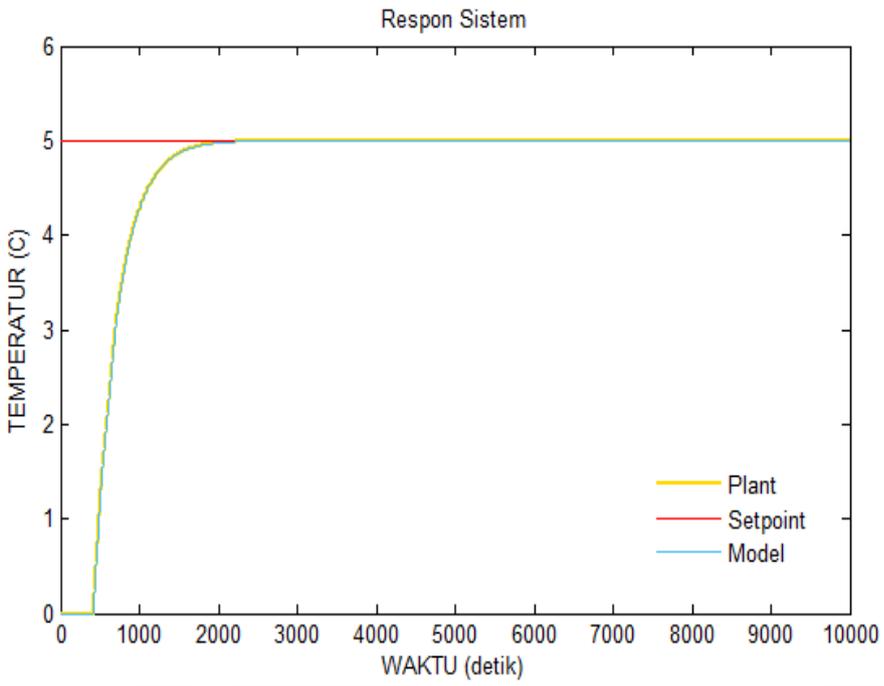
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

11. Hasil simulasi MRAC-PID dengan $\gamma_1 = 1.5$, $\gamma_2 = 1.5$, $\gamma_3 = 0.1$ dan $K_p = 1.5$, $K_i = 0.1$, $K_d = 4$



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Yanda Pramana Yuda, kelahiran Lubuk alung, 17 Februari 1997 merupakan anak pertama dari 4 bersaudara, buah hati dari pasangan Yurnalis dan Almaida. Penulis menempuh pendidikan SD Negeri 04 Punggung kasik dan lulus pada tahun 2009, selanjutnya penulis meneruskan pendidikan di SMP Negeri 01 Sintoga dan lulus pada tahun 2012, selanjutnya penulis meneruskan pendidikan SMA Negeri 1 Nan Sabaris dan lulus pada tahun 2015, dan melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif

Kasim Riau Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Instrumentasi Elektronika lulus pada tahun 2019.

Dengan karunia Allah SWT, ketekunan serta rasa motivasi yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan manfaat dan kontribusi untuk siapa saja yang membutuhkannya.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul **“Analisa Pengaruh PID Pada Pengendali MRAC Dengan Penambahan Nilai Gamma Pada Sistem Pendingin Jamur Merang Untuk Mengendalikan Temperatur”**.

No Handphone : 0823-9221-3714

Email : Yandapramana1997@gmail.com

Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh PID Pada Pengendali MRAC Dengan Penambahan Nilai Gamma Pada Sistem Pendingin Jamur Merang Untuk Mengendalikan Temperatur

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.