



PERANCANGAN KENDALI MRAC-PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA *HEAT EXCHANGER*

LAPORAN TUGAS AKHIR

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



Oleh :

NURUL HIDAYATULLAH
11755101983

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2023

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



- 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

PERANCANGAN KENDALI MRAC-PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA *HEAT EXCHANGER*

TUGAS AKHIR

Oleh:

NURUL HIDAYATULLAH
11755101983

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, Pada tanggal 22 Desember 2022

Ketua Program Studi

Teknik Elektro

Dr. Zulfatri Aini, ST., MT.
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing

Putut Son Maria, S.ST., MT.
NIK. 130508079



- 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

**PERANCANGAN KENDALI MRAC-PD UNTUK PENGENDALIAN
TEMPERATUR PADA HEAT EXCHANGER**

TUGAS AKHIR

Oleh:

NURUL HIDAYATULLAH
11755101983

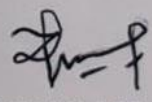
Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 22 Desember 2022

Pekanbaru, 22 Desember 2022

Mengesahkan,

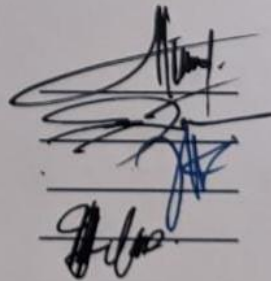
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Hartono, M. Pd
NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dr. Zulfatri Aini, ST., MT.
NIP. 19721021 200604 2 001

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Ahmad Faizal, ST., MT.
Sekretaris : Putut Son Maria S.ST., MT.
Anggota I : Jufrizel, ST., MT.
Anggota II : Hilman Zahrory, ST., M.Eng.





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 di perkenankan dicatat, tetapi penutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

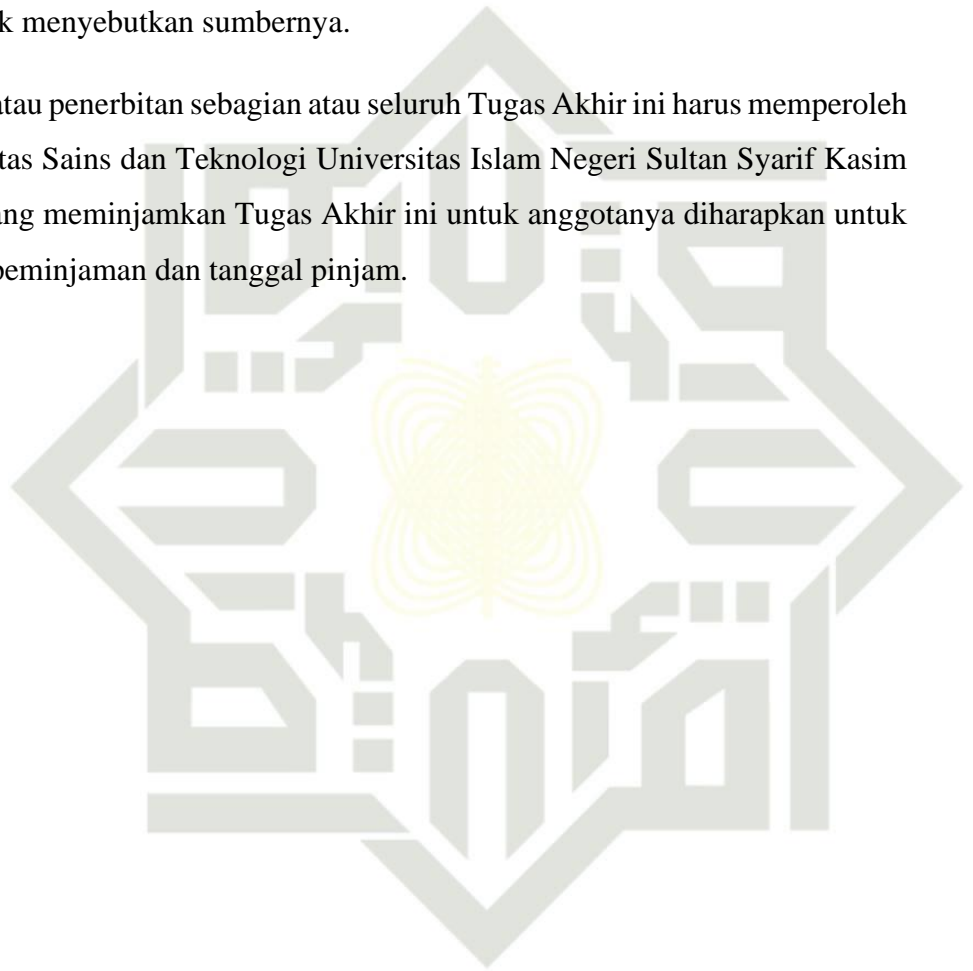
Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal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

© Hak Cipta dan Merek UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip, mengutip 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



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barangsiapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.

(HR. Tirmidzi)

Terima Kasih Ya Allah...

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu

dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.

(QS: Al-Mujadilah 11)

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.



Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku."

(QS: Al-Isra 80)

| NURUL HIDAYATULLAH |

| 22 Desember 2022 |



UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Diindungi 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.



PERANCANGAN KENDALI MRAC-PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA *HEAT EXCHANGER*

NURUL HIDAYATULLAH

NIM. 11755101983

Tanggal Sidang : 22 Desember 2022

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. HR. Soebrantas, Km 15 No. 155 Panam, Pekanbaru

ABSTRAK

Heat Exchanger adalah suatu alat yang berfungsi untuk penular panas (kalar) dari suatu fluida ke fluida lain yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu (temperatur). Permasalahan yang terdapat pada *Heat Exchanger* yaitu lambatnya respon waktu, adanya *overshoot* yang seharusnya masih bisa diminimalisir, dan adanya gangguan temperatur yang disebabkan oleh faktor lingkungan luar, sehingga dibutuhkan pengendali yang mampu bekerja secara efektif untuk mengoptimalkan kinerja *Heat Exchanger*. Pada penelitian ini menggunakan pengendali *Model Reference Adaptive Controller- Proportional Derivative* (MRAC-PD) guna mengatasi permasalahan yang terjadi. *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) didefinisikan sebagai sistem kendali adaptif yang mana nilai pedorma *output system* yang ada pada proses linear dengan peforma *output* model referensi yang memiliki berbagai parameter kendali yang dapat diatur dengan mekanisme pengaturan yang berdasar pada kesalahan yang berasal dari selisih antara *output plant* dengan *output* model referensi. Berdasarkan dari hasil simulasi dan analisa dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan pengendali MRAC-PD pada *Heat Exchanger*, pengendali berhasil memperoleh keluaran yang mencapai *setpoint* sebesar 50°C, konstanta waktu (τ) sebesar 0.9683 detik, waktu tunak /*Settling Time* sebesar 1.01 detik, waktu naik / *Rise Time* 2.06 detik, waktu tunda / *Delay Time* sebesar 0.72 detik dan *error steady state* 0.01°C, dapat dilihat bahwa pengendali MRAC-PD mampu mencapai kondisi stabil. Dari keadaan respon keluaran *plan* sebelum diberi pengendali terdapat *error steady state* sebesar 24.99°C, konstanta waktu (τ) sebesar 26.2179 detik, waktu tunak / *Settling Time* sebesar 32.44 detik, waktu naik / *Rise Time* sebesar 11.7 detik, waktu tunda/*Delay Time* sebesar 24.1936 detik.

Kata Kunci : *Heat Exchanger*, MRAC-PD, Respon Transien



DESIGN OF MRAC-PD CONTROL FOR TEMPERATURE CONTROL ON HEAT EXCHANGER

NURUL HIDAYATULLAH

NIM. 11755101983

Session Date : December 22th, 2022

Electrical Engineering Study Program

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim State Islamic University Riau

Jl. HR. Soebrantas, Km 15 No. 155 Panam, Pekanbaru

ABSTRACT

Heat Exchanger is a tool that functions to exchange heat (heat) from one fluid to another fluid caused by a difference in temperature (temperature). The problems found in the Heat Exchanger are the slow response time, the overshoot which should still be minimized, and the presence of temperature disturbances caused by external environmental factors, so that a controller is needed that is able to work effectively to optimize the Heat Exchanger performance. In this study using the MRAC-PD controller to overcome the problems that occur. Model Reference Control Adaptive (MRAC) is defined as an adaptive control system in which the output system performance values exist in a linear process with the output performance of a reference model that has various control parameters that can be adjusted with a control mechanism based on errors originating from the difference between plant outputs with reference model outputs. Based on the results of simulation and analysis, it can be concluded that by using the MRAC-PD controller on the Heat Exchanger, the controller managed to obtain an output that reached a setpoint of 50 °C, a time constant (τ) of 1.007 seconds, a settling time of 3.8994 seconds, an ascending time / Rise Time of 2.1918 seconds, a delay time / Delay Time of 0.693 seconds, it can be seen that the MRAC-PD controller is able to achieve a stable condition. From the response state of the plan output before being given the controller there was a steady state error of 24.99°C, a time constant (τ) of 26.2179 seconds, a settling time of 32.44 seconds, an ascending time / Rise Time of 11.7 seconds, a delay time of 24.1936 seconds.

Keywords: Heat Exchanger, MRAC-PD, Transient Response

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip 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



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Perancangan Kendali MRAC-PD Untuk Pengendalian Temperatur Pada *Heat Exchanger*”.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga doa orang-orang yang ada di sekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu, Bapak, dan Adek tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Prof. Dr. Hairunnas, M.Ag selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Dr. Zulfatri Aini, ST., MT. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Sutoyo, S.T, M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau dan Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga semester 11 ini.
6. Putut Son Maria, S.ST., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.



7. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Teman-teman Go to Jannah selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Sahabat (Tiara Puja Haryadi, Talil Darmiayu Putri, Nadhira Benedicta, Juliesty Hriswina Nasution) yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Seluruh teman-teman yang telah meluangkan waktunya untuk banyak membantu penulis dalam berbagai hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 22 Desember 2022

Penulis,

Nurul Hidayatullah
NIM.11755101983

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Diindungi 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 ISI

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Diizinkan untuk 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	Error!
LEMBAR PENGESAHAN	Error!
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN	iii
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR RUMUS	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penilaian	I-3
1.4 Batasan Masalah	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori	II-2
2.2.1 <i>Heat Exchanger Shell and Tube</i>	II-2
2.2.2 Model Matematis Sistem Orde Satu dengan Waktu Tunda	II-3
2.3 Sistem Kendali	II-4
2.4 Pengendali Model <i>Reference Adaptive Controller</i> (MRAC)	II-5
2.5 Pengendali PD	II-7
2.5.1 Pengendali <i>Proportional</i> (P)	II-7
2.5.2 Pengendali <i>Derivative</i> (D)	II-7
2.6 Identifikasi Respon Transien	II-8
2.7 Metode <i>Heuristic</i>	II-10
2.8 MATLAB	II-10



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1.	Proses Alur Penelitian.....	III-1
2.	Tahapan Penelitian.....	III-2
3.	Pemodelan Matematis <i>Heat Exchanger</i>	III-3
3.1	Verifikasi dan Simulasi Pemodelan Matematis Sistem <i>Heat Exchanger</i>	III-4
3.2	Skenario Penelitian	III-5
3.3	Perancangan Pengendali	III-6
3.3.1	Perancangan Pengendali MRAC.....	III-6
3.3.2	Perancangan Pengendali MRAC-PD	III-7
3.4	Respon Transient Terhadap Pengujian Sistem	III-9

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1	Gambaran Umum Analisa Sistem	Error!
	Bookmark not defined.	
4.2	Hasil Pengujian <i>Heat Exchanger Secara Close Loop</i>	Error!
	Bookmark not defined.	
4.2.1	Analisa Pengujian Sistem <i>Heat Exchanger Secara Close Loop</i>	Error!
	Bookmark not defined.	
4.3	Hasil dan Analisa Simulasi Penguatan Nilai <i>Gain</i> Pengendali MRAC Pada <i>Heat Exchanger</i>	Error!
	Bookmark not defined.	
4.3.1	Analisa Pengujian Sistem <i>Heat Exchanger</i> Menggunakan Pengendali MRAC.....	Error!
	Bookmark not defined.	
4.4	Hasil dan Analisa Simulasi Pengendali MRAC-PD Pada <i>Heat Exchanger</i>	Error!
	Bookmark not defined.	
4.4.1	Analisa Pengujian Sistem <i>Heat Exchanger</i> Menggunakan Pengendali MRAC.....	Error!
	Bookmark not defined.	
4.5	Hasil dan Analisa Pengendali MRAC-PD dalam Mengatasi Gangguan Pada <i>Heat Exchanger</i>	Error!
	Bookmark not defined.	

BAB V PENUTUP

2. Dilarang mengumpukan 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.



5.1 Kesimpulan **Error!**

Bookmark not defined.

Saran **Error!**

Bookmark not defined.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang menyalin, mengutip, atau seluruh karya tulis ini tanpa mengizinkan 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.

©Himpunan Ilmiah UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *Heat Exchanger Shell and Tube*[13]..... II-3
 Gambar 2. 2 Grafik *Openloop* Sistem Orde Satu dengan Waktu Tunda..... II-4
 Gambar 2. 3 Blok Diagram Skema *Model Reference Adaptive Control (MRAC)*[15] II-5
 Gambar 2. 4 Blok Diagram Skema MRAC dengan Metode *MIT Rule* II-6
 Gambar 2. 5 Diagram Blok Kontrol *Proportional*[16]..... II-7
 Gambar 2. 6 Diagram Blok Kendali *Derivative* [14] II-8
 Gambar 2. 7 Respon Transien Sistem Orde 1[7]..... II-9
 Gambar 2. 8 Simbol Matlab 2014a..... II-10
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian..... III-1
 Gambar 3. 2 Data Pengukuran Sistem[5] III-3
 Gambar 3. 3 Pemodelan Matematis..... III-5
 Gambar 3. 4 Blok *Simulink Close Loop Heat Exchanger* III-5
 Gambar 3. 5 Respon *Close Loop Heat Exchanger*..... III-5
 Gambar 3. 6 Blok *Simulink* Pengendali MRAC *Heat Exchanger*..... III-7
 Gambar 3. 7 Blok *Simulink* Pengendali MRAC-PD *Heat Exchanger* III-8
 Gambar 4. 1 Blok *Simulink Close Loop Heat Exchanger* **Error! Bookmark not defined.**
 Gambar 4. 2 Respon *Close Loop Heat Exchanger* **Error! Bookmark not defined.**



Gambar 4. 3 Respon *Heat Exchanger* dengan Pengendali MRAC **Error! Bookmark not**

defined.

Gambar 4. 4 Grafik *Heat Exchanger* dengan Pengendali MRAC **Error! Bookmark not**

defined.

Gambar 4. 5 Respon *Heat Exchanger* dengan Pengendali MRAC-PD **Error! Bookmark not**

defined.

Gambar 4. 6 Grafik *Heat Exchanger* dengan Pengendali MRAC-PD **Error! Bookmark not**

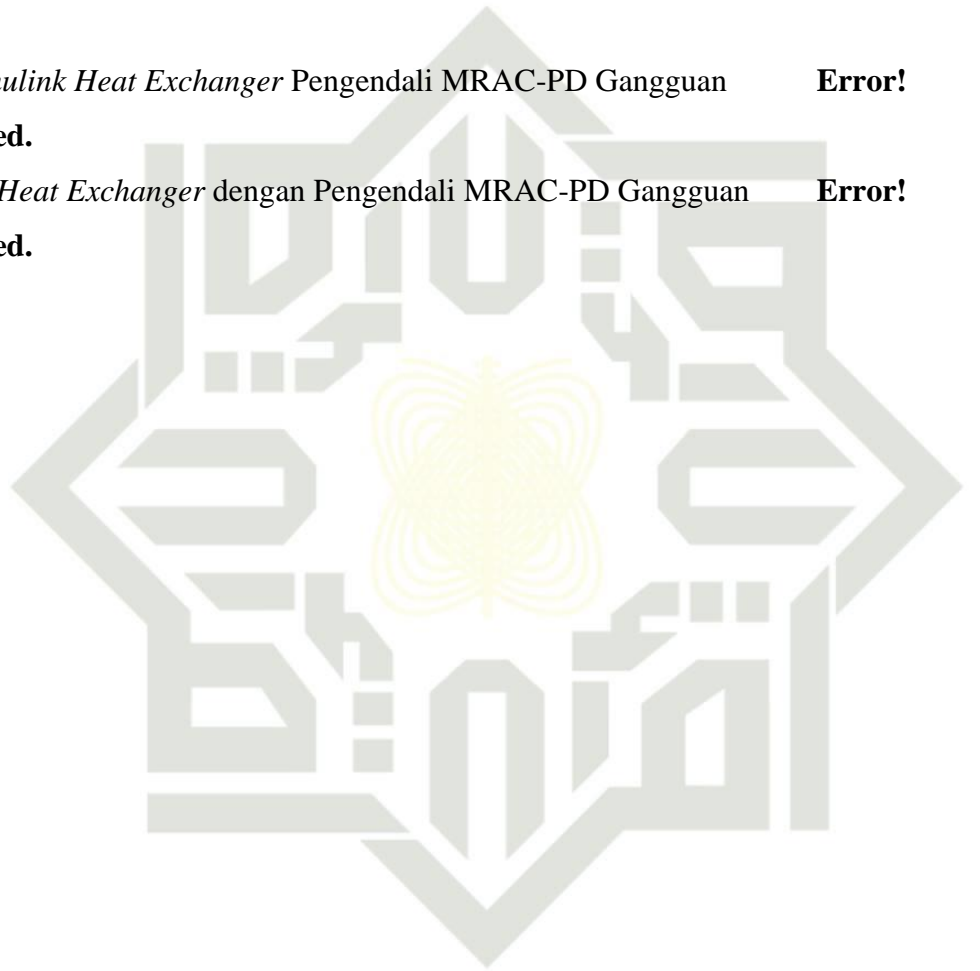
defined.

Gambar 4. 7 Blok *Simulink Heat Exchanger* Pengendali MRAC-PD Gangguan **Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4. 8 Respon *Heat Exchanger* dengan Pengendali MRAC-PD Gangguan **Error!**

Bookmark not defined.



1. Dilarang mengutip, menjiplak, atau menjiplak 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.



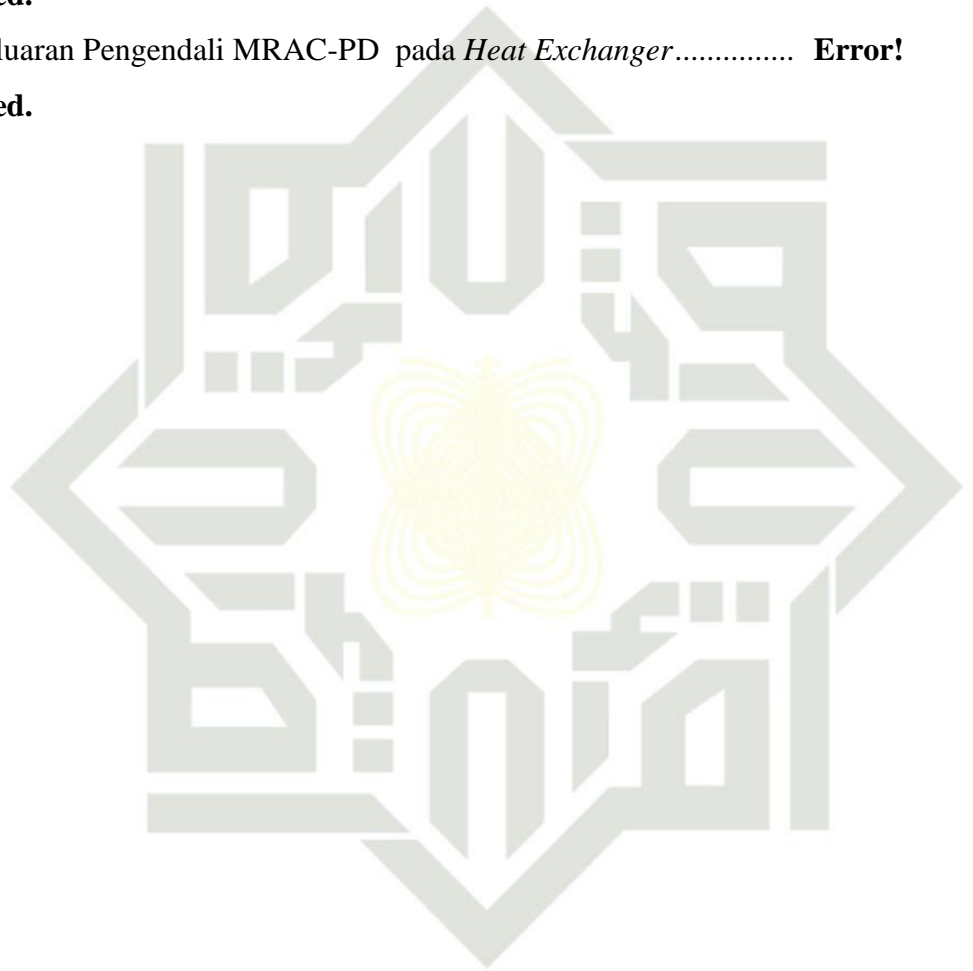
DAFTAR TABEL

	Tabel 3.1 Pencarian nilai <i>Gain</i> MRAC pada Sistem <i>Heat Exchanger</i>	III-7
	Tabel 3.2 Penalaan Nilai parameter P dan D dengan Metode <i>Heuristic</i>	III-8
	Tabel 4.1 Respon <i>Close Loop steady State</i> 0.5001 °Celcius.....	Error!
	Tabel 4.2 Respon Keluaran Pengendali MRAC pada <i>Heat Exchanger</i>	Error!
	Tabel 4.3 Respon Keluaran Pengendali MRAC-PD pada <i>Heat Exchanger</i>	Error!

Bookmark not defined.

Bookmark not defined.

Bookmark not defined.



UIN SUSKA RIAU

- 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 RUMUS

- 1. Persamaan Konstanta Waktu
- 1. Persamaan Waktu Tunda
- 1. Persamaan Fungsi Alih
- 1. Persamaan Kendali *Proportional*
- 1. Persamaan Model Referensi Temperatur *Heat Exchanger*

© Himpunan Matematika 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

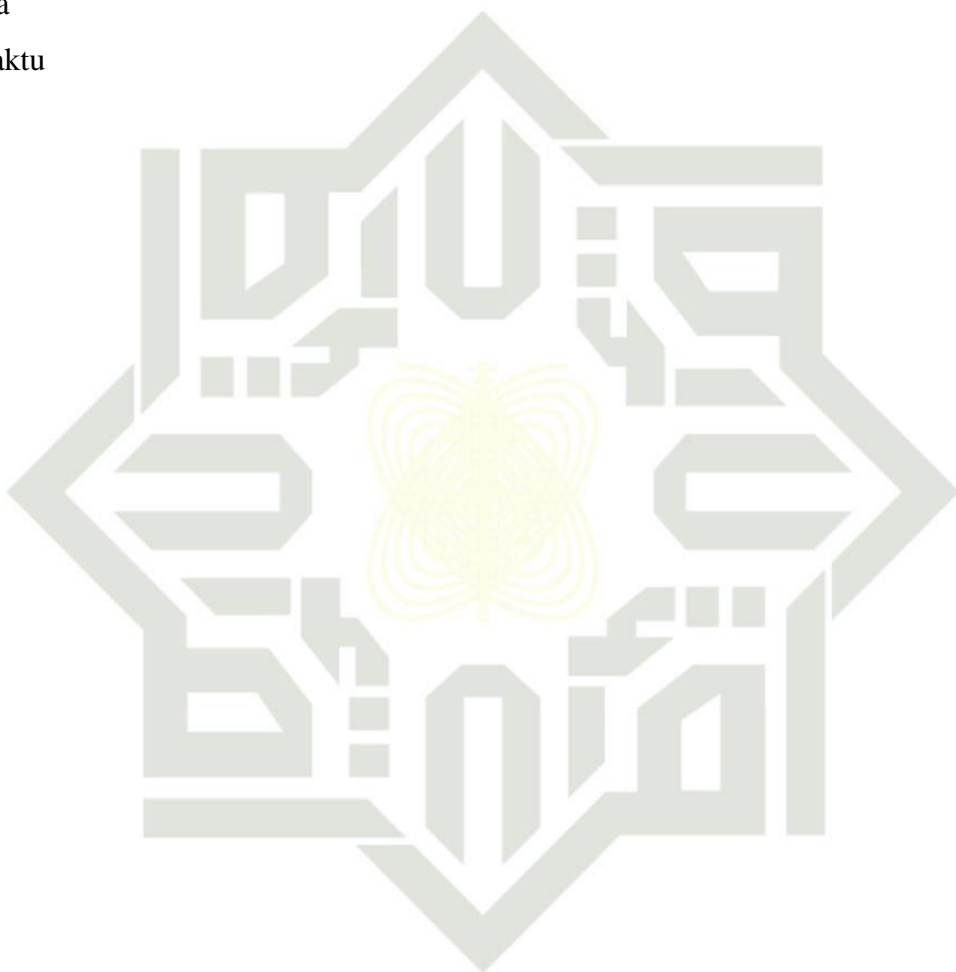


DAFTAR SIMBOL

⊙	Nilai Keluaran
≡	Tegangan
≡	Konstanta Waktu
≡	Waktu
≡	Nilai Masukan
≡	Waktu Tunda
≡	Konstanta Waktu

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Di larang 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.





ak c t n i JIN

U n i v e r s i t a s I s l a m i k S u l t a n S y a r i f K a s i m R i a u

J a m b i

2 0 1 9

U n i v e r s i t a s I s l a m i k S u l t a n S y a r i f K a s i m R i a u

J a m b i

2 0 1 9

U n i v e r s i t a s I s l a m i k S u l t a n S y a r i f K a s i m R i a u

J a m b i

2 0 1 9

U n i v e r s i t a s I s l a m i k S u l t a n S y a r i f K a s i m R i a u

J a m b i

2 0 1 9

U n i v e r s i t a s I s l a m i k S u l t a n S y a r i f K a s i m R i a u

J a m b i

2 0 1 9

U n i v e r s i t a s I s l a m i k S u l t a n S y a r i f K a s i m R i a u

J a m b i

2 0 1 9

U n i v e r s i t a s I s l a m i k S u l t a n S y a r i f K a s i m R i a u

J a m b i

2 0 1 9

U n i v e r s i t a s I s l a m i k S u l t a n S y a r i f K a s i m R i a u

J a m b i

DAFTAR SINGKATAN

- = *Error Steady State*
- = *Fuzzy Logic Controller*
- = *Control Horizon*
- = *Predict Horizon*
- = *Konstanta Derivative*
- = *Konstanta Proportional*
- = *Linear Quadratic Regulator*
- = *Matrix Laboratory*
- = *Model Predictive Control*
- = *Model Reference Adaptive Control*
- = *Proportional Integral Derivative*
- = *Sliding Mode Controller*
- = *Delay Time*
- = *Transfer Function*
- = *Peak Time*
- = *Rise Time*
- = *Time Settling*

1. ESS
 2. HC
 3. HP
 4. Kd
 5. Kp
 6. QRC
 7. MATLAB
 8. MPC
 9. MRAC
 10. PID
 11. SMC
 12. TD
 13. TF
 14. TP
 15. TR
 16. TS
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Salah satu teknologi yang terdapat dalam industri pangan adalah alat penukar panas (*Heat Exchanger*). *Heat Exchanger* adalah suatu alat yang berfungsi untuk penukar panas dari suatu fluida ke fluida lain yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu (suhu) [1]. Salah satu jenis alat yang memiliki fungsi menukar kalor yang paling banyak adalah jenis *Tube Heat Exchanger* dan *Shell*, yang tersusun atas *shell* tabung yang ada di bagian luar dan sejumlah *tube* yang ada di bagian dalam, dimana suhu cairan yang ada di dalam *tube* memiliki temperatur yang berbeda dengan di luar *tube*. Daerah yang memiliki hubungan dalam bagian *tube* disebut dengan *tube side*, sedangkan yang berhubungan dengan bagian luarnya disebut dengan istilah *shell side* [2]. Sistem *Heat Exchanger* mengalami perbedaan temperatur, hal tersebut terjadi berdasarkan hukum termodinamika ke-2, dimana kalor berpindah dari benda yang memiliki temperatur tinggi ke benda yang memiliki temperatur rendah, tetapi hal tersebut tidak berlaku sebaliknya [3].

Terbatasnya area kerja sensor dan adanya *baffle* pada *plant Heat Exchanger* mengakibatkan adanya respon waktu yang lama dan *error steady state*[4]. Masalah lain yang terdapat pada *Heat Exchanger* adalah adanya gangguan perubahan temperatur yang tidak terduga[5]. Hal di atas berdampak pada hasil produksi yang mengalami kecacatan produk atau dengan kata lain produk yang dihasilkan tidak sesuai standar produksi[6]. Maka dari itu diperlukan suatu pengendali untuk mengatasi masalah yang ada.

Beberapa penelitian tentang *Heat Exchanger* yang sudah dilakukan yaitu penelitian tentang *tuning* parameter PID dengan menggunakan metode Ciancone, metode yang ada tersebut berdasar pada perubahan reaksi yang ada saat *plant* diberi masukan dan juga respon keluaran sistem yang ada dijadikan menjadi dasar untuk menghasilkan permodelan matematis dengan memanfaatkan pendekatan pada orde 1. Setelah itu dilakukan perhitungan *fraction dead time*, serta melakukan penentuan nilai PID yang berdasar pada grafik Ciancone *Correlation* yang dihasilkan. Dengan metode yang digunakan diperoleh hasil yang terbukti mampu melakukan kendali temperatur pada *plant heat exchanger*, sehingga dapat mencapai nilai *setpoint* dengan *rise time* sebesar 21,9 sekon, *settling time* 101 sekon, *overshoot* sebesar 2,27% dengan ESS sebesar 0. Sistem yang dibangun juga mampu mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan juga saat kondisi diberi *fault*/gangguan, dan mampu kembali pada keadaan *ready state* dalam waktu 150 sekon [5]. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa



masih terdapat *overshoot* sebesar 2.27% dan respon waktu yang cenderung lambat yang seharusnya masih bisa dioptimalkan lagi.

Penelitian selanjutnya yaitu penelitian tentang pengendalian temperatur fluida *Heat Exchanger* dengan menggunakan pengendali Algoritma MPC (*Model Predictive Control*) telah berhasil diaplikasikan untuk mengatasi masalah *Heat Exchanger* seperti Respon Waktu yang lama dan adanya perubahan *setpoint*. Keuntungan dari MPC karena kedua variabel, yaitu variabel manipulasi dan variabel kontrol, dihitung dengan menggunakan teknik optimasi. Pengendali MPC yang ada diperoleh hasil respon yang stabil tanpa memiliki nilai *overshoot* dan juga mampu mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan, dengan waktu *steady state* 35 detik[7]. Pada penelitian ini menggunakan metode pendekatan ARMAX orde-4 diperoleh nilai *eigen value dominan* sebesar -0.0002 (mendekati sumbu y) sehingga mampu menghasilkan respon yang lambat. Melihat fenomena tersebut, perlu sebuah reduksi model yang mampu untuk mengurangi dan meminimalisir nilai respon yang lambat.

Berikutnya penelitian tentang Desain dan Verifikasi Kontrol *Cascade* Pengendali Suhu Berbasis Fuzzy-PID dan PI pada *Heat Exchanger*, Penelitian ini menggunakan metode teknik kontrol *feedback* dan kontrol *cascade* menggunakan metode Fuzzy-PID. Metode ini digunakan untuk meningkatkan kinerja sistem agar lebih stabil. Dengan menggunakan metode tersebut, kinerja performa sistem mengalami peningkatan nilai waktu naik (t_r), lewatan maksimum (m_p), serta waktu penetapan (t_s). Dengan menggunakan metode *control cascade* mampu berkontribusi pada kasus perubahan parameter sistem, dan fuzzy-PID mampu mengatasi adanya gangguan, respon keluaran *rise time* sebesar 7,7558 detik, *peak time* = 50.05 dan *overshoot* = 0 %, Kombinasi teknik kontrol *feedback* dan kontrol *cascade* dengan metode fuzzy-PID mampu membuat kinerja performa sistem lebih stabil dan dapat mengatasi adanya gangguan [8]. Namun pada penelitian ini pengendali *Fuzzy-PID* terdapat *peak time* sebesar lebih dari 50 detik apabila terjadi gangguan sehingga dibutuhkan pengendali yang bisa mengatasi gangguan dengan waktu yang singkat dan efisien.

Berikutnya penelitian tentang Desain dan Verifikasi Kontrol *Cascade* Pengendali Suhu Berbasis *Genetic Algorithm* (GA)-PID pada *Heat Exchanger*. GA merupakan peningkatan kinerja yang berkelanjutan dari sistem komputasi untuk beberapa jenis optimasi. Algoritma genetika dimulai dengan tiga tahapan operator evolusi seperti replikasi, fusi, dan mutasi hingga mendapatkan solusi terbaik, pada penelitian ini GA digunakan untuk menyetel nilai PID. Pengendalian temperatur *Heat Exchanger* menggunakan Pengendali GA-PID



didapatkan hasil *settling time* 65 detik dan *overshoot* sebesar 3.22%[9], pada penelitian ini masih terdapat *overshoot* yang seharusnya masih bisa di minimalisir.

Dari beberapa penelitian di atas masih terdapat beberapa kelemahan yaitu lambatnya respon waktu, adanya *overshoot* yang seharusnya masih bisa diminimalisir, dan adanya gangguan temperatur yang disebabkan oleh faktor lingkungan luar, sehingga dibutuhkan pengendali yang mampu bekerja secara efektif untuk mengoptimalkan kinerja *Heat Exchanger*. Pada penelitian ini sudah dilakukan simulasi secara *close loop* pada *Heat Exchanger* dimana hasil respon sistem belum bisa mencapai *setpoint* yang ditetapkan dan memiliki *error steady state* serta hasil respon transien yang masih belum optimal. Metode MRAC yang digunakan untuk melakukan kendali temperatur pada sistem *Heat Exchanger*, perlu dilaksanakan uji coba sebelum simulasi sistem *Heat Exchanger* menggunakan pengendali MRAC sudah mampu mengatasi *Error Steady State* dan mampu mempercepat respon sistem namun masih terdapat osilasi yang cukup besar ketika sistem mengikuti model referensi. Untuk mengatasi osilasi tersebut penelitian ini akan mengkombinasikan *Model reference adaptive control* (MRAC) dengan pengendali PD. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mengajukan Tugas Akhir dengan judul “Desain Kendali MRAC-PD pada Pengendalian Temperatur untuk Sistem *Heat Exchanger*”. Harapannya, penelitian ini dapat mengatasi masalah yang mungkin muncul pada komponen *heat exchanger*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang kendali MRAC-PD untuk pengendalian temperatur *Heat Exchanger* yang terdapat *error steady state*, *overshoot*, dan respon waktu yang masih lambat?
2. Bagaimana merancang kendali MRAC-PD untuk pengendalian temperatur *Heat Exchanger* guna mengatasi gangguan tidak terduga pada temperatur?

1.3 Tujuan Penilaian

Adapun tugas akhir ini memiliki tujuan antara lain :

1. Menghasilkan skema pengendali MRAC yang mampu mengurangi dan meminimalisir nilai *error steady state*, *overshoot*, dan mengatasi respon waktu yang masih lambat.
2. Menghasilkan skema pengendali MRAC yang dapat mengatasi gangguan tidak terduga pada temperatur.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang menyalin 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 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan agar pembahasan tidak terlalu luas, maka peneliti pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Pemodelan matematis dari *Heat Exchanger* merujuk pada dari penelitian [5].
2. Parameter yang dikendalikan adalah temperatur pada *Heat Exchanger* tipe *Shell and Tube* dengan *setpoint* 50°C.
3. Pengamatan kinerja kontroler disimulasikan menggunakan aplikasi MATLAB.
4. Analisis dilakukan hanya berdasarkan data hasil simulasi.

5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai:

1. Untuk memaksimalkan penggunaan *Heat Exchanger* pada dunia industri.
2. Untuk meminimalkan resiko pada komponen secara *real* dengan melakukan pendekatan model fisik dalam bentuk blok diagram menggunakan simulasi pada MATLAB.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian tentang *Heat Exchanger* yang sudah dilakukan yaitu penelitian tentang *tuning* parameter PID dengan menggunakan metode *Ciancone*, metode yang ada tersebut berdasar pada perubahan reaksi yang ada saat *plant* diberi masukan dan juga respon keluaran sistem yang ada dijadikan menjadi dasar untuk menghasilkan pemodelan matematis dengan memanfaatkan pendekatan pada orde 1. Setelah itu dilakukan perhitungan *fraction dead time*, serta melakukan penentuan nilai PID yang berdasar pada grafik *Ciancone Correlation* yang dihasilkan. Dengan metode yang digunakan diperoleh hasil yang terbukti mampu melakukan kendali temperatur pada *plant heat exchanger*, sehingga dapat mencapai nilai *setpoint* dengan *rise time* sebesar 21,9 sekon, waktu *settling* 101 sekon, *overshoot* sebesar 2,27% dengan ESS sebesar 0. Sistem yang dibangun juga mampu mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan juga saat kondisi diberi *fault*/gangguan, dan mampu kembali pada keadaan *steady state* dalam waktu 150 sekon [5]. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa masih terdapat *Overshoot* sebesar 2.27% dan respon waktu yang cenderung lambat yang seharusnya masih bisa dioptimalkan lagi.

Penelitian selanjutnya yaitu penelitian tentang pengendalian temperatur fluida *Heat Exchanger* dengan menggunakan pengendali Algoritma MPC (*Model Predictive Control*) telah berhasil diaplikasikan untuk mengatasi masalah *Heat Exchanger* seperti Respon Waktu yang lama dan adanya perubahan *setpoint*. Keuntungan dari MPC karena kedua variabel, yaitu variabel manipulasi dan variabel kontrol, dihitung dengan menggunakan teknik optimasi. Pengendali MPC yang ada diperoleh hasil respon yang stabil tanpa memiliki nilai *overshoot* dan juga mampu mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan, dengan waktu *steady state* 35 detik [7]. Pada penelitian ini menggunakan metode pendekatan ARMAX orde-4 diperoleh nilai *eigen value dominan* sebesar -0.0002 (mendekati sumbu y) sehingga mampu menghasilkan respon yang lambat. Melihat fenomena tersebut, perlu sebuah reduksi model yang mampu untuk mengurangi dan meminimalisir nilai respon yang lambat.

Berikutnya penelitian tentang Desain dan Verifikasi Kontrol *Cascade* Pengendali Suhu Berbasis *Fuzzy-PID* dan PI pada *Heat Exchanger*, Penelitian ini menggunakan metode teknik kontrol *feedback* dan kontrol *cascade* menggunakan metode *Fuzzy-PID*. Metode ini digunakan untuk meningkatkan kinerja sistem agar lebih stabil. Dengan menggunakan metode tersebut, kinerja performa sistem mengalami peningkatan nilai waktu naik (*tr*), lewatan



maksimum (m_p), serta waktu penetapan (t_s). Dengan menggunakan metode *control cascade* mampu berkontribusi pada kasus perubahan parameter sistem, dan fuzzy-PID mampu mengatasi adanya gangguan, respon keluaran *rise time* sebesar 7,7558 detik, *peak time* = 50.05 dan *overshoot* = 0 %, Kombinasi teknik kontrol *feedback* dan kontrol *cascade* dengan metode fuzzy-PID mampu membuat kinerja performa sistem lebih stabil dan dapat mengatasi adanya gangguan [8]. Namun pada penelitian ini pengendali *Fuzzy-PID* terdapat *Peak time* sebesar 50,05 dan *overshoot* = 0 %, Dar 50 detik apabila terjadi gangguan sehingga dibutuhkan pengendali yang bisa mengatasi gangguan dengan waktu yang singkat dan efisien.

Berikutnya penelitian tentang Desain dan Verifikasi Kontrol *Cascade* Pengendali Suhu berbasis *Genetic Algorithm* (GA)-PID pada *Heat Exchanger*. GA merupakan peningkatan kinerja yang berkelanjutan dari sistem komputasi untuk beberapa jenis optimasi. Algoritma genetika dimulai dengan tiga tahapan operator evolusi seperti replikasi, fusi, dan mutasi hingga mendapatkan solusi terbaik, pada penelitian ini GA digunakan untuk menyetel nilai PID. Pengendalian temperatur *Heat Exchanger* menggunakan Pengendali GA-PID didapatkan hasil *settling time* 65 detik dan *overshoot* sebesar 3.22% [9], pada penelitian ini masih terdapat *overshoot* yang seharusnya masih bisa di minimalisir.

Dari beberapa studi literatur yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, peneliti akan melakukan kombinasi pengendali MRAC-PD pada *Heat Exchanger*, penambahan pengendali PD penting karena sistem masih terdapat osilasi apabila diberikan pengendali MRAC.

2.2 Landasan Teori

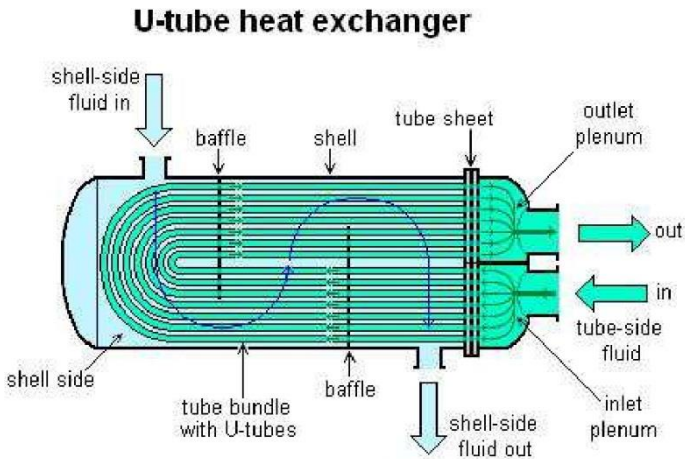
2.2.1 Heat Exchanger Shell and Tube

Heat Exchanger adalah alat yang memudahkan pertukaran panas antara dua cairan yang berada pada suhu berbeda dan menjaga agar dua cairan tersebut tidak tercampur [10]. Permasalahan yang sering terjadi pada sistem *heat exchanger* ini yaitu perubahan temperatur ketika melakukan perpindahan panas yang tidak signifikan. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan variabel-variabel dari parameter internal sistem, sehingga menyebabkan respon keluaran tidak sesuai dengan nilai yang diinginkan [11].

Salah satu jenis *Heat Exchanger* yang sering digunakan di industri yaitu *Heat Exchanger shell and tube*. Jenis ini terdiri dari *shell* (cangkang) silindris pada bagian luar dan *tube* (pipa) pada bagian dalam. Tipe ini memiliki temperatur yang berbeda pada kedua bagian sehingga terjadi perpindahan kalor antara aliran *internal* dan *external tube* yang dapat dinamakan dengan *tube side*, dan bagian luar disebut sebagai *shell side*, Pada *Heat Exchanger*



jenis *shell and tube* ini proses pengaliran fluidanya terjadi pada tempat yang terpisah, dimana cairan mengalir di dalam *tube* dan di dalam *shell*. Pada saat proses perpindahan fluida, pada bagian pipa (*tube*) ditahan penyekat (*baffle*), dimana harus ada ruang bebas antara *shell* dan *baffle*. Ruang bebas tersebut dapat berpengaruh pada aliran fluida di luar *tube*[12].



Gambar 2. 1 Heat Exchanger Shell and Tube[12]

2.2.2 Model Matematis Sistem Orde Satu dengan Waktu Tunda

Pada penelitian ini identifikasi model matematis sistem *Heat Exchanger* menggunakan persamaan orde satu dengan waktu tunda yang dapat dijelaskan secara matematis dengan fungsi alih berikut[13].

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_p e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \tag{2.1}$$

Dimana:

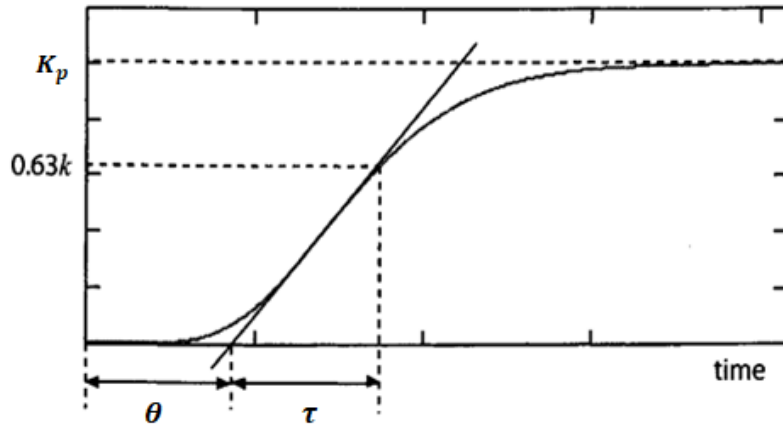
- = Nilai Kondisi Tunak
- = Kontanta Waktu
- = Waktu Tunda

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 Diindungi 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 2 Grafik *Openloop* Sistem Orde Satu dengan Waktu Tunda

2.3 Sistem Kendali

Sistem kendali memiliki definisi sebagai sistem yang mengatur, mengarahkan, dan memerintah secara aktif maupun dinamis, sehingga sistem kendali yang dirancang adalah bervariasi dan disesuaikan dengan sistem yang akan dikendalikan sesuai dengan keinginan.[14]. Sampai saat ini sudah banyak aplikasi kendali otomatis yang optimal bagi suatu sistem dinamik, dan dapat meningkatkan produktivitas[14].

Dalam sistem kendali, memiliki beberapa istilah yang sering digunakan, antara lain:

1. Variabel terkendali (*controlled variable*) dan variabel termanipulasi (*manipulated variable*). Variabel terkendali merupakan nilai atau keadaan yang dapat diukur dan juga dikendalikan, sedangkan variabel termanipulasi dapat diartikan sebagai nilai atau keadaan yang dapat diubah oleh kendali yang ada, sehingga mampu mempengaruhi nilai variabel yang dikendalikan, yang biasanya merupakan *output system*.
2. *Plant*. *Plant* dapat berwujud peralatan dan instrumen yang dapat digunakan sebagai bagian dari sistem yang dikendalikan. *Plant* beragam jenisnya, contohnya peralatan mekanik, tungku pembakaran, pesawat ruang angkasa, reaktor kimia dan sebagainya.
3. Proses. Proses memiliki definisi yang berbeda dengan *plant*. Proses didefinisikan sebagai prosedur dan mekanisme yang dikendalikan seperti halnya *plant*. Salah satu sistem kendali yang bekerja pada sebuah proses antara lain proses destilasi ataupun pemisahan cairan kimia.
4. Sistem. Sistem memiliki definisi sebagai keseluruhan komponen yang saling terinterkoneksi dan memiliki tujuan tertentu, mencakup nilai otomasi, efisiensi dan optimasi.

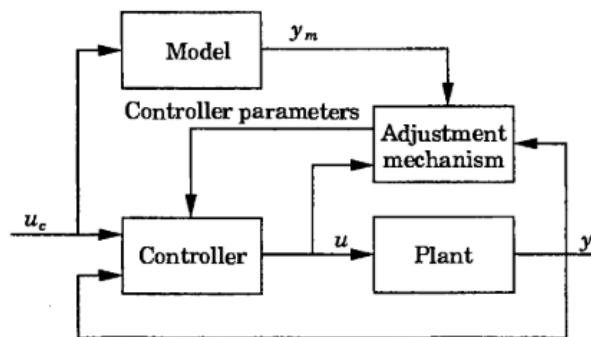


5. Gangguan (*disturbance*). Gangguan pasti terjadi pada sistem nyata /*real* yang terjadi di lapangan. Gangguan yang timbul tentu menimbulkan pengaruh pada stabilitas dan kinerja sistem. Gangguan yang ada ini dapat berasal dari sistem yang ada di dalam maupun gangguan dari luar sistem.

Gangguan yang muncul, terjadinya selisih antara nilai *output* dan *input* yang sulit untuk di ramalkan dapat berakibat pada tidak tercapainya tujuan operasional sebuah sistem. Oleh karena itu, perlu umpan balik *output* yang dapat dibandingkan dengan *input*, sehingga selisih yang ada dapat dikendalikan, dan dikurangi secara otomatis [14].

2.4 Pengendali Model Reference Adaptive Controller (MRAC)

Model Reference Adaptive Control (MRAC) didefinisikan sebagai sistem kendali adaptif yang mana nilai pedorma *output system* yang ada pada proses linear dengan performa *output* model referensi yang memiliki berbagai parameter kendali yang dapat diatur dengan mekanisme pengaturan yang berdasar pada kesalahan yang berasal dari selisih antara *output plant* dengan *output* model referensi. Pengendali adaptif ini yang dapat beradaptasi dengan adanya perubahan yang terjadi di lingkungan untuk menjaga nilai kestabilan sistem. Adapun blok diagram mengenai skema MRAC dapat dilihat pada gambar 2.3 ini :



Gambar 2. 3 Blok Diagram Skema Model Reference Adaptive Control (MRAC)[15]

Aturan MIT merupakan salah satu dari metode yang dapat diaplikasikan pada MRAC, selain metode lain seperti metode ketidakstabilan *Lyapunov*. Pemilihan metode ini dipilih karena memiliki persamaan matematis yang lebih sederhana dan tidak rumit. Aturan MIT pada sebuah sistem *loop* tertutup, yang dalam pengendalinya mempunyai parameter yang dapat dikendalikan θ dapat dijabarkan seperti penjabaran dibawah. Respon sistem *loop* tertutup dapat ditentukan dari model keluaran yang disimbolkan dengan notasi y_m , keluaran proses dilambangkan dengan y . Kesalahan/*error* adalah selisih dari keluaran model y_m dan keluaran sistem *loop* tertutup. *Error* dinotasikan sebagai e sehingga persamaannya:

1. Dilarang mengutip, menyalin, atau seluruhnya atau sebagian tanpa izin tertulis dari penerbit, termasuk dalam bentuk elektronik.
 2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \tag{2.2}$$

Untuk J kecil dilakukan perubahan parameter pada gradien negatif dari J:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{de}{d\theta} \tag{2.3}$$

Persamaan 2.3 merupakan aturan MIT, sedangkan turunan kepekaan (*sensitivity derivative*), merupakan turunan parsial sistem yang mampu menunjukkan bagaimana kesalahan yang dipengaruhi oleh parameter yang bisa diukur. Jika menggunakan asumsi parameter dapat dikendalikan lebih lambat dari variabel lainnya dari sebuah sistem, dapat diasumsikan konstan.

Untuk penggunaan satu *gain* nilai *error* didefinisikan sebagai berikut :

$$e = y - y_m = kGU - k_0GU_c = kG\theta U_c - k_0GU_c \tag{2.4}$$

Dengan menurunkan *error* terhadap θ , maka didapatkan.

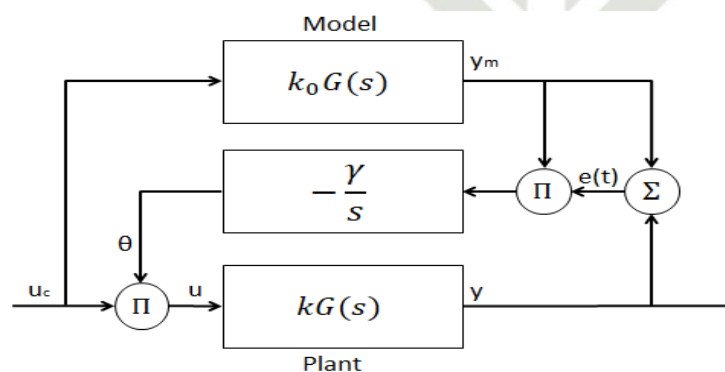
$$\frac{de}{d\theta} = kGU_c = \frac{k}{k_0} y_m \tag{2.5}$$

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

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{de}{d\theta} = -\gamma e \frac{k}{k_0} y_m = -\gamma' y_m e \tag{2.6}$$

$$\theta = \int (-\gamma e y_m) dt \tag{2.7}$$

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



Gambar 2. 4 Blok Diagram Skema MRAC dengan Metode MIT Rule

Dalam sistem orde, model referensi yang diaplikasikan dapat menggunakan persamaan berikut :

Hak Cipta Diindungi 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.



$$Y_n = \frac{1}{s + 1} \tag{2.8}$$

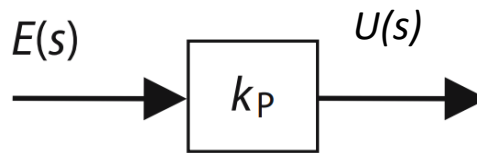
2.5.1 Pengendali PD

Pengendali *Proportional* (P)

Kendali proporsional merupakan pengendali yang dapat dimanfaatkan untuk menguatkan sinyal *error*. Sehingga dengan adanya pengendali ini, mampu mempercepat *output* sistem yang mencapai titik referensi. Hubungan antara *output* kontroler $u(s)$ dengan sinyal kesalahan $e(s)$ dapat ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$u(s) = K_p e(s) \tag{2.9}$$

K_p merupakan konstanta *proportional*. Diagram blok kontrol *proportional* dapat dilihat pada gambar 2.5:



Gambar 2. 5 Diagram Blok Kontrol *Proportional*[16]

Pada saat aplikasi pengendali proporsional pada sebuah sistem, ada beberapa efek yang ditimbulkan antara lain :

1. Mampu mengurangi maupun menambah nilai kestabilan, dapat ditandai dari nilai *overshoot*[14].
2. Mampu memperbaiki nilai respon transien, khususnya nilai *rise time* maupun *settling time*[14].
3. Mampu mendegradasi nilai *error steady state*. Untuk melakukan tindakan ini diperlukan nilai K_p yang besar sebanding dengan nilai kesalahannya, dimana makin besar *error* maka makin besar sinyal kendali yang dihasilkan [14].

Kendali *proportional* dapat menghasilkan *offset* pada sistem. Dimana *offset* pada sistem dapat dilakukan dengan memperbesar nilai *proportional band* atau K_p . Namun nilai K_p yang terlalu besar akan menyebabkan sistem menjadi tidak stabil yang ditandai dengan timbulnya osilasi pada sistem. Kendali proporsional dapat berdiri sendiri untuk pengendalian sistem.

2.5.2 Pengendali *Derivative* (D)

Pengendali *derivative* disebut juga dengan pengendali laju, hal ini dikarenakan keluaran kendali memiliki nilai sebanding dengan laju perubahan kesalahan *error*, Hubungan

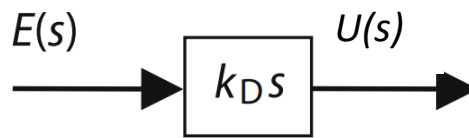
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber.
 2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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



antara keluaran kendali *derivative* $u(s)$ dengan sinyal *error* $e(s)$ terlihat pada persamaan di

$$u(s) = [K_d s]e(s) \tag{2.10}$$

Pada gambar 2.6, ditunjukkan blok kendali derivatif. Kendali tersebut tidak dapat diaplikasikan secara mandiri, sebab kendali ini hanya akan aktif saat adanya periode penyalihan. Pada periode tersebut, kontrol derivatif mampu menyebabkan adanya resistansi sistem sehingga lonjakan menjadi lebih kecil. Sama halnya dengan KP, Kendali derivatif tidak mampu menghilangkan *offset*.



Gambar 2. 6 Diagram Blok Kendali *derivative* [14]

Berikut merupakan pengaruh pengendali derivatif terhadap sistem [14]:

1. Jika dibandingkan dengan mode P, nilai kecepatan respon lebih tinggi
2. Memiliki sensitifitas yang tinggi terhadap gangguan dengan frekuensi tinggi
3. Nilai hanya mengalami perubahan saat adanya perubahan kesalahan, sehingga saat nilai *error* statis D tidak beraksi, kendali ini tidak dapat dipakai.
4. Memiliki nilai sinyal yang sama atau sebanding dengan nilai perubahan kesalahan, makin cepat kesalahan berubah, maka akan berakibat pada makin besarnya nilai aksi kendali yang timbul
5. Dapat mendegradasi nilai *overshoot* dan waktu turun.
6. *Error* yang terjadi dalam kondisi tunak tidak terjadi perubahan yang signifikan.

2.6 Identifikasi Respon Transien

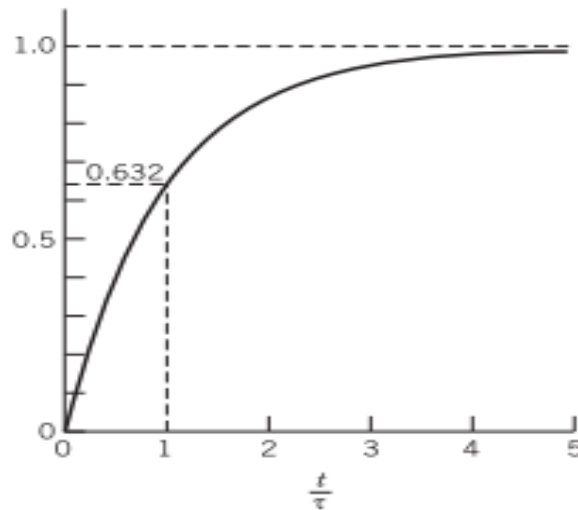
Identifikasi sistem yang mengacu pada *respon transient* sistem dalam kondisi *loop* terbuka. Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan step. Identifikasi sistem yang mengacu pada *respon transient* sistem dalam kondisi *loop* terbuka. Sistem yang digunakan pada pengaturan temperatur pada *Heat Exchanger* yang ditunjukkan pada gambar 2.7 [14]:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 2. Dilarang mengutip atau 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 mengacuhkannya 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 Respon Transien Sistem Orde 1[17]

Nilai respon transien yang terjadi pada suatu sistem terhadap input tanga satuan bergantung pada transien terhadap sebuah variasi sistem. Cara mudah yang dapat digunakan dan lazim dipakai adalah dengan metode syarat awal standar, yakni sistem yang pada kondisi awal diam dengan *output* dan turunan memiliki nol seluruhnya. Maka dari itu, karakteristik respon dapat dibandingkan dengan mudah. Respon transien pada sebuah sistem kendali dalam praktiknya selalu menghasilkan nilai osilasi yang teredam sebelum mencapai kondisi tunak. Berikut merupakan pengelompokkan karakteristik respon transien pada sebuah sistem kendali terhadap masukan secara umum [14].

- a. Spesifikasi secara teori:

Waktu yang diperlukan respon dari nilai $t=0$ sehingga tanggapan mencapai nilai 63,2% dari nilai respon *steady state* dapat diartikan sebagai definisi dari konstanta waktu (τ). Nilai ini mampu menunjukkan kecepatan pada suatu respon sistem dengan nilai konstanta waktu yang bernilai kecil akan berdampak pada semakin cepatnya respon sistem.

- b. Spesifikasi secara praktik antara lain [18] :

1. Waktu tunak (*settling time*), merupakan ukuran waktu sebuah tanggapan sistem untuk masuk kedalam area stabil, nilainya berkisar dari 2-5%.
2. Waktu naik (*rise time*), didefinisikan sebagai ukuran waktu yang mempresentasikan sebuah respon sistem terjadi peningkatan 5% sehingga nilainya 95% atau peningkatan 10%, sehingga nilainya meningkat menjadi 90% dari nilai tanggapan dalam kondisi tunak atau *steady state*.



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. Waktu tunda (*delay time*), merupakan nilai waktu yang diperlukan sebuah tanggapan untuk mencapai nilai 50% dari nilai kondisi tunak ($t=0$). Nilai ini menunjukkan nilai faktor tunda sebuah respon yang disebabkan karena adanya proses *sampling*.
4. Waktu puncak (*peak time*), disimbolkan dengan t_p , merupakan waktu yang dibutuhkan untuk sebuah tanggapan mencapai nilai puncak pertama kalinya dari kondisi *overshoot*.
5. Nilai karakteristik tanggapan yang terjadi pada kondisi tunak di sistem orde satu dapat dihitung berdasarkan kepada *error* yang terjadi di kondisi tunak atau *error steady state*.

$$Ess = Rss - Css$$

Dimana : *Ess* = *Error steady state*

Rss = Masukan sistem pada *steady state*

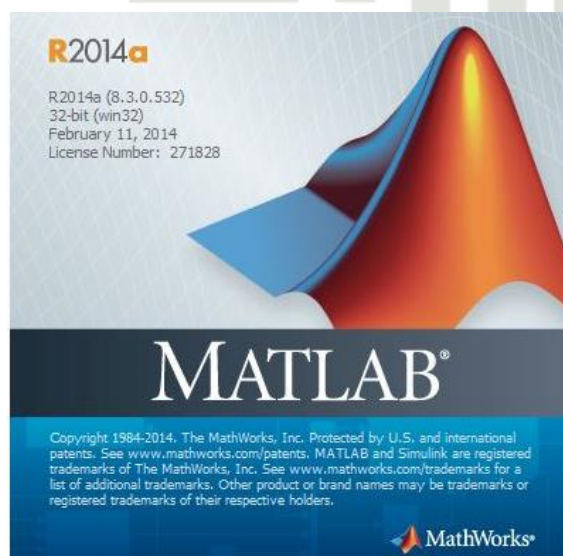
Css = Keluaran sistem pada *steady state*

Metode Heuristic

Metode *heuristic* adalah sebuah metode penalaan dengan cara coba-coba berpola. Nilai K_p dan K_d diperlukan untuk menghasilkan desain kendali PD. Oleh karena itu diperlukan beberapa tahapan untuk melakukan pengujian dengan metode heuristik.

1. *Time delay* penalaan parameter kendali dimulai dengan memakai kendali P saja
2. Setelah tahapan itu kemudian ditambahkan pengendali D

MATLAB



Gambar 2. 8 Simbol Matlab 2014a



(*Matrix Laboratory*) atau disingkat MATLAB adalah sebuah aplikasi yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dan perhitungan numerik sekaligus bahasa pemrograman matematika tingkat lanjut yang disusun atas dasar pemikiran dengan memakan penggunaan matriks dalam bentuk matriks. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh *Mathworks.Inc*. Selain dimanfaatkan untuk penggunaan diatas, simulasi ini juga dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan berbagai masalah yang menggunakan operasi matematika elemen, aritmetika, optimasi, matriks dan lainnya. Aplikasi ini juga dapat digunakan untuk melakukan pemrograman *modelling*, simulasi, pembuatan *prototype*, melakukan analisa data, bahasa perhitungan dan statistik, pengembangan (eksplorasi) dan visualisasi serta penggunaan teknis lainnya [19].

Adapun bagian yang penting dan sering dimanfaatkan dalam melakukan simulasi dengan perangkat lunak Matlab antara lain :

1. *Command Window* memiliki fungsi untuk menuliskan fungsi yang akan disimulasikan
2. *Current Directory* memiliki kegunaan untuk visualisasi isi direktori kerja saat kita melakukan simulasi dengan matlab
3. *Command History* digunakan untuk mengeluarkan tampilan mengenai semua yang telah digunakan sebelumnya dan dapat digunakan kembali.
4. *Workspace* dapat dimanfaatkan untuk membuat variabel yang ada di aplikasi Matlab

Penelitian ini menggunakan pemrograman *modelling* dan juga simulasi untuk memperoleh keluaran penelitian sesuai dengan tujuan penelitian dengan memanfaatkan salah satu fitur Matlab yakni *Simulink*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip atau menjiplak seluruh atau sebagian tanpa izin 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

30

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

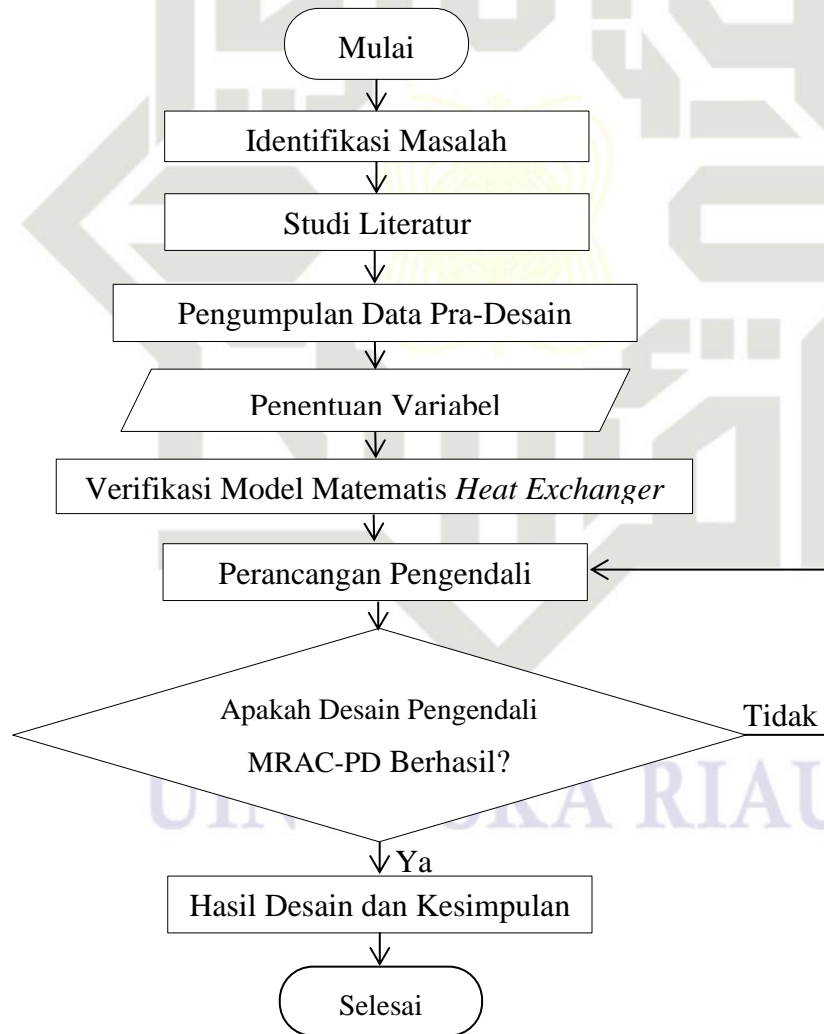
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- 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

Langkah pertama yang akan dilakukan pada penelitian ini dimulai dari identifikasi masalah kemudian dilanjutkan dengan studi literatur, selanjutnya dilakukan pengumpulan data pra-desain dan menentukan variabel yang didapatkan dari data pra desain. Setelah itu dilakukan verifikasi model matematis, kemudian dilakukan perancangan pengendali MRAC-PD apabila perancangan pengendali berhasil maka dilanjutkan dengan mencari hasil dan analisa apabila gagal maka akan dilakukan perancangan ulang dan apabila berhasil dilanjutkan dengan mencari hasil akhir sesuai dengan tujuan penelitian pada tugas akhir ini. Adapun alur penelitian yang dilalui adalah sesuai diagram alir penelitian sesuai gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Tahapan Penelitian

Dengan maksud agar tujuan penelitian yang diinginkan dapat tercapai berdasarkan alur penelitian yang telah dijelaskan pada diagram alir gambar 3.1, tahapan penelitian yang harus dilalui adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah

Masalah yang menjadi topik dalam penelitian tugas akhir ini adalah kendali tegangan *output* pada *Heat Exchanger* dengan menggunakan rancangan pengendali MRAC-PD. Pengendali ini digunakan untuk melakukan pemecahan masalah terkait respon waktu yang lambat dan terjadinya *error stady state* dalam jumlah yang besar yang mengakibatkan sistem tidak mampu mempertahankan *setpoint* saat sistem mengalami gangguan.

2. Kajian Pustaka/Studi Literatur

Langkah awal dalam melakukan penelitian ini adalah dengan melakukan kajian literatur, yakni mengumpulkan beberapa sumber referensi terkait dari berbagai sumber baik buku, *paper*, konferensi, *proceeding* maupun sumber lain yang terkait dengan *Heat Exchanger*, pengendali MRAC dan pengendali PD

3. Pengumpulan data sebelum perancangan (pra-desain)

Data pra desain dikumpulkan dengan maksud untuk mengumpulkan berbagai karakteristik dari *plant* yang akan dijadikan objek penelitian dan mengetahui model matematis dari *Heat Exchanger*.

4. Menentukan nilai variabel

Berdasarkan data pra desain yang ada, dirumuskan persamaan *transfer function* pada persamaan berikut:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_p e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \tag{3.1}$$

5. Verifikasi dan Simulasi model matematis sistem *Heat Exchanger*

Tahap verifikasi untuk model matematis merupakan langkah uji model matematis dalam bentuk *transfer function*. Setelah dilakukan uji model matematis tersebut, dilakukan simulasi dalam keadaan *loop* tertutup dengan memanfaatkan fitur *simulink* pada matlab. Hal ini dimaksudkan agar verifikasi yang dilakukan merupakan bentuk *output* dari sistem yang sesuai dengan hasil *output* dari berbagai rujukan.

6. Desain kendali MRAC-PD

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.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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 proses ini, dilakukan perancangan pengendali MRAC-PD untuk mengatasi masalah lambatnya respon waktu dan adanya *error steady state* dengan nilai besar yang berdampak pada ketidakmampuan sistem untuk mempertahankan nilai *setpoint* saat terjadi gangguan. Sistem dikatakan berhasil apabila saat keluaran sinyal kendali yang dihasilkan stabil dan mampu mencapai *setpoint* yang diinginkan dengan *overshoot* yang minim, serta pengendali tersebut dapat bertahan dari gangguan sinyal kendali yang diberikan.

7. Analisa hasil uji

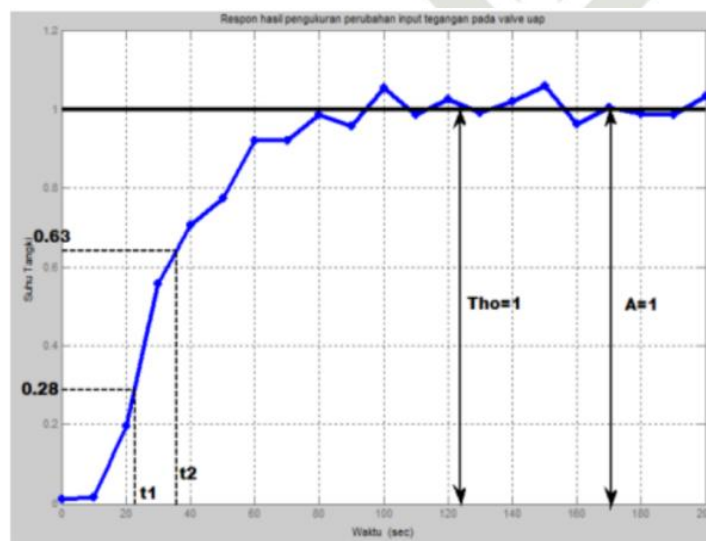
Analisa hasil uji merupakan kegiatan analisa keluaran sistem antara sebelum dan sesudah pemasangan kendali pada *Heat Exchanger*. Jika dalam uji, tujuan penelitian telah tercapai maka penelitian dapat dikatakan berhasil, dan sebaliknya jika tujuan belum tercapai maka perlu dilekukan pengecekan kembali dan pengkajian lebih lanjut.

8. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan tahap akhir dan berisi rangkuman serta konklusi dari penelitian yang telah dilakukan. Saran yang membangun juga diperlukan untuk dapat dijadikan rujukan terkait penelitian yang akan datang.

3.3 Pemodelan Matematis Heat Exchanger

Sistem berawal pada identifikasi yang dilakukan secara *loop* terbuka, kemudian *input* berupa tegangan (*v*) diberikan ke *valve* dan *output* temperatur maka didapatkan data pengukuran *plant* serta data suhu dan waktu direkam hingga *plant* berada dalam kondisi *steady state*, yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya[5] maka didapatkan grafik berikut.



Gambar 3. 2 Hasil Pengukuran Perubahan *Input* Tegangan pada *Valve* Uap [5]



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber dan menyebutkan nama penulis.
 2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Berdasarkan gambar 3.2, maka dirancang pemodelan matematis sistem dalam bentuk fungsi alih dengan orde satu. Fungsi alih tersebut berfungsi sebagai analisa dinamik dan perancangan sistem kendali, di mana cara mendapatkan persamaan fungsi alih dari sistem tersebut adalah dengan melakukan pendekatan orde satu dengan data yang ada pada gambar 3.2 di atas dengan pemodelan grafik *Ciancone* untuk melakukan kalkulasi penguatan *Proportional* (K_p) yang adalah hasil *output* (Δ) yang kemudian dibagi dengan nilai *input* (δ).

$$A = \Delta = 1 \tag{2.1}$$

$$T_{ho} = \delta = 1 \tag{2.2}$$

$$K_p = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{1}{1} = 1 \tag{2.3}$$

Penentuan nilai konstanta waktu (τ), dilakukan dengan mencari nilai t yang sesuai sehingga mencapai 28% dari keadaan tunak ($t_{28\%}$) dan waktu yang diutuhkan untuk mencapai 63% dalam keadaan tunak ($t_{63\%}$)

$$\Delta_{28\%} = 1 \times 28\% = 0,28 \tag{2.4}$$

$$\Delta_{63\%} = 1 \times 63\% = 0,63 \tag{2.5}$$

$$t_{28\%} = t_1 = 21,8 \text{ detik} \tag{2.6}$$

$$t_{63\%} = t_2 = 36 \text{ detik} \tag{2.7}$$

$$\tau = 1,5(t_{63\%} - t_{28\%}) = 1,5(36 - 21,8) = 21,3 \tag{2.8}$$

Perhitungan waktu *delay* (θ) dengan menggunakan persamaan:

$$\theta = t_{63\%} - \tau = 36 - 21,3 = 14,70 \tag{2.9}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan seperti di atas, dan dengan merujuk pada penelitian [5] maka diperoleh nilai fungsi alih sistem :

$$G(s) = \frac{K_p e^{-\theta s}}{\tau s + 1} = \frac{1 e^{-14.7s}}{21.3s + 1} \tag{2.10}$$

Dimana:

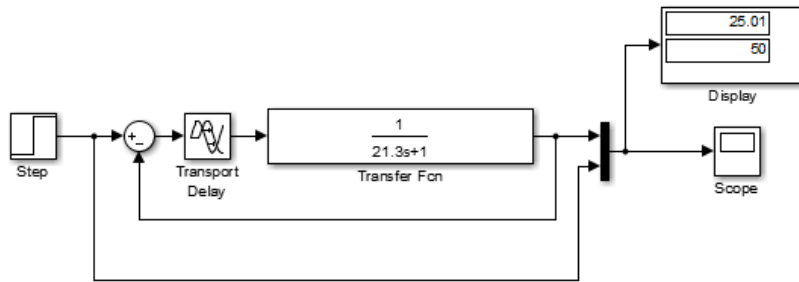
- Δ = Nilai *Output*/keluaran
- δ = Nilai *input*/masukan
- τ = Kontanta Waktu
- θ = Waktu Tunda/*delay*
- t = Waktu

3.4 Verifikasi dan Simulasi Pemodelan Matematis Sistem *Heat Exchanger*

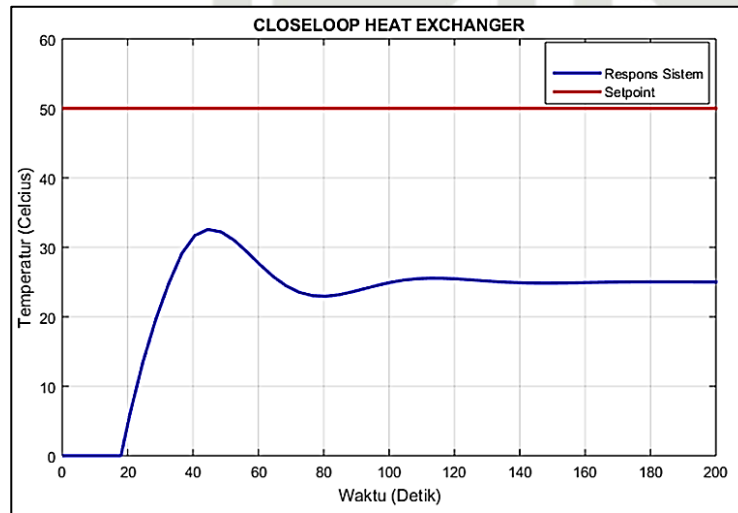
Verifikasi pemodelan matematis untuk proses *Heat Exchanger* dibuat dalam keadaan *loop* tertutup dan memanfaatkan fitur *simulink* pada Matlab dengan pemodelan matematis



yang digunakan diperoleh dari penelitian[5] untuk pengaturan pada temperatur keluaran *Heat Exchanger* yang ditunjukkan oleh gambar 3.3 :



Gambar 3. 3 Blok *Simulink Close Loop Heat Exchanger*



Gambar 3. 4 Respon *Close Loop Heat Exchanger*

Dari gambar 3.4 dapat dilihat bahwa respon sistem mempunyai kesamaan sebesar 97% dengan *plant* rujukan[5]. Berdasarkan hasil simulasi secara *Close Loop* di atas, dapat dikatakan bahwa pemodelan matematis yang telah dibuat sudah valid.

3.5 Skenario Penelitian

Penelitian ini menggunakan pengendali MRAC-PD untuk selanjutnya dimasukkan beberapa data yang telah diperoleh pada pemodelan matematis yang telah dilakukan sebelumnya kedalam simulasi Matlab, dengan nilai *setpoint* 50°C yang merujuk pada parameter penelitian terkait. Penelitian ini menggunakan beberapa pengujian dengan melihat grafik yang dihasilkan pada simulasi Matlab. Data yang dibutuhkan dan dianalisa adalah data respon transien dari pengujian yang dilakukan. Beberapa pengujian yang dilakukan antara lain :

1. Proses simulasi sistem yang dilakukan secara *loop* tertutup

2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
 Hak Cipta Diindungi Undang-Undang
 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. Uji kendali MRAC yang diaplikasikan pada komponen *Heat Exchanger*

Uji kendali MRAC yang dipadukan dengan PD pada komponen *Heat Exchanger*

Uji MRAC yang dipadu dengan PD dalam kondisi gangguan

Perancangan Pengendali

Perancangan Pengendali MRAC

Dalam merancang pengendali MRAC langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan model referensi yang dapat diaplikasikan pada sistem *Heat Exchanger* menggunakan rumus di bawah ini. Dengan itu, didapatkan persamaan untuk model referensi pengendali temperatur untuk sistem *Heat Exchanger*.

$$y_m(s) = \frac{1}{s + 1} \tag{3.2}$$

Langkah berikutnya yakni mendesain kendali MRAC dengan satu gama pada *Heat Exchanger* (HE). Penjabaran nya adalah seperti persamaan dibawah ini :

$$u = \theta u_c \tag{3.3}$$

$$y_m = \frac{u_c}{s + 1} \tag{3.4}$$

$$y = \frac{\theta u_c}{21.3s + 1} \tag{3.5}$$

lalu, mencocokkan fungsi transfer dengan tujuan *plant* dapat berperilaku sesuai dengan model referensi untuk tiap sinyal masukan.

$$\begin{aligned} y_m &= y \\ \frac{u_c}{s + 1} &= \frac{\theta u_c}{21.3s + 1} \\ u_c(21.3s + 1) &= \theta u_c(s + 1) \\ \theta &= \frac{21.3s + 1}{s + 1} \end{aligned} \tag{3.6}$$

Untuk membentuk mekanisme pembaharuan parameter adaptif pada kendali, digunakan aturan MIT yang terjadi pada sistem *loop* tertutup dengan keluaran model *y_m*.

Kesalahan dilambangkan dengan *e* yang memiliki nilai :

$$\begin{aligned} e &= y_m - y \\ e &= \frac{u_c}{s + 1} - \frac{\theta u_c}{21.3s + 1} \end{aligned} \tag{3.7}$$

Setelah itu menerapkan aturan MIT, aturan pembaharuan masing-masing parameter θ , Selanjutnya adalah menerapkan MIT Rule, aturan *update* parameter masing-masing θ diturunkan, sehingga untuk filter nilai *error* dan *y* menjadi:

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.



$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta u_c}{21.3s + 1}$$

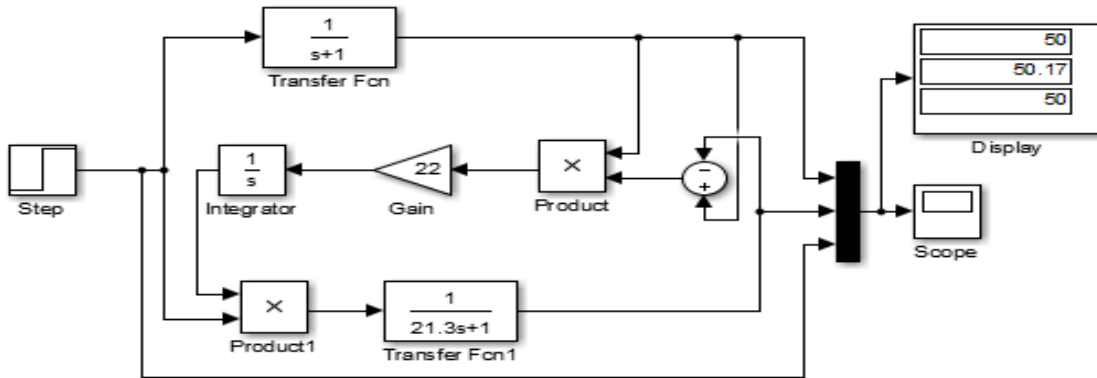
$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{\theta u_c}{21.3s + 1}$$

$$\theta(21.3s + 1) = -\gamma e \frac{\theta u_c}{21.3s + 1}$$

$$\theta = -\frac{\gamma}{21.3s + 1} e \frac{u_c}{21.3s + 1} \tag{3.8}$$

Perancangan Pengendali MRAC-PD

Dengan menggunakan turunan dari persamaan matematis yang ada, dapat dilakukan perancangan MRAC dengan *simulink* matlab yang hasil simulasinya adalah seperti gambar



Gambar 3. 5 Blok *Simulink* Pengendali MRAC *Heat Exchanger*

Nilai *Gain* pada pengendali MRAC dicari dengan Metode Heuristik, berikut merupakan tabel *tuning* nilai *Gain* pada pengendali MRAC.

Tabel 3. Pencarian nilai *Gain* MRAC pada Sistem *Heat Exchanger*

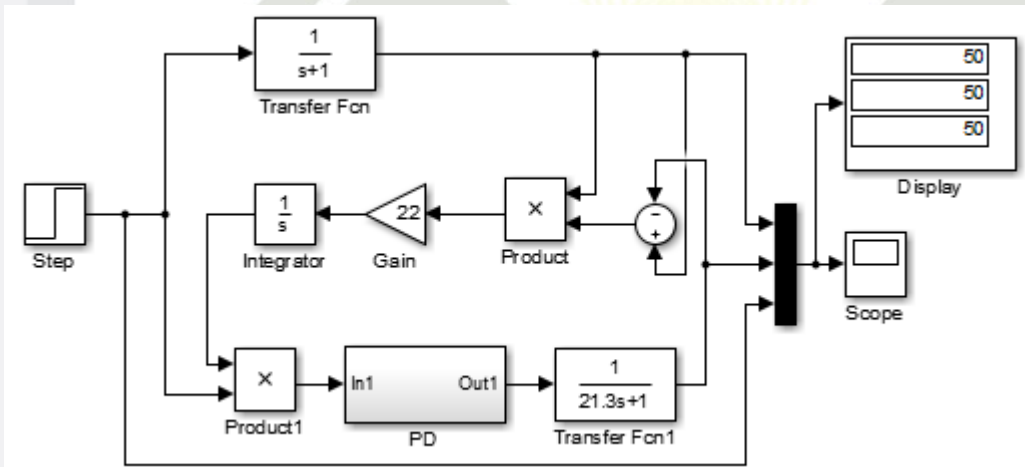
No.	LAMDA	TR10%	TR90%	TR	MO	ESS
1	2	0.2847	1.5934	1.3087	9.95%	1.290
2	4	0.2419	1.8558	1.6139	7.70%	1.430
3	6	0.2176	1.8566	1.639	6.54%	2.990
4	8	0.202	1.8858	1.6838	5.71%	2.270
5	10	0.191	1.9297	1.7387	5.29%	2.510
6	12	0.1825	1.9776	1.7951	4.91%	1.740
7	14	0.1758	1.8827	1.7069	4.60%	1.560
8	16	0.1704	1.9379	1.7675	4.36%	1.930
9	18	0.1658	1.9922	1.8264	4.14%	1.970
10	20	0.1618	1.9294	1.7676	3.98%	0.570

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya atau bagian dari karya tersebut tanpa 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	22	0.1583	1.9781	1.8198	3.82%	0.170
2	24	0.1551	1.9824	1.8273	3.68%	1.350
3	26	0.1523	1.2463	1.094	3.56%	1.000
4	28	0.1497	2.0381	1.8884	3.45%	1.610
5	30	0.1474	2.0912	1.9438	3.36%	1.580

Dari tabel 3.1 dapat dilihat hasil *Tuning gain* terbaik pada nilai 22 dengan nilai *Rise time* 1.8198 detik, *Overshoot* 3.82%, nilai *Error Steady state* 0.17°C, serta masih terdapat osilasi sehingga masih dibutuhkan pengendali PD untuk meredam osilasi pada pengendali MRAC. Desain penambahan kendali PD pada *Heat Exchanger* dengan mengkoneksikannya secara seri antara *transfer function* yang ada di sistem *Heat Exchanger* dengan kendali PD dalam rangkaian. Penalaan nilai parameter Kp dan Kd menggunakan metode heuristik untuk mendapatkan parameter yang optimal. Gambar 3.6 merupakan blok *Simulink MRAC heat exchanger* dengan penambahan pengendali PD yang berfungsi untuk meminimalkan osilasi yang muncul saat diberikan kendali MRAC.



Gambar 3. 6 Blok *Simulink* Pengendali MRAC-PD *Heat Exchanger*

Tabel 3.1 Penalaan Nilai parameter P dan D dengan Metode *Heuristic*

No.	Uji Metode <i>Heuristic</i>		Respon <i>Transient</i>					
	Kp	Kd	Tr (10%-90%) (detik)	Ess	MO(%)	Ts (detik)	T (detik)	Td (detik)
1	0.01	0.00	0.64	9.74	23.41	1.21	0.93	0.85
2	0.01	0.02	2.06	0.01	0.00	3.83	1.01	0.72
3	0.01	0.04	2.12	0.00	0.00	3.88	1.01	0.71
4	0.01	0.06	2.14	0.00	0.00	3.90	1.01	0.70
5	0.01	0.08	2.15	0.00	0.00	3.91	1.01	0.70
6	0.01	0.10	2.16	0.00	0.00	3.92	1.01	0.70

1. Diarahkan 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.



7	0.1	0.2	2.17	0.01	0.00	3.91	1.00	0.70
1	0.1	0.4	2.19	0.00	0.00	3.90	1.00	0.69
1	0.1	0.6	2.19	0.00	0.00	3.90	1.00	0.69
1	0.1	0.8	2.19	0.01	0.00	3.90	1.00	0.69
1	0.1	1	2.19	0.01	0.00	3.90	1.00	0.69
1	1	2	2.19	0.00	0.00	3.90	1.00	0.69
1	1	4	2.19	0.01	0.00	3.90	1.00	0.69
1	1	6	2.19	0.01	0.00	3.90	1.00	0.69
1	1	8	2.19	0.00	0.00	3.90	1.00	0.69
1	1	10	2.19	0.01	0.00	3.90	1.00	0.69
2	2	1	2.19	0.00	0.00	3.91	1.00	0.69
2	2	2	2.20	0.01	0.00	3.91	1.00	0.69
19	2	4	2.20	0.00	0.00	3.90	1.00	0.69
20	2	6	2.20	0.01	0.00	3.90	1.00	0.69

Pada tabel 3.2 dapat kita lihat bahwa kombinasi kendali *Propotional* dan *Derivative* yang menghasilkan respon yang sudah dapat meminimalisir *error steady state*, *maximum overshoot*, dan memiliki respon waktu tercepat terdapat pada nilai K_p adalah 0.01 dan nilai K_d adalah 0.02 yang menghasilkan *Maximum Overshoot (MO)* dan *Error steady state* yang paling minimum dan nilai *Rise Time* (t_r) 2.06 detik, *Settling Time*(t_s) 3,83 detik Konstanta Waktu(τ) 1.01 detik dan *Delay Time*(t_d) 0,72 detik berdasarkan hasil yang didapat pengendali MRAC-PD terbukti dapat menghasilkan temperatur sistem *heat exchanger* yang stabil.

3.7 Respon Transient Terhadap Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem dilakukan dalam 4 cara yakni sistem *loop* tertutup, dengan kendali MRAC, dengan kendali MRAC-PD, dan juga dengan kendali MRAC-PD dengan diberikan gangguan. Adapun data respon transien yang akan digunakan yakni :

1. Konstanta waktu (τ) merupakan waktu yang diperlukan tanggapan mulai dari waktu $t=0$ hingga mencapai 63,2% dari respon *steady state*.
2. Waktu tunda (t_d) merupakan waktu yang dibutuhkan tanggapan untuk mencapai 50% dari nilai akhir puncak lewatan lebih yang pertama
3. Waktu naik, dinotasikan dengan t_r , yakni waktu yang dibutuhkan tanggapan untuk dapat naik dari 10% mencapai nilai 90% hingga akhirnya redaman sistem memiliki nilai 0 hingga 100% dari nilai akhir redaman sistemnya.
4. Waktu tunak, disimbolkan dengan t_s didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan kurva tanggapan untuk sampai dan tetap di area pita toleransi dengan rentang nilai 2-5% dari nilai akhirnya.

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

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.



5. Kesalahan tunak atau *error steady state*, dinotasikan dengan simbol ess yakni nilai selisih antara *output real* dengan *output* yang diharapkan.

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



DAFTAR PUSTAKA

- I. B. Alit and I. G. B. Susana, "Karakteristik Termal-Produktivitas Heat Exchanger Untuk Tungku Sekam Padi Pada Pengeringan Cabai Merah," *Ris. Teknol. Ind.*, vol. 15, no. 2, pp. 307–317, 2021.
- I. Putra, "Studi Perhitungan Heat Exchanger Type Shell and Tube Dehumidifier Biogas Limbah Sawit Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas," *Polimesin*, vol. 15, no. 2, pp. 42–49, 2017.
- Kothandaraman C.P., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3rd ed. New Delhi: New Age International, 2006.
- R. P. E. Sari, R. Effendi, and E. Iskandar, "Pengendali Temperatur Fluida pada Heat Exchanger dengan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Prediktif," *Tek. Elektro*, pp. 1–6, 2014.
- M. Dwiyanti and Kendi Moro N, "Tuning Parameter PID dengan Metode Ciancone Pada Plant Heat Exchanger," *Politeknologi*, vol. 12, pp. 12–17, 2013.
- J. García Perez, M. Vianna Neto, M. Cardoso, M. Vakkilainen, and E. Kaikko, "Shell-and-tube heat exchanger optimization-impact of problem formulation and cost function," in *The 14th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, 2019, no. 7, pp. 1350–1356.
- F. Ekasari, R. Effendi, and E. Iskandar, "Pengendali Temperatur Fluida Pada Heat Exchanger Dengan Menggunakan Algoritma Model Predictive Control (MPC)," *Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, pp. 134–139, 2014.
- Y. Efendi, Nurhadi, N. A. Mardiyah, and Z. Has, "Desain dan Verifikasi Kontrol Cascade Pengendali Suhu Berbasis Fuzzy-PID dan PI pada Heat Exchanger," *Semin. FORTEI*, pp. 107–113, 2019.
- C. N. Reddy and K. Balaji, "A Genetic Algorithm (GA)-PID Controller for Temperature Control in Shell and Tube Heat Exchanger," *Mater. Sci. Eng.*, pp. 0–7, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/925/1/012020.
- R. K. Shah and D. P. Sekuli, *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. Sekulic, 2007.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Di larang 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] S. Padhee, "Controller design for temperature control of heat exchanger system: Simulation studies," *WSEAS Trans. Syst. Control*, vol. 9, no. 1, pp. 485–491, 2014.
- [12] S. Khan, *Modeling and Temperature Control of Heat Exchanger Process*. Saarbrücken: LAP Lambert Academy Publishing, 2017.
- [13] G. J. Silva and A. Datta, *PID Controller for Time-Delay System*. United States of America: Birkhauser, 2005.
- [14] K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik*, 1st ed. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [15] K. Astrom and B. Wittenmark, "Adaptive control," New York: Dover Publications INC., 2008.
- [16] M. A. Johnson and M. H. Moradi, *PID Control New Identification and Design Methods*. London: Springer, 2005.
- [17] F. j. Seborg, Dale E.; Edgar, Thomas F.; Mellichamp, Duncan A.; Doyle III, *Process Dynamics and Control*, Fourth., vol. 53, no. 9. USA, 2019.
- [18] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, Fifth. USA: Prentice Hall, 2010.
- [19] C. Budi, "Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier," *Phenom. J. Pendidik. MIPA*, vol. 3, no. 1, p. 45, 2016, doi: 10.1580/phen.2013.3.1.174.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

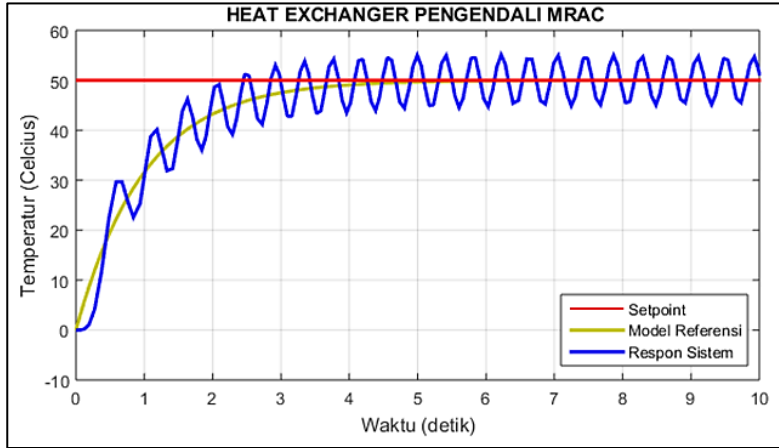
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



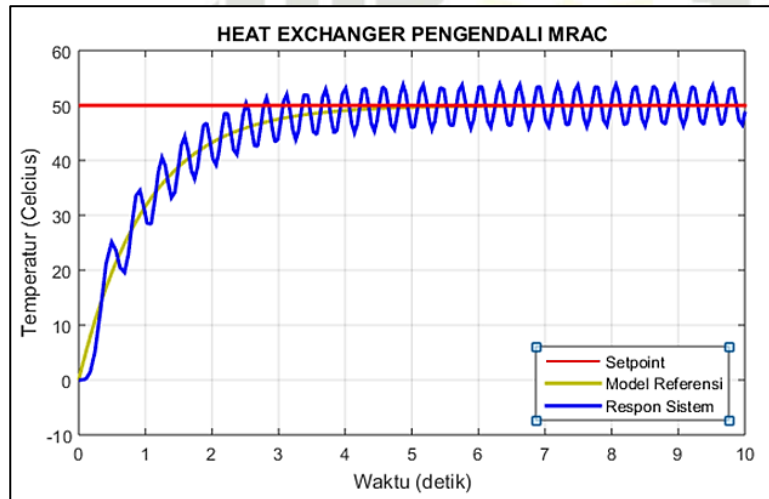
LAMPIRAN

Proses *Tuning* Nilai *Gain* (γ) pada pengendali MRAC

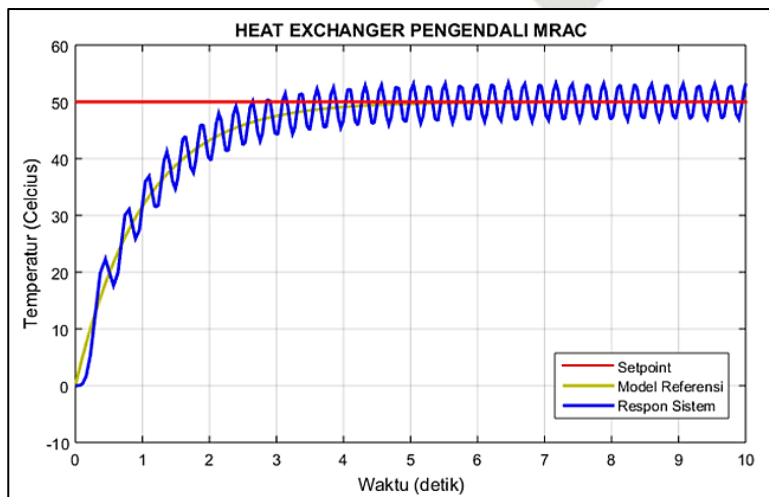
Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 2$



Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 4$



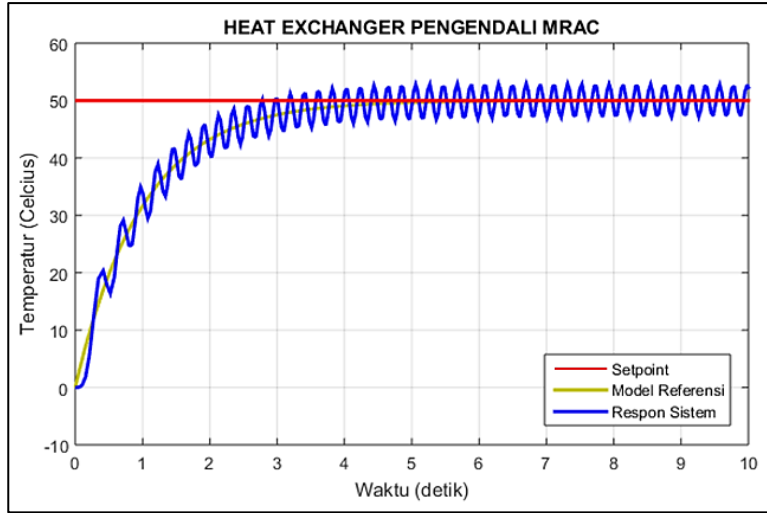
Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 6$



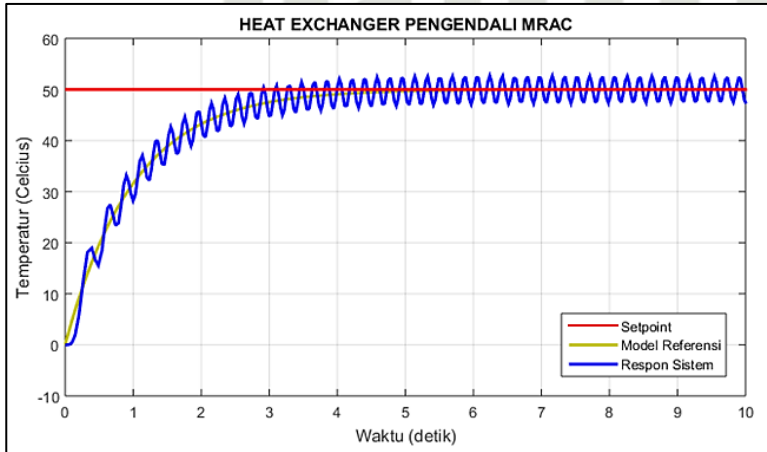
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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



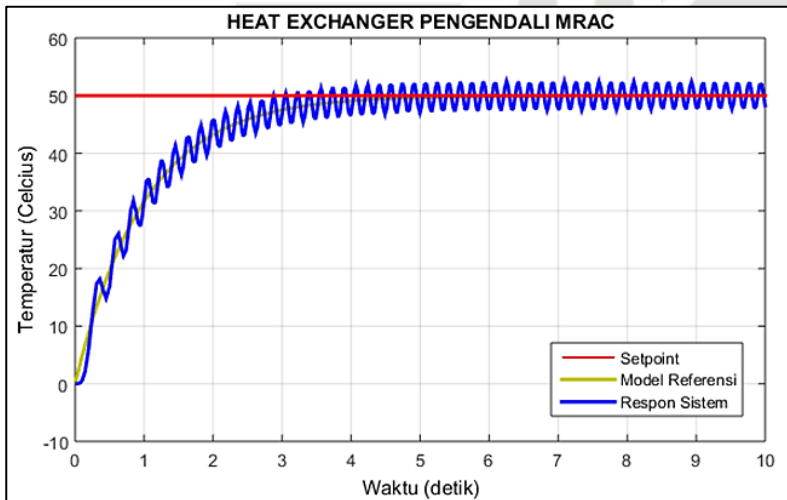
4. Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 8$



Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 10$



Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 12$



© Hak cipta milik UIN Suska Riau

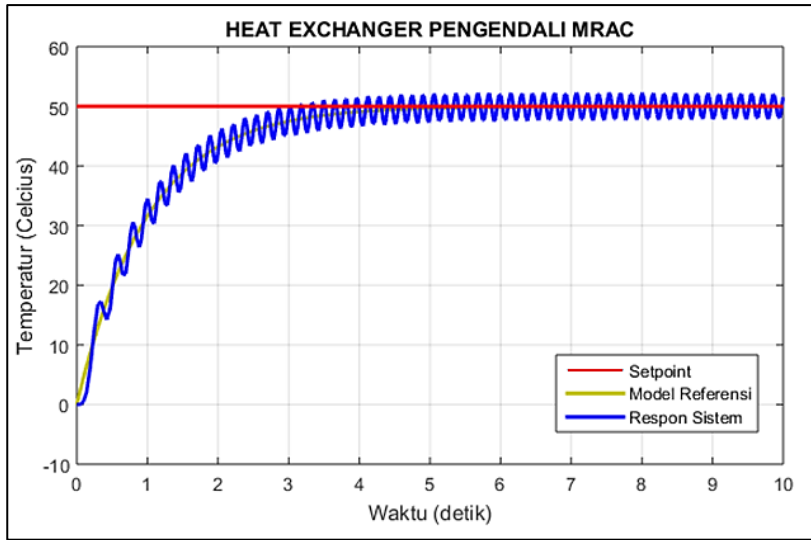
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

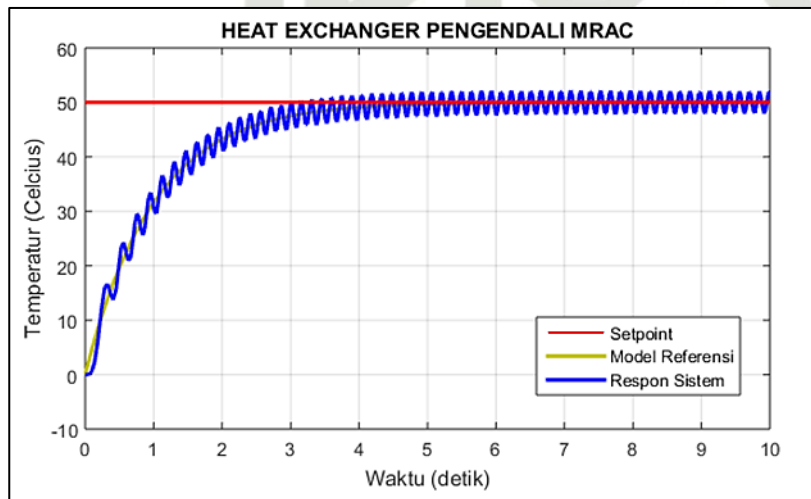
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



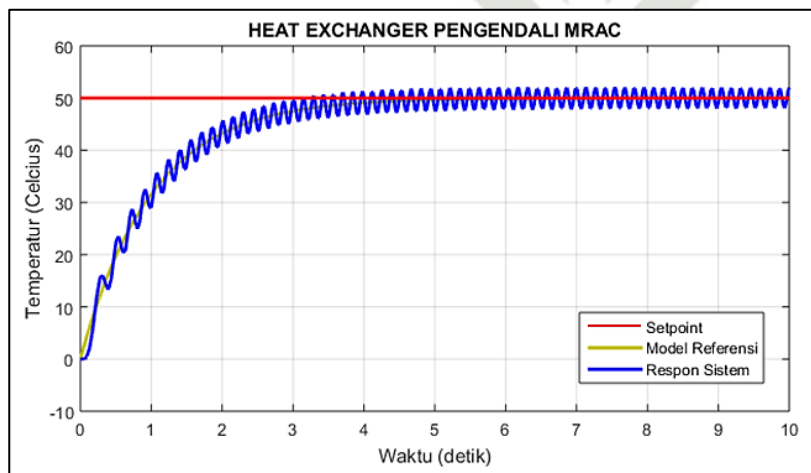
7. Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 14$



Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 16$



Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 18$

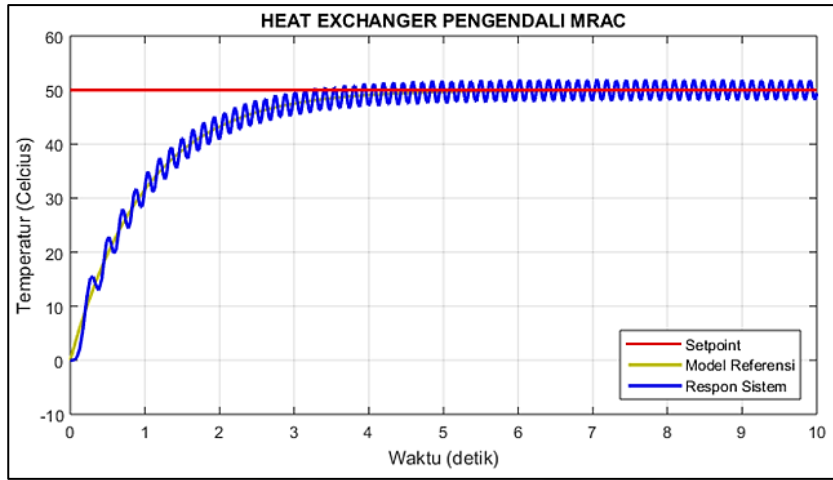


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

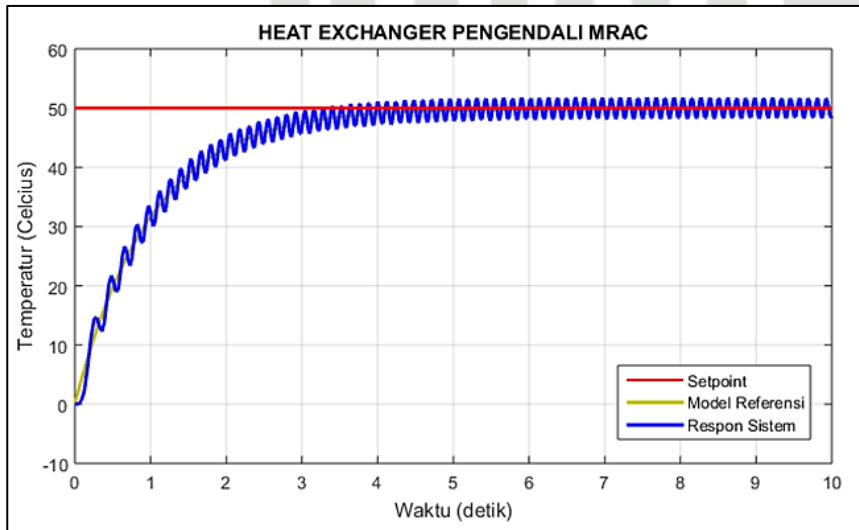
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



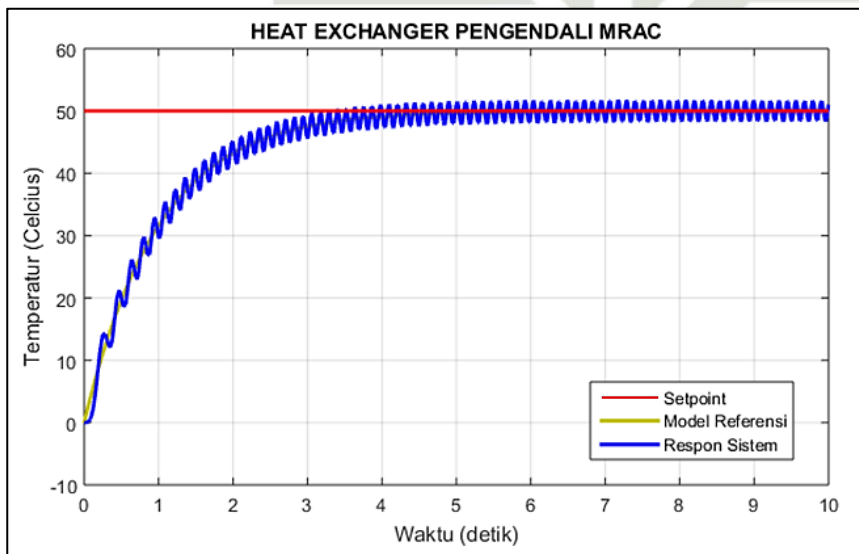
10. Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 20$



11. Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 24$



12. Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 26$

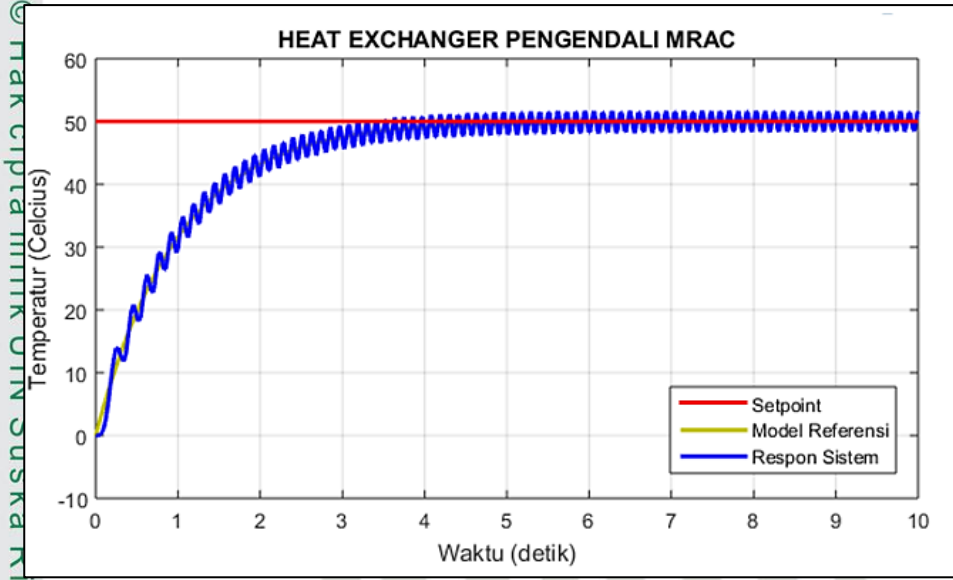


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

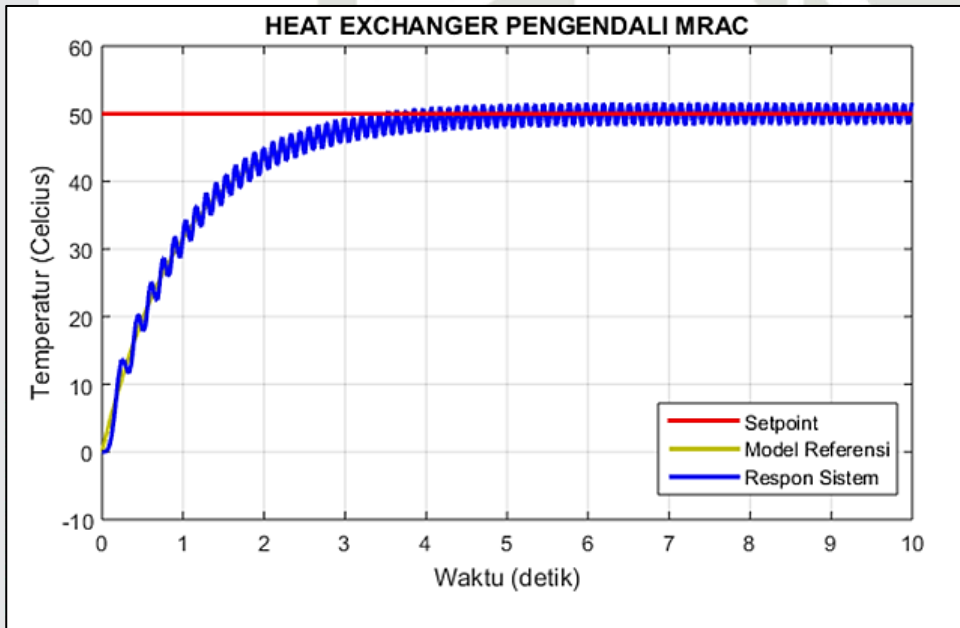
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



13. Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 28$



14. Hasil simulasi pengendali MRAC dengan $\gamma = 30$



- 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nurul Hidayatullah, lahir di Duri 05 Desember 1997 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Tabriadi dan Mardiah yang beralamat di Jorong Koto Tangah Sungai Beringin Payakumbuh Sumatera Barat.

Email : 11755101983@students.uin-suska.ac.id

HP : 081268124368



Pengalaman pendidikan yang dilalui dari SD Negeri 042 Duri Barat pada tahun 2003-2009, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 1 Mandau pada tahun 2009-2012, Setelah itu dilanjutkan dengan pendidikan SMK Negeri 1 Mandau pada tahun 2012-2015. Setelah lulus SMK penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dengan mengambil bidang kajian Elektronika dan Instrumentasi pada tahun 2017. Penulis menyelesaikan masa studi selama 5 setengah tahun dan lulus pada tahun 2021 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul "Desain Kendali MRAC-PD pada Pengendalian Temperatur untuk Sistem *Heat Exchanger*".

- Ha
- ©
1. Diararang 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.