



**DESAIN PENGENDALI MRAC-FUZZY UNTUK MENGENDALIKAN  
TEMPERATUR PADA SISTEM ANNEALING LEHR**

**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 :

**JOKO BAGUS**

**11655100011**



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

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

**2021**

**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.



## LEMBAR PERSETUJUAN

DESAIN PENGENDALI MRAC-FUZZY UNTUK MENGENDALIKAN  
TEMPERATUR PADA SISTEM ANNEALING LEHR

### TUGAS AKHIR

oleh:

**JOKO BAGUS**

**11655100011**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 24 Desember 2021

**Ketua Program Studi**

**Teknik Elektro**

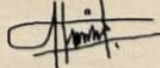
  
Digitally  
signed by  
Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2022.01.19  
13:29:44 WIB

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

**Pembimbing I**

Ahmad

Faizal

  
2022.01.11

09:02:11

+07'00'

**Ahmad Faizal, ST., MT**  
**NIP. 19880630 201503 1 006**



## LEMBAR PENGESAHAN

### DESAIN PENGENDALI MRAC-FUZZY UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR PADA SISTEM ANNEALING LEHR

#### TUGAS AKHIR

oleh:

**JOKO BAGUS**  
**11655100011**

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 24 Desember 2021

Pekanbaru, 24 Desember 2021

Mengesahkan,



**Ketua Program Studi  
Teknik Elektro**

Digitally signed by  
Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2022.01.19  
13:27:08 WIB

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

#### DEWAN PENGUJI :

**Ketua : Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom**

**Sekretaris : Ahmad Faizal, ST., MT**

**Anggota I : Halim Mudia, ST., MT**

**Anggota II : Aulia Ullah, ST., M.Eng**

Halim  
Mudia  
Tanggal:  
2022.01.13  
09:51:27  
WIB

Ahmad  
Faizal  
2022.01.11  
09:01:34  
+07'00'

Lampiran Surat :  
Nomor : Nomor 25/2021  
Tanggal : 10 September 2021

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Joko BASUS  
NIM : 11655100011  
Tempat/Tgl. Lahir : Pebandaan, 22 November 1997  
Fakultas/Pascasarjana : Sains dan Teknologi  
Prodi : Jenjur Elektro  
Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\*:  
Pesain pengendali MPAC-Fuzzy untuk Mengendalikan  
Temperatur pada Sistem Annealing lohr

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\* saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/(Karya Ilmiah lainnya)\* saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 26 Januari 2022  
pembuat pernyataan  
  
Joko BASUS  
NIM : 11655100011

\* pilih salah satu sesuai jenis karya tulis

- 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 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 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 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.

## 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, 24 Desember 2021

Yang membuat pernyataan,

**JOKO BAGUS**  
NIM. 11655100011

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.

## HALAMAN PERSEMBAHAN



**Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang”**

*Alhamdulillahirabil' alamin...*

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah serta sholawat salam kukurahkan atas Rasul-Mu. sebuah langkah usai sudah, satu cita telah kugapai. Namun itu bukan akhir dari perjalanan melainkan awal dari perjuangan. Hari takkan indah tanpa mentari dan rembulan, begitu pula dengan hidup takkan indah tanpa tujuan, harapan dan tantangan. Meskipun berat perjuangan hidup ini, semua itu tidak lain hanya untuk mencari ridho-Mu dan mengejar syurga-Mu.

*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 Alm Ayahanda tercinta, sosok yang menjadi penyemangat dalam hidupku meski tak bisa merangkul dari dekat, namun jiwamu menjadi alasan tetap berjuang menjadi manusia yang bermanfaat bagi ummat. 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. Mas, Mbak dan Adik tercinta seluruh keluarga, sahabat serta seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti masa depan yang cerah.

*"Danandainya semua pohon yang ada di bumi dijadikan pena dan lautan dijadikan tinta ditambah lagi tujuh lautan sesudah itu makalah belum akan habislah kalimat-kalimat Allah yang akan dituliskan, sesungguhnya Allah maha perkasa lagi maha bujaksana"*  
(QS: Luqman: 27)

**/ JOKO BAGUS |  
| 24 Desember 2021 |**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Diarang 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. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# DESAIN PENGENDALI MRAC-FUZZY UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR PADA SISTEM ANNEALING LEHR

JOKO BAGUS

NIM : 11655100011

Tanggal Sidang : 24 Desember 2021

Program Studi Teknik Elektro Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

## ABSTRAK

*Annealing* merupakan suatu proses pemanasan kaca (*heating*) sampai suhu tertentu lalu menahannya dalam beberapa waktu, kemudian didinginkan (*cooling*) secara bertahap yang berlangsung pada sistem *annealing lehr*. Proses ini melibatkan suhu yang sangat tinggi sehingga bukan hal mudah untuk mengendalikannya supaya sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Temperatur pada sistem *annealing lehr* tanpa pengendali menunjukkan terjadi *overshoot* dan *error steady state* yang besar, Oleh karena itu dibutuhkan suatu pengendali yang mampu untuk mengendalikan temperatur pada sistem *annealing lehr*. salah satu metode kendali untuk sistem non linier seperti *annealing lehr* adalah MRAC yaitu metode yang dapat menyelesaikan permasalahan tersebut karena MRAC terdapat mekanisme kendali adaptif yang bertujuan untuk mengendalikan keluaran sistem sama dengan model referensi yang diberikan, namun MRAC masih terdapat kelemahan yaitu berosilasi, maka pengendali *Fuzzy* ditambahkan untuk mengatasi kekurangan pada MRAC, *Fuzzy* sendiri dapat menghasilkan *output* yang diinginkan dengan cara pemilihan *rules* yang tepat secara *heuristic*. Berdasarkan hasil penelitian pengendali MRAC-Fuzzy mampu mengendalikan temperatur pada sistem *annealing lehr* dan tahan terhadap gangguan. Berdasarkan hasil simulasi dan analisa respon sistem didapatkan hasil pengendalian yaitu *rise time* = 2091.8551 detik, *overshoot* = 0.009518 % dan *error steady state* = -15843 °C. Sedangkan gangguan diberikan pada detik ke- 3500 dan mampu kembali stabil pada detik ke- 3688.9503.

**Kata Kunci** : *Annealing Lehr*, *Fuzzy*, MRAC

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



# **DESIGN MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)-FUZZY TO CONTROL TEMPERATURE IN ANNEALING LEHR SYSTEM**

**JOKO BAGUS**

**Student Number : 11655100011**

*Date of Final Exam : December, 24 2021*

*Department of Electrical Engineering  
Faculty of Science of Technology  
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau  
Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru*

## **ABSTRACT**

Annealing is a process of heating glass (heating) to a certain temperature and then holding it for some time, then cooling (cooling) gradually which takes place in the lehr annealing system. This process involves a very high temperature so it is not easy to control it so that it conforms to predetermined standards. The temperature of the Lehr annealing system without a controller shows that there is an overshoot and steady state error. Therefore, a controller that is able to control the temperature of the Lehr annealing system is needed. One of the control methods for non-linear systems such as annealing Lehr is MRAC, which is a method that can solve these problems because MRAC has an adaptive control mechanism that aims to control the system output the same as the reference model given, but MRAC still has a weakness, namely oscillation, so the fuzzy controller added to overcome the shortcomings in MRAC, Fuzzy mamdani can produce the desired output by selecting the right rules with try and error. Based on the research results, the MRAC-Fuzzy controller is able to control the temperature of the lehr annealing system and is resistant to disturbances. Based on the simulation results and analysis of the system response, the control results obtained are rise time = 2091.8551 seconds, overshoot = 0.009518 % and steady state error = - 0.15843 °C. While the disturbance is given at the 3500th second and is able to stabilize again at the 3688,9503 second.

**Key Word** : Annealing Lehr, Fuzzy , MRAC



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb

Alhamdulillahirobbil 'alamin , puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat, hidayah dan inayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Selanjutnya shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita semua dari alam duniawi menuju alam islamiyah penuh dengan ilmu pengetahuan seperti yang kita rasakan saat ini. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Desain Pengendali MRAC-Fuzzy untuk Mengendalikan Temperatur pada Sistem Annealing Lehr”**.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada disekeliling 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. Bapak, Mamak, Mas, Mbak, dan Adik tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Hairunnas M.Ag selaku rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Bapak Dr. Drs. Hartono, B.A., M. Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, ST., MT selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Sutoyo, ST., MT selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal, ST., MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan

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 Ditinjau UIN Suska Riau  
 Saiful Islamiah Uiversiry of Saitan Syarif Kasim Riau

penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom selaku ketua sidang yang telah memimpin jalannya sidang sampai dengan selesai tanpa ada halangan suatu apapun.
8. Bapak Aulia Ullah, ST., M.Eng dan Bapak Halim Mudia, ST., MT selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
9. Bapak Aulia Ullah, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
10. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Edi Darmawan, ST selaku teman yang telah membantu penulis dalam merancang pengendali MRAC serta mencari nilai *gain* pengendali MRAC pada sistem *annealing lehr*.
12. Akbar Dimansyah Harahap, ST teman seperjuangan yang telah mengajarkan dan membantu penulis dalam merancang pengendali *Fuzzy* serta mencari *membership function fuzzy* serta *rule base fuzzy* pada sistem *annealing lehr*.
13. Mahatir Muhammad selaku teman seperjuangan yang telah menyediakan koneksi internet yang baik selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
14. Ahmad Iqbal, ST selaku teman seperjuangan dengan dosen bimbingan yang sama sebagai tempat bertanya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
15. Husnita Latifah, S.Pd selaku *partner* paling baik yang selalu memberikan *support* dan dukungan serta selalu mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
16. Teman-teman KKN Desa Nyiur Permai, Fauzan, Rosmiati, Fitri Riskia , Soni Marta, Sukma Munte, Larasati, Diana, Tivanny dan Ainun Yulifia yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
17. Teman seperjuangan Instrumentasi 2016 serta teman-teman angkatan 2016 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat

#### 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.



penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran 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.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, Hal ini yang membuat 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, 24 Desember 2021

Penulis,

**Joko Bagus**

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 ISI

	<b>Halaman</b>
LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR LAMBANG .....	xviii
DAFTAR SINGKATAN .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Rumusan Masalah .....	I-5
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-5
1.4 Batasan Penelitian .....	I-5
1.5 Manfaat Penelitian .....	I-6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.2 Penelitian Terkait .....	II-1
2.2 Dasar Teori .....	II-2
2.2.1 <i>Annealing Lehr</i> .....	II-2
2.2.2 Model Matematis <i>Annealing Lehr</i> .....	II-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.

2.3 Identifikasi Sistem .....	II-7
2.4 Sistem Kendali .....	II-9
2.4.1 <i>Model Reference Adaptive Controller</i> (MRAC).....	II-10
2.4.2 <i>MIT Rule</i> [29].....	II-10
2.4.3 Logika Fuzzy .....	II-13
2.4.4 Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> .....	II-19
2.4.5 Interpolasi Linier.....	II-19
2.4.6 MATLAB.....	II-20

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 <i>Flow Cart</i> Metode Penelitian.....	III-1
3.2 Tahapan Penelitian .....	III-2
3.3 Pemodelan <i>Annealing Lehr</i> .....	III-3
3.4 Pengujian <i>Plant</i> Sistem <i>Annealing Lehr</i> .....	III-5
3.5 Perancangan Pengendali MRAC .....	III-6
3.6 Perancangan Kendali <i>Fuzzy Mamdani</i> .....	III-11
3.6.1 Fuzzifikasi.....	III-11
3.6.2 <i>Rule Base</i> .....	III-12
3.6.3 Defuzzifikasi.....	III-14
3.7 Perancangan Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> .....	III-18
3.8 Perancangan Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> dengan Gangguan Sinyal Kendali .....	III-18
3.9 Hasil Data yang akan diambil .....	III-18
3.9.1 Grafik Setiap Pengujian Sistem .....	III-19
3.9.2 Respon Transient Sistem dari Setiap Pengujian .....	III-20

**BAB IV HASIL DAN ANALISA**

© 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.

4.1 Gambaran Umum Pengujian .....	IV-1
4.2 Hasil dan Analisa Simulasi Sistem <i>Annealing Lehr</i> secara <i>Open Loop</i> .....	IV-1
4.3 Hasil dan Analisa Simulasi Sistem <i>Annealing Lehr</i> Menggunakan Pengendali MRAC.....	IV-5
4.4 Hasil dan Analisa Simulasi Sistem <i>Annealing Lehr</i> Menggunakan Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> .....	IV-10
4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> dalam Mengatasi Gangguan Sinyal Kendali.....	IV-14
4.6 Analisa Perbandingan Respon Sistem Menggunakan Pengendali MRAC dan Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> untuk Mengendalikan Temperatur Pada Sistem <i>Annealing Lehr</i> .....	IV-15

**BAB IV PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	IV-1
5.2 Kesimpulan.....	IV-1

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN A**

**LAMPIRAN B**

**LAMPIRAN C**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem <i>Annealing Lehr</i> .....	II-3
Gambar 2.2 <i>Insulation</i> pada Dinding <i>Lehr</i> .....	II-6
Gambar 2.3 Blok Diagram <i>Annealing Lehr</i> .....	II-7
Gambar 2.4 Respon Sistem Orde Dua .....	II-7
Gambar 2.5 Skema Pengendali MRAC .....	II-10
Gambar 2.6 Skema MRAC dengan Metode MIT <i>Rule Satu Gain</i> .....	II-12
Gambar 2.7 Tahap Perancangan Sistem <i>Fuzzy</i> .....	II-13
Gambar 2.8 Representasi Linear Naik .....	II-15
Gambar 2.9 Representasi Linear Turun .....	II-15
Gambar 2.10 Representasi Segitiga .....	II-16
Gambar 2.11 Representasi Trapesium .....	II-16
Gambar 2.12 Blok Diagram <i>Fuzzy Modified MRAC</i> .....	II-19
Gambar 2.13 Interpolasi Linier .....	II-20
Gambar 2.14 Ikon Matlab .....	II-21
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian .....	III-1
Gambar 3.2 Blok Simulasi Diagram <i>Open Loop Annealing Lehr</i> .....	III-5
Gambar 3.3 Subsistem Blok <i>Annealing Lehr</i> .....	III-5
Gambar 3.4 Respon <i>Open Loop</i> pada <i>Annealing Lehr</i> .....	III-5
Gambar 3.5 Desain MRAC pada <i>Annealing Lehr</i> .....	III-9
Gambar 3.6 <i>Viewer Surface</i> Pengendali <i>Fuzzy</i> .....	III-13
Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan <i>Error</i> .....	III-16
Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan <i>Derror</i> .....	III-17
Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan <i>Output</i> .....	III-17
Gambar 3.10 Desain Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> .....	III-18
Gambar 3.11 Desain Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> dengan Gangguan Sinyal Kendali ..	III-19
Gambar 3.12 Cara Menjalankan Simulasi .....	III-19
Gambar 3.13 Cara Menampilkan Grafik Keluaran Sistem .....	III-20
Gambar 3.14 Tampilan Grafik Keluaran Sistem .....	III-20
Gambar 4.1 Respon Sistem <i>Annealing Lehr</i> secara <i>Open Loop</i> .....	IV-2
Gambar 4.2 Respon Sistem <i>Annealing Lehr</i> Menggunakan Pengendali MRAC .....	IV-6

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

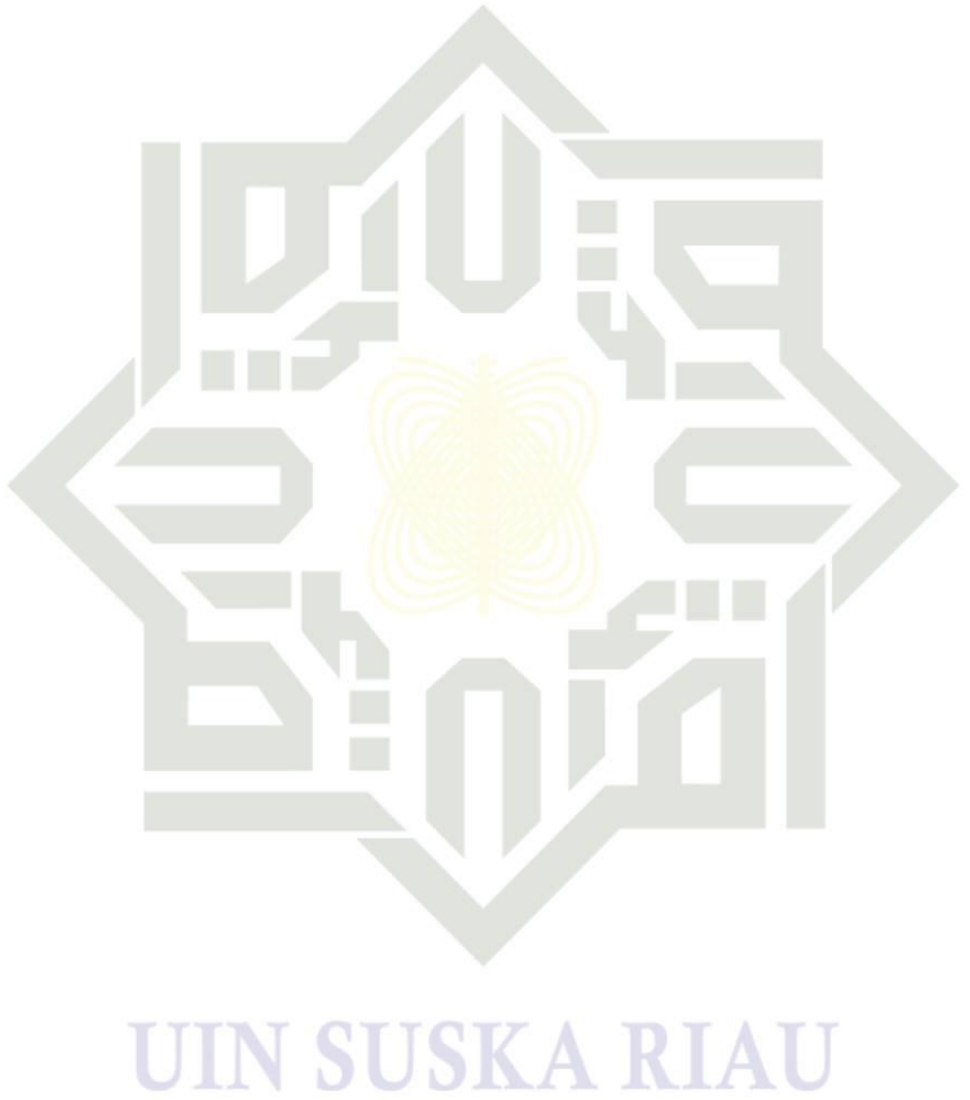
a. Penguipaan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Penguipaan 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 4.3 Respon Sistem <i>Annealing Lehr</i> Menggunakan Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> .....	IV-11
Gambar 4.4 Grafik keluaran pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i> dengan gangguan sinyal sebesar 5% .....	IV-15
Gambar 4.5 perbandingan grafik keluaran pengendali MRAC dan MRAC- <i>Fuzzy</i> .....	IV-16



- 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 TABEL

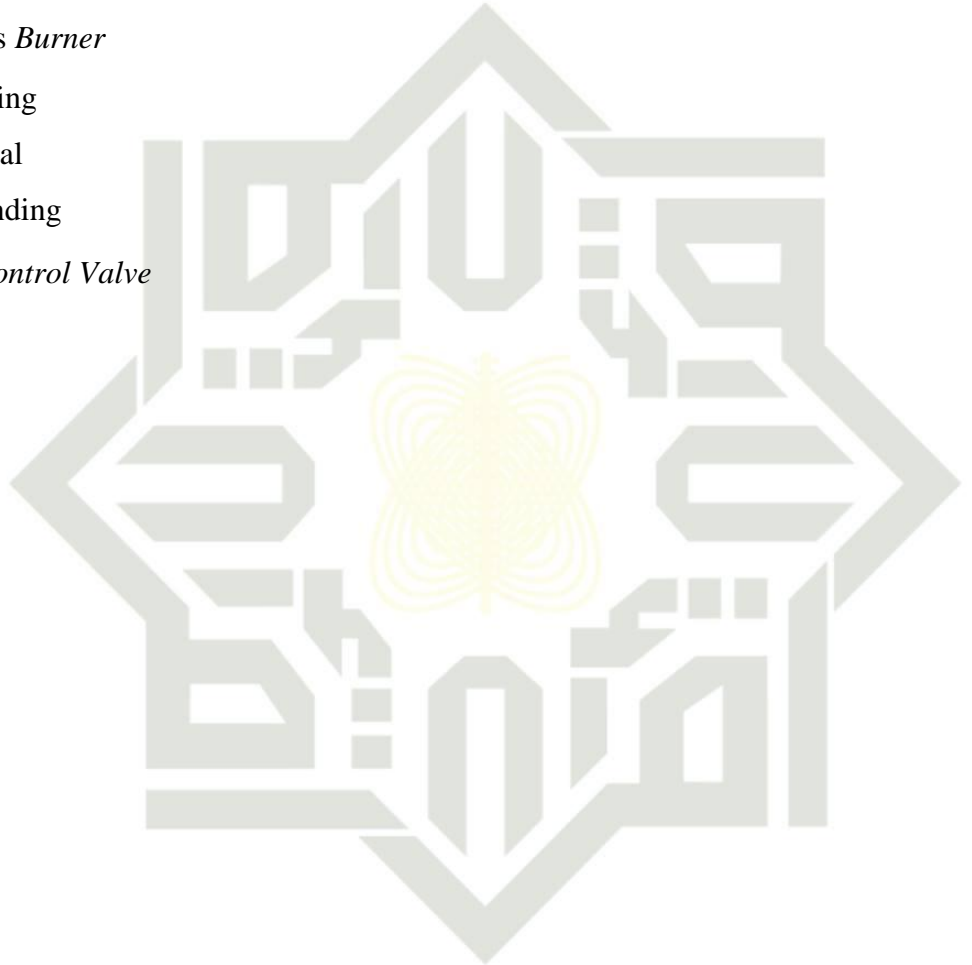
Tabel 3.1	Parameter pada <i>Annealing Lehr</i> .....	III-3
Tabel 3.2	Pencarian nilai <i>gain</i> pada Pengendali MRAC .....	III-9
Tabel 3.3	<i>Rule Base Fuzzy</i> .....	III-13
Tabel 3.4	Pencarian Lebar Fungsi Keanggotaan <i>e, De</i> dan <i>S</i> .....	III-14
Tabel 3.5	Pencarian Lebar Fungsi Keanggotaan <i>e(+),e(-),De(+),De(-), B</i> dan <i>K</i> .....	III-15
Tabel 4.1	Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Setpoint</i> secara <i>Open Loop</i> .....	IV-2
Tabel 4.2	Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Setpoint</i> secara <i>Open Loop</i> .....	IV-3
Tabel 4.3	Data <i>Settling Time</i> secara <i>Open Loop</i> .....	IV-4
Tabel 4.4	Data <i>Delay Time</i> secara <i>Open Loop</i> .....	IV-4
Tabel 4.5	Respon Sistem <i>Annealing Lehr</i> secara <i>Open Loop</i> .....	IV-5
Tabel 4.6	Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Setpoint</i> menggunakan pengendali MRAC .....	IV-7
Tabel 4.7	Data <i>Rise Time</i> 95% dari <i>Setpoint</i> menggunakan pengendali MRAC .....	IV-8
Tabel 4.8	Data <i>Settling Time</i> Pengendali MRAC.....	IV-8
Tabel 4.9	Data <i>Delay Time</i> menggunakan Pengendali MRAC .....	IV-9
Tabel 4.10	Analisa Respon Sistem dengan Pengendali MRAC .....	IV-9
Tabel 4.11	Data <i>Rise Time</i> 5% dari <i>Setpoint</i> menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy .....	IV-12
Tabel 4.12	Data <i>Rise Time</i> 95% dari <i>Setpoint</i> menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy .....	IV-12
Tabel 4.13	Data <i>Settling Time</i> menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy .....	IV-13
Tabel 4.14	Data <i>Delay Time</i> menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy .....	IV-13
Tabel 4.15	Analisa Respon Sistem dengan Pengendali MRAC-Fuzzy.....	IV-14
Tabel 4.16	Perbandingan Respon Sistem Pengendali MRAC dengan MRAC-Fuzzy.....	IV-16

## DAFTAR LAMBANG

- © Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
- $K_c$  = Gain Control Valve
  - $K_t$  = Gain Transducer
  - $T_c$  = Konstanta Waktu Control Valve
  - $C_a$  = Kapasitansi Termal Udara
  - $K_b$  = Konstanta Gas *Burner*
  - $d$  = Ketebalan Dinding
  - $K$  = Konduksi Termal
  - $R_T$  = Resistansi Dinding
  - $K_T$  = Gain Total Control Valve

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 SINGKATAN

- MRAC* : *Model Reference Adaptive Control*  
*PID* : *Proportional Integral Derivative*  
*MATLAB* : *Matrix Laboratory*



UIN SUSKA RIAU

### Hak Cipta Milik 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.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Teknologi saat ini berkembang begitu pesat diberbagai bidang, salah satunya dalam bidang industri. Produk yang dihasilkan pun sangat bervariasi, salah satu contoh produksi industri adalah kaca. Kaca merupakan material bening berbahan pasir kuarsa sebagai bahan bakunya yang diolah sedemikian rupa melalui proses kimia, fisika dan biologi yang produknya berupa padatan [1]. Produk kaca banyak digunakan diberbagai bidang industri. Salah satu industri yang banyak menggunakan produk kaca adalah bidang otomotif dimana kaca digunakan untuk kaca jendela kendaraan bermotor. Produk kaca juga banyak digunakan pada industri properti dimana kaca dipakai sebagai bahan penting pembuatan jendela rumah, sekat ruangan, berbagai peralatan makan dan dekorasi rumah [2]. Sifat kaca yang transparan, simpel dan bersih menjadikan material ini mudah menyesuaikan dengan konsep yang digunakan [3].

Permintaan kaca lembaran dunia tumbuh tumbuh sekitar 6,6% per tahun. pada tahun 2018, tercatat sebesar 10 miliar meter persegi atau senilai kurang lebih USD 102 miliar, yang diperkirakan 50% permintaan dunia ada di wilayah Asia-Pasifik. Potensi ekspor naik bisa 30-40% [4]. Begitu pula dengan Indonesia juga mempunyai potensi yang baik sebagai salah satu eksportir kaca dunia, didukung sekitar 60–70% ketersediaan sumber daya mineral berupa pasir kuarsa di pantai-pantai Indonesia yang tersebar diberbagai daerah, sehingga dengan mudah mampu memenuhi kebutuhan bahan baku pembuatan kaca [5].

Melihat permintaan pasar kaca yang baik sangat penting bagi suatu industri untuk memasukkan kualitas produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik karena, kualitas merupakan faktor yang sangat berpengaruh bagi dunia industri [6]. Maka diperlukan pengenalan kualitas produk. karena, kontrol kualitas sangat diperlukan dalam memproduksi suatu barang untuk menjaga kesetabilan mutu [7]. Pentingnya mutu atau kualitas produk suatu industri akan melakukan pengontrolan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan layak atau tidak diterima pasar, hal ini biasa dilakukan oleh Departemen *quality control* [8]. Pada

- 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.



intinya kualitas merupakan suatu hal yang sangat penting untuk dijaga supaya konsumen tidak kecewa dan tetap setia membeli barang kepada suatu produsen barang.

Pada proses pembuatan kaca terdapat beberapa proses yang harus dilalui, salah satunya adalah proses *annealing*. *Annealing* merupakan suatu proses pemanasan kaca (*heating*) sampai suhu tertentu lalu menahannya dalam beberapa waktu, kemudian didinginkan (*cooling*) secara bertahap yang berlangsung pada sistem *annealing lehr* [9]. Tingkat suhu dan waktu yang diberikan pada proses *annealing* bervariasi tergantung pada jenis dan ketebalan kaca. Merujuk dari penelitian sebelumnya perlakuan panas yang diberikan sebesar 1250 °C untuk proses *heating* dan 350 °C untuk proses *cooling* selama 4500 detik [10], misalnya proses pada jenis kaca *soda-lime glass* atau *soda-lime-silica* yaitu kaca paling umum biasa digunakan untuk kaca jendela dan wadah makan atau minuman [11]. Proses *annealing* ini melibatkan temperatur yang sangat tinggi sehingga bukan hal yang mudah untuk mengendalikannya sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Temperatur pada sistem *annealing lehr* tanpa pengendali menunjukkan terjadi *overshoot* dan *error steady state* [2][9][10][12]. Temperatur *annealing* yang tidak sesuai dengan standar pembuatan kaca mengakibatkan terjadinya cacat pada kaca (*defect*) dan tidak lulus uji sehingga harus didaur ulang dan akan menambah biaya produksi. *Defect* yang terjadi berupa udara yang terperangkap pada kaca (gelembung / *bubble*), retak / pecah dan tidak padat sehingga kaca tidak layak digunakan [9]. Berdasarkan studi kasus yang didapatkan bergelembung (*bubble*) merupakan kasus kegagalan yang paling banyak ditemukan dengan presentase sebesar 46.1% [12].

Proses *annealing* bertujuan untuk menghindari terjadinya *defect* kaca [13]. Secara sederhana jika gelas kaca dituangkan air panas secara langsung maka akan retak atau pecah, begitu pula saat proses pembuatan kaca tidak bisa diberikan perubahan suhu secara signifikan. Pengendalian temperatur menjadi hal yang sangat penting pada proses *annealing* karena proses ini sangat berpengaruh pada hasil fisik kaca yang tentunya akan mempengaruhi kualitas kaca [5]. Proses *annealing* yang baik akan menghasilkan kaca berkualitas tinggi yaitu bersifat transparan dan tidak terdapat cacat (*defect*) yang dinamakan "*cutability*" sehingga mudah dipotong kebentuk akhir [14].

Penelitian terdahulu tentang pengendalian temperatur pada *annealing lehr* yang pertama adalah membahas tentang pengendalian temperatur pada sistem *annealing lehr*

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.



menggunakan pengendali PID di PT Asahimas Flat Glass, TBK Sidoarjo. Hasil penelitian menyatakan bahwa kondisi kestabilan tercapai. Namun masih memiliki kelemahan yaitu terdapat *overshoot* sebesar 12% dan lambat untuk mencapai *setpoint* [7]. Penelitian selanjutnya membahas tentang perbandingan kinerja pengendali PID dan PID Fuzzy pada pengendalian temperatur proses pembuatan kaca. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua pengendali ini masih memiliki *overshoot* rata-rata sebesar 2,129 % menggunakan pengendali PID-Fuzzy dan 16,13 % dihasilkan menggunakan pengendali PID tradisional [15]. Penelitian *annealing lehr* juga dilakukan menggunakan pengendali *Linier Quadratic Regulator* (LQR). Hasil penelitian menyatakan respon waktu yang cukup baik, dengan waktu tunaknya 6,4 detik, waktu naiknya 2,8 detik dan tidak memiliki *overshoot*, hanya saja memiliki *error steady state* lebih dari 5% [12]. Penelitian lainnya menggunakan MRAC yang dikombinasikan dengan fuzzy untuk mengontrol *dryer* proses pembuatan kertas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon pengendali MRAC-Fuzzy lebih baik daripada MRAC saja, dimana pengendali MRAC memiliki *rise time* 13 seconds dan *peak overshoot* 35 seconds sedangkan MRAC-Fuzzy memiliki *rise time* 10 seconds dan *peak overshoot* 28 seconds. [16].

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah diuraikan diatas dan hasil simulasi secara *open loop*, *annealing lehr* belum bisa mencapai *setpoint* yang diharapkan dan menunjukkan adanya efek *chattering* yaitu fenomena merugikan seperti *overshoot* pada pengendali dan menimbulkan *error steady state* [17]. Oleh sebab itu, sistem *annealing lehr* membutuhkan suatu pengendali yang mampu mengendalikan temperatur supaya mampu mengikuti *setpoint* yang diberikan. Salah satu pengendali adaptif yang cocok untuk mengendalikan temperatur pada sistem *annealing lehr* adalah MRAC.

*Model Reference Adaptive Control* (MRAC) menawarkan beberapa kelebihan untuk mengatasi karakteristik *plant* non-linear seperti *annealing lehr*. Ada beberapa alasan mengapa harus memilih kontrol adaptif antara lain ialah parameter dapat bervariasi dikarenakan sistem *non-linear*, lalu dapat menyesuaikan apabila ada perubahan kondisi atau gangguan dalam proses pengontrolan serta efisiensi yang sangat baik [18]. MRAC merupakan salah satu skema adaptif dimana performansi keluaran sistem (proses) akan mengikuti performansi keluaran model referensinya [19]. Namun, berdasarkan hasil uji simulasi pra penelitian yang dilakukan pada pengendali MRAC untuk pengendalian untuk mengendalikan temperatur pada sistem

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



*annealing Lehr* belum didapatkan hasil yang maksimal. Berdasarkan hasil uji respon sistem mampu mengikuti model referensi yang sudah ditentukan tetapi memiliki kekurangan yaitu masih terdapat osilasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini pengendali *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) akan dikombinasikan dengan pengendali *fuzzy*. Pengendali *Fuzzy* berperan untuk mengatasi kekurangan pada pengendali MRAC.

Logika *fuzzy* menyediakan metode sederhana untuk mendesain sistem non-linier pengontrol berdasarkan pendekatan heuristik. Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan analisis gabungan dari pengendali *fuzzy*. Diantaranya sistem kendali gabungan MRAC-*Fuzzy* pada *drayer paper*, hasil penelitian menunjukkan bahwa gabungan MRAC-*Fuzzy* memberikan performa yang lebih baik dari MRAC saja [16]. Selain itu gabungan PID-*fuzzy* pada motor DC. Pada penelitian ini kendali utamanya adalah PID sedangkan kendali logika *fuzzy* adalah kendali yang berfungsi mengatasi kekurangan kendali utama. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa kendali *fuzzy* mampu bekerja membantu kendali utama untuk meminimalkan *overshoot/undershoot* yang terjadi dan juga meminimalkan *recovery time* [20].

Pengendali *fuzzy* berperan untuk mengatasi kelemahan pada pengendali MRAC yang masih terdapat *overshoot*. Pengendali *fuzzy* memiliki beberapa metode yang paling banyak digunakan yaitu metode sugeno dan mamdani. Metode sugeno biasanya digunakan untuk kondisi yang tidak terdapat pakar, tetapi nilai matematis pada *plant* yang dirancang diketahui, sedangkan metode mamdani kebalikan dari metode sugeno, tetapi terdapat pakar yang mempengaruhi sistem [21]. Pada penelitian ini akan menggunakan metode kendali *fuzzy* mamdani, logika *fuzzy* mamdani merupakan salah satu metode yang sangat fleksibel dan memiliki toleransi pada data yang ada. Kelebihan dari metode ini adalah terdapat peran seorang pakar dimana dengan melihat keluaran sistem dan variasi parameter, dapat dilakukan penyesuaian sistem masukan untuk mendapatkan *output* yang tepat [22]. Seorang perancang sistem kendali *fuzzy* dapat men-*tuning* parameter *fuzzy control* tersebut dengan cara *try and error* yaitu mengatur (*adjust*) *membership function* (*range e-max* dan *de-max*) serta *rules-rules* yang ada untuk mendapatkan *output* yang tepat [23].

Berdasarkan uraian diatas penulis akan melakukan penelitian tugas akhir dengan judul **Desain Pengendali MRAC-Fuzzy untuk Mengendalikan Temperatur pada Sistem Annealing Lehr**





## Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara mengatasi *overshoot* yang terjadi pada sistem *annealing Lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy.
2. Bagaimana respon sistem menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dalam mengatasi *overshoot* yang terjadi pada sistem *annealing Lehr*.
3. Bagaimana performansi pengendali MRAC-Fuzzy dalam mengendalikan temperatur pada sistem *annealing Lehr*.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang pengendali Fuzzy untuk menghilangkan osilasi pada pengendali MRAC pada pengendalian temperatur sistem *annealing Lehr*.
2. Mengetahui respon sistem pengendali MRAC-fuzzy dalam mengendalikan temperatur pada sistem *annealing Lehr*.
3. Mengetahui performansi pengendali MRAC-fuzzy dalam mengendalikan temperatur pada sistem *annealing Lehr*.

## 1.4. Batasan Penelitian

Penelitian membatasi masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Permodelan matematis sistem pengendalian temperatur pada *annealing Lehr* yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya [7].
2. Hanya membahas proses *heating* dan *cooling* pada sistem *annealing Lehr*.
3. Menggunakan metode MIT Rule pada pengendali MRAC.
4. Model referensi pengendali MRAC mengikuti respon sistem *annealing Lehr* menggunakan pengendali STR-PID pada penelitian sebelumnya [10].
5. Menggunakan metode mamdani pada pengendali fuzzy.
6. Menggunakan *rule base* 3X3 untuk sistem inferensi fuzzy dan penentuan *rule base* fuzzy menggunakan metode heuristik.

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. Menggunakan *software* MATLAB R2014a untuk melakukan simulasi.
8. Tidak membahas *hardware*.

### Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat diantaranya:

1. Menghasilkan rancangan sistem kendali yang menggunakan pengendali MRAC kombinasi *fuzzy* untuk pengendalian temperatur pada sistem *annealing lehr*.
2. Dapat dijadikan referensi dalam mengaplikasikan sistem kendali diindustri, serta dapat memberikan kemudahan dalam penyelesaian permasalahan umum yang terjadi pada proses pengendalian temperatur pada sistem *annealing lehr*.
3. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

### Hak Cipta dan 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 II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terkait

Penelitian terkait yang pertama menggunakan PID *controller* yang diterapkan untuk mengendalikan temperatur pada sistem *annealing lehr*. Sebelum kaca masuk kemesin *lehr* terlebih dahulu kaca akan dileburkan pada suhu yang sangat tinggi yaitu 1600 - 1700°C biasa disebut dengan proses *melting*, kemudian kaca akan dibentuk pada *metal bath* selanjutnya kaca yang masih sangat panas itu akan didinginkan secara bertahap di *annealing lehr*. Penelitian ini menggunakan pengendali PID dengan metode Ziegler-Nicols, hasil penelitian memiliki respon waktu naik yaitu 5 detik, waktu tunak pada detik ke-40. Tetapi masih terdapat kelemahan yaitu *overshoot* sebesar  $\pm 12\%$  dan lambat mencapai *setpoint* [7].

Penelitian selanjutnya melakukan pengujian pengendali PID dengan metode ZN *tuning*, Cohen-coon *tuning*, ITAE *tuning load poin*, ITAE *tuning setpoint* dan matlab/*simuling* PID *tuning*, kelima metode *tuning* tersebut memiliki *rise time* yang lama, memiliki *osilasi* dan *overshoot* yang besar. Metode *simuling* PID *tuning* menghasilkan respon yang paling baik daripada yang lainnya. Kelemahan pada pengendali PID penelitian tersebut ditambahkan dengan pengendali *fuzzy*, penambahan pengendali *fuzzy* mampu memberikan respon waktu yang lebih cepat dan dapat mengurangi *overshoot* dan *osilasi*. Pengendali *hybrid fuzzy*-PID mampu menghasilkan respon yang lebih baik yaitu memperoleh *rise time* 45 detik dan *settling time* 180 detik namun, terjadi *overshoot* sebesar 2.129% [15].

Penelitian selanjutnya menggunakan pengendali *Linier Quadratic Regulation* yang digunakan untuk mengendalikan temperatur pada *annealing lehr* pada proses pembuatan kaca. Desain kendali optimal LQR ini mampu menghasilkan performansi yang optimal dimana pengendalian ini bekerja dengan cara pembobotan matrik Q dan R yang dibuat kecil supaya dapat mengikuti *setpoint* yang diberikan dan hasil yang didapatkan dianalisa berdasarkan dua hal yaitu identifikasi respon dan IAE. Hasilnya menunjukkan bahwa respon sistem sudah dianggap baik karena memiliki waktu yang relatif cepat untuk mencapai *setpoint* yaitu pada

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.



detik ke- 6,4182 dan IAE juga sudah optimal dengan metode heuristik menghasilkan nilai yang terkecil yaitu sebesar 811.5. hanya saja memiliki *error steady state* lebih dari 5% [12].

Penelitian *Performance Analysis on MRAC and Fuzzy MRAC Control for Dryer in Paper Making Process* menggunakan pengendali MRAC dan *fuzzy* untuk mengendalikan *drayer* pada proses pembuatan kertas. *Drayer* merupakan sebuah pengering yang digunakan untuk mengeringkan kertas sampai dalam kondisi tertentu. Penelitian ini pertama merancang pengendali MRAC saja kemudian melakukan kombinasi MRAC-*fuzzy*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon pengendali MRAC-*Fuzzy* lebih baik daripada MRAC saja, dimana pengendali MRAC memiliki *rise time* 13 seconds dan *peak overshoot* 35 seconds sedangkan MRAC-*Fuzzy* memiliki *rise time* 10 seconds dan *peak overshoot* 28 seconds [16].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan beberapa pengendali yang telah digunakan pada pengendalian temperatur sistem *annealing Lehr*. hasil keluaran yang diperoleh dari beberapa pengendali sudah baik walaupun masih terdapat kekurangan seperti *overshoot* dan *error steady state*. Selain itu penelitian yang telah dilakukan tidak menambahkan gangguan untuk mengetahui sejauh mana performansi pengendali dalam mengendalikan temperatur sistem *annealing Lehr*. maka penulis ingin merancang sebuah pengendali yang mampu mengendalikan temperatur sistem *annealing Lehr* tanpa adanya *overshoot* dan *error stedy state* yang berarti, serta bisa menjaga performansi sistem supaya tahan terhadap gangguan. Oleh karena itu penulis mengusulkan melakukan penelitian tentang analisis identifikasi sistem pada *annealing Lehr* dengan menggunakan pengendali MRAC-*Fuzzy* untuk mengendalikan temperatur.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1 Annealing Lehr

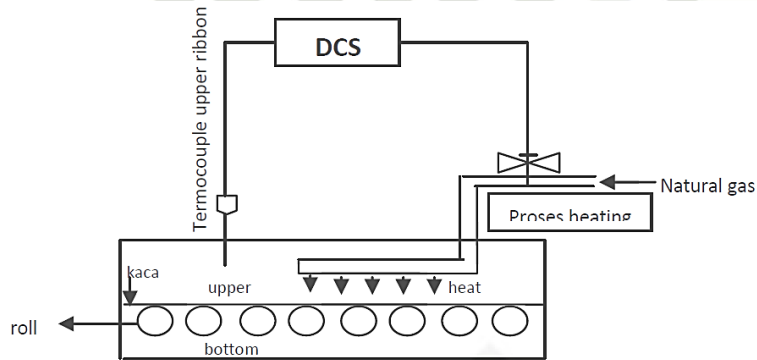
*Annealing* merupakan suatu proses memanaskan kaca hingga mencapai suhu tertentu, lalu ditingkan beberapa saat kemudian didinginkan secara perlahan menuju suhu lingkungan. Proses pendinginan kaca tersebut berlangsung secara beralahan-lahan dan ketika proses penurunan temperatur ini terhenti, kaca telah berada pada kondisi dengan energi yang sangat rendah [24]. *Lehr* merupakan tempat pengaturan temperatur untuk mendinginkan benda yang terbuat dari kaca [7], jadi *annealing Lehr* adalah tempat dimana proses penurunan temperatur



kaca berlangsung. Proses annealing merupakan metode optimasi yang berdasarkan pada proses pendinginan. Secara umum, suatu zat akan dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai titik lebur untuk mencairkannya, kemudian diturunkan suhunya secara perlahan-lahan sampai zat tersebut kembali ke bentuk padat. Proses pendinginan ini sangat menentukan hasil akhir dari zat ini. Jika proses penurunan suhu dilakukan secara signifikan dan langsung sama dengan suhu lingkungan maka akan menghasilkan zat yang rapuh karena struktur yang terbentuk tidak sempurna. Sebaliknya, jika proses penurunan suhu dilakukan secara bertahap sesuai jadwal pendinginan yang telah ditetapkan maka struktur zat ini akan tersusun dengan kuat.

2.2.2 Model Matematis Annealing Lehr

Prinsip kerja annealing lehr terlihat seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Sistem Annealing Lehr [7]

Terdapat dua macam pengendalian temperatur pada proses annealing lehr yaitu, proses heating dan cooling [7]. Annealing heating adalah penurunan temperatur yang tinggi sampai ketitik tertentu, sedangkan annealing cooling menurunkan temperatur secara perlahan hingga sama dengan temperatur lingkungan.

Permodelan sistem annealing lehr dapat dilakukan dengan melihat dari plant proses untuk menentukan parameter serta kinerja pada sistem annealing lehr. Permodelan yang telah didapat nantinya akan disimulasikan pada software Matlab. Permodelan sistem annealing lehr dibuat dengan model matematis setiap blok diagram. Adapun blok yang akan dimodelkan adalah control valve, gas burner dan room lehr.

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.



Control valve adalah komponen pada sistem *annealing lehr* yang mengatur laju aliran menuju ruang *lehr*. Permodelan *control valve* adalah sebagai berikut:

$$K_T \frac{1}{1 + T1s} \tag{2.1}$$

Dimana

$K_T$  = gain control valve  
 $T1s$  = time constan control valve

$T1s$  merupakan konstanta waktu dari *control valve* berdasarkan penelitian sebelumnya nilai  $T1s = 12.24s$  [7].

Nilai  $K_T$  diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$K_{cv} = \frac{\text{lajualiranmaksimal}}{\text{perubahantekananmaksimal}} \tag{2.2}$$

Gain *tranducer* (I/P) diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$G_T = \frac{\text{spanoutput}(Kg / m2)}{\text{spaninput}(mA)} \tag{2.3}$$

Maka gain total dari *control valve* diperoleh dengan persamaan berikut:

$$K_T = K_{cv} G_T \tag{2.4}$$

Kemudian membuat model matematis dari gas *burner* disimbolkan dengan konstanta  $K$ , gas *burner* merupakan bahan yang terbakar untuk mensuplai panas pada ruang *lehr*. gas *burner* disuntikkan setelah bercampur dengan udara supaya menghasilkan pembakaran yang sempurna. Nilai konstanta gas *burner* adalah  $K_1 = 4000 \text{ kcal/h}$  atau  $11.1111 \text{ kcal/s}$ ,  $46488 \text{ W}$  [7].

Permodelan Selanjutnya adalah *room lehr*, diasumsikan bahwa ruang *lehr* diisolasi artinya tidak ada udara didalamnya dan tidak ada pula udara yang masuk dan kaca pada ruang

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.



lehr pada temperatur seragam. Anggap gas burner sebagai pemasok panas sistem *annealing* masuk secara tiba-tiba, dinyatakan bahwa gas burner berubah dari  $H$  (menyatakan senyawa kimia hidrokarbon dari gas burner) menjadi  $H + h_i$  dimana  $h_i$  menyatakan perubahan kecil laju panas masuk. Laju aliran panas keluar kemudian diubah dari  $H$  menjadi  $H + h_o$ . Temperatur kaca pada aliran keluar juga kan berubah dari  $\theta_0$  menjadi  $\theta_0 + \theta$ . Dalam hal ini besarnya perubahan laju panas keluar  $h_o$ , kapasitasansi termal ( $C$ ) dan tahanan termal ( $R$ ) (hambatan panas) berturut-turut adalah sebagai berikut:

$$h_o = Gc\theta \tag{2.5}$$

$$C = mc \quad > \text{rumus kalor} \tag{2.6}$$

$$R = \frac{\theta}{h_o} = \frac{1}{Gc} \tag{2.7}$$

Dimana:

$Gc$  = Gas Chromatography (klasifikasi gas berdasarkan fasa gerak)

$C$  = kapasitasansi termal

$m$  = massa

$c$  = kalor jenis

$h$  = menjelaskan sebagai fluida panas atau dingin

$h_o$  = menjelaskan aliran masuk dan keluar

$R$  = Hambatan termal

Persamaan differensial untuk sistem ini adalah:

$$C \frac{d\theta}{dt} = h_i - h_o \tag{2.8}$$

Dengan mensubtitusikan persamaan  $h_o$ ,  $C$ ,  $R$  ke dalam persamaan differensial sistem diperoleh sebagai berikut:

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = R h_i \tag{2.9}$$

Dengan menggunakan transformasi *laplace* didapatkan sebagai berikut:

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.

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.

© 2019 UIN Suska Riau  
 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.

$$RCs\theta(s) + \theta(s) = RHi(s) \tag{2.10}$$

$RHi(s)$  = turunan pertama dari  $Rhi(s)$  melalui transformasi *laplace*

Sehingga fungsi alih yang menghubungkan  $\Theta(s)$  dan  $Hi(s)$  adalah:

$$\frac{\theta(s)}{H(s)} = \frac{R}{RCs + 1} \tag{2.11}$$

Kemudian untuk mendapatkan nilai resistansi dinding *lehr* ( $R_T$ ) didapatkan dari dinamika panas ruang *lehr*, terlihat seperti gambar 2.3. Resistansi dinding ( $R_T$ ) diperoleh dari hasil bagi antara ketebalan dinding ( $d$ ) dan konduktifitas termal ( $k$ ).

$$R_T = \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} \tag{2.12}$$

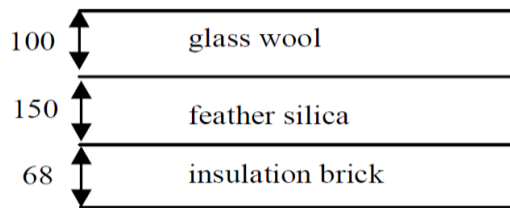
Dimana:

$R_T$  = resistansi dinding *lehr*

$k$  = koefisien konduktifitas termal

$d$  = ketebalan dinding *lehr*

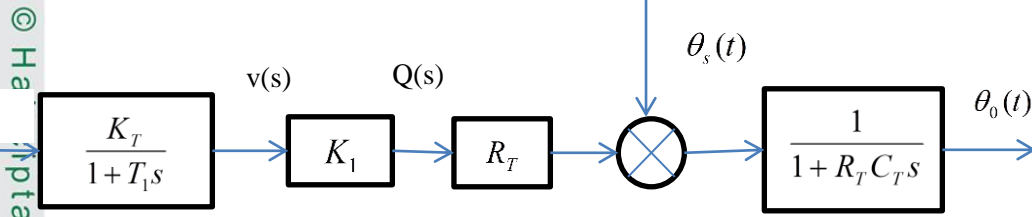
Untuk ketebalan dinding *lehr* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 *Insulation* pada Dinding *Lehr* [7]

Setelah mendapatkan model matematis setiap variabel maka dapat dibuat blok diagramnya. Dari blok diagram yang telah dibuat, akan diperoleh fungsi alih *open loop* sistem dengan asumsi temperatur dari lingkungan  $\Theta_s(t) = 0$  (tidak berpengaruh).





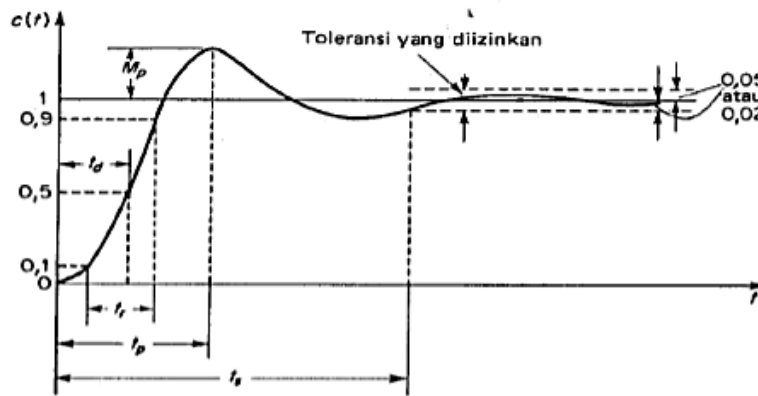
Gambar 2.3 Blok Diagram *Annealing Lehr* [12]

Sehingga menghasilkan persamaan untuk sistem *annealing lehr* sebagai berikut:

$$\frac{\theta_0(t)}{U(s)} = \frac{K_T K_1 R_T}{(1 + T_1 s)(1 + R_T C_T s)} \tag{2.13}$$

### 2.3. Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem yang mengacu pada *respons transient* sistem dalam kondisi *open loop*. Metode ini didasarkan pada pengamatan grafis dari langkah input untuk mengidentifikasi sistem. Sistem yang digunakan pada pengendalian temperatur *annealing lehr* merupakan sistem orde 2 seperti yang terlihat pada gambar berikut [25]:



Gambar 2.4 Respon Sistem Orde Dua [26]

Respon transien adalah respon sistem yang diamati dari saat/ mulai terjadinya perubahan sinyal *input* / gangguan / beban sampai pada respon suatu sistem masuk dalam keadaan *steady state*. Tolak ukur yang digunakan untuk menggolongkan karakteristik tanggapan transien pada suatu sistem kendali secara umum dikelompokkan sebagai berikut ini [27]:

Hak Cipta dilindungi Undang-undang  
 © Ha  
 pta milik  
 SAIN  
 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.



1. Waktu Tunda (*delay time*)

Waktu tunda adalah waktu yang menyatakan keterlambatan respon *output* terhadap *input* diukur dari  $t=0$  sampai respon mencapai 50%.

2. Waktu Naik (*rise time*)

Waktu naik adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik mulai dari 10% sampai 90%, 5% sampai 95% atau 0% sampai 100%

3. Waktu Puncak

Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan respon mulai  $t=0$  hingga mencapai puncak pertama kali.

4. *Overshoot* Maksimum ( $M_p$ )

*Overshoot* maksimum adalah nilai relatif yang menyatakan perbandingan harga/nilai maksimum respon suatu sistem yang melampaui harga *steady state*. Jika nilai akhir keadaan tunak tanggapannya jauh dari satu, digunakan persen *overshoot* maksimum yang didefinisikan sebagai berikut :

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} 100\% \quad (2.14)$$

5. Waktu Tunak (*settling time*)

*Settling time* adalah indikator waktu yang menyatakan respon suatu sistem telah masuk 5% atau 2% atau 0,5% dari respon *steady state*.

Dalam perancangan sistem kontrol, karakteristik kinerja yang diinginkan oleh sistem tersebut harus dispesifikasikan dalam bentuk domain waktu. Pada umumnya, spesifikasi ini diberikan untuk tanggapan fungsi unit-step yang dianggap bisa mewakili kinerja sistem secara keseluruhan. Ada nilai rasio redaman ( $\zeta$ ) yang bervariasi dengan kasus-kasus yang berbeda,

yaitu :

- Untuk nilai  $\zeta : 0 < \zeta < 1$ , tanggapan sistem yang dihasilkan disebut tanggapan redaman kurang (*underdamped*).
- Untuk nilai  $\zeta = 1$ , tanggapan sistem yang dihasilkan disebut tanggapan redaman kritis (*criticallydamped*).

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.



- c. Untuk nilai  $\zeta > 1$ , tanggapan sistem yang dihasilkan disebut tanggapan redaman lebih (*overdamped*).

## 2. Sistem Kendali

Sistem kendali merupakan proses pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (parameter), sehingga berada pada suatu kondisi tertentu yang akan menjadi acuan. Parameter yang menjadi mempengaruhi kerja sistem kendali diantaranya pengukuran, perbandingan, perhitungan dan perbaikan [28]. Secara umum, sistem kendali dapat dilihat sebagai hubungan antara berbagai komponen: kelistrikan, mekanis, hidrolis, sosial, biologis dan parameter. tujuannya adalah untuk mendapatkan fungsi yang dibutuhkan secara efisien dan akurat. Karena kemajuan dalam teori dan penerapan kontrol otomatis memberikan kinerja terbaik untuk sistem dinamis, meningkatkan produktivitas, dan menyederhanakan operasi manual yang sering diulang, banyak ilmuwan saat ini mempunyai pengetahuan yang baik terkait kontrol otomatis. [29]. Istilah dasar sistem kendali sebagai berikut:

1. Variabel terkendali dan variabel termanipulasi. Variabel terkendali merupakan variabel yang dibuat sama disetiap media percobaan dan dikendalikan. Variabel terkontrol merupakan variable yang dapat mempengaruhi dan dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara kejadian yang diamati.
2. *Plant* didefinisikan sebagai bagian dari sebuah instrumen berupa kumpulan beberapa komponen mesin yang saling bekerja sama untuk menghasilkan fungsi tertentu.
3. Proses adalah prosedur dan mekanisme yang dikendalikan. Sama seperti *plant*. Pengendalian sistem pemisahan cairan kimia, distilasi merupakan contoh sistem kontrol yang bekerja dalam suatu proses.
4. Sistem adalah kumpulan dari beberapa komponen yang berkolaborasi dan saling berhubungan untuk mencapai tujuan tertentu.
5. Gangguan (*distrubance*) merupakan kondisi atau keadaan yang berada disekitar sistem yang dapat mengurangi atau mempengaruhi performa dari suatu sistem. gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri disebut *internal disturbance* sedangkan, gangguan yang berasal dari luar disebut *eksternal disturbance* dapat berupa perubahan iklim dan perilaku lingkungan sekitar sistem.

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.

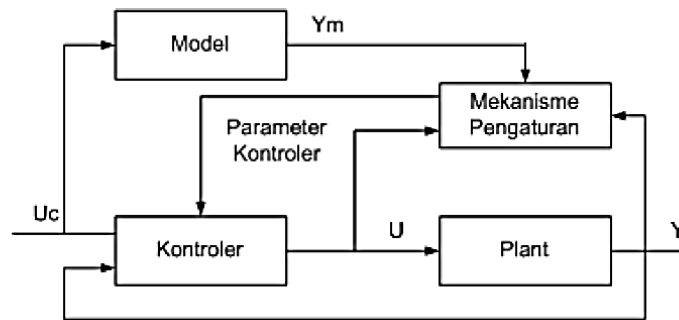
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



6. Kendali umpan balik, gangguan pada sistem membuat perbedaan antara output dan input referensi tidak dapat atau sulit diprediksi, akibatnya tujuan pengendalian suatu sistem tidak tercapai. Oleh karena itu, umpan balik *output* perlu dibandingkan dengan *input* referensi agar perbedaannya dapat dikontrol dan diminimalkan secara otomatis [29].

### 2.4.1 Model Reference Adaptive Controller (MRAC)

MRAC merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performansi *output* sistem mengikuti performansi model referensinya dan parameter pengendaliannya dapat diatur melalui mekanisme pengaturan berdasarkan pada *error* yang merupakan selisih antara nilai keluaran *plant* dengan keluaran model referensinya [30]. Pengendali adaptif mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungannya untuk dapat menjaga kestabilan sistem. Adapun skema MRAC dapat dilihat seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Skema pengendali MRAC [31]

Dari gambar diatas dapat dilihat MRAC memiliki dua komponen *loop*, yang pertama merupakan *loop* umpan balik, sedangkan yang kedua merupakan *loop* yang digunakan untuk pengaturan parameter pengendalian dimana dapat dilakukan *update* parameter kendali dan *plant* didasarkan pada sinyal *error*. Hal ini dilakukan supaya output sistem (*y*) sesuai dengan output modelnya (*ym*). Metode *MIT Rule* dapat digunakan untuk menyelesaikan mekanisme pengaturan parameter pada MRAC [30].

### 2.4.2 MIT Rule [31]

*Mit rule* merupakan salah satu metode pengaturan parameter pada pengendali MRAC. Persamaan matematis yang sederhana dan tidak terlalu rumit menjadi alasan metode ini

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.



dipakai pada penelitian ini. Misal *transfer function* dari *plant* adalah  $k * G(s)$  dimana  $G(s)$  diketahui dan  $k$  tidak diketahui (*unknown*) dan model referensinya memiliki *transfer function*  $C = k_0 * G(s)$ , dimana  $k_0$  adalah nilai konstanta. Selanjutnya pengendali *feedforward* diberikan sebagai berikut:

$$u = \theta U_c \tag{2.15}$$

Dimana  $u$  adalah sinyal pengendali dan  $U_c$  adalah sinyal perintah (*command signal*).

Mekanisme adaptif pada penelitian ini dilakukan menggunakan aturan *MIT Rule* dengan membuat sebuah *loss function* yang mendefinisikan fungsi *error* terhadap  $\theta$ . Pengaturan parameter dilakukan dengan meminimalkan fungsi kerugian (*the loss function*  $J(\theta)$ ).

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \tag{2.16}$$

Agar  $J$  kecil dilakukan perubahan parameter pada gradient negatif dari  $J$ :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \tag{2.17}$$

Persamaan diatas disebut dengan 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.

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

$$e = y - y_m = kGU - K_0GU_c = kG\theta U_c - k_0GU_c \tag{2.18}$$

Dengan menurunkan *error* terhadap  $\theta$ , maka didapatkan :

2. Dilarang mengemukakan 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 dimiliki 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.

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = kGU_c = k \frac{y_m}{k_0} = \frac{k}{k_0} y_m \tag{2.19}$$

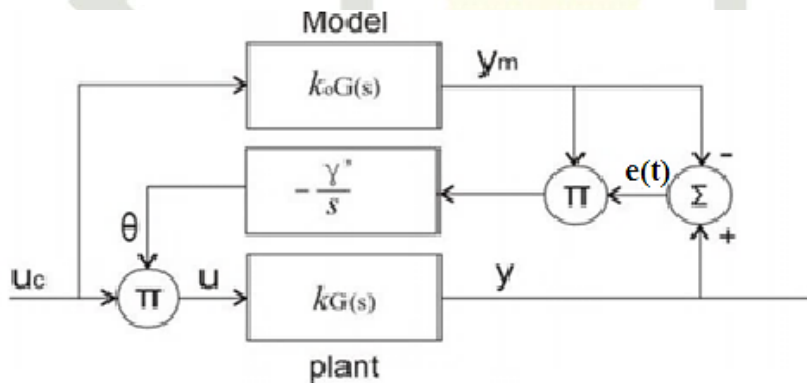
Terakhir, MIT Rule diterapkan untuk melakukan update  $\theta$  sebagai berikut:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{k}{k_0} y_m = -\gamma y_m e \tag{2.20}$$

Nilai  $\theta$  diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$\theta = \int (-\gamma y_m e) dt \tag{2.21}$$

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



Gambar 2.6 Skema MRAC dengan Metode MIT Rule Satu Gain [31]

Pada penelitian ini merupakan sistem orde dua oleh karena itu, menggunakan karakteristik orde dua untuk membuat model referensinya, adapun persamaan yang digunakan untuk mencari model referensi adalah sebagai berikut [29]:

$$y_m(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{2.22}$$



Besarnya nilai  $\zeta$  dapat mempengaruhi respon model referensi. Nilai  $\zeta < 1$  respon akan *Underdamp*,  $\zeta = 1$  respon akan *Criticaldamp* dan  $\zeta > 1$  maka respon akan *Overdamp*.

Pada pembuatan model referensi nilai  $t_s$  dapat ditentukan sendiri pada waktu berapa respon model mencapai daerah stabil. Daerah stabil didasarkan dari daerah stabil 2% dan 5%.

Nilai  $t_s$  nantinya akan disubstitusikan kedalam satu persamaan daerah stabil untuk mendapatkan nilai  $\omega_n$ .

Daerah 2% mengikuti persamaan:

$$t_s = \frac{4}{\omega_n \zeta} \tag{2.23}$$

Daerah 5% mengikuti persamaan :

$$t_s = \frac{3}{\omega_n \zeta} \tag{2.24}$$

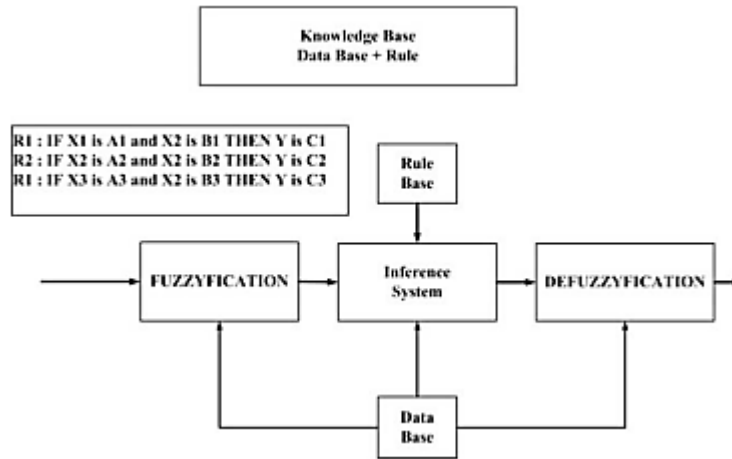
### 2.4.3 Logika Fuzzy

Logika atau disebut juga dengan dasar pemikiran. Logika klasik pada umumnya berkaitan dengan proposisi yang mempunyai dua kemungkinan yaitu bisa berlogika 1 (benar) atau berlogika 0. Proposisi adalah kalimat yang dinyatakan dalam suatu bahasa dan dapat diekspresikan [32]. Logika fuzzy adalah sebuah dasar pemikiran yang tidak begitu jelas atau samar. Fuzzy digunakan untuk membedakan satu himpunan dengan himpunan lainnya yang berdasarkan dengan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas. Teori himpunan ini merupakan pengembangan dari teori himpunan tegas yang terinspirasi dari cara manusia mempersepsikan suatu nilai yang tidak jelas. Dalam proses untuk membangun sebuah sistem Fuzzy maka sebuah sistem Fuzzy memiliki bagian-bagian yaitu fuzzifikasi, mesin *interface*, *Rule base Fuzzy*, dan defuzzifikasi.



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 Tahap perancangan sistem *Fuzzy* [33]

Sistem logika *fuzzy* terbagi menjadi dua yaitu logika *fuzzy* secara umum (bagian kiri) dan secara spesifik (bagian kanan) terlihat pada gambar 2.8 diatas. Dapat disimpulkan bahwa *inference fuzzy* adalah metode yang menginterpretasi nilai pada vektor input berdasarkan beberapa kumpulan *rules*, dan menetapkan nilai pada vektor *output* [33].

**2.4.3.1. Fuzzifikasi**

Fuzzifikasi yaitu suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi *Fuzzy* (variabel linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan *Fuzzy* dengan suatu fungsi kenggotaannya masing-masing. Fuzzifikasi merupakan pemetaan dari ruang input ke himpunan *Fuzzy* yang didefinisikan pada semesta pembicaraan variabel input [32]. Berikut himpunan *Fuzzy* yang sering digunakan pada proses fuzzifikasi sebagai berikut:

Representasi Linear naik, Pada himpunan ini kenaikan himpunan *Fuzzy* dimulai nilai domain pada derajat keanggotaan terendah atau 0 bergerak naik ke kanan menuju ke nilai derajat keanggotaan yang lebih tinggi [34].

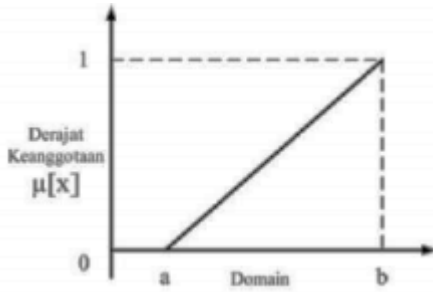
$$f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (2.25)$$





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.

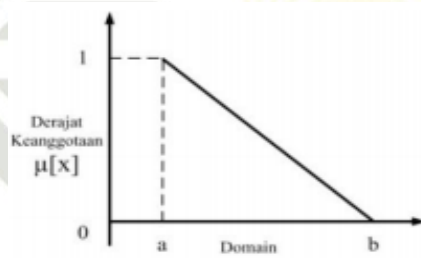


Gambar 2.8 Representasi Linear Naik [33]

2.4.3.1. Fungsi Keanggotaan

1. Representasi Linear Turun, pada himpunan ini dimulai dari nilai domain derajat keanggotaan yang tinggi dari kiri turun secara garis lurus menurun ke nilai domain derajat keanggotaan yang lebih rendah [34].

$$u_f(x) = \begin{cases} \frac{(b-x)}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (2.26)$$



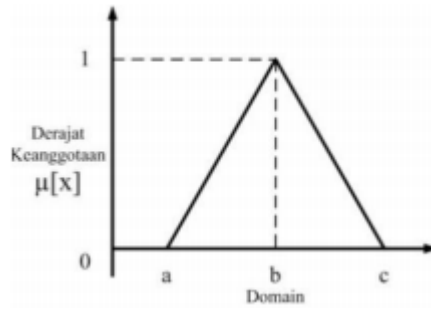
Gambar 2.9 Representasi Linear Turun [33]

2. Representasi Segitiga, Representasi segitiga adalah penggabungan antara dua garis linear [34], kurva segitiga dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$u_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{for } x > c \end{cases} \quad (2.27)$$

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

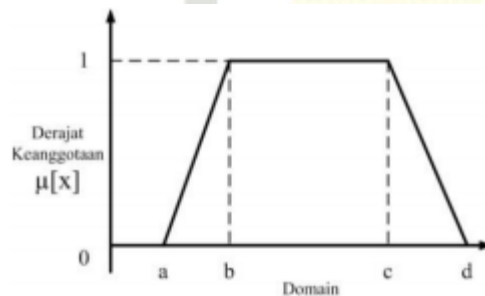
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 2.10 Representasi Segitiga [33]

3. Representasi Trapesium, Hampir sama dengan kurva segitiga tapi yang membedakan di beberapa titik nilai keanggotaannya 1 [34].

$$\mu_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ 1, & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{for } c < x \leq d \\ 0, & \text{for } x > d \end{cases} \quad (2.28)$$



Gambar 2.11 Representasi Trapesium [33]

**2.4.3.1. Aturan Fuzzy**

Aturan kendali *Fuzzy* dinyatakan dengan kumpulan aturan *if-then* yang mana anteseden dan konsekuennya berupa variabel linguistik. Kumpulan aturan kendali *Fuzzy* tersebut merupakan relasi *input-output* dari sebuah sistem [32]. Berikut ini adalah empat metode dalam mendapatkan *rule base* sistem *fuzzy*:

1. Berdasarkan pengalaman para pakar dan pengetahuan kendali dari *engineer*, maksudnya berdasarkan pengoperasian manual dan metode kusioner.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

2. Berdasarkan aksi operator kendali, metode ini dilakukan berdasarkan pengamatan manusia dalam pengendalian untuk menentukan input dan *output*-nya.
3. Berdasarkan model *Fuzzy* dari sebuah sistem, maksudnya gambaran lingustik karakter yang dinamis dari suatu proses.
4. Berdasarkan pembelajaran, metode ini merujuk pada kemampuan untuk memodifikasi aturan *Fuzzy* seperti *self-organizing*

**2.4.3.1. Sistem Inferensi Mamdani**

Sistem inferensi *Fuzzy* (*Fuzzy Inference System / FIS*), yaitu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan *Fuzzy*, aturan *Fuzzy* berbentuk *if-then*, dan penalaran *Fuzzy*. Adapun langkah untuk membangun *Fuzzy* Mamdani adalah sebagai berikut:

1. Tentukan derajat kesepadanan antara himpunan *Fuzzy* dan data masukan *Fuzzy* untuk setiap variabel *input* dari setiap aturan *Fuzzy*, Hal ini sering dilakukan dengan menggunakan derajat kemiripan [35].
2. Hitung penyulutan untuk semua aturan yang dibuat mengacu pada derajat sepadaman yang telah dibuat dan penghubung (fungsi logika seperti *AND*, *OR*, dll) yang digunakan oleh variabel *input* dalam bagian premis dari aturan .
3. Lakukan implikasi *fuzzy* berdasarkan kuat penyulutan dan himpuna *Fuzzy* yang telah terdefinisi untuk semua variabel input di bagian konsenkuensi dari setiap aturan. Hasil dari ini kemudian digabungkan untuk menghasilkan *output* inferensi.

Ada tiga metode yang digunakan untuk inteferensi sistem *Fuzzy*, yaitu:

3.1. Metode *Max (Maximum)*

Metode *Max* solusi himpunan *Fuzzy* didapatkan dengan cara nilai tertinggi dari aturan *fuzzy*, kemudian nilai tertinggi tersebut digunakan kembali untuk memodifikasi daerah *Fuzzy*, dan dilakukan aplikasi menggunakan operator *OR* ke *output* sistem, maka *output* akan berisi suatu himpunan *Fuzzy* yang merefleksikan kontribusi setiap posisi [34].

$$u_{sf}(x) \leftarrow \max(u_{sf}(x), u_{sk}(x))$$



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.

Metode *Additive (Sum)*

Pada metode *sum* untuk mendapatkan himpunan *Fuzzy* dengan melakukan *boundedsum* kesemua daerah *Fuzzy*[34].

$$u_{sf}(x) \leftarrow \max(1, u_{sf}(x), u_{sf}(x))$$

Metode *Probalistik OR (Probor)*

Metode *Probor* untuk mendapatkan nilai himpunan *Fuzzy* dengan melakukan *product* kesemua daerah *Fuzzy* [34].

$$u_{sf}(x) \leftarrow [u_{sf}(x) + u_{kf}(x)] - [u_{sf}(x)u_{kf}(x)]$$

### 2.4.3.2. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai *crisp* (tegas) dari himpunan *Fuzzy*, defuzzifikasi merupakan penggambaran dari daerah aksi kendali *Fuzzy* untuk meartikan semesta pembicaraan ke daerah *nonfuzzy* [32]. Adapun metode untuk defuzzifikasi pada *Fuzzy* mamdani adalah sebagi berikut:

1. Metode *Centroid*

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode *centroid* dengan cara mengambil nilai pusat dari daerah *Fuzzy*

$$z = \frac{\int z u(z) dz}{\int u(z) dz} \tag{2.29}$$

2. Metode *Bisector*

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode *bisector* dengan cara mengambil nilai pada domain *Fuzzy* yang mempunyai nilai keanggotaan setengah dari jumlah keseluruhan nilai keanggotaan di daerah *Fuzzy*.

$$z = \int_p^{Rn} u(z) dz \tag{2.30}$$

3. Metode *Min of Maximum (MOM)*

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode *MOM* dengan cara mengambil nilai rata-rata dari domain yang memiliki nilai keanggotaan *maximal*.



$$z = \sum_{j=l}^m \frac{z_j}{m} \tag{2.31}$$

4. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

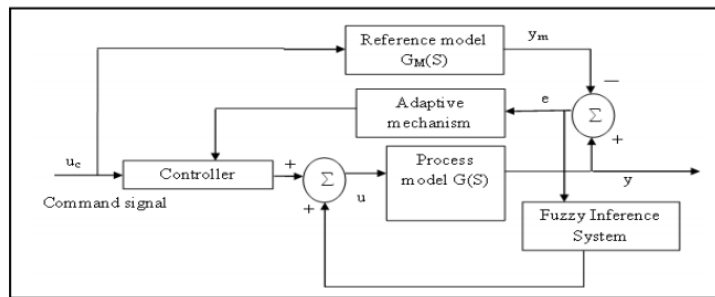
Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode SOM dengan cara mengambil nilai rata-rata terendah dari domain yang memiliki nilai keanggotaan *maximal*.

5. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode LOM dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan *maximal*.

2.4.4 Pengendali MRAC-Fuzzy

Blok diagram dari sistem *Fuzzy Modified MRAC* seperti pada gambar 2.12 yang akan dirancang pada tugas akhir kali ini. Sistem ini memiliki *loop* tambahan yang mengumpan balik *error output plant* dan model melalui *fuzzy inference system*. Keluaran *fuzzy inference system* ditambahkan ke sinyal kontrol agar waktu konvergensi output *plant* dan model menjadi lebih cepat.



Gambar 2.12 Blok Diagram *Fuzzy Modified MRAC* [36]

2.4.5 Interpolasi Linier

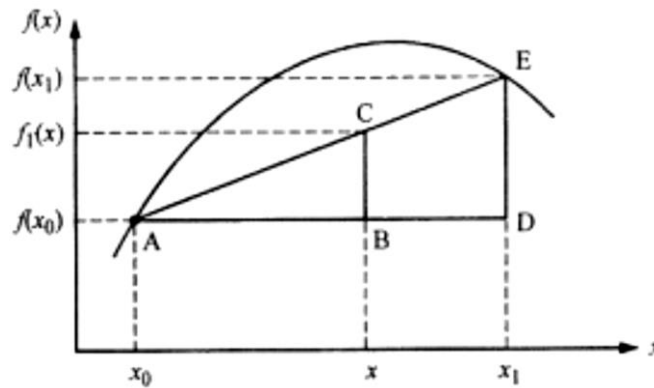
Interpolasi adalah cara yang digunakan untuk menentukan nilai yang berada diantara dua nilai yang diketahui menggunakan suatu fungsi pendekatan tertentu. Interpolasi linier adalah bentuk paling sederhana dari interpolasi, interpolasi linear adalah interpolasi yang menghubungkan dua garis lurus [37].

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

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 2.13 Interpolasi Linier [37]

Dari dua segitiga tersebut dihubungkan seperti persamaan berikut:

$$\frac{BC}{AB} = \frac{DE}{AD} \tag{2.32}$$

$$\frac{f_1(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$$

$$f_1(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Persamaan (2.42) merupakan rumus untuk mendapatkan interpolasi linier [  $f(x_1) - f(x_0) ] / x_1 - x_0$  adalah kemiringan garis yang menghubungkan dua titik data dan perkiraan beda hingga turunan pertama. Semakin kecil interval antara titik data, hasil perkiraan akan semakin bagus [37].

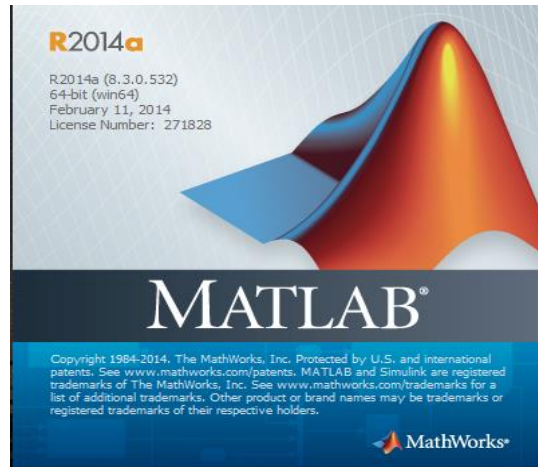
**2.4.6 MATLAB**

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks [28]. Program ini dapat digunakan untuk meningkatkan kecepatan dan keakuratan dalam berbagai perhitungan aljabar linier, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk bekerja lebih efisien dan hasil yang diperoleh lebih akurat. [28].



#### 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 2.14 Ikon Matlab

Matlab merupakan *software* yang termasuk dalam kategori bahasa pemrograman tingkat tinggi. Matlab dikembangkan sebagai bahasa pemrograman dan alat visualisasi yang menyediakan banyak fungsi untuk menyelesaikan berbagai situasi yang berkaitan dengan matematika, seperti teknik, fisika, statistik, perhitungan, dan pemodelan. Matlab dapat melakukan analisis data, mengembangkan algoritma, serta membuat model dan aplikasi. Pada dasarnya matlab telah banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti pembentukan algoritma matematika dan komputasi, pemodelan akuisisi data, simulasi dan analisis prototipe eksplorasi data, dan pembuatan visualisasi grafis ilmiah dan teknologi, termasuk pembuatan sistem antarmuka dengan perangkat lain. [38].

Terdapat beberapa fungsi penting yang digunakan pada Matlab untuk menjalankan program, yaitu:

1. *Command window* berfungsi untuk menulis fungsi yang diinginkan.
2. *Current directory* berfungsi untuk menampilkan isi dari *directory* kerja saat menggunakan Matlab.
3. *Command history* berfungsi mengakses riwayat yang telah dikerjakan.
4. *Workspace* berfungsi untuk membuat variabel tertentu pada Matlab.

Pada penelitian ini dilakukan pemrograman *modeling* dan simulasi untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Fitur pada Matlab yang digunakan untuk simulasi ini adalah *Simulink*.



*Simulink* adalah bagian dari fungsi yang tertanam dalam perangkat lunak Matlab. *Simulink* digunakan untuk pemodelan simulasi dan analisis dinamika sistem melalui diagram blok dan grafik. *Simulink* dapat digunakan untuk mengamati dan menganalisis perilaku sistem imitasi yang dimodelkan. Peniruan sistem semirip mungkin dengan sistem yang sebenarnya. Jika digunakan dengan tepat, simulasi akan membantu proses analisis dan perancangan sistem [38].

*Simulink* juga dapat menampilkan kinerja sistem dari dua atau tiga dimensi. Dalam desainnya, pengguna dapat dengan mudah membuat blok dan menyusunnya dengan cara yang sesuai dengan model matematis dari sistem atau *plant* yang akan dikontrol.

**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





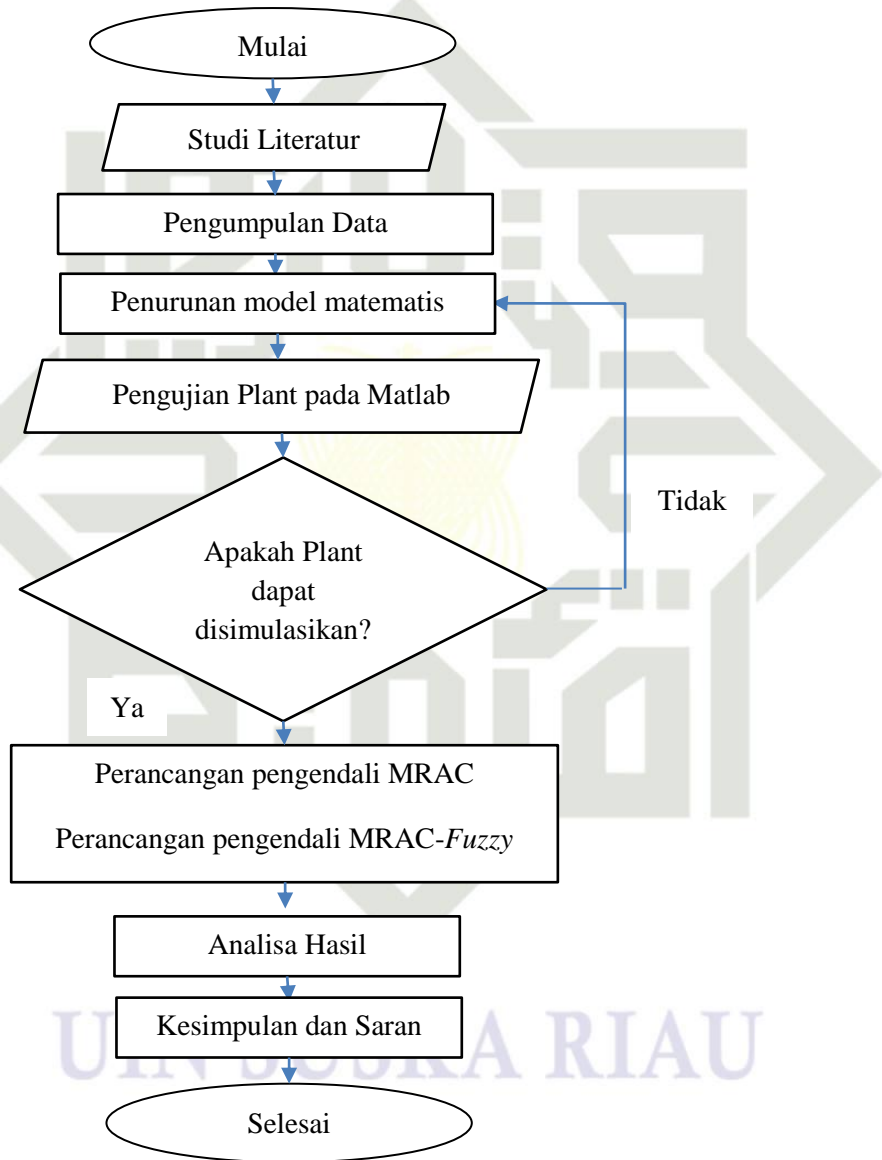
Hak Cipta Ditindungi Undang-Undang

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 METODE PENELITIAN

#### 3.1. Flow Cart Metode Penelitian

Penelitian tugas akhir ini meliputi beberapa tahap yang akan dilakukan peneliti pada pengendalian menggunakan metode *hybrid* MRAC dan *Fuzzy* yang dilakukan menggunakan simulasi Matlab. Adapun tahap perencanaan penelitian ini terlihat seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian



### Tahapan Penelitian

Berdasarkan *flow chart* diatas, dimulai dari memulai dengan mengumpulkan studi literatur dan diakhiri dengan analisa dan kesimpulan, atau dapat dijelaskan sebagai berikut:

Studi literatur

Mencari dan mempelajari referensi dari berbagai sumber terkait topik pembahasan. Meliputi media cetak dan digital yang terpercaya dan relevan dengan topik *annealing lehr* dan pengendalian MRAC-*Fuzzy*.

Pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang terkait dengan penelitian sebelum membuat desain yang diperlukan untuk tahap selanjutnya. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah untuk menentukan nilai nilai parameter sebagai acuan penelitian, sehingga tidak menyimpang dari nilai yang diteliti oleh jurnal atau makalah yang ada.

#### 3. Perencanaan pemodelan sistem *annealing lehr* pada matlab

Perencanaan dilakukan pada aplikasi matlab berdasarkan referensi yang sesuai digunakan pada tugas akhir.

#### 4. Menguji *plant annealing lehr*

Sebelum merancang kontroler, perlu digunakan respon *plant* untuk menguji model yang telah diperoleh. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pemodelan sesuai referensi dan apakah formulasi yang digunakan sudah sesuai untuk sistem kendali yang akan dibuat.

Pemilihan pengendali

Sebelum mendesain pengendali terlebih dahulu model yang telah didapatkan diuji apakah sudah sesuai dengan referensi dan formulasi sesuai dengan sistem kendali yang akan dibuat.

Perancangan pengendali

Perancangan pengendali dimulai dengan merencanakan pengendali *Model Reference Adapatif Control* (MRAC), kemudian merancang pengendali *Fuzzy* Lalu melakukan kombinasi pengendali MRAC dan *Fuzzy*.

### 3.2 Tahap 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.



7. Mensimulasikan pengendali yang telah dirancang untuk mengetahui performansi dari pengendali dalam mengendalikan sistem *annealing lehr*.

Analisa hasil

Melakukan analisa dengan cara melihat respon keluaran sistem meliputi *rise time*, *settling time* dan *error steady state* dari perancangan pengendali yang telah dibuat. Apabila respon sistem sudah sesuai dengan tujuan yang diharapkan artinya penelitian ini berhasil dan jika respon sistem belum sesuai dengan tujuan maka akan dikaji lebih lanjut.

Kesimpulan dan saran

Kesimpulan diberikan setelah dilakukan analisa hasil penelitian dan sudah sesuai dengan tujuan penelitian. Saran juga ditambahkan berisi sebuah pesan yang disampaikan kepada para pembaca.

7. © Hak cipta milik UIN Suska Riau

### 3.3. Pemodelan Annealing Lehr

Pada permodelan sistem annealing lehr adapun parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter pada Annealing Lehr [7].

No	Parameter Sistem Annealing Lehr	Nilai
1	Gain control valve ( $K_{cv}$ )	$3.333 \times 10^{-9} m^5 / (kgs)$
2	Gain transducer ( $G_T$ )	$6250000 kg / (m^2 A)$
3	Konstanta waktu control valve ( $T_1$ )	12.24 s
4	Ketebalan dinding glass wool ( $d_1$ )	100 m
5	Ketebalan dinding feather silica ( $d_2$ )	150 m
6	Ketebalan dinding insulated brick ( $d_3$ )	68 m
7	Konduktifitas termal glass wool ( $k_1$ )	$0.11619 W/m^{\circ}C$
8	Konduktifitas termal feather silica ( $k_2$ )	$0.08135 W/m^{\circ}C$
9	Konduktifitas termal insulated brick ( $k_3$ )	$0.16270 W/m^{\circ}C$

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.



10	Konstanta gas burner ( $K_1$ )	46488 W
11	Kapasitansi termal udara ( $C_T$ )	$80_s J / K$

Berdasarkan persamaan 2.13 setelah dimasukkan nilai parameter sistem *annealing lehr* pada table 3.1 ke dalam persamaan sistem *annealing lehr*, maka didapatkan fungsi alih sistem *annealing lehr* sebagai berikut:

$$\frac{\theta_o(s)}{U(s)} = \frac{K_T K_1 R_T}{(1 + T_1 s)(1 + R_T C_T s)}$$

Menggunakan persamaan 2.4 diperoleh nilai  $K_T$  :

$$\begin{aligned} K_T &= K_{cv} G_T \\ &= (3.333 \times 10^{-9} m^5 / kgs)(6250000 kg / (m^2 A)) = 0.028 m^3 kg / sA \\ &= 0.028 m^3 kg / sA \end{aligned} \tag{3.1}$$

Sedangkan  $R_T$  diperoleh menggunakan persamaan 2.12 :

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{d_1}{K_1} + \frac{d_2}{K_2} + \frac{d_3}{K_3} \\ &= \frac{100m}{0.11619 W / m^{\circ}C} + \frac{150}{0.08135 W / m^{\circ}C} + \frac{68}{0.16270 W / m^{\circ}C} \\ &= 3.1224 W / m^{\circ}C \end{aligned} \tag{3.2}$$

Maka diperoleh fungsi alih sistem *annealing lehr* sebagai berikut:

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{0.028 m^3 kg / sA \times 46488.8 W \times 3.1224 m / W^{\circ}C}{(1 + 12.245s)(1 + 3.1224 m / W^{\circ}C \times 80 J / K)} \tag{3.3}$$

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{3019.257}{3057.245s + 262.032s + 1} \tag{3.4}$$

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:

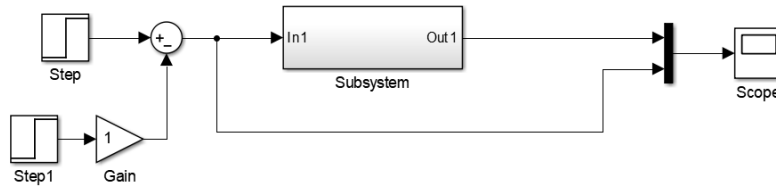
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

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

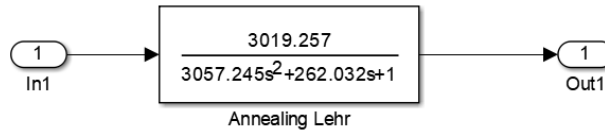


### 3.4. Pengujian *Plant Sistem Annealing Lehr*

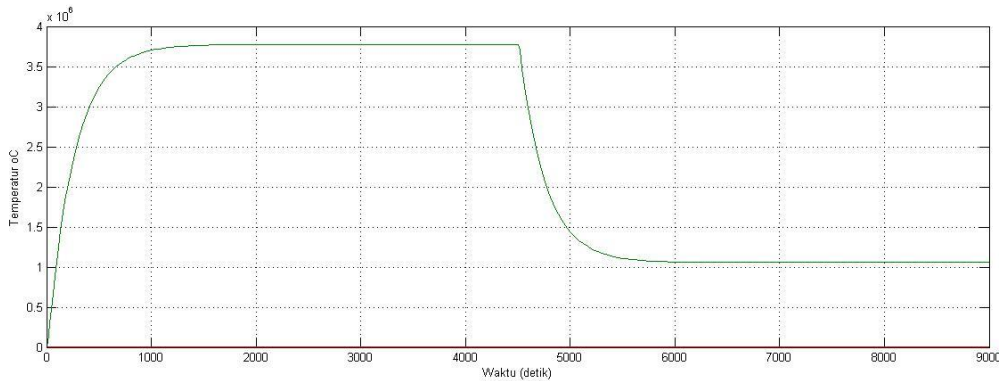
Pengujian *plant annealing Lehr* dilakukan menggunakan *software* Matlab versi 2014a dengan nilai *setpoint* sebesar 1250 °C untuk proses *heating* dan 350 °C untuk proses *cooling* [10]. Blok diagram simulasi pengujian dilakukan secara *open loop* pada *plant annealing* dengan masukan berupa panas dan keluaran berupa temperatur yang digambarkan seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 3.2 Blok Simulasi Diagram *Open Loop Annealing Lehr*



Gambar 3.3 Subsistem Blok *Annealing Lehr*



Gambar 3.4 Respon *Open Loop* pada *Annealing Lehr*

Berdasarkan grafik hasil pengujian tanpa pengendali diatas terlihat bahwa respon keluaran stabil, namun sistem tidak dapat mengikuti *setpoint* yang diinginkan yaitu sebesar 1250 °C dan 350 °C. Gambar 3.4 menunjukkan bahwa hasil keluaran sistem lebih dari 3000°C dengan

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.

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



waktu kurang dari 1000 detik untuk mencapai keadaan stabil. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur pada ruang *annealing lehr* tidak mampu mengikuti nilai *setpoint* yang diberikan.

### 3. Perancangan Pengendali MRAC

#### 3.1 Alur perancangan Pengendali MRAC

Adapun alur perancangan kendali sebagai berikut :

Menentukan Model Matematis Sistem (*plant*)

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 dua.

Membuat Model Referensi

Jika sistem yang akan dikendalikan merupakan sistem orde dua maka model referensi yang dibuat juga harus sesuai karakteristik sistem orde dua. Membuat model referensi ini menggunakan persamaan 2.22.

#### 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 menyesuaikan dengan sistem yang dikendalikan.

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.



**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. Jika tidak atau tidak ada respons dari sistem, beri nilai *gamma*. Jika belum ada perubahan naikkan nilai *gain* menjadi  $10^{-13}, 10^{-12}, 10^{-11}, \dots 10^{\sim}$  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* ( $-10^{-12}$ ) 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 respons sistem osilasi.

**3.5.2 Membuat Model Referensi**

Perancangan pengendali MRAC berdasarkan skema rancangan MRAC pada gambar MIT Rule akan digunakan untuk membentuk mekanisme *update* parameter adaptif pada pengendali. MIT Rule pada sistem *loop* tertutup dan keluaran dari model  $y_m$ . Error dinotasikan sebagai *e*. Karena respon sistem pada penelitian ini merupakan sistem orde dua maka untuk membuat model referensi menggunakan karakteristik orde dua dengan mengikuti persamaan 2.22 yaitu :

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

Nilai  $\omega_n$  diperoleh menggunakan persamaan 2.23 yaitu :

$$\begin{aligned} &= \frac{4}{\omega_n \zeta} \\ &= \frac{4}{t_s \zeta} \\ &= \frac{4}{1900(1)} \end{aligned}$$





$$\omega_n = 0.0021$$

Diketahui nilai *settling time* sebesar 1900 s dan rasio redaman  $\zeta = 1$ . Agar respon model referensi menjadi *Criticaldamp*, dengan menggunakan persamaan 2.22 maka fungsi alih model referensinya menjadi:

$$\begin{aligned}
 Y_m(s) &= \frac{(0.0021)^2}{s^2 + 2(1)(0.0021)s + (0.0021)^2} \\
 &= \frac{0.00000441}{s^2 + 0.0042s + 0.00000441}
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Selanjutnya merancang pengendali MRAC pada sistem *annealing lehr* dengan metode MIT Rule satu gain penjabarannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 y_m &= \frac{0.00000441}{s^2 + 0.0042s + 0.00000441} u_c \\
 \frac{d\theta}{dt} &= -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{k}{k_0} y_m = -\gamma' y_m e \\
 \frac{d\theta}{dt} &= -\gamma' \frac{0.00000441}{s^2 + 0.0042s + 0.00000441} u_c e
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.21 didapatkan nilai  $\theta$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \theta &= \int (-\gamma' y_m e) dt \\
 \theta &= \frac{1}{s} - \gamma' \frac{0.00000441}{s^2 + 0.0042s + 0.00000441} u_c e
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Selanjutnya adalah menurunkan umpan balik adaptif  $\theta$  untuk mendapatkan  $y_{plant}$  menggunakan persamaan 2.15 dan 2.18 :

$$y_{plant} = \theta u_c$$

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 mengummumkan 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





- 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.

$$e = y_{plant} - y_{model} = G_p u - G_m u_c$$

$$y_{plant} = G_p u = \left( \frac{3019.257}{3057.245s + 262.032s + 1} \right) (\theta u_c) \tag{3.8}$$

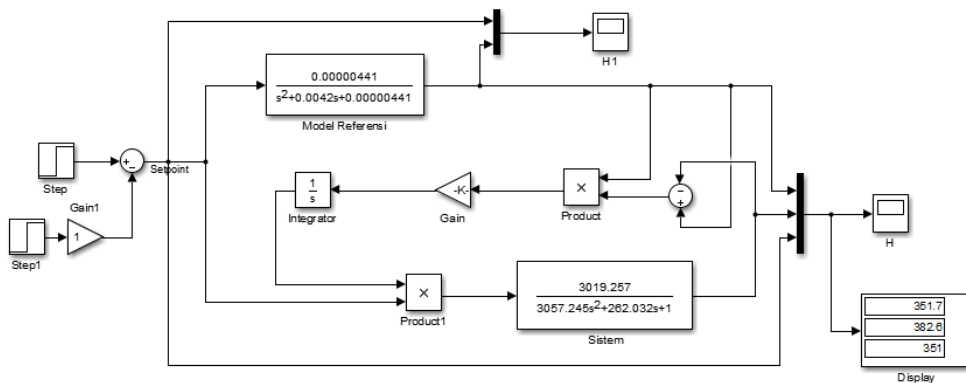
$$y_{plant} = \left( \frac{3019.257}{3057.245s + 262.032s + 1} \right) u_c \tag{3.9}$$

Selanjutnya adalah mencari nilai *error* dengan mengambil turunan parsial *error* dengan nilai  $\theta$ . Nilai  $u_c$  tidak termasuk parameter, karena itu tidak penting saat mengevaluasi turunannya.

$$e = \left( \frac{3019.257}{3057.245s + 262.032s + 1} \right) u_c - G_m u_c \tag{3.10}$$

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = \left( \frac{3019.257}{3057.245s + 262.032s + 1} \right) u_c \tag{3.11}$$

Berdasarkan persamaan matematis yang sudah diturunkan, maka kita dapat mendesain MRAC menggunakan aplikasi matlab dengan hasil desain rangkaian diperlihatkan seperti gambar berikut:



Gambar 3.5 Desain MRAC pada *Annealing Lehr*

Selanjutnya adalah mencari nilai *gain* pada pengendali MRAC dengan metode *heuristik*. Pencarian nilai *gain* ini bertujuan untuk mencari respon sistem yang terbaik. Pencarian nilai *gain* pengendali MRAC terlihat seperti pada tabel berikut ini:



Tabel 3.2 Pencarian Nilai *Gain* pada Pengendali MRAC

No.	Tuning Gain	Respon <i>Transient</i>			Keterangan
		Rise Time	Overshoot	Error	
1	$2.5 \times 10^{-13}$	3115.774309	0.000934256	0.674722301	Gambar terlampir
2	$4 \times 10^{-13}$	2973.110538	2.571059354	-0.633539211	Gambar terlampir
3	$5 \times 10^{-13}$	1938.113579	3.222913498	0.091833567	Gambar terlampir
4	$8 \times 10^{-13}$	1733.250411	5.704971171	0.169340449	Gambar terlampir
5	$10^{-12}$	1699.517004	7.050263245	0.141774801	Gambar terlampir
6	$3 \times 10^{-12}$	1652.545429	2.03085376	0.592161638	Gambar terlampir
7	$5 \times 10^{-12}$	1837.529767	2.134929351	0.536616891	Gambar terlampir
8	$10^{-11}$	471.2293421	3.158494075	-2.065113554	Gambar terlampir
9	$2 \times 10^{-11}$	1788.488709	3.843730889	19.53692239	Gambar terlampir
10	$3 \times 10^{-11}$	1554.808327	556.1335066	1123.880263	Gambar terlampir
11	$4 \times 10^{-11}$	1395.417014	1584.768238	-10708.03156	Gambar terlampir
12	$5 \times 10^{-11}$	1289.160546	32473.49275	405918.6594	Gambar terlampir

Pencarian nilai  $\gamma$  ini dimulai dari nilai  $2.5 \times 10^{-13}$  karena pada nilai gain tersebut respon sistem mulai terlihat namun masih menjauhi dari model referensi. kemudian nilai gain semakin diperbesar menjadi  $4 \times 10^{-13}$  menunjukkan respon sistem mulai bergerak mendekati model referensi, namun masih jauh dari model referensinya. Selanjutnya nilai *gain* terus diperbesar sehingga didapatkan nilai *gain* yang menghasilkan respon terbaik pada *tuning gain* nomor sebesar  $3 \times 10^{-12}$  dimana respon sistem sudah mengikuti model referensi dan *setpoint* yang diberikan, namun terdapat osilasi. Kemudian nilai *gain* semakin diperbesar dan menunjukkan osilasi yang terjadi semakin besar dan *error steady state* semakin besar pula. *Tuning gain* dilakukan sampai percobaan ke- 12 karena nilai diatas  $5 \times 10^{-11}$  menunjukkan respon sistem yang memiliki osilasi dan *error steady state* sangat besar.

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.



### 3.6. Perancangan Kendali *Fuzzy Mamdani*

Penelitian ini menggunakan *rule base* 3X3 untuk sistem inferensi *fuzzy*-nya maka dapat 5 himpunan *fuzzy* pada input dan outputnya yaitu nb (*negatif big*), ns (*negatif small*), z (*zero*), ps (*positif small*), pb (*positif big*). Semakin banyak partisipasi dari himpunan *fuzzy* pada ruang *input* dan *output* menghasilkan pendekatan yang baik terhadap sistem atau proses [4]. Variabel *input* dan *output fuzzy* penulis menggunakan 2 *input* yaitu *error* dan *derror* dan satu *output*, untuk fungsi keanggotaan penulis menggunakan bentuk segitiga (*triangle*) dan trapesium (*trapezium*), penggunaan jenis *trapesium* adalah untuk mencari nilai rata kiri dan rata kanan, penggunaan jenis segitiga untuk menentukan nilai tengahnya. Adapun tahap perancangannya dapat dilihat sebagai berikut:

#### 3.6.1 Fuzzifikasi

Perancangan fuzzifikasi dalam pemodelan ini penulis menggunakan *error* dengan *range* [-450 450] dan untuk *delta error* dengan *range* [-450 450] karena *plant* adalah sistem stabil maka *error* sekarang dan *error* sebelum bernilai sama, untuk outputnya menggunakan *range* [-300 300]. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka kita dapat men-*tuning* parameter *fuzzy control* tersebut dengan cara *try and error* yaitu mengatur (*adjust*) *membership function* (*range e-max* dan *de-max*) serta *rules-rules* yang ada.

Tahap mencari lebar keanggotaan *error*, *delta error* dan *output* dilakukan dengan menggunakan metode heuristik yaitu berdasarkan pengeksporasian pengetahuan pakar dan analisa perilaku sistem. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Penulis menggunakan lebar keanggotaan *error* dan *delta error* sebesar 1 sedangkan nilai *output* sebesar 0.5. kemudian setelah dicari dengan mempersempit masing-masing keanggotaan, hasilnya menunjukkan respon sistem yang bagus yaitu sudah mampu mengikuti model referensi. Namun ketika diberikan sinyal gangguan sebesar 5% terjadi *overshoot* yang besar dan tidak mampu kembali sampai akhir simulasi.
2. Penulis menaikkan nilai lebar keanggotaan *error* dan *delta error* sebesar 10 sedangkan nilai *output* sebesar 6. Kemudian setelah dicari dengan cara seperti diatas menghasilkan respon yang baik dan mampu mengikuti model referensi, namun ketika diberi sinyal gangguan 5% terjadi *overshoot* yang lebih kecil dari percobaan pertama dan tidak mampu kembali sampai akhir simulasi.



3. Penulis menaikkan nilai lebar keanggotaan *error* dan *delta error* sebesar 100 sedangkan nilai *output* sebesar 50. Kemudian setelah dicari dengan cara seperti diatas menghasilkan respon yang baik dan mampu mengikuti model referensi, namun ketika diberi sinyal gangguan 5% terjadi *overshoot* yang lebih kecil dari percobaan sebelumnya dan tidak mampu kembali sampai akhir simulasi.
4. Penulis menaikkan nilai lebar keanggotaan *error* dan *delta error* sebesar 300 sedangkan nilai *output* sebesar 170. Kemudian setelah dicari dengan cara seperti diatas menghasilkan respon yang baik dan mampu mengikuti model referensi, namun ketika diberi sinyal gangguan 5% terjadi *overshoot* yang lebih kecil dari percobaan sebelumnya dan tidak mampu kembali sampai akhir simulasi.
5. Penulis menaikkan nilai lebar keanggotaan *error* dan *delta error* sebesar 450 sedangkan nilai *output* sebesar 300. Kemudian setelah dicari dengan cara seperti diatas menghasilkan respon yang baik dan mampu mengikuti model referensi serta ketika diberi sinyal gangguan 5% terjadi *overshoot* namun bisa kembali ke *setpoint*.

Rentang domain setiap himpunan ditentukan berdasarkan hipotesa berikut:

1. Jika fungsi keanggotaan lebih sempit, maka akan menghasilkan *Respons* yang lebih cepat (nilai *rise time* yang kecil).
2. Jika fungsi keanggotaan lebih sempit, maka akan menghasilkan osilasi, *overshoot* dan *settling time* yang lebih besar. Jika fungsi keanggotaan lebih sempit, maka akan menghasilkan *steady-state error* yang lebih kecil.

### 3.6.2 Rule Base

*Rule base*, untuk mengetahui derajat keanggotaan maka dilakukan basis aturan dari sistem fuzzy tersebut, dalam penelitian ini penulis menggunakan pendekatan heuristik untuk menentukan *rule base*-nya. Pendekatan heuristik adalah pendekatan yang membangun *rule base* berdasarkan pengeksplorasi pengetahuan pakar dan analisa perilaku sistem pendekatan ini perilaku sistemnya berdasarkan pengetahuan sistem secara kualitatif [39], adapun *rule base* yang penulis buat adalah sebagai berikut:

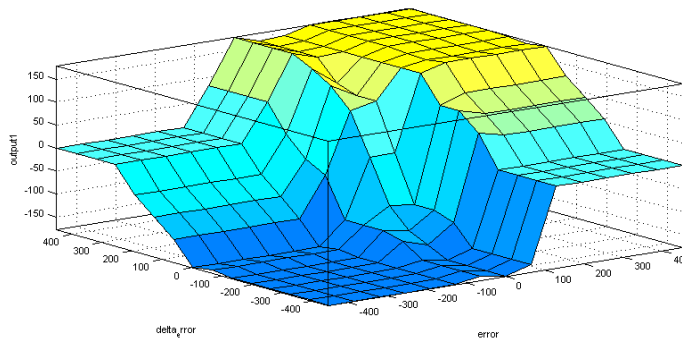
*If (error is en) and (derror is den) then (output is un)*

- if (error is en) and (derror is zero) then (output is un)
- # (error is en) and (derror is dep) then (output is zero)
- if (error is zero) and (derror is den) then (output is un)
- if (error is zero) and (derror is zero) then (output is zero)
- if (error is zero) and (derror is dep) then (output is up)
- # (error is ep) and (derror is den) then (output is zero)
- # (error is ep) and (derror is zero) then (output is up)
- if (error is ep) and (derror is dep) then (output is up)

Tabel 3.3 Rule Base Fuzzy

Error \ Derror	Den	Zero	Dep
En	Un	Un	Zero
Zero	Un	Zero	Up
Ep	Zero	Up	Up

Gambar untuk *surface* dari *rule base Fuzzy* diatas dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.6 Viewer Surface Pengendali Fuzzy

- 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.



### 3.6.3 Defuzzifikasi

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode *Centroid*, karena dari beberapa metode defuzzifikasi metode ini lebih cocok digunakan untuk *plant* sistem *annealing lehr*. Proses penentuan lebar fungsi keanggotaan, pertama-tama penulis menentukan lebar fungsi keanggotaan pada nilai tengah yang berbentuk segitiga yaitu *e*, *de*, dan *u*. Kemudian penulis memperkecil lebar fungsi keanggotaan hingga didapatkan respons yang terbaik. Respons keluaran sistem dengan berbagai rentang fungsi keanggotaan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.4 Pencarian lebar fungsi keanggotaan *e*, *De* dan *S*

No.	Lebar Fungsi Keanggotaan			Rise Time	Overshoot	Error
	Error	Delta Error	Output			
1	[-350 0 350]	[-350 0 350]	[-120 0 120]	2985.014	-1.24987	-28.7894
2	[-250 0 250]	[-350 0 350]	[-120 0 120]	2090.164	-0.024053761	-0.31222
3	[-200 0 200]	[-350 0 350]	[-120 0 120]	2090.288	-0.034036752	-0.48265
4	[-150 0 150]	[-350 0 350]	[-120 0 120]	2090.413	-0.044036542	-0.45044
5	[-100 0 100]	[-350 0 350]	[-120 0 120]	2090.504	-0.067036882	-0.57336
6	[-100 0 100]	[-300 0 300]	[-120 0 120]	2091.005	-0.009761128	-0.24041
7	[-100 0 100]	[-250 0 250]	[-120 0 120]	2091.397	-0.009461128	-0.13509
8	[-100 0 100]	[-200 0 200]	[-120 0 120]	2095.157	-0.00944562	-0.14113
9	[-100 0 100]	[-150 0 150]	[-120 0 120]	2094.108	-0.00929671	-0.01482
10	[-100 0 100]	[-150 0 150]	[-100 0 100]	2093.733	-6.6137008	-0.046801
11	[-100 0 100]	[-150 0 150]	[-80 0 80]	2093471	-8.9235171	-0.021772

Pada tabel diatas pencarian lebar fungsi keanggotaan *e*, *De* dan *S* atau nilai keanggotaan *fuzzy* yang terletak dibagian tengah (yang berbentuk segitiga). Pada pencarian nilai fungsi keanggotaan ini jika terlalu lebar atau jarak antara nilai *error* dan *delta error* terlalu lebar maka respon sistem menjauhi *setpoint* atau model referesinya sebaliknya jika terlalu sempit menghasilkan respon sistem yang cepat namun terjadi *overshoot* hingga osilasi, oleh karena itu jarak antara *error* dan *delta error* harus tepat supaya menghasilkan respon yang terbaik. Pencarian dimulai dari nilai *error* [-350 0 350], *delta error* [-350 0 350] dan *output* [-120 0 120] dimana respon pengendali *fuzzy* untuk menurunkan osilasi mulai terlihat.

2. Dilarang mengemukakan 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

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Kemudian lebar keanggotaan dipersempit menjadi *error* [-250 0 250], *delta error* [-350 0 350] dan *output* [-120 0 120] menunjukkan respon sistem semakin bagus dengan osilasi semakin berkurang. Kemudian nilai fungsi keanggotaan semakin dipersempit sehingga menghasilkan respon yang terbaik pada percobaan ke- 7 dengan nilai *error* [-100 0 100], *delta error* [-250 0 250] dan *output* [-120 0 120] menunjukkan respon sistem sudah mampu mengikuti model referensi: pengendali MRAC dan *setpoint* yang diberikan. Selanjutnya nilai fungsi keanggotaan semakin dipersempit lagi dan menunjukkan respon sistem kembali berosilasi, sehingga percobaan dilakukan sampai percobaan ke- 11 dimana respon sistem menunjukkan osilasi semakin membesar.

Selanjutnya penulis menentukan lebar fungsi keanggotaan pada batas kiri (-) dan kanan (+) yang berbentuk trapesium. Pencarian lebar fungsi keanggotaan  $e(+), e(-), De(+), De(-), B$  dan  $K$  sama seperti pencarian lebar keanggotaan dibagian tengah (segitiga) dilakukan dengan cara mempersempit nilai lebarnya secara bergantian nilai *error*, *delta error* dan  $BK$ , jika jaraknya terlalu lebar maka respon semakin menjauhi *setpoint* dan model referensi, sebaliknya jika terlalu sempit menghasilkan respon yang cepat namun memiliki *overshoot* hingga osilasi. Respon sistem berdasarkan perubahan lebar fungsi keanggotaan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.5 Pencarian lebar fungsi keanggotaan  $e(+), e(-), De(+), De(-), B$  dan  $K$

No	Lebar Fungsi Keanggotaan			Rise Time	Overshoot	Error
	<i>Error</i> (+)	<i>Delta Error</i> (+)	$B$			
	<i>Error</i> (-)	<i>Delta Error</i> (-)	$K$			
1	[0 300 450 450] [-450 -450 -300 0]	[0 350 450 450] [-450 -450 -350 0]	[0 180 300 300] [-300 -300 -180 0]	2091.279	-0.037966236	-0.48441
2	[0 200 450 450] [-450 -450 -200 0]	[0 350 450 450] [-450 -450 -350 0]	[0 180 300 300] [-300 -300 -180 0]	2091.281	-0.022131804	-0.32853
3	[0 200 450 450] [-450 -450 -200 0]	[0 250 450 450] [-450 -450 -250 0]	[0 180 300 300] [-300 -300 -180 0]	2091.276	-0.018400536	0.251005
4	[0 100 450 450] [-450 -450 -100 0]	[0 150 450 450] [-450 -450 -150 0]	[0 120 300 300] [-300 -300 -120 0]	2091.855	-0.00951757	-0.15843

2. Dilarang mengumumkan 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.

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

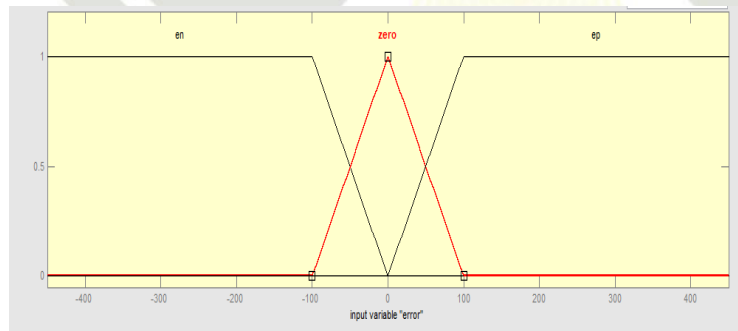
© hak cipta milik UIN Suska Riau  
 State Islamic University of Sunan Kalijaga  
 Syarif Kasim Riau



5	[0 100 450 450] [-450 -450 -100 0]	[0 140 450 450] [-450 -450 -140 0]	[0 120 300 300] [-300 -300 -120 0]	2091.168	-0.009177363	-0.16135
---	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	----------	--------------	----------

Tabel diatas adalah pencarian lebar fungsi keanggotaan  $e(+), e(-), De(+), De(-), B$  dan  $K$  dan nilai yang terletak dibagian samping kanan (+) dan kiri (-) dimulai dari nilai  $error (+)$  (-) [0 300 450 450] [-450 -450 -300 0],  $delta\ error (+) (-)$  [0 350 450 450] [-450 -450 -350 0] dan  $B/K (+) (-)$  [0 180 300 300] [-300 -300 -180 0] menunjukkan nilai  $overshoot$  dan  $Ess$  semakin mengecil daripada hasil dari tabel 3.4. kemudian nilai lebar fungsi keanggotaan dipersempit menjadi  $error (+) (-)$  [0 200 450 450] [-450 -450 -200 0],  $delta\ error (+) (-)$ [0 350 450 450] [-450 -450 -350 0] dan  $B/K (+) (-)$  [0 180 300 300] [-300 -300 -180 0] menunjukkan nilai  $overshoot$  dan  $Ess$  semakin menurun. Respon yang terbaik didapat pada percobaan ke 4 dimana menghasilkan  $overshoot$  sebesar -0.00204931 dan  $Ess$  -0.15843 sebesar. kemudian nilai lebar fungsi keanggotaan semakin dipersempit menunjukkan nilai  $overshoot$  dan  $Ess$  mulai membesar sehingga percobaan hanya dilakukan sampai percobaan ke- 5.

Berdasarkan tabel 3.4 dan 3.5 diatas diperoleh lebar setiap fungsi keanggotaan perancangan pengendali *fuzzy* terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan *Error*

Gambar diatas merupakan fungsi keanggotaan *error* yang mana penulis menggunakan fungsi keanggotaan yang sempit yang bertujuan untuk menghasilkan *rise time* yang lebih cepat akan tetapi apabila terlalu sempit membuat sistem berosilasi [39]. Fungsi keanggotaan *en* dan *ep* berbentuk *trapesium* yang terletak pada rentang [-450 -450 -100 0] dan [0 100 450 450], fungsi keanggotaan *zero* berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-100 0 100].

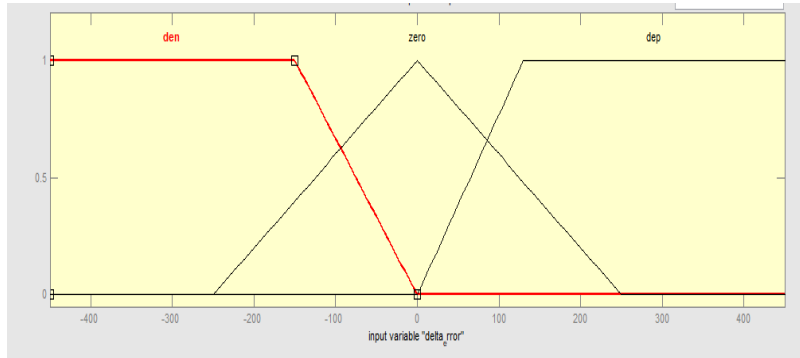
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 T. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 1. Hak Cipta Ditanggung Undang dan B/K (+) (-) [0 180 300 300] [-300 -300 -180 0] menunjukkan nilai overshoot dan Ess semakin mengecil daripada hasil dari tabel 3.4. kemudian nilai lebar fungsi keanggotaan dipersempit menjadi error (+) (-) [0 200 450 450] [-450 -450 -200 0], delta error (+) (-)[0 350 450 450] [-450 -450 -350 0] dan B/K (+) (-) [0 180 300 300] [-300 -300 -180 0] menunjukkan nilai overshoot dan Ess semakin menurun. Respon yang terbaik didapat pada percobaan ke 4 dimana menghasilkan overshoot sebesar -0.00204931 dan Ess -0.15843 sebesar. kemudian nilai lebar fungsi keanggotaan semakin dipersempit menunjukkan nilai overshoot dan Ess mulai membesar sehingga percobaan hanya dilakukan sampai percobaan ke- 5.





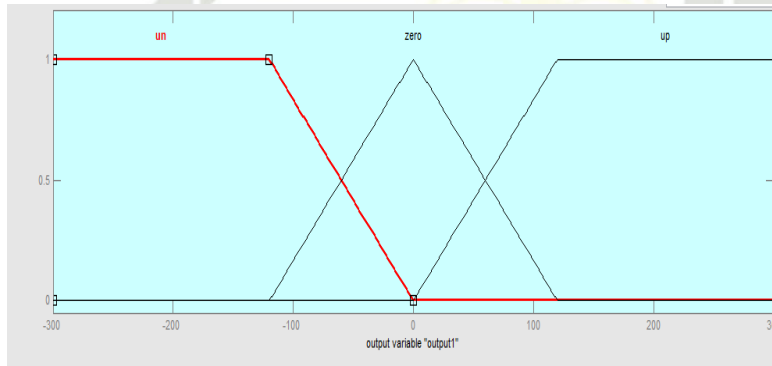
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruhnya 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. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruhnya tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan *Derror*

Gambar diatas merupakan fungsi keanggotaan *derror*, dimana tujuannya untuk mempercepat *rise time* dan *error steady stade* yang lebih kecil, namun jika terlalu sempit maka akan menghasilkan respon sistem yang berosilasi pula [39]. Fungsi keanggotaan den dan dep berbentuk *trapesium* yang terletak pada rentang [-450 -450 -150 0] dan [0 150 450 450], fungsi keanggotaan zero berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-250 0 250].



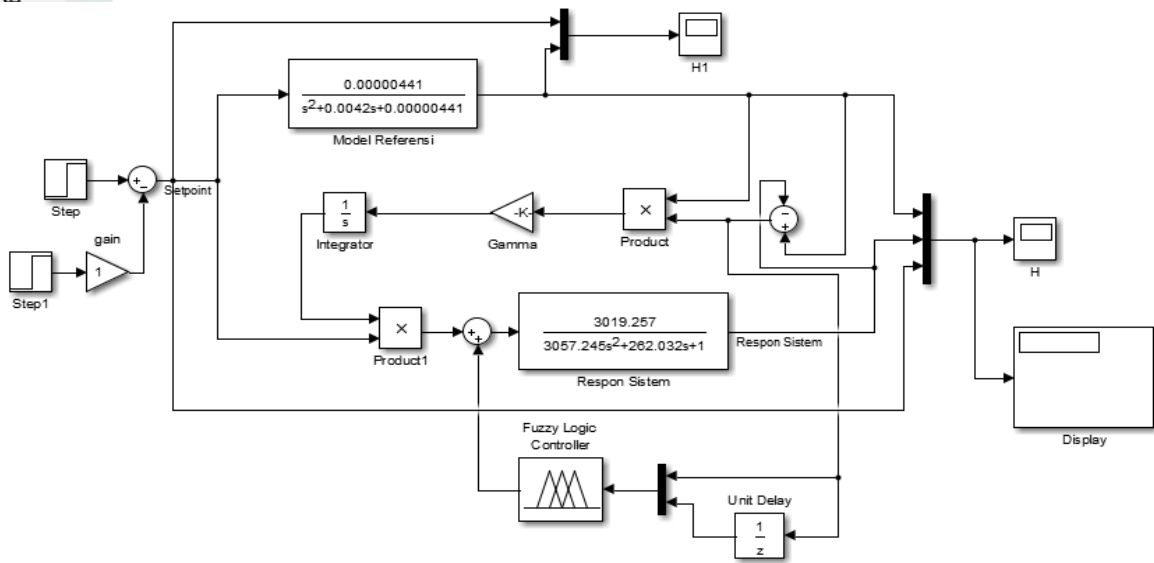
Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan *Output*

Pentuan fungsi keanggotaan *output* merupakan prioritas yang pertama dari sistem *fuzzy* karena memiliki pengaruh yang besar dalam hal stabilitas dan osilasi sistem, maka penulis menggunakan fungsi keanggotaan pada umumnya yaitu mengambil di titik *crossover* 0 [40] mengambil nilai tengah bertujuan agar sistem lebih stabil. Fungsi keanggotaan un dan up berbentuk *trapesium* yang terletak pada rentang [-300 -300 -120 0] dan [0 120 300 300], fungsi keanggotaan zero berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-120 0 120].



### 3.7. Perancangan Pengendali MRAC-Fuzzy

Perancangan pengendali MRAC-Fuzzy pada sistem *annealing lehr* dilakukan dengan cara menghubungkan secara paralel antara *transfer function* sistem *annealing lehr* dengan pengendali *fuzzy* kedalam rangkaian. Kendali *fuzzy* digunakan untuk memperbaiki performa transien dari MRAC. Perancangan pengendali MRAC-Fuzzy dapat dilihat seperti gambar berikut.



Gambar 3.10 Desain Pengendali MRAC-Fuzzy

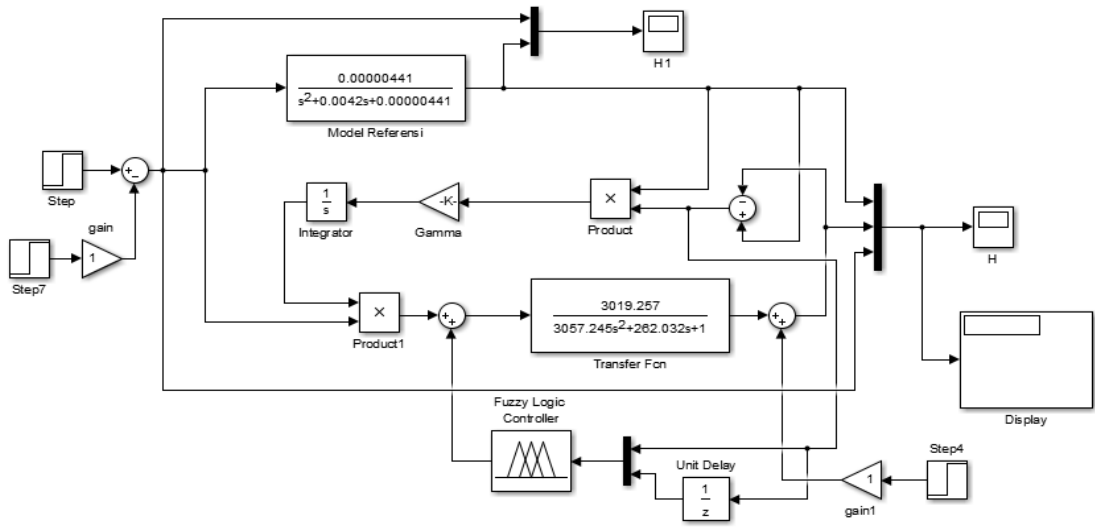
### 3.8. Perancangan Pengendali MRAC-Fuzzy dengan Gangguan Sinyal Kendali

Perancangan pengendali MRAC-Fuzzy dilakukan dengan cara menambah *step* pada *transfer function*. Gangguan sinyal kendali yang diberikan sebesar 5% dari *setpoint*. Gangguan sinyal kendali diberikan bertujuan untuk mengetahui performansi pengendali MRAC-Fuzzy dalam mengatasi gangguan. Perancangan pengendali MRAC-Fuzzy dengan gangguan sinyal kendali seperti pada gambar berikut:

UN 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.

- Hak Cipta Uinindungi Undang-Undang**
1. Diarangi 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. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

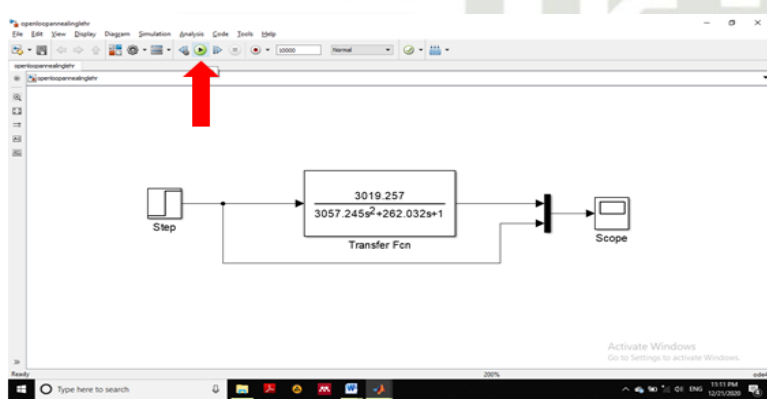


Gambar 3.11 Desain Pengendali MRAC-Fuzzy dengan Gangguan Sinyal Kendali

### 3.9. Hasil Data yang akan diambil

#### 3.9.1 Grafik Setiap Pengujian Sistem

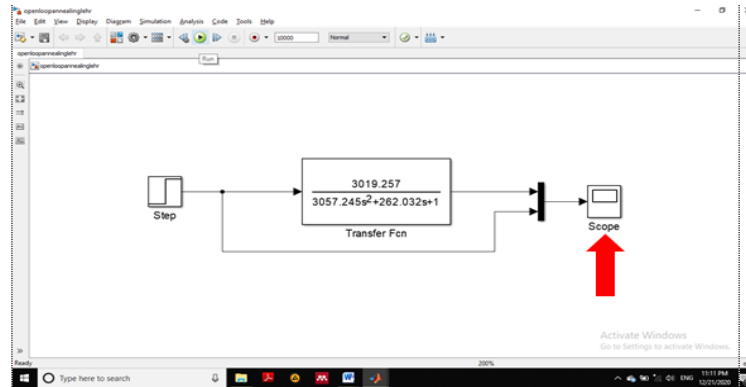
Grafik yang akan diambil meliputi simulasi sistem secara *open loop*, simulasi menggunakan pengendali MRAC, simulasi menggunakan pengendali MRAC dengan penambahan pengendali pengendali *fuzzy* dan simulasi pengendali MRAC-fuzzy dengan adanya sinyal gangguan. Akan dilakukan pengujian dari pengendali yang telah dibuat pada sistem *annealing lehr* dengan menekan *run* untuk mensimulasikannya. Sebagai contoh terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3.12 Cara Menjalankan Simulasi

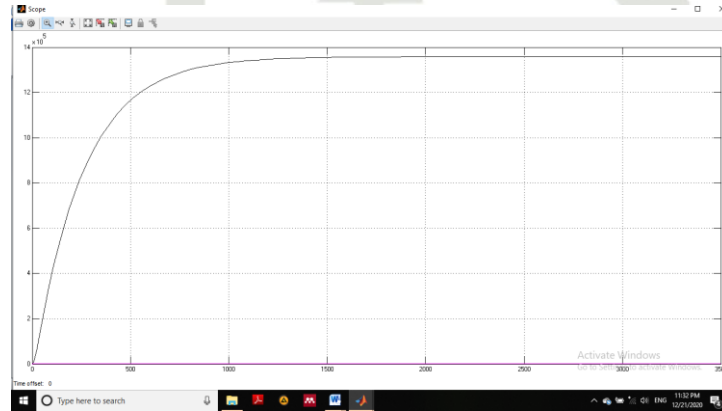


Kemudian klik dua kali pada blok *scope* untuk melihat hasil simulasi.



Gambar 3.13 Cara Menampilkan Grafik Keluaran Sistem

Selanjutnya akan muncul grafik keluaran sistem, grafik ini nantinya yang akan dianalisa hasil dari respon sistem. Contoh grafik keluaran sistem sebagai berikut:



Gambar 3.14 tampilan grafik keluaran sistem

### 3.9.2 Respon Transient Sistem dari Setiap Pengujian

Respon *transient* yang akan diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

*Rise Time/ Waktu Tunak (tr)*

Merupakan selisih waktu saat respon dalam kondisi 95% dengan 5% dari *setpoint*

*Settling Time/ Waktu Tunak (ts)*

Merupakan ukuran waktu yang digunakan untuk menyatakan respon dari suatu sistem telah masuk  $\pm 2\%$  dari keadaan *steady state*.

*Delay Time/ Waktu Tunda (td)*

- Hak Cipta Diindungi Undang-Undang
1. Diarang 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. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

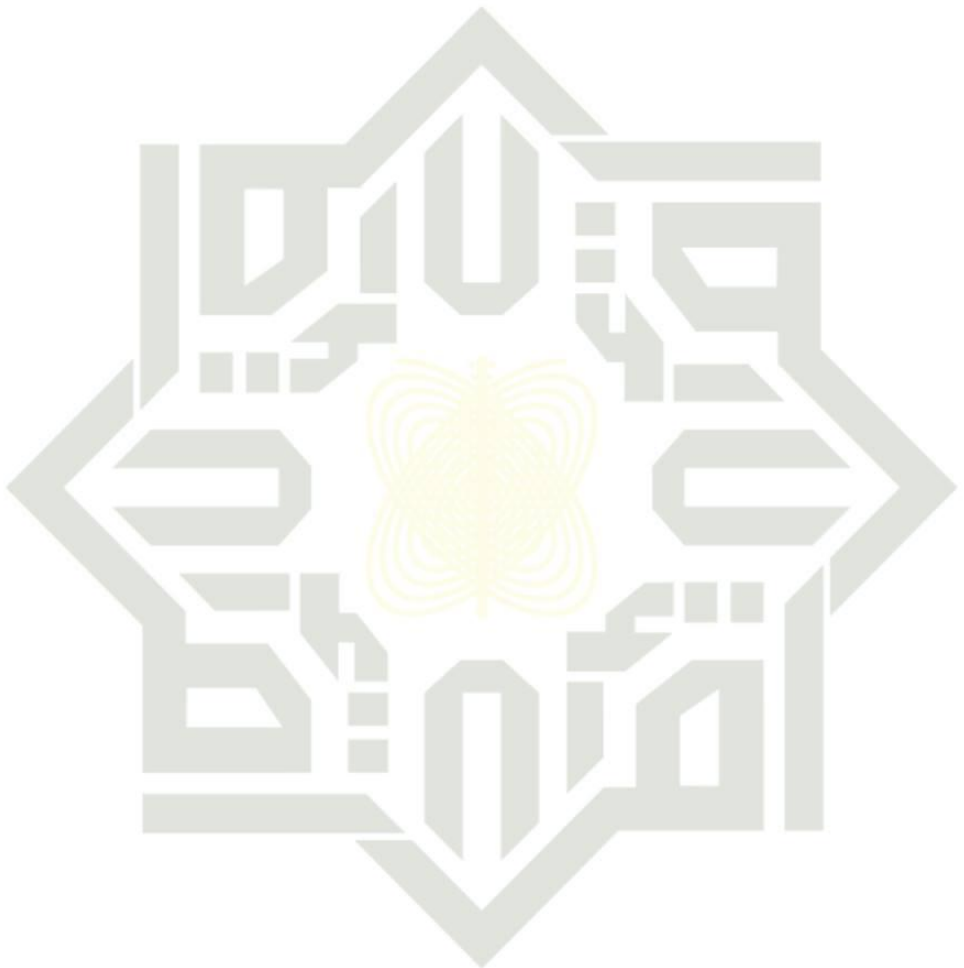
Waktu yang dibutuhkan suatu sistem untuk mencapai setengah dari nilai akhir respon sistem pertama kali.

*Maximum Overshoot ( $M_p$ )*

Nilai puncak respon sistem.

*Error Steady State*

Selisih dari nilai yang terukur dengan nilai yang sebenarnya.



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

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengendali *fuzzy* mampu menghilangkan osilasi yang terjadi pada pengendali MRAC sebagai pengendali utama. Secara *heuristik* pencarian nilai fungsi keanggotaan hingga menghasilkan *output* yang diinginkan.

2. Pengendali MRAC-*Fuzzy* menunjukkan respon yang baik. Analisa *respons transien* menunjukkan nilai *overshoot* = 0.009518 %, *rise time* = 2091.8551 detik dan *error steady state* = 0.15843 °C. Sehingga bisa dikatakan pengendali MRAC- *Fuzzy* mampu mengendalikan temperatur pada sistem *annealing Lehr*.

3. Pengendali MRAC-*Fuzzy* memiliki performansi yang baik, yang mana respon sistem mampu kembali stabil setelah diberikan gangguan sinyal kendali. Gangguan diberikan pada detik ke-3500 kemudian sistem kembali ke keadaan stabil pada detik ke- 3688.9503 dengan nilai *overshoot* maksimum sebesar 4.45304 %.

#### 5.2 Saran

Penelitian pada Tugas Akhir ini menggunakan pengendali MRAC dengan metode MIT *Rule*. metode ini memiliki persamaan matematis lebih sederhana namun dalam pengendalian sistem kurang baik seperti pada sistem *annealing Lehr*, MIT *Rule* rentan sekali terjadi *overshoot* dan *error steady state*, bahkan ketika sudah dikombinasikan dengan pengendali *fuzzy*, MRAC sebagai pengendali utama masih terdapat nilai *overshoot* dan *error steady state* meskipun kecil. peneliti menyarankan pada penelitian selanjutnya mencoba untuk menggunakan metode kestabilan *Lyapunov* yang secara teori lebih baik. Selain itu peneliti menggunakan metode *heuristik* pada pengendali *Fuzzy Mamdani* yang membutuhkan waktu cukup lama untuk mendapatkan respon sistem yang terbaik pada pencarian himpunan *Fuzzy*. Diharapkan kedepannya bisa mencoba menggunakan *Fuzzy Sugeno* atau metode lainnya yang lebih mudah.



## DAFTAR PUSTAKA

- © Hak Cipta milik UIN Suska Riau  
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
- [1] Alfionita and R. Zainul, "Calcium Chloride (CaCl<sub>2</sub>) : Characteristics and Molecular Interaction in Solution," no. 3, 2019.
  - [2] U. Utami, "Desain Kendali Lqr-Pid pada Sistem Pengendalian Temperatur di Annealing Lehr untuk Proses Pembuatan Lembaran Kaca," 2018.
  - [3] Lestari and M. R. Alhamdani, "Penerapan Material Kaca Dalam Arsitektur," *Langkau Betang J. Arsit.*, vol. 1, no. 2, pp. 30–42, 2014, doi: 10.26418/lantang.v1i2.18798.
  - [4] Kemenperin, "Industri Kaca Lembaran," 2019. [Online]. Available: <https://kemenperin.go.id/artikel/20296/Industri-Kaca-Lembaran-Tambah-Kapasitas-Jadi-1,34-Juta-Ton>.
  - [5] V. R. Pradini, "Penerapan Diagram Fuzzy U pada Pengontrolan Kualitas For Production Quality Monitoring," 2016.
  - [6] I. B. Suryaningrat, N. Novijianto, and N. Faidah, "Penerapan Metode Statistical Process Control (Spc) pada Pengolahan biji Kakao Application Of Statistical Process Control (Spc) Method On Cocoa Beans Processing 1)," *J. Agroteknologi*, vol. 09, no. 01, pp. 45–53, 2015.
  - [7] Suyanto and Miftahuddin, "Penerapan Pid Controller pada Sistem Pengendalian Temperatur pada Proses Pembuatan Kaca Lembaran di Pt Asahimas Flat Glass, Tbk Sidoarjo," *Tek. Fis.*, p. 1, 2009.
  - [8] V. Riski and M. Mashuri, "Penerapan Diagram Fuzzy U pada Pengontrolan Kualitas Produksi Kaca Automotive Tipe Laminated," *Jur. Stat. Fak. MIPA, Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, vol. 5, no. 2, 2016.
  - [9] Ramadani, "Perancangan Kendali Adaptif STR-PID untuk Pengendalian Temperatur pada Annealing Lehr," Uin Suska Riau, 2019.

Hak Cipta Ditindungi 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.



[10] 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.

- [10] H. Mudia, Ramadani, M. Nu. Faizi, and H. Amri, "Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Temperatur Pada Annealing Lehr Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Temperatur Pada Annealing Lehr," *INOVTEK*, vol. 1, doi: 10.35314/ise.v2i1.1248.
- [11] Julianto, D. Irawan, and B. Rahardian, "Analisis Perpindahan Panas pad Kaca Lembaran Jenis Soda-Lime Glass," *Tek. Mesin*, vol. 20, 2019.
- [12] A. Sholihin, "Desain Kendali Optimal Linear Quadrating Regulator (LQR) pada Sistem Pengendalian temperatur di Annealing Lehr untuk Proses Pembuatan Lembaran Kaca," Uin Suska Riau, 2018.
- [13] Sugiyarto, "Analisa Pengendalian Mutu Terjadinya Defect pada Kaca Warna di PT. Mulia Glass Float Division," Mercu Buana University, 2007.
- [14] T. Yamamoto, K. Fujii, and M. Kaneda, "Design And Implementation of A Self-Tuning Pid Controller," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 31, no. 22, pp. 59–64, 1998, doi: 10.1016/S1474-6670(17)35921-9.
- [15] S. Achenef, "Fuzzy PID Based Temperature Control of Electric Furnace for Glass Tempering Process," Addis Ababa University, 2017.
- [16] K. Suresh, "Performance analysis on MRAC and fuzzy MRAC control for dryer in paper making process," *Proc. 2014 IEEE Int. Conf. Adv. Commun. Control Comput. Technol. ICACCCT 2014*, no. 978, pp. 1056–1059, 2014, doi: 10.1109/ICACCCT.2014.7019259.
- [17] X. Efprianto and J. Matematika, "Pengendali Panel Surya Dengan Metode Type 2 Fuzzy Sliding Mode Control Design And Simulation Of Control Systems On Solar Panels Using Type 2 Fuzzy Sliding Mode Control ( T2FSMC )," 2015.
- [18] H. M Y, "'Adaptive Control' Control Sytems," *Univ. Teknol. Iraq*, pp. 1–58.
- [19] T. Sudewo, E. Iskandar, and K. Astrowulan, "Disain dan Implementasi Kontrol PID Model Reference Adaptive Control untuk Automatic Safe Landing Pada Pesawat UAV Quadcopter," vol. 1, no. 1, pp. 78–83, 2012.





[20]

H. S. B. M., "Sistem Kendali Hybrid PID-Logika Fuzzy pada Pengaturan Kecepatan Motor DC," *Jte*, vol. 8, no. 2, pp. 25–34, 2004.

[21]

K. Huberman and M. Muttaqien, "Sistem Kendali Kecepatan Motor DC magnet Permanen dengan Metode Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler," *Univ. Telkom Bandung*, 2014.

[22]

N. ZA and L. Maulida, "Perbandingan Permodelan Kontrol Fuzzy dan PID pada Pemanas Fuel Gas," vol. 1, no. Mei, pp. 60–77, 2015.

[23]

S. S. Lai, "Proceedings of the IEEE PES winter Meeting," 1998.

[24]

Sugiyarto, "Analisa Pengendalian Mutu Terjadinya Defect pada Kaca Warna Ln Di Pt. Muliaglaas Float Division," Universitas Mercu Buana, 2007.

[25]

Siswoyo, *Teknik Listrik Industri*, 2nd ed. Jakarta: Direktorat Pembinaan Menengah Kejuruan, 2008.

[26]

K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik*, 1st ed. Jakarta: Erlangga, 1995.

[27]

K. Ogata, *Modern control engineering*, 5th ed. new jersey: Aelzh, 2010.

[28]

B. Cahyono, "Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier," vol. 1, pp. 45–62, 2013.

[29]

K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Erlangga, 1995.

[30]

H. Rusmawan, M. Iwan SEetiawan, ST, and M. Wahyudi, ST, "Aplikasi Kendali Adaptif Pada Sistem Pengaturan Temperatur Cairan Dengan Tipologi Kendali Model Reference Adaptive Controller (MRAC)," pp. 1–12.

[31]

K. J. Astrom and B. Wittenmark, *Adaptive Control*, 2nd ed. New York: Dover Publications, 1995.

[32]

D. A. R. Wati, *Sistem Kendali cerdas*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.

[33]

S. K. Agung Setiawan S.Kom, M.M, M. K. Budi Yanto, S.T., and M. K. Kiki

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.

© Mak Lupa UIN Suska Riau  
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

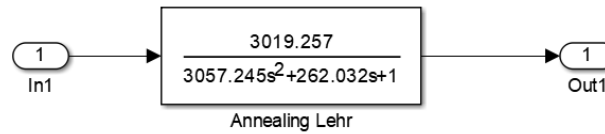
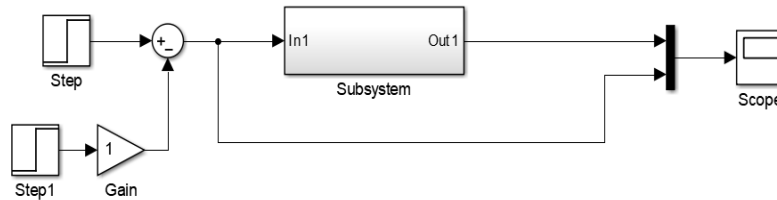


- Yasdomi, S.Kom., *LOGIKA FUZZY dengan M A T L A B ( Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto )*, no. July. Denpasar Bali: Jayapangus Press, 2018.
- Kusumadewi, *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Edisi Pert. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2002.
- T. Widodo, *Sistem Neuro Fuzzy*, Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2002.
- A. Mohideen and K. Valarmathi, “Fuzzy Modified Model Reference Adaptive Control for Improved Transient Response,” 2013.
- T. Bambang, *Metode Numerik*. Yogyakarta, Indonesia: Beta Offset, 2010.
- M. M. Dr.Ir.Bambang sujanarko and P. Drs. Yagus Wijayanto, MA, “Dasar-Dasar Pemrograman Simulink Matlab Serta Antar Muka Menggunakan PCi1710HG,” 2012.
- Cahyono and Budi, “Penggunaan software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier,” *Fak. Ilmu Tarb. dan Kegur. Inst. Agama Islam Negeri Walsiongo*, 2013.
- D. A. R. Wati, *Sistem Kendali Cerdas*. Yogyakarta: Garaha Ilmu, 2011.

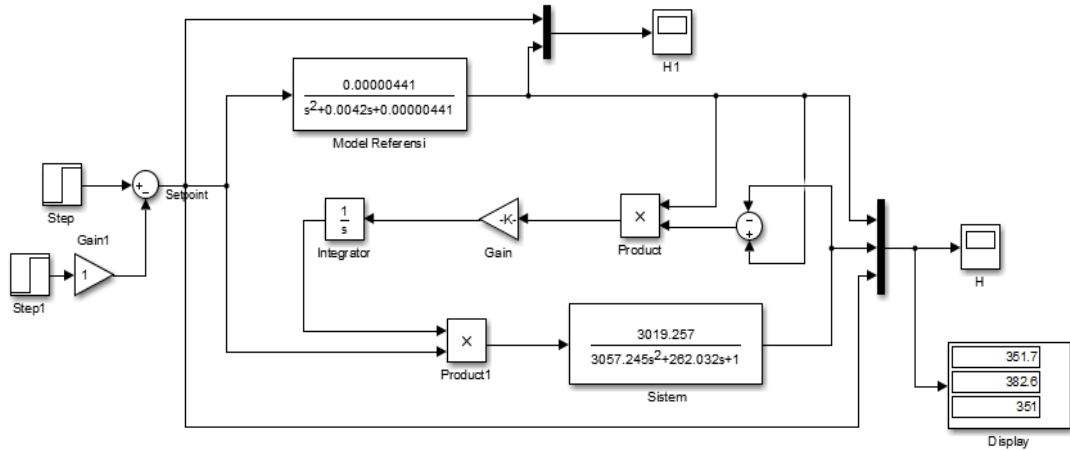
## LAMPIRAN A

### BLOK DIAGRAM *SIMULINK* SISTEM ANNEALING LEHR

1. Blok diagram *Simulink open loop* sistem *annealing lehr*



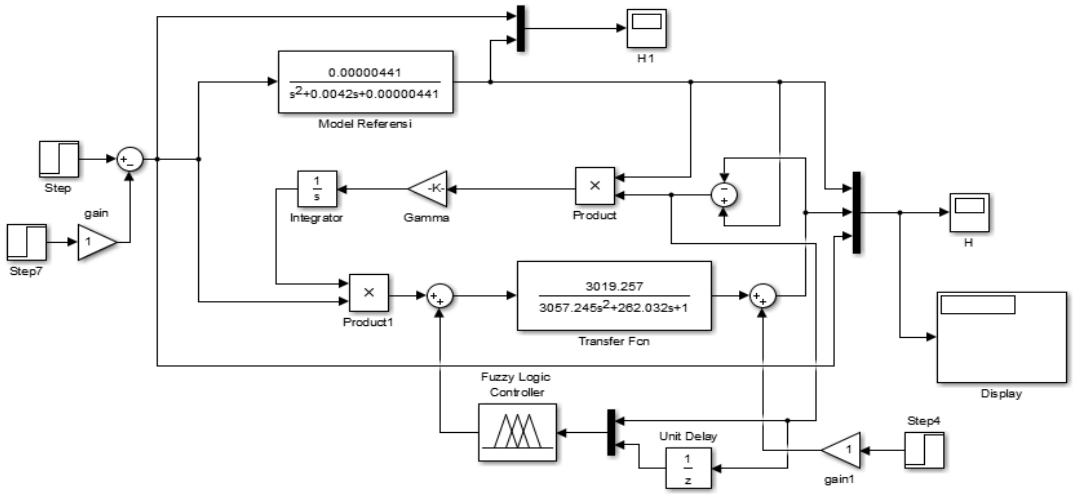
2. Blok diagram *Simulink* pengendali MRAC pada sistem *annealing lehr*



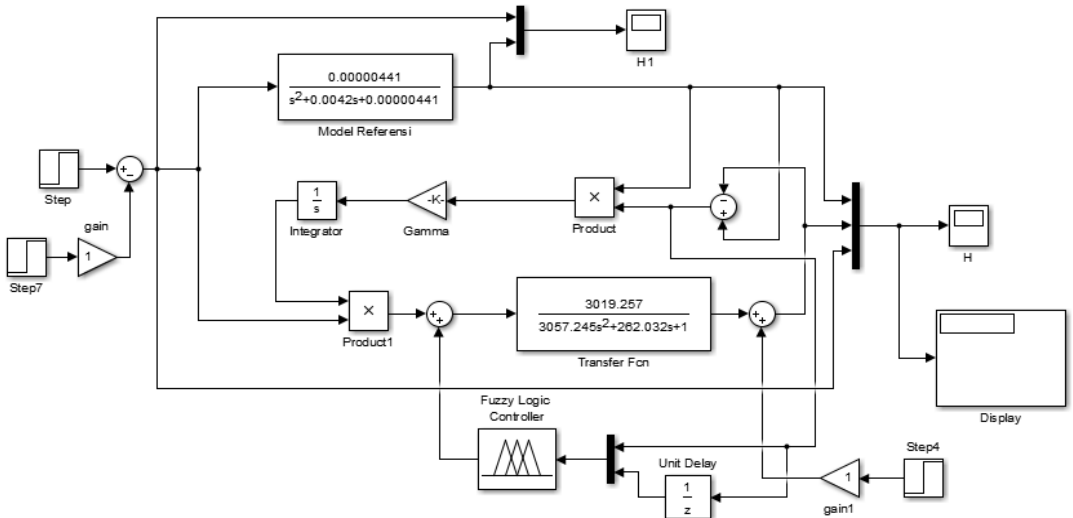
#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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. Blok diagram *Simulink* pengendali MRAC-Fuzzy pada sistem *annealing Lehr*



4. Blok diagram *Simulink* pengendali MRAC-Fuzzy pada sistem *annealing Lehr* dengan gangguan sinyal kendali



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.

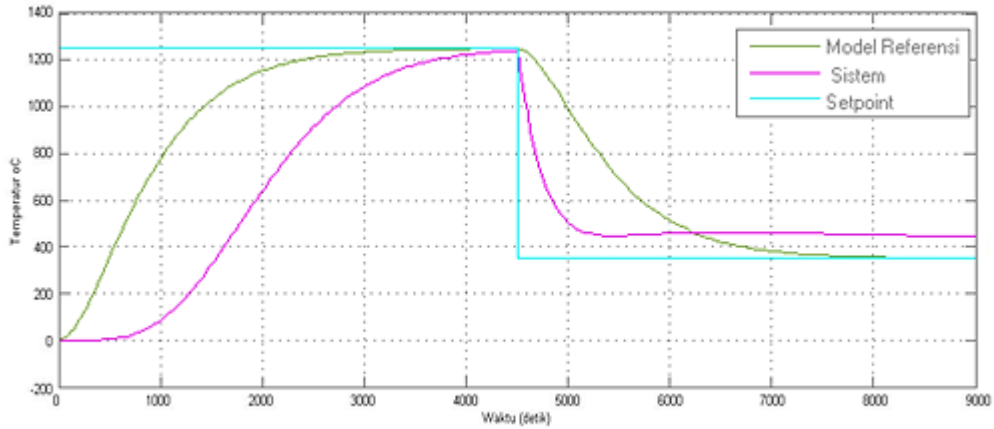
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



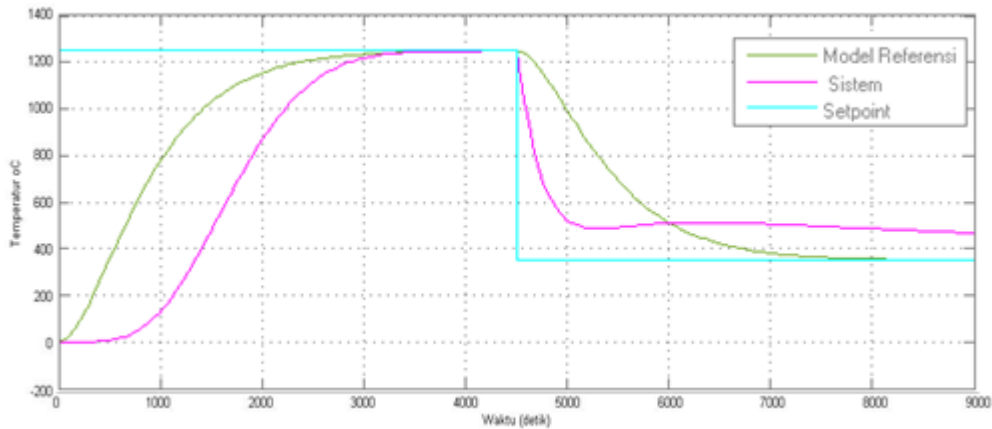
## LAMPIRAN B

### PROSES PENCARIAN NILAI GAIN PADA PENGENDALI MRAC UNTUK MENGENDALIKAN TEMPERATUR PADA SISTEM ANNEALING LEHR

1. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $2.5 \times 10^{-13}$



2. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $4 \times 10^{-13}$



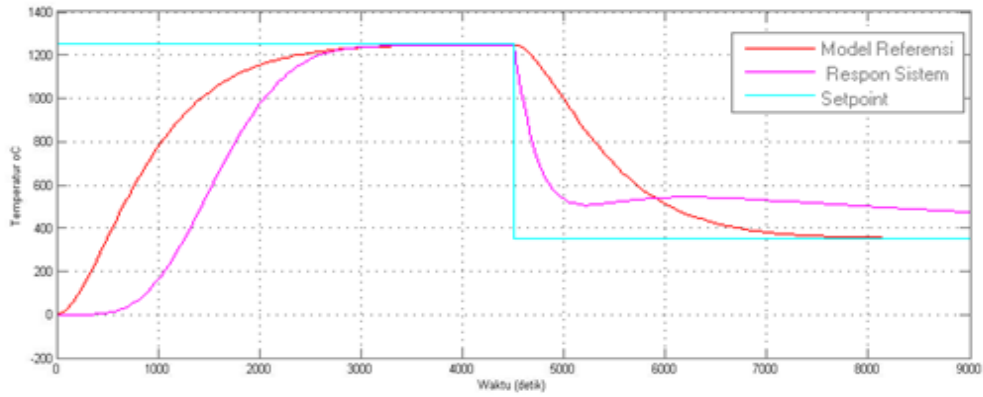
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

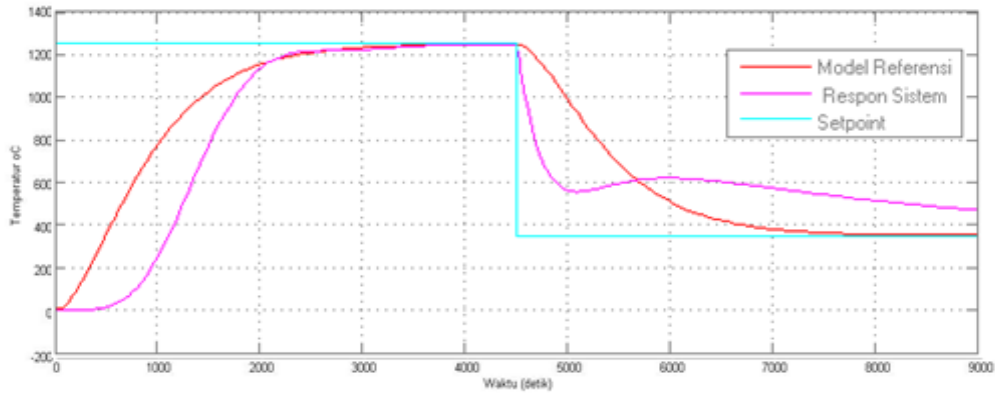
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

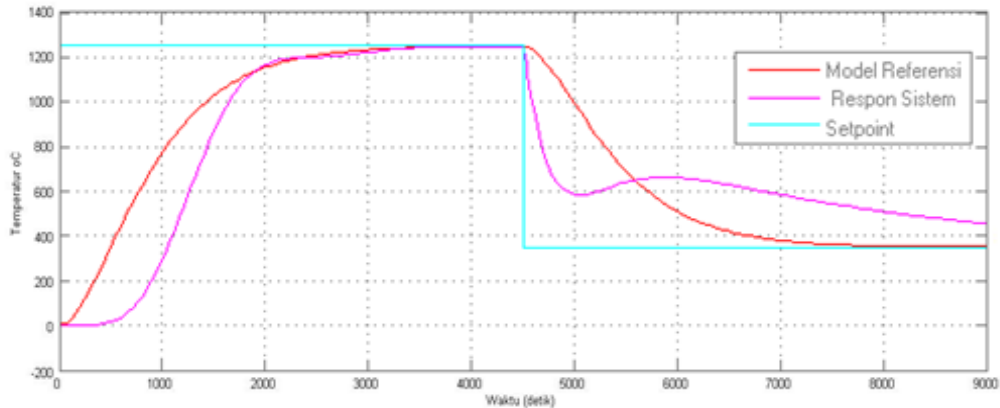
3. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $5 \times 10^{-13}$



4. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $8 \times 10^{-13}$



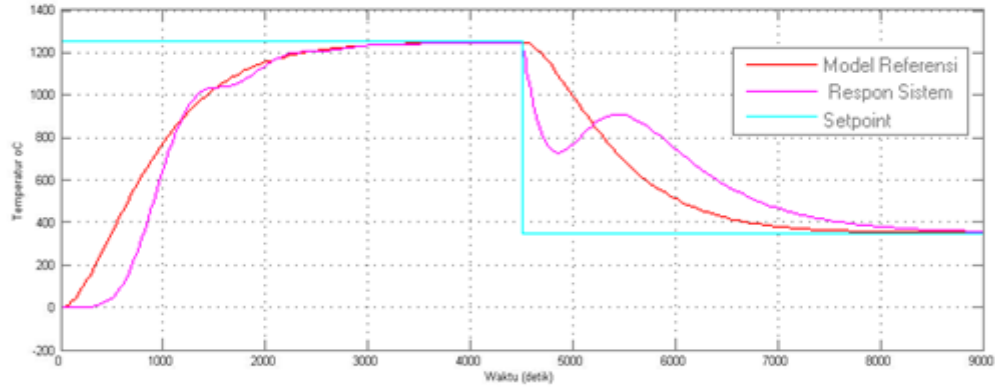
5. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $10^{-12}$



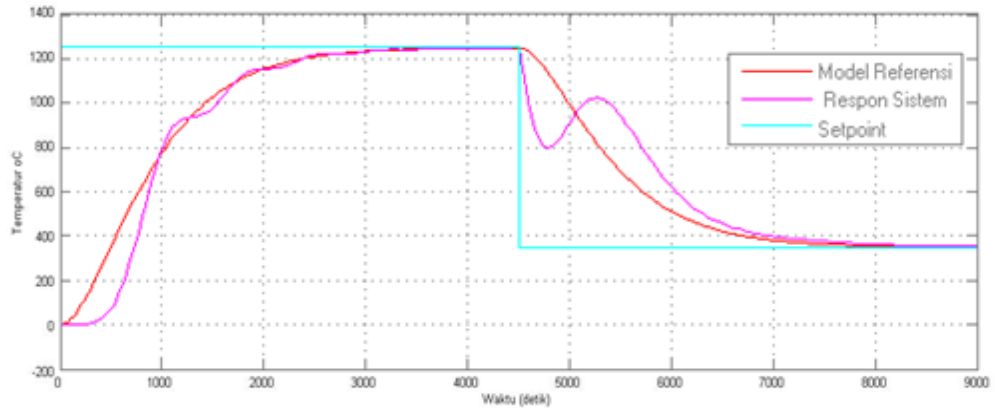
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

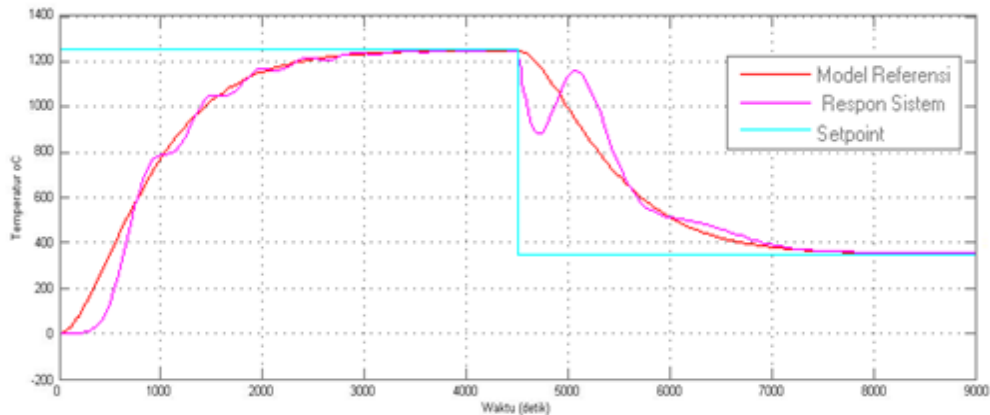
6. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $3 \times 10^{-12}$ .



7. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $5 \times 10^{-12}$ .



8. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $10^{-11}$ .



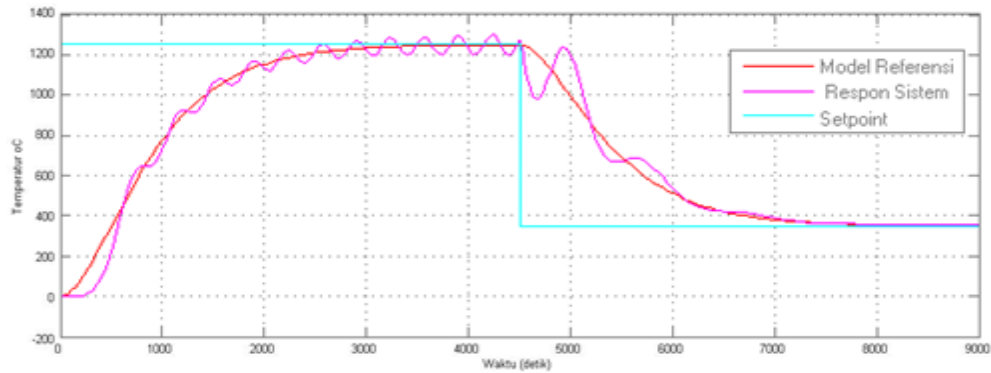
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

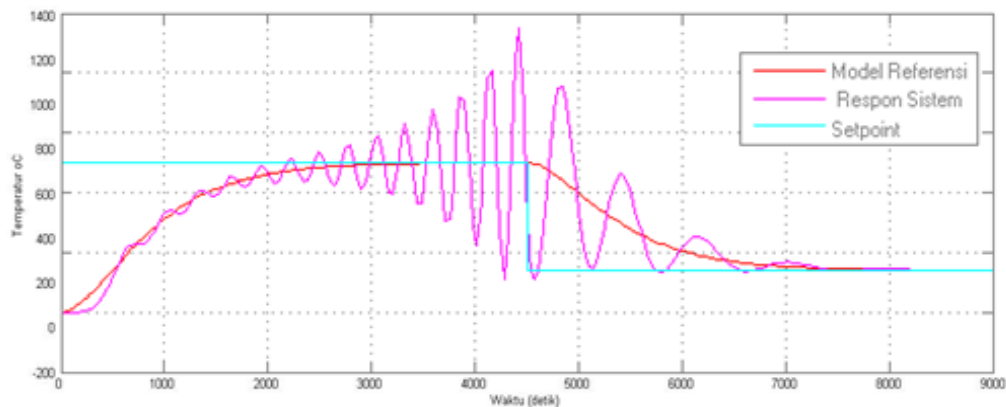
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

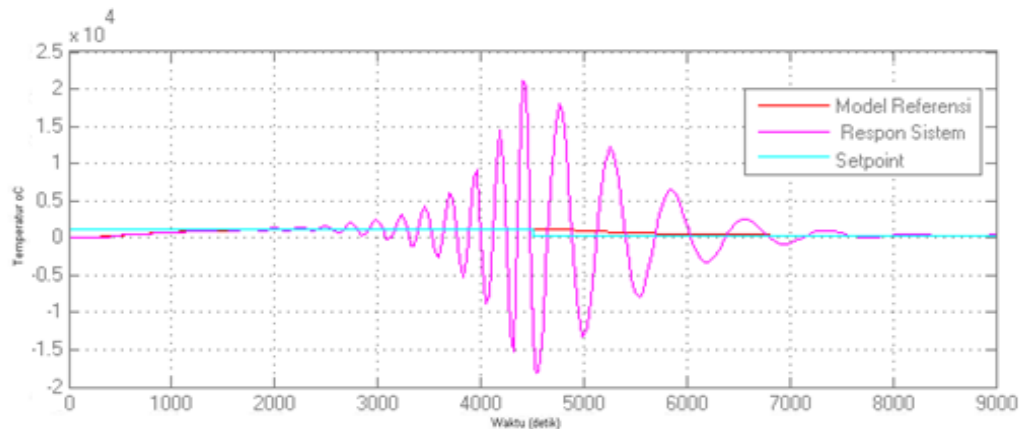
9. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $2 \times 10^{-11}$



10. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $3 \times 10^{-11}$



11. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $4 \times 10^{-11}$

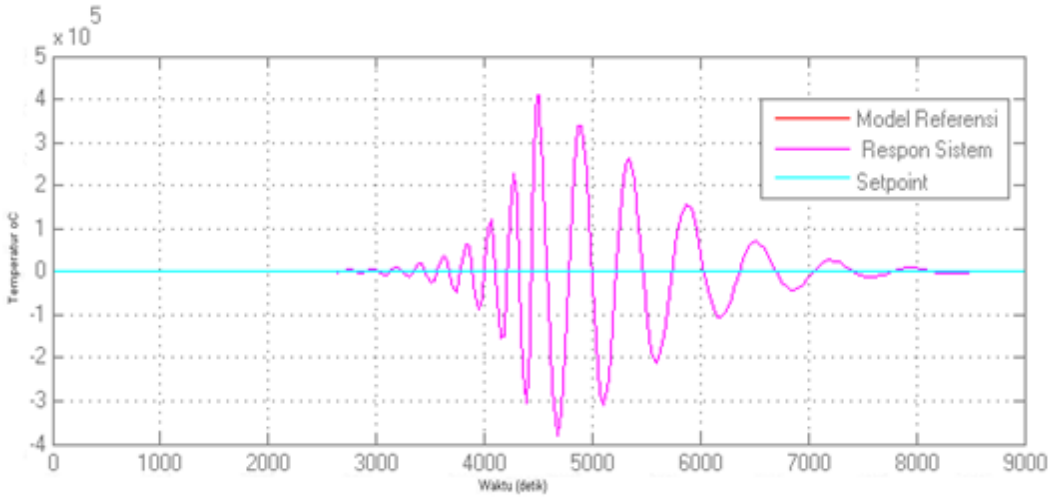


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    -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





12. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC dengan nilai gain sebesar  $5 \times 10^{-11}$



UIN SUSKA RIAU

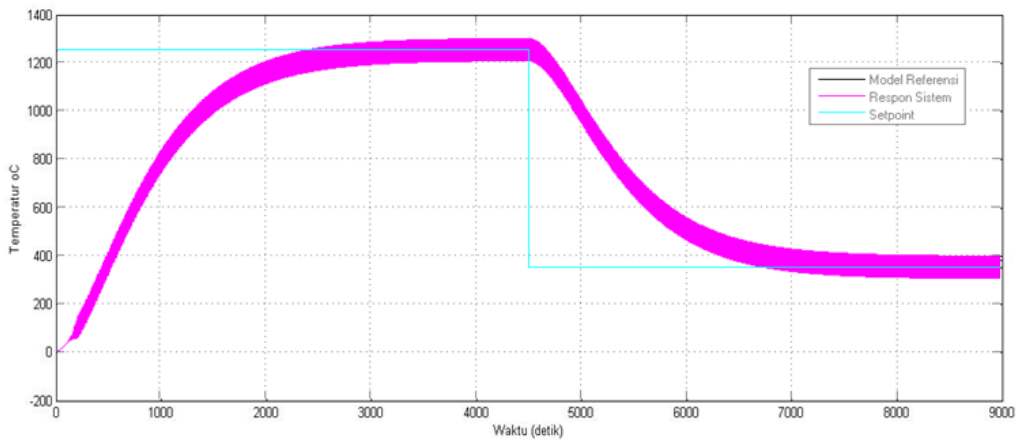
**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

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

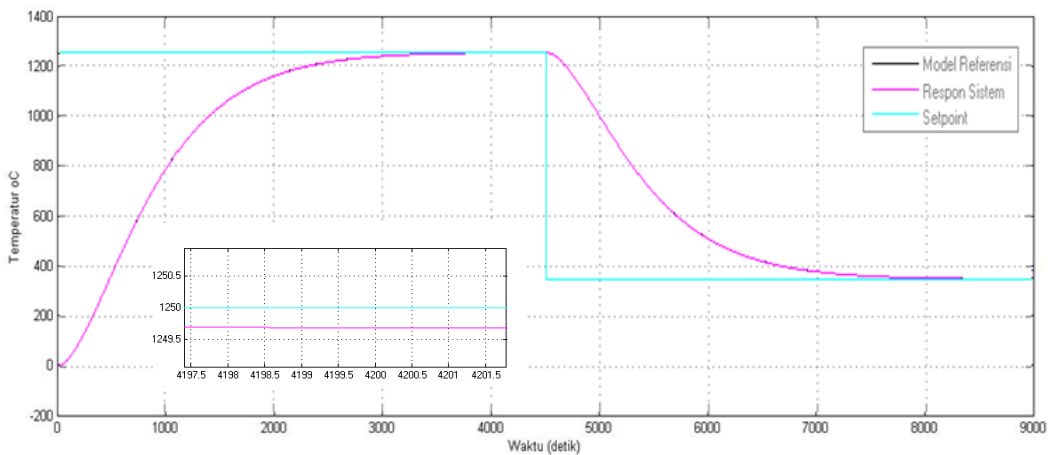
## LAMPIRAN C

### PROSES Pencarian Lebar Keanggotaan Pengendali Fuzzy Mamdani Menggunakan Metode Heuristik Untuk Mengendalikan Temperatur Pada Sistem Annealing Lehr

Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-350 0 350], *delta error* [-350 0 350], dan *output* [-120 0 120]



Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-250 0 250], *delta error* [-350 0 350], dan *output* [-120 0 120]

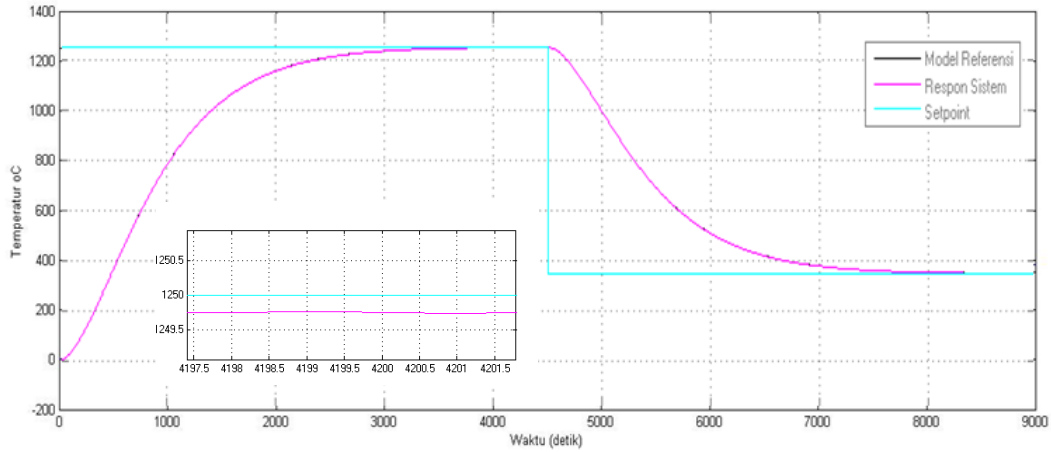


- Hak cipta dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - 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.

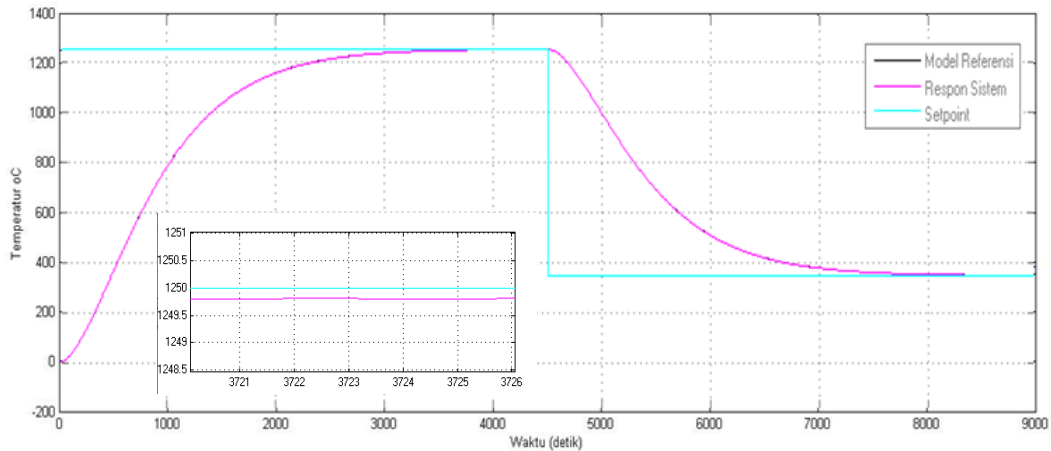


3. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-200 0 200], *delta error* [-350 0 350], dan *output* [-120 0 120]
  1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - 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.

Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-200 0 200], *delta error* [-350 0 350], dan *output* [-120 0 120]

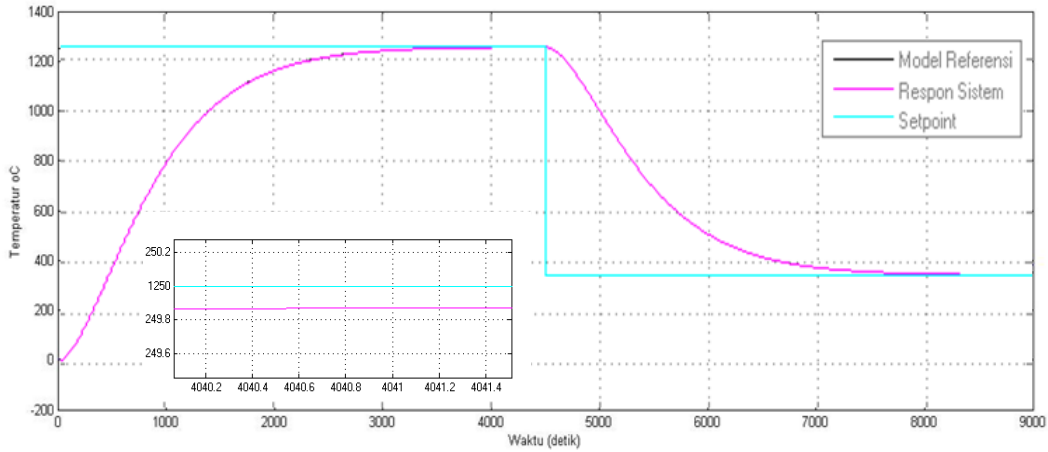


Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-150 0 150], *delta error* [-350 0 350], dan *output* [-120 0 120]

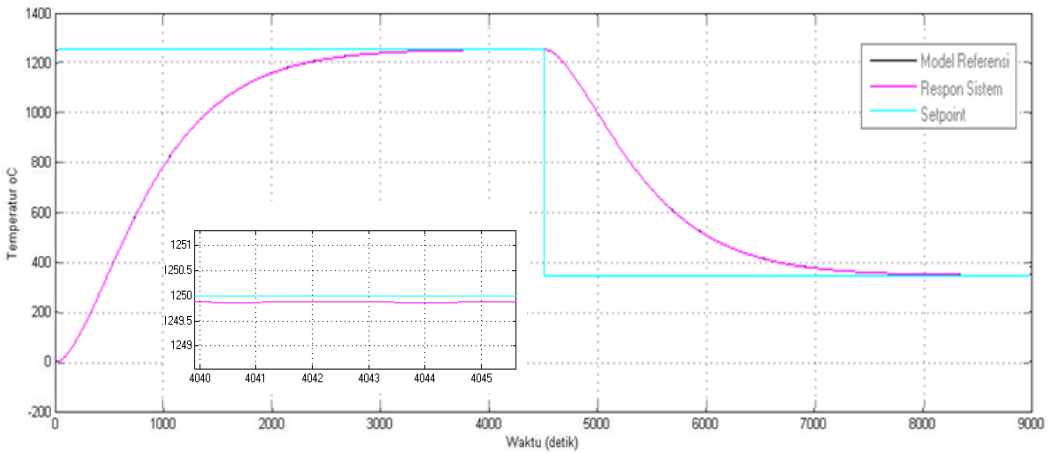




5. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-100 0 100], *delta error* [-350 0 350], dan *output* [-120 0 120]



5. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-100 0 100], *delta error* [-300 0 300], dan *output* [-120 0 120]

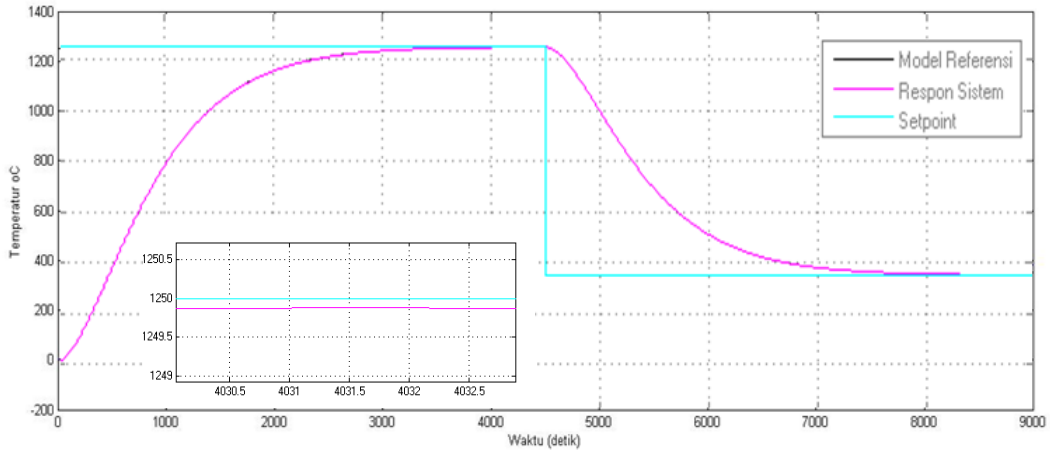


1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

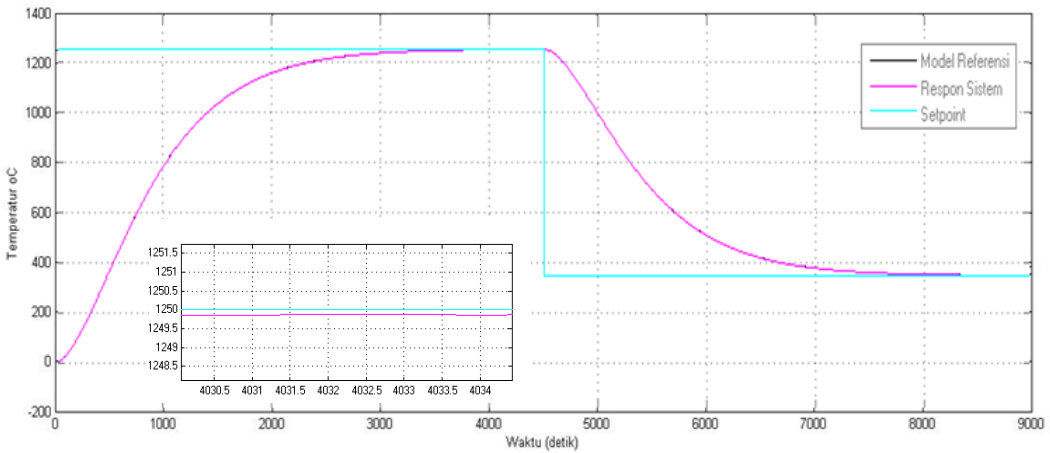
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis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



7. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-100 0 100], *delta error* [-250 0 250], dan *output* [-120 0 120]



7. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-100 0 100], *delta error* [-200 0 200], dan *output* [-120 0 120]



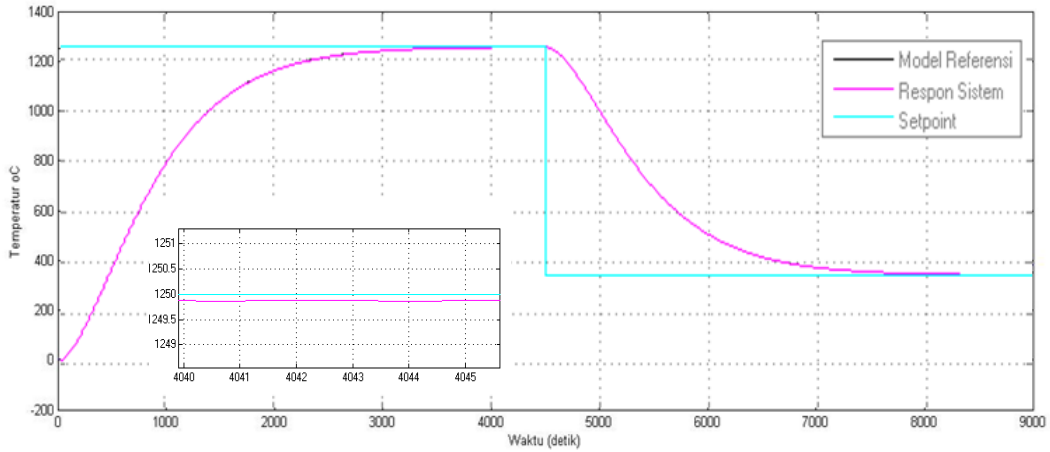
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

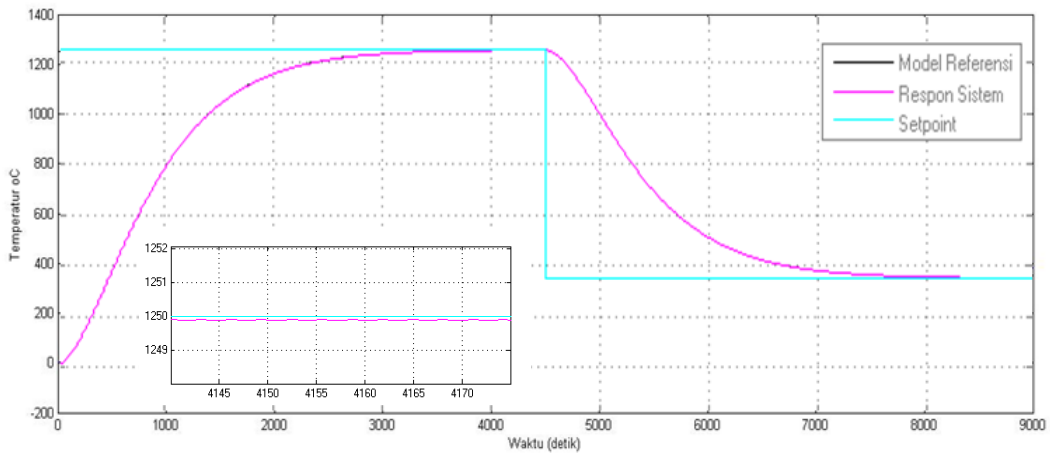


61. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Hasil simulasi respon sistem *annealing Lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-100 0 100], *delta error* [-150 0 150], dan *output* [-120 0 120]

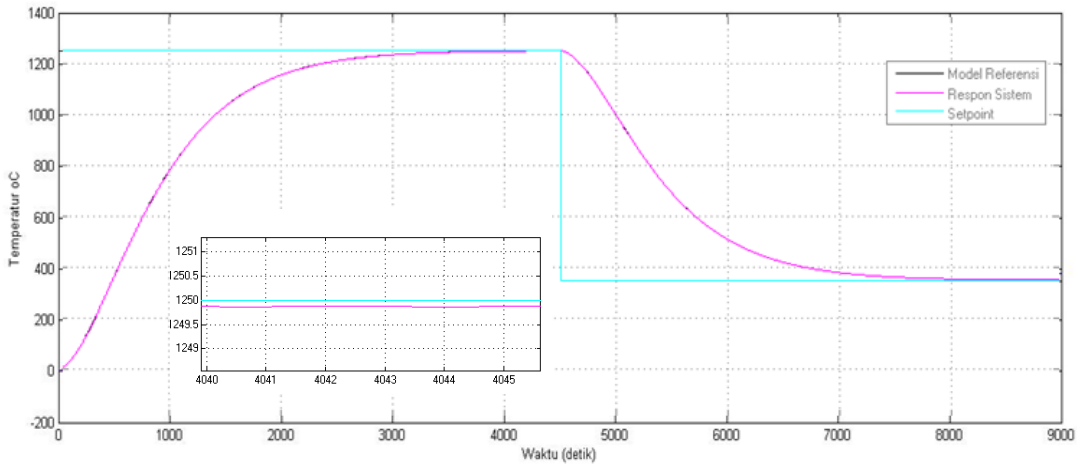


10. Hasil simulasi respon sistem *annealing Lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error* [-100 0 100], *delta error* [-150 0 150], dan *output* [-100 0 100]

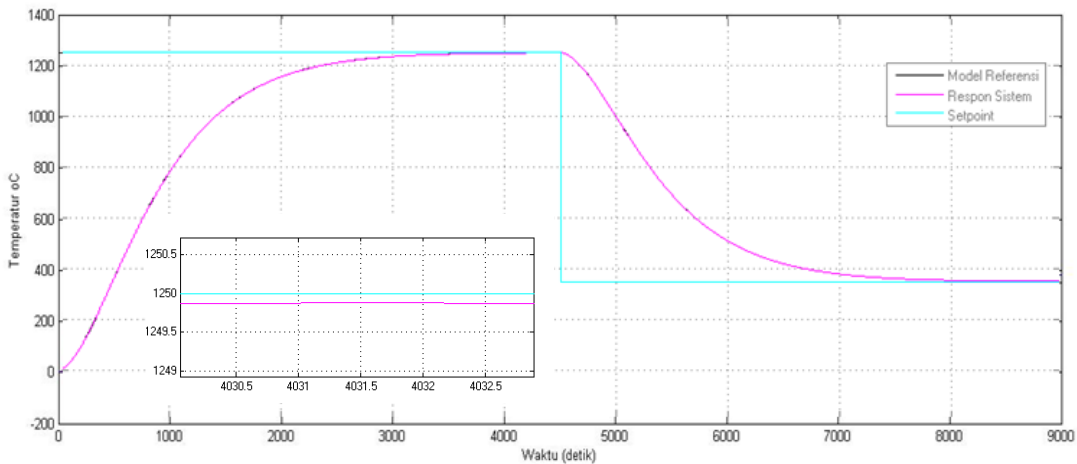




11. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan segitiga *error*  $[-100 \ 0 \ 100]$ , *delta error*  $[-150 \ 0 \ 150]$ , dan *output*  $[-80 \ 0 \ 80]$



2. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan trapesium *error* (+)  $[0 \ 300 \ 450 \ 450]$  *error* (-)  $[-450 \ -450 \ -300 \ 0]$ , *delta error* (+)  $[0 \ 350 \ 450 \ 450]$  *delta error* (-)  $[-450 \ -450 \ -350 \ 0]$ , dan *B*  $[0 \ 180 \ 300 \ 300]$  K  $[-300 \ -300 \ -180 \ 0]$



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



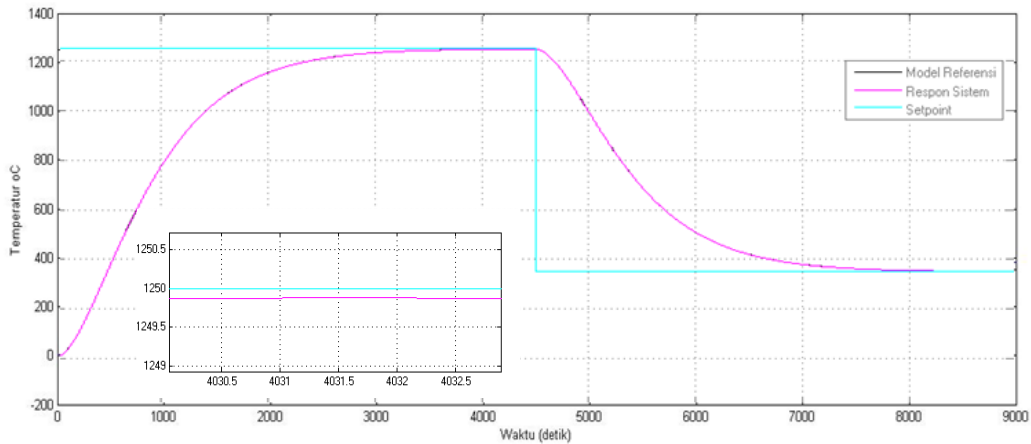
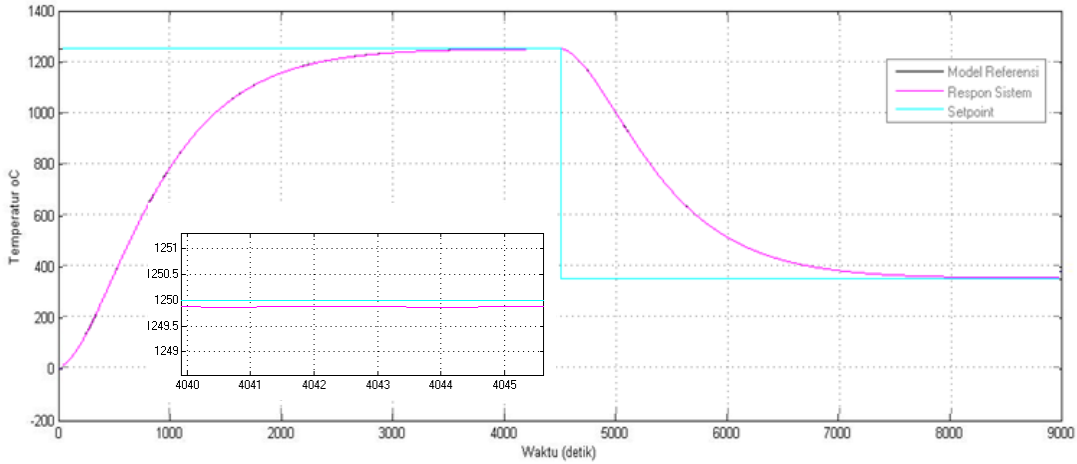
13. Hasil simulasi respon sistem *annealing Lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan trapesium *error (+)* [0 200 450 450] *error (-)* [-450 -450 -200 0], *delta error (+)* [0 350 450 450] *delta error (-)* [-450 -450 -350 0], dan *B* [0 180 300 300] *K* [-300 -300 -180 0]
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

13. Hasil simulasi respon sistem *annealing Lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan trapesium *error (+)* [0 200 450 450] *error (-)* [-450 -450 -200 0], *delta error (+)* [0 350 450 450] *delta error (-)* [-450 -450 -350 0], dan *B* [0 180 300 300] *K* [-300 -300 -180 0]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

4. Hasil simulasi respon sistem *annealing Lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan trapesium *error (+)* [0 200 450 450] *error (-)* [-450 -450 -200 0], *delta error (+)* [0 250 450 450] *delta error (-)* [-450 -450 -250 0], dan *B* [0 180 300 300] *K* [-300 -300 -180 0]

1. Diarangi 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.

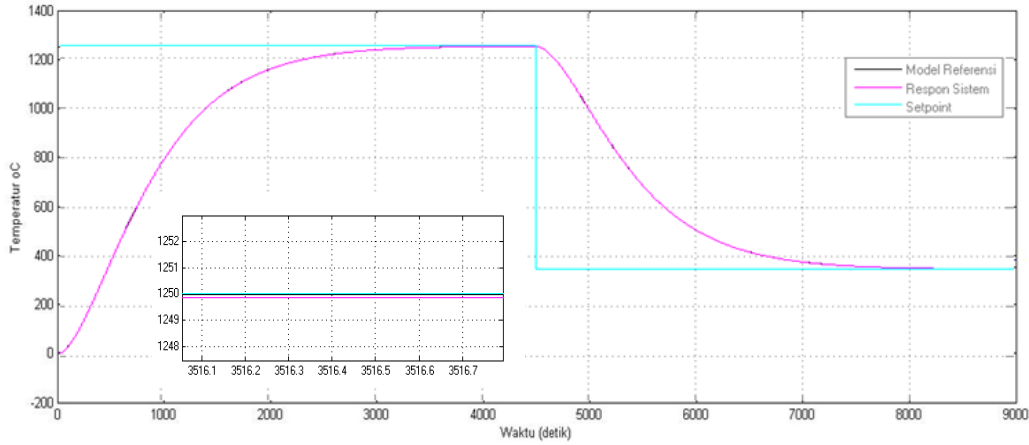




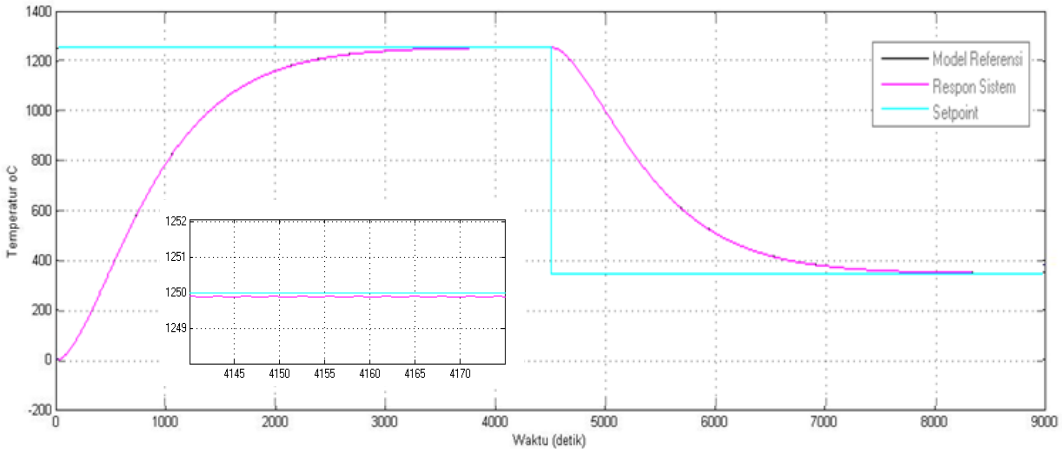


1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

15. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan trapesium *error* (+) [0 100 450 450] *error* (-) [-450 -450 -100 0], *delta error* (+) [0 150 450 450] *delta error* (-) [-450 -450 -150 0], dan *B* [0 120 300 300] K [-300 -300 -120 0]



6. Hasil simulasi respon sistem *annealing lehr* menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy dengan lebar keanggotaan trapesium *error* (+) [0 100 450 450] *error* (-) [-450 -450 -100 0], *delta error* (+) [0 140 450 450] *delta error* (-) [-450 -450 -140 0], dan *B* [0 120 300 300] K [-300 -300 -120 0]





## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Joko Bagus lahir pada tanggal 24 November 1997 sebagai anak ke-3 dari Bapak Zainal Arifin dan Ibu Imroatin dengan jumlah saudara sebanyak 4 bersaudara.beralamat di Dusun Suka Mandiri Desa Bagan Jaya Kecamatan Enok Kabupaten Indragiri Hilir, Riau. Penulis menempuh pendidikan dasar di MI Anwarul Falah dan lulus pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di MTs Anwarul Falah sampai tahun 2012, pada saat duduk dikelas 2 MTs, penulis aktif di Organisasi Intra Sekolah dan menjadi Ketua Osis ditahun tersebut, karena masalah keluarga penulis pindah sekolah ke MTs Al-Huda Al-Ilahiyah dan lulus pada tahun 2013. Selanjutnya penulis melanjutkan studi ke sekolah menengah pertama di SMAN 2 Enok. Pada saat penulis duduk dikelas 1 SMA aktif di Organisasi Intra Sekolah dan menjadi Wakil Ketua Osis, kemudian menjadi Ketua Pramuka pada saat duduk dikelas 2 SMA dan menjadi pemangku adat pada saat kelas 3 SMA, penulis menyelesaikan studi di SMA pada tahun 2016 dan melanjutkan studi ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Islam negeri sultan syarif kasim riau dengan program studi teknik elektro konsentrasi elektronika Intrumentasi.

Berkat izin Allah SWT, pantang menyerah dan semangat yang tinggi, do'a dan motivasi dari orang tua, keluarga serta kerabat, penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini dapat memberi manfaat dan kontribusi bagi siapa saja yang membutuhkannya.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang setinggi-tingginya kepada Allah SWT atas terselesaikannya Tugas Akhir yang berjudul “Desain Pengendali MRAC-*Fuzzy* untuk Mengendalikan Temperatur pada Sistem *Annealing Lehr*”.

No. Hp : 081990442165

Email : jokobagus.ids@gmail.com