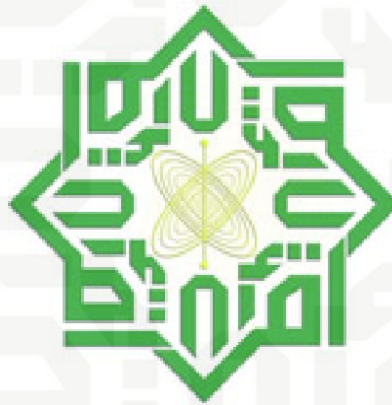


**PERANCANGAN PENGENDALI *LINEAR QUADRATIC REGULATOR*
(LQR)-PD UNTUK MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA
*ISOTHERMAL CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)***

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 :

FANNY ROHADATUL 'AISY

11655203584

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

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

2022

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN PENGENDALI LINEAR *QUADRATIC REGULATOR* (LQR)-PD UNTUK MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA *ISOTHERMAL* *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR)

TUGAS AKHIR

oleh:

FANNY ROHADATUL 'AISY

11655203584

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 20 Januari 2022

Ketua Program Studi

Digitally
signed by
Zulfatri Aini
Tanggal:
2022.01.28
09:37:24 WIB

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T
NIP. 197210212006042001

Pembimbing I

Ahmad Faizal
2022.01.27
14:57:00
+07'00'

Ahmad Faizal, S.T., M.T
NIP. 198806302015031006

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.

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN PENGENDALI *LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)*-PD UNTUK MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA *ISOTHERMAL* *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)*

TUGAS AKHIR


oleh:

FANNY ROHADATUL 'AISY
11655203584

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 20 Januari 2022

Pekanbaru, 20 Januari 2022

Mengesahkan,


Dekan
Dr. Drs. Hartono, B.A., M.Pd.
NIP. 196403011992031003

Ketua Program Studi


Digitally signed by
Zulfatri Aini
Tanggal:
2022.01.28
09:37:58
WIB
Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP. 197210212006042001

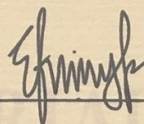

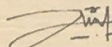
DEWAN PENGUJI :

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

Sekretaris : Ahmad Faizal, S.T., M.T.

Anggota I : Halim Mudia, S.T., M.T.

Anggota II : Aulia Ullah, S.T., M.Eng.


Ahmad Faizal
2022.01.24
11:12:04
+07'00'

Halim Mudia
Tanggal:
2022.01.25
16:22:01 WIB


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

Lampiran Surat :

Nomor : Nomor 25/2021

Tanggal : 07 JANUARI 2022

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : FANNY ROHADATUL 'AISY
NIM : 11655203584
Tempat/Tgl. Lahir : PEKANBARU, 17 JULI 1998
Fakultas/Pascasarjana : SAINS DAN TEKNOLOGI
Prodi : TEKNIK ELEKTRO
Judul Skripsi : PERANCANGAN PENGENDALI LINEAR
QUADRATIC REGULATOR (LQR)-PD UNTUK
MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA
ISOTHERMAL CONTINUOUS STIRRED TANK
REACTOR (CSTR)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

- Penulisan Skripsi dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri
- Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah di sebutkan sumbernya
- Oleh karena itu Skripsi saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat
- Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Skripsi saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

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

Pekanbaru, 28 Januari 2022

Yang membuat pernyataan



FANNY ROHADATUL 'AISY
NIM. 11655203584

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 diharapakan 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 mengumunkan 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, 20 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,

FANNY ROHADATUL 'AISY
NIM. 11655203584

UIN SUSKA RIAU

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

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

(HR.Tirmidzi)

Terima Kasih Ya Allah...

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

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.

(QS : Al-Mujadilah 11)

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

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

(QS: Al-Isra 80)

/ Fanny Rohadatul ‘Aisy |
| 2022 |

PERANCANGAN PENGENDALI LINEAR *QUADRATIC REGULATOR* (LQR)-PD UNTUK MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA *ISOTHERMAL CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)*

FANNY ROHADATUL 'AISY

NIM : 11655203584

Tanggal Sidang : 20 Januari 2022

Program Studi Teknik Elektro Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Sistem di industri sering terjadi kesalahan dalam mencapai kinerja atau performansi yang diinginkan, salah satunya pada sistem *isothermal CSTR*. Salah satu variabel yang dikendalikan pada sistem *Isothermal CSTR* ialah konsentrasi, karena konsentrasi merupakan salah satu variabel yang berpengaruh terhadap laju kesetimbangan. Oleh karena itu agar sistem menghasilkan respon keluaran yang baik, dipilih suatu pengendali optimal yaitu *Linear Quadratic Regulator (LQR)*. Pengendali optimal LQR ini dipilih berdasarkan pada kemampuannya dalam yang baik dalam mengoptimalkan kinerja sistem, pengujian LQR dengan menentukan nilai pembobot Q dan R pada pengendali LQR menggunakan analisa IAE dengan nilai $Q=0.44$ dan $R=1$. Namun pengendali LQR ini masih menimbulkan *error steady state* pada sistem, maka pengendali LQR ditambahkan pengendali PD untuk mengurangi *error steady state* dimana penentuan model referensi digunakan *MIT RULE* dan metode heuristik untuk menentukan nilai K_p dan K_d . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan pengendali PD mengatasi *error steady state* yang di timbulkan pengendali LQR dengan demikian pengendali LQR-PD mampu menghasilkan performansi yang lebih baik dibandingkan pengendali LQR serta mengurangi *overshoot* dan menghilangkan *Error Steady State* yang di timbulkan pengendali LQR, dimana didapatkan nilai-nilai parameter nya adalah $t_r=0.7780$ detik, $t_s=1.0615$ detik, $t_d=0.2155$ detik, $M_p=0.0002\%$, $E_{ss}=0$ g.mol/liter.

Kata Kunci : *Isothermal CSTR*, konsentrasi, LQR, PD, Analisa IAE

DESIGN OF LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)-PD CONTROL TO CONTROL CONCENTRATION ON ISOTHERMAL CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)

FANNY ROHADATUL 'AISY

Student Number : 11655203584

Date of Final Exam : , 20 Januari 2022

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science of Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

In industrial systems, errors often occur in achieving the desired performance or performance, one of which is the CSTR isothermal system. One of the variables controlled in the Isothermal CSTR system is concentration because concentration is one of the variables that affect the rate of equilibrium. Therefore, for the system to produce a good output response, an optimal controller is chosen, namely the Linear Quadratic Regulator (LQR). The optimal LQR controller was chosen based on its excellent ability to optimize system performance, LQR testing by determining the weighting values of Q and R on the LQR controller using IAE analysis $Q=0.44$ and $R=1$. However, this LQR controller still causes steady-state errors in the system, so the LQR controller is added with a PD controller to reduce steady-state errors where the MIT RULE and heuristic methods are used to determine the values K_p and K_d . The results of this study indicate that the addition of a PD controller overcomes the steady-state error caused by the LQR controller so that the LQR-PD controller can produce better performance than the LQR controller and reduces overshoot and eliminates the Steady State Error caused by the LQR controller, where the obtained values are: the parameter value is $t_r=0.7780$ second, $t_s=1.0615$ second, $t_d=0.2155$ second, $M_p=0.0002\%$, $E_{ss}=0$ g.mol/litre.

Keywords: *Isothermal CSTR, concentration, LQG, IAE analysis*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Perancangan Pengendali *Linear Quadratic Regulator (LQR)*-PD untuk Mengendalikan Konsentrasi Pada *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*”**.

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. Papa tersayang dan Mama tersayang yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bang Feri, Bang Fidel dan Bang Rio yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Hairunnas, M.Ag selaku rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
4. 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.
5. Ibu Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau sekaligus dosen penguji satu tugas akhir ini.

6. Bapak Sutoyo, S.T., M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
7. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom selaku ketua sidang yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
9. Bapak Halim Mudia, S.T., M.T dan Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
10. Bapak Oktaf Brillian Kharisma, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
11. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Para sahabat Indah Ramadhani, Leony Monica Adella dan Mayanur Hasanah yang telah sama-sama berjuang, memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Aulia Rahma Jumardi, S.T dan Syafri Yandi, S.T yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir serta banyak memberikan masukan dan motivasi untuk penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Pejuang Te A yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
15. Para sahabat dari SMP dan SMA Sherin Dwi Agustin, Elma Priyana, Suci Fratiwi dan Nur Kharisma yang selalu mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
16. Instrumen 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 penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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.

17. Diri sendiri, yang telah ingin berjuang menyelesaikan Tugas Akhir ini, walaupun dengan semangat yang naik turun tetap bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik mungkin.

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, 20 Januari 2022

Penulis,

Fanny Rohadatul 'Aisy

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Rumusan Masalah	I-3
1.3. Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4. Batasan Masalah.....	I-3
1.5. Manfaat Penelitian.....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Penelitian Terkait	II-1
2.2. Landasan Teori.....	II-2
2.2.1. <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i>	II-2
2.2.1. Persamaan-Persamaan pada <i>Ishothermal CSTR</i>	II-2
2.3. <i>Linear Quadratic Regulator (LQR)</i>	II-6
2.4. Sistem Kendali	II-11
2.5. Pengendalian Sistem.....	II-12
2.5.1. Pengendali Proportional (P)	II-12
2.5.2. Pengendali <i>Derrivative (D)</i>	II-13
2.6. Identifikasi <i>Respon Transient</i>	II-14
2.7. Metode <i>Heuristic</i>	II-15
2.8. Kriteria Integral Menggunakan <i>Integral of Absolute Error (IAE)</i>	II-15
2.9. Interpolasi Linear	II-16
2.10. MATLAB	II-16
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Proses Alur Penelitian	III-1
3.2. Tahapan Penelitian	III-2
3.3. Perubahan Pemodelan Matematis Ke Fungsi Transfer	III-3
3.4. Validasi Pemodelan Matematis	III-4
3.5. Skenario Penelitian	III-5

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

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

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

3.6. Perancangan Pengendali	III-6
3.6.1. Perancangan Pengendali <i>Linear Quadratic Regulator</i> (LQR)	III-6
3.6.2. Perancangan Pengendali LQR-PD	III-8
3.6.3. Perancangan Pengendali LQR-PD dengan Gangguan	III-10

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1. Gambaran Umum Analisa	IV-1
4.2. Analisa Konsentrasi pada <i>Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor</i> (CSTR) secara <i>Open Loop</i>	IV-1
4.3. Analisa Konsentrasi pada <i>Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor</i> (CSTR) Menggunakan Pengendali <i>Linear Quadratic Regulator</i> (LQR)	IV-5
4.4. Analisa Konsentrasi pada <i>Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor</i> (CSTR) Menggunakan Pengendali LQR-PD	IV-10
4.5. Analisa Konsentrasi pada <i>Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor</i> (CSTR) Menggunakan Pengendali LQR-PD Dalam Mengatasi Gangguan	IV-16

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	V-1
5.2. Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Representasi Skema pada Reaktor[4].....	II-3
Gambar 2.2	Sistem Kendali dengan Skema Kendali Optimal LQR[13].....	II-9
Gambar 2.3	Diagram Blok Kontrol <i>Proporsional</i> [15].....	II-12
Gambar 2.4	Diagram Blok Kendali <i>derivative</i> [15].....	II-13
Gambar 2.5	Respon Sistem Orde Dua[14].....	II-14
Gambar 2.6	Kurva untuk Interpolasi Linier	II-16
Gambar 2.7	Ikon MATLAB R2014a	II-17
Gambar 2.8	Tampilan Model <i>Simulink</i> pada MATLAB.....	II-18
Gambar 2.9	Kotak Dialog <i>Simulink Library</i>	II-18
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penelitian	III-2
Gambar 3.2	Diagram Blok <i>Open Loop</i> Konsentrasi <i>Isothermal</i> CSTR.....	III-5
Gambar 3.3	Grafik Keluaran <i>Open Loop</i> Konsentrasi <i>Isothermal</i> CSTR.....	III-5
Gambar 3.4	Tampilan Program Menggunakan Pengendali LQR	III-7
Gambar 3.5	Rangkaian Blok Diagram Pengendali LQR	III-8
Gambar 3.6	Rangkaian <i>Simulink</i> Pengendali LQR	III-8
Gambar 3.7	Rangkaian Blok Diagram LQR-PD.....	III-9
Gambar 3.8	Rangkaian <i>Simulink</i> Pengendali LQR-PD.....	III-9
Gambar 3.9	Rangkaian <i>Simulink</i> Pengendali LQR-PD dengan Gangguan.....	III-10
Gambar 3.10	Contoh Pengujian Secara Simulasi	III-11
Gambar 3.11	Contoh Menjalankan Simulasi	III-11
Gambar 3.12	Contoh Menampilkan Grafik Keluaran Sistem.....	III-12
Gambar 3.13	Contoh Tampilan Grafik pada Scope	III-12
Gambar 4.1	Grafik Keluaran <i>Open Loop</i> Konsentrasi <i>Isothermal</i> CSTR.....	IV-22
Gambar 4.2	Grafik Keluaran Simulasi Sistem <i>Isothermal</i> CSTR Menggunakan Pengendali LQR	IV-26
Gambar 4.3	Grafik Keluaran Simulasi Sistem <i>Isothermal</i> CSTR Menggunakan Pengendali LQR-PD.....	IV-28
Gambar 4.4	Grafik Keluaran Simulasi Sistem <i>Isothermal</i> CSTR Menggunakan Pengendali LQR-PD dengan Gangguan.....	IV-29

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Proses <i>Isothermal</i> CSTR[4].....	IV-3
Tabel 4.1	Respon Waktu Sistem Secara <i>Open Loop</i>	IV-20
Tabel 4.2	Percobaan Metode <i>Trial and Error</i> dengan Analisa Pengendali LQR.....	IV-20
Tabel 4.3	Respon Waktu Sistem Menggunakan Pengendali LQR	IV-24
Tabel 4.4	Percobaan Nilai Parameter PD pada Sistem <i>Isothermal</i> CSTR.....	IV-25
Tabel 4.5	Respon Waktu Sistem dengan Menggunakan Pengendali LQR-PD	IV-28
Tabel 4.6	Perbandingan Respon Waktu Sistem Menggunakan Pengendali LQR dengan LQR-PD	IV-28

DAFTAR RUMUS

- © Hak cipta milik UIN Suska Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
- 2.1 Keseimbangan material keseluruhan
 - 2.3 Keseimbangan bahan komponen
 - 2.6 Laju pembentukan molar komponen A
 - 2.7 Laju pembentukan molar komponen B
 - 2.8 Konsentrasi keadaan tunak A
 - 2.9 Konsentrasi keadaan tunak B
 - 2.17 Elemen ruang pada *state space* matriks A
 - 2.25 Elemen ruang pada *state space* matriks B
 - 2.41 Persamaan Hamilton
 - 2.49 Konstanta umpan balik
 - 2.52 Persamaan *maximum overshoot*
 - 2.53 Persamaan garis lurus yang melalui 2 titik P_1 dan P_2
 - 2.54 Persamaan dari interpolasi linier

DAFTAR SINGKATAN

ICSTR	: <i>Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor</i>
LQR	: <i>Linear Quadratic Regulator</i>
PD	: <i>Proportional Derivative</i>
IAB	: <i>Integral of Absolute Error</i>
MATLAB	: <i>Matrix Laboratori</i>

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada saat ini perkembangan dunia industri memiliki pengaruh bagi kehidupan manusia, karena sebagian besar kebutuhan hidup manusia berasal dari hasil industri seperti makanan dan minuman. Dengan adanya perkembangan teknologi pada saat ini mempengaruhi permintaan masyarakat akan kebutuhan industri seperti makanan dan minuman. Makanan dan minuman berperan penting terhadap pertumbuhan dan perkembangan negara karena makanan dan minuman termasuk kebutuhan pokok primer[1].

Berdasarkan data Kemenperin, produk makanan dan minuman Indonesia tercatat sebagai penyector terbesar terhadap investasi diangka Rp.41,43 triliun sepanjang tahun 2019. Industri makanan dan minuman juga menyerap tenaga kerja paling banyak disektor manufaktur dengan jumlah 4,74juta orang hingga agustus 2019[2]. Dalam dunia industri tersebut proses pembuatan makanan dan minuman terjadi dengan reaksi kimia dimana banyak ditemukan reaktor pada proses produksinya. Reaktor dibedakan berdasarkan bentuk reaktor yang digunakan, proses yang berlangsung, atau kondisi operasinya[3].

Salah satu bentuk reaktor ialah *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR), dimana *isothermal* CSTR merupakan sejenis CSTR yang beroperasi pada suhu konstan. Volume juga diasumsikan konstan[4]. Pada sistem CSTR terdapat beberapa parameter yang dikendalikan diantaranya yaitu konsentrasi (*concentration*), ketinggian (*level*), suhu (*temperature*), tekanan (*pressure*), laju aliran (*flow*) dan sebagainya. Oleh karena itu CSTR merupakan sistem *non linear* multivariabel karena pada proses ini selalu berubah terhadap waktu proses dan tidak stabil. Sedangkan parameter yang dikendalikan yaitu konsentrasi, karena parameter yang lain dianggap konstan dan semakin tinggi konsentrasi dalam reaktor maka semakin cepat waktu mencapai *steady state*. Contohnya penerapan CSTR pada industri minuman, pengendalian CSTR pada industri minuman digunakan untuk mendapatkan kualitas rasa sesuai dengan standard yang diberikan, dimana kualitas rasa dalam CSTR dipengaruhi konsentrasi masing-masing fluida yang dicampur sehingga diperlukan pengendalian konsentrasi tiap-tiap fluida[5].

Permasalahan pada *isothermal* CSTR yaitu *disturbance* dan *delay*[4]. Penelitian yang telah dilakukan menggunakan 2 pengendali yaitu *Proportional Integral Derivative* (PID) dan *Fuzzy Logic Controller* yang di *hybrid* dan masih terdapat *overshoot* sebesar 5.5% dengan *rise time* 4.580 detik dan *settling time* sebesar 6.5306 detik[4]. Penelitian ini hasil keluaran sistem waktu naik atau *rise time* masih lama dalam mencapai *setpoint* dan masih terdapat *overshoot* yang cukup besar.

Penelitian yang telah dilakukan pengendalian *isothermal* CSTR menggunakan pengendali *hybrid* SMC dan PID. Penelitian ini mendapatkan hasil dengan waktu tunak atau *settling time* 3.0446 detik dengan nilai *error steady state* 0.0002 g.moll/litter[6]. Pada penelitian ini pengendali telah mencapai *setpoint* tetapi waktu tunak nya masih lama dan masih mengalami *error steady state*.

Pada penelitian lain menggunakan pengendali *hybrid* SMC dan *Fuzzy Logic Controller* dengan waktu tunak atau *settling time* 3.1174 detik, waktu naik atau *rise time* lebih dari 3 detik dan masih mengalami *error steady state* sebesar 0.0004[7]. Penelitian pada saat pengendali SMC dan *Fuzzy Logic* di *hybrid* mampu mencapai *setpoint* yang diinginkan tetapi masih waktu naik masih lama dalam mencapai *setpoint* dan jika menggunakan pengendali SMC masih terdapat *error steady state*.

Berdasarkan penelitian diatas menunjukkan bahwa pengendali yang telah digunakan waktu naik atau *rise time* masih lama dalam mencapai *setpoint*, masih terdapat *error steady state* dan masih terdapat *overshoot* yang cukup besar. Oleh sebab itu dipilih pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR). Pemilihan LQR karena pengendali ini mempunyai kemampuan yang baik dalam mengoptimalkan kinerja sistem, keoptimalannya dalam mempercepat respon waktu untuk mencapai *setpoint*, kestabilan dan *disturbance rejection*[8]. Dalam percobaan pengendali LQR menggunakan IAE dengan percobaan *trial and error* pada pengendali LQR untuk mendapatkan respon sistem dengan mencapai *setpoint* yang diinginkan[9].

Penelitian yang menggunakan pengendali LQR untuk pengendalian posisi sistem *magnetic levitation ball*. Pengendalian posisi sistem *magnetic levitation ball* menggunakan kendali optimal LQR respon sistem yang didapat pada keadaan *steady state* adalah 0.0698 detik[10]. Pada hasil keluaran sistem menggunakan pengendali LQR dapat mencapai *setpoint* dan menunjukkan performansi sistem mencapai optimal walaupun terdapat gangguan.

Berdasarkan studi literatur dan hasil simulasi *Isothermal CSTR* secara *open loop* belum mampu mencapai *setpoint* yang diharapkan serta *respon transient* yang belum optimal. Oleh sebab itu pengendali LQR pada penelitian ini mengkombinasikan dengan pengendali PD. Peranan PD dapat membantu pengendali LQR dimana proporsional membantu dalam mempercepat respon sistem mencapai *setpoint* dan derivatif untuk memperkecil *error steady state*, dan meredam osilasi atau *overshoot*[11].

Berdasarkan hal tersebut penulis akan mengkombinasikan LQR-PD untuk mendapatkan *respon transient* yang optimal dan mampu mencapai *setpoint*, maka penulis mengambil judul Tugas Akhir yaitu **“Perancangan Pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR)-PD untuk Mengendalikan Konsentrasi pada *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor* (ICSTR)”**.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pengendali PD pada pengendali LQR untuk mengendalikan konsentrasi pada *isothermal CSTR*.
2. Bagaimana performansi pengendali LQR setelah ditambahkan pengendali PD dalam mempercepat waktu naik.
3. Bagaimana performansi pengendali LQR setelah ditambahkan pengendali PD dalam mengurangi *error steady state*.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui hasil performansi ketika ditambahkan pengendali PD pada LQR untuk pengendalian konsentrasi pada *isothermal CSTR*.
2. Mengetahui hasil performansi ketika ditambahkan pengendali PD pada LQR dalam mempercepat waktu naik.
3. Mengetahui hasil performansi ketika ditambahkan pengendali PD pada LQR dalam mengurangi *error steady state*.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Pemodelan sistem *isothermal CSTR* berdasarkan penelitian .

2. Variabel yang dikendalikan adalah konsentrasi, yaitu konsentrasi A dan B.
3. Perancangan sistem pengendalian menggunakan kendali LQR.
4. Simulasi hanya menggunakan *software* MATLAB R2014a.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada tugas akhir ini adalah:

1. Sebagai referensi tambahan bagi penelitian-penelitian berikutnya.
2. Dapat menjadi referensi untuk penerapan pengendali dalam proses industri.

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 II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Dalam penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang terkait dengan masalah yang akan diselesaikan. Beberapa penelitian terkait tersebut adalah sebagai berikut.

Beberapa penelitian terkait tentang *isothermal* CSTR yakni *isothermal* CSTR belum mampu mencapai *setpoint* yang diinginkan sehingga diperlukan pengendali yang mampu meminimalisir *error steady state*. Penelitian yang telah dilakukan menggunakan 2 pengendali yaitu *Proportional Integral Derivative* (PID) dan *Fuzzy Logic Controller* yang di *hybrid* dan masih terdapat *overshoot* sebesar 5.5% *settling time* sebesar 6.5306 detik[4]. Penelitian ini hasil keluarannya masih terdapat *overshoot* yang cukup besar.

Penelitian yang telah dilakukan pengendalian *isothermal* CSTR menggunakan pengendali *hybrid* SMC dan PID. Penelitian ini mendapatkan hasil dengan waktu tunak atau *settling time* 3.0446 detik dengan nilai *error steady state* 0.0002 g.moll/litter[6]. Pada penelitian ini pengendali telah mencapai *setpoint* tetapi waktu tunak nya masih lama dan masih mengalami *error steady state*.

Pada penelitian lain menggunakan pengendali *hybrid* SMC dan *Fuzzy Logic Controller* dengan waktu tunak atau *settling time* 3.1174 detik, tetapi masih mengalami *error steady state* sebesar 0.0004[7]. Penelitian pada saat pengendali SMC dan *Fuzzy Logic* di *hybrid* mampu mencapai *setpoint* yang diinginkan tetapi jika menggunakan pengendali SMC masih terdapat *error steady state*.

Penelitian yang menggunakan pengendali LQR untuk pengendalian posisi sistem *magnetic levitation ball*. Pengendalian posisi sistem *magnetic levitation ball* menggunakan kendali optimal LQR respon sistem yang didapat pada keadaan *steady state* adalah 0.0698 detik[10]. Pada hasil keluaran sistem menggunakan pengendali LQR dapat mencapai *setpoint* secara optimal dan stabil.

Berdasarkan beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, terdapat beberapa sistem yang sudah dianalisa menggunakan beberapa pengendali, tetapi belum mencapai *setpoint*. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian dengan menggunakan pengendali LQR-PD untuk mengatasi kekurangan yang ditimbulkan

yaitu untuk mencapai *setpoint* mempercepat respon tertarik untuk menambahkan pengendali PD pada pengendali LQR untuk mengatasi kekurangan yang ditimbulkan pengendalian konsentrasi pada *isothermal* CSTR.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. *Isothermal Continous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

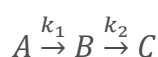
CSTR merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada industri kimia atau industri makanan. Reaktor digunakan sebagai tempat untuk mereaksikan reaktan-reaktan sehingga dihasilkan produk dengan spesifikasi yang diinginkan. Dalam pengoperasiannya, reaktor dapat dioperasikan secara *batch*, *semi-batch*, dan kontinyu. CSTR bisa berbentuk satu atau lebih tangki dalam bentuk seri yang dapat berguna untuk menghasilkan kualitas produk yang bagus[12].

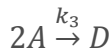
CSTR adalah tangki pengaduk yang umumnya digunakan dalam industri-industri kimia yang memerlukan pencampuran dua atau lebih fluida. Dari pencampuran tersebut terdapat proses termodinamika. Termodinamika hanya berfokus pada usaha yang dilakukan oleh sistem terhadap lingkungan. Ada beberapa proses termodinamika yang harus dikenal, yaitu isobar, isokhorik, *isothermal*, dan adiabatik. Pada penelitian ini dibahas mengenai *isothermal*, yaitu *isothermal* diartikan bahwa suatu sistem selalu berada pada kondisi suhu tetap.

Aplikasi CSTR banyak digunakan di industri makanan, minuman, bioteknologi atau dalam industri yang memerlukan proses pencampuran fluida. CSTR merupakan sistem *non linear* multivariabel, hal ini dapat dilihat dari banyaknya variabel yang dapat dikendalikan, diantaranya yaitu konsentrasi (*concentration*), ketinggian (*level*), laju aliran (*flow*), tekanan (*pressure*), suhu (*temperature*), dan lain sebagainya[13].

2.2.1. Persamaan-Persamaan pada *Ishothermal* CSTR

Ishoternal CSTR adalah sejenis CSTR yang beroperasi pada suhu konstan. Pada penelitian ini jenis cairan yang digunakan adalah *Cyclopentadine*, *Cyclopentenol*, *Cyclopentanediol*, dan *Dicyclopentadine*[4]. Kondisi *isothermal*, suhu umpan sama dengan suhu larutan di dalam reaktor maupun suhu larutan keluar reaktor[3]. *Isothermal* CSTR memiliki reaksi berikut skema yang disebut reaksi *Van de Vusse*[4].





Keterangan:

A = Cyclopentadine

B = Cyclopentenol

C = Cyclopentanediol

D = Dicyclopentadiene

k_1 = konstanta laju untuk A ke B (min^{-1})

k_2 = konstanta laju untuk B ke C (min^{-1})

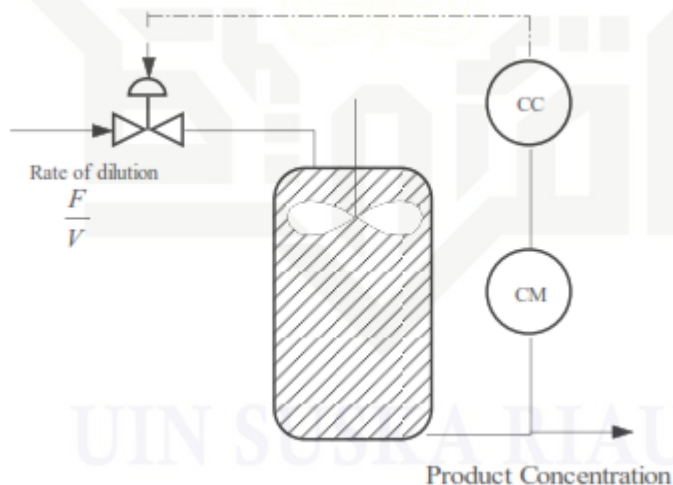
k_3 = konstanta laju untuk 2A ke D

Dari skema diatas ditentukan tahapan-tahapan terhadap laju molaritasnya, kemudian dari skema tersebut didapatlah konstantanya sebagai berikut[4]:

$$K_1 = 50h^{-1} = 0.83 \text{ min}^{-1}$$

$$K_2 = 100h^{-1} = 1.66 \text{ min}^{-1}$$

$$K_1 = 10 \text{ mol}^{-1}h^{-1} = 0.166 \text{ mol}^{-1} \text{ min}^{-1}$$



Gambar 2.1 Representasi Skema pada Reaktor[4]

Tabel 2.1 Parameter Proses *Isothermal* CSTR[4]

No	Parameter	Simbol	Nilai
1	Kesetimbangan Masukan Konsentrasi	C_{Afs}	10 g.mol^{-1}
2	Kesetimbangan pada Konsentrasi A	C_{AS}	3 g.mol^{-1}
3	Kesetimbangan pada Konsentrasi B	C_{BS}	1.117 g.mol^{-1}
4	Nilai Molaritas Konstan untuk A→B	k_1	0.83 min^{-1}
5	Nilai Molaritas Konstan untuk B→C	k_2	1.66 min^{-1}

6	Nilai Molaritas Konstan untuk $2A \rightarrow D$	k_3	$0.116 \text{ mol}^{-1} \text{ min}^{-1}$
7	Nilai pada Pengenceran	$\frac{F_s}{V}$	0.5714 min^{-1}

Konsentrasi umpan pada *steady state* adalah $C_{AFS} = 10 \text{ g.mol}^{-1}$ Persamaan untuk keseimbangan keseluruhan material yang digunakan[4]:

$$\frac{d(V\rho)}{dt} = F\rho - F_i\rho \quad (2.1)$$

Jadi

$$F = F_i \quad (2.2)$$

Komponen keseimbangan material bisa juga menggunakan[4]:

$$\frac{d(VC_A)}{dt} = F(C_{AF} - C_A) - Vk_1C_A - Vk_3C_A^2 \quad (2.3)$$

Kemudian persamaan (2.3) disederhanakan menjadi persamaan berikut[4]:

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{F}{V}(C_{AF} - C_A) - r_A \quad (2.4)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = -\frac{F}{V}C_B + k_1C_A - r_B \quad (2.5)$$

Dari persamaan (2.4) dan (2.5) didapat laju molaritas untuk setiap komponen sebagai berikut[4]:

$$r_A = -k_1C_A - k_3C_A^2 \quad (2.6)$$

$$r_B = k_1C_A - k_2C_B^2 \quad (2.7)$$

$$r_B = k_2C_B \quad (2.8)$$

$$r_B = \frac{1}{2}k_3C_A^2 \quad (2.9)$$

Penyelesaian persamaan (2.4) dan (2.5) adalah[4]:

$$-k_3C_{AS}^2 + \left(-k_1 - \frac{F_s}{V}\right)C_{AS} + \frac{F_s}{V}C_{AS}$$

Sementara untuk konsentrasi keadaan tunak A dan B didefinisikan sebagai berikut[4]:

$$C_{AS} = \frac{-(k_1 + \frac{F_s}{V}) + \sqrt{(k_1 + \frac{F_s}{V})^2 + 4k_3\frac{F_s}{V}C_{AFS}}}{2k_3} \quad (2.10)$$

$$C_{BS} = \frac{k_1C_{AS}}{\frac{F_s}{V} + k_2} \quad (2.11)$$

Keadaan ruang model linear dipresentasikan sebagai[4]:

$$x = A_x + B_u \quad (2.12)$$

$$y = C_x + D_u \quad (2.13)$$

Variabel keadaan di representasikan dengan matriks A sebagai berikut[4]:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

$$x = \begin{bmatrix} C_A & -C_{AS} \\ C_B & -C_{BS} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Variabel keluaran di representasikan dengan matriks B sebagai berikut[4]:

$$y = \begin{bmatrix} C_A & -C_{AS} \\ C_B & -C_{BS} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Variabel masukan direpresentasikan sebagai berikut[4]:

$$u = \begin{bmatrix} \frac{F}{V} & -\frac{F_s}{V} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Dua persamaan fungsional dinamis dipresentasikan sebagai berikut[4]:

$$\frac{dC_A}{dt} = f_1 \left(C_A, C_B, \frac{F}{V} \right) = \frac{F}{V} (C_{Af} - C_A) - k_1 C_A - k_3 C_A^2 \quad (2.17)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = f_2 \left(C_A, C_B, \frac{F}{V} \right) = -\frac{F}{V} C_B + k_1 C_A - k_2 C_B \quad (2.18)$$

Elemen ruang pada *state space* matriks A ditentukan oleh[4]:

$$A_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right|_{Xs,Us} \quad (2.19)$$

$$A_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{Xs,Us} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_A} \right|_{Xs,Us} = -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} \quad (2.20)$$

$$A_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{Xs,Us} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_B} \right|_{Xs,Us} = 0 \quad (2.21)$$

$$A_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{Xs,Us} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_A} \right|_{Xs,Us} = k_1 \quad (2.22)$$

$$A_{22} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_{Xs,Us} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial C_B} \right|_{Xs,Us} = -\frac{F_s}{V} - k_2 \quad (2.23)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} & 0 \\ k_1 & -\frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Elemen ruang pada *state space* matriks B ditentukan oleh[4]:

$$B_{if} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_j} \right|_{Xs,Us} \quad (2.26)$$

$$B_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_1} \right|_{Xs,Us} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial \left(\frac{F}{V} \right)} \right|_{Xs,Us} = C_{Af} - C_{AS} \quad (2.27)$$

$$B_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_2} \right|_{Xs,Us} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial \left(-\frac{F_s}{V} \right)} \right|_{Xs,Us} = \frac{F_s}{V} \quad (2.28)$$

$$B_{21} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_1} \right|_{Xs,Us} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial \left(\frac{F}{V} \right)} \right|_{Xs,Us} = -C_{BS} \quad (2.29)$$

$$B_{22} = \frac{\partial f_2}{\partial u_2} \bigg|_{x_s, u_s} = \frac{\partial f_2}{\partial \left(-\frac{F_s}{V} \right)} \bigg|_{x_s, u_s} = 0 \quad (2.30)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

$$= \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

Dari matriks A dan matriks B di atas diperoleh model ruang *State Space* yang direpresentasikan sebagai berikut, yang mana *input* pertama (laju pengeceran) dimanipulasi dan yang kedua (konsentrasi umpan A) adalah *input* gangguan. Linierisasi dari dua persamaan model (dari persamaan (2.22) dan (2.29) pada solusi kondisi tunak untuk menemukan matriks ruang keadaan berikut ini dilakukan[4]:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} & 0 \\ k_1 & -\frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

$$= \begin{bmatrix} -2.4048 & 0 \\ 0.83 & -2.238 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

$$B = \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$= \begin{bmatrix} 7 & 0.5714 \\ -1.117 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$C = [0 \ 1] \quad (2.37)$$

$$D = [0 \ 0] \quad (2.38)$$

Maka didapatkan *transfer function* yang mana *transfer function* proses *input output* yang dimanipulasi adalah $G(s) = C(sI - A)^{-1}B$ dihitung dengan bantuan MatLab[4].

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B \quad (2.39)$$

2.3. Linear Quadratic Regulator (LQR)

Linear Quadratic Regulator (LQR) merupakan salah satu metode kendali optimal pada sistem linear yang ber kriteria kuadratik untuk menyelesaikan permasalahan regulator. Disebut linear karena model dan bentuk kendalinya berupa sistem linear sedangkan disebut kuadratik karena memiliki *cost function* dan disebut regulator karena referensi sistem bukan fungsi waktu[8].

Berikut *linearisasi* yang didapatkan suatu sistem *linear* dalam bentuk seperti dibawah ini[8]:

$$\dot{x} = A_x + B_u \quad (2.40)$$

$$y = C_x + D_u \quad (2.41)$$

Dimana:

A : matriks sistem

B : matriks *input*

C : matriks *output*

x : *state* sistem

y : *state output*

u : *state input*

Dalam perancangan kendali optimal LQR terlebih dahulu menentukan matriks Q dan R yang digunakan untuk menentukan indeks performansi sistem, dimana nilai Q dan R ditentukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan dengan menggunakan performansi[8].

$$J(t_0) = \frac{1}{2} x^2(T) S(T) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (x^2 Q x + u^2 R u) \quad (2.42)$$

Dengan syarat:

$$S(T) \geq 0, Q \geq 0, R > 0$$

Dimana:

t_0 = waktu awal

T = waktu akhir

x = matriks *state* akhir

Q = matriks semi definit positif

R = matriks definit positif

S = matriks semi definit positif

Sehingga diperoleh persamaan Hamilton[8]:

$$H(x, u, \lambda, t) = L(x, u, t) + \lambda^T f(x, u, t)$$

$$H(x, u, \lambda, t) = \frac{1}{2} (x^2 Q x + u^2 R u) + \lambda^T (Ax + Bu) \quad (2.43)$$

Dari fungsi Hamilton tersebut dapat diperoleh syarat perlu dan syarat batas sebagai berikut[8]:

1. Syarat Perlu

a. Persamaan *state*

$$\dot{x} = \left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Q x + \left(\frac{\partial Q x}{\partial \lambda} \right)^T u = Ax + Bu \quad (2.44)$$

b. Persamaan *costate*

$$-\dot{\lambda} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Q x + \left(\frac{\partial Q x}{\partial x} \right)^T x + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^T R u + \left(\frac{\partial R u}{\partial x} \right)^T u \right] + \left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T (Ax + Bu) + \left(\frac{\partial (Ax + Bu)}{\partial x} \right)^T \lambda$$

$$-\dot{\lambda} = Qx + A^T \lambda \quad (2.45)$$

c. Kondisi *stationer*

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0$$

$$\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Qx + \left(\frac{\partial Qx}{\partial x} \right)^T x + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^T Ru + \left(\frac{\partial Ru}{\partial x} \right)^T u \right] + \left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T (Ax + Bu) + \left(\frac{\partial (Ax + Bu)}{\partial x} \right)^T \lambda = 0$$

$$Ru + B^T \lambda = 0$$

$$u = -R^{-1} B^T \lambda \quad (2.46)$$

2. Syarat Batas

a. Batas awal

$$t=0 \quad x(0)=0$$

b. Batas akhir

$$(\phi_x + \psi_x^T v - \lambda)^T dx \Big|_{t=\tau} + (\phi_x + \psi_x^T v - H) dt \Big|_{t=\tau} = 0 \quad (2.47)$$

Karena $\psi = 0$ dan

$$\phi(\tau) = \frac{1}{2} x^T(\tau) S(\tau) x(\tau)$$

$$\phi_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} = S(\tau) x(\tau)$$

Sehingga diperoleh persamaan:

$$(S(\tau) x(\tau) + v \cdot 0 - \lambda)^T dt \Big|_{t=\tau} = 0 \quad (2.48)$$

Dari persamaan *costrate* dan (2.39) keduanya mempunyai variabel λ . Bila keduanya disubstitusikan maka akan menghasilkan persamaan[8]:

$$S(t) x(t) = \lambda(t)$$

$$\dot{\lambda}(t) = \dot{S}(t) x(t) + S(t) \dot{x}(t)$$

$$\dot{\lambda}(t) = -Qx - A^T \lambda$$

$$\dot{S}(t) x(t) + S(t) \dot{x}(t) = -Qx - A^T \lambda$$

$$\dot{S}(t) x(t) + S(t) \{Ax + Bu\} = -Qx - A^T \lambda$$

$$\dot{S}(t) x(t) + S(t) \{Ax + B(-R^{-1} B^T \lambda)\} = -Qx - A^T \lambda$$

$$-\dot{S}x = (A^T S + S\dot{A} - R^{-1} B^T S + Q)x$$

$$-\dot{S}x = A^T S + SA - R^{-1} B^T S + Q \quad (2.49)$$

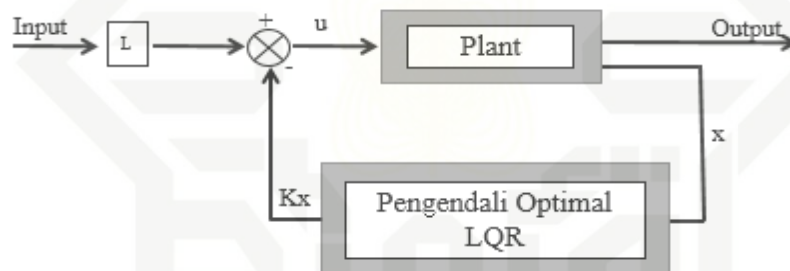
Persamaan (2.38) disebut persamaan *differensial* Riccati. Untuk $\dot{S} = 0$ persamaannya disebut *Algebraic Riccati Equation* (ARE). Dengan didapatkan matriks S dari persamaan ARE maka persamaan sinyal kendali pun dapat dihitung[8]:

$$u = -R^{-1}B^T\lambda = -R^{-1}B^TSx = -Kx + S_p L \quad (2.50)$$

Maka konstanta umpan balik keadaan K dapat dicari sebelum menghasilkan sinyal kendali pada persamaan (2.44)[8].

$$K = R^{-1}B^TS \quad (2.51)$$

Dimana nilai S merupakan solusi semi definit positif untuk persamaan ARE harus memenuhi syarat persamaan (2.42). Selanjutnya dalam perancangan kendali optimal LQR, setelah nilai S diketahui kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan (2.44). sehingga didapatkan nilai matriks optimal K, dengan K adalah *gain statet feedback*, sehingga sistem kendali optimal LQR hasil desain dapat dilihat seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Sistem Kendali dengan Skema Kendali Optimal LQR[8]

Dari penjabaran di atas dapat disimpulkan bahwa langkah-langkah untuk merancang kendali LQR adalah sebagai berikut :

1. Ubah bentuk transfer fungsiion plant nonlinier menjadi bentuk state space dan dapatkan matriks A, B, C Dan D dari plant tersebut.
2. Tentukan matriks pembobol Q dan R
3. Selesaikan persamaan aljabar riccati hingga menghasilkan suatu matriks yang definit positif

2.3.1. Pemodelan Pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

Persamaan *state space* dari *isothermal* CSTR diubah ke dalam bentuk transfer fungsi karena pada perancangan pengendali LQR dibutuhkan pemodelan transfer fungsi dari sistem. Adapun pemodelan transfer fungsi tersebut adalah[14]:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{bs+k}{ms^2+bs+k} \quad (2.52)$$

Dari turunan transfer fungsi pada persamaan *isothermal* CSTR tersebut kemudian diturunkan dengan menggunakan metode *inverse* transformasi *Laplace* balik, sehingga diperoleh persamaan diferensi orde dua[14]:

$$\ddot{y} + \frac{b}{m}\dot{y} + \frac{k}{m}y = \frac{b}{m}\ddot{u} + \dot{u} + \frac{k}{m}u \quad (2.53)$$

Dengan bentuk standarnya:

$$\ddot{y} + a_1\dot{y} + a_2y = b_0\ddot{u} + b_1\dot{u} + b_2u \quad (2.54)$$

Selanjutnya didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{b}{m} \\ \alpha_2 &= \frac{k}{m} \\ b_0 &= 0 \\ b_1 &= \frac{b}{m} \\ b_2 &= \frac{k}{m} \end{aligned}$$

Kemudian perhatikan kembali persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \beta_0 &= b_0 \\ \beta_1 &= b_1 - a_1\beta_0 \\ \beta_2 &= b_2 - a_1\beta_1 - a_2\beta_0 \\ \beta_3 &= b_3 - a_1\beta_2 - a_2\beta_1 - a_3\beta_0 \\ \beta_n &= b_n - a_1\beta_{n-1} - \dots - a_{n-1}\beta_1 - a_n\beta_0 \end{aligned} \quad (2.55)$$

Dan diperoleh persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \beta_0 &= b_0 = 0 \\ \beta_1 &= b_1 - a_1\beta_0 = 0 \\ \beta_2 &= b_2 - a_1\beta_1 - a_2\beta_0 = \frac{k}{m} - \left(\frac{b}{m}\right)^2 \end{aligned}$$

Dengan merujuk lagi persamaan berikut:

$$\begin{aligned} x_1 &= y - \beta_1u \\ x_2 &= \dot{y} - \beta_0\dot{u} - \beta_1u = \dot{x}_1 - \beta_1u \\ x_3 &= \ddot{y} - \beta_0\ddot{u} - \beta_1\dot{u} - \beta_2u = \dot{x}_2 - \beta_2u \\ x_n &= y(n-1) - \beta_0u(n-1) - \beta_1u(n-2) - \dots - \beta_{n-2}\dot{u} - \beta_{n-1}u = \dot{x}_{n-1} - \beta_{n-1}u \end{aligned}$$

Kemudian didefinisikan sebagai berikut:

$$x_1 = y - \beta_1u = y \quad (2.56)$$

$$x_2 = \dot{x}_1 - \beta_1 u = \dot{x}_1 - \frac{b}{m} u \quad (2.57)$$

Dari persamaan berikut:

$$\dot{x}_1 = x_2 + \beta_1 u$$

$$\dot{x}_2 = x_3 + \beta_2 u$$

$$\dot{x}_{n-1} = x_n + \beta_{n-1} u$$

$$\dot{x}_n = -a_n x_1 - a_{n-1} x_2 - \dots - a_1 x_n + \beta_n u$$

Dan diperoleh persamaan berikut:

$$\dot{x}_1 = x_2 + \beta_1 u = x_2 - \frac{b}{m} u \quad (2.58)$$

$$\dot{x}_2 = -a_2 x_1 - a_1 x_2 + \beta_2 u = -\frac{k}{m} x_1 - \frac{b}{m} x_2 + \left[\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{m} \right)^2 \right] u \quad (2.59)$$

Maka didapatkan persamaan output:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{k}{m} & -\frac{b}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{b}{m} \\ \frac{k}{m} - \left(\frac{b}{m} \right)^2 \end{bmatrix} u \quad (2.60)$$

Dan

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

2.4. Sistem Kendali

Sistem kendali merupakan susunan komponen-komponen fisik untuk mengendalikan, memerintah dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Sehingga perancangan sistem kendali tergantung pada apa yang diperintah, atau diatur sesuai keinginan siperancang[15]. Secara umum sistem kendali dapat dipandang sebagai hubungan berbagai komponen yakni elektrik, mekanik, hidrolis bahkan parameter dan variabel sosial, biologi, keuangan dengan tujuan mendapatkan fungsi yang diinginkan secara efisien dan akurat[15].

Beberapa istilah yang terdapat pada sistem kendali adalah sebagai berikut[16]:

1. Variabel terkendali (*controlled variable*) dan variabel termanipulasi (*manipulated variable*). Variabel terkendali merupakan kuantitas ataupun kondisi yang diukur dan dikendalikan. Sedangkan variabel termanipulasi merupakan kuantitas atau kondisi yang diubah oleh kendali sehingga dapat mempengaruhi nilai variabel terkendali yang biasanya merupakan keluaran sistem.
2. *Plant*. Sebuah plant dapat berupa peralatan dan instrumen yang difungsikan sebagai bagian dari sistem yang dikendalikan.

3. Proses. Berbeda dengan *plant*, sebuah proses merupakan prosedur dan mekanisme yang dikendalikan sama seperti pada *plant*. Contohnya kendali sistem pemisahan cairan kimia dan distilasi.
4. Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan memiliki tujuan tertentu termasuk efisiensi, otomasi dan optimasi membentuk sebuah sistem.
5. Gangguan (*disturbance*) adalah suatu sinyal yang cenderung mempunyai pengaruh yang merugikan pada nilai keluaran sistem. Gangguan ini dapat disebabkan oleh sistem itu sendiri (*internal disturbance*) maupun gangguan luar sistem (*eksternal disturbance*).
6. Kendali Umpan Balik (*feedback control*). Adanya gangguan perbedaan antara keluaran dengan masukan acuan sulit perbaiki mengakibatkan tujuan pengoperasian sebuah sistem tidak tercapai. Untuk itu diperlukan umpan balik keluaran untuk dibandingkan dengan masukan acuan sehingga selisih perbedaan dapat dikendalikan diminimalkan secara otomatis.

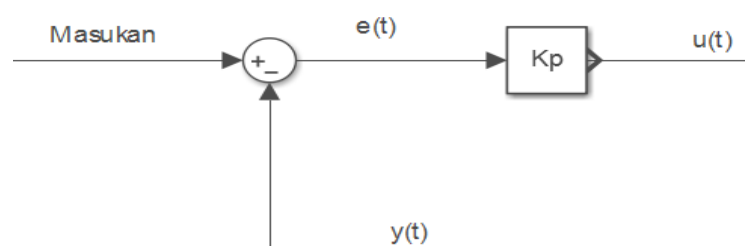
2.5. Pengendalian Sistem

2.5.1. Pengendali Proportional (P)

Kendali proporsional berfungsi untuk memperkuat sinyal kesalahan penggerak (sinyal error), sehingga akan mempercepat keluaran sistem mencapai titik referensi. Hubungan antara *input* kontroler $u(t)$ dengan sinyal *error* $e(t)$ terlihat pada persamaan dibawah[16]:

$$e(t) = K_p (t) \quad (2.50)$$

K_p adalah konstanta proporsional. Diagram blok kontrol proporsional ditunjukkan pada gambar dibawah:



Gambar 2.3 Diagram Blok Kontrol *Proporsional*[16]

Efek yang ditimbulkan oleh pengendali proporsional saat diaplikasikan pada sistem adalah sebagai berikut[16]:

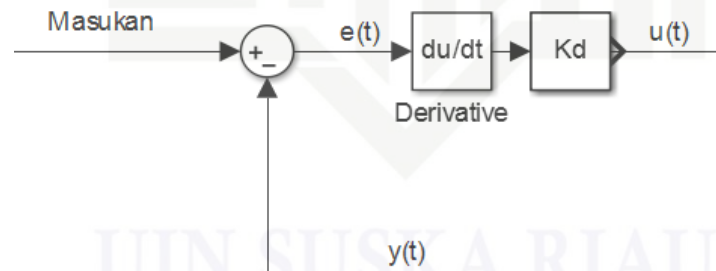
1. Menambah atau mengurangi kestabilan, ditandai dengan *overshoot*.
2. Memperbaiki *respon transient*, khususnya *rise time* dan *settling time*.
3. Mengurangi *error steady state*, untuk mengurangi E_{ss} dibutuhkan nilai K_p yang besar namun akan membuat sistem menjadi tidak stabil. Kendali proporsional memiliki nilai yang sebanding dengan *error*, dimana semakin besar nilai *error* maka semakin besar nilai sinyal kendali yang dihasilkan.

2.5.2. Pengendali *Derivative* (D)

Kendali derivatif dapat disebut pengendali laju, karena *output* kendali sebanding dengan laju perubahan sinyal *error*. Hubungan antara *output* kendali derivatif $u(t)$ dengan sinyal *error* $e(t)$ terlihat pada persamaan dibawah[16]:

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.51)$$

Kendali derivatif tidak bisa digunakan sendirian karena kendali ini hanya akan aktif pada periode peralihan yang dapat menyebabkan adanya redaman pada sistem sehingga lebih memperkecil lonjakan. Kendali derivatif juga tidak dapat menghilangkan *offset*[16].



Gambar 2.4 Diagram Blok Kendali *Derivative*[16]

Pengaruh kendali derivatif terhadap sistem[16]:

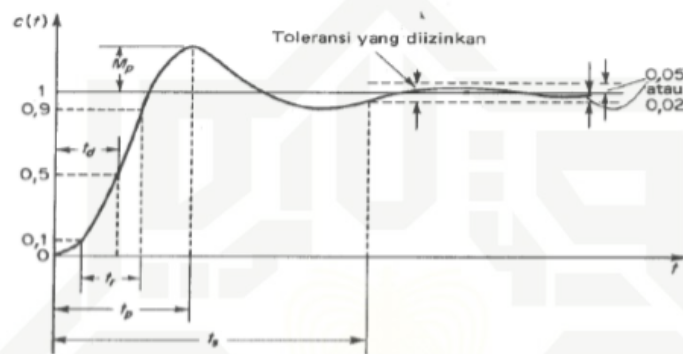
1. Kecepatan respon lebih tinggi (dibandingkan dengan mode P).
2. Sangat sensitif terhadap noise dan gangguan frekuensi tinggi.
3. Kendali derivatif hanya berubah saat ada perubahan *error*, sehingga saat ada *error* statis D tidak bereaksi dan D tidak boleh digunakan.
4. Besarnya sinyal kendali sebanding dengan perubahan *error*, semakin cepat *error* berubah semakin besar aksi kendali yang ditimbulkan.

5. Mengurangi *overshoot* dan waktu turun.

6. Kesalahan keadaan tidak mengalami perubahan yang berarti.

2.6. Identifikasi *Respon Transient*

Identifikasi sistem yang mengacu pada *respons transient* sistem dalam kondisi *loop* terbuka. Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan step[17].



Gambar 2.5 Respon Sistem Orde Dua[15]

Respon transient suatu sistem terhadap masukan tangga satuan tergantung transien terhadap variasi sistem, terdapat cara praktis yang biasa digunakan yaitu dengan syarat awal standar bahwa sistem mula-mula diam dengan keluaran dan semua turunannya nol. Dengan demikian, karakteristik tanggapannya dapat dengan mudah dibandingkan. Respon transien suatu sistem kendali secara praktek selalu menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan tunaknya. Dalam menggolongkan karakteristik tanggapan transien suatu sistem kendali terhadap masukan tangga satuan secara umum dikelompokkan sebagai berikut[16]:

1. Waktu tunda (t_d)

Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan oleh tanggapan untuk mencapai setengah nilai akhir untuk waktu yang pertama.

2. Waktu naik (t_r)

Waktu naik adalah waktu yang diperlukan oleh tanggapan untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95%, atau 0 menjadi 100% dari nilai akhir yang biasa digunakan.

3. Waktu puncak (t_p)

Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan tanggapan untuk mencapai puncak pertama *overshoot*.

4. *Maximum Overshoot* (M_p)

Overshoot maksimum adalah nilai puncak kurva tanggapan diukur dari satuan. Apabila nilai akhir keadaan tunak tanggapannya jauh dari satu, maka biasanya digunakan persen *overshoot* maksimum dan didefinisikan oleh :

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} 100\% \quad (2.52)$$

5. Waktu Tunak (*Settling time*)

Settling time adalah waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir yang ukurannya dengan persentase mutlak dari harga akhir (5% atau 2%).

2.7. Metode *Heuristic*

Metode *heuristic* merupakan sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba. *Heuristic* adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara perlahan. Rancangan metode *heuristic* ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja *plant* yang dikendalikan[18].

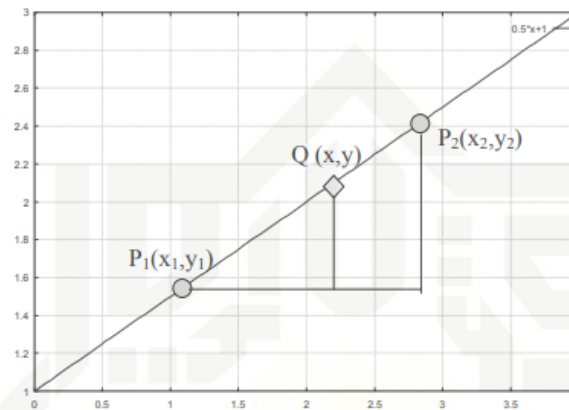
Untuk perancangan sistem pengendalian PID dilakukan pencarian nilai besarnya K_p , K_i , dan K_d . Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap dengan penalaan (*Heuristic Method*), dimana penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P, kemudian baru ditambahkan pengendali, dan terakhir ditambahkan dengan pengendali D. Pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh[18].

2.8. Kriteria Integral Menggunakan *Integral of Absolute Error* (IAE)

Kriteria integral membutuhkan data tanggapan mulai dari 0 hingga mencapai keadaan tunak yang didasarkan pada seluruh tanggapan dari proses yang bersangkutan. Kriteria integral yang digunakan pada penelitian ini adalah kriteria *Integral of Absolute Error* (IAE) yang bertujuan untuk mendapatkan nilai IAE sekecil mungkin tetapi tergantung pada karakteristik sistem proses dan beberapa syarat tambahan yang diperoleh dari tanggapan lup tertutup. Kriteria IAE ini lebih populer dikalangan industri karena pemakaiannya yang mudah, dan cocok untuk menekan *error* yang kecil[9].

2.9. Interpolasi Linear

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



Gambar 2.6 Kurva untuk Interpolasi Linier

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

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.53)$$

Sehingga diperoleh persamaan dari interpolasi linier sebagai berikut:

$$y = y_1 + (x - x_1) \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2.54)$$

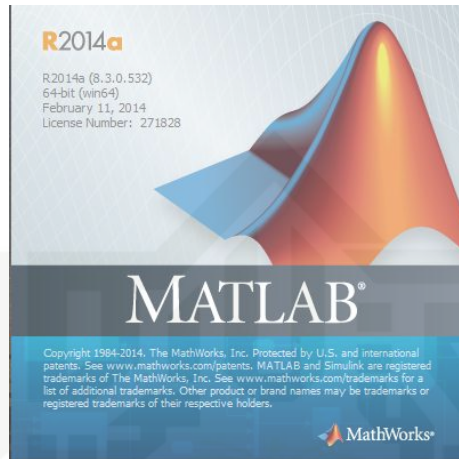
Algoritma Interpolasi Linier adalah sebagai berikut :

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

2.10. MATLAB

MATLAB (*Matrix Laborator*) merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan untuk menganalisa, komputasi data numerik, untuk mensimulasikan suatu sistem dengan pemodelan matematis. MATLAB menggunakan bahasa pemrograman matematika lanjutan yang mengaplikasikan sifat serata bentuk matrik yang sering kita gunakan untuk teknik

komputasi numerik, untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, *optimasi*, *aproksimasi* dll. MATLAB merupakan *software* yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti *Delphi*, *Basic* maupun C++[19].



Gambar 2.7 Ikon MATLAB R2014a

Matlab merupakan merk software yang dikembangkan oleh mathworks.inc dimana, dalam software ini menggunakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks dan sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. sehingga matlab banyak digunakan pada matematika dan komputansi, pengembangan dan algoritma, pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototype, analisa data , eksplorasi dan visualisasi, analisis numerik dan statistic, dan pengembangan aplikasi teknik[17].

Pada perangkat lunak Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu[17]:

1. *Command Window* merupakan tampilan utama *window* MATLAB. *Command Window* merupakan tempat untuk mengoperasikan baris-baris program secara langsung. *Command Window* merupakan tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variabel serta menjalankan proses-proses yang ingin dilakukan
2. *Curent Folder* merupakan *window* yang menampilkan isi dari folder/ direktori kerja saat menggunakan MATLAB. *User* dapat mengganti direktori sesuai dengan tempat yang diinginkan. Defult dari alamat direktori berda dalam folder works tempat program files MATLAB berada.

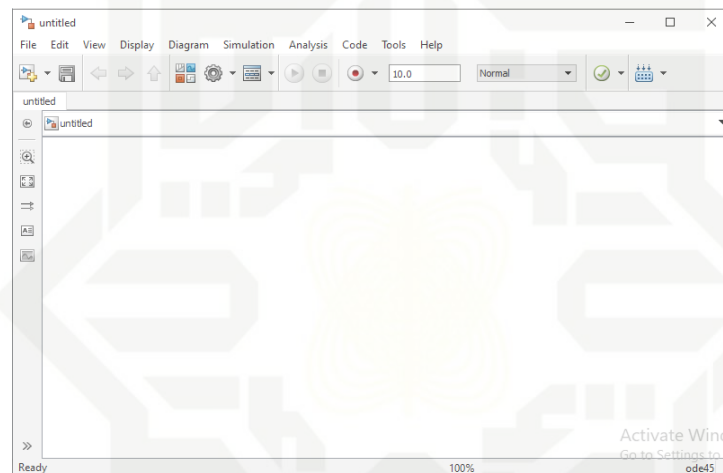
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

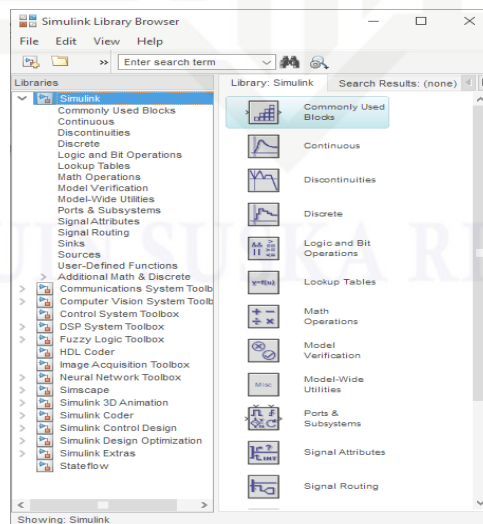
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

- Workspace* merupakan tempat untuk menampilkan semua variabel-variabel yang sedang aktif saat pemakaian MATLAB. Apabila variabel berupa data matriks berukuran besar maka *user* dapat melihat data secara keseluruhan dengan *double* klik pada variabel. MATLAB secara otomatis akan menampilkan *window* “*array editor*” yang berisikan data variabel yang *user* inginkan.
- Command History* merupakan *window* yang berfungsi menyimpan *history* atau perintah-perintah yang sebelumnya dilakukan oleh *user* MATLAB. Sehingga saat kita ingin menggunakan perintah yang sama kita dapat melihat perintah tersebut pada *command history*.



Gambar 2.8 Tampilan Model *Simulink* pada MATLAB



Gambar 2.9 Kotak Dialog *Simulink Library*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

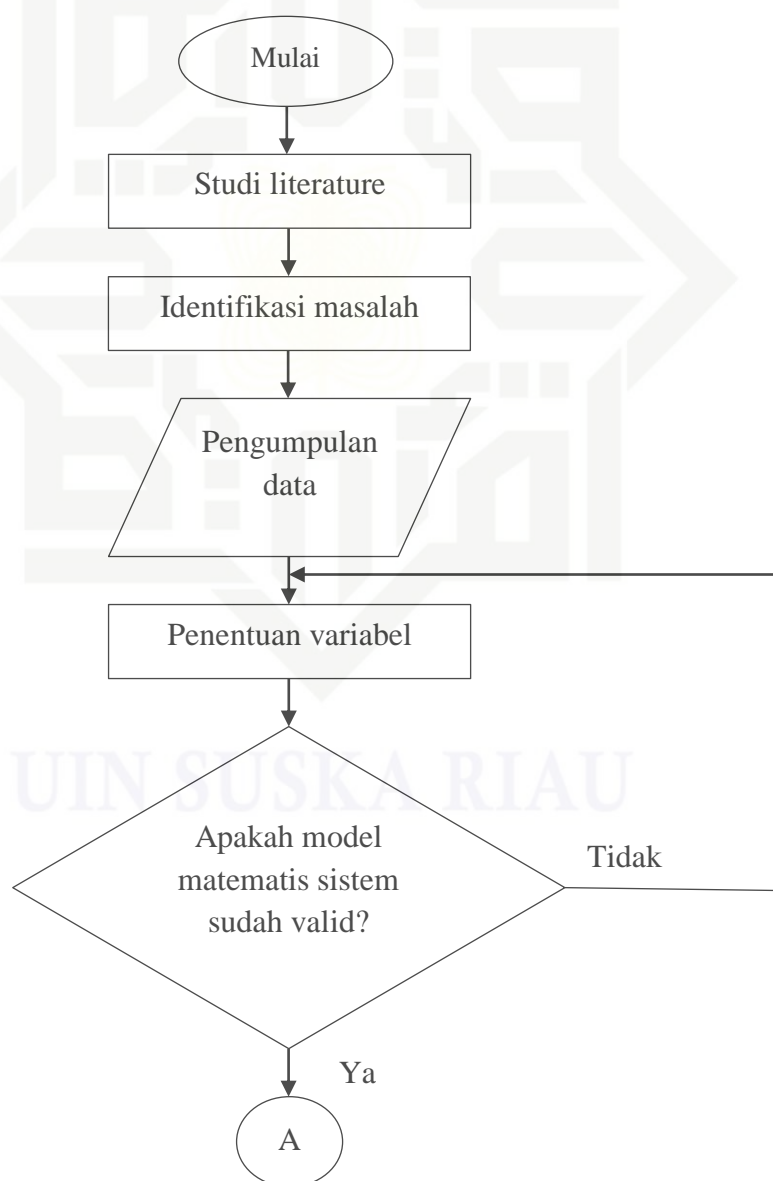
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

BAB III

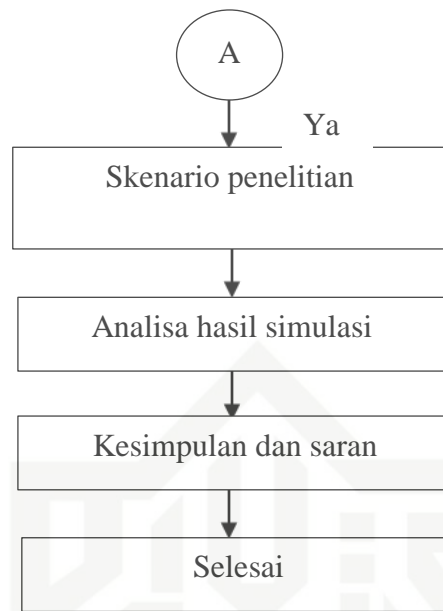
METODE PENELITIAN

3.1. Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini beberapa tahapan akan peneliti lakukan yaitu mulai dari penentuan judul, perumusan masalah, tujuan yang diharapkan dari suatu penelitian yang dilakukan, proses pemodelan matematis sistem, perancangan pengendali hingga mendapatkan hasil akhir dalam penelitian tugas akhir ini. Ada pun alur penelitian yang dilakukan dapat digambarkan melalui flowchart sebagai berikut:



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 3.1 *Flow Chart* Penelitian

3.2. Tahapan Penelitian

Berdasarkan *flowchart* Penelitian diatas, agar penelitian yang dilakukan dapat mencapai tujuan yang diharapkan, maka beberapa tahapan yang harus dilakukan sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah

Adapun masalah yang diangkat dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah identifikasi sistem menggunakan pengendali LQR dalam mengatasi permasalahan pada *isothermal* CSTR.

2. Studi Literatur

Tahapan selanjutnya yaitu studi literatur, yang mana dalam tahapan ini peneliti mencari dan mempelajari penelitian terkait dari beberapa referensi baik dari buku, jurnal, *paper*, ataupun sumber lainnya. Adapun hal yang perlu dipelajari yaitu pemodelan matematis *isothermal* CSTR dan pengendali LQR.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini data-data yang terkait akan dikumpulkan untuk mengetahui karakteristik dari sistem yang akan diteliti, meliputi data *setpoint* sebesar 1 g.moll/liter dan ketetapan *transfer function* pada sistem yaitu: $\frac{sc+d}{s^2+sa+b}$

4. Penentuan Variabel

Setelah didapatkan nilai masing-masing variabel, maka selanjutnya variabel-variabel tersebut disubstitusikan ke dalam pemodelan matematis sistem dalam bentuk persamaan *transfer function* sebagai berikut:

5. Validasi Model Matematis

Validasi model matematis sistem adalah tahap pengujian model matematis dalam bentuk *transfer function* dari sistem yang sudah diubah ke dalam bentuk bahasa pemrograman *matlab simulink*. Apakah hasil keluaran sudah sesuai dengan rujukan[2].

6. Perancangan Pengendali

Penelitian ini menggunakan pengendali LQR. Untuk merancang pengendali ini, terlebih dahulu dilakukan penurunan matematis pengendali LQR dan selanjutnya melakukan perancangan pengendali.

7. Analisa Hasil

Analisa hasil didapatkan dengan melihat respon keluaran sistem yang meliputi *overshoot*, *delay time*, *settling time*, *error*, dan *rise time* dari perancangan pengendali, apakah *respon* sistem sudah sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

8. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisa hasil dan sesuai dengan tujuan penelitian, maka penelitian yang dilakukan berhasil dan dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian. Serta memberikan saran-saran yang berguna untuk dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

3.3. Perubahan Pemodelan Matematis Ke Fungsi Transfer

Berdasarkan persamaan 2.37 model fungsi alih sistem *isothermal* CSTR, dengan memasukkan nilai-nilai parameter yang terdapat pada tabel 2.1 maka didapatkan *transfer function* yang mana *transfer function* proses *input output* yang dimanipulasi adalah $G_{(s)} = C(sI - A)^{-1}B$ dihitung dengan bantuan MatLab.

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B \quad (3.1)$$

$$G(s) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3C_{AS} & 0 \\ k_1 & \frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

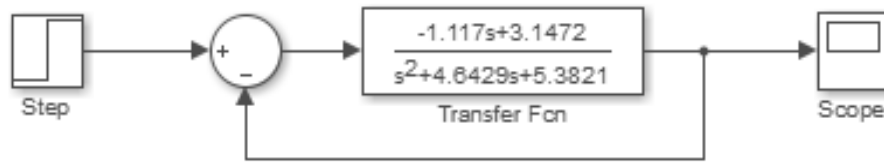
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

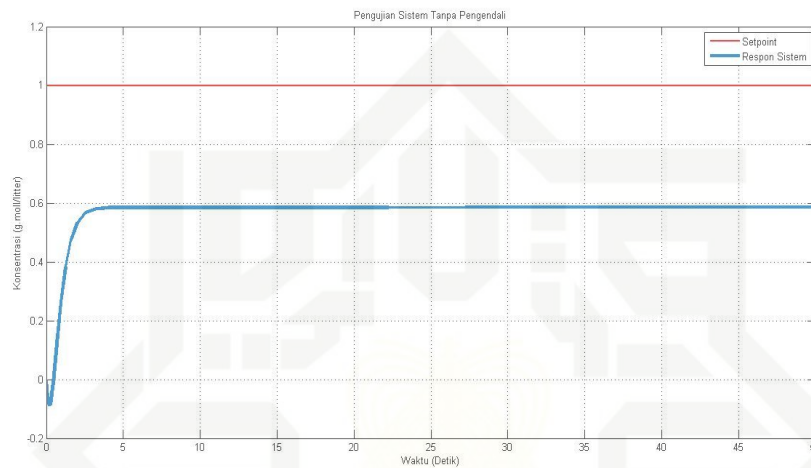
$$\begin{aligned}
 &= \left[\begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -2.4048 & 0 \\ 0.83 & -2.238 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 7 & 0.5714 \\ -1.117 & 0 \end{bmatrix} \right] \\
 sI - A &= \begin{bmatrix} s + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & -2.23 \end{bmatrix} \\
 (sI - A)^{-1} &= \begin{bmatrix} 2.4048 & 0 \\ -0.83 & s + 2.23 \end{bmatrix}^{-1} \\
 &= \begin{bmatrix} s + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & s + 2.23 \end{bmatrix} \frac{1}{\det(sI - A)} \\
 &= \begin{bmatrix} s + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & s + 2.23 \end{bmatrix} \frac{1}{(s + 2.4)(s + 2.23) - (0)(0.83)} \\
 &= \begin{bmatrix} s + 2.4 & 0 \\ -0.83 & s + 2.23 \end{bmatrix} \frac{1}{(s + 2.4)(s + 2.23)} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{1}{s + 2.4048} & 0 \\ \frac{0.83}{(s + 2.238)(s + 2.4048)} & \frac{1}{s + 2.238} \end{bmatrix} \\
 C(sI - A)^{-1} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{s + 2.4048} & 0 \\ \frac{0.83}{(s + 2.238)(s + 2.4048)} & \frac{1}{s + 2.238} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{0.83}{(s + 2.238)(s + 2.4048)} & \frac{1}{s + 2.238} \end{bmatrix} \\
 C(sI - A)^{-1}B &= \begin{bmatrix} \frac{0.83}{(s + 2.238)(s + 2.4048)} & \frac{1}{s + 2.238} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 & 0.5714 \\ -1.117 & 0 \end{bmatrix} \\
 G_p(s) &= \frac{5.833 - 1.117(s + 2.4)}{(s + 2.4)(s + 2.23)} \\
 G_p(s) &= \frac{-1.117s + 3.1472}{s^2 + 4.6429s + 5.382} \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

3.4. Verifikasi Pemodelan Matematis

Verifikasi model matematis untuk sistem *isothermal* CSTR dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Simulink Matlab* R2014a, dimana sistem disimulasikan secara *open loop* dengan memasukkan *transfer function* dari *plant* ke dalam blok diagram *Simulink Matlab*.



Gambar 3.2 Diagram Blok *Open Loop* Konsentrasi *Isothermal CSTR*



Gambar 3.3 Grafik Keluaran *Open Loop* Konsentrasi *Isothermal CSTR*

Gambar diatas merupakan hasil keluaran respon sistem secara *open loop* tanpa menggunakan pengendali yang disimulasikan menggunakan matlab. Hasil keluaran respon sistem dapat terlihat bahwa hasil keluaran respon sistem stabil, namun sistem belum mencapai nilai *setpoint* yang telah ditentukan dan masih terdapat *overshoot*. Maka perlu digunakan pengendali yang mampu membuat sistem mencapai *setpoint* yang telah ditentukan.

3.5. Skenario Penelitian

Pada skenario penelitian, model sistem disimulasikan dengan beberapa skenario yang akan menghasilkan minimal satu grafik. Penelitian ini menggunakan pengendali *Linear Quadratic Regulator*-PD dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam program Matlab berdasarkan parameter penelitian terkait yaitu dengan nilai *setpoint* 1 g.moll/liter.

1. Simulasi sistem secara *open loop*
2. Simulasi meggunakan pengendali LQR
3. Simulasi menggunakan pengendali LQR-PD
4. Pengujian gangguan terhadap pengendali 5% dari *setpoint*

3.6. Perancangan Pengendali

3.6.1. Perancangan Pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

Persamaan *state space* dari *isothermal* CSTR diubah ke dalam bentuk *transfer function* karena pada perancangan pengendali LQR dibutuhkan pemodelan transfer dari sistem. Adapun pemodelan *transfer function* tersebut adalah:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-1.117s + 3.1472}{s^2 + 4.6429s + 5.3821} \quad (3.4)$$

$$s^2 Y(s) + 4.6429s Y(s) + 5.3821 Y(s) = -1.117s U(s) + 3.1472 U(s)$$

Dari turunan transfer fungsi pada persamaan *isothermal* CSTR tersebut kemudian diturunkan dengan menggunakan metode *inverse* transformasi *Laplace* balik, sehingga diperoleh persamaan diferensi orde dua:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 4.6429 \frac{dy(t)}{dt} + 5.3821 y(t) = -1.117 \frac{du(t)}{dt} + 3.1472 u(t)$$

$$\ddot{y} + 4.6429 \dot{y} + 5.3821 y = -1.117 \dot{u} + 3.1472 u$$

$$\ddot{y} = -1.117 \dot{u} + 3.1472 u - 4.6429 \dot{y} - 5.3821 y$$

Dengan bentuk standar:

$$\ddot{y} + a_1 \dot{y} + a_2 y = b_0 \ddot{u} + b_1 \dot{u} + b_2 u \quad (3.5)$$

Didefinisikan:

$$a_1 = 4.6429$$

$$a_2 = 5.3821$$

$$b_0 = 0$$

$$b_1 = -1.117$$

$$b_2 = 3.1472$$

Selanjutnya dari persamaan (2.55), maka diperoleh:

$$B_0 = b_0 = 0$$

$$B_1 = b_1 - a_1 B_0$$

$$= -1.117 - 4.6429(0)$$

$$= -1.117$$

$$B_2 = b_2 - a_1 B_1 - a_2 B_0$$

$$= 3.1472 - 4.6429(-1.117) - 5.3821(0)$$

$$= 8.3333193$$

Maka dari persamaan (2.56) dan (2.57), dapat didefinisikan:

$$x_1 = y - B_0 u = y$$

$$x_2 = \dot{x}_1 - B_1 u = \dot{x}_1 - (-1.117) u$$

kemudian dari persamaan (2.58) dan (2.59) maka diperoleh:

$$\dot{x}_1 = x_2 + B_1 u = x_2 + (-1.117) u$$

$$\dot{x}_2 = -a_2 x_1 - a_1 x_2 + B_2 u = -5.3821 x_1 - 4.6429 x_2 + 8.3333193 u$$

dengan demikian berdasarkan persamaan (2.60) dan (2.61) didapatkan persamaan output sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5.3821 & -4.6429 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.117 \\ 8.3333193 \end{bmatrix} u$$

$$y = [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + [0]u$$

Jadi dari persamaan keadaan dan persamaan keluaran, dapat ditentukan matriks *State Space* A, B, C, dan D sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5.3821 & -4.6429 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.117 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 8.3333193 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \ 0]$$

$$D = [0]$$

Dimana:

A = Matriks *state*

B = Matriks *input*

C = Matriks *output*

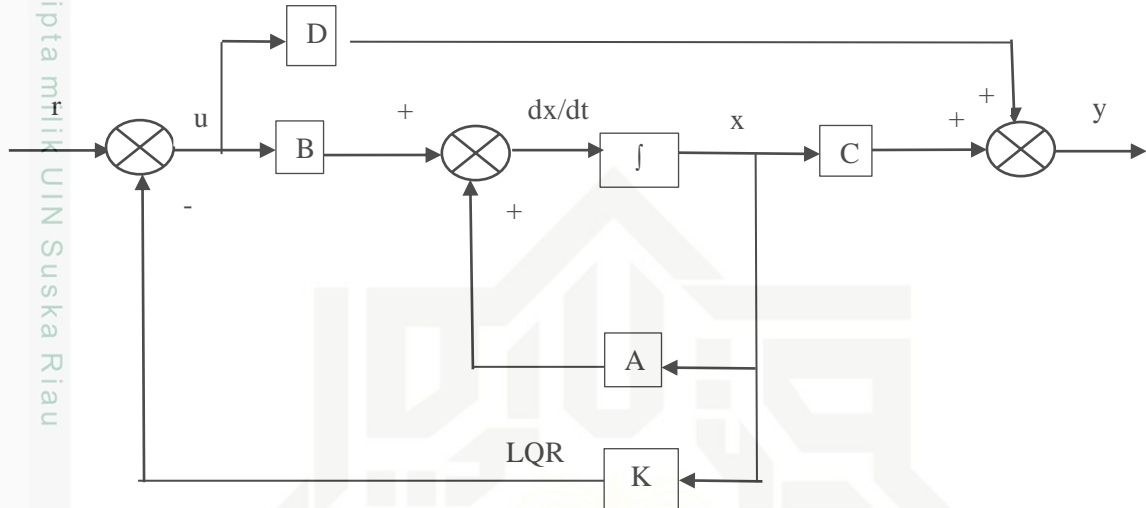
D = Matriks transmisi langsung

Setelah mendapatkan matriks *state space* dari setiap fungsi alih, maka bisa langsung disimulasikan dengan *software* Matlab 2014a dengan memasukkan persamaan *state space* yang didapatkan ke dalam m-file seperti dibawah ini:

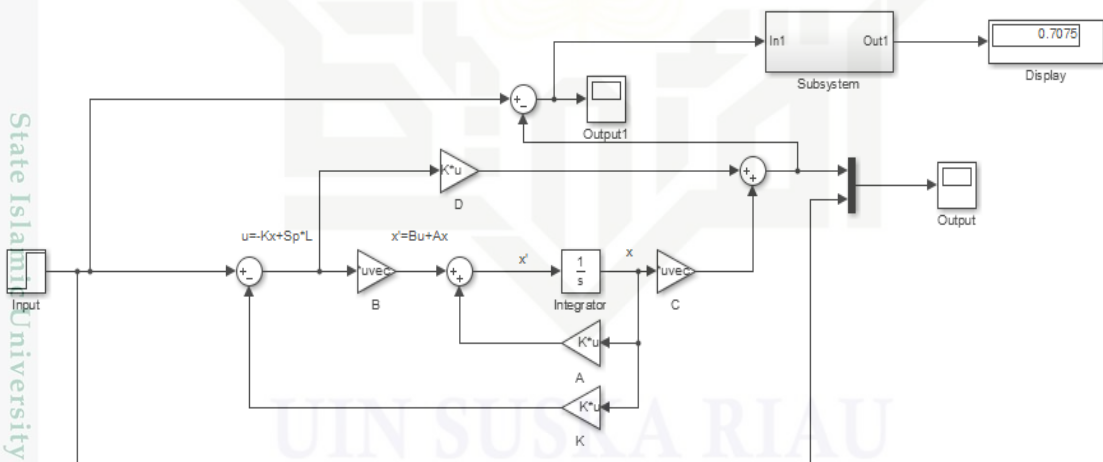
```
Editor - E:\A SKRIPSWEET\fanny\fanny.m
fanny.m x +
1 - A=[0 1; -5.3821 -4.6429];
2 - B=[0; -1.117] + [0; 8.3333193];
3 - C=[1 0];
4 - D=[0];
5 - R=[1];
6 - Q=[0.44 0;0 0];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
```

Gambar 3.4 Tampilan Program Menggunakan Pengendali LQR

Berdasarkan persamaan matematis yang sudah dibuatkan ke dalam m-file, maka kita dapat mendesain LQR menggunakan aplikasi matlab dengan rangkaian blok diagram dan hasil desain rangkaian blok *simulink* diperlihatkan seperti gambar berikut:



Gambar 3.5 Rangkaian Blok Diagram Pengendali LQR



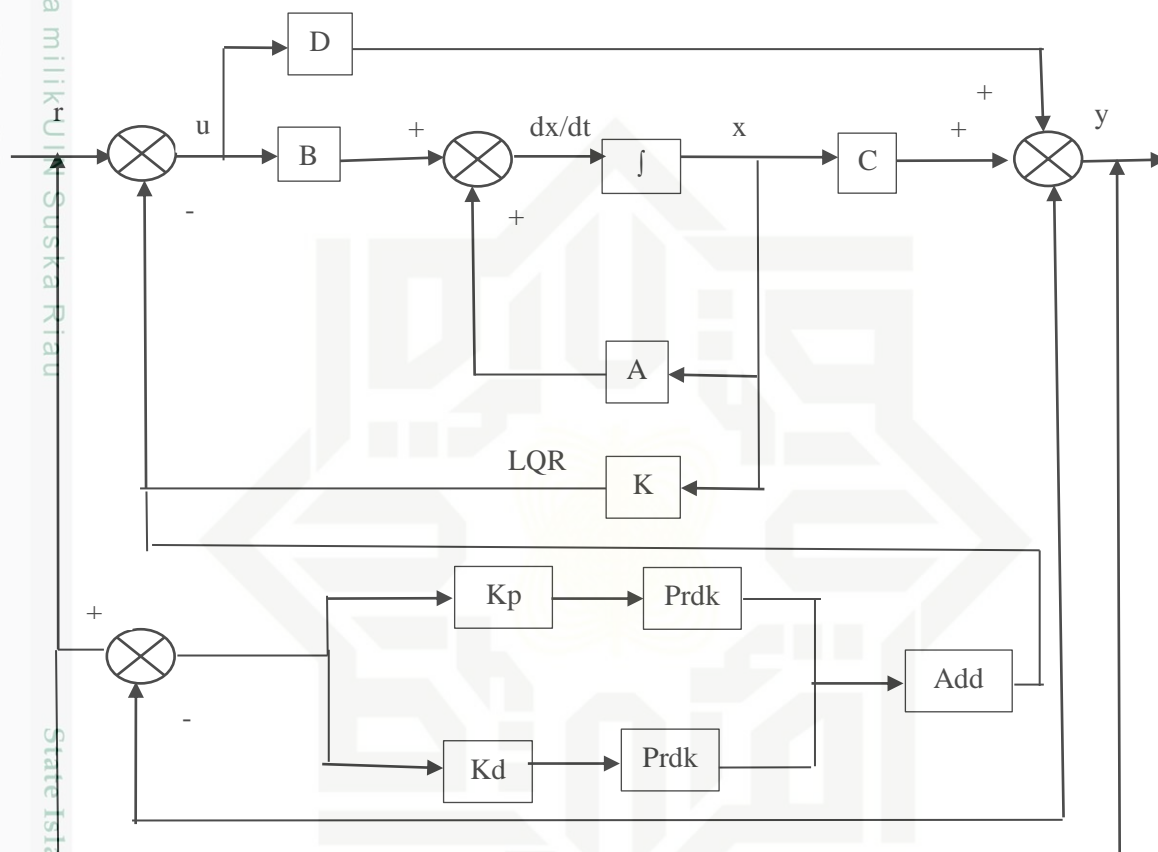
Gambar 3.6 Rangkaian Simulink Pengendali LQR

Setelah merancang diagram blok *simulink* pengendali LQR, maka selanjutnya sistem *isothermal* CSTR akan disimulasikan dan dianalisa berdasarkan hasil grafik keluaran yang didapatkan.

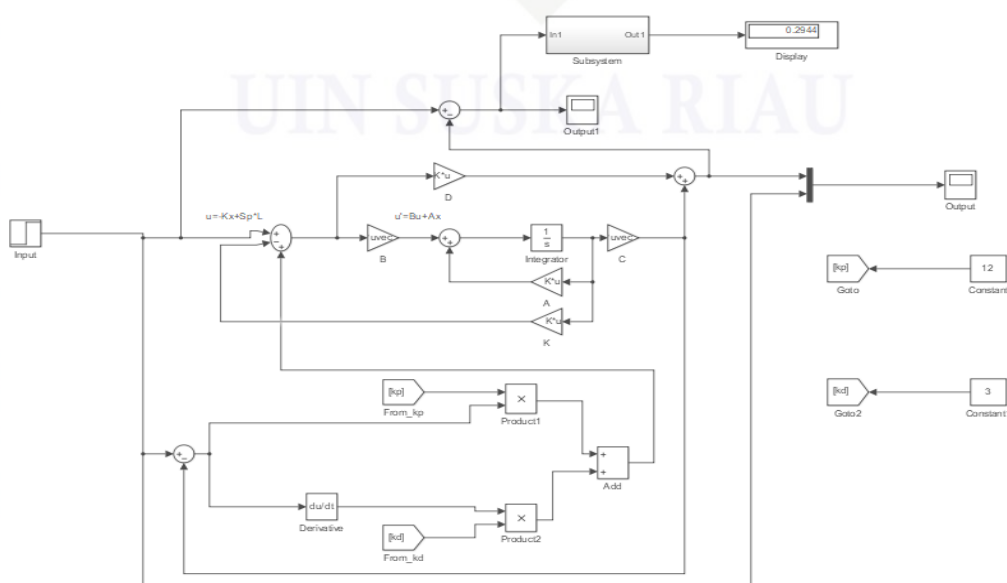
3.6.2. Perancangan Pengendali LQR-PD

Setelah mendapatkan desain pengendali LQR maka langkah selanjutnya dapat mengkombinasikan pengendali optimal LQR dengan pengendali PD agar kinerja dari

pengendali LQR menjadi optimal dan lebih baik. Nilai parameter PD pada saat melakukan tuning menggunakan metode heuristic didapatkan nilai $K_p = 12$, $K_d = 3$. Blok diagram desain pengendali LQR-PD pada *isothermal* CSTR dan hasil desain rangkaian blok *simulink* diperlihatkan seperti gambar berikut:



Gambar 3.7 Rangkaian Blok Diagram LQR-PD



Gambar 3.8 Rangkaian *Simulink* Pengendali LQR-PD

3.6.3. Perancangan Pengendali LQR-PD dengan Gangguan

Gambar 3.9 Rangkaian *Simulink* Pengendali LQR-PD dengan Gangguan

Pada pengujian rancangan sistem ini pengendali LQR-PD akan diberikan gangguan sebesar 5% dari setpoint dimana gangguan ini diberikan untuk melihat apakah pengendali LQR dengan penambahan pengendali PD dapat mempertahankan kestabilan keluaran sistemnya atau tidak.

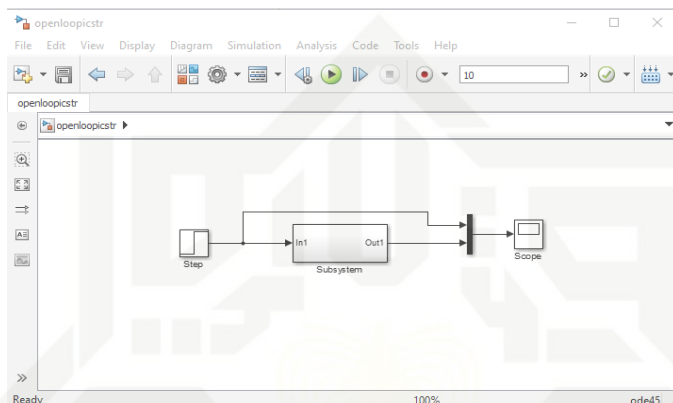
3.7. Hasil Data Penelitian yang Akan Diambil

Data penelitian yang akan diambil nantinya, yaitu hasil grafik dari setiap pengujian dan perhitungan dari *respon transient* yang didapatkan dari setiap pengujian yang dilakukan.

3.7.1. Grafik dari Setiap Pengujian Sistem

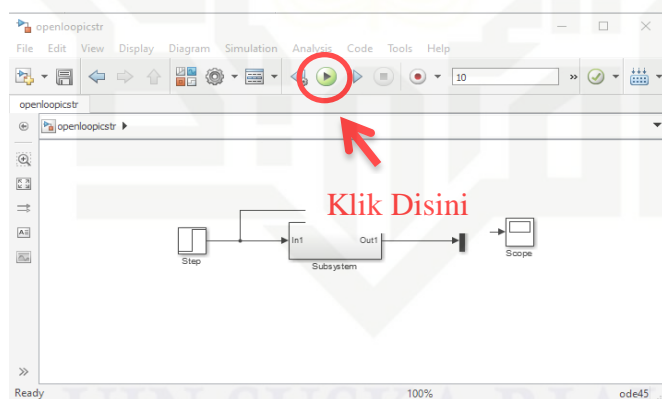
Grafik yang akan di ambil yaitu berdasarkan simulasi sistem secara *open loop*, menggunakan pengendali LQR, dan pengendali LQR dengan adanya gangguan sinyal kendali. Tahapan yang akan di lakukan adalah sebagai berikut :

1. Akan dilakukan pengujian pada setiap pengendali yang sudah di rancang secara simulasi, contoh seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3.10 Contoh Pengujian Secara Simulasi

2. Kemudian rancangan simulasi di run-kan.



Gambar 3.11 Contoh Menjalankan Simulasi

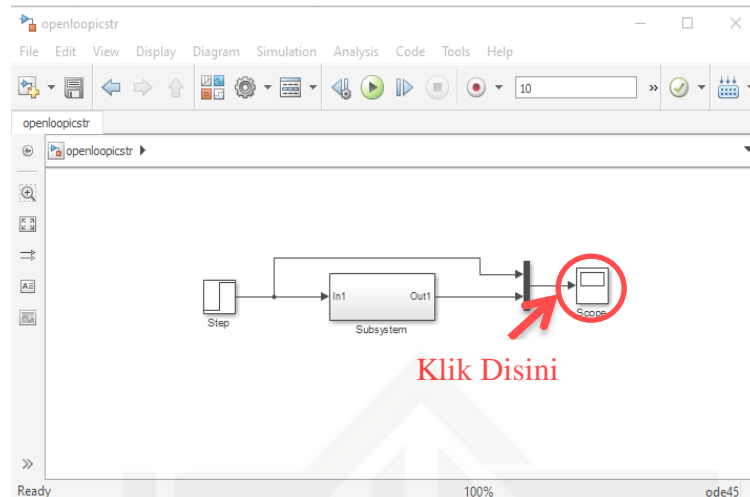
3. Untuk melihat hasil simulasi double klik pada blok scope.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

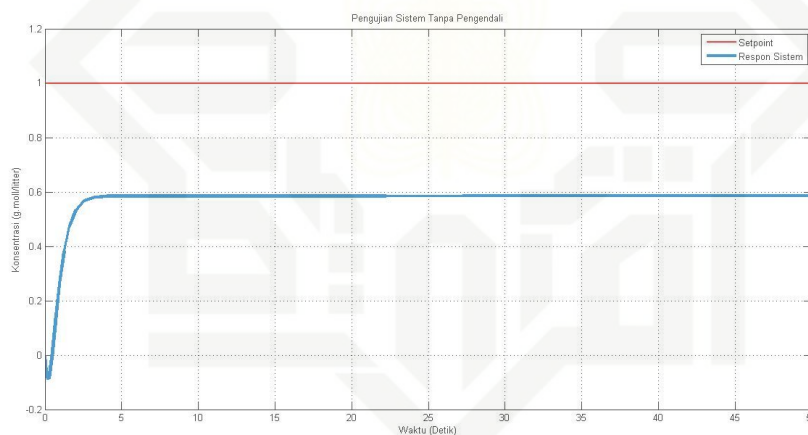
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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



Gambar 3.12 Contoh Menampilkan Grafik Keluaran Sistem

- Kemudian akan timbul grafik keluaran *respon* sistem dari rancangan simulasi seperti gambar berikut:



Gambar 3.13 Contoh Tampilan Grafik pada Scope

- Hasil dari grafik tersebut akan dianalisa respon sistemnya dengan menggunakan rumus interpolasi data.

3.7.2. Respon Transient Sistem Dari Setiap Pengujian

Pada penelitian ini akan di ambil data respon transient dari setiap pengujian meliputi:

- Rise Time/ Waktu Tunak (t_r)*

Pada penelitian ini waktu naik yang digunakan yaitu 5% sampai 95%, dimana waktu ini diperoleh dengan mencari selisih waktu dari kondisi respon saat 95% dengan kondisi respon saat 5% dari *setpoint*.

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. *Time settling/ Waktu Tunak (ts)*

Pada penelitian ini ukuran waktu yang digunakan yaitu ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 2\%$ dari keadaan *steady state*.

3. Waktu tunda / *Delay time (td)*

Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input, diukur mulai dari $t=0$ sampai dengan respon 50% dari respon *steady state*

4. *Maksimum Overshoot (M_P)*

Nilai puncak kurva tanggapan diukur dari satuan dengan batas toleransi yaitu 2% - 5%.

5. *Error Steady State*

Selisih nilai yang terukur dengan nilai yang sebenarnya dengan batas toleransi Ess yaitu 2% dari *setpoint*.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan Analisa yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Penambahan pengendali PD pada pengendali LQR menunjukkan bahwa pengendali PD mampu mempercepat waktu naik dengan nilai 0.7780 detik, menghilangkan *error steady state* dengan nilai 0 g.mol/liter dan mengurangi *overshoot* menjadi 0.0002% yang ditimbulkan oleh pengendali LQR.
2. Pengendali LQR-PD mampu mempercepat waktu naik/*rise time*, dapat dilihat dari nilai waktu naik pada keluaran sistem secara open loop yaitu 1.4013 detik, ketika ditambahkan pengendali LQR nilai waktu naik nya yaitu 1.4530 detik dan ketika ditambahkan pengendali PD pada pengendali LQR nilai waktu naik nya lebih cepat yaitu 0.7780 detik.
3. Pengendali LQR-PD mampu mengurangi *error steady state*, dapat dilihat dari nilai *error steady state* pada keluaran sistem secara open loop yaitu 0.4152 g.mol/liter, ketika ditambahkan pengendali LQR nilai *error steady state* nya yaitu 0.0019 g.mol/liter sedangkan ketika ditambahkan pengendali PD pada pengendali LQR nilai *error steady state* nya 0 g.mol/liter.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, penelitian selanjtnya bisa digunakan dengan pengendali yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang keluaran yang lebih bagus, baik itu ada atau tanpa gangguan pada sistem. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan pengendali lain seperti MPC, JST, dan lain-lain agar dapat dilakukan perbandingan. Atau dapat melakukan penelitian dengan mengendalikan variabel lainnya seperti tekanan, suhu ataupun laju molaritas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] KEMENPERIN, “Analisis Perkembangan Industri Indonesia Edisi I-2020.”
- [2] R. Suhud, “Pertumbuhan Industri Makanan dan Minuman,” 2020.
- [3] A. Purwanti, J. Kimia, and F. T. Industri, “Pemanfaatan metoda newton-raphson dalam perancangan reaktor alir tangki berpengaduk,” vol. 2, pp. 185–193, 2009.
- [4] V. Vishnoi, S. Padhee, and G. Kaur, “Controller Performance Evaluation for Concentration Control of Isothermal Continuous Stirred Tank,” *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 2, no. 6, pp. 1–7, 2012.
- [5] H. Y. Rosadi, “Pemodelan Continuous Stirred Tank Reactor.” 2000.
- [6] A. Faizal, D. Mursyitah, E. Ismaredah, and M. Ikhsyan, “Analisa pengendali,” vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [7] A. Faizal, D. Mursyitah, and E. Ismaredah, “Analisa Pengendali Hybrid Sliding Mode Control Dan Fuzzy Logic Controller Dalam Penurunan Error Steady State Untuk Mengendalikan Concentration Pada Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (Cstr),” *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–39, 2019, doi: 10.33019/ecotipe.v6i1.945.
- [8] L. Frank L, “Applied Optimal Kendali Estimation (Digital Design dan Implementation),” 1992.
- [9] K. M. Hussain, R. Allwyn, and S. M. G. Kumar, “Comparison of PID Controller Tuning Methods with Genetic Algorithm for FOPTD System Rajendran,” vol. 4, no. 2, pp. 308–314, 2014.
- [10] D. Mursyitah *et al.*, “Pengendalian Posisi Sistem Magnetic Levitation Ball Menggunakan Pengendali Optimal Metode Linear Quadratic Regulator (LQR),” no. November, pp. 343–350, 2018.
- [11] Michael A. Johnson Mohammad H. Moradi *PID Control New Identification and Design Methods.* .
- [12] U. I. Library, “Pengendalian proses variabel jamak continous stirred tank reactor (CSTR) menggunakan model predictive control pada unisim R390 . 1 = Continuous stirred tank reactor (CSTR) multivariable process control using model predictive control in unisim R390 . .”
- [13] D. Mursyitah, A. Faizal, E. Ismaredah, and D. M. Putri, “Analisa Performansi Pengendali Hybrid Sliding Mode (DSM) dan Sliding Mode dengan Permukaan

Luncur PID Pada Proses CSTR,” no. November, pp. 575–581, 2019.

[14] T. E. ITB, *Pemodelan state space* ♦. .

[15] K. Ogata, “Teknik Kontrol Automatik(Sistem Pengaturan),” p. 384, 1995.

[16] K. Ogata, *Modern Control Engineering*. .

[17] Siswoyo, *Teknik Listrik Industri Jilid 2*. 2019.

[18] R. P. Sari, “Penalaan Parameter Kontrol PID Dengan Metode Heuristic, Aplikasi : Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DCPendahuluan, B A B I,” 2015.

[19] B. Cahyono, “Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier,” *Phenom. J. Pendidik. MIPA*, vol. 3, no. 1, pp. 45–62, 2016, doi: 10.21580/phen.2013.3.1.174.

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

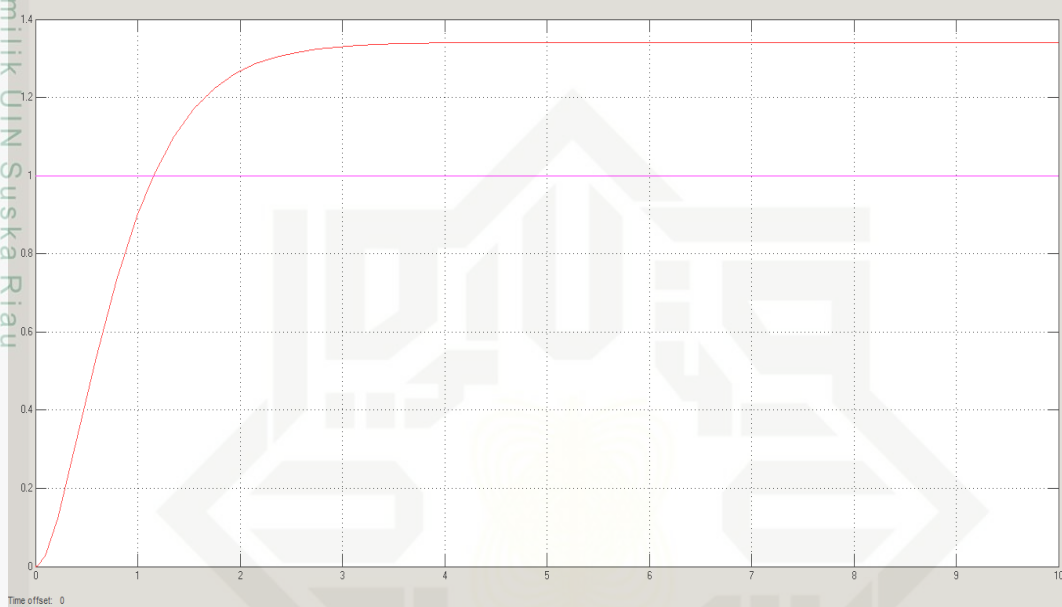
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

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

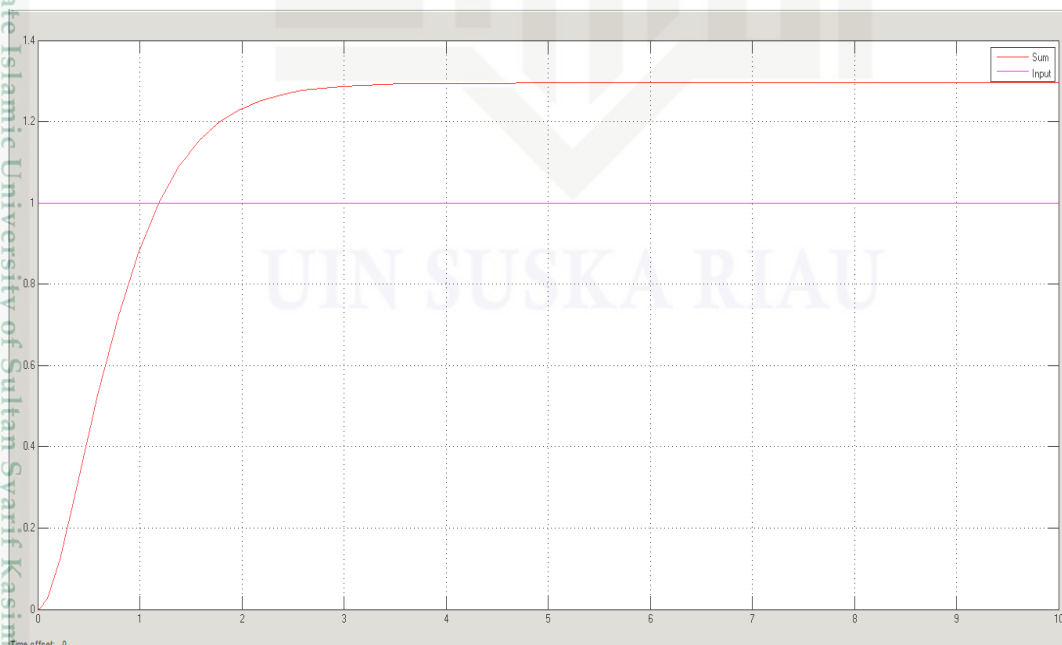
LAMPIRAN A

HASIL SIMULASI TUNNING LQR

1. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0$ dan $R=1$



2. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.04$ dan $R=1$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

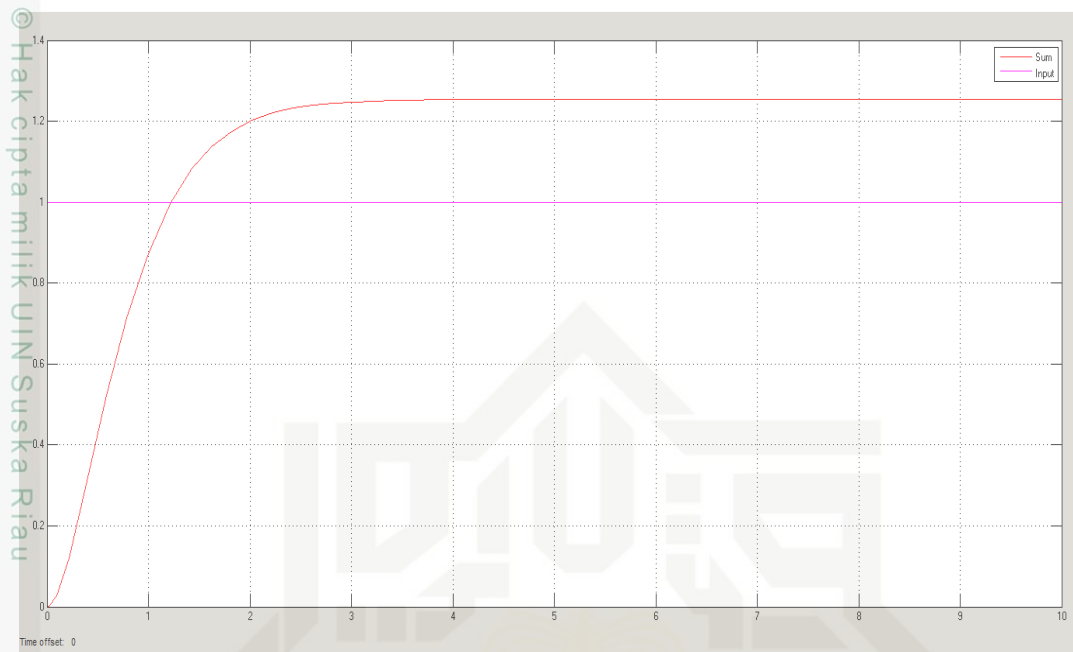
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

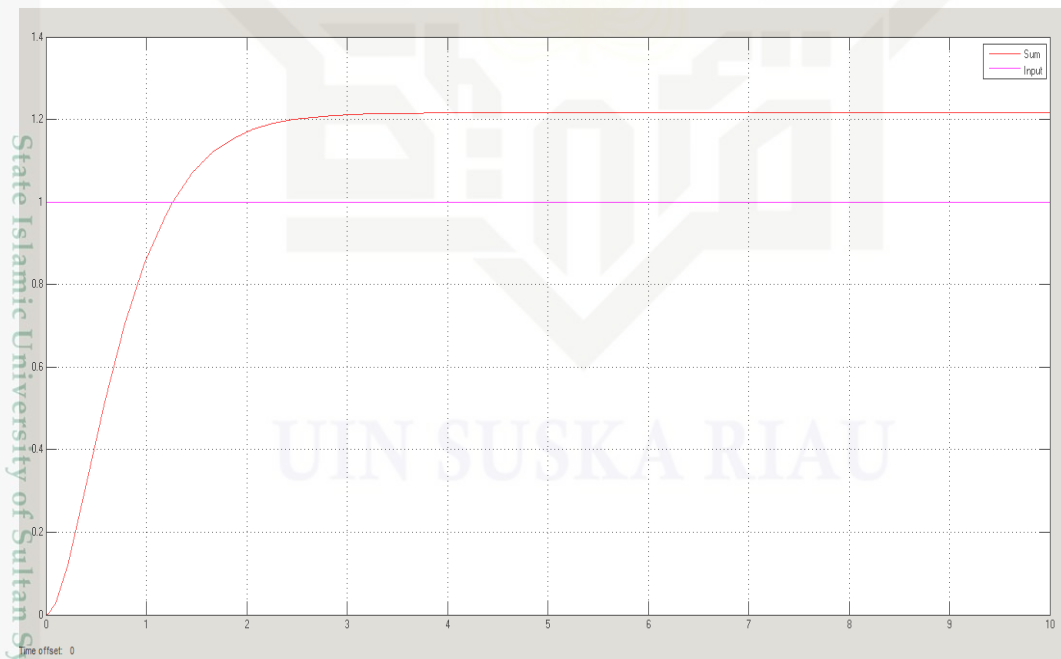
© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

3. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.08$ dan $R=1$



4. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.12$ dan $R=1$



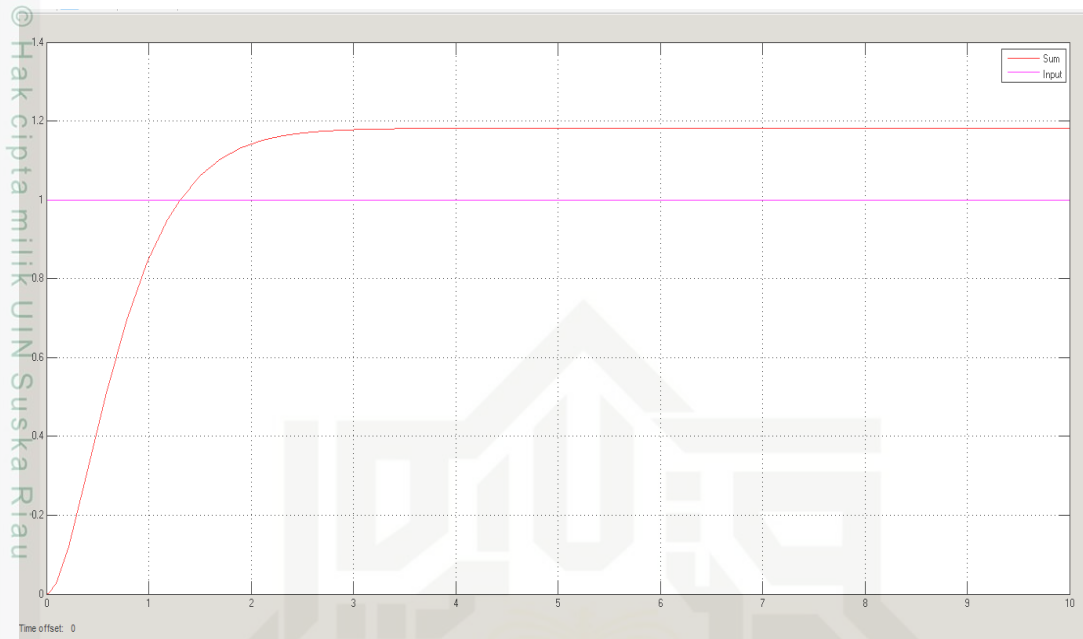
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

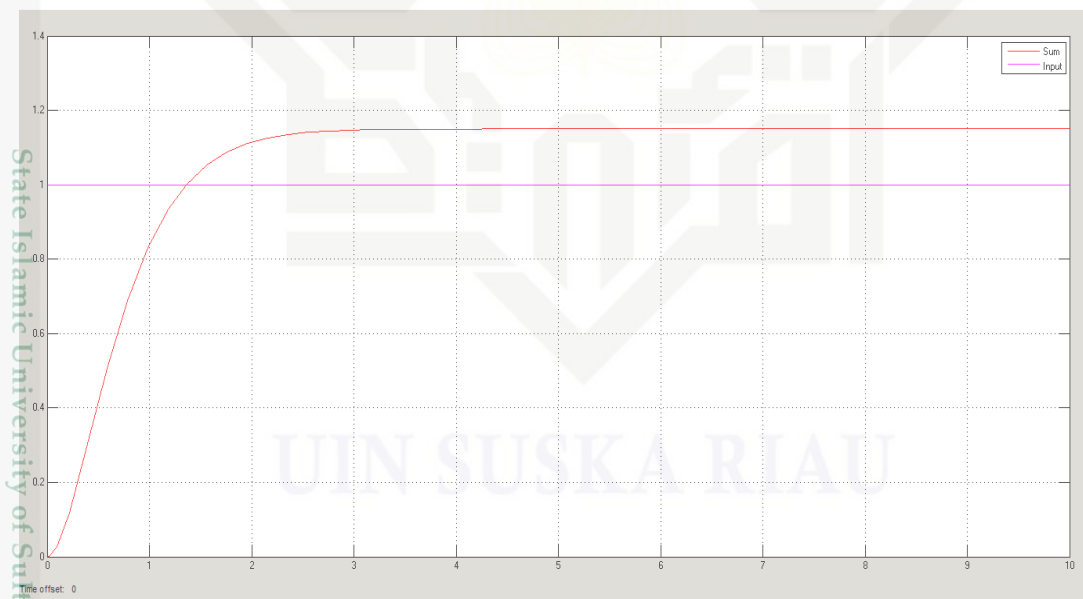
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

5. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.16$ dan $R=1$



6. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.20$ dan $R=1$



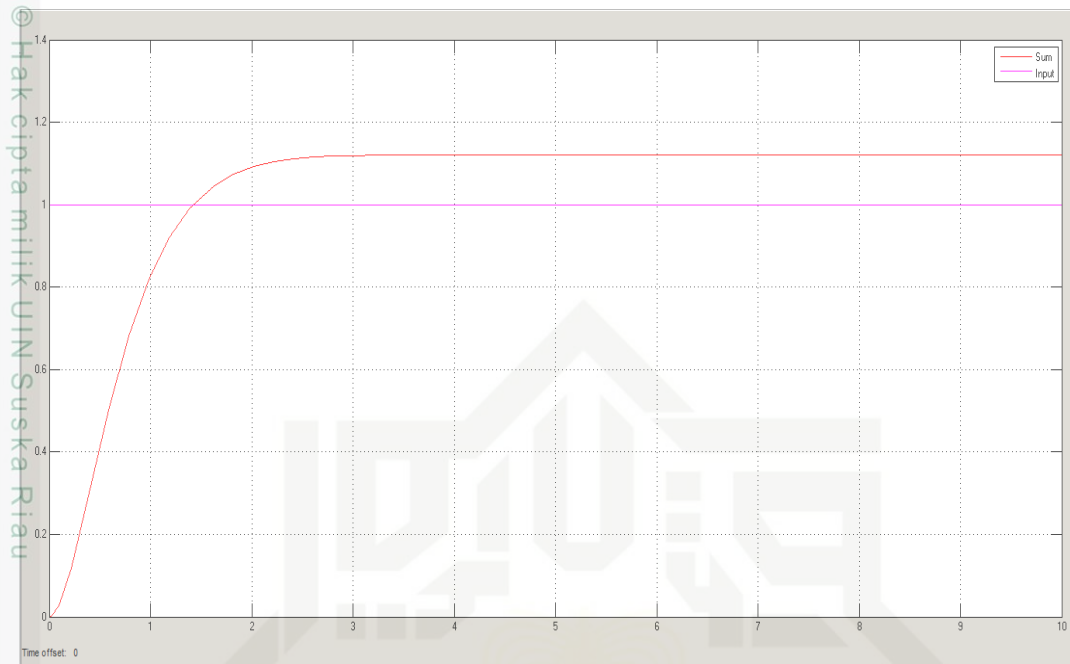
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

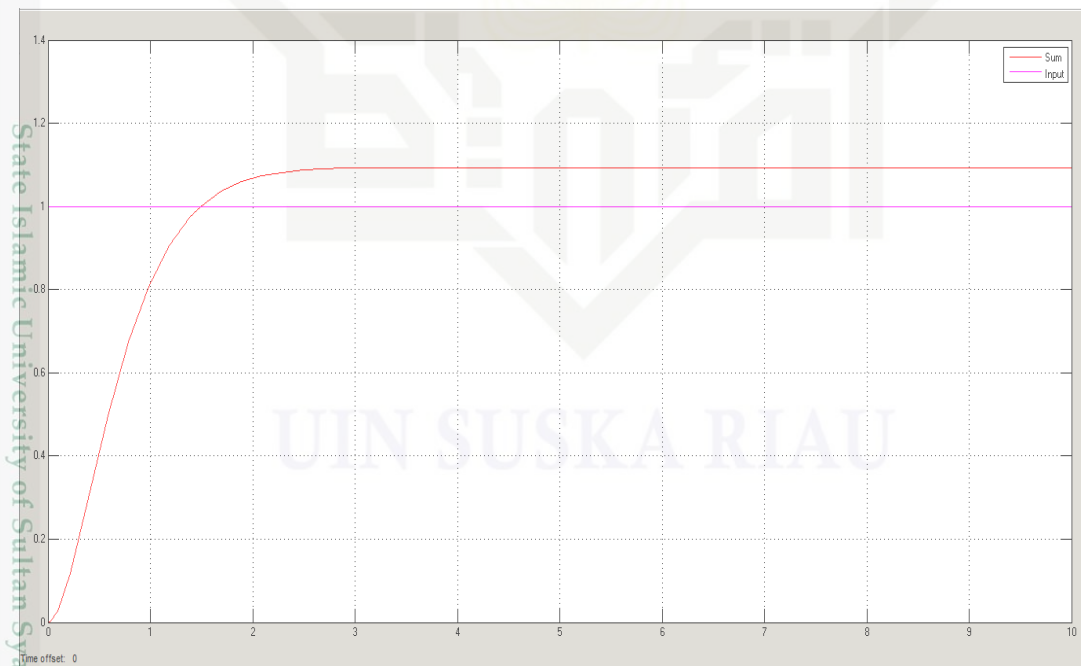
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

7. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.24$ dan $R=1$



8. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.28$ dan $R=1$



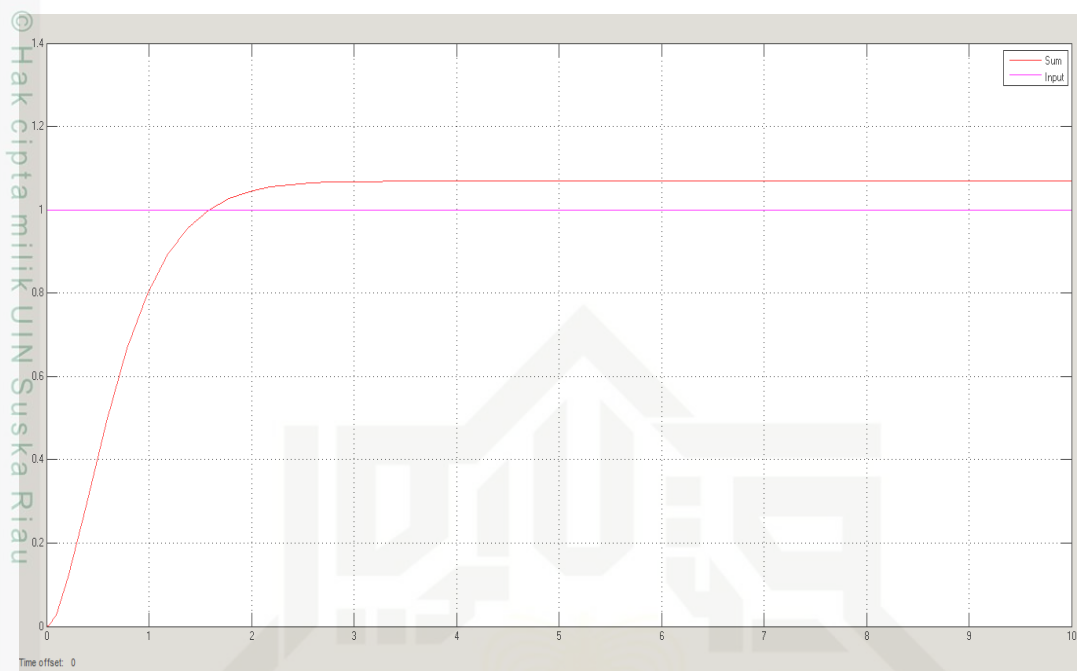
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

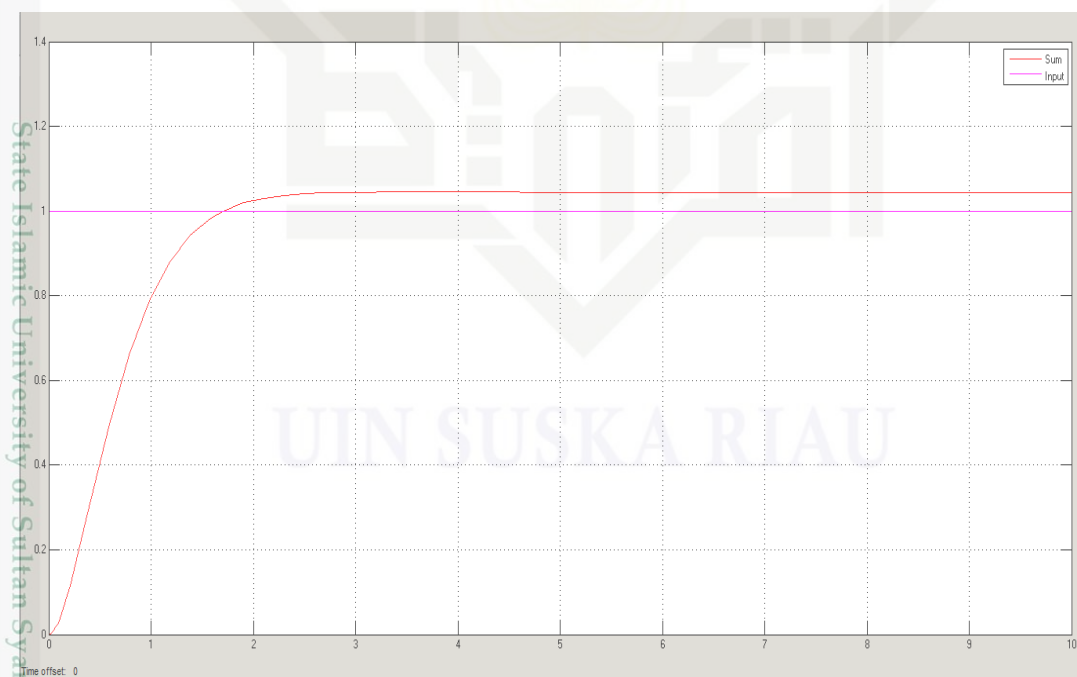
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

9. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.32$ dan $R=1$



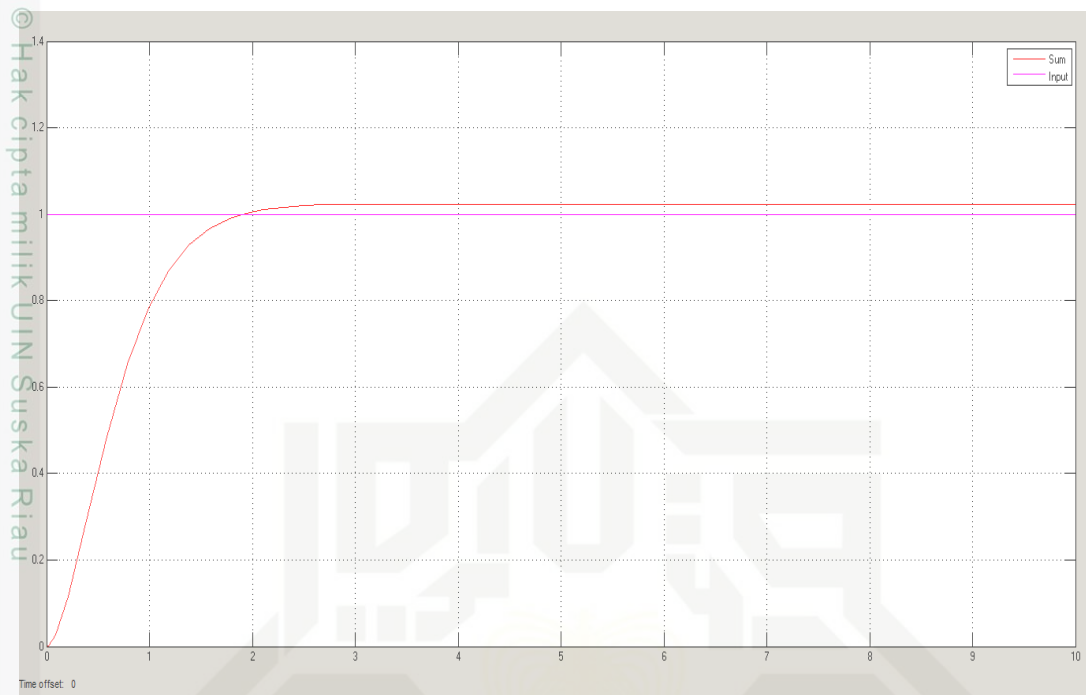
10. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.36$ dan $R=1$



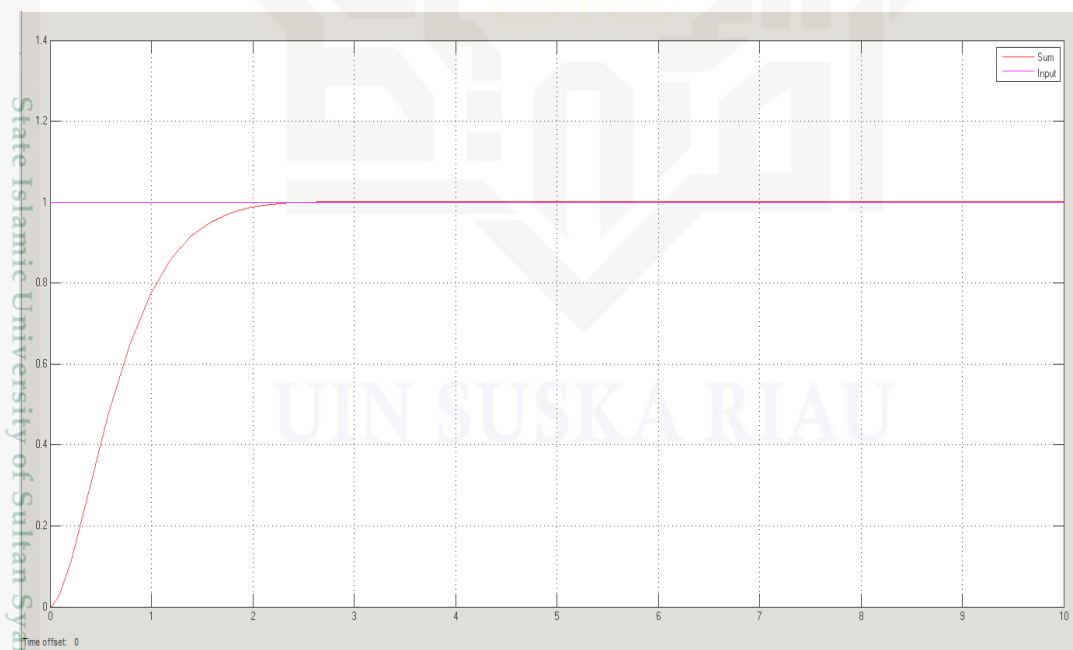
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

11. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.40$ dan $R=1$



12. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.44$ dan $R=1$



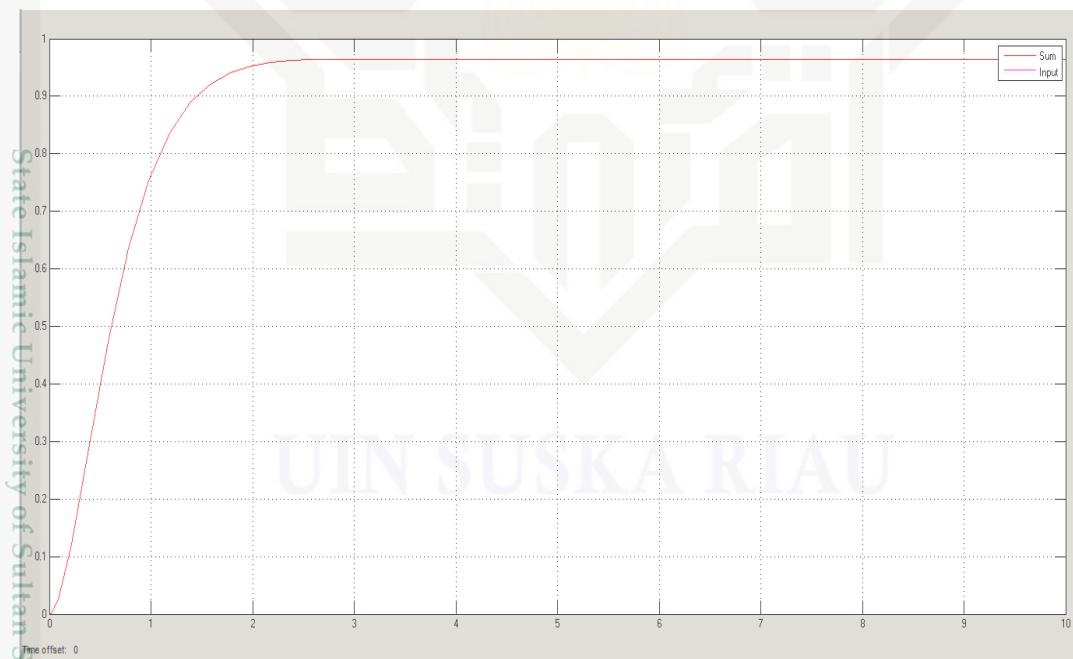
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

13. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.48$ dan $R=1$



14. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.52$ dan $R=1$



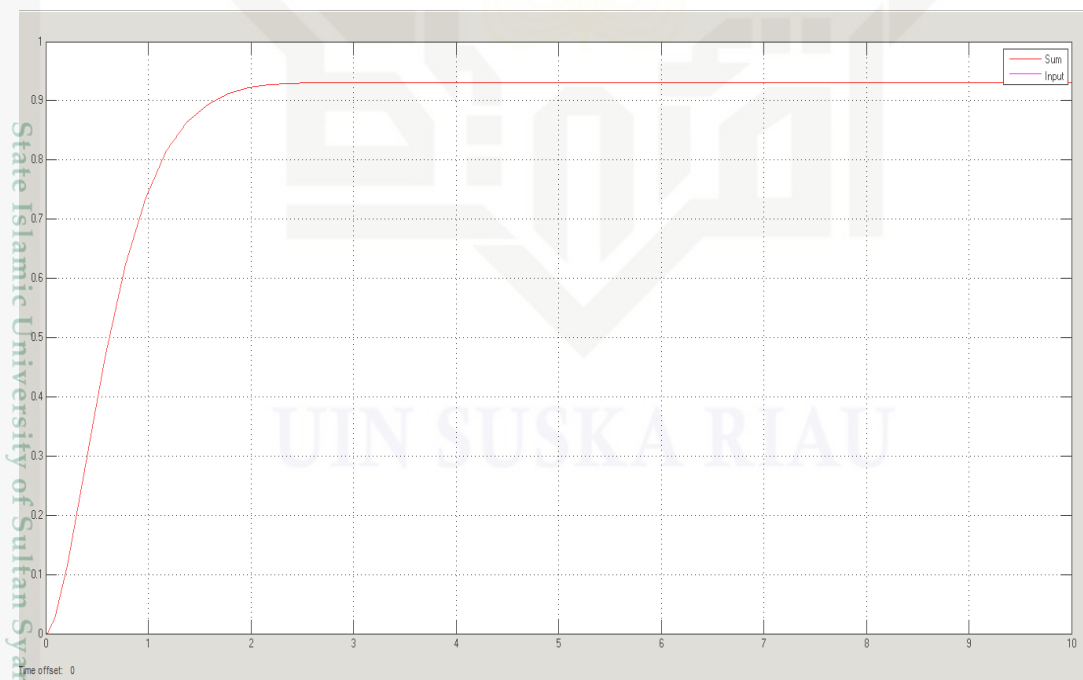
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

15. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.56$ dan $R=1$



16. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.60$ dan $R=1$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

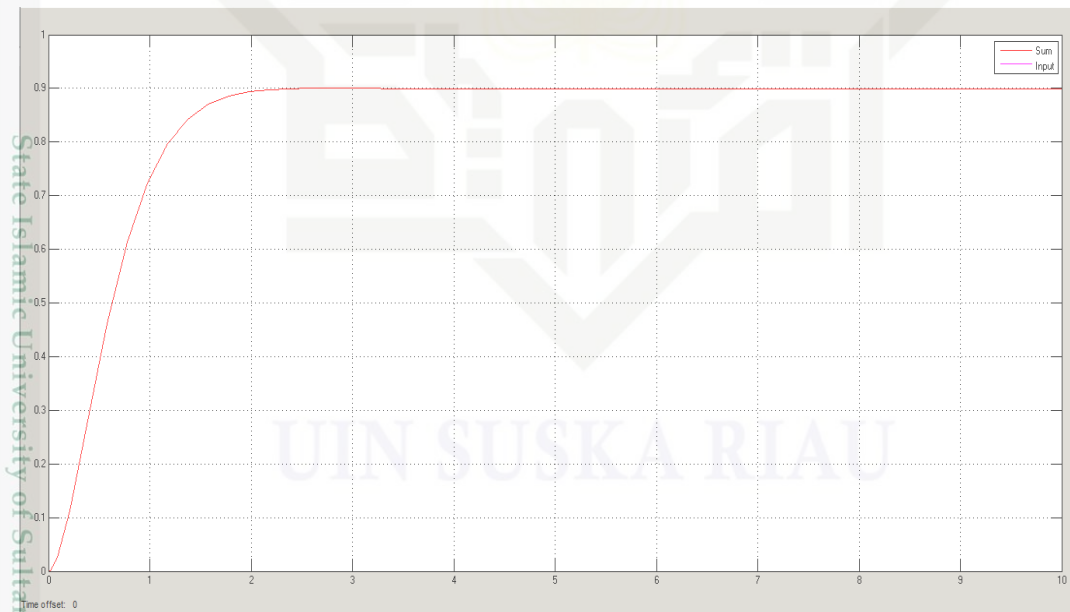
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

17. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.64$ dan $R=1$



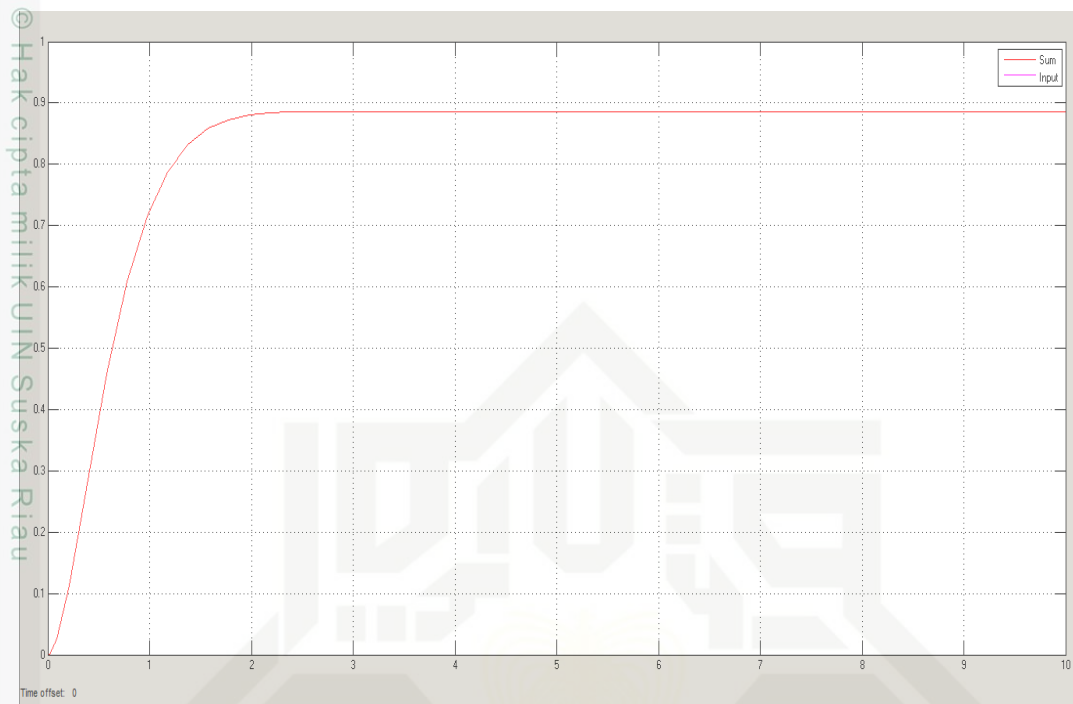
18. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.68$ dan $R=1$



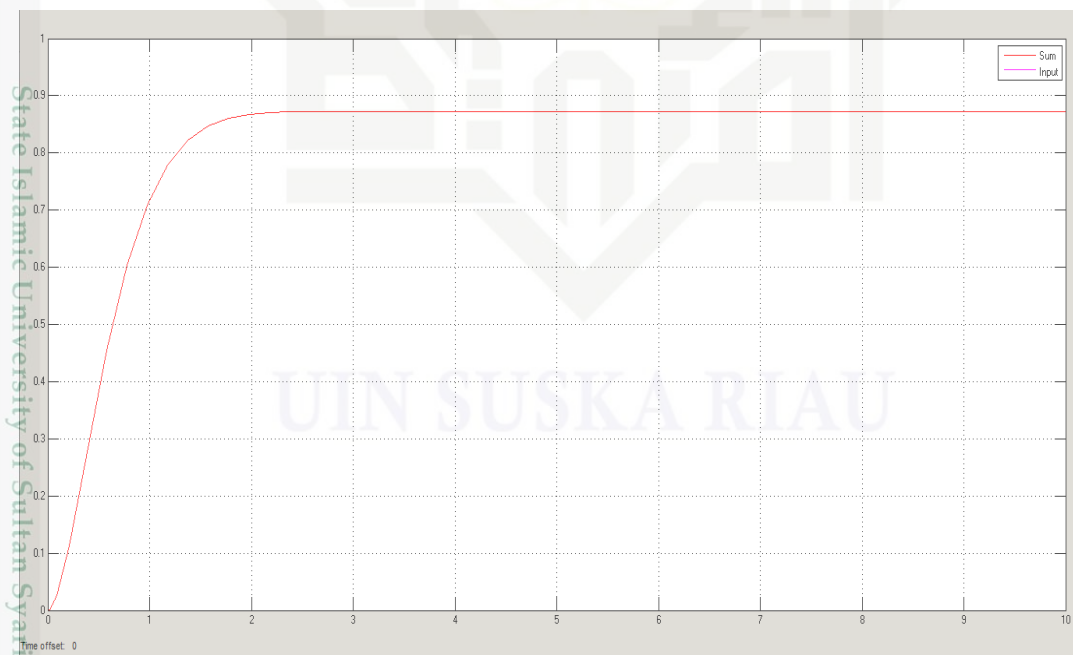
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

19. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.72$ dan $R=1$



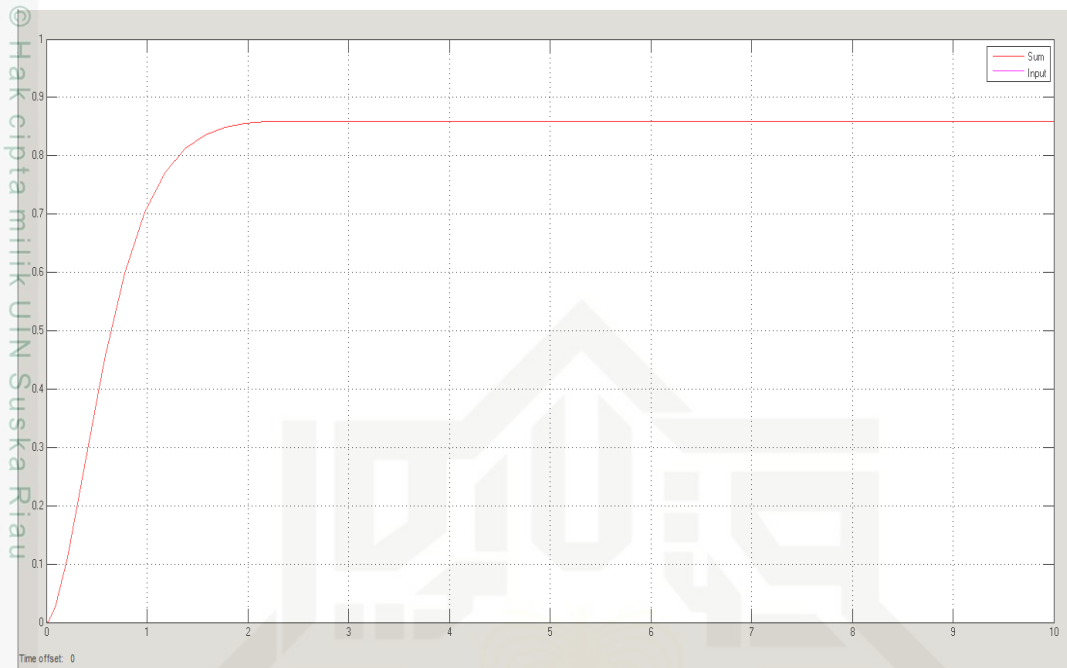
20. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.76$ dan $R=1$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

21. Hasil simulasi LQR dengan $Q=0.80$ dan $R=1$

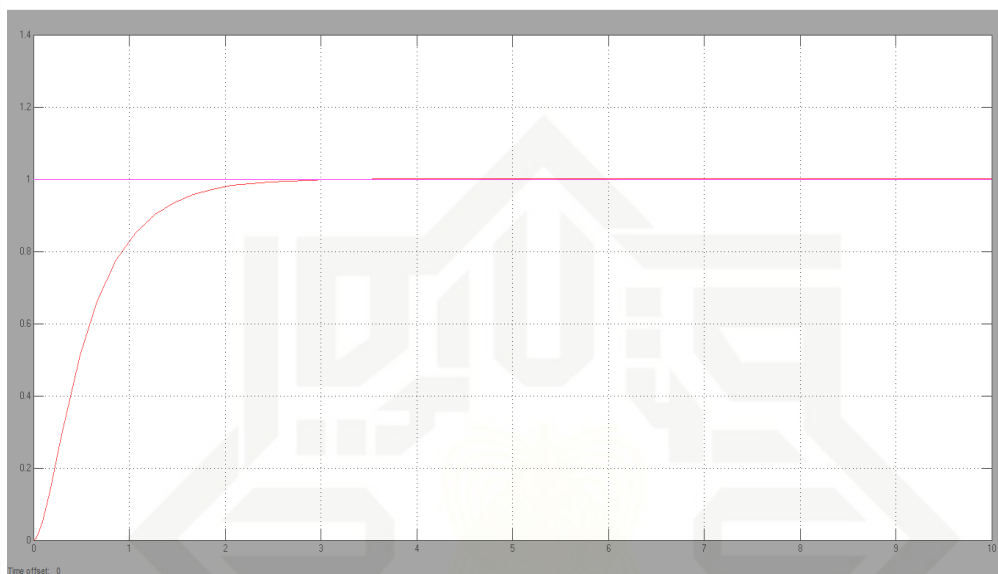


1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

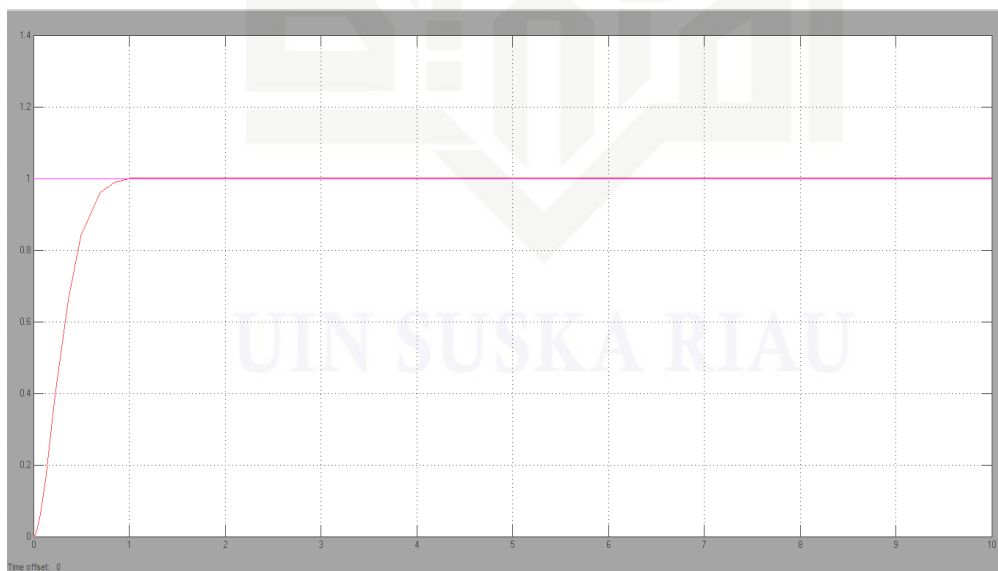
LAMPIRAN B

HASIL SIMULASI TUNNING LQR-PD

Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=1$ dan $K_d=0.5$



2. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=3$ dan $K_d=0.5$



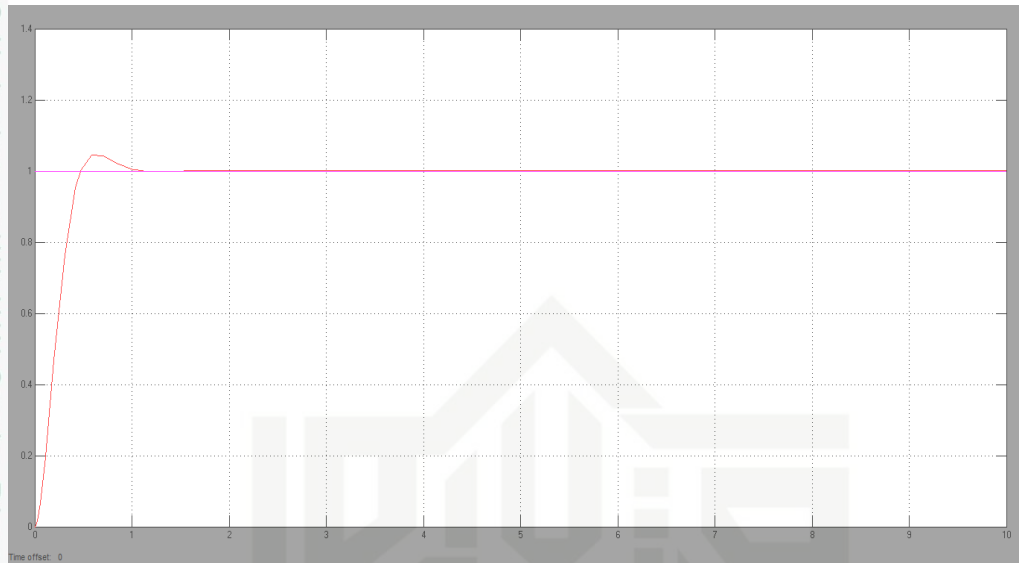
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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

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

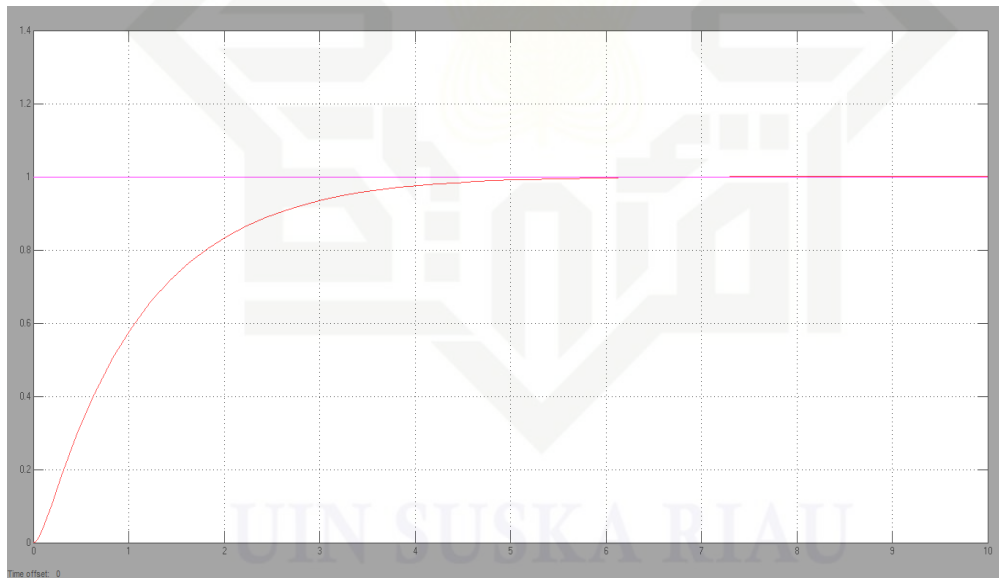
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

3. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=5$ dan $K_d=0.5$



4. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=0.5$ dan $K_d=1$

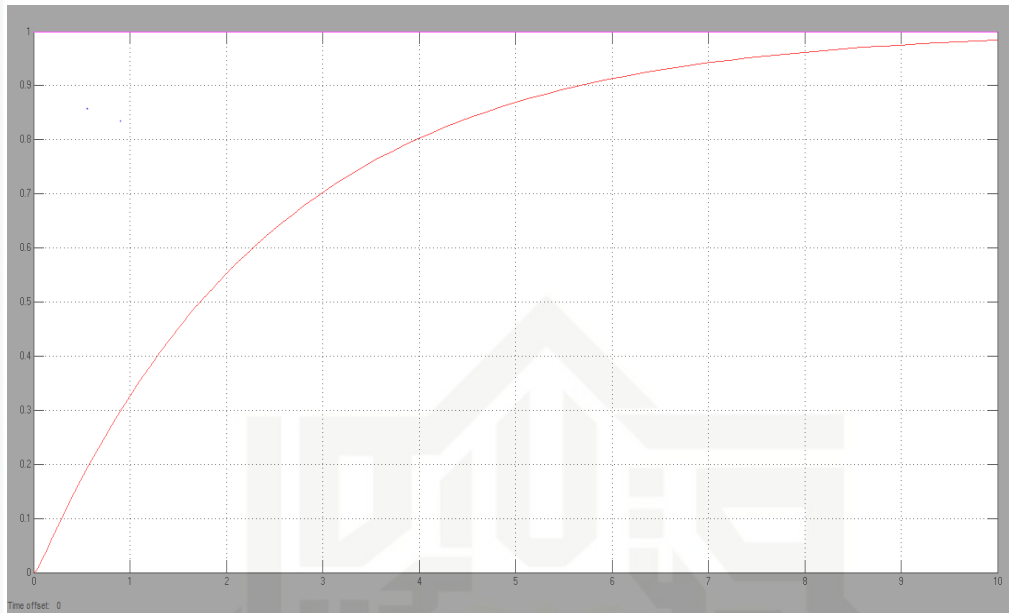


1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

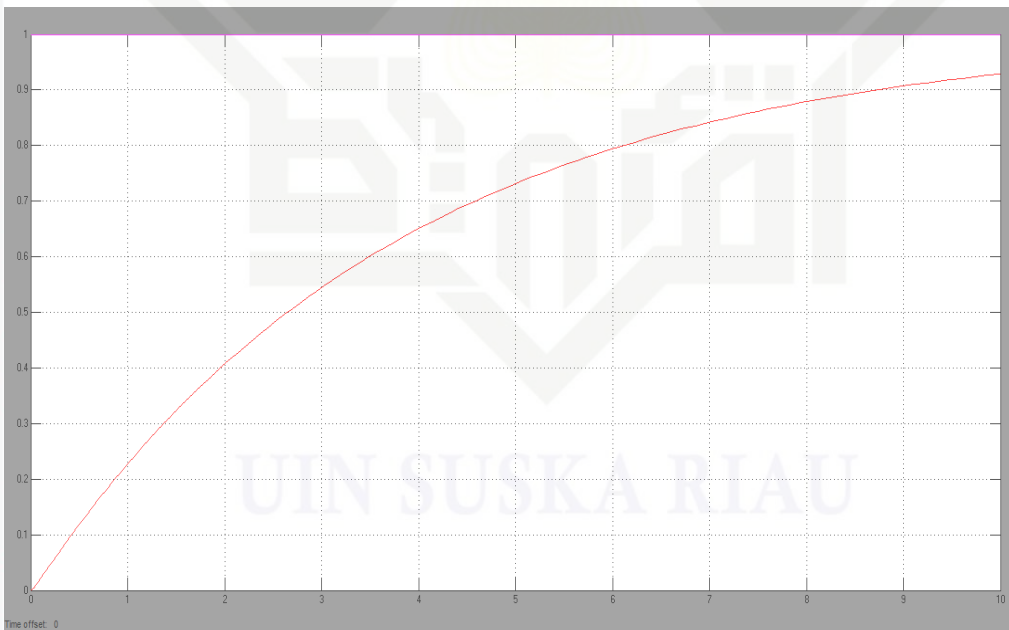
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

5. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=0.5$ dan $K_d=3$



6. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=0.5$ dan $K_d=5$

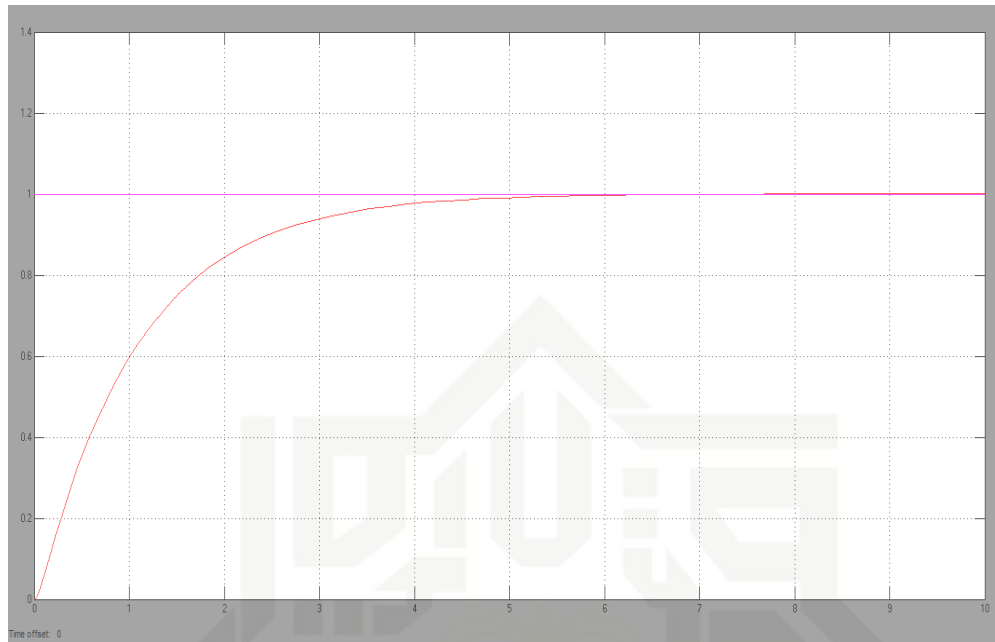


1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

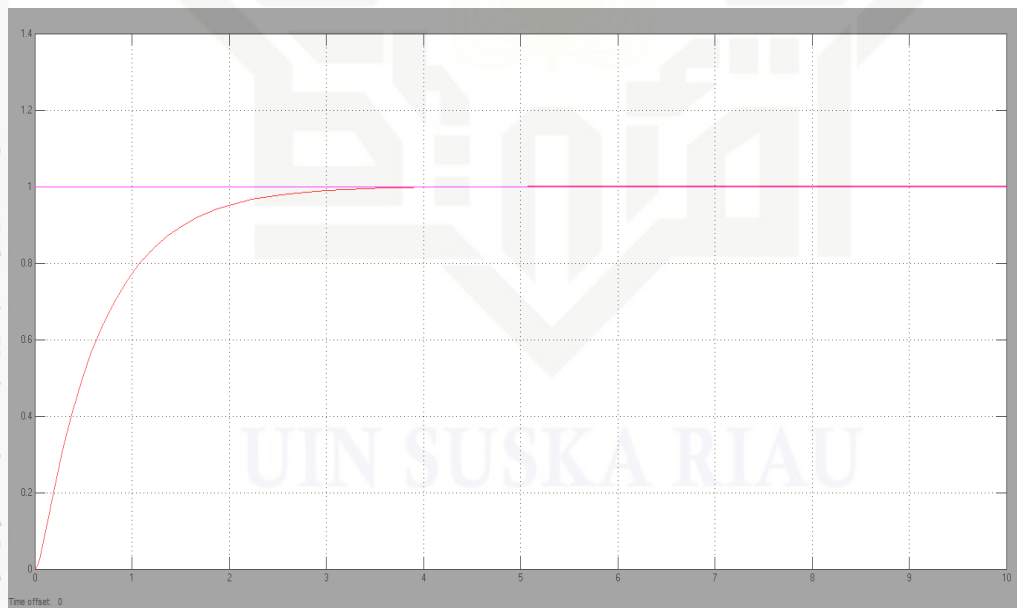
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

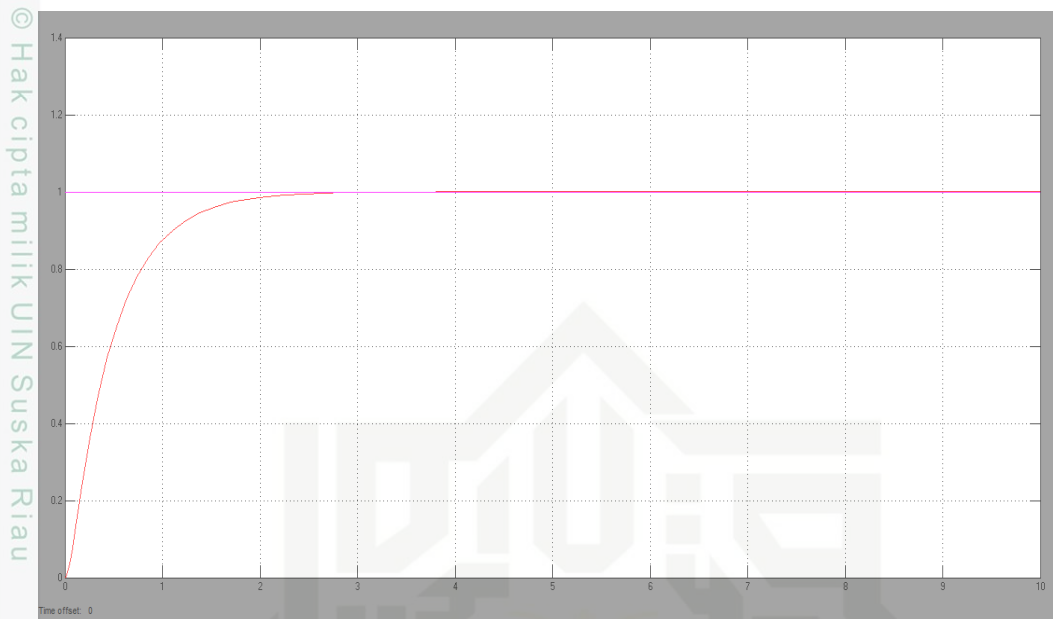
7. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=1.5$ dan $K_d=2$



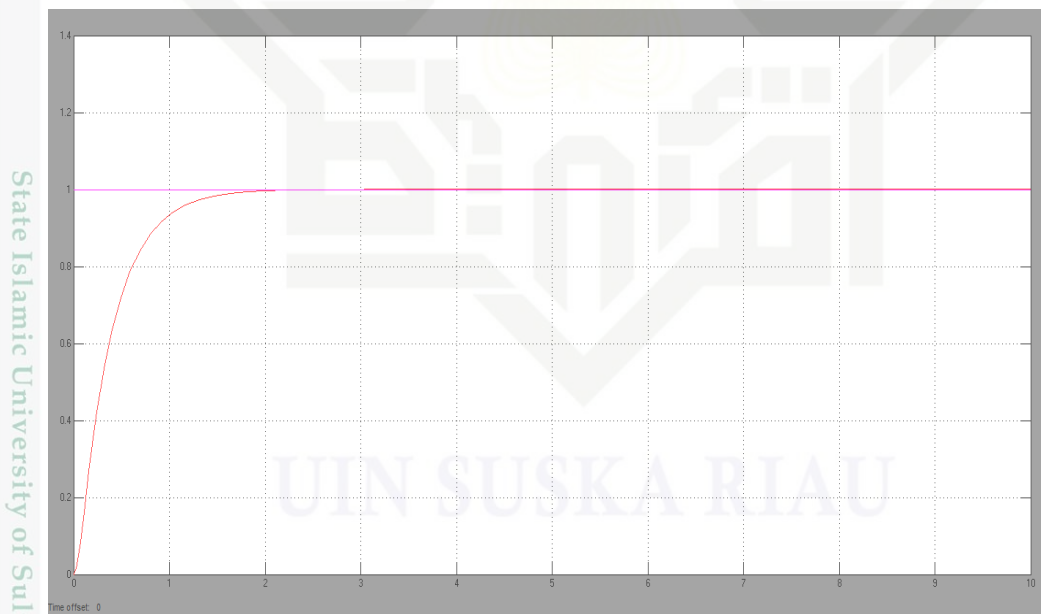
8. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=3$ dan $K_d=2$



9. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=4.5$ dan $K_d=2$



10. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=6$ dan $K_d=2$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

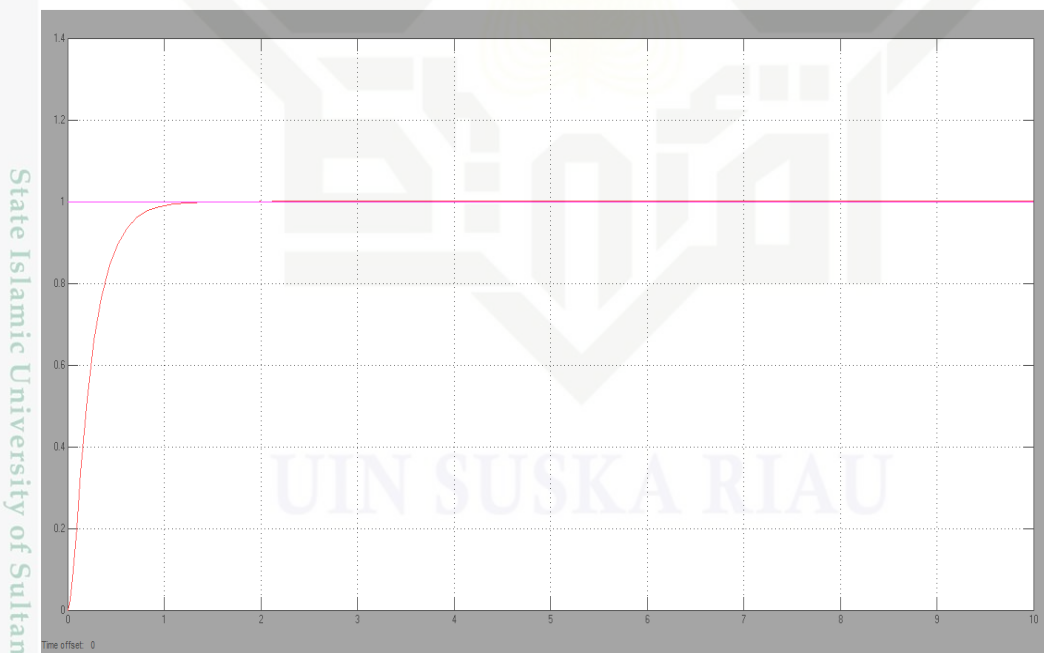
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

11. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=8$ dan $K_d=2$



12. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=10$ dan $K_d=2$



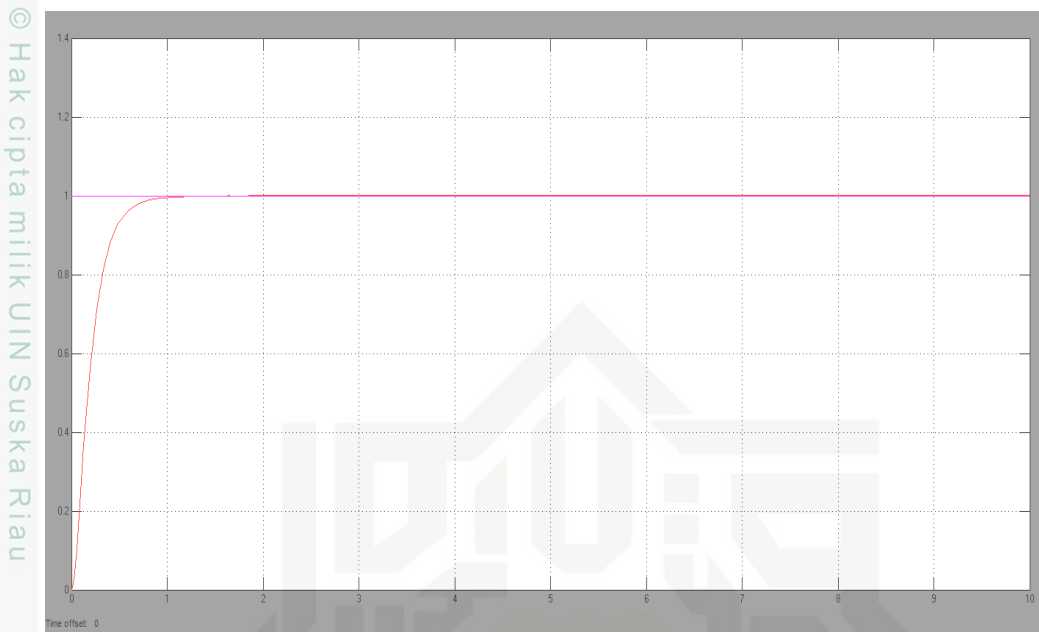
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

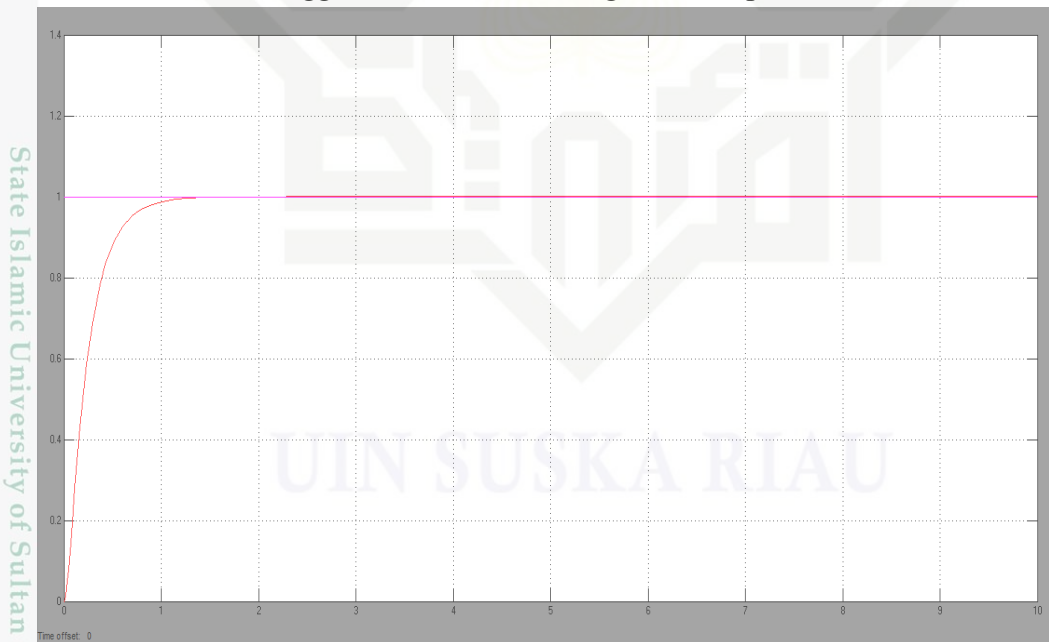
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

13. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=12$ dan $K_d=2$



14. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=12$ dan $K_d=2.5$



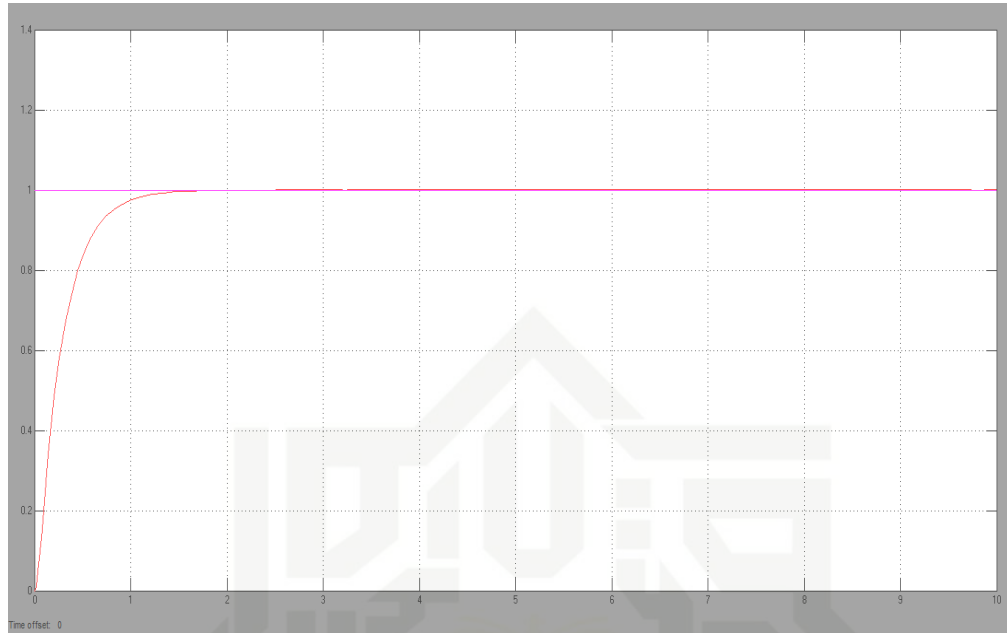
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

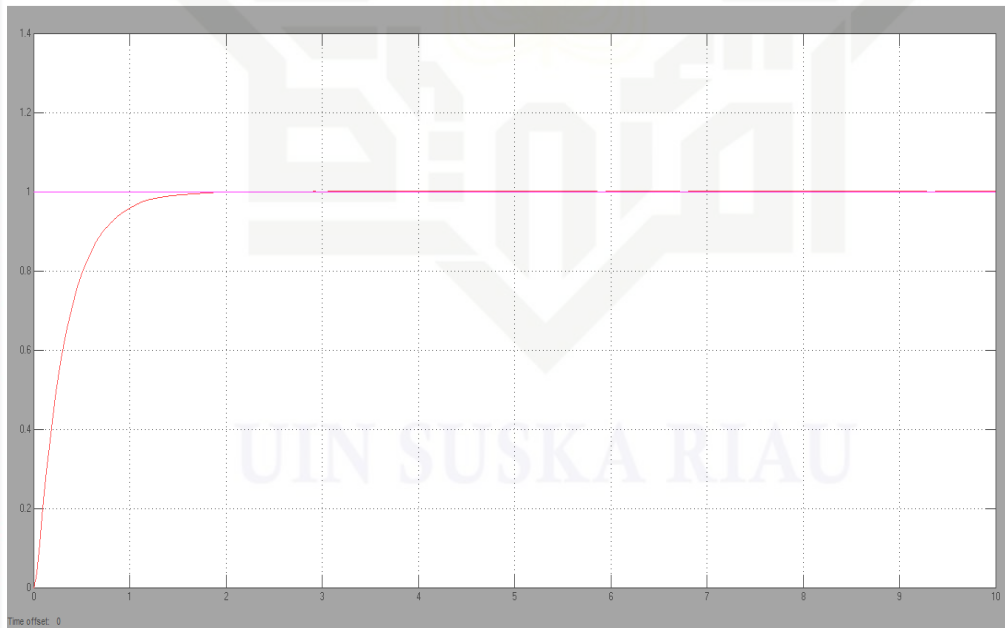
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

15. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=12$ dan $K_d=3$



16. Hasil simulasi menggunakan LQR-PD dengan nilai $K_p=12$ dan $K_d=3.5$



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Fanny Rohadatul 'Aisy lahir di Pekanbaru pada tanggal 17 Juli 1998 sebagai anak keempat dari empat bersaudara anak dari bapak Faisal M dan ibu Hartini dan penulis memiliki tiga abang. Beralamat di Jalan Swakarya Gang Gembira, Panam. Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 003 Sukajadi dan lulus pada tahun 2010, kemudian melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 5 Pekanbaru dan lulus pada tahun 2013, selanjutnya melanjutkan Pendidikan ke Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 6 Pekanbaru dan lulus pada tahun 2016. Kemudian setelah lulus SMA pada tahun 2016, penulis melanjutkan Pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dengan program studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Pada semester 4 penulis mengambil konsentrasi Elektronika Instrumentasi dan lulus pada tahun 2022.

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

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul **“Perancangan Pengendali *Linear Quadratic Regulator (LQR)*-PD untuk Mengendalikan Konsentrasi pada *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor*”**.

No. HP : 082387257424

Email : fanny.rohadatul@gmail.com

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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