PERANCANGAN PENGENDALI *LEVEL* PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR) MENGGUNAKAN LQR-PD

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 :

GILANG GUSTI IRANDA

11555102895

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2021

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN PENGENDALI *LEVEL* PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR) MENGGUNAKAN LQR-PD

TUGAS AKHIR

Oleh :

GILANG GUSTI IRANDA
11555102895

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 01 Februari 2021

Ketua Program Studi Teknik Elektro	Pembimbing
Ewi Ismaredah, S. Kom., M.Kom	Halim Mudia, S.T., M.T
NIP. 19750922 200912 2 002	NIK. 130517053

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

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
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 *LEVEL* PADA *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR) MENGGUNAKAN LQR-PD

TUGAS AKHIR

Oleh :

GILANG GUSTI IRANDA
11555102895

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 01 Februari 2021

Pekanbaru, 01 Februari 2021

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi	Ketua Program Studi Teknik Elektro
Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag **NIP. 19660604 199203 1 004**	**Ewi Ismaredah, S. Kom., M.Kom** **NIP. 19750922 2009122 002**

DEWAN PENGUJI :

Ketua	**: Arif Marsal, Lc., M.A.**
Sekretaris	**: Halim Mudia, S.T., M.T.**
Anggota I	**: Ahmad Faizal, S.T., M.T.**
Anggota II	**: Aulia Ullah, S.T., M.Eng.**

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

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

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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 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, 01 Februari 2021

Yang membuat pernyataan,

GILANG GUSTI IRANDA

NIM. 11555102895

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

UIN SUSKA RIAU

PERSEMBAHAN

Teruntuk Kedua Orang Tua Tercinta

Bapak Agusri dan Ibu Marzuaida

Kupersembahkan karya kecilku ini

sebagai bentuk rasa tanggung jawabku dan

pengukir senyuman kecil serta rasa bangga keluargaku.

Sebuah langkah kecil namun pasti ku hadapi

walau dengan sebuah awal keraguan. Berkat do'a kalian aku ada disini. Keras ku jalani, berat ku nikmati dan pedih ku syukuri. Maafkan jika anak kecilmu ini belum mampu

membahagiakan kalian.

Serta

Almamater tercinta

Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Dan Dosen-Dosen yang selalu menyemangati

20 Januari 2021

Pekanbaru

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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.

PERANCANGAN PENGENDALIAN *LEVEL* PADA *CONTINOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR) MENGGUNAKAN PENGENDALI LQR-PD

GILANG GUSTI IRANDA

NIM : 11555102895

Tanggal sidang : 01 Februari 2021

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

CSTR merupakan sebuah tangki pengaduk yang berfungsi untuk mencampurkan dua fluida atau lebih. Berdasarkan studi literatur saat dilakukan pengujian *openloop*, *error steady state* yang didapat adalah sebesar 1.24 meter dengan *risetime* 15.63 detik. Pada pengujian menggunakan SMC-PI *error steady state* yang didapat adalah 0.0056 meter. Saat pengujian menggunakan pengendali SMC-PD respon sistem tidak bisa mencapai *setpoint* yang diinginkan dengan *error steady state* sebesar 0.095 meter dengan *risetime* 0.346 detik, dan pada saat pengujian menggunakan MRAC-PD risetime yang didapat sebesar 2.88 detik. Pada penelitian ini pengendali yang dipilih adalah LQR untuk mengendalikan *level* pada CSTR. LQR dipilih karena memiliki sifat regulator yaitu pengendali yang mampu menjaga performa sistem. Sehingga cocok digunakan terhadap CSTR yang merupakan tangki pengaduk berkelajutan yang membutuhkan kestabilan pada *steady state.* Pada peneitian ini LQR sudah bisa mencapai *setpoint* 1 meter, tapi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* masih cukup besar, sehingga akan di tambahkan pengendali PD untuk pengontrolan *level* pada CSTR. Dari hasil pengujian menggunakan pengendali pengendali LQR dengan nilai matriks Q = 0.87505 dan nilai R = 1 dengan parameter Kp = 15, Kd = -0.1. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah pengendali LQR-PD bisa mengendalikan *level* pada CSTR, dengan nilai *error steady state* yaitu 0 meter dan *rise time* 0.1622 detik .

Kata Kunci : CSTR, *Level*,LQR,PD

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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.

LEVEL CONTROL DESIGN ON CONTINOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR) USING LQR-PD CONTROLLERS

GILANG GUSTI IRANDA

NIM: 11555102895

Date of trial: February 01, 2021

Electrical Engineering Study Program

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim State Islamic University, Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

CSTR is a stirring tank that serves to mix two or more fluids. Based on a literature study when an open loop test was carried out, the steady state error obtained was 1.24 meters with a research time of 15.63 seconds. In testing using the SMC-PI, the steady state error obtained is 0.0056 meters. When testing using the SMC-PD controller the response of the system could not reach the desired setpoint with a steady state error of 0.095 meters with a research time of 0.346 seconds, and when testing using the MRAC-PD research time it was obtained 2.88 seconds. In this study, the controller chosen was LQR to control the CSTR level. LQR was chosen because it has a regulatory nature, namely a controller that is able to maintain system performance. So it is suitable for use on CSTR which is a continuous mixer tank that requires stability at steady state. In this research, LQR has been able to reach a setpoint of 1 meter, but the time needed to reach the setpoint is still quite large, so a PD controller will be added for level control on the CSTR.From the test results using the LQR controller with a matrix value of Q = 0.87505 and a value of R = 1 with the parameters Kp = 15, Kd = -0.1. The results obtained from this study are the LQR-PD controller can control the level on the CSTR, with a steady state error value of 0 meters and a rise time of 0.1622 seconds.

Keywords *: CSTR, Level, LQR, PD*

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

KATA PENGANTAR

بسم الله الرحمن الرحيم

Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillahi Rabbil Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah swt, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul **"PERANCANGAN PENGENDALIAN *LEVEL* PADA CSTR MENGGUNAKAN LQR-PD"**. Shalawat beriringan salam semoga tetap tercurah kepada junjungan alam yakninya Nabi Muhammad SAW. Proposal tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menyelesaikan Mata Kuliah **Tugas Akhir** di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

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

1. Orang tua dan keluarga besar yang telah mendoa'akan serta memberikan semangat dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Suyitno, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Plt
3. Bapak Dr. Drs. Ahmad Darmawi,M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim-Riau
4. Ibu Ewi Ismaredah M.Kom selaku Ketua Program Studi Program Studi Teknik Elekro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan penelitian tugas akhir.
5. Bapak Mulyono ST,.MT selaku Sekretaris Program Studi Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

6. Bapak Halim Mudia, ST,MT dan Ibu Dian Mursyitah, ST, MT selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing serta memotivasi penulis hingga dapat meyelesaikan proposal tugas akhir
7. Bapak Arif Marsal, Lc., MA selaku ketua sidang, bapak Ahmad Faizal, ST.MT dan bapak Aulia Ullah, M,Eng selaku penguji yang telah menyempatkan dan meluangkan waktu ditengah kesibukan sehingga penulis bisa melewati proses demi proses dalam melaksanakan tugas akhir ini.
8. Bapak Jufrizel, ST.,MT selaku Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
9. Bapak / Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
10. Rekan-rekan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang juga turut memberikan dorongan semangat kepada penulis untuk dapat menyelesaikan proposal tugas akhir.

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

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

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 1 Februari 2021

Penulis

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

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

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI i
DAFTAR GAMBAR iii
DAFTAR TABEL iv
DAFTAR SINGKATAN v
DAFTAR SIMBOL vi
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 4
1.3. Tujuan Penelitian 4
1.4. Batasan Masalah 5
1.5. Manfaat Penelitian 5
BAB II 1
TINJAUAN PUSTAKA 1
2.1 Penelitian Terkait 1
2.2 Dasar Teori 3
2.2.1 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) 3
2.2.2 Identifikasi Sistem 6
2.3 Sistem Kendali 8
2.4 Pengendali Sistem 10
2.4.1 Linear Quadratic Regulator 10
2.4.2 Pengendali PD 14
2.5 Metode Heuristik 16
2.6 Integral pada Integral of Absolute Error (IAE) 16
2.7 MATLAB (MATRIX LABORATORY) 17
BAB III 1
METODOLOGI PENELITIAN 1
3.1 Alur Metode Penelitian 1

3.2 Tahapan Penelitian 2
3.3 Pengumpulan Data 4
3.4 Pengujian Model Matematis 4
3.5 Perancangan Pengendali LQR 6
3.6 Perancangan Pengendali LQR-PD pada CSTR 11
3.7 Analisa yang akan dilakukan 13
BAB IV 1
HASIL DAN ANALISA 1
4.1 Gambaran Umum Analisa Sistem 1
4.2 Hasil Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* secara Openloop. 1
4.3 Analisi Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* secara *Openloop*. 5
4.4 Hasil Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR 5
4.5 Analisa Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR 8
4.6 Hasil Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR-PD 9
4.7 Analisa Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR-PD 12
BAB V 1
KESIMPULAN DAN SARAN 1
5.1 Kesimpulan 1
5.2 Saran 1
DAFTAR PUSTAKA 1
LAMPIRAN A 1
BLOK DIAGRAM SIMULINK 1
LAMPIRAN B 1
PROSES TUNNING LQR PADA MATRIKS Q DAN R UNTUK MENGENDALIKAN LEVEL PADA CSTR 1
LAMPIRAN C 1
PROSES TUNNING Kp DAN Kd PADA PENGENDALI LQR KOMBINASI PD UNTUK MENGENDALIKAN LEVEL PADA CSTR 1

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Sistem CSTR	II-3
2.2	Pipa Keluaran CSTR	II-4
2.3	Respon Sistem Orde Satu	II-7
2.4	Sistem Kendali dengan skema Kendali Optimal LQR	II-13
2.5	Diagram Blok Kontrol Proporsional	II-14
2.6	Diagram Blok Derivative	II-15
2.7	Ikon Matlab	II-16
2.8	Bagian *Window* Matlab	II-17
2.9	Tampilan model *simulink* pada Matlab	II-18
2.10	Kotak dialog *simulink library*	II-18
3.1	*Flowchart* Penelitian	III-2
3.2	Diagram blok *open loop* CSTR	III-4
3.3	Subsistem blok CSTR	III-4
3.4	Grafik keluaran *open loop* CSTR	III-5
3.5	Blok Diagram Pengendali CSTR menggunakan LQR	III-7
3.6	Program M-File pada Sistem CSTR Menggunakan LQR	III-7
3.7	Grafik Sistem CSTR menggunakan LQR	III-8
3.8	Blok Diagram Pengendali CSTR menggunakan LQR	III-9
3.9	Grafik Sistem CSTR menggunakan LQR	III-10
4.1	Blok Simulink Sistem *Level* pada CSTR secara *Openloop*	IV-2
4.2	Hasil respon sistem *level* pada CSTR secara *opeenloop*	IV-2
4.3	Blok Simulink pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR	IV-5
4.4	Hasil respon pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR	IV-5
4.5	Blok Simulink pengendali *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD	IV-8
4.6	Respon pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD	IV-9
4.7	Blok Simulink Pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD	IV-12

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1 Parameter proses CSTR II-5

3.1 Matriks R Konstan dengan Analisa IAE III-8

3.2 Penalaan PD menggunakan metode Heuristic..... III-11

4.1 Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* secara *Openloop* IV-5

4.2 Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* menggunakan pengendali LQR..... IV-8

4.3 Pengujian *Level* pada *Continous Stirret Tank Reactor* menggunakan pengendali LQR-PD IV-12

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim R

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR SINGKATAN

PID	=	*Propotional Integral Derivatif*
Ts	=	*Time Setling*
Tr	=	*Time Rise*
Td	=	*Time Delay*
Tp	=	Waktu Puncak
SP	=	*Setpoint*
LQR	=	*Linear Quadratic Regulator*

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

DAFTAR SIMBOL

Δ = perubahan nilai

$>>$ = dua kali lebih besar

$\approx$ = Hampir Sama Dengan

τ = Konstanta Waktu

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

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

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kemajuan zaman membuat perkembangan dalam berbagai hal, begitu juga ilmu pengetahuan dan teknologi. Perkembangan ini terjadi karena pola pikir manusia yang sudah maju untuk menyelesaikan suatu permasalahan, yang pada dasarnya bertujuan untuk mempermudah suatu pekerjaan. Perkembangan ini sangat berpengaruh dalam berbagai hal, termasuk dalam dunia industri. Salah satu industri yang ikut berkembang adalah industri makanan dan minuman. Pada industri makanan dan minuman tedapat salah satu proses yaitu pencampuran dua atau lebih komponen, hai ini bertujuan untuk menjadikannya produk memiliki nilai lebih. Salah satu komponen pencampuran bahan pada dunia industri adalah *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR).

CSTR merupakan sebuah tangki pengaduk yang berfungsi untuk mencampurkan dua fluida bahkan lebih. CSTR banyak digunakan dalam proses kimia industri seperti industri makanan, minuman, bioteknologi dan industri yang memerlukan proses pencampuran fluida lainnya. Didalam CSTR terjadi reaksi kimia pembentukan atau penguraian dimana aliran masuk atau keluar terjadi secara terus menerus (kontiniu). Pada sistem CSTR terdapat beberapa variabel yang dapat dikendalikan seperti konsentrasi (*consentration),* ketinggian (*level),* suhu (*temperature),* tekanan (*preassure),* laju aliran (*flow),* dan lain sebagainya. *Level* merupakan salah satu variabel yang penting dikendalikan, karena kalau tidak dikendalikan, akan memberikan dampak yang besar bagi suatu produk, yang hasilnya tidak akan memenuhi kebutuhan produksi yang diinginkan, sehingga menyebabkan kerugian pada industri tersebut. Berdasarkan hal tersebut, untuk mencegah kerugian pada perusahaan, CSTR perlu ditambahkan pengenali otomatis, bukan hanya untuk mencapai keluaran sistem sesuai dengan yang diinginkan pengendali juga diharapkan bisa menjaga performa sistem agar keluaran stabil pada *setpoint*[1].

Ada beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam memodelkan sistem CSTR. Salah satunya pengendalian *level* dan konsentrasi dengan menggunakan pengendali *Hybrid Proportional Integral* (PI) dan *sliding mode* dalam proses CSTR. Penelitian ini merancang pengendali PI dalam permukaan luncur *sliding mode.* Berdasarkan hasil simulasinya, pengendali *hybrid sliding mode* PI yang dirancang memiliki hasil yang lebih baik dibanding dengan pengendali *sliding mode* dengan *error steady state* sebesar 0.0056 meter[2].

Pada penelitian berikutnya *sliding mode* dikombinasikan dengan PD untuk mengendalikan *level* dan konsentrasi pada CSTR. Hasil simulasi menunjukkan pengendali SMC dengan permukaan luncur PD tidak mendapatkan hasil yang baik. Pada pengendalian *level,* SMC dengan pengendali PD tidak berhasil mencapai *setpoint* yang diinginkan dengan *setpoint* 1 meter. Akan tetapi dalam pengendalian konsentrasi, SMC PD berhasil mencapai *setpoint* yang diinginkan sebesar 1.25kmol ^{3}/detik, namun *error* yang dihasilkan dari pengendali SMC PD pada *level* yaitu 0.095 meter dan nilai *risetime* = 0.346 detik. Pada saat diberi gangguanpun, pengendali SMC-PD tidak menghasilkan kinerja yang baik[3].

Pada penelitian lain juga telah dilakukan pengendalian *level* pada CSTR menggunakan pengendali MRAC-PD dan berhasil mencapai *setpoint.* Keluaran nya berhasil mengikuti model referensi yang telah dirancang pada pengendalian *level* pada sitem CSTR. Didapatkan hasil penelitian dengan nilai *gain* sebesar 150 dan parameter Kp dengan nilai 1, Kd dengan nilai 1.15. Dari penelitian ini, MRAC-PD mampu menghasilkan keluaran sistem yang hampir mengikuti model referensi. Percobaan ini mendapatkan hasil *risetime* sebesar 2.88 detik[4].

Berdasarkan studi literature dan hasil simulasi CSTR masih belum mencapai *setpoint* yang diharapkan setelah diuji secara *open loop* yang memiliki *error steady state* sebesar 1.24 meter dan *risetime* yang masih besar, pada percobaan dengan pengendali SMC PD *level* pada CSTR juga tidak mencapai *setpoint* yang ditentukan dengan *error steady state* sebesar 0.095m dengan *risetime* = 0.346 detik, dan pada pengendalian *level* menggunakan MRAC-PD *risetime* = 2.88 detik sehingga masih

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

bisa dipercepat lagi. Oleh karena itu dipilihlah pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR). Pemilihan kendali LQR ini dikarenakan LQR merupakan kendali optimal yang dikenal mampu menjaga kestabilan performa sistem. Sehingga cocok digunakan terhadap CSTR yang merupakan tangki pengaduk berkelajutan yang membutuhkan kestabilan pada *steady state.* Secara umum pengendali optimal memiliki dua tujuan yaitu regulator dan *tracker*. Regulator merupakan tujuan pengendali agar bisa mencapai dan bertahan dengan konstan atau stabil pada *setpoint* yang diinginkan walapun adanya gangguan, sedangkan *tracker* berfungsi mengendalikan sistem agar mampu mengikuti *setpoint*[5].

Pada penelitian desain LQR pada proses CSTR yang menggunakan variabel suhu dan konsentrasi terhadap waktu. Pada suhu gangguan diberikan pada detik ke 3 dan 6 dengan besar magnetudo 5, didapat bahwa LQR membuat parameter pengontrolan mengatasi gangguan dalam hitungan detik[6]. Pada penelitian implementasi LQR untuk CSTR *Tank*, LQR dipasang untuk mengendalikan volume dan tekanan. Dari penelitian ini didapat bahwa respon sistem secara menyeluruh mendapatkan hasil yang memuaskan untuk kontrol konsentrasi dan volume dan juga bisa menekan gangguan secara signifikan. Pada volume setelah diberi gangguan menunjukan hasil *error steady state* sebesar 0.005732 dan pada konsentrasi setelah diberikan gangguan menunjukan hasil *error steady state* sebesar 0.01537[7].

Penetian berikutnya mengenai LQR diterapkan pada sumbu elevasi *gun* pada *turret-gun* kaliber 20 milimeter. LQR berhasil mencapai *set poin*t, namun kelemahan dari LQR adalah dalam kecepatan respon waktu, sehingga dibutuhkan pengendali tambahan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Pengendali yang dipilih untuk dikombinasikan dengan LQR adalah pengendali *Proportional-Derivative*(PD) menjadi LQR-PD. Teori menunjukan bahwa konstanta proporsional dapat mempercepat respon waktu dan derivatif dapat meredam osilasi. Berdasarkan penelitian dari simulasi dan analisa LQR-PD pada sumbu elevasi *Turret-Gun* berhasil mencapai *setpoint* yaitu sebesar 30 derjat, serta *osilasi* dari 6,2% menjadi 0% dan *error steady state* menjadi 0%. LQR-PD juga mampu unuk menangani

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

masalah saat diberikan gangguan pada detik ke 10 sampai ke 15 dengan waktu *recovery* 5 detik, dan pada detik ke 15 dengan waktu *recovery* 0,5775 detik. [8]

Pra penelitian telah dilakukan terhadap CSTR menggunakan LQR, dari percoban tersebut hasil simulasi menunjukan respon dari sistem belum mencapai *setpoint* yang telah ditentukan. Hal ini disebabkan karena nilai Q dan R yang belum sesuai. Namun setelah dilakukan pemilihan nilai Q dan R dengan maksimal sehingga bisa mencapai *setpoint* yang diinginkan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* masih terbilang cukup besar. Oleh karena itu LQR akan dikombinasikan dengan PD. Penambahan pengendali *proportional* (P) ternyata belum cukup, sehingga perlu ditambahkan pengendali *delivative* (D).

Dari beberapa penelitian yang dilakukan dengan menggunakan pengendali LQR-PD, diapatkan hasil bahwa pengendali LQR-PD mampu menghasilkan respon sistem yang stabil dan respon waktu yang lebih baik. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul Tugas Akhir yaitu **PERANCANGAN PENGENDALIAN *LEVEL* PADA CSTR MENGGUNAKAN LQR-PD.**

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang pengendali *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD untuk mengatasi *error steady state* dan *rise time* yang masih lambat.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang pengendalian *level* pada CSTR menggunakan pengendali LQR-PD agar *output* sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan dengan *error steady state* mendekati 0 dan *rise time* yang lebih cepat.

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

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model yang dipakai adalah model matematis yang diturunkan dari persamaan matematik pada jurnal rujukan Dian Mursyitah
2. Tidak membahas *hardware* pada CSTR penelitian dilakukan dengan cara simulasi.
3. Simulasi dilakukan denga menggunakan *software* MATLAB

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan rancangan sistem kendali menggunakan *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dan PD untuk mengendalikan *level* pada CSTR mencapai *setpoint* dengan *error steady state* yang kecil dan *rise time* yang lebih cepat.
2. Mengetahui hasil respon waktu keluaran perancangan pengendalaian *level* pada CSTR menggunakan pengendali PD
3. Dapat menjadikan referensi tambahan dalam pengaplikasian pengendali pada CSTR.
4. Sebagai referensi tambahan bagi penelitian-penelitian selanjutnya

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

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.
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian Tugas Akhir ini akan dilakukan studi literatur untuk mendapatkan teori atau referensi yang sesuai dengan kasus dan masalah yang akan diselesaikan, teori dan referensi ini dapat ditemukan dan didapatkan dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, paper atau sumber lainnya.

Penelitian terkait dalam memodelkan sistem CSTR sudah banyak dilakukan. Salah satunya pengendalian *level* dan konsentrasi dengan menggunakan pengendali *Hybrid Proportional Integral* (PI) dan *sliding mode* dalam proses CSTR. Penelitian ini merancang pengendali PI dalam permukaan luncur *sliding mode.* Berdasarkan hasil simulasinya, pengendali *hybrid sliding mode* PI yang dirancang dapat menurunkann nilai dari *error steady state*[2].

Berikutnya penelitian yang membahas tentang perancangan pengendalian *Propotional Integral Delivative* (PID) di dalam permukaan luncur *sliding mode* untuk mengendalikan *level* dan konsentrasi pada proses CSTR. Hasil simulasi menunjukkan pengendali SMC dengan permukaan luncur PD tidak mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan hasil SMC. Pada pengendalian *level*, SMC dengan PD tidak berhasil mencapai *setpoint* sedangkan SMC bisa dalam mengendalikan *level* mencapai *setpoint* 1. Begitu juga dalam pengendalian konsentrasi, SMC PD berhasil mencapai *setpoint* yang diinginkan sebesar 1.25kmol^{3}/detik, namun *rise time* yang dihasilkan dari pengendali SMC PD sangat besar yaitu 3.822s dibanding dengan SMC yang *rise time* nya sebesar 2.399s[3].

Pada penelitian lain pengendali MRAC-PD dikombinasikan untuk mengendalikan *level* pada CSTR. Respon sistem yang dihasilkan dari pengendali MRAC saja sudah mencapai *setpoint* dan berhasil mengikuti model referensi akan tetapi masih memiliki osilasi ketika sistem mengikuti referensi. Sehingga perlu ditambahkannya pengendali lain untuk menghilangkan osilasi pada keluaran sistem tersebut. Pengendali yang di pilih untuk ditambahkan pada engendali MRAC adalah PD. Pengendali PD membuat kelemahan pada pengendali MRAC yang masih menimbulkan osilasi bisa diredam dengan pengendali

delivative (D), akan tetapi pengendali D tidak bisa digunakan sendiri sehingga perlu pengendali *proportional*(P)[4].

Penelitian yang membahas desain LQR untuk proses CSTR non isothermal dengan variabel suhu dengan nilai awal yang diberikan adalah 289 kelvin. Percobaan yang dilakukan mendapatkan hasil bahwa suhu tetap berada pada waktu tunak tanpa banyak penundaan, yang membuktikan bahwa kontroler LQR berhasil menjaga dan mengontrol suhu pada CSTR non isothermal. Setelah itu pengujian dilakukan dengan memberikan gangguan terhadap sistem yang telah dibuat, gangguan yang diberikan terjadi pada detik 3 dan 6 dengan besar gangguan yaitu 5 magnetudo. Saat mengamati hasil pensimulasian, ketika sistem suhu pada CSTR dengan kontroler LQR diberikan gangguan, gangguan bisa diatasi dalam hitungan detik, dan membuktikan LQR merupakan salah satu kontrol yang baik yang digunakan untuk mengendalikan suhu pada CSTR.[6]

Implementasian LQR untuk mengendalikan tangki CSTR dengan variabel volume dan konsentrasi. Respon sistem yang didapatkan secara keseluruhan sangat memuaskan untuk kontrol volume dan konsentrasi yang merupakan kontrol variabel keadaan. Respon yang didapatkan dalam menghadapi gangguanpun meningkat secara pesat, dan menekan gangguan secara signifikan[7].

Penelitian berikutnya yaitu pengendalian sumbu elevasi gun pada *turret gun* kaliber 20 milimeter yang diberikan pengedali LQR-PD. *Turret gun* merupakan alat yang biasa digunakan untuk mempermudah kerja militer untuk mengenai target yang terdapat pada senjata laras panjang. Penelitian ini dapat membuktian bahwa pengendalian LQR-PD yang ditambahkan dapat mencapai *setpoint* yang ditentukan yaitu sebesar 30°, *overshoot* yang dihasilkanpun berhasil turun menjadi 0% dari yang semula 6.2% dan nilai *error steady state* juga 0° [8].

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan berdasarkan dari beberapa referensi yang penulis temui, maka penulis tertarik melakukan penelitian tentang analisis sistem pada *Continuous Stired Tank Reactor* (CSTR) dengan menggunakan pengendali LQR-PD untuk mengendalikan *level.*

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

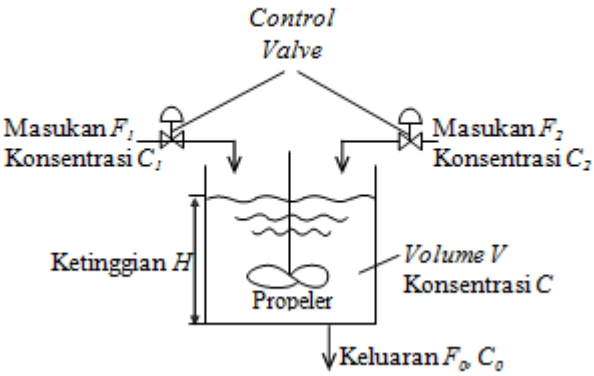
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan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

2.2 Dasar Teori

Berikut ini merupakan dasar dasar teori yang didapatkan dari referensi jurnal, paper, buku dan sumber lainnya.

2.2.1 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

CSTR adalah tangki pengaduk yang umumnya digunakan pada industri-industri kimia yang memerlukan pencampuran dua fluida ataupun lebih. CSTR merupakan sistem non linier multivariabel, dikatakan multivariabel karena banyaknya variabel yang bisa dikendalikan seperti tekanan *(pressure)*, suhu *(temperature)*, laju aliran *(flow)*, ketinggian *(level)*, konsentrasi *(concntration)*, dan lain sebagainya[1].



Gambar 2.1 Sistem CSTR[2]

Berdasarkan hukum kesetaraan *volume* tangki dengan asumsi tidak adanya material yang keluar dalam bentuk uap, *Volume* masuk – *Volume* keluar = perubahan *Volume* dalam tangki. Maka pemodelan matematis sistem dapat ditulis sebagai berikut [2]:

$$V_{in} - V_{out} = V_{Perubahan\,Volume\,dalam\,Tangki} \tag{2.1}$$

$$(F_1\Delta t + F_2\Delta t) - F_0\Delta t = \Delta V \tag{2.2}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = F_1 + F_2 - F_0 \tag{2.3}$$

Volume dalam tangki merupakan hasil perkalian dari luas permukaan tangki (A) dengan perubahan *level* (H) dalam tangki, sehingga dapat ditulis:

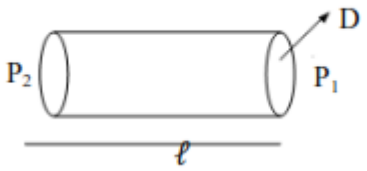
$$\Delta V = A\Delta H \tag{2.4}$$

Lalu disubstitusikan persamaan 2.4 ke persamaan 2.3, sehinga menjadi seperti berikut:[2]

$$\frac{A\Delta H}{\Delta t} = F_1 + F_2 - F \tag{2.5}$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A}(F_1 + F_2) - \frac{1}{A}F_0 \tag{2.6}$$

Kecepatan aliran keluaran F_0 bergantung pada ketinggian (H) permukaan dalam tangki, dan luas diameter pipa[2]. Nilai konstanta celah didapat dari ilustrasi berikut:



Gambar 2.2 pipa keluaran CSTR[2]

Berdasarkan ilustrasi gambar 2.2 dapat dituliskan:

$$F_0 = \frac{Dk_t}{Pl}\sqrt{P_1 - P_2} \tag{2.7}$$

Dimana: $P_1 >> P_2$

P = Tekanan (kg/ms^2)

F_0 = Laju aliran (m^3/s)

D = Diameter pipa (m)

l = Panjang pipa (m)

$$F_0 = \frac{Dk_t}{Pl}\sqrt{P_1} \tag{2.8}$$

Berdasarkan persamaan tekanan hidrostatik, persamaan tekanan dapat ditulis sebagai berikut:

$$P = \rho g H \tag{2.9}$$

$$F_0 = \frac{Dk_t}{Pl}\sqrt{\rho g H} \tag{2.10}$$

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

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 Sultan Syarif Kasim Riau

$$F_0 = \frac{Dk_t\sqrt{\rho g}\sqrt{H}}{Pl} \tag{2.11}$$

Dengan demikian, kecepatan keluaran aliran F_0 tergantung dari ketinggian permukaan dalam tangki (H), luas diameter pipa (D), dan konstanta celah, sehingga:

$$F_0 = \frac{Dk_t\sqrt{\rho g}}{Pl} = Kc \tag{2.12}$$

Sehingga persamaan 2.11 menjadi seperti:

$$F_0 = Kc\sqrt{H} \tag{2.13}$$

Substitusikan persamaan 2.13 ke persamaan 2.6, sehingga mendapatkan pemodelan matematis untuk pengendalian *level* sebagai berikut:[2]

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A}(F_1 + F_2) - \frac{Kc}{A}\sqrt{H} \tag{2.14}$$

dimana: [2]

A= Luas permukaan tangki (m^2)

$F_1 =$ Laju aliran 1 (m^3/s)

$F_2 =$ Laju aliran 2 (m^3/s)

$K_c =$ Konstanta celah

H = *Level (m)*

Dari persamaan 2.14 dapat dilihat bahwa dinamika fungsi CSTR adalah non linier. Data parameter proses CSTR dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Parameter proses CSTR

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Laju aliran 1	F_1	0.15	m^3/s
Laju aliran 2	F_2	0.6	m^3/s
Konsentrasi 1 (konstan)	C_1	1	$kmol^3/s$
Konsentrasi 2 (bervariasi)	C_2	1.2 – 1.4	$kmol^3/s$
Volume	V	1	m^3
Luas permukaan tangki	A	1	m^2
Konstanta celah (beban)	K_c	0.5 - 1	-

Sumber: [2]

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

Pemodelan matematis sistem CSTR untuk pengendalian *level* mengacu pada persamaan 2.14 yaitu :[4]

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A}(F_1 + F_2) - \frac{kc}{A}\sqrt{H}$$

Kemudian melakukan linierisasi persamaan 2.14 menggunakan fungsi *Taylor's* dengan mempertimbangkan fungsi $f(H, F_{in})$ dari variabel H dan F_{in} dengan nilai A = 1 yaitu [4]:

$$\frac{dH}{dt} = H(H, F_{in}) + \left(\frac{\partial H}{\partial F_{in}}\right)_{F_{in}=F_{in}} (F_{in}) - \left(\frac{\partial H}{\partial H}\right)_{H=H} (H) \quad (2.15)$$

$$\frac{dH}{dt} = H(H, F_{in}) + \frac{1}{A}(F_{in}(t)) - \left(\frac{K_c}{A}\sqrt{H}\right)(H(t))$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A}(F_{in})(t) - K_c\sqrt{H}(H)(t) \quad (2.16)$$

Sehingga menghasilkan linierisasi pada titik 0.5 meter yaitu:

$$\frac{dH}{dt} = (F_{in})(t) - 0.5\sqrt{0.5}(H)(t)$$

$$= (F_{in})(t) - 0.3535(H)(t) \quad (2.17)$$

Selanjutnya persamaan 2.17 dirubah ke transformasi laplace :

$$sH(s) = (F_{in})(s) - 0.3535(H)(s)$$

$$sH(s) + 0.3535(H)(s) = (F_{in})(s)$$

$$H(s)(s + 0.3535) = (F_{in})(s) \quad (2.18)$$

Sehingga didapatkan fungsi alihnya:

$$y(s) = \frac{output}{input} = \frac{H(s)}{F_{in}(s)}$$

$$y(s) = \frac{H(s)}{F_{in}(s)} = \frac{1}{s+0.3535}$$

maka diperoleh transfer *function* dari sistem CSTR untuk pengendalian *level* adalah[4]

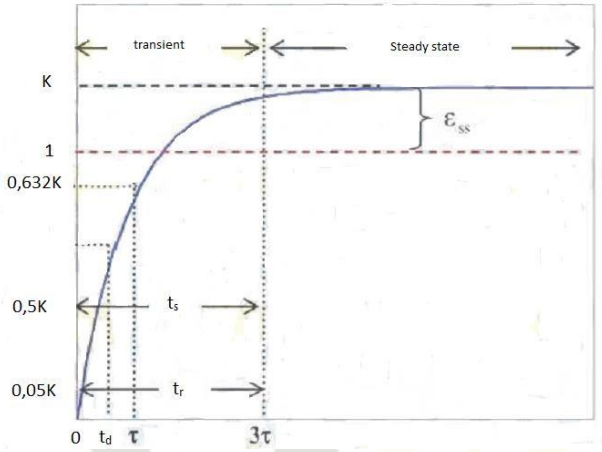
$$y(s) = \frac{1}{s+0.3535} \quad (2.19)$$

2.2.2 Identifikasi Sistem

Pengendalian level CSTR adalah sistem orde satu, sehingga metode identifikasi yang dilakukan adalah identifikasi statis. Pendekatan grafis dilakukan untuk Metode identifikasi, yang mana sinyal uji diberikan pada sistem agar didapatkan nya nilai respon

open loop sistem. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik apa saja yang penting dari sistem[9].

Metode pengamatan respon waktu adalah salah satu metode identifikasi statis. metode ini bekerja dengan melakukan pengamatan grafis kepada masukan *step*. Karakteristik respon waktu untuk sistem orde pertama diberikan berdasarkan respon sistem terhadap masukan sinyal *step*. Karakteristik respon waktu sistem orde pertama dibedakan menjadi karakteristik respon transien dan keadaan tunak (*steady state*)[9]. Grafik respon sistem orde pertama untuk Xss = 1 dan Yss = K ditunjukkan pada Gambar



Gambar 2.3. Respon sistem orde satu[7]

Respon transien terdiri dari :

a) Spesifikasi teoritis :

Konstanta waktu (τ), merepakan waktu yang dibutuhkan respon mulai saat t=0 hingga respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*. Kecepatan respon sistem menyatakan konstanta waktu. Semakin kecil konstanta waktu, maka akan respon sistem yang didapatkan semakin cepat[9]

b) Spesifikasi praktis :

1. *settling time* atau waktu tunak (t_s), merupakan ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem sudah mencapai kestabilan. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ, maka t_s dapat diformulasikan sebagai berikut :[9]

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

t_s (±3%) ≈ 5τ

t_s (±4%) ≈ 2τ

t_s (±5%) ≈ 0,5τ

2. Waktu naik atau *rise time* (t_r), merupakan pengukuran waktu yang dinyatakan bahwa respon sistem sudah naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan tunak (*steady state*). Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ, maka t_r dapat diformulasikan sebagai berikut :[9]

t_r (5% - 95%) ≈ τ ln19

t_r (10% - 90%) ≈ τ ln9

3. Waktu tunda atau *delay time* (t_d), merupakan waktu yang didapat respon mulai saat t=0 hingga respon mencapai 50% dari nilainya saat keadaan tunak (*steady state*). Waktu tunda menunjukan besarnya faktor keterlambatan respon akibat proses *sampling*. Hubungan konstanta waktu τ, maka t_d sebagai berikut:[9]

t_d (±3%) ≈ τ ln12

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

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

dengan C_{ss} dan R_{ss} masing – masing adalah keluaran dan masukan sistem pada keadaan tunak[9].

Dimana : E_{ss} = *Error steady state*

R_{ss} = Masukan sistem pada *steady state*

C_{ss} = Keluaran sistem pada *stady state*

2.3 Sistem Kendali

Sistem kendali berarti mengatur, memerintah, dan memberi mengarahkan baik secara dinamis maupun aktif. Sehingga perancangan sistem kendali tergantung pada bagian bagian apa saja yang akan diatur, diperintah bahkan diarahkan seperti tujuan yang akan

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

perancang tuju[10]. Sistem kendali merupakan hubungan berbagai komponen: elektrik, mekanik, hidrolik bahkan parameter dan variabel sosial, biologi, keuangan dengan tujuan mendapatkan fungsi yang diinginkan secara baik, efisien dan akurat. Karna teori yang sudah sangat maju dan aplikasi pengendali otomatis memberikan kinerja yang baik bagi suatu sistem dinamik, menaikkan produktifitas, menyederhanakan operasi manual yang seringkali berulang-ulang maka banyak peneliti sekarang ini telah memiliki paham yang baik tentang pengendali otomatis [11].

Istilah Dasar Dalam Sitem Kendali

1. Perubah yang terkendali (*controlled variable*) dan peubah yang termanipulasi (*manipulated variable*). Perubah yang terkendali adalah kuantitas atau keadaan yang diukur dan dikendalikan. Yang termasuk peubah termanipulasi adalah kuantitas atau kondisi yang berubah oleh kendali sehingga dapat mempengaruhi nilai perubah terkendali, yang biasanya adalah merupakan hasil keluaran sistem[11].
2. *Plant*. Suatu *plant* dapat dijelaskan seperti peralatan dan instrumen yang berfungsi sebagai bagian dari sistem yang dikendalikan. Contoh *plant* misalkan peralatan mekanik, tungku bakar, reaktor kimia, pesawat luar angkasa dan sebagainya[11].
3. Proses. Tidak sama dengan *plant*, proses adalah prosedur dan mekanisme yang dikendalikan seperti pada *plant*. Kendali sistem yang berfungsi untuk memisahkan cairan kimia, merupakan sistem kendali yang bekerja pada suatu proses[11].
4. Sistem adalah suatu komponen yang saling terhubung dan memiliki tujuan tertentu, termasuk efisiensi, otomasi dan optimasi membentuk sebuah sistem[11].
5. Gangguan (*disturbance*). Pada sistem riil, hampir selalu dijumpai gangguan dan seringkali membuat pengaruh pada stabilitas dan kinerja sistem. Gangguan ini dapat bisa saja berasal dari sistem itu sendiri (*internal disturbance*) maupun gangguan yang berasal dariluar sistem (*eksternal disturbance*)[11]
6. Kendali Umpan Balik (*feedback control*). Terdapatnya gangguan, perbedaan dari keluaran dengan masukan sulit diperkirakann yang dapat mengakibatkan tujuan pengoperasian sebuah sistem tidak bisa dicapai.oleh karena itu, perlu adanya umpan balik keluaran untuk menjadikan perbandingan dengan masukan acuan

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

sehingga selisih perbedaan dapat dikendalikan, dibuat seminimal mungkin secara otomatis[11].

2.4 Pengendali Sistem

2.4.1 Linear Quadratic Regulator

Inti bahasan dalam kendali optimal yaitu menentukan sinyal kendali yang akan diproses untuk memenuhi batasan fisik sesuai dengan kinerja performansi yang kita inginkan. *Linear quadratic regulator* adalah salah satu metode kendali yang menyelesaikan permasalahan pada regulator. Model dan kendali LQR ini berupa sistem *linear* disebut juga kuadratik karena memiliki *cost function* yaitu kuadrat dan karena referensi sistem bukan fungsi waktu maka disebut regulator [13].

Berikut ini merupakan *linearisasi* yang didapatkan suatu sistem *linear* dalam bentuk seperti di bawah ini:

$$\dot{x} = A_x + B_u \qquad (2.20)$$

$$y = Cx$$

Dimana :

A : matriks sistem

B : matriks *input*

C : matriks *output*

y : *State output*

x : *State* sistem

u : *State input*

Dalam perancangan pengendalian optimal LQR telah lebih dulu menentukan matriks Q dan matriks R yang kemudian digunakan dalam menentukan indeks performansi sistem. Disini harga matriks Q dan matriks R telah ditentukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan dengan menggunakan perfomansi [13].

$$J(t_0) = \frac{1}{2}S(T)x^2(T) + \frac{1}{2}\int_{t_0}^{T}(Qx^2 + Ru^2) \qquad (2.21)$$

Dengan syarat

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

dimana

t_0 = waktu awal

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

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

T = waktu akhir

x = matriks *State* akhir

Q = matriks semi definit positif

R = matriks definit positif

S = matriks semi definit positif

Sehingga didapatkan persamaan Hamilton

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

$$H(x,u,\lambda,t) = \frac{1}{2}(x^T Qx + u^T Ru) + \lambda^T (Ax + Bu) \qquad (2.22)$$

Dari fungsi Hamilton tersebut dapat diperoleh syarat perlu dan syarat batas sebagai berikut:[13]

1. Syarat perlu

a) Persamaan *State*

$$\dot{x} = \left(\frac{\partial x}{\partial x}\right)^T Qx + \left(\frac{\partial Qx}{\partial \lambda}\right)^T u = Ax + Bu \qquad (2.23)$$

b) Persamaan *Costate*

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

$$-\dot{\lambda} = Qx + A^T \lambda \qquad (2.24)$$

c) Kondisi stasioner

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

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

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

$$u = -R^{-1} B^T \lambda \qquad (2.25)$$

2. Syarat batas

a. Batas awal

t = 0 x(0) = 0

b. Batas akhir

$$(\phi_X + \psi_X^T v - \lambda)^T dx|_T + (\phi_t + \psi_t^T v - H)dt|_{t=T} = 0 \tag{2.26}$$

Karena $\psi = 0$ dan

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

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

sehingga diperoleh persamaan

$$(S(T)x(T) + v.0 - \lambda)^T dt|_{t=T} = 0$$

$$S(t)x(t) = \lambda(t) \tag{2.27}$$

Berdasarkan persamaan *costate* dan (2.27) keduanya saling menggunakan variabel λ. Saat keduanya didistribusikan maka akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:[14]

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

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

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

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

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

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

$$-\dot{S}x = \left(A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q\right)x$$

$$-\dot{S} = A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q \tag{2.28}$$

Pada persamaan (2.23) disebut juga dengan persmaan *differential Riccati*. Dimana $\dot{S} = 0$ persamaannya disebut *Algerraic Riccati Equetion* (ARE) [13]. Dengan telah ditemukannya matriks S dari persamaan ARE ini maka persamaan sinyal kendali pun dapat dihitung:

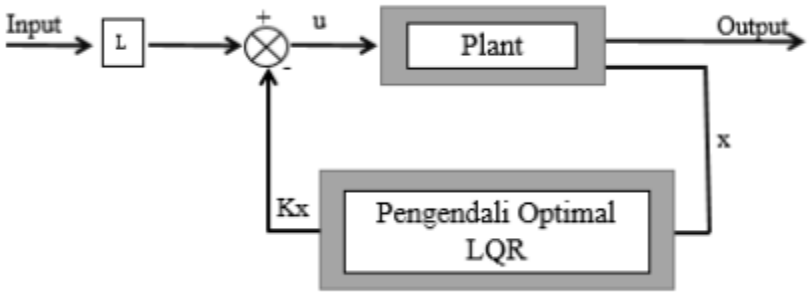
$$u = -R^{-1}B^T\lambda = -R^{-1}B^T Sx = -Kx \tag{2.29}$$

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

Maka didapatkan konstanta umpan balik keadaan K dapat dicari sebelum menghasilkan sinyal kendali pada persamaan dibawah ini [13].

$$K = R^{-1} B^T S \qquad (2.30)$$

Yang mana nilai dari S adalah unik. Untuk solusi semi definit positif untuk persamaan ARE haruslah memenuhi syarat pada persamaan (2.23). Kemudian dalam perancangan kendali optimal LQR, apabila nila S telah ditemukan maka nilai S akan di distribusikan kedalam persamaan (2.21) sehingga didapatakan nilai matriks optimal K, dengan K adalah *Gain State Feedback*, kemudian hasil desain sistem kendali dapat dilihat pada gambar dibawah ini[14].



Gambar 2.4 Sistem Kendali dengan Skema Kendali Optimal LQR [14].

Dari hasil desain diatas dapat disimpulkan bagaimana langkah-langkah utuk merancang kendali LQR adalah sebagai berikut:[13]

1. Apabila persamaan matematis dalam keadaan *transfer function*, ubah bentuk *transfer function plant non linier* kedalam bentuk *state space* dan temukan matriks A, B, C dan D dari *plant* tersebut.
2. Tentukan matriks pembobot Q dan R. Dimana matriks Q dan R memiliki fungsi yang berbeda yaitu :
   a. Apabila harga matriks Q semakin besar, maka harga elements matriks *gain* akan membesar kendali dan mempercepat respon untuk mencapai *steady state*.
   b. Apabila harga matriks R semakin besar, maka element matriks *gain* akan memperkecil dan memperlambat nilai *steady state.*
3. Kemudian selesaikanlah persamaan aljabar riccati sehingga menghasilkan suatu matriks S yang definit positif.
4. Lalu hitung optimal *gain feedback* K [13].

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

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

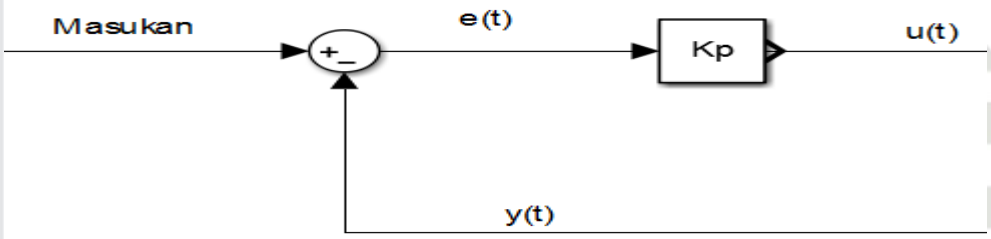
2.4.2 Pengendali PD

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 :[15]

$$(t) = Kp\ (t) \qquad (2.31)$$

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



Gambar 2.5 Diagram Blok Kontrol *Proporsional*[15]

Dampak dari ditambahkannnya pengendali *proportional* ketika dipasangkan dalam suatu sistem adalah sebagai berikut :

1. Bertambah atau berkurangnya kestabilan pada sistem, yang bisa dilihat dengan adanya *overshoot*.
2. Membuat respon transien menjadai lebih baik, khususnya : *rise time* dan *settling time*.
3. Berkurangnya nilai *error steady state*, agar nilai E_{ss} bisa berkurang, nilai K_p yangdibutuhkan juga besar namun namun dampak buruk yang didapat adalah ke tidak stabilan terjadi pada sistem. Nilai *error* pada kendali ini sebanding dengan nilai kendali *proporsional*, yang mana semakin besar nilai *error* maka semakin besar nilai sinyal kendali yang dihasilkan[15].

Kendali *proportional* juda dapat menghasilkan nilai *offset* pada sistem. Dimana *offset* pada sistem dapat dilakukan dengan memperbesar nilai *proportional*

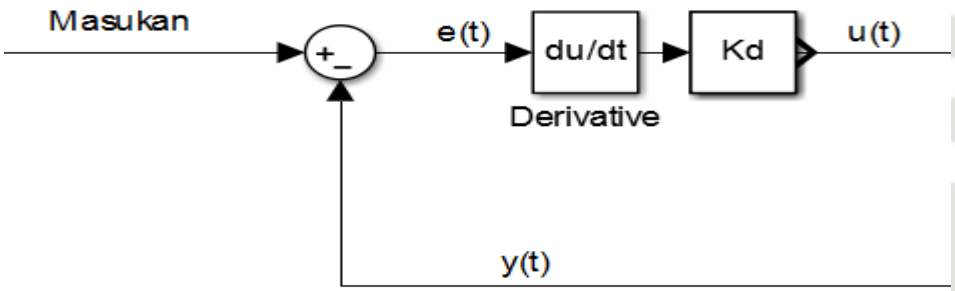
band atau K_p. Ketidak stabilan pada sistem dapat terjadi karena nilai K_p yang terlalu besar, hal ini ditandai dengan munculnya osilasi pada sistem. Kendali P dapat berdiri sendiri untuk pengendalian sistem[15].

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 [15]

$$(t) = Kd\frac{de(t)}{dt} \qquad (2.32)$$

Blok kendali *derivatif* ditunjukkan pada Gambar 2.8. kendali *derivatif* tidak akan pernah digunakan sendirian, karena kendali ini hanya akan aktif pada periode peralihan. Pada periode peralihan, kontrol *derivatif* menyebabkan adanya redaman pada sistem sehingga lebih memperkecil lonjakan. Seperti pada kendali *proporsional*, kendali *derivatif* juga tidak dapat menghilangkan *offset*[15]



Gambar 2.6. Diagram Blok Kendali *derivative*[15]

Pengaruh kendali *derivative* terhadap sistem:[15]

1. Respon lebih tinggi pada kecepatan (jika dibandingkan dengan mode P).
2. Merupakan pengendali yang sangat sensitif dengan nois dan gangguan yang memiliki frekuensi tinggi.
3. Kendali *derivative* hanya berubah saat ada perubahan *error*, sehingga saat ada *error* statis D tidak beraksi. Sehingga D tidak boleh digunakan.
4. Perubahan *error* sebanding dengan besarnya sinyal kendali. Semakin besar aksi kendali yang ditimbulkan maka semakin cepat *error* berubah.
5. Pada waktu turun, *overshoot* yang didapat akan berkurang.

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

6. Tidak akan terjadinya perubahan yang berarti ketika terjadinya kesalahan pada keadaan tunak.

2.5 Metode Heuristik

Metode heuristik adalah suatu metode pemecahan masalah yang digunakan dengan cara eksplorasi dan cara coba-coba. Heuristik adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode Heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuiakan dengan kinerja *plant* yang akan dikendalikan[16].

Untuk perancangan sistem pengendalian PID dilakukan pencarian nilai besarnya Kp,Ki dan Td. Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dengan penalaan (*Heuristic Method*):[14]

1. Percobaan dengan penalaan hanya dimulai dengan melakukan terhadap pengendali P.
2. Setelah itu dilakukan penambahan terhadap pengendali I.
3. Pengendali D baru dilakuakn penambahan untuk yang terakhir.

Nilai nilai yang ditambahkan harus mesesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang didapat[16].

2.6 Integral pada Integral of Absolute Error (IAE)

Kriteria integrasi membutuhkan data tanggapan mulai dari $t = 0$ hingga mencapai keadaan tunak. Dengan demikian kriteria ini didasarkan pada seluruh tangapan dari proses yang bersangkutan. IAE (*Integral of Absolute Error*) adalah kriteria yang akan dipakai dalam penelitian ini yang tujuannya untuk mendapatkan nilai IAE sekecil mungkin dengan pemilihan kriteria tergantung pada karakteristik sistem proses dan beberapa syarat tambahan yang diperoleh dari tanggapan lup tertutup. Kriteria IAE lebih populer dikalangan praktisi industri sebab mudah dalam pemakaiannya serta sangat cocok untuk menekan error yang kecil [17].

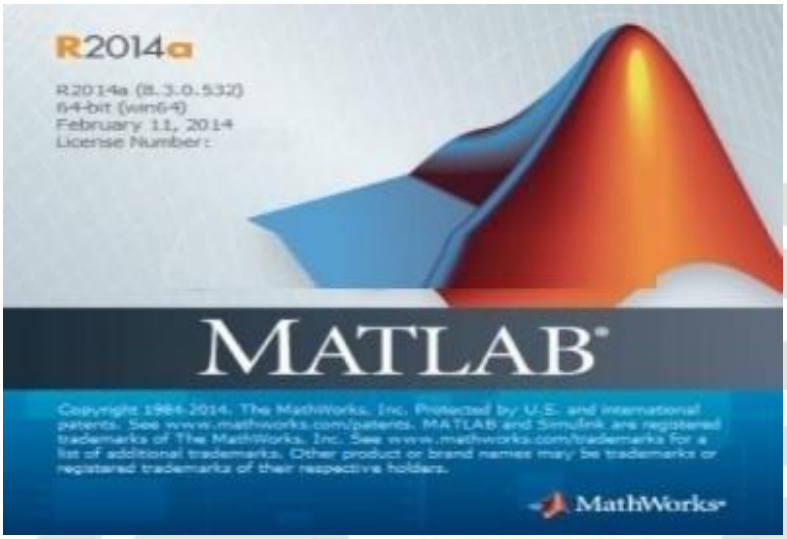
$$IAE = \int_0^\infty |e| dt \qquad (2.33)$$

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

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

2.7 MATLAB (MATRIX LABORATORY)

MATLAB atau yang kita sebut dengan (*Matrix Laboratory*) yaitu sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan MATLAB juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks.

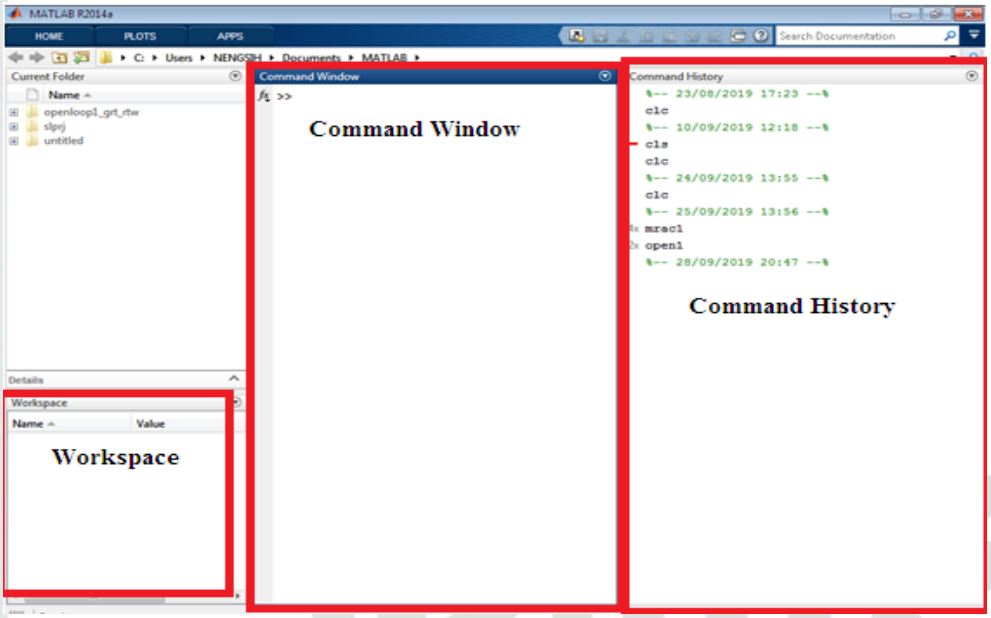


Gambar 2.7 Ikon Matlab[17]

MATLAB merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan pada tahun 1970 oleh *The Mathwork Inc*. Aplikasi ini biasanya akrab digunakan dalam berbagai bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik dengan tampilan perhitungan dalam bentuk *plot* grafik. Pada perangkat lunak Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu : [17]

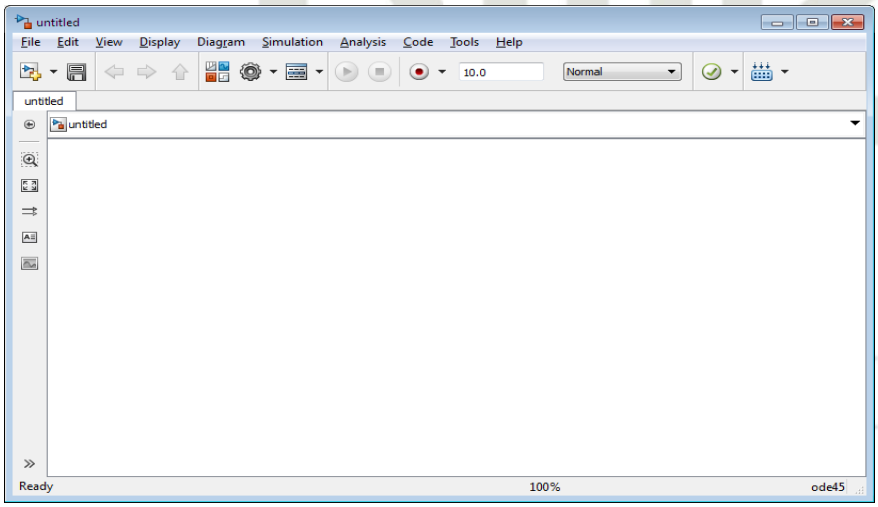
1. *Command window* berfungsi untuk mengetik fungsi apa yang diinginkan.
2. *Command history* dipakai agar yang telah digunakan sebelumnya dapat kembali.
3. *Workspace* berfungsi untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

UIN SUSKA RIAU



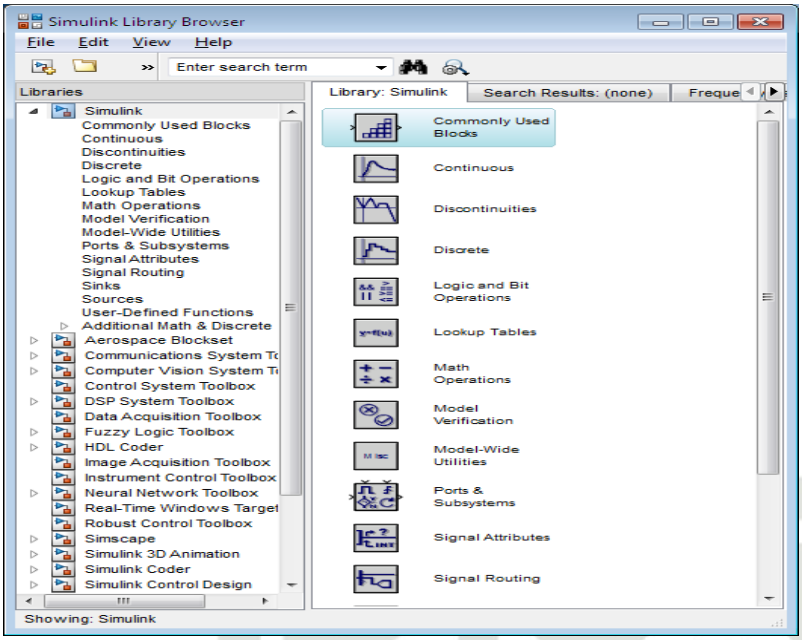
Gambar 2.8 Bagian *Window* Matlab[18]

Simulink adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam Matlab untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Program *simulink* mempermudah *user* untuk membuat suatu simulasi lebih interaktif. *Simulink* dalam aplikasi Matlab juga dapat menunjukkan performansi sistem dalam bentuk dua ataupun tiga dimensi. Dalam perancangan *user* menjadi mudah karena adanya blok-blok diagram yang dapat dengan mudah diatur sedemikian rupa, sesuai dengan model matematis dari sistem atau *plant* yang akan dikendalikan.[17]



Gambar 2.9 Tampilan model *simulink* pada Matlab[18]

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



Gambar 2.11 Kotak dialog *simulink library*[18]

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

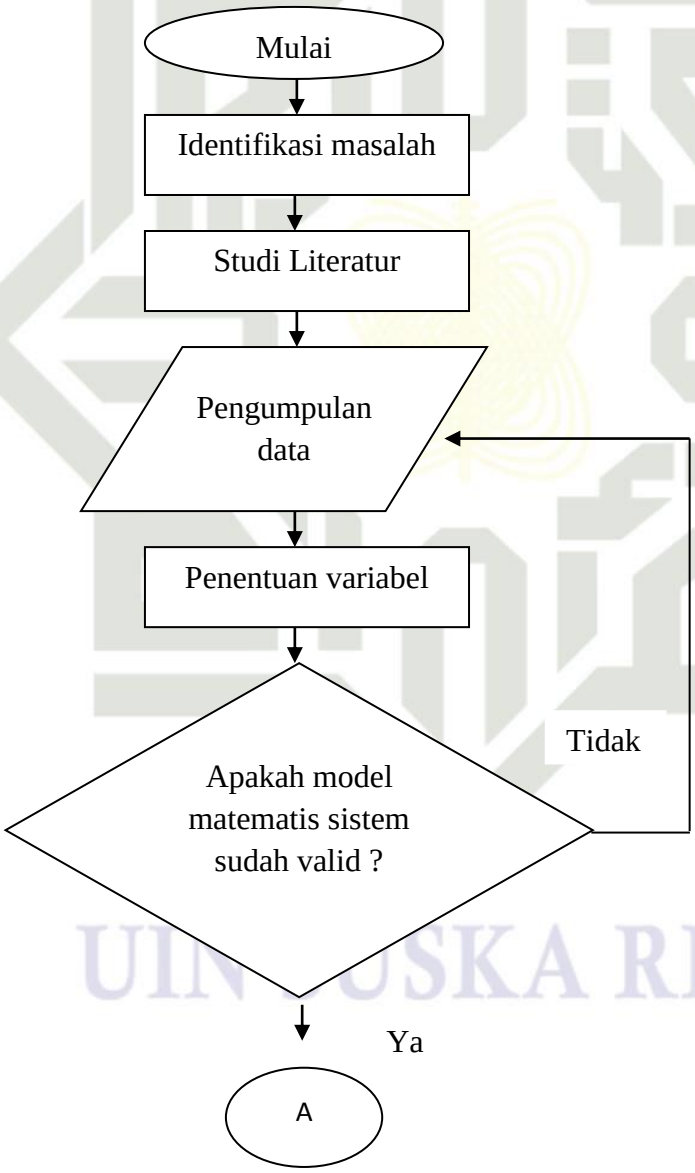
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya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

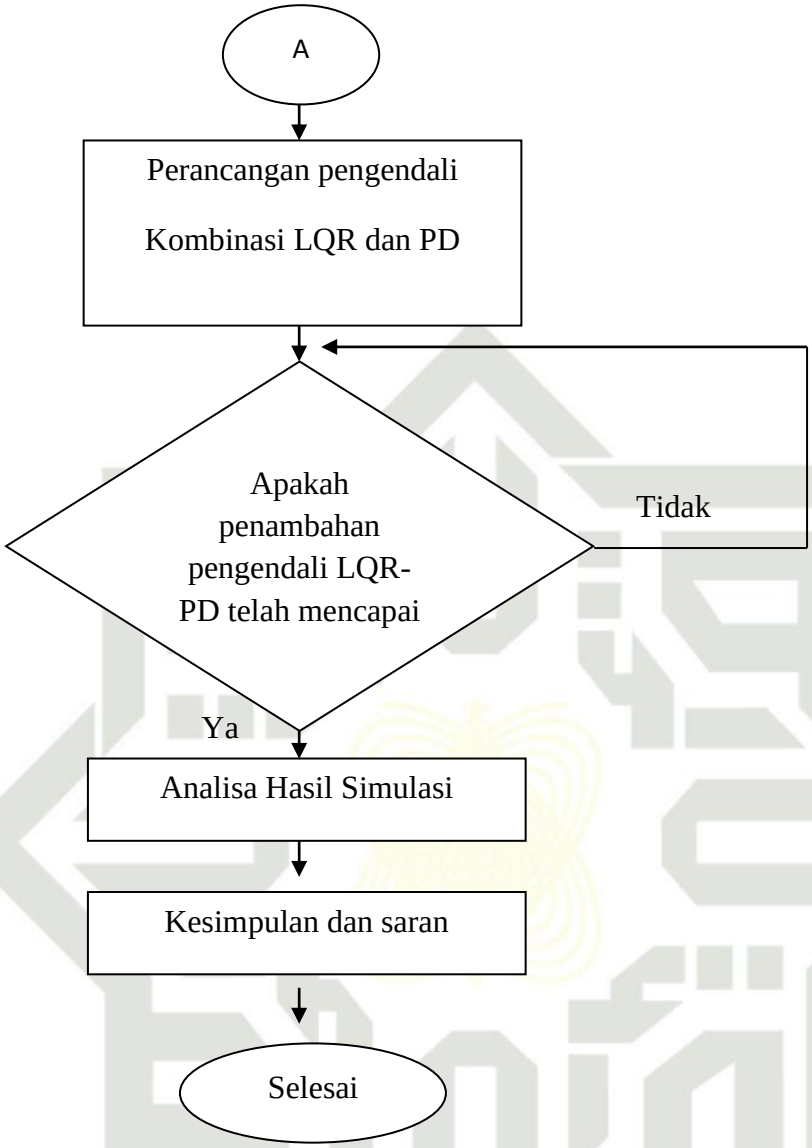
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan ataupun langkah-langkah yang penulis lakukan, Mulai dari studi literatur hingga hasil akhir dalam penelitian Tugas Akhir ini. Berikut ini merupakan tahap yang dilakukan oleh penulis:





Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Untuk melakukan penelitian, sebelumnya dibutuhkan perancangan supaya penelitian yang dilakukan berhasil mencapai tujuan yang akan dituju sedari awal. Pengujian sistem dilakukan dalam perancangan ini, ada beberapa perencanaan yang harus dilakukan dalam penelitiaan, dari beberapa perancangan dan perencanaan tersebut barulah dapat diambil judul dan tujuan yang akan dicapai, dan hal-hal yang perlu dilakukan agar tercapainya tujuan tersebut adalah sebagai berikut:

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

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 Sultan Syarif Kasim Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

1. Identifikasi masalah

Masalah yang didapat pada CSTR ditemukan setelah dilakukannya *review* atau pembahasan pada referensi referensi yang berkaitan dalam pengendalian yang dilakukan terhadap CSTR. Setelah melakukan *review* tersebut didapatlah masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini yaitu pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD.

2. Studi literatur

Dalam studi literatur ini, *review* dan referensi dapat dipelajari dari beberapa penelitian terkait sebelum nya. Referensi biasanya bisa diambi dari jurnal, buku, *paper,* maupun Tugas Akhir mahasiswa yang berhubungan dan saling berkaitan dengan materi yang akan dibahas yaitu CSTR dan pengendali yang akan dirancang pada penetian ini yaitu LQR-PD.

3. Pengumpulan data pra design

Dari beberapa penelitian terkait yang didapatkan, maka langkah berikutnya yang akan dilakukan adalah pengumpulan data-data yang berhubungan dengan penelitian mulai dari *setpoint* untuk respon sistem pengendalian *level* pada CSTR yaitu sebesar 1 meter.

4. Penentuan variabel

Setelah data yang dibutuhkan didapatkan, selanjutnya data diolah atau dirubah menjadi data yang dibutuhkan. Pada penelitian ini data yang diutuhkan adalah persamaan *state space,* sehingga data yang didapat sebelumnya dilakukan perubahan model matematis.

5. Validasi dan pengujian model matematis .

Pada tahap ini, setelah didapatkan nilai dari perubahan model matematis sehingga didapatkannya nilai *state space* , nilai tersebut dilakukan percobaan apakan nilai yang didapat sudah sesuai dengan referensi yang akan digunakan.

6. Desain pengendali

Tahap ini adalah penentuan pengendali apa yang akan dipakai dalam tugas akhir ini, dari beberapa pengendali yang ada, pengendali yang dipilih dan akan dipakai adalah LQR-PD. Pengujian tidak langsung dilakukan terhadap pengendali LQR-PD, akan tetapi terlebih dulu melakukan pengujian pengujian satu persatu yang pertama dengan pengendali LQR saja, setelah itu baru dilakukan percobaan dengan mengkombinasikan LQR dengan PD.

7. Analisa hasil

Ada beberapa point yang akan dijadikan sebagai ukuran keluaran sistem yang baik dan optimal yaitu seperti pencapaian setpoint yang diinginkan, konstanta waktu, *settling time* yang cepat, waktu naik atau *rise time* yang cepat, waktu tunda atau *delay time* dan *error steady state.* Pada penelitian ini yang akan dijadikan analisa sistem adalah *error steady state* dan *rise time* yang lebih cepat.

8. Hasil desain dan kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap penyesuaian hasil respon sistem dengan tujuan semula yang akan dicapai. Apakah hasil sudah sesuai dengan tujuan sebelumnya yang diinginkan. Peneletian dikatakan berhasil apabila tujuan yang dibuat sebelumnya sudah terpenuhi oleh hasil penelitian yang didapat. Namun jika hasil yang didapat belu sesuai, maka perlu dilakuakn penelitian lagi dan pemeriksaan kembali tehadap penelitian yang telah dilakukan.

3.3 Pengumpulan Data

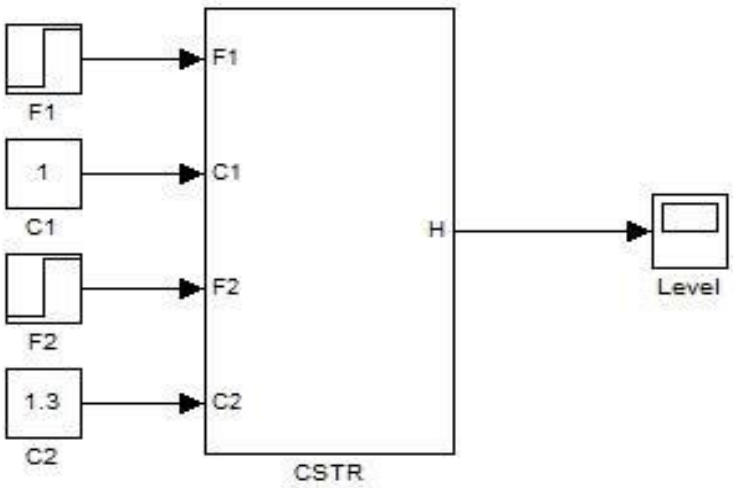
Pengumpulan data dilakukan dengan cara mencari data apa saja yang dibutuhkan dari penelitian penelitian terkait yang bertujuan untuuk menentukan *setpoint* yang akan digunakan. Berdasarkan penelitian terkait yang disudah dilakukan *review*, *setpoint* yang didapatkan adalah 1 meter.

3.4 Pengujian Model Matematis

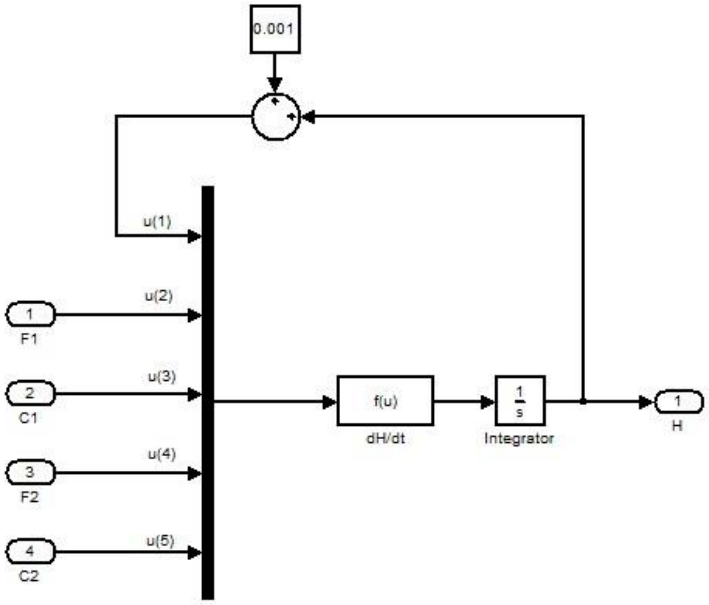
Berdasarkan persamaan model matematis maka selanjutnya persamaan tersebut akan diubah menjadi bahasa pemrograman dan kemudian disimulasikan menggunakan progam matlab R2014a.

Pada bab 2 telah dijelaskan bahwa CSTR memiliki dua masukan yaitu berupa laju aliran 1 dan konsentrasi 1 dan masukan dua berupa laju aliran 2 dan konsentrasi 2 yang dialir melalui pipa. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan pemodelan matematis *level* pada CSTR. Pemodelan ini dalam bentuk persamaan diferensial, kemudian persamaan tersebut di implementasikan pada *simulink* Matlab dengan konfigurasi *plant* dalam keadaan *open loop* yang ditunjukan ada gambar 3.2.

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



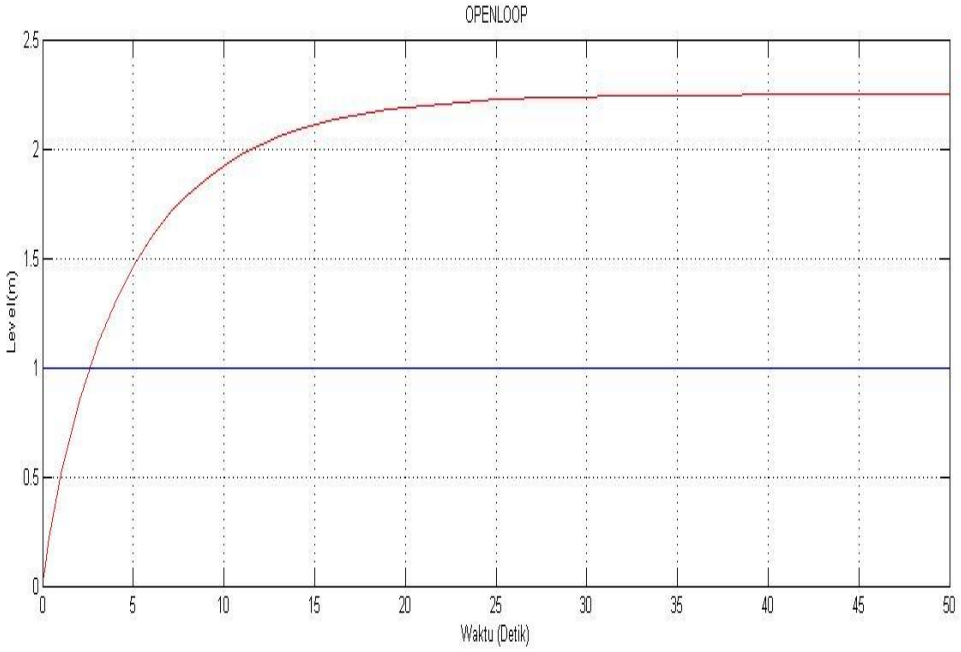
Gambar 3.2 Blok *Simulink Open Loop* Sistem CSTR[2]



Gambar 3.3 *Subsystem* Sistem CSTR[2]

Setelah selesai merancang blok diagram *simulink* tersebut, maka *software simulink* Matlab disimulasikan dan menghasilkan grafik yang menyatakan respon keluaran *open loop* sistem. Gambar 3.4 memperlihatkan grafik respon keluaran *plant.*

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



Gambar 3.4. Respon *Level* CSTR pada saat Simulasi *Open Loop[2]*

3.5 Perancangan Pengendali LQR

Pada sistem pengendalian *Linear Quadratic Regulator* atau LQR ini membutuhkan pemodelan yang berbentuk *state space*. Oleh karena itu persamaan Transer fungsi pada persamaan 2.19 diubah ke bentuk *state space* sebagai berikut:

$$\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{1}{s + 0.3535} \tag{2.19}$$

$$u(s) = sy(s) + 0.3535y(s)$$

Dari penurunan fungsi alih di atas. Selanjutnya adalah menurunkan persamaan di atas menggunakan metode *inverse* transformasi *laplace* balik sehingga akan didapatkan persamaan diferensi orde satu sebagai berikut:

$$u(s) \quad = y(s) + 0.3535y \tag{3.1}$$

$$u(t) \quad = \frac{dy}{dt} + 0.3535y(t)$$

© 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.
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

$u(s) \quad = s\,y(s) + 0.3535\,y(s)$

$$\dot{y} = \frac{-0.3535y + u}{1}$$

didefenisikan sebagai berikut :

$x_1 = y \qquad \dot{x}_1 = \dot{y} = x_2$

$x_2 = \dot{y} \qquad x_2 = \ddot{y}$

$\dot{x}_1 = x_2$

maka, $\dot{x}_1 = \dfrac{-0.3535y + u}{1}$

$= -0.3535y + u$

$= -0.3535\,x_1 + u$

$[\dot{x}_1] = [-0.3535][x_1] + u$

$[y] = [1][x_1]$

Maka didapatkan solusi menjadi persamaan sebagai berikut :

$$[\dot{x}_1] = [-0.3535][x_1] + u \tag{3.2}$$

Dengan persamaan keluaran sebagai berikut :

$$[y] = [1][x_1] \tag{3.3}$$

pada persamaan (3.1) didapatkan matriks *state space* A, B, C, D sebagai berikut :

$$A = [-0.3535] \tag{3.4}$$

$$B = [1] \tag{3.5}$$

$$C = [1] \tag{3.6}$$

$$D = [0] \tag{3.7}$$

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

Berdasarkan persamaan *state space* yang telah dirubah dalam bentuk matriks maka kita dapat mendesain pengendali LQR pada CSTR. Perhitungan yang dilakukan pengendali LQR dilakukan dengan memasukan persamaan *state space* yang telah didapat kedalam *software* matlab. Nilai Q dan R didapatkan dengan cara *trial and error* dengan analisa IAE.

Tabel 3.1 Matriks R Konstan dengan Analisa IAE

NO.	Matriks R	Matriks Q	IAE
1	[1]	[0.83]	0.1183
2	[1]	[0.84]	0.1367
3	[1]	[0.85]	0.3877
4	[1]	[0.86]	0.635
5	[1]	[0.87]	0.8786
6	[1]	[0.871]	0.9028
7	[1]	[0.872]	0.9269
8	[1]	[0.873]	0.951
9	[1]	[0.874]	0.9751
10	[1]	[0.875]	0.9991
11	[1]	[0.87501]	0.9993
12	[1]	[0.87503]	0.9998
13	[1]	[0.87505]	1
14	[1]	[0.8751]	1.001
15	[1]	[0.8755]	1.004

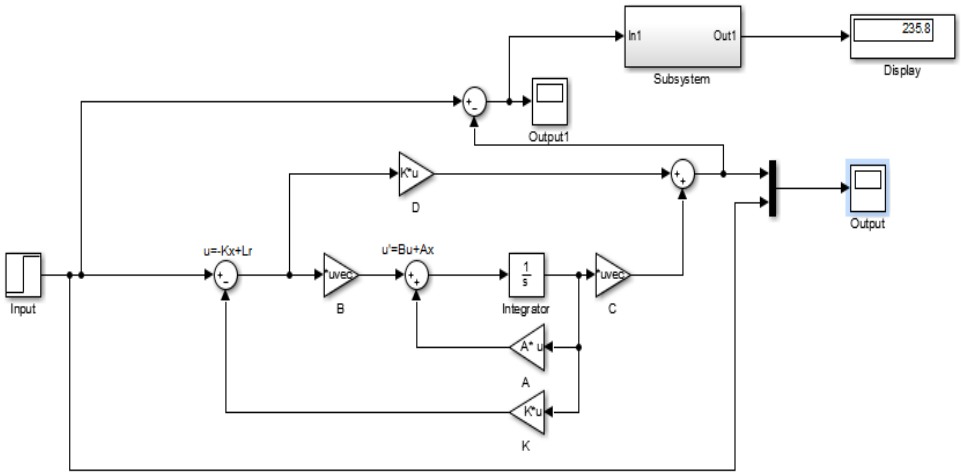
© Hak cipta milik UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik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

16	[1]	[0.878]	1.071
17	[1]	[0.88]	1.119
18	[1]	[0.9]	1.588
19	[1]	[1]	3.748

Pada tabel percobaan 3.1 dilakukan *trial and error* dengan memasukkan nilai matriks, nilai matriks yang dicoba adalah dengan Q sebesar [0.83] kemudian didapatkan nilai IAE sebesar 11.83 dengan respon keluaran sistem melebihi *set point*. Selanjutnya dilakukan penambahan nilai matriks Q sebesar 1, nilai IAE respon keluaran tidak mencapai *set point*. Sampai pada matriks Q = 0.87505 respon keluaran sistem telah mencapai *set point* dan didapatkan nilai IAE sebesar 1. Sehingga dirancanglah pengendali LQR untuk pengendalian *level* pada CSTR dengan nilai matriks R = [1] dan nilai matriks Q = [0.87505].

Perancangan pengendali LQR adalah berdasarkan penurunan persamaan matematis LQR pada bab 2. Sehingga berdasarkan turunan matematis dan skema LQR yang sudah didapat akan dibuat ke Simulink. Blok-blok Simulink pengendali LQR pada sistem *Continous Stirred Tank Reaktor* (CSTR) diperlihatkan gambar berikut:

Desain blok sistem kendali LQR :

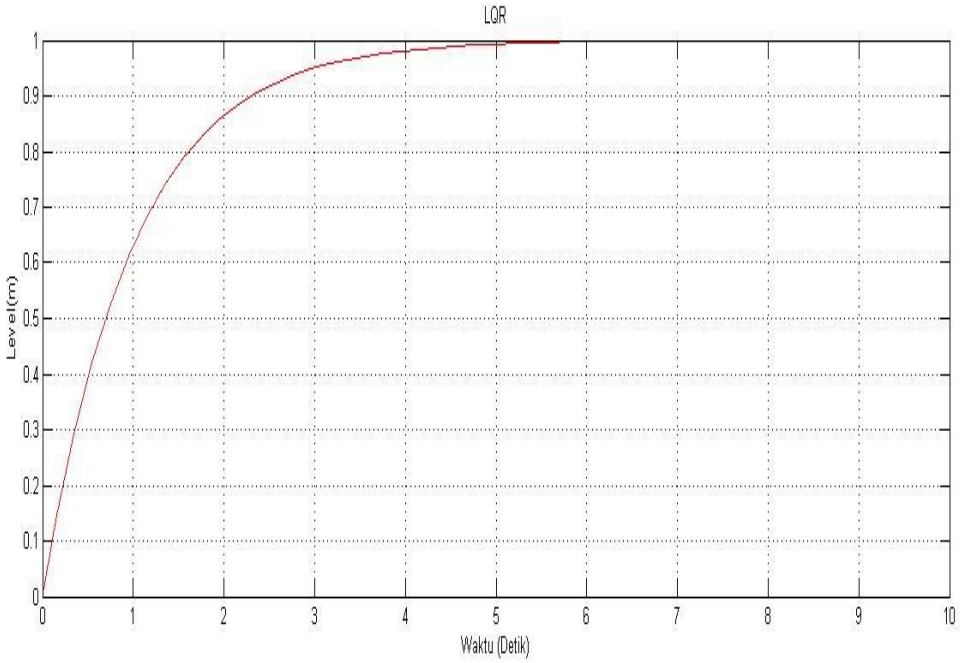


Gambar 3.5 Blok Sistem CSTR Menggunakan Pengendali LQR

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

```
kodinglqrpid.m*    kodinglqrsaja.m
A=[-0.3535];
B=[1];
C=[1];
D=[0];
R=[1];
Q=[0.87505];
N=[0];
sys=ss(A,B,C,D)
[K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
```

Gambar 3.6 Program M-File Pada Sistem CSTR Menggunakan Pengendali LQR



Gambar 3.7 Grafik sistem CSTR menggunakan LQR

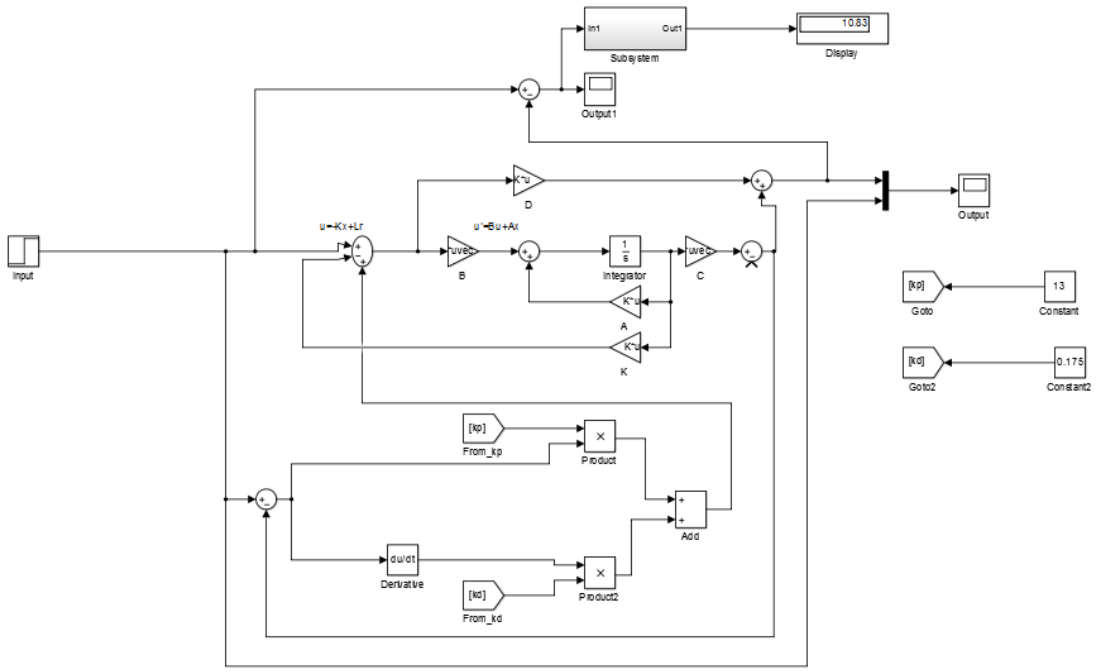
Gambar 3.7 merupakan respon hasil dari sistem yang ditambahkan pengendali LQR. Bisa dilihat bahwasanya respon sistem menunjukan *level* pada sistem dapat mencapai *setpoint.*

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
c University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

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

3.6 Perancangan Pengendali LQR-PD pada CSTR

Setelah memahami desain pengendali LQR dan PD. Penulis ingin mengkombinasikan pengendali optimal LQR dan PD untuk menjadikan pegendali LQR menjadi lebih baik dan optimal. Optimal yang dimaksudkan adalah untuk mempercepat respon sistem dan mengatasi *error steady state*. Berikut ini merupakan blok diagram kombinasi dari pengendali LQR-PID.



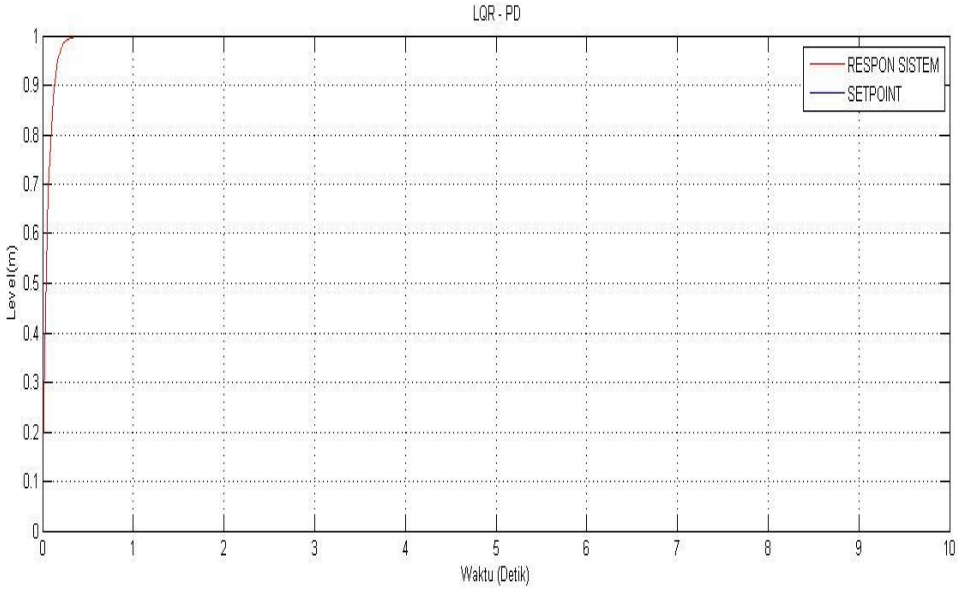
Gambar 3.8 Blok Diagram Sistem CSTR Menggunakan Kombinasi Pengendali LQR-PD

Tabel 3.2 Penalaan PD menggunakan metode Heuristic

***Set point* 1 m**	**Uji Metode *Heuristic***		***Rise Time* (detik)**	***Error Steady State***
	Kp	**Kd**		
1	1	1	3.0308	0.0002
	5	1	1.0123	0,0002
	10	1	0.5533	0.0005
	15	1	0.3803	0.0006
	1	-0.01	1.4647	0

	5	-0.01	0.4969	0
	10	-0.01	0.236	0
	15	-0.01	0.1864	0
	1	-0.1	1.3151	0
	5	-0.1	0.4326	0
	10	-0.1	0.236	0
	15	-0.1	0.1622	0
	16	-0.1	0.1581	0.0001
	17	-0.2	0.1467	0.0002
	18	-0.3	0.0953	0.0002
	19	-0.4	0.0634	0.0005
	20	-0.5	0.0614	0.0003

Tabel 3.2 merupakan tabel penalaan PD dengan metode Heuristic dimana didapatkan nilai Kp= 15 dan Kd= -0.1 dengan *risetime* 0.1622 detik dan *error steady state* 0 meter.



Gambar 3.9 Grafik sistem CSTR menggunakan LQR-PD

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

Gambar 3.9 merupakan respon hasil dari sistem yang ditambahkan pengendali LQR-PD. Bisa dilihat bahwa respon sistem menunjukan *level* pada sistem dapat mencapai *setpoint* dan *risetime* yang dibutuhkan juga baik.

3.7 Analisa yang akan dilakukan

Pada bab berikutnya penelitian perancangan pengendali *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD ada beberapa langkah percobaan dan analisa hasil yang akan dilakukan untuk mendapatkan hasil sistem sesuai dengan yang diinginkan, yaitu mencapai *setpoint* yaitu 1 meter, menghilangkan *error steady state* dan *risetime* yang lebih cepat.

1. Pertama sistem *level* pada CSTR dilakukan percobaan secara *openloop,* dari hasil yang didapat adalah respon sistem melebihi *setpoint* 1 meter yang akan dicapai dengan *error steady state* yang masih besar.
2. Berikutnya penelitian dilakukan dengan memasangkan pengendali LQR untuk mengendalikan *level* pada CSTR, dari hasil ini didapatkan bahwa LQR mampu mencapai *setpoint* dengan *error steady state* 0 meter, akan tetapi masih memiliki *rise time* yang masih besar.
3. Pada percobaan berikutnya, pengendai LQR ditambahkan dengan pengendali PD yang bertujuan untuk mempercepat respon sistem yang sebelumnya ketika dikendalikan dengan pengendali LQR masih memiliki *risetime* yang besar, sehingga didapatkan nilai *error steady state* 0 meter dengan *rise time* yang lebih kecil.

Selanjutnya akan dilakukan analisa hasil terhadap percobaan yang dilakukan terhadap pengendalian *level* pada CSTR dengan mempertimbangkan nilai *error steady state* yang mendekati 0 dan *rise time* yang lebih kecil.

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

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.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi terhadap pengendalian *level* pada CSTR menggunakan pengendali LQR-PD dengan *setpoint* 1 meter, dari hasil respon sistem dapat disimpulkan bahwasa pengendali LQR-PD bisa mencapai respon sistem dengan baik yaitu dengan *error steady state* yang didapat sebesar 0 meter dan *rise time* = 0.1622 detik. Keluaran sistem ini didapatkan dari hasil nilai matriks Q = 0.87505 dan nilai R = 1 pada pengendali LQR. Sedangkan pada pengendali PD nilai yang digunakan pada Kp = 15 dan pada Kd = -0.1.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, untuk penelitian berikutnya bisa dilakukan dengan pengendali lain agar bisa mendapatkan respon waktu yang lebih baik. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai PD adalah Heuristic, sehingga dalam proses *tunning* membutuhkan waktu yang sangat lama. Sahingga, untuk proses penelitian selanjutnya alangkah lebih baik dilakukan dengan pengendali cerdas seperti Fazzy, *Linear Quadratic Gaussian* (LQG), ataupun pengendali cerdas lainnya. Dalam CSTR pun masih banyak variabel yang bisa dikendalikan seperti tekana, aliran, suhu, volume dll.

UIN SUSKA RIAU

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.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

DAFTAR PUSTAKA

[1] Husni Y, Rosadi. "Pemodelan *Continuous Stirred Tank Reactor ".* Program Pacsasarjana Teknologi Industri Pertanian, 2000

[2] Mursyitah, Dian. *Decouple Sliding Mode* dengan Permukaan Luncur Proposional dan Integral pada Sistem Non Linier Multi Variabel *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya. 2013

[3] Mursyitah, Dian., dan Rice Novita. Analisis Pengaruh Kendali Proposional Derivatif (PD) pada Permukaan Luncur *Sliding Mode Controller* pada Proses *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Seminar Nasional Teknologi Industri Universitas Trisakti Vol. 1 No. 48 Hal. 1-6. 2014.

[4] Jakfar , Syarifuddin. "*Desain Kendali MRAC-PD pada Pengendalian Level untuk CSTR"* Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negri Sultan Syarif Kasim Riau. Pekanbaru. 2019.

[5] Kardono. "*Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Optimal LQR Untuk Menjaga Kestabilan Hover Pada Quadcopter*" Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 2012

[6] Bin Poyen, Faruk dan Mukherjee, Deep. "*Implementation of LQRfor CSTR Tank"* Institute of Research Engineers and Doctors. India. 2013

[7] Meghna, P R. Saranya, V and Pandian, B Jaganatha. "*Design of Linear-Quadratic-Regulator for a CSTR process"* School of Electrical Engineering, VIT University, Vellore Tamil Nadu, India. 2014.

[8] Mudia, Halim. "*Perancangan Kendali LQR-PD untuk Pengendalian Sumbu Elevasi gun pada Turret Gun kaliber 20 Milimeter"* Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negri Sultan Syarif Kasim Riau. Pekanbaru. 2020.

[9] Ogata, Katsuhiko. "*Modern Control Engineering, 4th edition*" New Jersey,Prentice Hall, 2002

[10] Siswoyo, "*Teknik Listrik Industri Jilid 2*". Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008Ogata, K. "Teknik Kontrol Automatik,erlangga, Jilid 1, Erlangga , Jakarta, 1998.

UIN SUSKA RIAU

[11] Kardono. "*Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Optimal LQR Untuk Menjaga Kestabilan Hover Pada Quadcopter*" Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 2012

[12] Ing. Pavel Jakoubek, "*experimental Identification of Stabile Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Methods". Konference Studentske tvurci cinnosti*, 2009.

[13] Lewis Frank L dan Syrmos, Vassilis L. "*Optimal Control",*John Wiley dan Sons, Inc, 1995.

[14] Gemeli, Nafisah. "*Desain Pengendali Model Reference Adaptive Control (MRAC) dengan Kombinasi PID untuk Mengendalikan Tekanan pada Modul Training Pressure Processn38-714".* Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negri Sultan Syarif Kasim Riau. Pekanbaru. 2018.

[15] Permata Sari, Ranti. *"Penalaan Parameter Kontrol PID dengan Metode Heuristi Aplikasi Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC".* Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung. Teknik Elekro Itenas Vol. 1 No.2, 2010.

[16] Ogata, Katsuhiko. Teknik Kontrol Automatik Edisi 2 Jilid 1. Jakatra : Prentice Hall, 1970.

[17] Suyanto. " *Algoritma genetika dalam Matlab*". Andi, Yogyakarta, 2005.

[18] Munir. Rinaldi. "*Metode Numerik",* Penerbit Informatika, Vol.4, 2015

UIN SUSKA RIAU

©Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

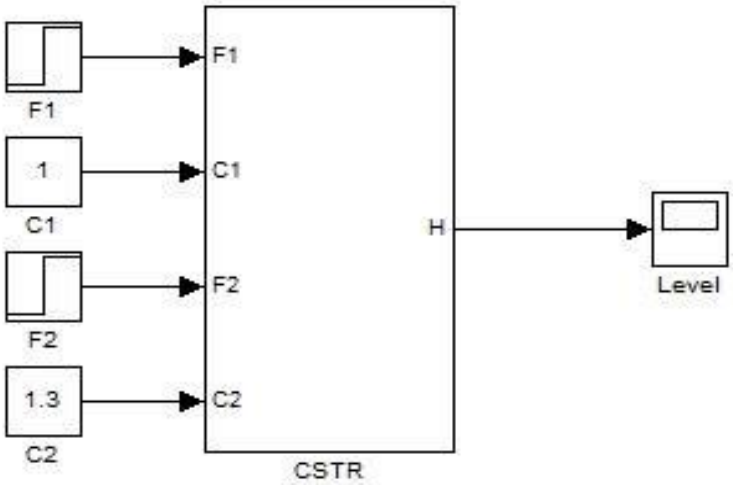
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

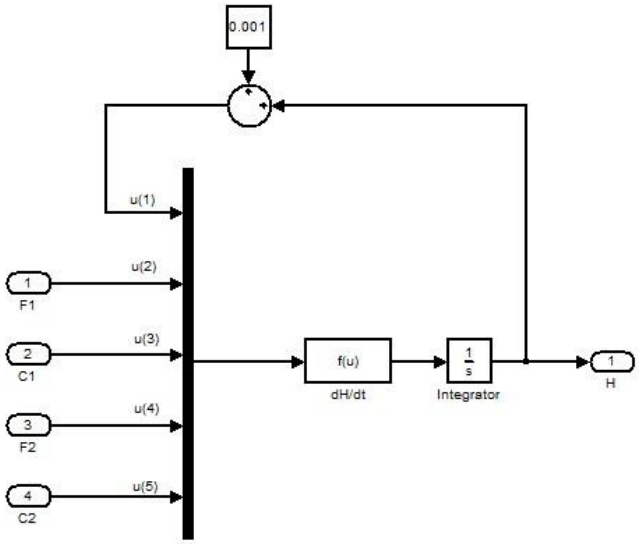
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

LAMPIRAN A

BLOK DIAGRAM SIMULINK

1. Blok diagram pemodelan *Level* pada *Continous Stirred Tank Reactor* (CSTR)



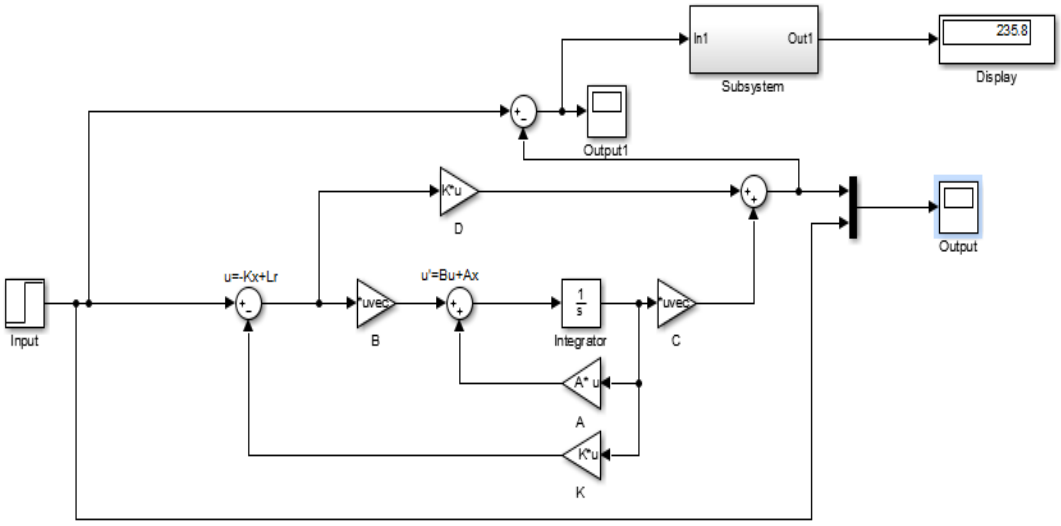


UIN SUSKA RIAU

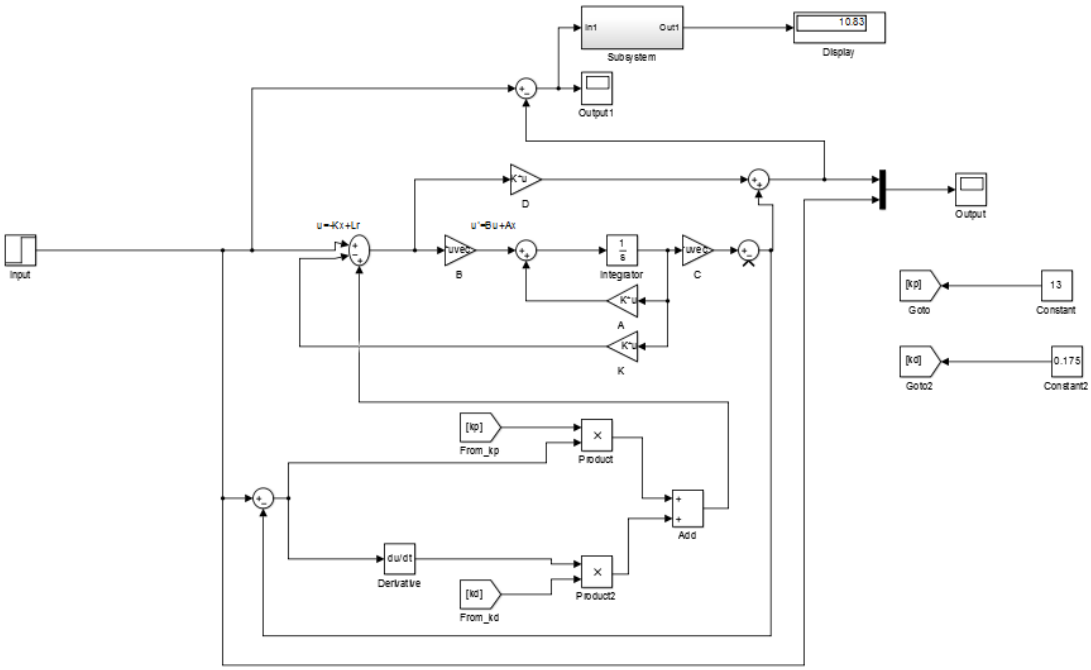
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

2. Blok Diagram pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR



3. Blok diagram pengendalian *level* pada CSTR menghunakan LQR-PD



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU

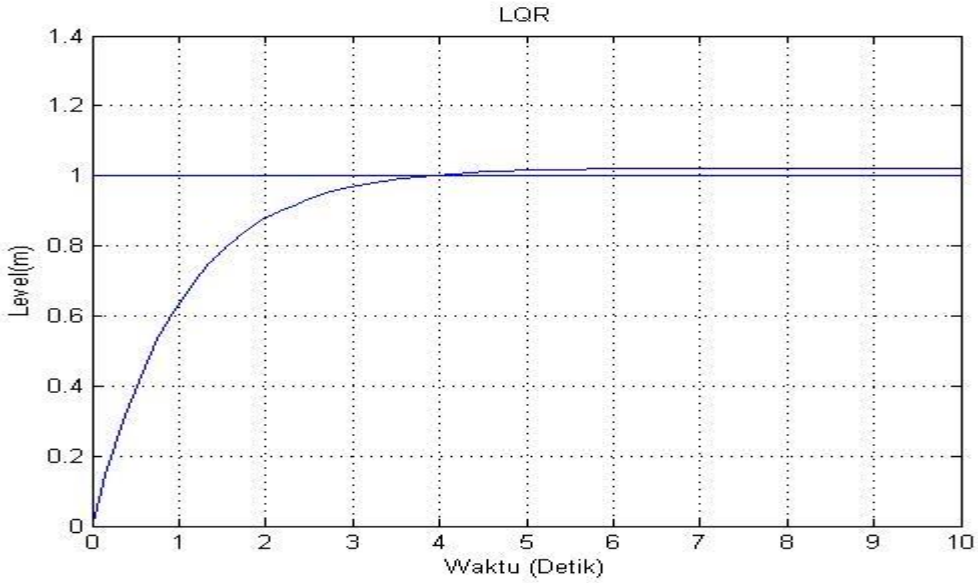
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
   b. Pengutipan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

Hak Cipta Dilindung-Undang-U
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 masala
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 U
rif Kasim

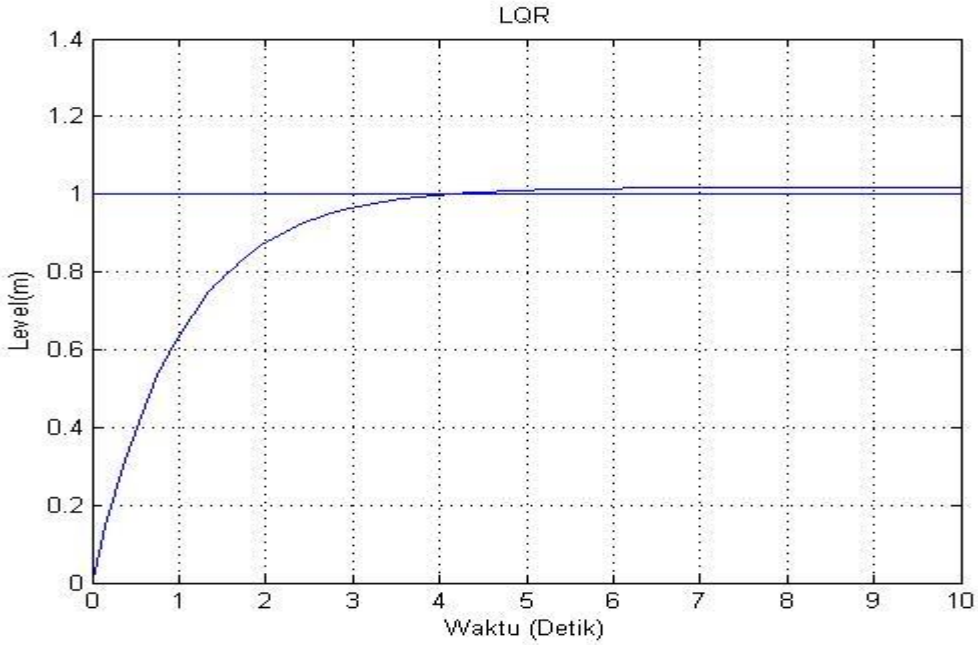
LAMPIRAN B

PROSES TUNNING LQR PADA MATRIKS Q DAN R UNTUK MENGENDALIKAN LEVEL PADA CSTR

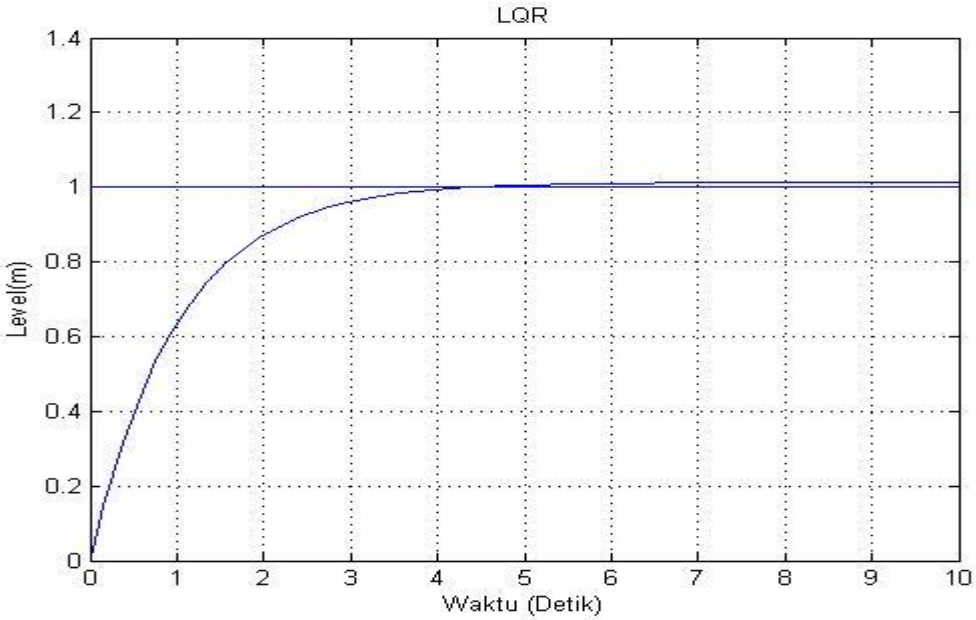
1. Hasil simulas LQR dengan Q = 0.83 dan R = 1



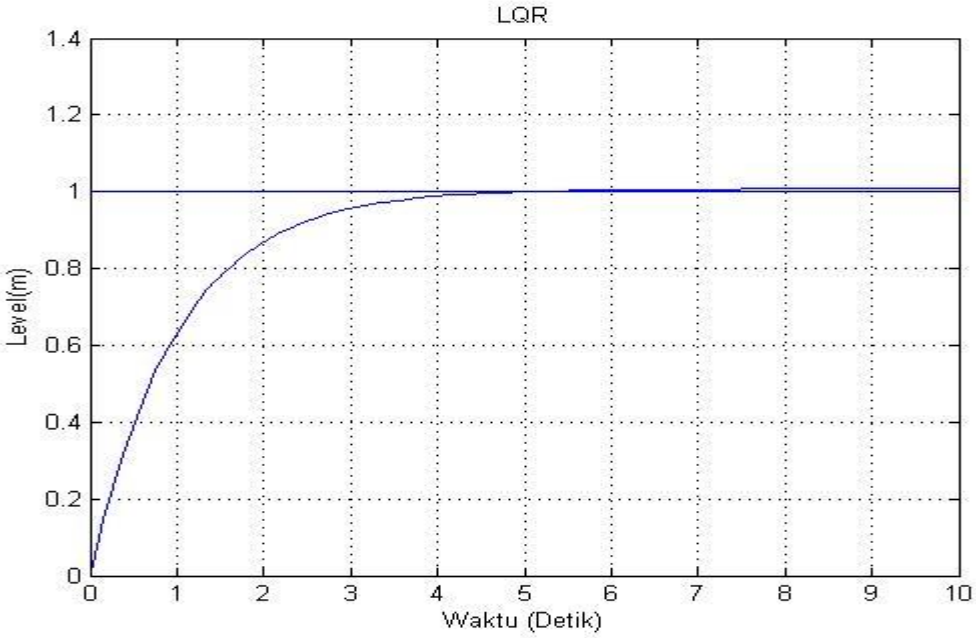
2. Hasil simulas LQR dengan Q = 0.84 dan R = 1



3. Hasil simulas LQR dengan Q = 0.85 dan R = 1

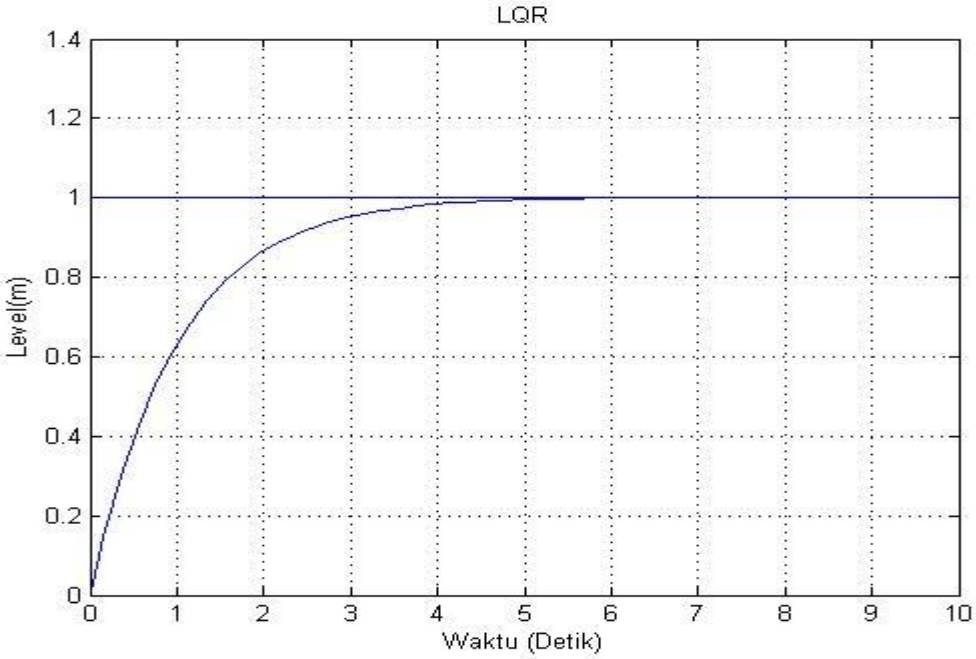


4. Hasil simulas LQR dengan Q = 0.86 dan R = 1

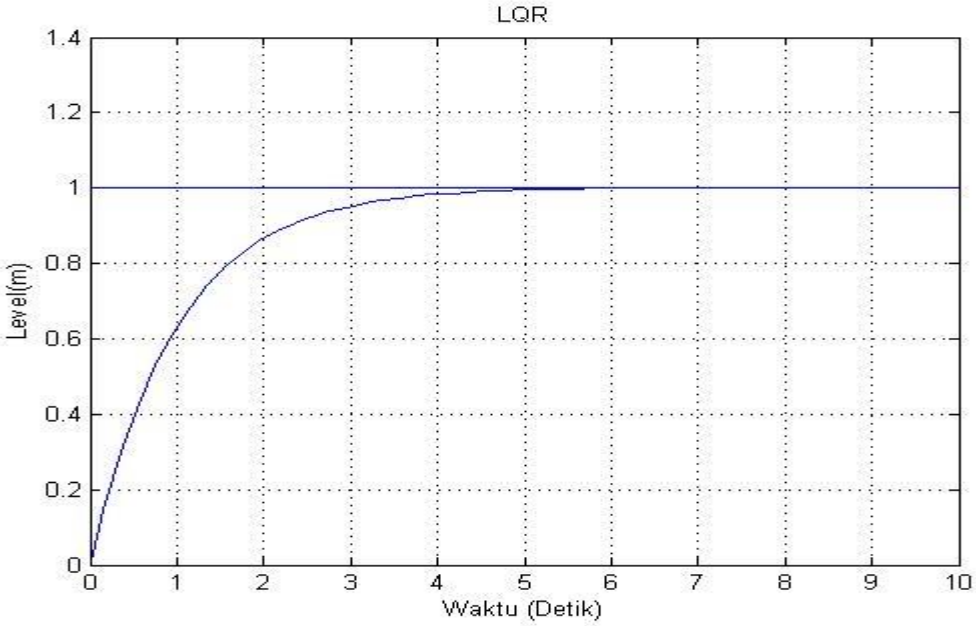


© Hak cipta milik UIN Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu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

5. Hasil simulas LQR dengan Q = 0.87 dan R = 1

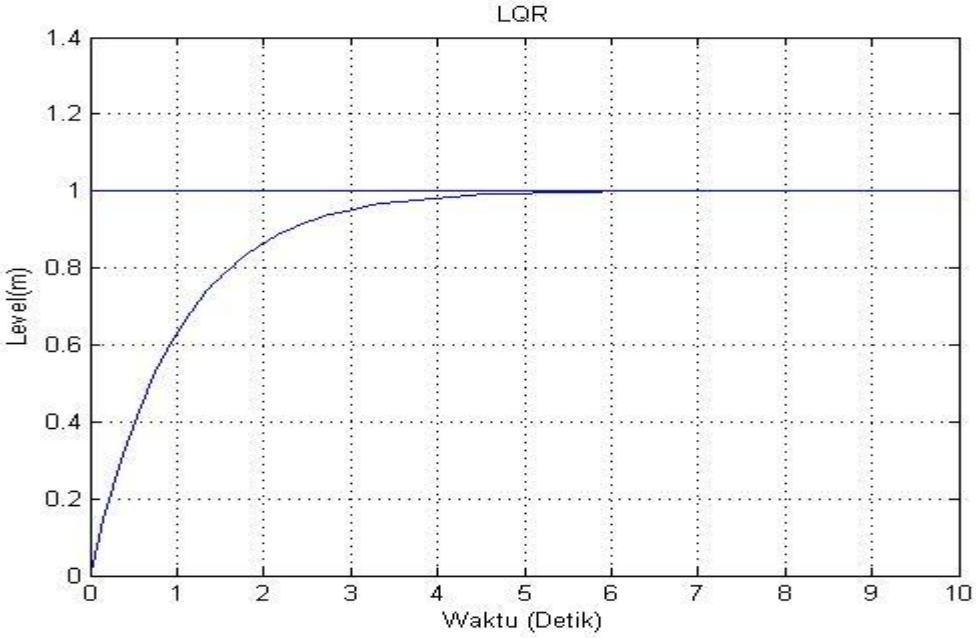


6. Hasil simulas LQR dengan Q = 0.871 dan R = 1

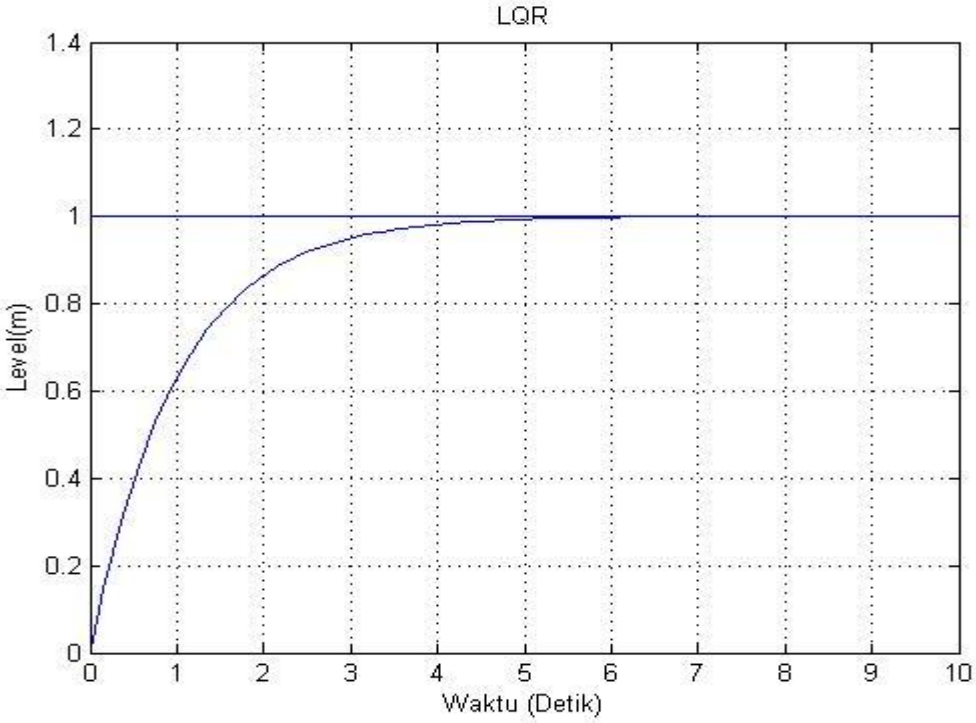


© Hak Cipta Milik UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik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

7. Hasil simulas LQR dengan Q = 0.872 dan R = 1

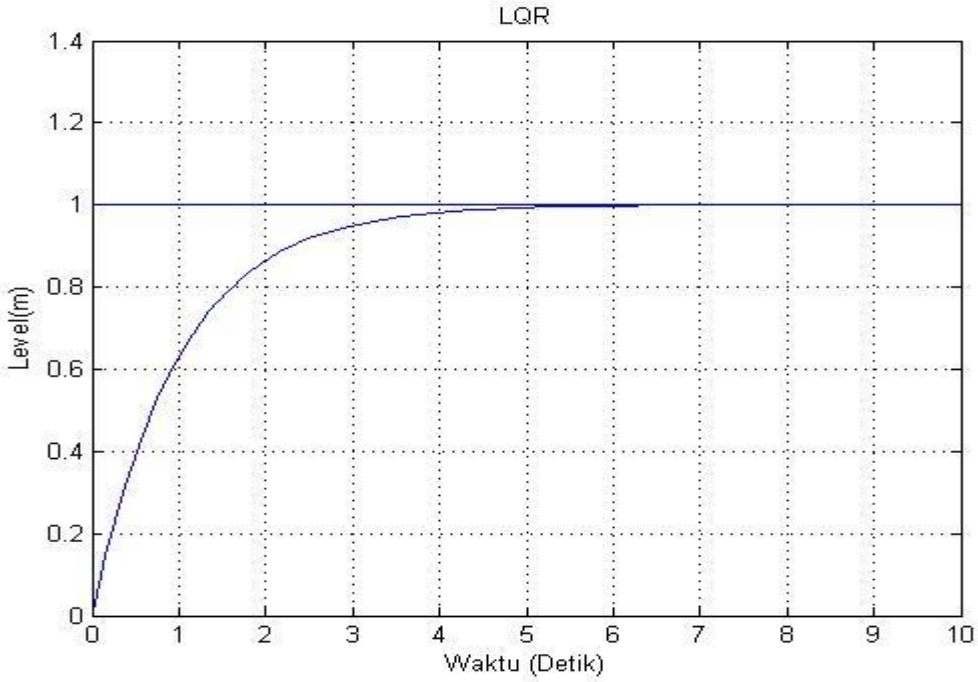


8. Hasil simulas LQR dengan Q = 0.873 dan R = 1

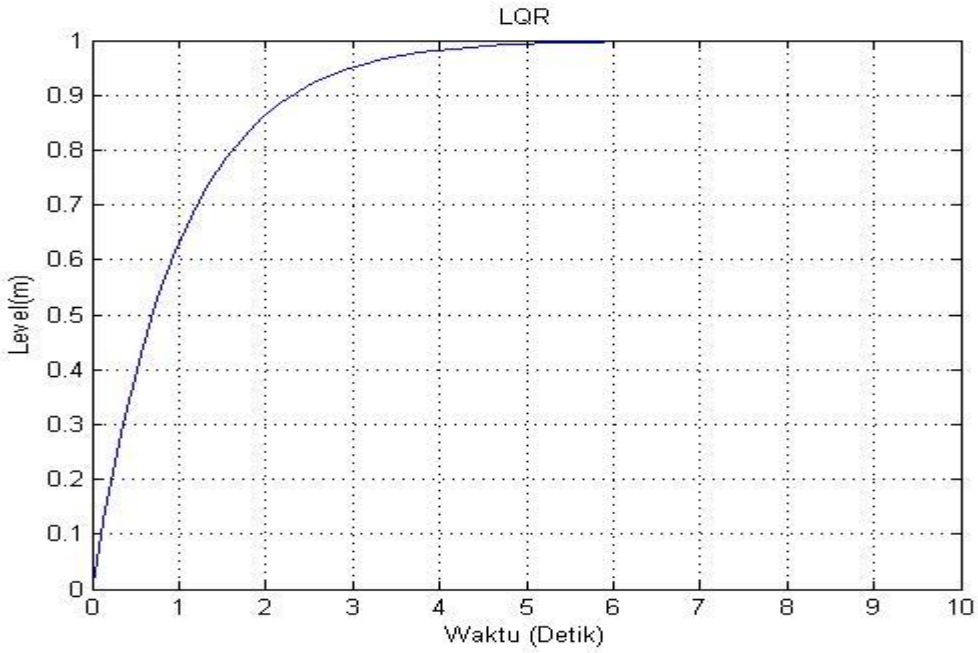


© Hak cipta milik UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik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

9. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.874 dan R = 1



10. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.875 dan R = 1



© Hak Cipta Milik UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
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.

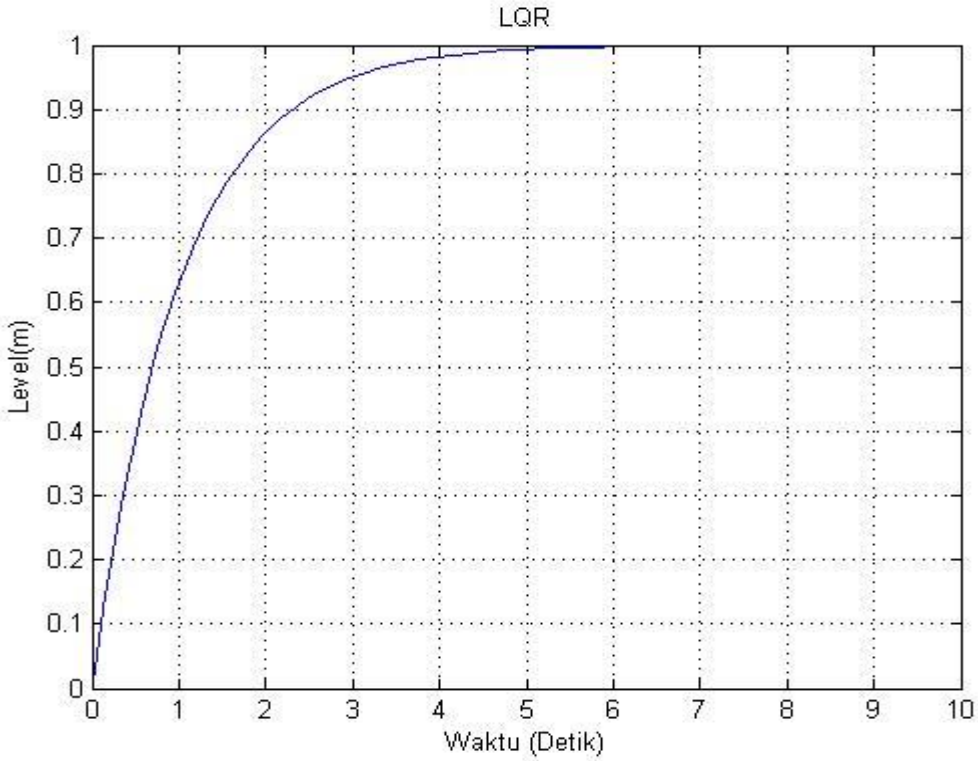
11. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.87501 dan R = 1

12. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.87503 dan R = 1

© Hak cipta milik UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
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.

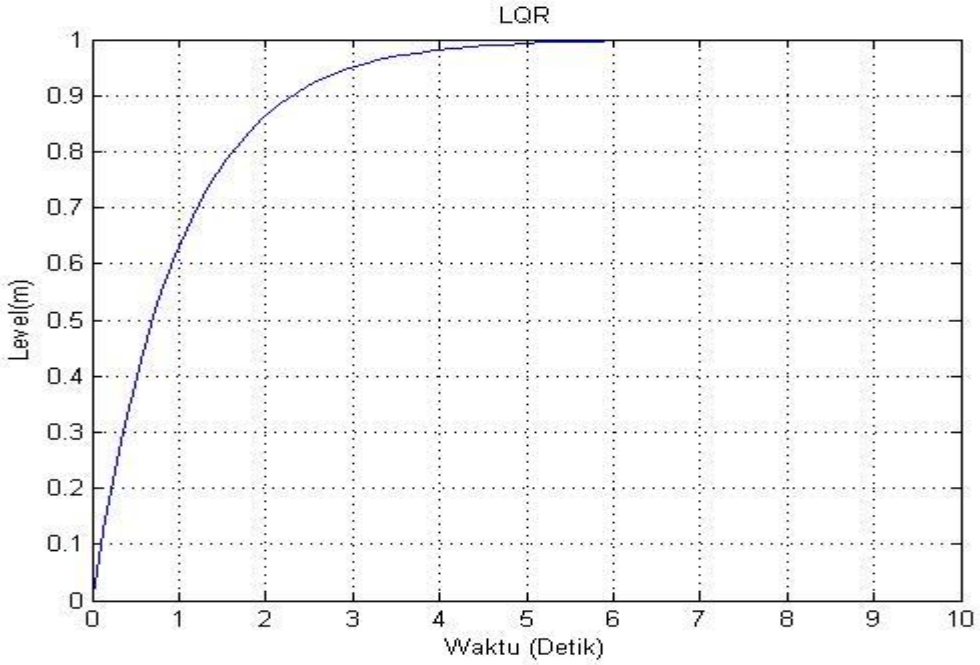
13. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.87505 dan R = 1

14. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.8751 dan R = 1

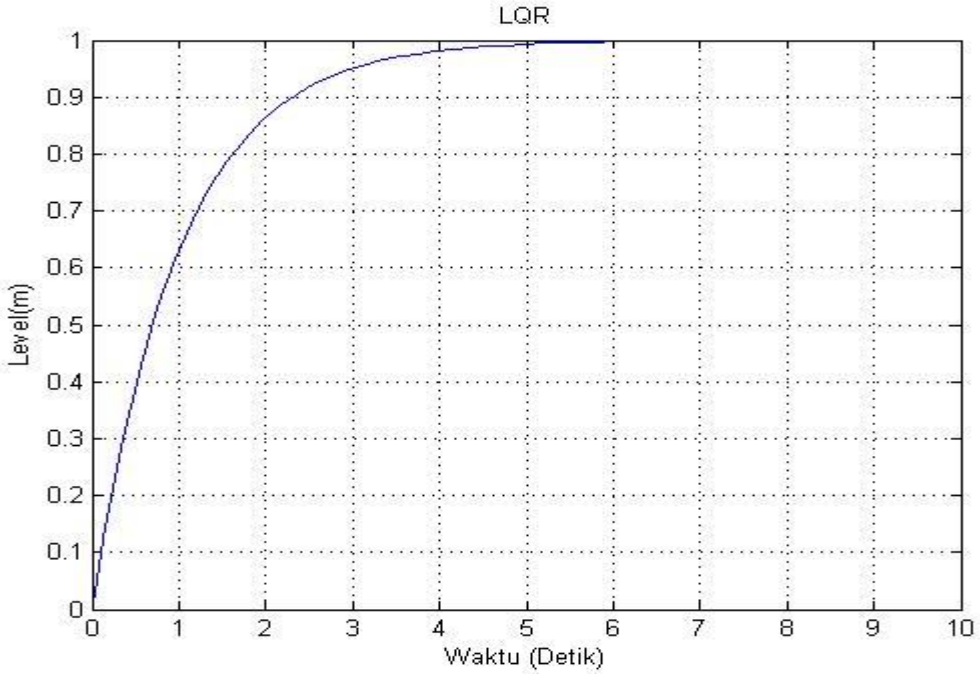


© Hak cipta milik UIN Suska Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
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 = 0.8755 dan R = 1



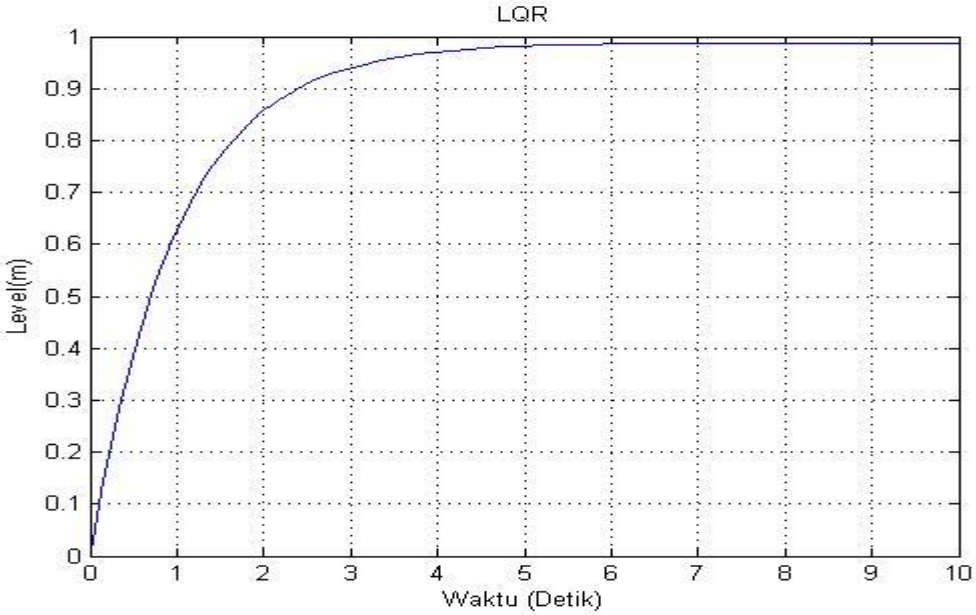
16. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.878 dan R = 1



© Hak cipta milik UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
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. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.88 dan R = 1

18. Hasil simulasi LQR dengan Q = 0.9 dan R = 1



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
Hak Cipta Dilindungi
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 masala
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.
Syarif Kasim R

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

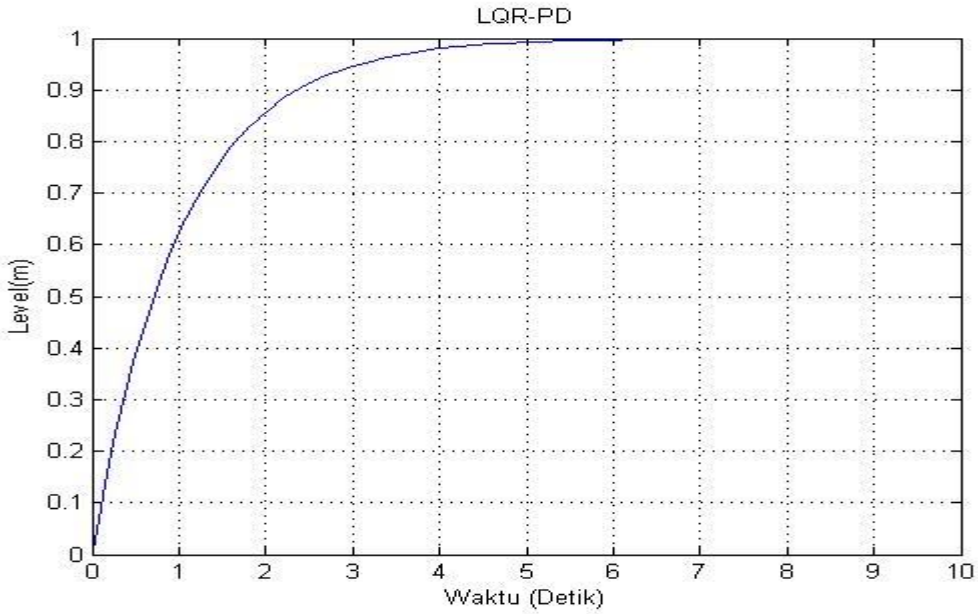
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
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 masala
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 State Islamic University Sultan Syarif Kasim Riau

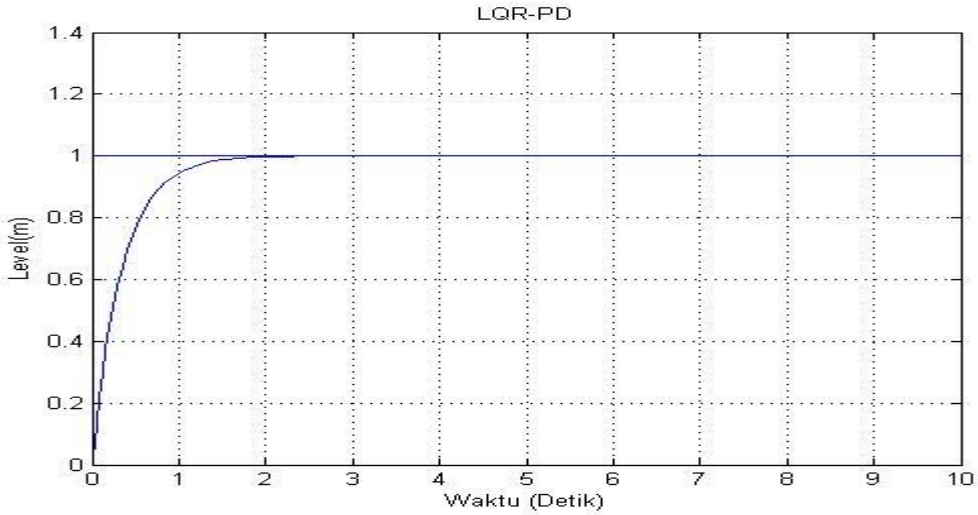
LAMPIRAN C

PROSES TUNNING Kp DAN Kd PADA PENGENDALI LQR KOMBINASI PD UNTUK MENGENDALIKAN LEVEL PADA CSTR

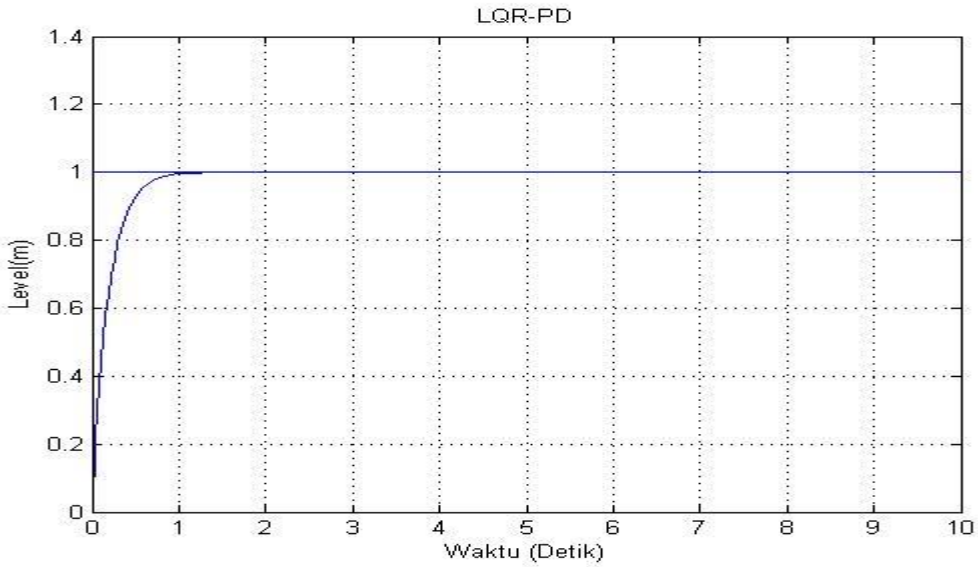
1. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 1 dan Kd = 1



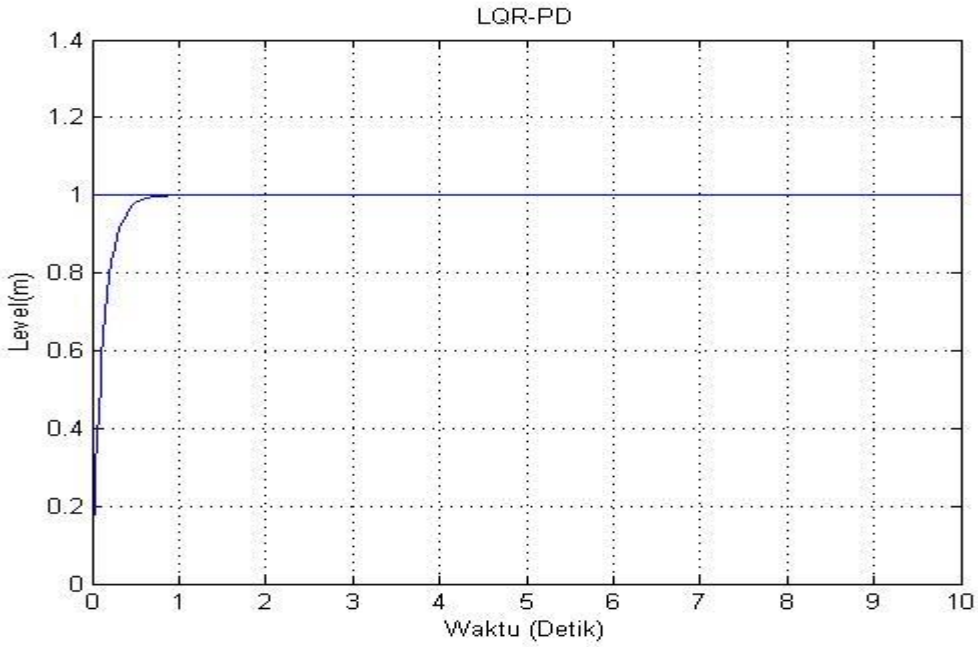
2. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 5 dan Kd = 1



3. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 10 dan Kd = 1

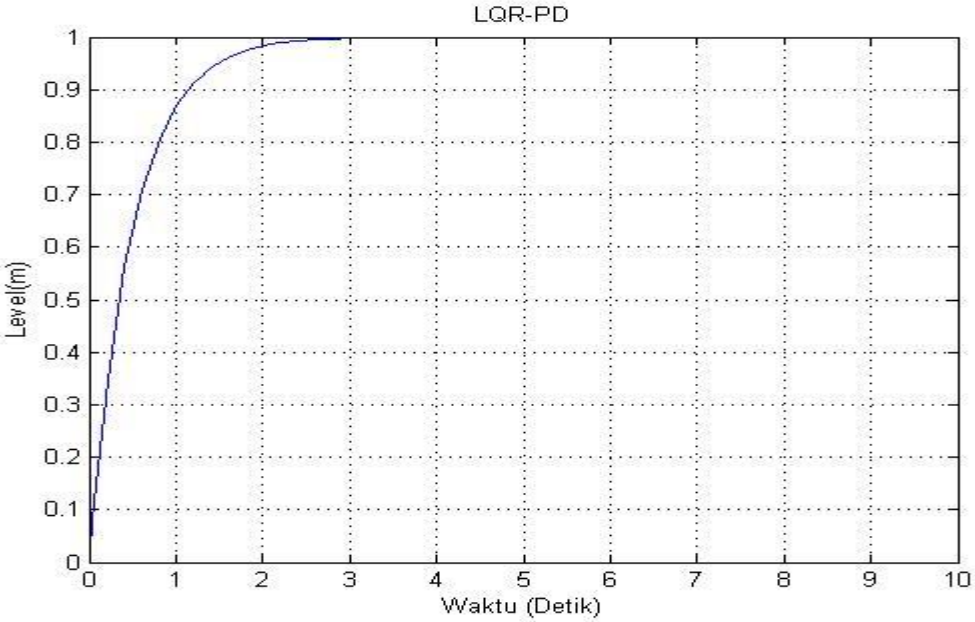


4. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 15 dan Kd = 1

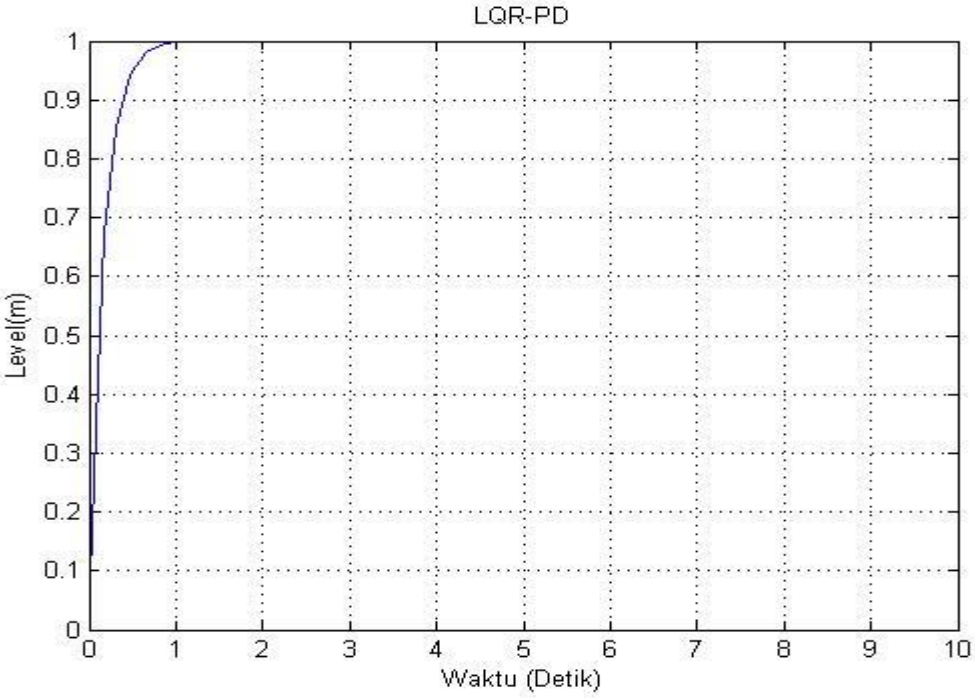


© Hak Cipta Milik Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan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

5. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 1 dan Kd = -0.01

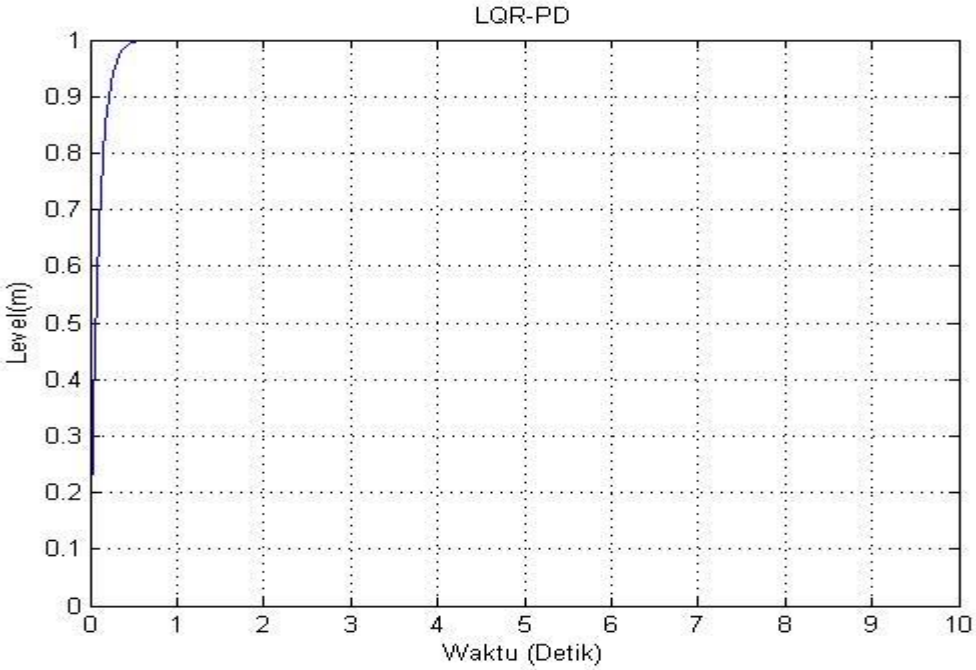


6. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 5 dan Kd = -0.01

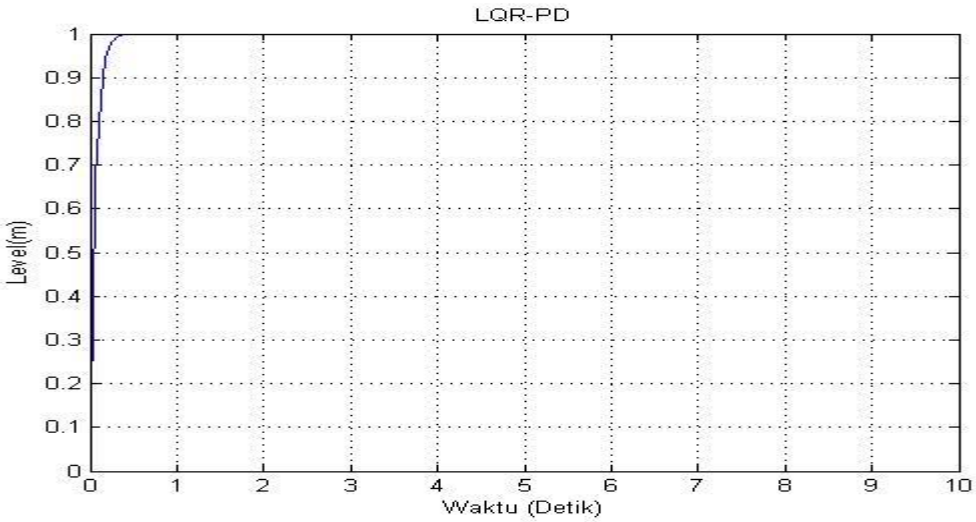


© Hak Cipta
Hak Cipta Dilindun
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
b. Pengutipan tidak 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.
arif Kasim
SKA RIAU

7. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 10 dan Kd = -0.01

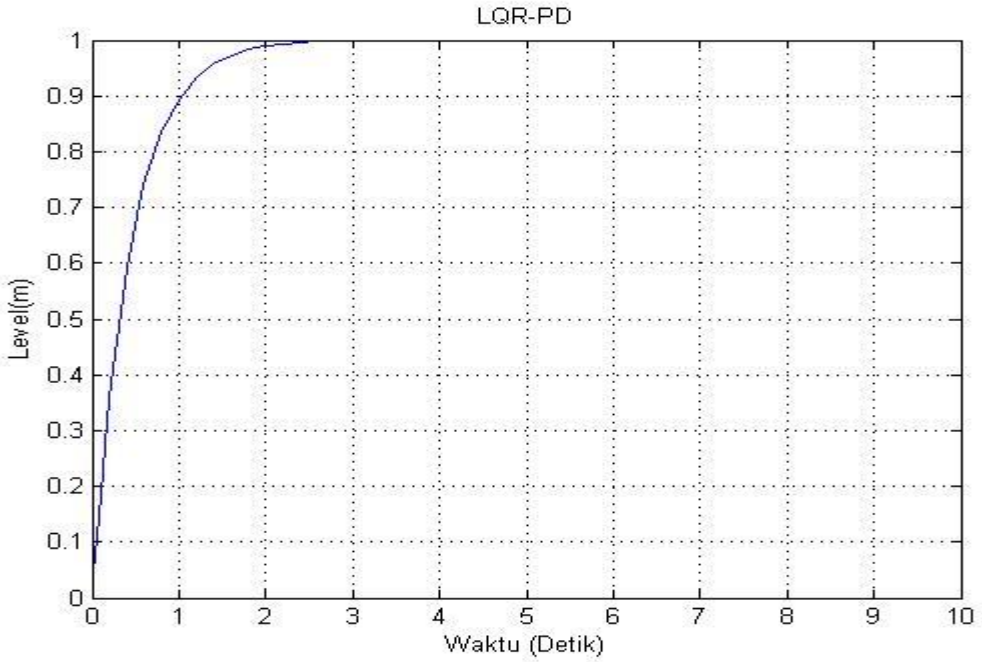


8. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 15 dan Kd = -0.01

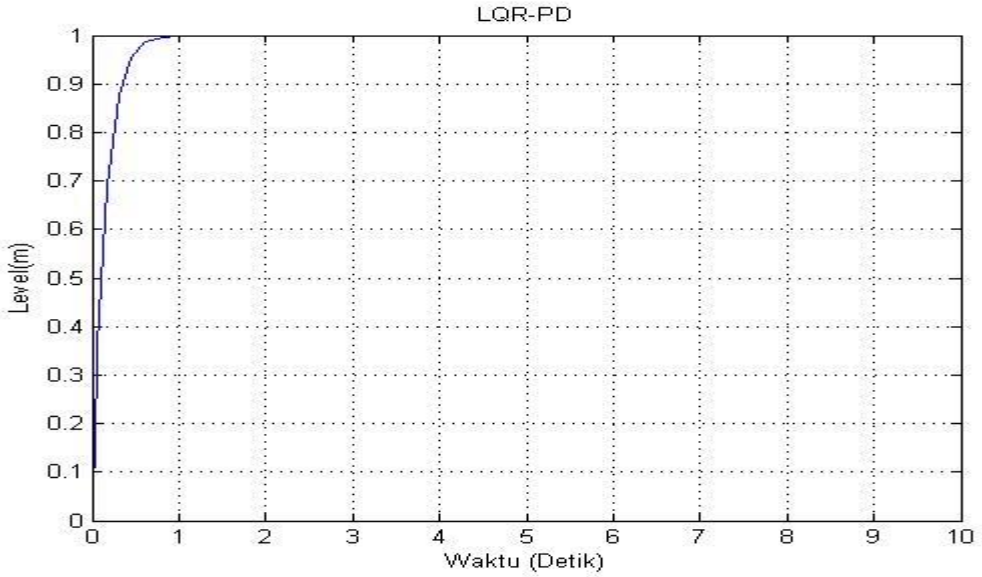


© Hak cipta milik Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau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

9. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 1 dan Kd = -0.1

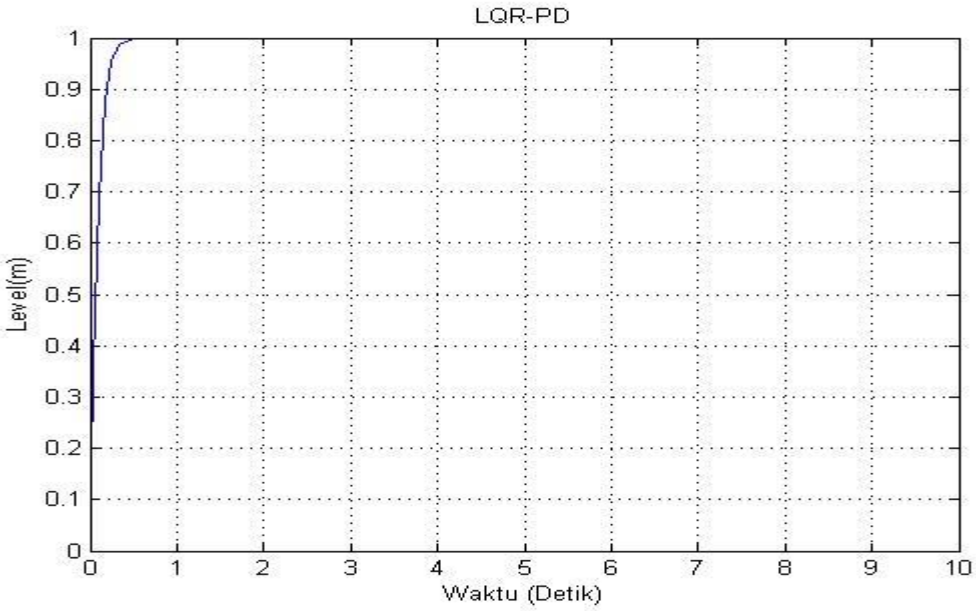


10. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 5 dan Kd = -0.1

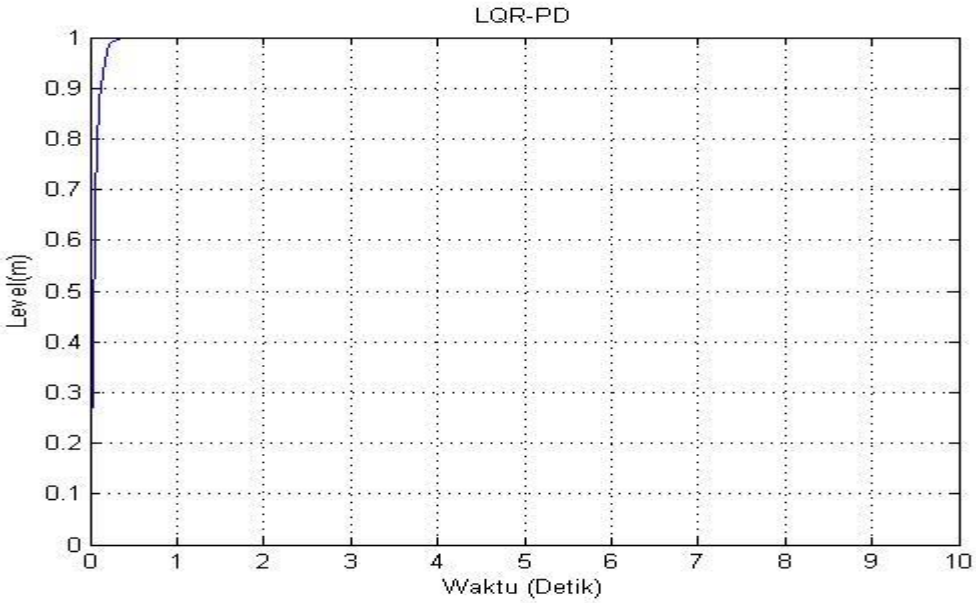


© Hak Cipta
Hak Cipta Dilindun
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
b. Pengutipan tidak 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.
n Syarif Kasim
SKA RIAU

11. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 10 dan Kd = -0.1

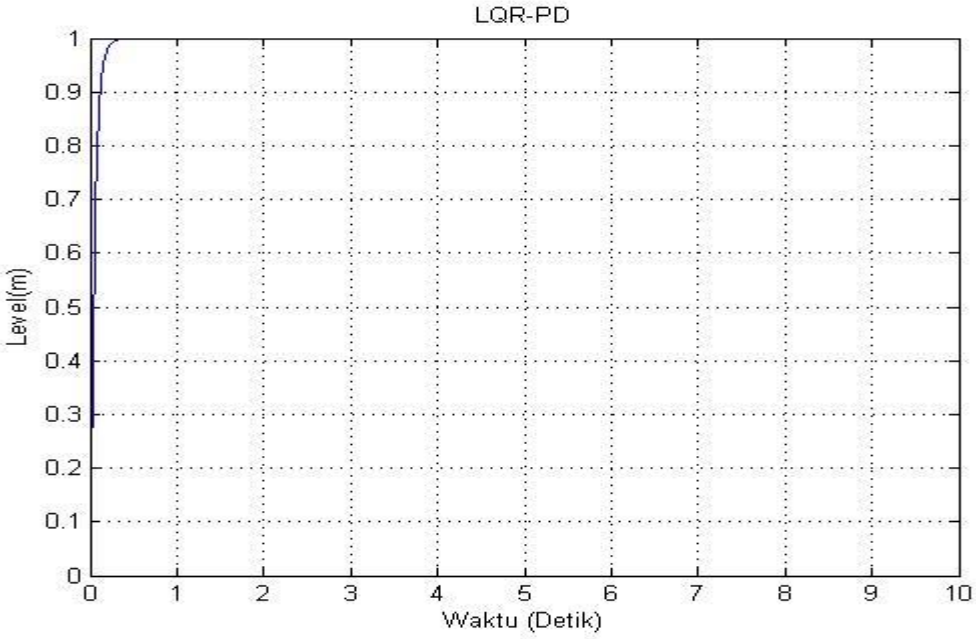


12. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 15 dan Kd = -0.1

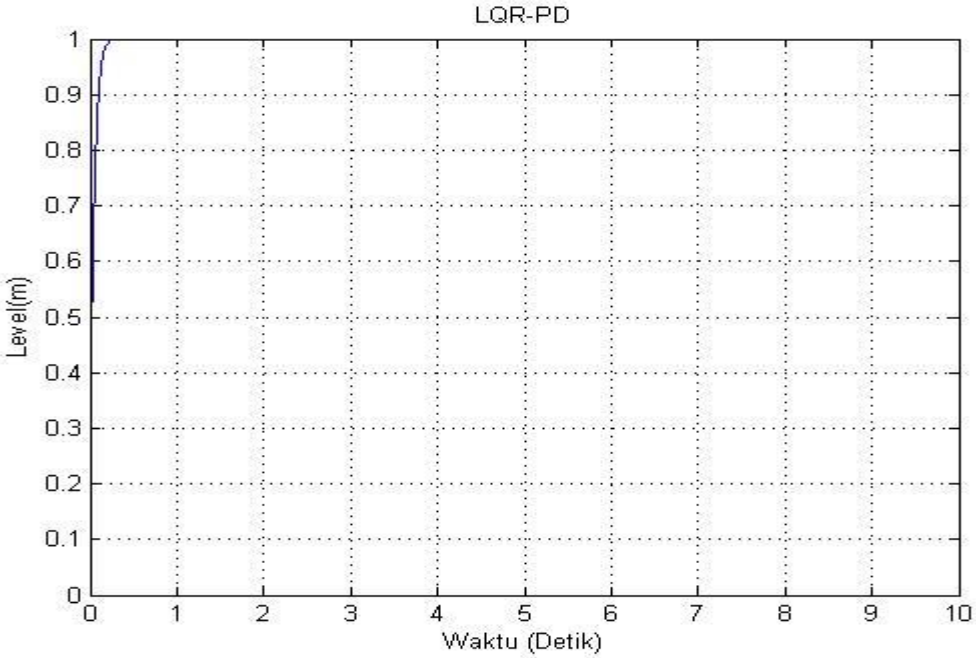


© Hak Cipta Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
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 pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 16 dan Kd = -0.1

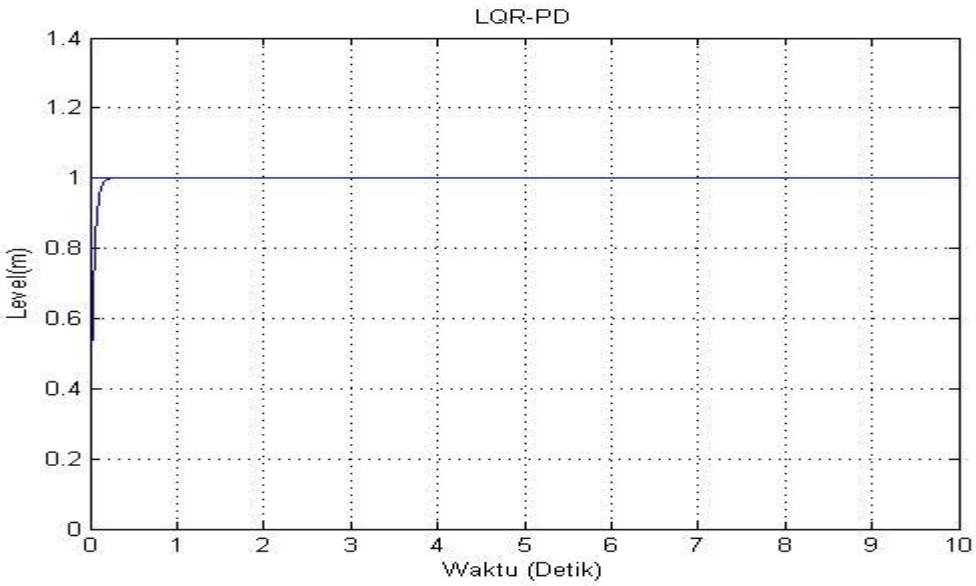


14. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 17 dan Kd = -0.2

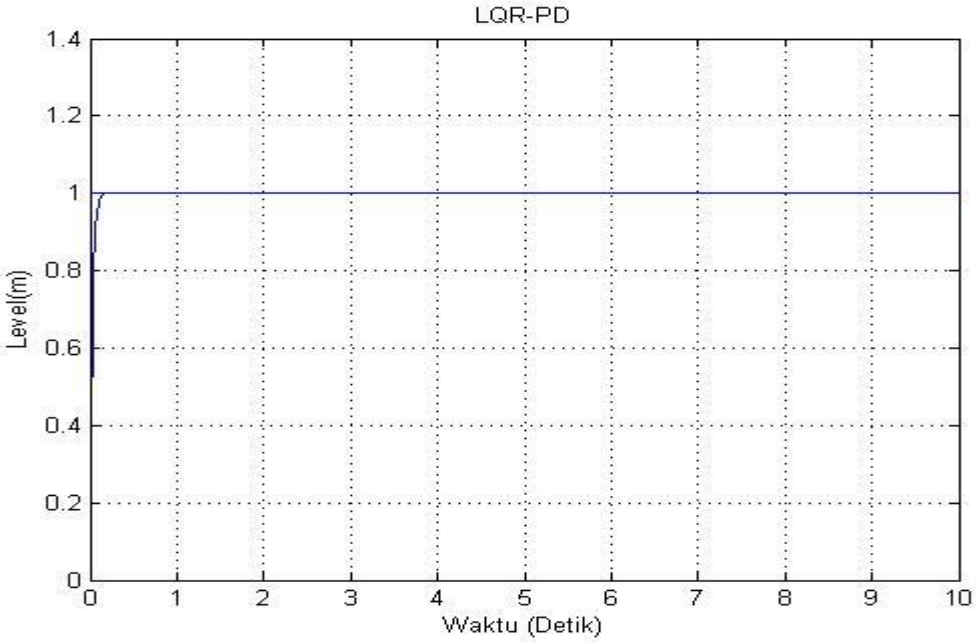


© Hak cipta
Hak Cipta Dilindun
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masala
b. Pengutipan tidak 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.
yarif Kasim
SKA RIAU

15. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 18 dan Kd = -0.3

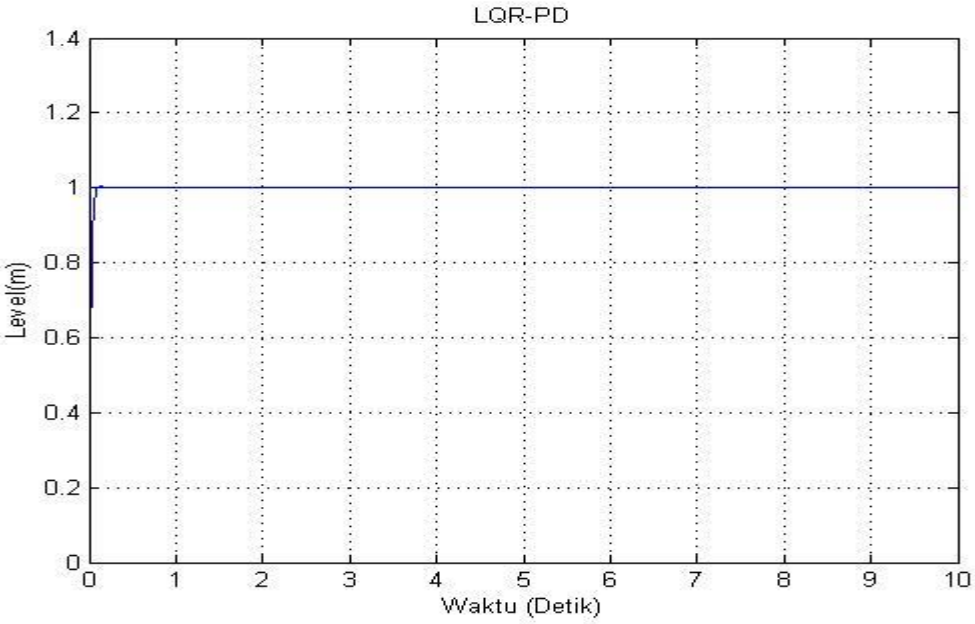


16. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 19 dan Kd = -0.4



© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
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 masala
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. Hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD dengan nilai Kp = 20 dan Kd = -0.5



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
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.

UIN SUSKA RIAU

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Gilang Gusti Iranda, lahir di Baruh Gunung pada tanggal 14 Desember 1996, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Agusri dan Marzuaida yang beralamat Jorong Baruah Gunuang 1, Nagari Baruah Gunuang, Kecamatan Bukik Barisan, Kabupaten 50 Kota, Provinsi Sumatera Barat

Email : gilanggustiiranda@gmail.com

HP : 081270169889

Pengalaman pendidikan yang dilalui dimulai dari SD Negeri 01 Baruah Gunuang pada tahun 2003 - 2009, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 1 Kecamatan Bukik Barisan pada tahun 2009 – 2012. Setelah itu dilanjutkan dengan pendidikan di SMA Negeri 1 Suliki jurusan IPA pada tahun 2012 – 2015. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dengan mengambil bidang kajian ilmu Elektronika dan Instrumentasi pada tahun 2015. Penulis menyelesaikan masa studi pada tahun 2021 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul **"Perancangan Pengendali *Level* pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) Menggunakan LQR-PD"**.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU