

Hak cipta milik UIN Suska Riau

**PERANCANGAN KENDALI *LINEAR QUADRATIC REGULATOR*
(LQR)-PD UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN GERAK
AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRES PADA
PROSES *DEEP DRAWING***

TUGAS AKHIR

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



Oleh:

MASKUN ABDUL MANAN

11355102539

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2020**



LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN KENDALI *LINEAR QUADRATIC REGULATOR* (LQR)-PD UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN GERAK AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRES PADA PROSES *DEEP DRAWING*

TUGAS AKHIR

Oleh:

MASKUN ABDUL MANAN
11355102539

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir
Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 03 Agustus 2020

UIN SUSKA RIAU

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing Tugas Akhir

Halim Mudia, S.T., M.T.
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.



LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN KENDALI *LINEAR QUADRATIC REGULATOR* (LQR)-PD UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN GERAK AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRES PADA PROSES *DEEP DRAWING*

TUGAS AKHIR

Oleh:

MASKUN ABDUL MANAN
11355102539

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 03 Agustus 2020

Pekanbaru, 03 Agustus 2020

Mengesahkan,

Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag.
NIP. 19660604 199203 1 004

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19750922 200912 2 002

DEWAN PENGUJI:

Ketua : Dr. Liliana, S.T., M.Eng.
Sekretaris : Halim Mudia, S.T., M.T.
Anggota I : Ahmad Faizal, S.T., M.T.
Anggota II : Aulia Ullah, S.T., M.Eng.

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, penerjemahan atau kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



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 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.

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, 03 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

MASKUN ABDUL MANAN
11355102539

UIN SUSKA RIAU


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alḥamdulillâh, Puji dan Syukur penulis ucapkan kepada Allâh *Subḥânahu Wa Ta'âlâ*, Dzat yang tidak serupa dengan makhluk-Nya dan tidak ada satu makhlukpun yang menyerupai-Nya. Shalawat dan Salam semoga senantiasa tercurah kepada penutup para nabi, yaitu Nabî Agung Muḥammad *Shallallâhu 'Alaihi Wasallam*, para keluarganya yang muslim, segenap sahabatnya serta para pengikutnya sampai hari kiamat kelak.

Karya ilmiah ini penulis persembahkan kepada:

Keluarga Penulis

Yaitu alm. Ayahanda, Ibunda, Mertua, Istri, Adik, Kakek, Nenek dan lain-lain yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung penyelesaian studi dan penulisan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menamatkan pendidikan di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau ini tepat waktu.

Dosen Pembimbing dan Penguji Tugas Akhir

Terima kasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing yang telah membimbing penulisan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikannya tepat waktu. Kepada dosen penguji, penulis juga mengucapkan terima kasih telah memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penulisan Tugas Akhir ini.

Seluruh Dosen Pengajar di Program Studi Teknik Elektro

Terima kasih juga penulis ucapkan kepada seluruh dosen pengajar di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang telah mendidik penulis dan mengajarkan kepada penulis ilmu-ilmu yang bermanfaat terkait teknik elektro.

**“Menuntut ilmu agama (yang pokok) hukumnya wajib
atas setiap muslim (laki-laki dan perempuan)”**

(H.R. al-Baihaqî)



PERANCANGAN KENDALI *LINEAR QUADRATIC REGULATOR* (LQR)-PD UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN GERAK AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRES PADA PROSES *DEEP DRAWING*

MASKUN ABDUL MANAN
NIM: 11355102539

Tanggal Sidang: 03 Agustus 2020

Tanggal Wisuda:

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. H.R. Soebrantas, km. 15, no. 155, Tuah Madani - Tampan - Pekanbaru

ABSTRAK

Hidrolik merupakan salah satu aktuator yang berfungsi untuk membantu berbagai pekerjaan manusia seperti penekanan, peregangan, pembengkokan, pengangkatan, penarikan dan lain-lain. Mesin pres adalah salah satu dari sekian banyak perangkat yang menggunakan sistem hidrolik untuk proses penekanan. Proses *deep drawing* termasuk salah satu contoh penggunaan mesin pres untuk pembentukan benda kerja. Namun dalam prakteknya masih ada beberapa kendala dalam proses ini di antaranya adalah performansi kecepatan gerak aktuator hidrolik yang kurang baik dengan *settling time* sebesar 1,5399 detik dan *punch force* yang masih memiliki *overshoot* sebesar 30%. Fokus utama penelitian ini adalah ketidakmampuan aktuator hidrolik untuk mencapai kecepatan stabil dalam waktu yang relatif singkat. *Linear Quadratic Regulator* (LQR) merupakan sistem kendali yang memiliki keunggulan yaitu bersifat kokoh dan tidak ada *overshoot*. Dengan nilai matriks pembobot $Q = [0,00001]$ dan matriks pembobot $R = [1]$ menurunkan *settling time* (t_s) menjadi sebesar 1,4480 detik dan *rise time* (t_r) menjadi sebesar 1,0893 detik. Untuk menurunkan *settling time* sampai ke nilai di bawah 1 detik dan *rise time* paling kecil tanpa ada *error steady state* ditambahkan pengendali *Proportional Derivative* (PD) dengan nilai $K_p = 5$ dan nilai $K_d = 0,05$. Hasilnya *settling time* menurun menjadi sebesar 0,2823 detik, *rise time* menjadi sebesar 0,2158 detik dan *error steady state* 0 meter/detik dengan IAE sebesar 0,01386. Sistem juga mampu kembali pada kecepatan *setpoint* ketika diberi gangguan berupa penurunan kecepatan sebesar 0,001 meter/detik pada detik ke 3 dengan *recovery time* sebesar 0,22 detik.

Kata Kunci: Aktuator Hidrolik, *Deep Drawing*, LQR-PD (*Linear Quadratic Regulator-Proportional Derivative*), Mesin Pres, Metode Sundaesan dan Krishnaswamy.

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

Stadion Sultan Syarif Kasim Riau



DESIGN CONTROLLER LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)-PD FOR CONTROLLING SPEED OF HYDRAULIC ACTUATOR MOTION IN PRESSING MACHINE ON DEEP DRAWING PROCESS

**MASKUN ABDUL MANAN
NIM: 11355102539**

Examination Date: 3rd August 2020

Graduation Date:

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science and Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

H.R. Soebrantas St. km. 15, no. 155, Tuah Madani - Tampan - Pekanbaru

ABSTRACT

Hydraulic is one actuator that assists various human work such as pressing, stretching, bending, lifting, pulling and others. Press machines are one of the many devices that use a hydraulic system for the pressing process. The deep drawing process is one example of using a press machine for making workpieces. But in practice, there are still some obstacles in this process, including the poor performance of hydraulic actuator speed with a settling time of 1.5399 seconds and punch force which still has an overshoot of 30%. This research's main focus is the inability of hydraulic actuators to reach stable speeds in a relatively short time. Linear Quadratic Regulator (LQR) is a control system that has the advantage of being sturdy, and there is no overshoot. With the matrix value $Q = [0.00001]$ and matrix value $R = [1]$ reducing a settling time (t_s) to 1.4480 seconds and a rise time (t_r) to 1.0893 seconds. To reduce settling time to values below 1 second and the shortest rise time without error steady state, a Proportional Derivative (PD) controller is added with a value of $K_p = 5$ and a value of $K_d = 0.05$. The result is settling time decreased to 0.2823 seconds, rise time to 0.2158 seconds, and steady state error 0 meter/second with IAE of 0,01386. The system can also return to the setpoint speed when given a disturbance in the form of a decrease in speed of 0.001 meters/second at the 3rd second with a recovery time of 0.22 seconds.

Keywords: *Hydraulic Actuator, Deep Drawing, LQR-PD (Linear Quadratic Regulator-Proportional Derivative), Pressing Machine, Sundaresan's and Krishnaswamy's Method.*

- 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.

KATA PENGANTAR



Assalâmu 'alaikum Warahmatullâhi Wabarakâtuh

Dengan mengucap *Alḥamdulillâhi Rabbil-‘Âlamîn*, penulis memanjatkan Puji dan Syukur kepada Allâh *Subḥânahu Wa Ta'âlâ*, Dzat yang tidak serupa dengan makhluk-Nya dan tidak ada satu pun makhluk yang menyerupai-Nya. Shalawat dan Salam semoga senantiasa tercurah kepada makhluk yang paling mulia secara mutlak, yaitu Nabî Agung Muḥammad *Shallallâhu 'Alaihi Wasallam*, para keluarganya yang muslim, segenap sahabatnya serta para pengikutnya sampai hari kiamat kelak.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Atas pertolongan dari Allâh, penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan judul **“PERANCANGAN KENDALI *LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)*-PD UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN GERAK AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRES PADA PROSES *DEEP DRAWING*”**.

Telah menjadi aturan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada program S1 (Strata Satu) di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau harus membuat suatu karya ilmiah berupa Tugas Akhir. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu proses penulisan Tugas Akhir ini. Pihak-pihak tersebut adalah:

1. Allâh *Subḥânahu Wa Ta'âlâ* Yang Maha Menghendaki. Apa yang Allâh kehendaki pasti akan ada dan terjadi dan apa yang Allâh tidak kehendaki pasti tidak akan ada dan tidak akan terjadi. *Alḥamdulillâh*, Allâh menghendaki penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
2. Rasûlullâh *Shallallâhu 'Alaihi Wasallam* pembawa risalah agama Islâm yang mulia ini dan disampaikan kepada umat beliau seterusnya sampai kepada kita.



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

3. Asy-Syaikh Abdullâh al-Hararî al-Ḥabasyî *Rahimahullâh* yakni guru besar penulis dari Beirut, Libanon. Dari beliau dan para murid-muridnya lah penulis mendapatkan bimbingan ilmu agama selama menjalani studi ini dan mudah-mudahan berlangsung sampai seterusnya.
4. *Al-Marḥûm* ayahanda, semoga Allâh mengampuni dosa-dosanya dan menerima amal baiknya selama di dunia. Serta ibunda dan adik tercinta Diya Khayatul Lisnaeni, semoga Allâh senantiasa memberikan kesehatan dan panjang umur dalam ketaatan.
5. Bapak Prof. Dr. H. M. Nazir, Bapak Prof. Dr. H. Munzir Hitami, M.A. serta Bapak Prof. Dr. H. Akhmad Mujahidin, S.Ag., M.Ag. selaku Rektor pada saat penulis menjalani studi di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Prof. Dr. Suyitno, M.Ag. selaku Plt. Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
7. Bapak Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
8. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
9. Ibu Dian Mursyitah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang kemudian digantikan oleh Bapak Hilman Zarory, M.Eng.
10. Bapak Halim Mudia, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan banyak waktu demi memberi kritik dan saran untuk penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
11. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T. selaku dosen penguji I Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
12. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
13. Bapak Ibu dosen yang telah memberikan pengetahuan dan mencurahkan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

14. Ayahanda mertua, ibunda mertua dan istri tercinta Sulastri, S.Pd. Yang senantiasa memberi dorongan semangat dan motivasi, semoga Allâh membalas dengan kebaikan.
15. Teman seperjuangan, Grandong, Mbuus dan lain-lain baik dari dalam maupun luar kampus yang telah memberikan dorongan, semangat serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
16. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.

Atas jasa dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan sesuai prosedur yang berlaku di Program Studi Teknik Elektro. Tanpa bantuan dan dorongan semua pihak, penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allâh membalasnya dengan kebaikan-kebaikan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan ilmu, pengetahuan dan pengalaman penulis dalam proses penulisan Tugas Akhir ini. Kritik dan saran sangat penulis harapkan semua pihak untuk perbaikan Tugas Akhir ini.

Wassalâmu'alaikum Waraḥmatullâhi Wabarakâtuḥ

Pekanbaru, 03 Agustus 2020
Penulis,



MASKUN ABDUL MANAN



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN COVER.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
DAFTAR SINGKATAN.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4 Batasan Masalah.....	I-3
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-4
1.6 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Dasar Teori	II-2
2.2.1 Hidrolik.....	II-2
2.2.2 Silinder Hidrolik.....	II-4
2.2.3 Pompa Hidrolik.....	II-5
2.2.4 Valve Hidrolik.....	II-7



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

2.2.5	Prinsip Kerja Hidrolik	II-7
2.3	Metode Sundaesan dan Krishnaswamy	II-8
2.4	Identifikasi Sistem Orde Satu	II-9
2.5	Sistem Kendali.....	II-11
2.5.1	Sistem Kendali Optimal.....	II-11
2.5.2	Sistem Kendali <i>Linear Quadratic Regulator</i> (LQR).....	II-12
2.5.3	Kendali <i>Proportional</i> dan <i>Derivative</i> (PD)	II-16
2.6	Perangkat Lunak Matlab (<i>Matrix Laboratory</i>).....	II-17
2.7	Kriteria Integral Menggunakan IAE (<i>Integral of Absolute Error</i>).....	II-20

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Jenis Penelitian	III-1
3.2	Alur Penelitian.....	III-1
3.3	Tahapan Penelitian	III-2
3.4	Pengumpulan Data.....	III-4
3.5	Model Matematis Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik	III-4
3.6	Validasi Model Matematis.....	III-9
3.7	Perancangan Pengendali	III-10
3.8.1	Perancangan Pengendali <i>Linear Quadratic Regulator</i> (LQR) ..	III-10
3.8.2	Perancangan Pengendali LQR-PD (<i>Proportional Derivative</i>)..	III-13
3.8	Penelitian Selanjutnya	III-14

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1	Gambaran Umum Analisa Sistem	IV-1
4.2	Analisa Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Secara <i>Open Loop</i>	IV-1
4.2.1	Pengujian Respon <i>Open Loop</i> Terhadap Gangguan.....	IV-7
4.3	Analisa Pengendali LQR dan LQR-PD	IV-8
4.3.1	Analisa Pengendali LQR dalam Mengurangi <i>Settling Time</i>	IV-8
4.3.2	Analisa Pengendali LQR-PD dalam Mengurangi <i>Settling Time</i>	IV-14
4.4	Analisa Kestabilan Pengendali LQR-PD dalam Mengatasi Gangguan.	IV-20

BAB V PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN DAFTAR RIWAYAT HIDUP

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 Mekanisme Sistem Hidrolik	II-4
2.2 <i>Single Acting Cylinder</i>	II-5
2.3 <i>Double Acting Cylinder</i>	II-5
2.4 <i>Centrifugal Pump</i>	II-6
2.5 <i>Positive Displacement Pump</i>	II-7
2.6 Grafik Respon Sistem Terhadap Waktu untuk Menentukan $t_{35,3}$ dan $t_{85,3}$	II-8
2.7 Respon Sistem Orde Satu	II-10
2.8 Sistem Kendali dengan Skema Kendali LQR.....	II-15
2.9 Ikon <i>Desktop</i> Matlab	II-17
3.1 Diagram Alur Penelitian.....	III-2
3.2 Diagram <i>Solenoid Valve</i> dan Aktuator Hidrolik.....	III-5
3.3 Respon Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Terhadap Waktu	III-7
3.4 Cara Menentukan $t_{35,3}$ dan $t_{85,3}$	III-8
3.5 Blok <i>Simulink Open Loop</i> Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik	III-9
3.6 Hasil Simulasi Menggunakan Metode Sundaresan dan Krishnaswamy	III-10
3.7 Diagram Blok Sistem Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR .	III-12
3.8 Blok <i>Simulink</i> Kendali LQR.....	III-12
3.9 Tampilan <i>Trial and Error</i> Kendali LQR pada <i>M-File</i>	III-13
3.10 Blok <i>Simulink</i> Kendali PD.....	III-14
3.11 Blok <i>Simulink</i> Kendali LQR-PD Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik	III-14
4.1 Blok <i>Simulink Open Loop</i> Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik	IV-1
4.2 Respon <i>Output</i> Secara <i>Open Loop</i>	IV-2
4.3 τ pada Respon Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik	IV-3
4.4 $t_r(10\%)$ pada Respon Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik.....	IV-4
4.5 $t_r(90\%)$ pada Respon Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik.....	IV-5
4.6 t_d pada Respon Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik.....	IV-6
4.7 Blok <i>Simulink Open Loop</i> dengan Uji Gangguan	IV-7
4.8 Grafik Respon <i>Open Loop</i> Terhadap Gangguan	IV-7
4.9 Blok <i>Simulink</i> Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Pengendali LQR	IV-8



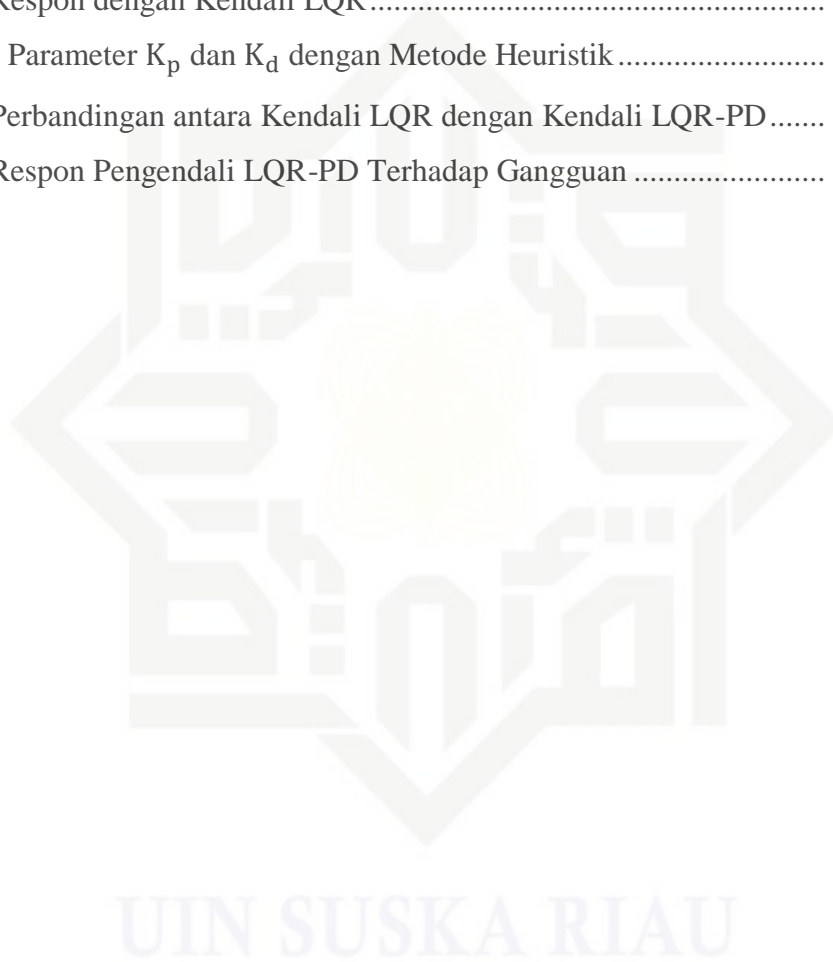
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang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

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

4.10	Grafik Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik dengan Kendali LQR	IV-9
4.11	τ pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR.....	IV-10
4.12	$t_r(10\%)$ pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR	IV-11
4.13	$t_r(90\%)$ pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR	IV-12
4.14	t_d pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR	IV-13
4.15	Blok <i>Simulink</i> Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR-PD	IV-14
4.16	Grafik Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik dengan Kendali LQR-PD.....	IV-15
4.17	τ pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR-PD	IV-16
4.18	$t_r(10\%)$ pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR-PD	IV-17
4.19	$t_r(90\%)$ pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR-PD	IV-18
4.20	t_d pada Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR-PD	IV-19
4.21	Blok <i>Simulink</i> Pengendali LQR-PD dengan Gangguan	IV-20
4.22	Respon Pengendali LQR-PD dengan Gangguan	IV-21
4.23	τ pada Kecepatan Gerak Hidrolik LQR-PD dengan Gangguan	IV-22
4.24	$t_r(10\%)$ pada Kecepatan Gerak Hidrolik LQR-PD dengan Gangguan	IV-23
4.25	$t_r(90\%)$ pada Kecepatan Gerak Hidrolik LQR-PD dengan Gangguan	IV-24
4.26	t_d pada Kecepatan Gerak Hidrolik LQR-PD dengan Gangguan	IV-25
4.27	Waktu <i>Recovery</i> Terhadap Gangguan	IV-25

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Pengaruh Penalaan Parameter K_p dan K_d	II-17
4.1 Analisa Respon <i>Open Loop</i>	IV-6
4.2 Analisa Respon dengan Kendali LQR.....	IV-13
4.3 Penalaan Parameter K_p dan K_d dengan Metode Heuristik.....	IV-14
4.4 Analisa Perbandingan antara Kendali LQR dengan Kendali LQR-PD	IV-19
4.5 Analisa Respon Pengendali LQR-PD Terhadap Gangguan	IV-26



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

DAFTAR SIMBOL

\int	= integral
λ	= lambda
ϕ	= phi
ψ	= psi
β_{e1}	= modulus bulk 1
β_{e2}	= modulus bulk 2
τ	= konstanta waktu
t_s	= <i>settling time</i>
t_r	= <i>rise time</i>
t_d	= <i>delay time</i>
e_{ss}	= <i>error steady state</i>
K_p	= konstanta <i>proportional</i>
K_d	= konstanta <i>derivative</i>

UIN SUSKA RIAU

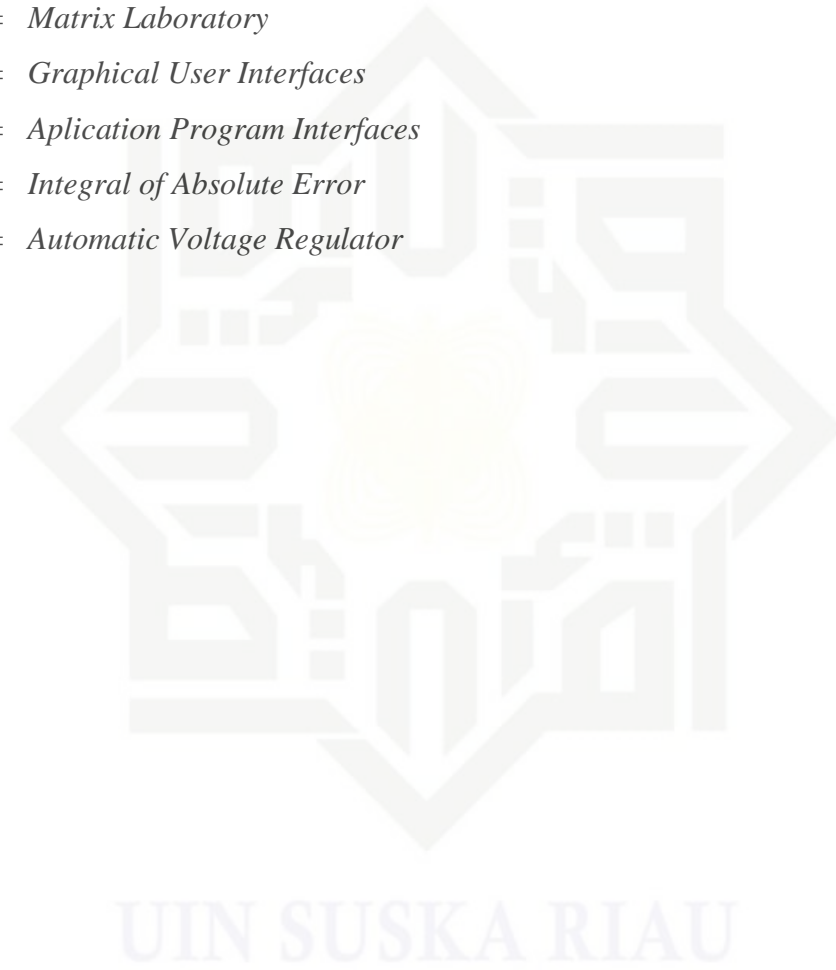


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR SINGKATAN

LQR	=	<i>Linear Quadratic Regulator</i>
PID	=	<i>Proportional Integral Derivative</i>
PD	=	<i>Proportional Derivative</i>
MATLAB	=	<i>Matrix Laboratory</i>
GUI	=	<i>Graphical User Interfaces</i>
API	=	<i>Aplication Program Interfaces</i>
IAE	=	<i>Integral of Absolute Error</i>
AVR	=	<i>Automatic Voltage Regulator</i>





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 LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A.1 Blok <i>Simulink Open Loop</i> Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik	A-1
A.2 Blok <i>Simulink Open Loop</i> dengan Uji Gangguan	A-1
A.3 Blok <i>Simulink</i> Kendali LQR Menggunakan IAE	A-1
A.4 Blok <i>Simulink</i> Kendali LQR-PD Menggunakan IAE	A-2
A.5 Blok <i>Simulink</i> Kendali LQR-PD dengan Gangguan	A-2
A.6 Blok <i>Subsystem</i> Kendali <i>Linear Quadratic Regulator</i> (LQR)	A-2
A.7 Blok <i>Subsystem</i> Kendali <i>Proportional Derivative</i> (PD).....	A-3
A.8 Blok <i>Subsystem Integral of Absolute Error</i> (IAE)	A-3
B.1 Proses Penalaan Matriks Q pada Kendali LQR	B-1
B.2 Tabel Hasil Penalaan Matriks Q pada Kendali LQR.....	B-4
C.1 Proses Penalaan Parameter K_p dan K_d pada Kendali LQR-PD	C-1
C.2 Tabel Hasil Penalaan Parameter K_p dan K_d pada Kendali LQR-PD	C-8
D.1 Hasil Simulasi <i>Open Loop</i> dengan Uji Gangguan.....	D-1
D.2 Hasil Simulasi Kendali LQR-PD dengan Tambahan Gangguan.....	D-1



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hidrolik merupakan salah satu aktuator yang berfungsi untuk membantu berbagai pekerjaan manusia seperti penekanan (*pressing*), peregangan (*stretching*), pembengkokan (*bending*), pengangkatan (*lifting*), penarikan (*pulling*) dan lain-lain. Di antara penggunaan hidrolik yang sering kita jumpai baik di dunia industri baik skala menengah maupun skala besar adalah sebagai mesin pres. Pemanfaatan mesin pres sendiri mempunyai beberapa tujuan antara lain memadatkan, menekan dan membentuk sesuatu.

Mesin pres hidrolik adalah mesin dengan gaya dorong yang bekerja berdasarkan teori hukum pascal yakni memanfaatkan tekanan yang dibangkitkan pada fluida cair untuk menekan atau membentuk [1]. Mesin pres sangat cocok untuk memproduksi suatu benda yang memiliki bentuk dan ukuran yang sama dalam waktu yang relatif singkat jika dibandingkan dengan pembuatan produk mesin perkakas yang dikerjakan secara berurutan dari mesin satu ke mesin yang lain. Mesin pres dapat menghasilkan produk secara masal dengan kualitas yang seragam dan waktu yang singkat. Ia juga dapat menghasilkan produk dengan bentuk dan ukuran yang seragam dan biaya yang lebih ekonomis dalam pembuatan produk masal [2].

Penggunaan mesin pres untuk membentuk sesuatu salah satunya terjadi pada proses yang dinamakan *deep drawing*. *Deep drawing* adalah proses pembentukan logam dengan bahan baku berbentuk plat. Beberapa komponen mesin dengan bentuk profil tertentu merupakan hasil dari proses *deep drawing* [3]. Benda kerja yang dihasilkan ada kalanya dalam bentuk sederhana dan ada juga yang berbentuk kompleks.

Kualitas hasil proses *deep drawing* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah *punch force* [3]. Sedangkan kuantitas hasil proses *deep drawing* dipengaruhi oleh faktor kecepatan gerak aktuator. Dalam hal ini terdapat dua parameter yang dapat dikendalikan pada mesin pres yaitu *punch force* aktuator dan kecepatan gerak aktuator. *Punch force* yang terlalu kecil mengakibatkan benda kerja tidak dapat terbentuk dengan sempurna, sedangkan *punch force* yang terlalu besar dapat menyebabkan cacat pada



benda kerja [3]. Adapun kecepatan gerak aktuator hidrolik dengan performansi yang kurang baik mengakibatkan rendahnya efisiensi waktu.

Pengendalian kecepatan gerak aktuator dilakukan dengan mengatur debit fluida yang masuk ke dalam silinder hidrolik. Debit fluida oli yang rendah mengakibatkan percepatan gerak aktuator menjadi semakin rendah. Pada penelitian ini penulis menginginkan untuk membahas mengenai kecepatan gerak aktuator hidrolik mesin pres dan pengendalinya.

Pada penelitian [3], telah dilakukan analisa pemodelan dan simulasi kecepatan gerak aktuator pada mesin pres untuk proses *deep drawing*. Hasil dari pemodelan dan simulasi menunjukkan bahwa kecepatan gerak aktuator mempunyai performansi yang kurang baik yaitu *settling time* yang terlalu besar sehingga diperlukan pengendalian [3]. Pengendali diperlukan untuk mencapai kecepatan stabil dalam waktu yang singkat.

Untuk mendapatkan pemodelan matematis dari grafik kecepatan terhadap waktu, digunakan metode identifikasi. Metode Sundaresan dan Krishnaswamy [4] dipilih untuk menurunkan pemodelan matematis dari grafik kecepatan gerak aktuator karena metode ini sangat tepat untuk melakukan penurunan pemodelan matematis dari jenis grafik orde satu. Pemodelan matematis inilah yang nantinya akan ditambahkan pengendali sehingga *settling time* bisa dikurangi menjadi sekecil mungkin.

Beberapa penelitian telah dilakukan pada sistem hidrolik di antaranya dengan penambahan kendali *Fuzzy – PID*. Melalui simulasi Matlab dengan menggunakan *fuzzy rules* yang sesuai dan dirancang untuk menyetel parameter K_p , K_i dan K_d dari kendali PID tersebut, kinerja dari system hidrolik meningkat secara signifikan jika dibandingkan dengan pengendali PID konvensional [5].

Pada penelitian yang berjudul “Optimalisasi *Crane* Anti Ayun Kontroler PD-LQR dengan Algoritma UPSO untuk Meningkatkan Efisiensi Proses Bongkar Muat”, penggunaan kendali PD-LQR yang dioptimalisasi dengan algoritma uPSO memiliki respon yang paling baik dibandingkan pengendali lain yang pernah diteliti. Selain itu dalam implementasi realnya juga relatif sederhana [6].

Sebagaimana disebutkan di atas, penambahan pengendali diperlukan untuk memperkecil *settling time* pada grafik kecepatan gerak aktuator hidrolik. Pengendali yang ditambahkan pada model matematis kecepatan gerak aktuator hidrolik adalah kendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR). Kendali LQR dipilih karena bersifat kokoh

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.



dan tidak ada *overshoot*. System juga mempunyai kemampuan untuk meredam derau (*noise*) pada frekuensi tinggi dan mempunyai tanggapan yang cepat terhadap masukan yang ditunjukkan dengan besarnya nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer (*complementary sensitivity*) (M_T) yang kecil [7].

Pada penelitian yang lain tentang pengendali LQR disebutkan bahwa pengendali LQR dipilih sebagai metode untuk mendapatkan performansi yang optimal, karena kemampuan LQR dalam mengoptimalkan kinerja sistem dalam hal kecepatan dan kestabilan [8].

Dari penjelasan dan kajian di atas bahwa kendali LQR memiliki sifat kokoh dan stabil dan ditambah kendali PD yang dapat mempercepat respon waktu, maka penulis tertarik melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul **“Perancangan Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR)-PD untuk Pengendalian Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Mesin Pres pada Proses *Deep Drawing*”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana cara merancang kendali LQR-PD dan mensimulasikannya sebagai pengendalian kecepatan hidrolik pada mesin pres untuk proses *deep drawing* agar bisa mengikuti referensi yang diberikan dengan *error steady state* nol dan respon waktu yang lebih cepat dibandingkan tanpa kendali.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah merancang kendali LQR-PD dan mensimulasikannya sebagai pengendalian kecepatan hidrolik pada mesin pres untuk proses *deep drawing* agar bisa mengikuti referensi yang diberikan dengan *error steady state* nol dan respon waktu yang lebih cepat dibandingkan tanpa kendali.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Cara memperoleh model matematis dari sistem adalah menggunakan metode identifikasi Sundaesan dan Krishnaswamy.
2. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab.



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

3. Tidak ada pembahasan mendalam tentang *hardware*.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Manfaat bagi penulis yaitu menambah pengetahuan mengenai perancangan sistem kendali LQR-PD untuk hidrolik mesin pres pada proses *deep drawing*.
2. Manfaat bagi mahasiswa Program Studi Teknik Elektro dan para pembaca antara lain:
 - a. Menambah referensi bagi mahasiswa lain untuk penulisan tugas akhir mengenai analisa sistem kendali terutama pengendalian kecepatan aktuator hidrolik pada mesin pres.
 - b. Menjadi referensi tambahan tentang penelitian kendali LQR-PD.
 - c. Sebagai bahan referensi untuk penelitian-penelitian yang akan datang.
3. Manfaat bagi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah menambah koleksi buku referensi di perpustakaan Program Studi Teknik Elektro.

1.6 Sistematika Penulisan

1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan berkaitan dengan gambaran umum dari tugas akhir yang terdiri atas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penelitian yang telah dilakukan sebelumnya serta pengetahuan dasar yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Teori yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah berkaitan dengan kendali kecepatan gerak aktuator hidrolik, pemanfaatan hidrolik sebagai mesin pres untuk proses *deep drawing*, pemodelan matematis *plant*, perangkat lunak Matlab, pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR), serta pengendali LQR-PD.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Memuat tentang tahap-tahap dalam proses penelitian tugas akhir ini. Diawali dari identifikasi serta perumusan masalah, pengumpulan data, analisa dan perancangan, pengujian, serta kesimpulan dan saran.

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

4. BAB IV HASIL DAN ANALISA

Berisi tentang pengujian kinerja sistem kendali, identifikasi sistem dari hasil pengendali LQR maupun LQR-PD.

5. BAB V PENUTUP

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan hasil dan analisa yang telah dilakukan serta saran untuk para peneliti yang akan melakukan penelitian dengan topik yang berkaitan dengan tugas akhir ini di masa yang akan datang.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab II ini menjelaskan tentang penelitian-penelitian berkaitan dengan judul yang diangkat pada penelitian ini baik dari sisi *plant* yang dikendalikan, parameter yang dikendalikan maupun sistem kendali yang digunakan.

2.1 Penelitian Terkait

Pada penyusunan tugas akhir ini telah dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mencari teori serta referensi yang berkaitan dengan kasus dan masalah yang akan dipecahkan. Teori-teori dan referensi-referensi diperoleh dari paper, jurnal ilmiah, buku, *proceeding*, artikel dan sumber lainnya.

Penelitian tentang respon kecepatan gerak terhadap waktu pada hidrolis mesin press telah dilakukan sebelumnya dengan judul “Analisa Pemodelan dan Simulasi Gerak Aktuator Punch pada Mesin Pres untuk Proses *Deep Drawing*” [3]. Dari penelitian ini diperoleh grafik respon kecepatan gerak aktuator hidrolis terhadap waktu. Pada penelitian ini diambil kesimpulan bahwa *settling time* kecepatan gerak aktuator hidrolis masih terlalu tinggi yaitu 1,5399 detik. *Settling time* ini diharapkan akan menurun setelah ditambah dengan pengendali.

Pada penelitian yang berjudul “Optimalisasi *Crane* Anti Ayun Kontroler PD-LQR dengan Algoritma UPSO untuk Meningkatkan Efisiensi Proses Bongkar Muat”, penggunaan kendali PD-LQR yang dioptimalisasi dengan algoritma uPSO memiliki respon yang paling baik dibandingkan pengendali lain yang pernah diteliti. Selain itu dalam implementasi realnya juga relatif sederhana [6].

Juga pada penelitian terkait pengendali LQR pada AVR yang berjudul “Studi Metoda Kendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dan Aplikasinya pada Sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR)”, akan ditentukan matriks bobot Q dan R untuk memperoleh sinyal kendali optimal dari umpan balik keadaan. Terbukti kendali LQR dapat meningkatkan kinerja AVR dalam menjaga kestabilan sistem [7].

Dalam penelitian yang berjudul “*Trajectory Tracking in Quadrotor Platform by Using PD Controller and LQR Control Approach*” disebutkan bahwa pendekatan metode kendali LQR menunjukkan ketahanan dan menghasilkan *error steady state* yang



sangat rendah. Namun, pengendali PD dapat memberikan respon lebih cepat dan mengatasi *error steady state* dengan cara menambah nilai pada bagian *integral* tetapi ia tidak dapat memberikan kinerja yang kokoh seperti pengendali LQR [9].

Dalam penelitian yang berjudul “Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban Menggunakan Metode Heuristik”, perancangan kendali PID dimulai dari tahap perancangan kendali P, PI, PD kemudian perancangan kendali PID [10].

Dari beberapa referensi penelitian di atas, maka digunakanlah kendali LQR pada sistem kecepatan gerak aktuator hidrolik untuk menambahkan kekokohan sistem (*robuster*) dan penambahan kendali PD digunakan untuk mempercepat respon sistem serta meminimalisir osilasi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Hidrolik

Hidrolik adalah suatu sistem aktuator yang mengubah tekanan fluida cair menjadi gaya gerak. Gerak yang ditimbulkan dapat berupa gerak lurus maupun gerak berputar. Gerak lurus terjadi pada silinder hidrolik, sedangkan gerak berputar terjadi pada motor hidrolik. Yang paling banyak digunakan dalam dunia industri dan teknologi adalah silinder hidrolik. Sedangkan penggunaan motor hidrolik sendiri masih bisa digantikan dengan motor bakar maupun motor listrik.

Hidrolik bekerja berdasarkan hukum Pascal. Hukum Pascal dinyatakan oleh seorang filsuf sekaligus ilmuwan Prancis bernama Blaise Pascal (1623 – 1662). Blaise Pascal menyatakan bahwa “jika tekanan eksternal diberikan pada sistem tertutup, tekanan pada setiap titik pada fluida tersebut akan meningkat sebanding dengan tekanan eksternal yang diberikan”. Hukum Pascal ini merepresentasikan bahwa setiap terjadi kenaikan tekanan pada permukaan fluida, maka tekanan tersebut akan diteruskan ke segala arah oleh fluida tersebut. Hukum pascal hanya dapat diterapkan pada fluida.

Alat serupa yang menggunakan prinsip hukum pascal adalah pneumatik. Berbeda dengan hidrolik, pneumatik memanfaatkan tekanan fluida udara yang dihasilkan oleh pompa kompresor. Pnematik merupakan pengetahuan tentang udara yang bergerak, keadaan keseimbangan udara dan syarat-syarat keseimbangan. Istilah



pneumatik berasal dari bahasa Yunani yaitu *pneuma* yang berarti nafas atau udara. Jadi pneumatik berarti terisi udara atau digerakkan oleh udara yang mampat [11].

Sistem hidrolis memiliki sifat dasar yang tidak *linear*, sehingga dalam identifikasi model diperlukan langkah-langkah pendekatan simplifikasi [12]. Persamaan hukum Pascal dalam sistem tertutup dapat digambarkan dengan sistem sebagai $P_{keluar} = P_{masuk}$ atau dengan persamaan yang lebih simpel yaitu:

$$P_1 = P_2 \quad (2.1)$$

Sebagaimana yang sudah kita ketahui bersama bahwa tekanan adalah gaya dibagi besar luas penampang

$$P = F/A \quad (2.2)$$

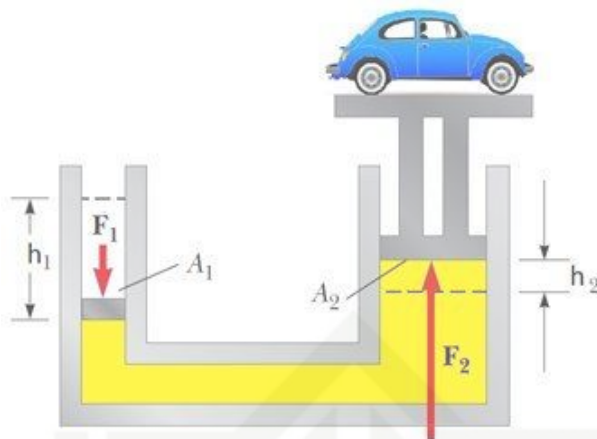
Maka persamaan di atas dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (2.3)$$

Dengan besaran keuntungan mekanis dari sistem fluida hidrolis yang menggunakan hukum Pascal dapat diketahui dari rasio gaya yang keluar dibagi gaya yang diberikan

$$\text{keuntungan mekanis} = \frac{F_2}{F_1} \quad (2.4)$$

Karena luas penampang berbanding lurus dengan besaran gaya, maka keuntungan mekanis juga dapat langsung diketahui dengan rasio kedua luas penampang. Perhatikan gambar 2.1 di bawah ini. Karena cairan tidak dapat ditambahkan ataupun keluar dari sistem tertutup, maka volume cairan yang terdorong di sebelah kiri akan mendorong piston di sebelah kanan ke arah atas. Piston di sebelah kiri bergerak ke bawah sejauh h_1 dan piston sebelah kanan bergerak ke atas sejauh h_2 .



Gambar 2.1 Mekanisme Sistem Hidrolik [13]

Sesuai hukum Pascal, maka

$$A_2 h_2 = A_1 h_1 \quad (2.5)$$

Sehingga

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{h_1}{h_2} \quad (2.6)$$

Pada umumnya sistem hidrolik hanya terdiri dari dua perangkat utama yaitu pompa dan silinder hidrolik/motor hidrolik itu sendiri. Selebihnya adalah komponen lain yang merupakan aksesoris atau pelengkap seperti *valve* (katup), *hose* (selang), *check valve* (katup satu arah), *pressure gauge* (pembaca tekanan) dan lain-lain. Fluida hidrolik menggunakan oli khusus yang mampu menahan tekanan maksimal 10.000 psi (*pound per square inch*). Oli tersebut ditampung di dalam sebuah tangki atau *reservoir* dengan volume tertentu.

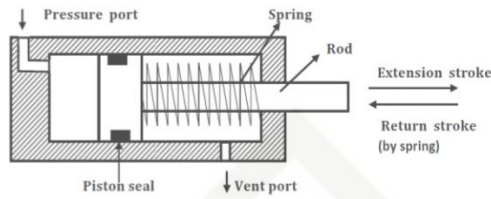
2.2.2 Silinder Hidrolik

Silinder hidrolik merupakan bagian dari sistem hidrolik. Jika kita melihat pada gambar 2.1, silinder hidrolik digambarkan pada sisi kanan yang direpresentasikan sebagai hidrolik pengangkat mobil. Silinder hidrolik merupakan perangkat pasif yang mengubah tekanan fluida menjadi gerakan *linear*.

Silinder hidrolik sendiri dari segi pergerakan maju mundur/naik turunnya terbagi menjadi dua jenis yaitu *single acting cylinder* dan *double acting cylinder*. Untuk jenis

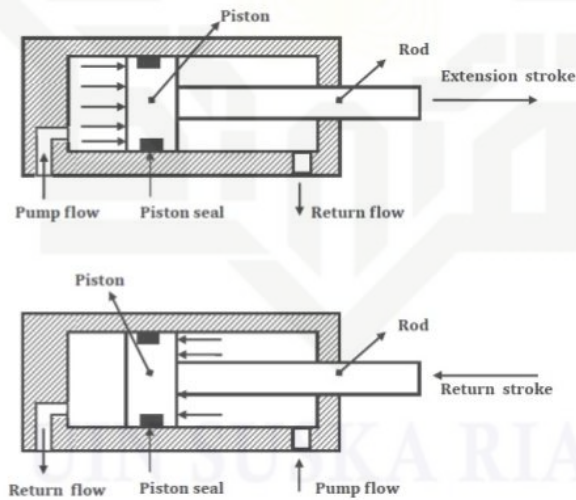
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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

single acting pergerakan maju/naik dan juga biasa disebut *advance* menggunakan tekanan fluida, sedangkan pergerakan mundur/turun dan juga biasa disebut *retract* menggunakan pegas atau *spring* dan ada juga yang mengandalkan gaya gravitasi.



Gambar 2.2 *Single Acting Cylinder* [14]

Sedangkan untuk jenis *double acting* baik pergerakan maju maupun mundur sama-sama menggunakan tekanan fluida. Tekanan fluida dibangkitkan oleh pompa hidrolik dan disalurkan melalui selang hidrolik yang mampu menahan tekanan maksimal 10.000 psi dari pompa ke silinder hidrolik.



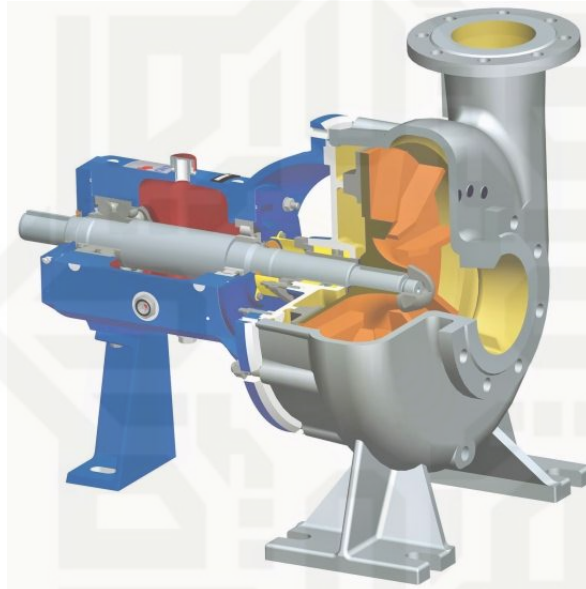
Gambar 2.3 *Double Acting Cylinder* [14]

2.2.3 Pompa Hidrolik

Pompa hidrolik berfungsi sebagai pembangkit tekanan fluida yang digunakan untuk menggerakkan sistem hidrolik itu sendiri. Pompa hidrolik sendiri dari segi pergerakannya terdiri dari dua jenis yaitu jenis sentrifugal (*centrifugal pump*) dan jenis *positive displacement pump*.

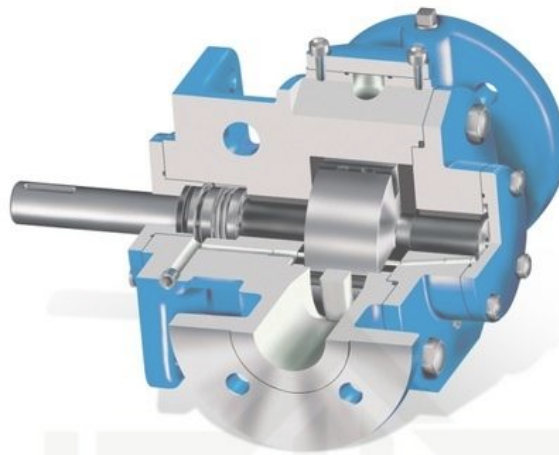
Jenis pompa sentrifugal adalah pompa yang memanfaatkan gaya sentrifugal yaitu gaya yang ditimbulkan dari putaran sebuah benda dengan arah menjauh dari titik

pusat putaran. Contoh dari jenis pompa sentrifugal adalah pompa air. Kelebihan pompa sentrifugal adalah debit fluida yang ditimbulkan besar, namun tidak dapat membangkitkan tekanan yang tinggi. Pompa sentrifugal dari segi aliran fluidanya juga terbagi menjadi dua yaitu *axial flow* dan *radial flow*. Jenis *axial flow* yaitu jenis pompa sentrifugal yang aliran fluidanya searah dengan *shaft*/poros putaran. Sedangkan jenis *radial flow* yaitu jenis pompa yang aliran fluidanya tegak lurus dan menjauh dari *shaft*/poros putaran.



Gambar 2.4 *Centrifugal Pump* [15]

Jenis pompa *positive displacement* adalah pompa yang digerakkan dengan cara naik turun/maju mundur yaitu gerakan lurus bolak-balik. Komponen utama dari pompa jenis ini adalah *plunger* (piston) yang ada dalam sebuah silinder *hollow*. Ketika piston ditarik naik, maka ruangan di dalam silinder akan menjadi kosong dan hampa udara sehingga fluida akan tertarik naik memasuki ruangan kosong tersebut. Pada saat piston ditekan turun, fluida yang ada di dalam ruang silinder tadi akan diteruskan ke selang hidrolis menuju silinder hidrolis. Fluida tadi tidak akan kembali ke tangki ketika pompa ditekan karena ada mekanisme *check valve* yang memungkinkan aliran fluida hanya satu arah saja tanpa bisa mengalir ke arah sebaliknya. Kelebihan pompa jenis ini ialah dapat membangkitkan tekanan tinggi namun debit yang ditimbulkan kecil.



Gambar 2.5 *Positive Displacement Pump* [16]

Adapun penggerak dari pompa tersebut di atas ada yang berjenis penggerak manual, ada juga yang *motorized* (berbasis motor). Dalam penelitian ini, kita menggunakan penggerak motor listrik karena mudah untuk dikendalikan dibandingkan penggerak manual. Penggerak motor listrik juga relatif cepat dalam mengalirkan debit fluida sebelum tekanan fluida naik.

2.2.4 **Valve Hidrolik**

Valve atau katup hidrolik secara umum berfungsi untuk membuka dan menutup aliran fluida yang dihasilkan oleh pompa ke silinder hidrolik. Dari segi prinsip kerjanya, *valve* terdiri dari dua jenis yaitu yang digerakkan oleh tangan manusia atau disebut juga *manual valve* dan yang digerakkan menggunakan tenaga selain tangan manusia seperti *solenoid valve*, *servo valve*, *air valve* dan lain-lain. *Solenoid valve* digerakkan menggunakan tarikan medan magnet yang ditimbulkan oleh sebuah *solenoid* elektromagnet. *Servo valve* digerakkan oleh motor servo, sedangkan *air valve* digerakkan oleh tekanan udara yang berasal dari kompresor.

2.2.5 **Prinsip Kerja Hidrolik**

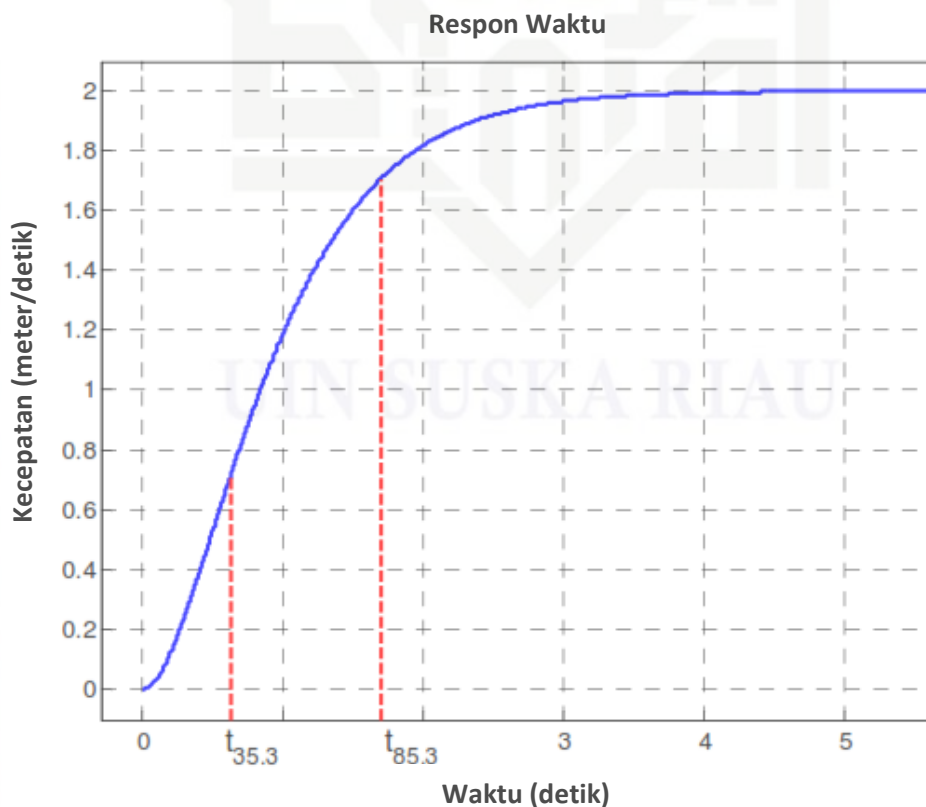
Aliran fluida yang dihasilkan oleh pompa hidrolik kemudian diteruskan ke silinder hidrolik melalui selang hidrolik. *Valve* berfungsi secara spesifik yaitu membuka aliran fluida dari pompa ke silinder sampai batas tertentu kemudian mengunci fluida agar tetap di dalam silinder dan menahan beban. Kemudian pada saat pekerjaan sudah selesai, *valve* membuka jalan agar fluida kembali ke tangki.

2.3 Metode Sundaesan dan Krishnaswamy

Dari sebuah grafik respon kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu yang terdapat pada jurnal penelitian Masruki Kabib dkk. [3] dapat kita menentukan pemodelan matematis orde satu menggunakan metode Sundaesan dan Krishnaswamy sesuai ketentuan pada jurnal penelitian internasional milik Ing. Pavel Jakoubek yang berjudul “*Experimental Identification of Stable Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Method*” [4].

Metode Sundaesan dan Krishnaswamy dipilih sebagai metode untuk menurunkan pemodelan matematis dari grafik orde satu karena metode ini memang berfungsi untuk menurunkan pemodelan matematis dari grafik orde satu jika dibandingkan metode lain yang berfungsi untuk menurunkan grafik orde dua .

Pada metode ini pemodelan matematis diperoleh dari grafik respon kecepatan terhadap waktu yaitu ketika sistem mencapai kecepatan 35,3% dan 85,3% dari *steady-state*.



Gambar 2.6 Grafik Respon Sistem Terhadap Waktu untuk Menentukan $t_{35,3}$ dan $t_{85,3}$

[4]



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

Persamaan dasar dalam menentukan model matematika menggunakan metode Sundaresan dan Krishnaswamy adalah sebagai berikut:

$$G_{SK}(s) = \frac{K}{(\tau_{SK}s+1)} e^{-T_{dSK}s} \tag{2.7}$$

Dengan T_{dSK} adalah *time delay* atau waktu tunda diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_{dSK} = 1,3t_{35,3} - 0,29t_{85,3} \tag{2.8}$$

Dan τ_{SK} diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$\tau_{SK} = 0,67(t_{85,3} - t_{35,3}) \tag{2.9}$$

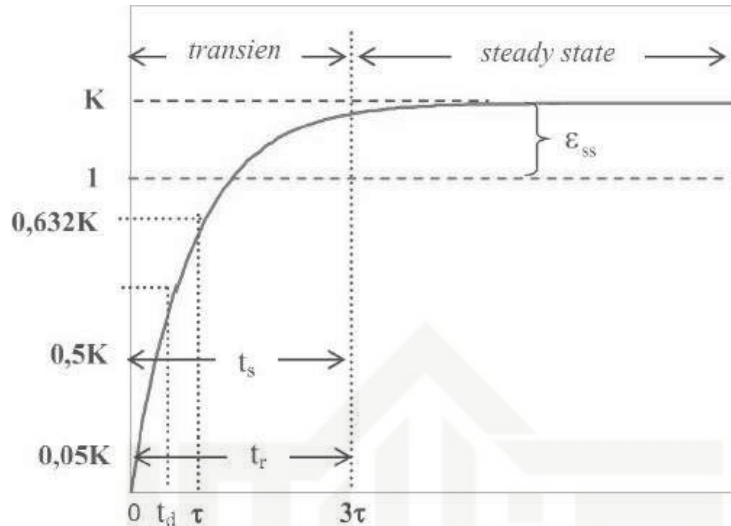
Sedangkan $t_{35,3}$ dan $t_{85,3}$ adalah waktu yang ditempuh ketika respon naik sebesar 35,3% dan 85,3% dari *steady-state*.

Jika perhitungan T_{dSK} menghasilkan angka kurang dari nol, maka *time delay* tidak disertakan dalam persamaan nantinya.

2.4 Identifikasi Sistem Orde Satu

Kecepatan gerak aktuator hidrolik merupakan sistem berorde satu. Oleh sebab itu metode identifikasi yang dilakukan adalah metode identifikasi statis. Metode identifikasi dilakukan dengan pendekatan grafis. Di mana sinyal uji diberikan pada sistem untuk mengetahui respon *open loop* dari sistem. Dari respon sistem dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem.

Salah satu metode identifikasi statis adalah metode pengamatan respon waktu. Identifikasi sistem dengan metode ini bekerja berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan *step*. Karakteristik respon waktu untuk sistem orde satu diberikan berdasarkan respon sistem terhadap masukan sinyal *step*. Karakteristik respon waktu sistem orde satu dibedakan menjadi karakteristik respon transien dan keadaan tunak (*steady state*). Grafik respon sistem orde satu untuk $X_{ss} = 1$ dan $Y_{ss} = K$ ditunjukkan pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 Respon Sistem Orde Satu [19]

Respon transien terdiri dari:

1. Spesifikasi teoritis:

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

2. Spesifikasi praktis:

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

$$t_s(\pm 5\%) = 3\tau \tag{2.10}$$

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

$$\text{nilai pada saat } t_r = (10\% - 90\%) \times \text{output steady state} \tag{2.11}$$

c. Waktu tunda atau *delay time* t_d adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai $t = 0$ sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan tunak



(*output steady state*). Waktu tunda menyatakan besarnya faktor keterlambatan respon akibat proses *sampling*. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ , maka t_d dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{nilai pada saat } t_d = 50\% \times \text{output steady state} \tag{2.12}$$

- d. Karakteristik respon keadaan tunak (*output steady state*) sistem orde satu diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* (e_{ss}).

$$e_{ss} = R_{ss} - C_{ss} \tag{2.13}$$

Dengan R_{ss} dan C_{ss} masing-masing adalah masukan dan keluaran sistem pada keadaan tunak.

2.5 Sistem Kendali

2.5.1 Sistem Kendali Optimal

Istilah optimal mengandung maksud hasil yang baik yang dapat dicapai dengan memperhatikan kondisi dan kendala dari suatu sistem [22]. Dalam sistem kendali optimal, istilah optimal sering kali merujuk pada minimal. Misalnya meminimalkan bahan bakar, waktu dan kesalahan. Pada dasarnya, solusi kendali optimal dititikberatkan pada pencarian nilai sinyal kendali $u(t)$ sehingga secara bersamaan nilai indeks performansi dapat dioptimalisasi. Nilai indeks performansi yang terbaik tidak akan diketahui sampai dengan proses pengendalian selesai. Hal ini tergantung pada kondisi *plant* yang dikendalikan dan spesifikasi indeks performansi yang dioptimalkan [22].

Secara umum perancangan sistem kendali optimal mempunyai dua tujuan (fungsi), yaitu sebagai regulator (menstabilkan sistem dengan variabel/*output* agar tetap kecil) dan sebagai *tracker* atau *servomechanism* yang berfungsi mengontrol sistem agar mengikuti trayektori dan keadaan selalu dalam batas-batas tertentu [23]. Melihat hal tersebut, kendali optimal menggunakan metode *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dapat diterapkan pada kecepatan gerak aktuator hidrolis untuk menyelesaikan masalah *settling time* yang terlalu tinggi yakni 1,5399 detik dan mendapat nilai optimal indeks performansi yang terbaik.



Sistem kendali yang baik adalah sistem kendali yang memiliki daya tanggap yang cepat dan stabil, tetapi tidak memerlukan energi yang berlebihan. Sistem yang demikian dapat dicapai melalui indeks performansi yang tepat. Berdasarkan optimalisasi indeks performansi inilah disebut sebagai sistem kendali optimal [23].

Pada suatu indeks performansi, dipilih sesuai dengan bagian yang akan dioptimalkan. Bentuk umum indeks tersebut adalah sebagai berikut:

$$J = \int_{t_0}^T L(x, u, t) dt \tag{2.14}$$

Di mana

- J : indeks performansi
- $L(x, u, t)$: fungsi dari x, u dan t
- T : waktu

Salah satu metode yang biasa digunakan untuk meminimalkan indeks performansi yaitu persamaan Aljabar Riccati, yang digunakan untuk mengoptimalkan sistem proses yang berbentuk *linear*. Suatu sistem kendali akan optimal pada indeks unjuk kerja yang diberikan, tetapi tidak optimal lagi pada indeks unjuk kerja yang lain [22].

2.5.2 Sistem Kendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

LQR merupakan salah satu sistem kendali dengan kriteria *quadratic* untuk menyelesaikan permasalahan *regulator*. Disebut *linear* karena model dan bentuk kendalinya berupa sistem *linear*. Sedangkan disebut *quadratic* karena memiliki *cost function* yaitu kuadrat dan dikarenakan referensi sistem bukan fungsi waktu, maka disebut *regulator* [17]. Dari hasil linearisasi didapat suatu *plant linear* dalam bentuk:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned} \tag{2.15}$$

Di mana,

- A : matriks sistem
- B : matriks *input*
- C : matriks *output*
- \dot{x} : *state* sistem



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

u : state input
 y : state output

Pada perancangan pengendali LQR, terlebih dahulu menentukan matriks Q dan R yang selanjutnya digunakan untuk menentukan indeks performansi sistem. Harga matriks Q dan R ditentukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan dengan menggunakan indeks performansi [17].

$$J(t_0) = \frac{1}{2}S(T)x^2(T) + \frac{1}{2}\int_{t_0}^T(Qx^2 + Ru^2) \tag{2.16}$$

Dengan syarat:

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

Di mana,

- t_0 : waktu awal
- T : waktu akhir
- x : matriks *state* akhir
- Q : matriks semi definit positif
- R : matriks definit positif
- S : matrik semi definit positif

Sehingga diperoleh persamaan Hamilton

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

$$H(x, u, \lambda, t) = \frac{1}{2}(x^T Qx + u^T Ru) + \lambda^T (Ax + Bu) \tag{2.17}$$

Dari fungsi Hamilton tersebut diperoleh syarat perlu dan syarat batas sebagai berikut:

I. Syarat Perlu

a. Persamaan *State*

$$\dot{x} = \left(\frac{\partial x}{\partial x}\right)^T Qx + \left(\frac{\partial Qx}{\partial x}\right)^T u = Ax + Bu \tag{2.18}$$

b. Persamaan *Costate*



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.

$$\begin{aligned}
 -\lambda &= \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Qx + \left(\frac{\partial Qx}{\partial x} \right)^T x + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^T Ru + \left(\frac{\partial Ru}{\partial x} \right)^T u \right] + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial x} \right)^T (Ax + Bu) + \left(\frac{\partial (Ax+Bu)}{\partial x} \right)^T \lambda \\
 -\lambda &= Qx + A^T \lambda
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

c. Kondisi Stasioner

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial H}{\partial u} &= 0 \\
 \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Qx + \left(\frac{\partial Qx}{\partial x} \right)^T x + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^T Ru + \left(\frac{\partial Ru}{\partial x} \right)^T u \right] + \left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T (Ax + Bu) + \left(\frac{\partial (Ax+Bu)}{\partial x} \right)^T \lambda &= 0 \\
 Ru + B^T \lambda &= 0 \\
 u &= -R^{-1} B^T \lambda
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

2. Syarat Batas

a. Batas Awal

$$t = 0 \quad x(0) = 0 \tag{2.21}$$

b. Batas Akhir

$$(\phi_x + \Psi^T_x v - \lambda)^T dx|_T + (\phi_t + \Psi^T_t v - H) dt|_{t=T} = 0 \tag{2.22}$$

Karena $\Psi = 0$ dan $\phi(T) = \frac{1}{2} x^T(T) S(T) x(T)$

$$\phi_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} = S(T) x(T) \tag{2.23}$$

Sehingga diperoleh persamaan

$$\begin{aligned}
 (S(T)x(T) + V \cdot 0 - \lambda)^T dt|_{t=T} &= 0 \\
 S(t)x(t) &= \lambda(t)
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

Dari persamaan *costate* dan persamaan 2.17, keduanya mengandung variabel λ . Bila keduanya disubstitusikan maka akan menghasilkan persamaan:



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.

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

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

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

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

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

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

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

$$-\dot{S} = A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q \tag{2.25}$$

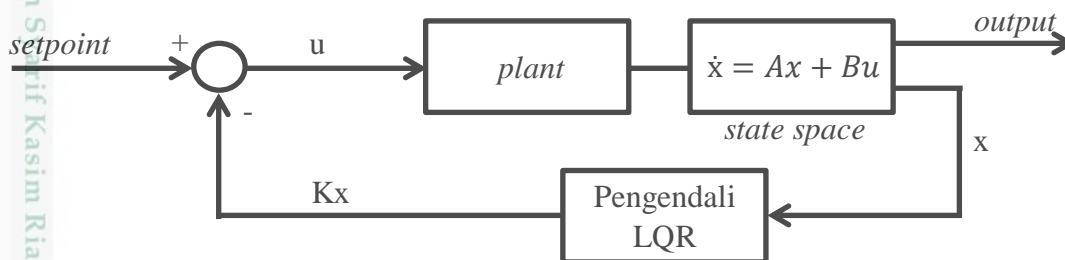
Persamaan 2.20 disebut persamaan differensial Riccati. Untuk $\dot{S} = 0$ persamaannya disebut *Algebraic Riccati Equation* (ARE) [17]. Dengan didaptkannya matriks S dari persamaan ARE ini sehingga persamaan sinyal kendali pun dapat dihitung:

$$u = -R^{-1}B^T\lambda = -R^{-1}B^T Sx = -Kx \tag{2.26}$$

Maka konstanta umpan balik keadaan K dapat dicari sebelum menghasilkan sinyal kendali pada persamaan 2.27 [16].

$$K = R^{-1}B^T S \tag{2.27}$$

Di mana nilai S adalah unik, solusi semi definitif positif untuk persamaan ARE harus memenuhi persamaan 2.24. Selanjutnya dalam perancangan kendali LQR setelah nilai S diketahui, maka nilai S tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan 2.26 sehingga didapat nilai matriks optimal K. K adalah nilai *Gain State Feedback*, sehingga sistem kendali LQR hasil desain dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Sistem Kendali dengan Skema Kendali LQR [18]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

1. Ubah bentuk *transfer function plant* nonlinear menjadi *state space* dan dapatkan matriks A, B, C dan D dari *plant* tersebut.
2. Tentukan matriks pembobot Q dan R.
3. Selesaikan persamaan aljabar riccati sampai mendapatkan matriks S yang definit positif.
4. Hitunglah optimal *gain feedback* K.

Permasalahan yang umum dijumpai dalam bidang kendali yaitu tidak hanya menstabilkan sistem, tetapi juga menentukan bagaimana *output* sistem mengikuti perubahan *setpoint* atau referensi yang ditentukan [19]. Dalam hal itu jika diinginkan *output plant* (Y) sama dengan *input* referensi maka perlu dirancang sistemnya menggunakan *nonzero setpoint/tracking*. Bentuk umum sinyal kendali *nonzero setpoint/tracking* ini adalah:

$$u = -Kx + Lr \quad (2.28)$$

Di mana

$$L = [C(BK - A)^{-1}B]^{-1} \quad (2.29)$$

2.5.3 Kendali *Proportional* dan *Derivative* (PD) [20]

Kendali PD terdiri atas perpaduan dasar beberapa pengendali yaitu *proportional* dan *derivative*. PD merupakan jenis sistem kendali yang sering digunakan dalam dunia industri. Pengendali ini dapat digunakan secara terpisah maupun digabungkan sekaligus ketiganya.

Kendali *proportional* (P) dapat digunakan untuk mempercepat respon sistem. Kendali *integral* (I) tidak digunakan dalam penelitian ini karena kendali ini berfungsi untuk mengurangi *error steady state* dari *output* sistem sedangkan respon *open loop* dari sistem ini menunjukkan tidak ada *error steady state*. Sedangkan kendali *derivative* (D) difungsikan untuk meredam osilasi. Diharapkan dengan penggabungan ketiga jenis kendali tersebut akan menghasilkan respon yang bagus.

Tuning atau penalaan parameter P dan D merupakan hal yang penting dalam desain pengendali PD. Untuk itu perlu dilakukan *tuning* atau penalaan terhadap

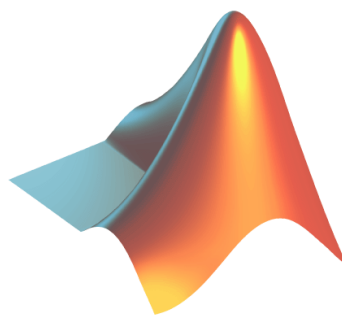
parameter tersebut. Pengaruh *tuning* parameter PD terhadap unjuk kerja proses ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Pengaruh Penalaan Parameter K_p dan K_d [19]

Respon <i>close loop</i>	waktu naik	<i>overshoot</i>	waktu turun	kestabilan
Pembesaran K_p	berkurang	bertambah	sedikit bertambah	menurun
Pembesaran K_d	sedikit berkurang	berkurang	berkurang	meningkat

2.6 Perangkat Lunak Matlab (*Matrix Laboratory*)

Matlab adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan matriks [25]. Matlab pertama kali dikenalkan oleh *University of New Mexico* dan *University of Stanford* pada tahun 1970. Perangkat lunak ini pertama kali digunakan adalah untuk analisis numerik, aljabar *linear* dan teori tentang matriks. Sejak saat itu Matlab berkembang menjadi sebuah sistem yang interaktif sekaligus sebagai bahasa pemrograman untuk tujuan-tujuan ilmiah, komputasi teknis dan visualisasi. Elemen data dasar Matlab adalah matriks. Instruksi-instruksi direpresentasikan dalam bentuk yang sangat mirip dengan bentuk yang digunakan dalam matematika dan dalam bidang teknik. Contoh, persamaan $b = Ax$, dengan A , b dan x matriks, ditulis : $b = A * x$. Untuk mendapat solusi x dari A dan b , tulis : $x = A \setminus b$. Tidak diperlukan penulisan program khusus untuk operasi-operasi matriks seperti perkalian matriks atau *invers* matriks. Oleh karena itu bahasa Matlab dalam menyelesaikan masalah tersebut memerlukan waktu lebih cepat dibandingkan waktu yang dibutuhkan oleh bahasa pemrograman tingkat tinggi lain.



Gambar 2.9 Ikon *Desktop* Matlab [21]



Pada pertengahan tahun 1970, Cleve Moler dan beberapa rekan yang tergabung dalam suatu tim pengembang perangkat lunak yang dibiayai oleh *The National Science Foundation* untuk tujuan membuat subrutin-subrutin dalam pustaka Fortran yang dinamai Linpack dan Eispack. Linpack berisi koleksi subrutin untuk penyelesaian persamaan *linear*, sementara Eispack adalah koleksi subrutin untuk penyelesaian masalah nilai pribadi (*eigen value*). Baik Linpack maupun Eispack pada prinsipnya merupakan program untuk komputasi matriks.

Pada penghujung tahun 1970. Cleve ingin mengajarkan kepada mahasiswa materi aljabar *linear* di *University of New Mexico* menggunakan Linpack dan Eispack tanpa harus menulis rutin-rutin program dalam bahasa Fortran. Berdasarkan keinginan tersebut, Cleve mulai menulis program untuk memberikan kemudahan akses interaktif pada Linpack dan Eispack. Cleve menamai programnya dengan Matlab (*Matrix Laboratory*). Beberapa tahun kemudian ketika Cleve berkunjung ke universitas lain sebagai pembicara atau *visiting professor*, Cleve meninggalkan duplikasi Matlabnya pada komputer di universitas tersebut. Hanya dalam waktu satu atau dua tahun, Matlab versi pertama ini telah menjadi bahan pembicaraan orang, terutama yang berada dalam komunitas matematika terapan.

Dari hasil kunjungan Cleve di *University of Stanford* pada awal tahun 1983, John Little yang merupakan seorang *engineer* ini menampilkan Matlab dengan memperkenalkan penggunaan Matlab yang potensial dalam bidang keteknikan. Oleh karena itu dalam tahun 1983, Little, Moler dan Steve Bangert membentuk tim untuk mengembangkan Matlab generasi kedua. Matlab generasi kedua ini dibuat menggunakan bahasa C dan terintegrasi dengan grafik. *The Mathworks, Inc.* didirikan tahun 1984 untuk memasarkan dan melanjutkan pengembangan Matlab.

Kegunaan Matlab:

1. Adanya *tool box* yang disebut MuPAD, memungkinkan akses terhadap kemampuan aljabar computer.
2. Komputasi matematika dan komputasi teknik.
3. Analisis data.
4. Simulasi dan pemodelan.
5. Grafik-grafik perhitungan.
6. Manipulasi matriks.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

7. Pem-plot-an fungsi dan data.
8. Implementasi algoritma.
9. Pembuatan antarmuka pengguna/*interface* (visualisasi).
10. Peng-antarmuka-an dengan program dalam bahasa lainnya.

Fungsi-fungsi yang digunakan pada Matlab.

1. Fungsi matematika.
2. Fungsi fisika.
3. Fungsi statistik.
4. Fungsi visualisasi.

Sebagai sebuah sistem, Matlab tersusun dari lima bagian utama:

1. *Development environment*.

Merupakan sekumpulan perangkat dan fasilitas yang membantu pengguna untuk menggunakan fungsi-fungsi dan *file-file* Matlab. Beberapa perangkat ini merupakan sebuah *graphical user interfaces* (GUI). Termasuk di dalamnya adalah Matlab *desktop* dan *command window*, *command history*, sebuah *editor* dan *debugger* dan *browser* untuk melihat *help*, *workspace files* dan *research path*.

2. Matlab *Mathematical Function Library*

Merupakan sekumpulan algoritma komputasi mulai dari fungsi-fungsi dasar seperti *sum*, *sin*, *cos* dan *complex arithmetic*, sampai dengan fungsi-fungsi yang lebih kompleks seperti *matrix inverse*, *matrix eigenvalues*, *Bessel function* dan *fast Fourier transforms*.

3. Matlab *Language*

Merupakan suatu *high-level matrix/array language* dengan *control flow statement*, *functions*, *data structures*, *input/output*, dan fitur-fitur *object oriented programming*. Hal ini memungkinkan bagi kita untuk melakukan kedua hal baik “pemrograman dalam lingkup sederhana” untuk mendapatkan hasil yang cepat, dan juga “pemrograman dalam lingkup yang lebih besar” untuk memperoleh hasil-hasil dan aplikasi yang kompleks.

4. *Graphics*

Matlab memiliki fasilitas untuk menampilkan *vector* dan *matrix* sebagai suatu grafik. Di dalamnya melibatkan *high-level functions* (fungsi-fungsi level tinggi)



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

untuk visualisasi data dua dimensi dan data tiga dimensi, *image processing*, *animation* dan *presentation graphics*. Ini juga melibatkan fungsi level rendah yang memungkinkan bagi pengguna untuk membiasakan diri memunculkan grafik mulai dari bentuk yang sederhana sampai dalam tingkatan *graphical use interfaces* pada Matlab.

5. Matlab *Application Program Interface* (API)

Merupakan suatu *library* yang memungkinkan program yang telah ditulis dalam bahasa C dan Fortran mampu berinteraksi dengan Matlab. Ini melibatkan fasilitas untuk pemanggilan *routines* dari Matlab (*dynamic linking*), pemanggilan Matlab sebagai sebuah *computational engine*, dan untuk membaca serta menuliskan *Mat-files*. Kehadiran Matlab memberikan jawaban sekaligus tantangan. Di sini kita bisa memilih apa saja yang ingin kita pelajari, mempelajari metode visualisasi saja, pemrograman saja atau keduanya. Intinya Matlab memang dihadirkan bagi mereka yang tidak ingin disibukkan dengan rumitnya sintak dan alur logika pemrograman. Sementara pada saat yang sama membutuhkan hasil komputasi dan visualisasi yang maksimal untuk mendukung pekerjaannya. Selain itu Matlab juga memberikan keuntungan bagi *programmer* dan *developer program* yaitu menjadi program pembanding yang sangat handal. Hal tersebut karena kekayaannya akan fungsi matematika, fisika, statistik dan visualisasi.

2.7 Kriteria Integral Menggunakan IAE (*Integral of Absolute Error*)

Kriteria integrasi membutuhkan data tanggapan mulai dari $t = 0$ hingga mencapai keadaan tunak. Dengan demikian kriteria ini didasarkan pada seluruh tanggapan dari proses yang bersangkutan. Kriteria integral yang digunakan pada penelitian ini adalah kriteria IAE (*Integral of Absolute Error*) yang bertujuan untuk mendapatkan nilai IAE sekecil mungkin dengan pemilihan kriteria tergantung pada karakteristik sistem proses dan beberapa syarat tambahan yang diperoleh dari tanggapan *close loop*. Kriteria IAE lebih dipopuler di kalangan praktisi industri sebab mudah dalam pemakaiannya serta sangat cocok untuk menekan *error* yang kecil.

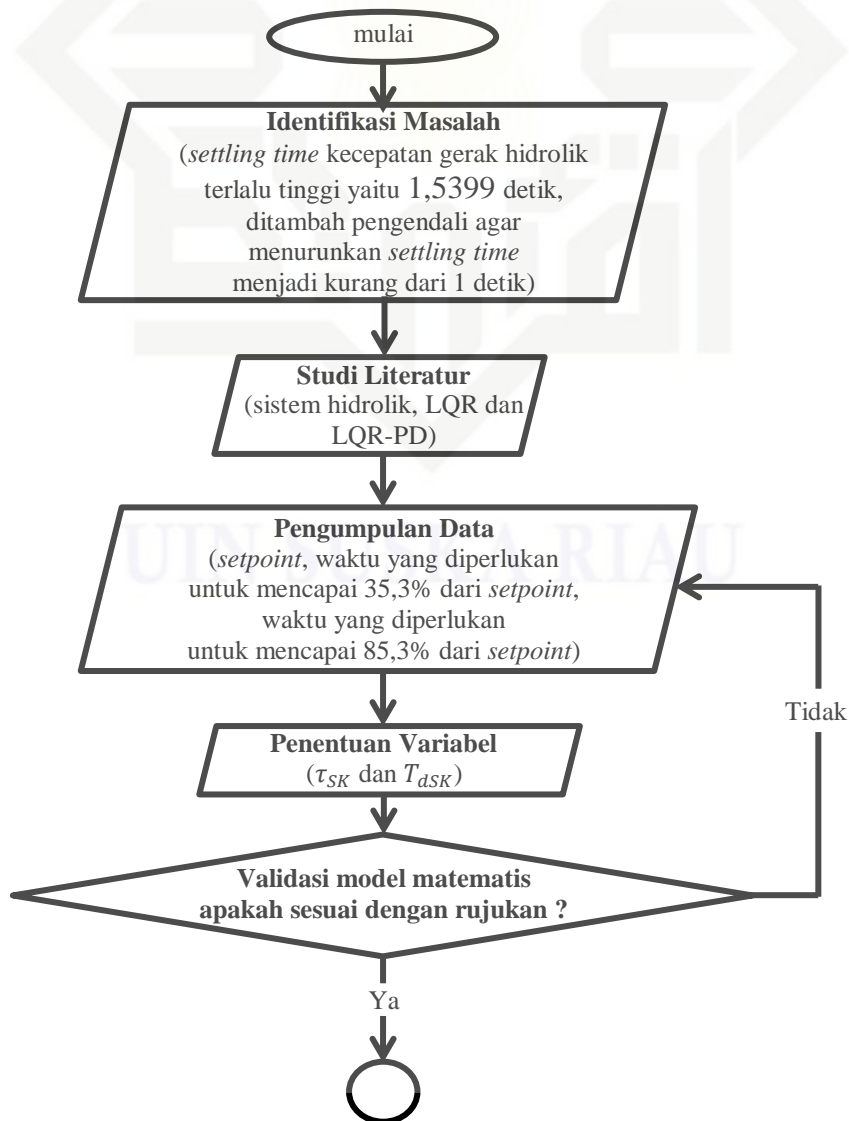
$$IAE = \int_0^{\infty} |e| dt \tag{2.30}$$

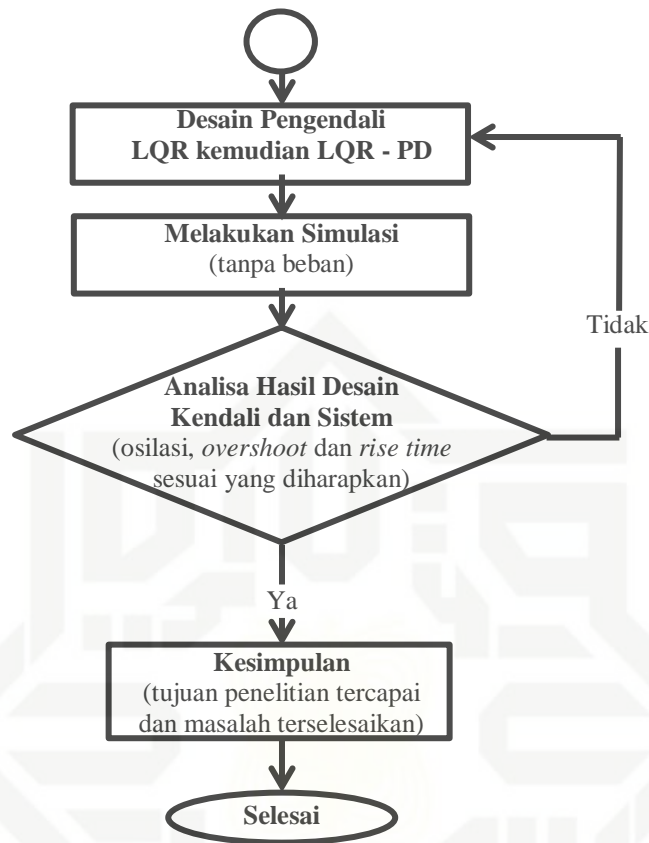
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilaksanakan pada tugas akhir ini adalah penelitian kualitatif. Yaitu bertujuan untuk merancang pengendali LQR-PD untuk mengendalikan kecepatan gerak aktuator hidrolik *punch* pada proses *deep drawing*. Perancangan pengendali LQR-PD ini diharapkan mampu mengurangi *settling time* kecepatan gerak aktuator hidrolik yang sebelumnya 1,5399 detik menjadi kurang dari 1 detik. Sistem ini akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak Matlab.

3.2 Alur Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.3 Tahapan Penelitian

1. Identifikasi Masalah

Masalah yang dikemukakan pada penelitian ini adalah *settling time* kecepatan gerak hidrolik yang terlalu tinggi yakni 1,5399 detik sehingga mempengaruhi kuantitas hasil produksi, oleh karena itu dibutuhkan pengendali yang dapat mengurangi *settling time* dari semula 1,5399 detik menjadi kurang dari 1 detik. *Linear Quadratic Regulator* (LQR) merupakan salah satu pengendali optimal yang dikenal dapat memberikan kestabilan terhadap sistem yang tidak stabil. Sedangkan pengendali *Proportional Derivatif* (PD) dapat mempercepat sistem dalam mencapai *setpoint* karena mengandung konstanta proporsional yang membuat *rise time* menjadi lebih cepat. Dari uraian di atas, rumusan masalah yang dapat dibuat adalah bagaimana mendapatkan kestabilan serta respon waktu yang cepat dalam mengendalikan kecepatan gerak aktuator hidrolik dari kecepatan 0 meter/detik sampai pada kecepatan 0,15 meter/detik dengan *settling time* kurang dari 1 detik menggunakan kendali optimal LQR-PD.

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

2. Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini berasal dari jurnal-jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional, penelitian dan tugas akhir yang sudah dilakukan oleh berbagai kalangan yang mengandung pembahasan mengenai *plant* hidrolis, pengendali LQR serta PD.

3. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah nilai *steady state*, nilai $t_{35,3}$ yaitu waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai nilai 35,3% dari *steady state* dan nilai $t_{85,3}$ yaitu waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai nilai 85,3% dari *steady state*.

4. Penentuan Variabel

Penentuan variabel ini bertujuan untuk menurunkan pemodelan matematika dari grafik kecepatan menggunakan metode Sundaresan dan Krishnaswamy. Variabel-variabel yang diperlukan di antaranya adalah T_{dSK} yaitu *time delay* dan τ_{SK} yang diperoleh dari $t_{35,3}$ dan $t_{85,3}$.

5. Validasi Model Matematis

Setelah mendapatkan model matematis dari kecepatan gerak aktuator hidrolis tersebut di atas, selanjutnya disimulasikan menggunakan perangkat lunak Matlab. Kemudian hasil grafik yang ditunjukkan pada Matlab dibandingkan dengan grafik yang ada pada rujukan studi literatur. Jika sesuai grafik hasil simulasi dan rujukan, maka penelitian dilanjutkan ke tahap berikutnya. Jika belum berhasil, maka kembali ke tahap pengumpulan data.

6. Desain Pengendali LQR-PD

Desain pengendali dilakukan mula-mula dengan merancang pengendali LQR, kemudian merancang pengendali PD lalu merancang pengendali LQR dengan ditambahkan pengendali PD.

7. Melakukan Simulasi

Setelah didapat kombinasi pengendali LQR-PD, selanjutnya dilakukan simulasi hasil model matematis yang sudah ditambahkan pengendali LQR-PD tersebut.

8. Analisis Hasil Desain Pengendali dan Sistem

Analisa sistem dilakukan dengan melihat *settling time* kecepatan apakah sudah didapat *settling time* sesuai yang diinginkan yaitu 1 detik atau kurang. Jika



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.

belum maka kembali ke tahap desain pengendali, jika sudah maka penelitian dianggap berhasil.

9. Kesimpulan

Setelah semua tahap dilakukan, dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian bahwa kendali optimal LQR-PD dapat menyelesaikan masalah *settling time* yang terlalu tinggi pada sistem.

10. Selesai

Penelitian selesai dan tahap selanjutnya atau tahap terakhir adalah menulis laporan hasil penelitian tugas akhir.

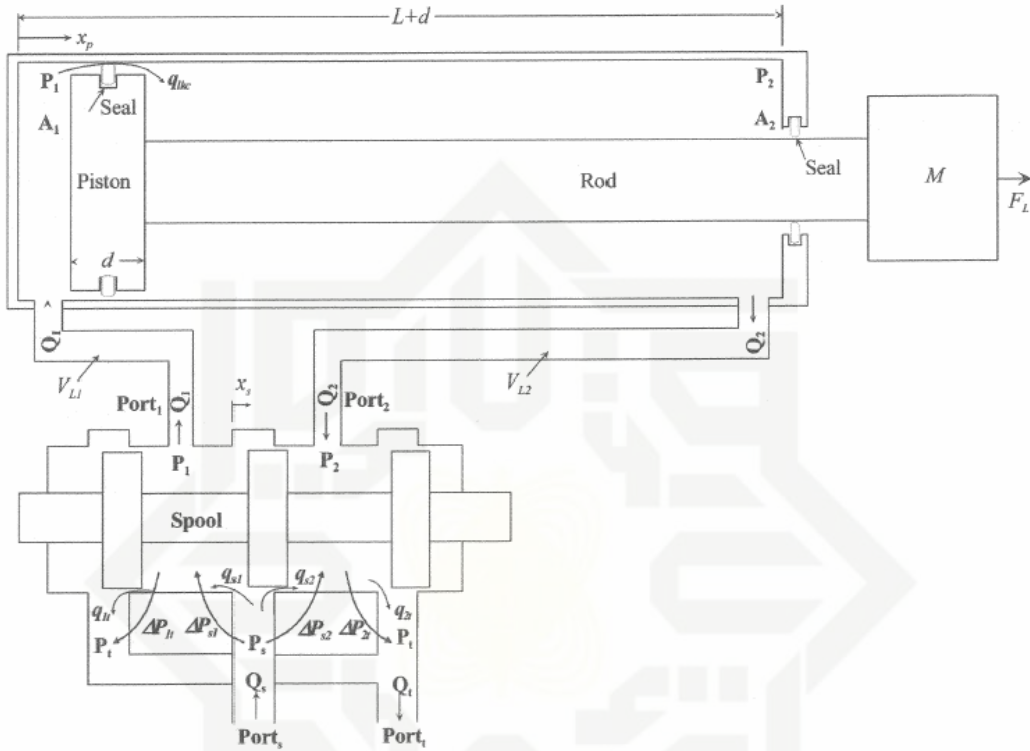
3.4 Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data model matematis dari kecepatan gerak aktuator terhadap waktu dari sistem hidrolik, maka dilakukan dengan cara *experimental* menggunakan metode Sundaresan dan Krishnaswamy seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.3. Dengan metode Sundaresan dan Krishnaswamy ini juga harus ditentukan $t_{35,3}$ dan $t_{85,3}$. Di mana $t_{35,3}$ adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan 35,3 % dari *steady state* sedangkan $t_{85,3}$ adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan 85,3% dari *steady state*. Variabel lain yang harus ditentukan adalah τ_{SK} dan T_{dSK} . Dalam hal ini $t_{35,3}$, $t_{85,3}$, τ_{SK} dan T_{dSK} adalah variabel untuk mendapatkan model matematis kecepatan gerak hidrolik terhadap waktu.

3.5 Model Matematis Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik

Adapun grafik kecepatan terhadap waktu pada mesin pres untuk proses *deep drawing* didapatkan dari jurnal penelitian berjudul “Analisa Pemodelan dan Simulasi Gerak Aktuator *Punch* pada Mesin Pres untuk Proses *Deep Drawing*”. [2]. Dalam jurnal tersebut ada dua parameter yang dapat diteliti yaitu parameter gaya (*punch force*) aktuator hidrolik dan parameter kecepatan gerak aktuator hidrolik. Seperti yang dijelaskan pada sub bab 1.1. Dalam tugas akhir ini hanya akan membahas parameter kecepatan gerak aktuator dengan *settling time* yang masih dianggap terlalu tinggi yakni 1,5399 detik. Pemodelan matematis kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu tidak ditampilkan dalam jurnal tersebut. Di dalamnya hanya menampilkan grafik respon kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu. Sehingga perlu dilakukan penurunan

model matematis dari grafik tersebut menggunakan metode identifikasi Sundaresan dan Krihnaswamy.



Gambar 3.2 Diagram Solenoid Valve dan Aktuator Hidrolik [3]

Hasil pemodelan aliran fluida yang masuk ke aktuator hidrolik diperoleh persamaan *state variable* kapasitas fluida yang masuk ke aktuator hidrolik ditunjukkan oleh persamaan 3.1 di bawah ini:

$$Q_1 = q_{lkc}(P_1 - P_2) + A_1 V_p + \frac{V_{L1} + A_1 X_p dP_1}{\beta_{e1}(P_1) dt} \quad (3.1)$$

Di mana Q_1 adalah kapasitas fluida yang masuk ke aktuator hidrolik, q_{lkc} adalah kapasitas fluida yang masuk ke sisi kanan torak, P_1 adalah tekanan pada sisi masuk, P_2 adalah tekanan pada sisi keluar, A_1 adalah luas permukaan torak, V_p adalah kecepatan torak, V_{L1} adalah volume fluida pada sisi masuk, X_p adalah panjang langkah torak dan β_{e1} adalah modulus bulk.

Sedangkan persamaan *state variable* kapasitas fluida yang keluar dari aktuator hidrolik ditunjukkan oleh persamaan 3.2 berikut:



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

$$Q_2 = -q_{lkc}(P_1 - P_2) + A_2V_p + \frac{V_{L2} + A_2(L - X_p)dP_2}{\beta_{e2}(P_2)dt} \tag{3.2}$$

Di mana Q_2 adalah kapasitas fluida yang keluar dari aktuator hidrolik, q_{lkc} adalah kapasitas fluida yang masuk ke sisi kanan torak, P_1 adalah tekanan pada sisi masuk, P_2 adalah tekanan pada sisi keluar, A_2 adalah luas permukaan torak sisi kanan, V_p adalah kecepatan torak, V_{L1} adalah volume fluida pada sisi keluar, X_p adalah panjang langkah torak, L adalah panjang silinder dan β_{e2} adalah modulus bulk.

Dari persamaan 3.1 dan 3.2 diperoleh persamaan 3.3 sebagai berikut:

$$Q_1 + Q_2 - 2q_{lkc}(P_1 - P_2) = AV_p + \frac{V}{\beta_{e2}} \left[\frac{dP_1}{dt} - \frac{dP_2}{dt} \right] \tag{3.3}$$

Dengan

$$Q = \frac{Q_1 - Q_2}{2} \tag{3.4}$$

Dan

$$P = P_1 + P_2 \tag{3.5}$$

Maka dari persamaan 3.3 menjadi persamaan 3.6 di bawah ini:

$$Q = q_{lkc}P + AV_p + \frac{V}{2\beta_e} \frac{dP}{dt} \tag{3.6}$$

Pada *valve*, besarnya kapasitas fluida yang mengalir dipengaruhi oleh bukaan *valve* dan perbedaan tekanan, sehingga dengan persamaan 3.7 di bawah ini:

$$Q = K_qy - K_cP \tag{3.7}$$

Diperoleh persamaan 3.8 sebagai berikut:

$$K_qy - K_cP = q_{lkc}P + AV_p + \frac{V}{2\beta_e} \frac{dP}{dt} \tag{3.8}$$

Dari persamaan 3.8 di atas kemudian didiferensialkan diperoleh persamaan orde satu sebagaimana persamaan 3.9 di bawah ini:



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

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

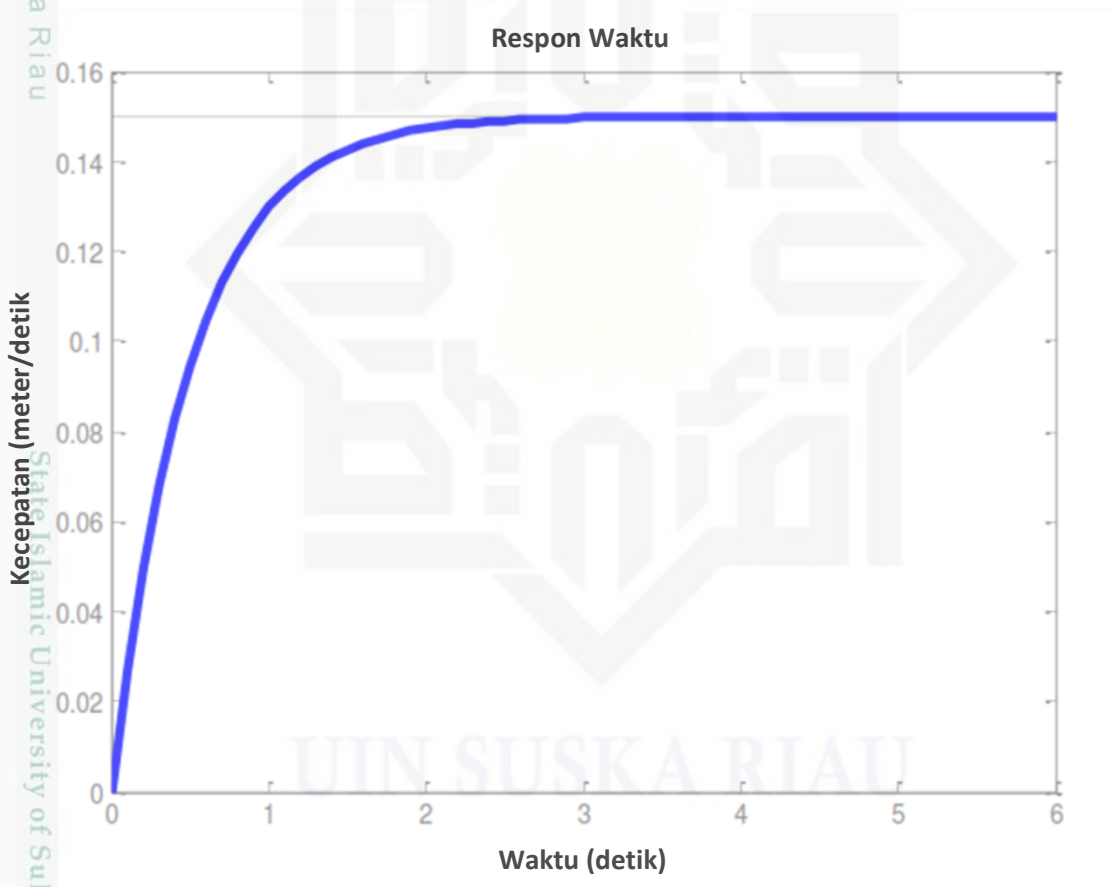
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\frac{v}{2\beta_e} \dot{P} + CP = K_q y - A\dot{X} \tag{3.9}$$

Di mana:

$$C = q_{lkc} + K_c \tag{3.10}$$

Dari hasil simulasi persamaan orde satu diperoleh grafik respon kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu sebagaimana gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Respon Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Terhadap Waktu [3]

Menentukan model matematis dari grafik kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu di atas menggunakan metode Sundaresan dan Krishnaswamy dengan cara sebagai berikut:

Tentukan $t_{35,3}$ dan $t_{85,3}$

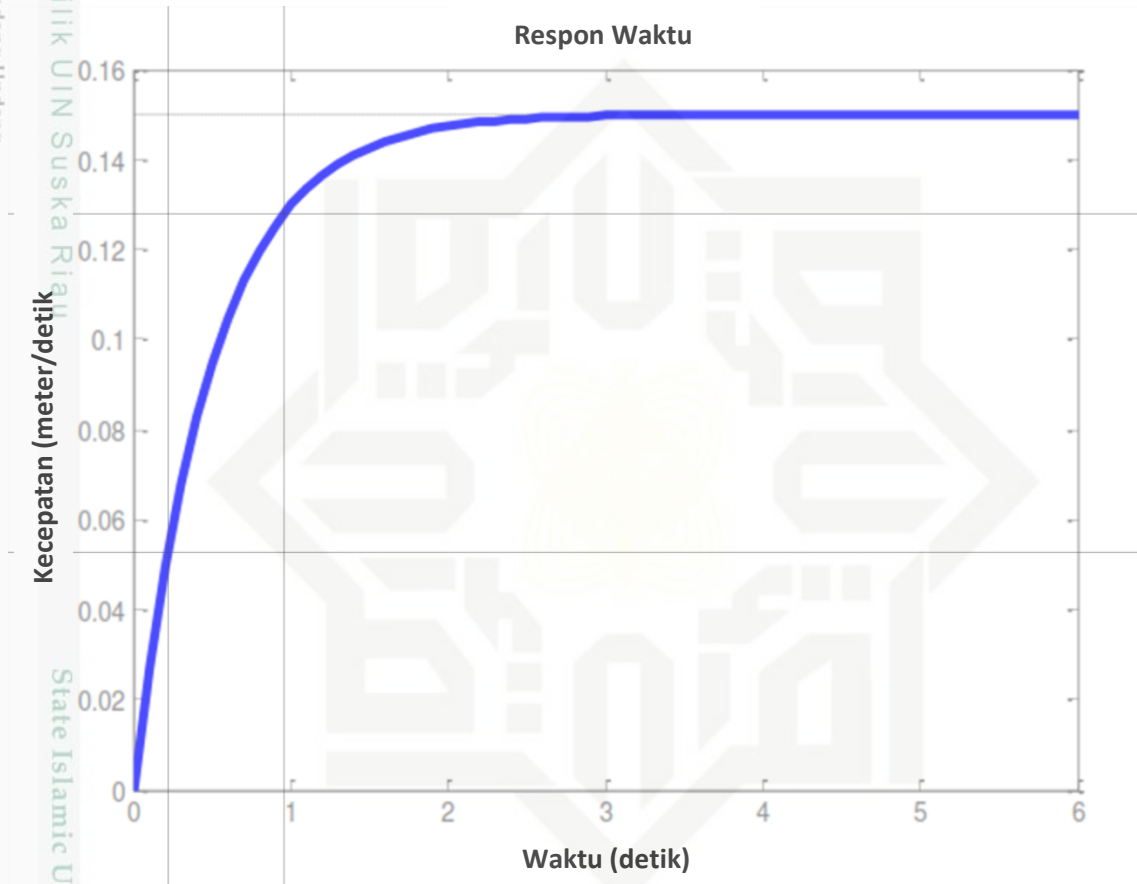
$t_{35,3}$ adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan 35,3 % dari *steady state*



$t_{85,3}$ adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan 85,3% dari *steady state*
 Tentukan terlebih dahulu 35,5% dan 85,3% dari *steady state* grafik:

$$0,15 \text{ meter/detik} \times 35,3\% = 0,053 \text{ meter/detik}$$

$$0,15 \text{ meter/detik} \times 85,3\% = 0,128 \text{ meter/detik}$$



Gambar 3.4 Cara Menentukan $t_{35,3}$ dan $t_{85,3}$

Setelah melihat grafik di atas, maka dapat ditentukan bahwa:

$$t_{35,3} = 0,217 \text{ detik}$$

$$t_{85,3} = 0,954 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan metode Sundaresan dan Krishnaswamy dapat ditentukan persamaan matematis dari grafik di atas sebagai berikut:

$$G_{SK}(s) = \frac{1}{\tau_{SK}s + 1} e^{-T_{dSK}s} \tag{3.11}$$

Di mana



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.

$$\begin{aligned}
 T_{dSK^s} &= 1,3t_{35,3} - 0,29t_{85,3} \\
 &= (1,3 \times 0,217) - (0,29 \times 0,954) \\
 &= 0,2821 - 0,2766 \\
 &= 0,0055
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

Dan

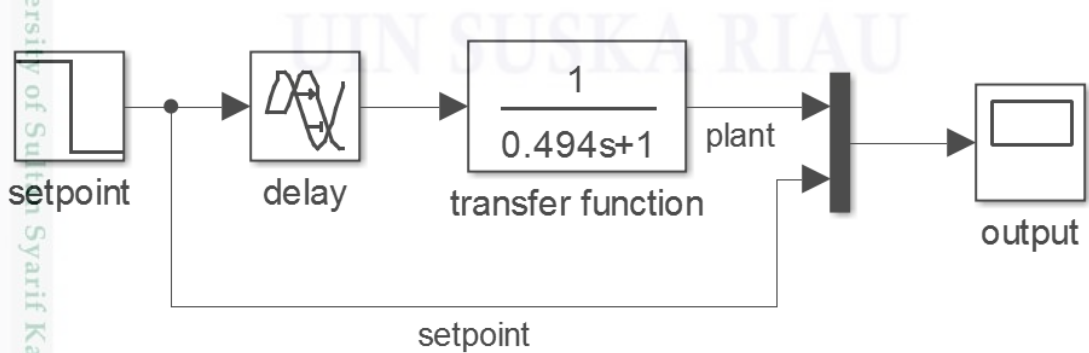
$$\begin{aligned}
 \tau_{SK} &= 0,67(t_{85,3} - t_{35,3}) \\
 &= 0,67(0,954 - 0,217) \\
 &= 0,67 \times 0,737 \\
 &= 0,494
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

Substitusikan persamaan 3.13 dan 3.12 ke persamaan 3.11 sehingga hasilnya sebagai berikut:

$$G_{SK}(s) = \frac{1}{0,494s + 1} e^{-0,0055s}
 \tag{3.14}$$

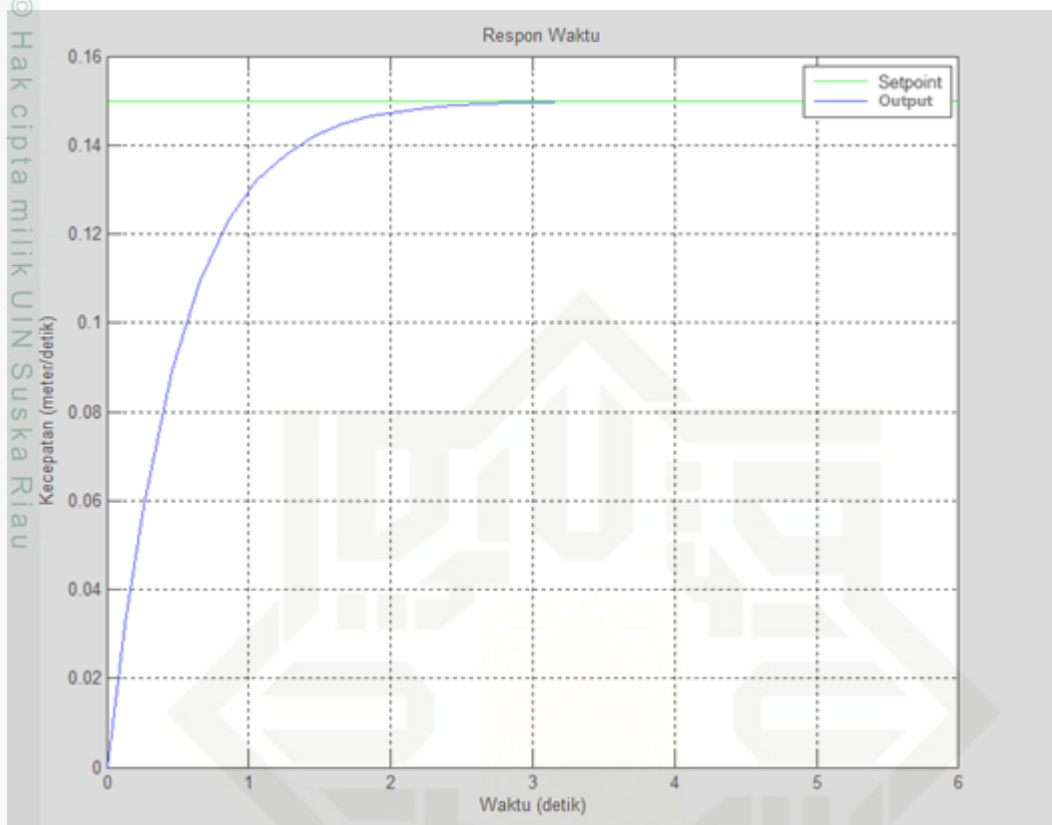
3.6 Validasi Model Matematis

Untuk melakukan validasi model matematis seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.14, maka dilakukan simulasi model matematis pada Matlab R2013a menggunakan blok *Simulink* dan melihat grafik yang dihasilkan kemudian membandingkannya dengan grafik pada gambar 3.3.



Gambar 3.5 Blok *Simulink* *Open Loop* Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik

Maka didapat grafik pemodelan matematis kecepatan gerak aktuator hidrolik terhadap waktu seperti terlihat pada gambar 3.6 berikut:



Gambar 3.6 Hasil Simulasi Menggunakan Metode Sundaesan dan Krishnaswamy

Sedangkan grafik pemodelan matematis kecepatan gerak aktuator hidrolik yang telah diperoleh dari studi literatur hasil rujukan ditunjukkan pada gambar 3.3 di atas.

3.7 Perancangan Pengendali

3.7.1 Perancangan Pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

Untuk keperluan perancangan kendali LQR, *transfer function* pada persamaan 3.14 di atas perlu diubah ke dalam bentuk *state space* sebagai berikut:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{0,494s+1} \tag{3.15}$$

Menjadi

$$U(s) = 0,494sY(s) + Y(s)$$

$$u = 0,494 \frac{dy}{dt} + y$$



$$\begin{aligned} u &= 0,494\dot{y} + y \\ 0,494\dot{y} &= -y + u \end{aligned} \tag{3.16}$$

Didiferensialkan menjadi

$$\begin{aligned} \dot{y} &= -\frac{1}{0,494}y + \frac{1}{0,494}u \\ x_1 &\equiv y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y} \\ &= \frac{1}{0,494}u - \frac{1}{0,494}x_1 \\ \dot{x} &\equiv \begin{bmatrix} -\frac{1}{0,494} \\ \frac{1}{0,494} \end{bmatrix} [x_1] + \begin{bmatrix} \frac{1}{0,494} \\ 0 \end{bmatrix} u \\ y &\equiv [1][x_1] \end{aligned} \tag{3.17}$$

Didapatkan solusi persamaan keadaan

$$\dot{x} = [-2,02][x_1] + [2,02]u \tag{3.18}$$

Dengan persamaan keluaran

$$\begin{aligned} y &= cx \\ y &\equiv [1][x_1] \end{aligned} \tag{3.19}$$

Dari kedua persamaan keadaan yaitu persamaan 3.18 dan persamaan 3.19 dapat ditentukan nilai matriks *state space* A, B, C dan D sebagai berikut:

$$A = [-2,02] \tag{3.20}$$

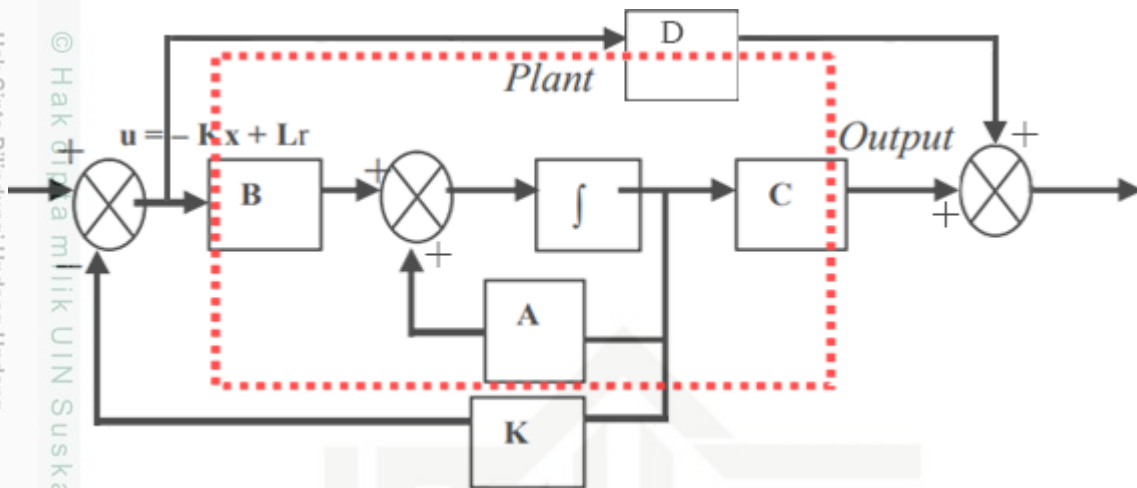
$$B = [2,02] \tag{3.21}$$

$$C = [1] \tag{3.22}$$

$$D = [0] \tag{3.23}$$

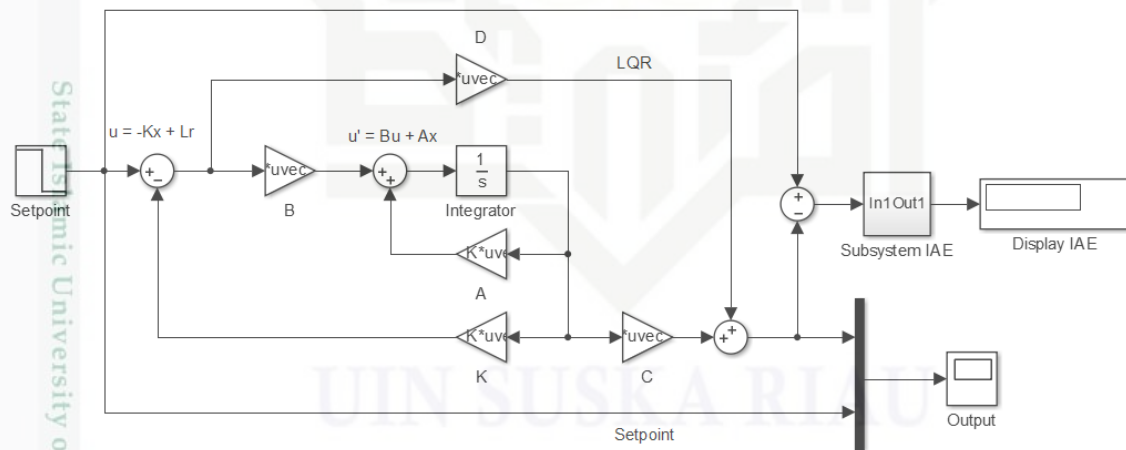
Matriks A, B, C dan D secara bersama-sama yang menyatakan parameter dinamika sistem. Gambar 3.7 di bawah ini menunjukkan diagram blok sistem kecepatan gerak aktuator hidrolik dengan kendali LQR.

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 satu 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 3.7 Diagram Blok Sistem Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik Kendali LQR [26]

Sistem *close loop* optimal dengan kendali *state feedback* ini digunakan sebagai blok dari parameter dinamika *plant* aktuator hidrolik. Bentuk blok diagram sistem kendali optimal secara umum diperlihatkan pada gambar 3.8 di bawah ini:



Gambar 3.8 Blok Simulink Kendali LQR

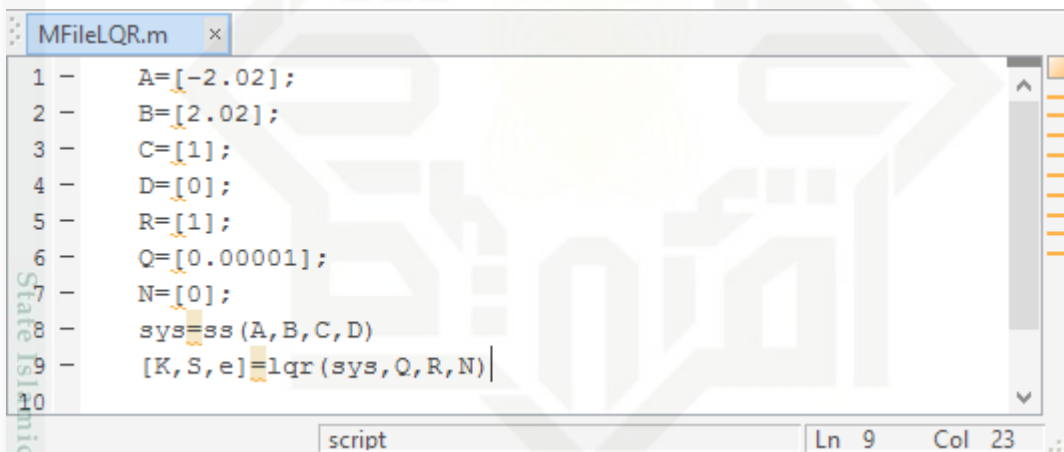
Masukan *step* berupa kecepatan gerak aktuator hidrolik yang hasil performansi sistemnya akan dianalisis dengan respon transien dan kriteria integral menggunakan IAE (*Integral of Absolute Error*) sekecil mungkin. Hal yang dilakukan untuk melakukan perancangan adalah mencari umpan balik optimal K yang akan meminimumkan indeks performansi sistem sesuai dengan persamaan 3.24. Dengan menggunakan perangkat lunak Matlab, nilai konstanta umpan balik K akan didapatkan dengan cara memasukkan program ke dalam M-File seperti berikut ini:

$$[K, S, e] = \text{lqr}(\text{sys}, Q, R, N) \quad (3.24)$$

Di mana penentuan matriks pembobot Q dan R berpedoman pada aturan berikut:

1. Semakin besar harga matriks Q maka akan memperbesar harga elemen matriks gain kendali dan mempercepat sistem mencapai *steady state*.
2. Semakin besar harga matriks R maka akan memperkecil harga elemen matriks gain kendali dan memperlambat sistem mencapai *steady state*.

Untuk melakukan perhitungan kendali optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dapat dilakukan dengan memasukkan persamaan *state space* pada perangkat lunak Matlab hingga mendapat matriks Q dan R yang optimal dengan cara *trial and error* seperti gambar 3.9 di bawah ini:



```

1 - A=[-2.02];
2 - B=[2.02];
3 - C=[1];
4 - D=[0];
5 - R=[1];
6 - Q=[0.00001];
7 - N=[0];
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
10

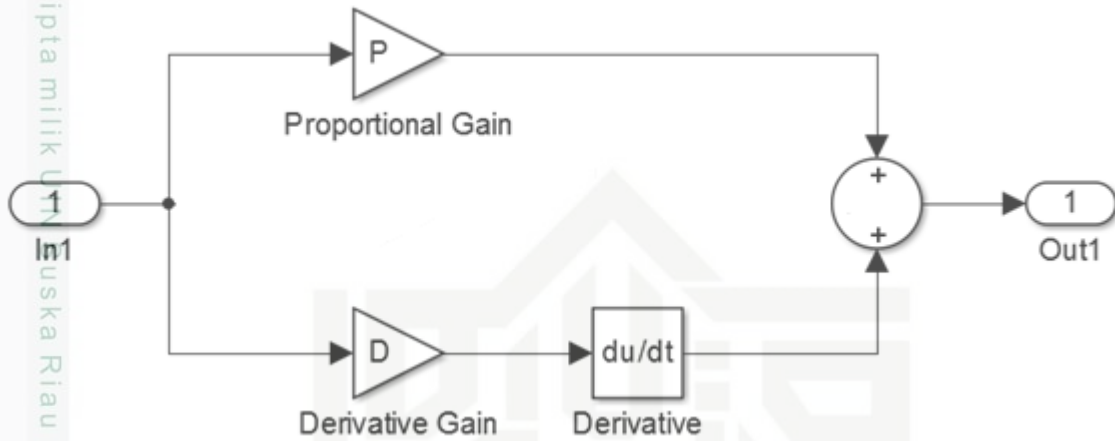
```

Gambar 3.9 Tampilan *Trial and Error* Kendali LQR pada *M-File*

3.7.2 Perancangan Pengendali LQR-PD (*Proportional Derivative*)

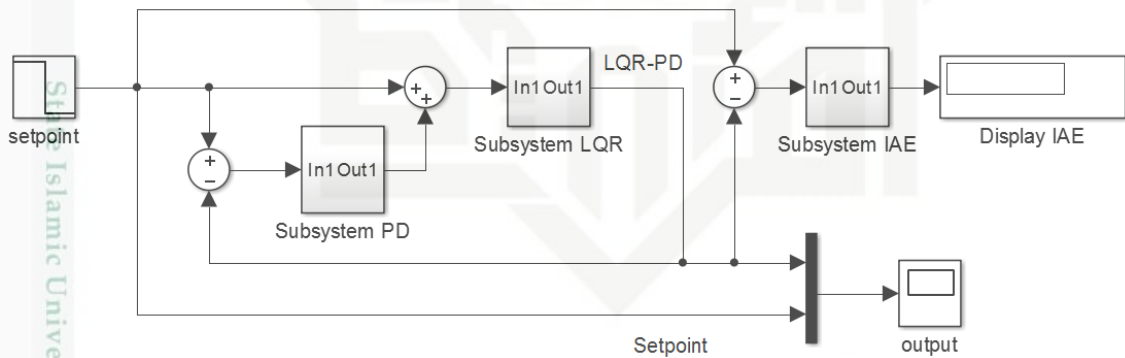
Mengacu pada studi literatur yang telah dijelaskan di atas, maka desain kendali PD dapat dibuat dalam bentuk *simulink* dengan memasukkan nilai *transfer function* yang diperoleh dari sistem kecepatan gerak aktuator hidrolik yang telah dimasukkan ke dalam blok desain pengendali PD. Penentuan nilai konstanta K_p dan K_d diperoleh dengan metode heuristik yang merupakan sebuah metode dengan cara eksplorasi dan cara *trial and error* untuk mendapatkan nilai yang maksimal. Rancangan metode heuristik ini diperoleh dengan perubahan parameter yang disesuaikan dengan cara kerja dari sistem yang akan dikendalikan.

Penalaan parameter kendali PD dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P, selanjutnya ditambah pengendali D.



Gambar 3.10 Blok *Simulink* Kendali PD

Kemudian menambahkan kendali PD pada gambar 3.10 di atas dengan kendali LQR yang telah dirancang pada sub sub bab 3.7.1 sebelumnya.



Gambar 3.11 Blok *Simulink* Kendali LQR-PD Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik

3.8 Penelitian Selanjutnya

Adapun hal yang akan dilakukan pada bab selanjutnya adalah:

1. Menganalisa respon sistem secara *open loop*.
2. Menganalisa respon sistem menggunakan kendali LQR.
3. Menganalisa respon sistem menggunakan kendali LQR-PD.
4. Menganalisa respon sistem kendali LQR-PD terhadap gangguan beban



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

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang dilakukan pada kecepatan gerak aktuator hidrolik dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan pengendali LQR-PD, kecepatan gerak aktuator hidrolik berhasil meminimalkan *settling time* secara signifikan yaitu 0,2823 detik dan *rise time* sebesar 0,2158 detik dengan IAE terkecil sebesar 0,01386. Hasil yang baik dan memuaskan ini diperoleh dari nilai matriks pembobot $Q = [0,00001]$ dan matriks $R = [1]$ serta nilai parameter PD yaitu $K_p = 5$ dan $K_d = 0,05$. Sistem mampu kembali ke kecepatan *setpoint* ketika ditambah gangguan penurunan kecepatan sebesar 0,001 meter/detik pada detik ke 3 dengan *recovery time* sebesar 0,22 detik.

5.2 Saran

Penelitian ini menggunakan pengendali LQR-PD. Peneliti menggunakan metode heuristik pada penalaan matriks Q dan penalaan parameter K_p dan K_d sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama. Pada penelitian berikutnya dapat digunakan pengendali lain seperti *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) atau *Fuzzy Adaptif* dan *Fuzzy Gain Scheduling*.



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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Usman dan Muhtadin, “Desain, Perancangan dan Uji Alat Press Hydraulic dengan Kondisi Tekanan 300kg/m^2 untuk Menghasilkan Minyak Kelapa”, *Jurnal Riset, Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, Januari 2019.
- [2] M. A. Rizza, “Analisis Proses Blanking dengan Simple Press Tool”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 85-90, 2014.
- [3] M. Kabib, I. M. L. Batan, B. Pramujati dan A. S. Pramono, “Analisa Pemodelan dan Simulasi Gerak Aktuator Punch pada Mesin Pres untuk Proses Deep Drawing”, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV*, 7-8 Oktober, 2015.
- [4] D. E. Seborg, T. E. Edgar, D. A. Mellichamp dan F. J. Doyle, *Procces Dynamics and Control*, 3rd edition, USA: Jhon Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [5] Zulfatman dan M. F. Rahmat. “Application of Self-Tuning Fuzzy PID Controller on Industrial Hydraulic Actuator Using System Identification Approach”, *International Journal on Smart Sensing and Intelligent System*, vol. 2, no. 2, pp. 246-261, Juni 2009.
- [6] M. C. Rijal, A. Santoso dan R. Efendi, “Optimalisasi Crane Anti Ayun Kontroler PD-LQR dengan Algoritma UPSO untuk Meningkatkan Efisiensi Proses Bongkar Muat”, *Proceeding Seminar Nasional Teknik & Manajemen Industri*, pp. 56-63, 2015.
- [7] O. Fernaza, “Studi Metoda Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) dan Aplikasinya pada Sistem Automatic Voltage Regulator (AVR)”, *Fakultas Teknik Universitas Andalas*, 2012.
- [8] D. Mursyitah, A. Faizal, S. Basriati, Jumiyatun dan E. Novianti, “Pengendalian Posisi Sistem Magnetic Levitation Ball Menggunakan Pengendali Optimal

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

Linear Quadratic Regulator (LQR)”, *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri*, pp. 343-350, 13 November 2018.

- [9] M. Islam, M. Okasha dan M. M. Idres, “Trajectory Tracking in Quadrotor Platform by Using PD Controller and LQR Control Approach”, *6th International Conference on Mechatronics*, vol. 260, no. 1, pp. 1-8, 2017.
- [10] Waluyo, A. Fitriansyah dan Syahrial, “Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban Menggunakan Metode Heuristik”, *Teknik Elektro Itenas*, vol. 1, no. 2, pp. 79-92, Juli-Desember 2013.
- [11] Askan, “Analisa Pneumatic Hidrolis Mesin UG-5 untuk Pembuatan Cetakan Pasir”, *Jurnal Intake*, vol. 3, no. 1, pp. 75-86, April 2012.
- [12] Sihana, Faridah dan I. Abidiy, “Identifikasi Model Sistem Hidraulik Kendali Tekanan pada Suplai Bahan Bakar Turbin Gas”, *Tekno Fisika*, vol. 2, no. 1, pp. 15-19, Januari 2013.
- [13] D. Sinaga, “Hukum Pascal”, *Studio Belajar*, [online]. Tersedia: <https://www.studiobelajar.com/hukum-pascal/> [diakses 26 Januari 2020].
- [14] V. Inc, “What are Single Acting and Double Acting Hydraulic Cylinders”, *Medium*, 18 Desember 2017, [online]. Tersedia: <https://medium.com/@vcompmississaug/what-are-single-acting-double-acting-hydraulic-cylinders-817d6e6f30a8> [diakses 26 Januari 2020].
- [15] F. Dzulqornain, “Prinsip Kerja Pompa Centrifugal”, *Insinyoer.com Let's Share & Learn*, 24 Mei 2015, [online]. Tersedia: <https://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-pompa-centrifugal/> [diakses 26 Januari 2020].
- [16] Nemo, “Positive Displacement Pump Applications and Benefits”, *Industrial Process Equipment Group*, 30 Desember 2015, [online]. Tersedia: <https://www.ipegstl.com/tag/positive-displacement-pump/> [diakses 26 Januari 2020].



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

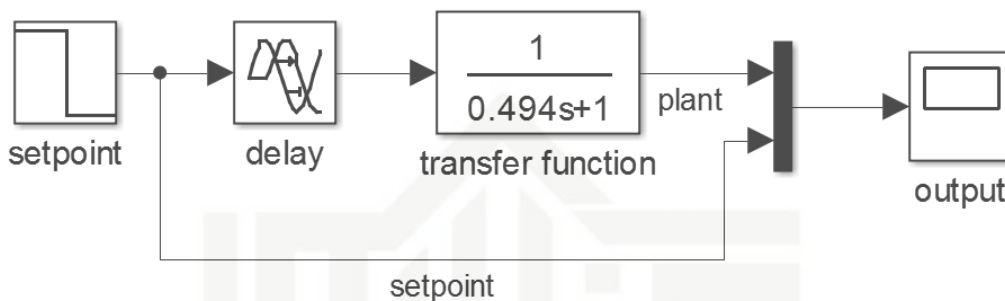
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

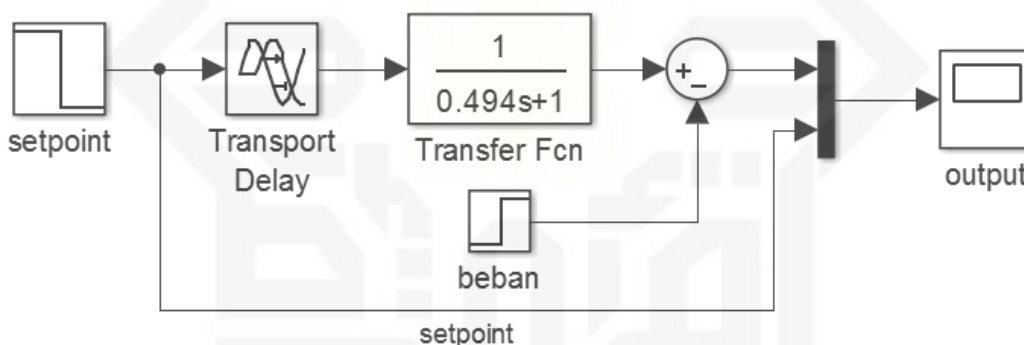
- [17] F. L. Lewis dan V. L. Syrmos, *Optimal Control*, 2nd edition, USA.: Wiley-Interscience, 1995.
- [18] D. Y. Tadeus, B. Setiyono dan I. Setiawan, “Simulasi Kendali Daya Reaktor Nuklir dengan Teknik Kontrol Optimal”, *Diponegoro University Institutional Repository*, pp. 1-7, 19 Desember 2011.
- [19] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th edition, New Jersey: Prentice Hall, 2010.
- [20] I. Setiawan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, Jakarta: Elex Media Komputindo, 2008.
- [21] Matlab, “Creating the Matlab Logo”, *Math Works*, [online]. Tersedia: <https://au.mathworks.com/help/matlab/visualize/creating-the-matlab-logo.html>, [diakses 26 Januari 2020].
- [22] U. Badri, “Kontrol Optimal pada Motor DC Menggunakan Metode Linear Quadratic Regulator (LQR)”, *Politeknik Elektronika Negeri Surabaya*, 2008.
- [23] D. S. Naidu, *Optimal Control Systems*, USA: CRC Press, 2003.
- [24] F. Arifin, “Perancangan dan Simulasi Sistem Suspensi Mobil Berbasis Kendali Optimal”, *Telkomnika*, vol. 4, no. 3, pp. 201-210, Desember 2006.
- [25] M. Kadaffi, *Penerapan Simulink untuk Simulasi*, Jakarta: Universitas Mercu Buana, 2011.
- [26] A. Basuki, Sumardi dan I. Setiawan, “Pengaturan Kecepatan Motor DC Secara Real Time Menggunakan Teknik Kontrol Optimal Linear Quadratic Regulator (LQR)”, *Diponegoro University Institutional Repository*, 2011.

LAMPIRAN A

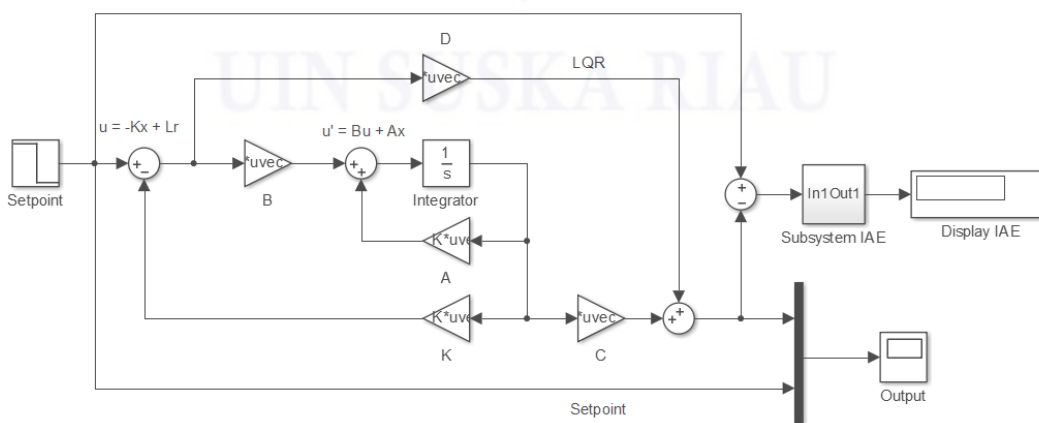
A.1 Blok Simulink Open Loop Kecepatan Gerak Aktuator Hidrolik



A.2 Blok Simulink Open Loop dengan Uji Gangguan



A.3 Blok Simulink Kendali LQR Menggunakan IAE

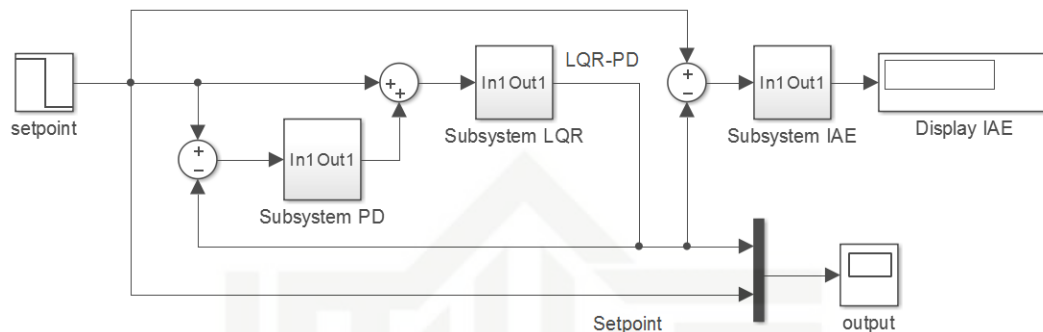


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

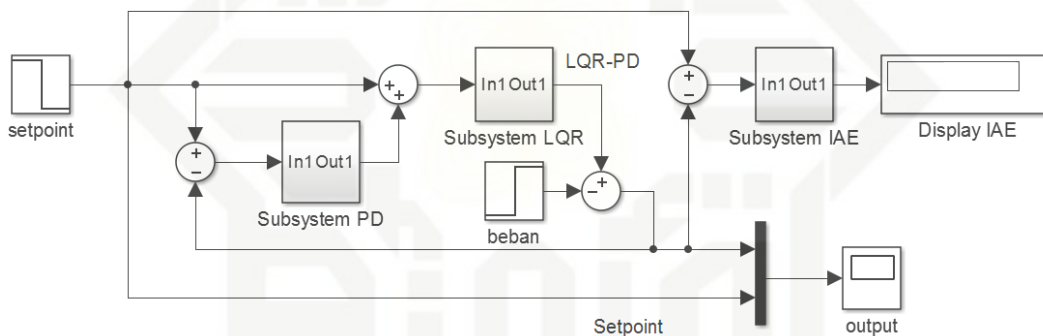
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

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

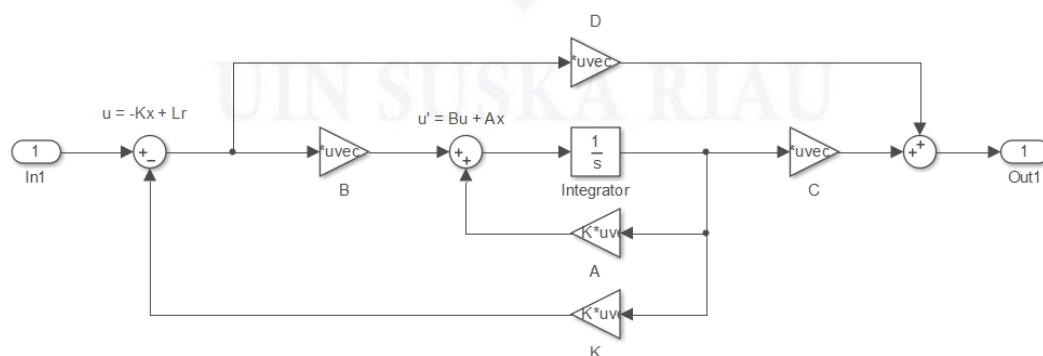
A.4 Blok Simulink Kendali LQR-PD Menggunakan IAE



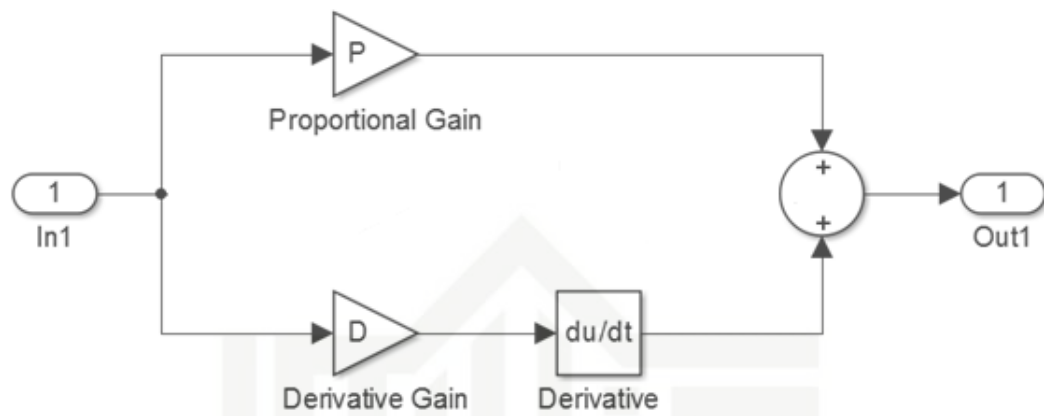
A.5 Blok Simulink Kendali LQR-PD dengan Gangguan



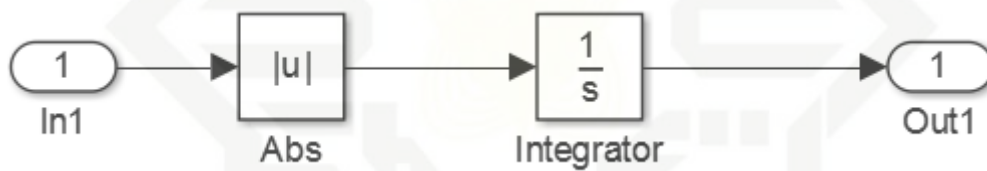
A.6 Blok Subsystem Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR)



A.7 Blok Subsystem Kendali *Proportional Derivative* (PD)



A.8 Blok Subsystem *Integral of Absolute Error* (IAE)



Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

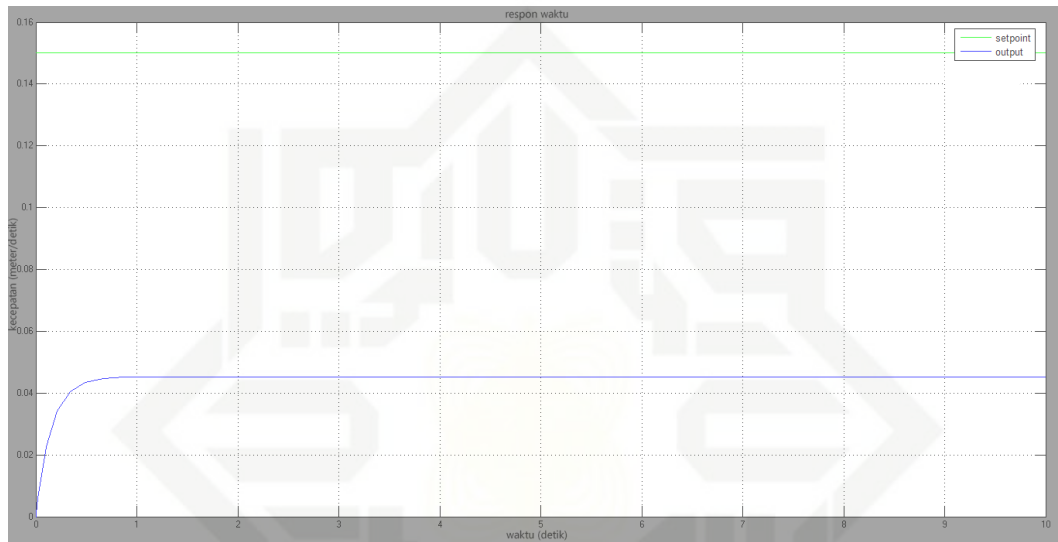
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

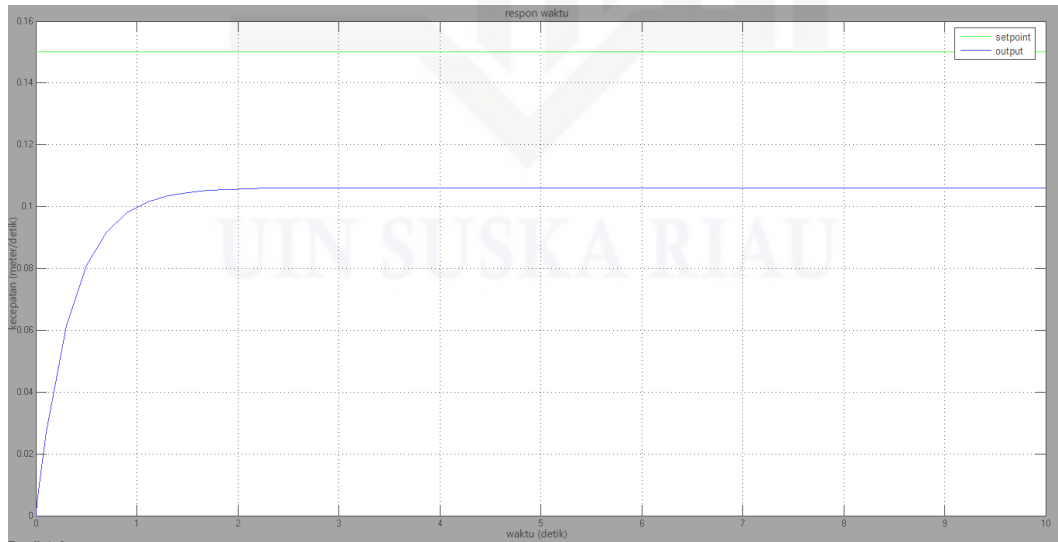
LAMPIRAN B

B.1 Proses Penalaan Matriks Q pada Kendali LQR

1. Hasil simulasi kendali LQR dengan matriks $Q = [10]$



2. Hasil simulasi kendali LQR dengan matriks $Q = [1]$

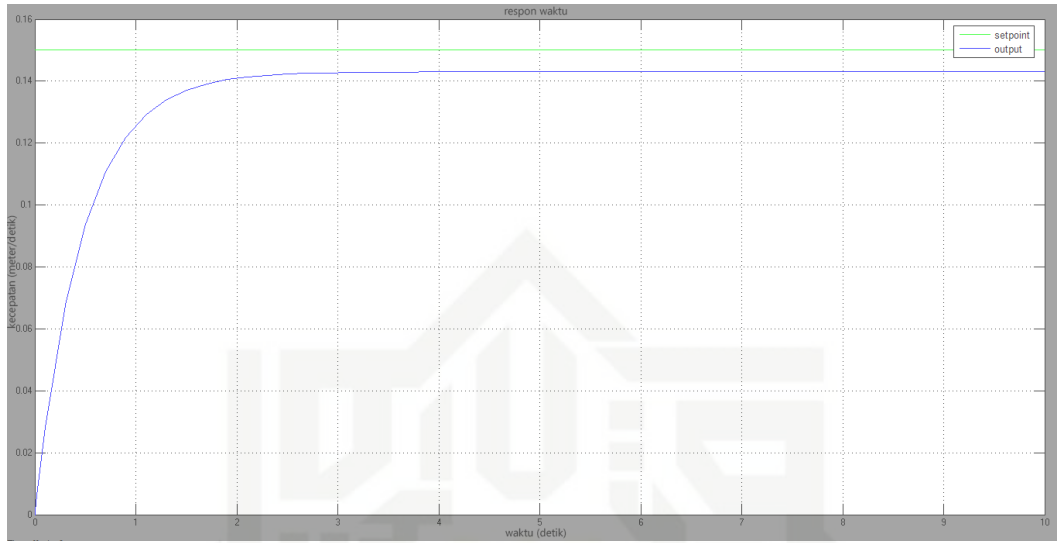


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
 - b. Pengutipan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

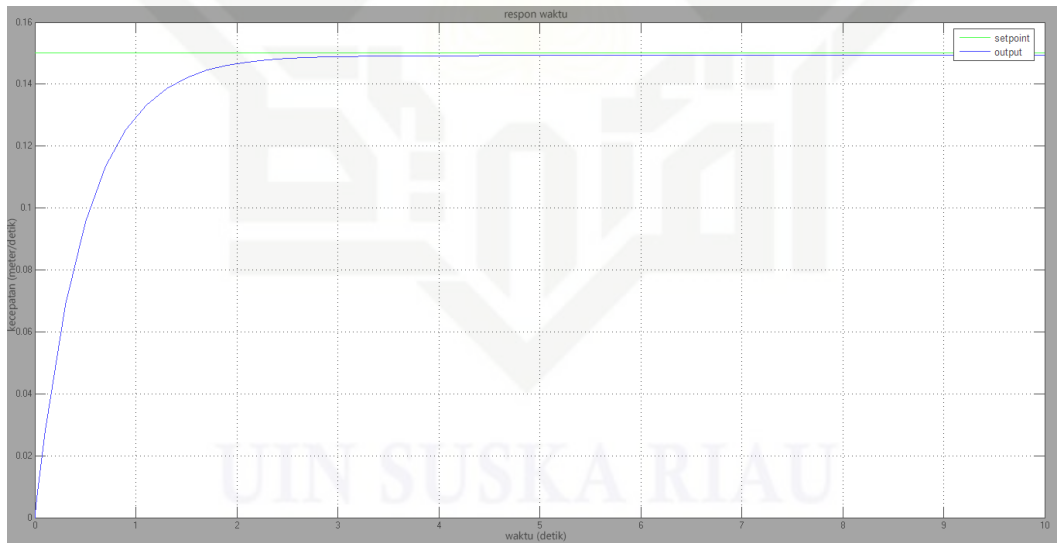
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

3. Hasil simulasi kendali LQR dengan matriks $Q = [0,1]$



4. Hasil simulasi kendali LQR dengan matriks $Q = [0,01]$



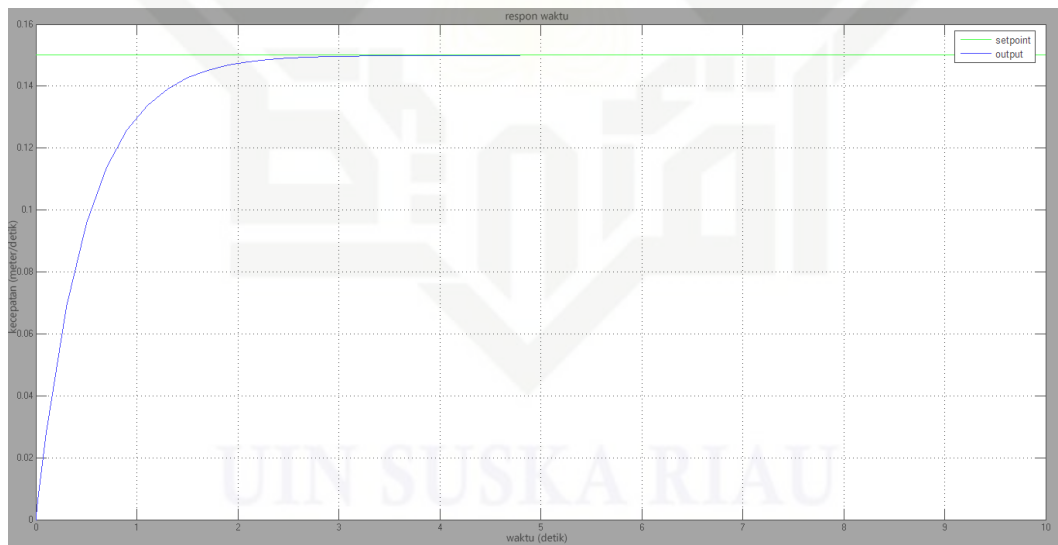
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

5. Hasil simulasi kendali LQR dengan matriks $Q = [0,001]$



6. Hasil simulasi kendali LQR dengan matriks $Q = [0,0001]$



7. Hasil simulasi kendali LQR dengan matriks $Q = [0,00001]$


B.2 Tabel Hasil Penalaan Matriks Q pada Kendali LQR

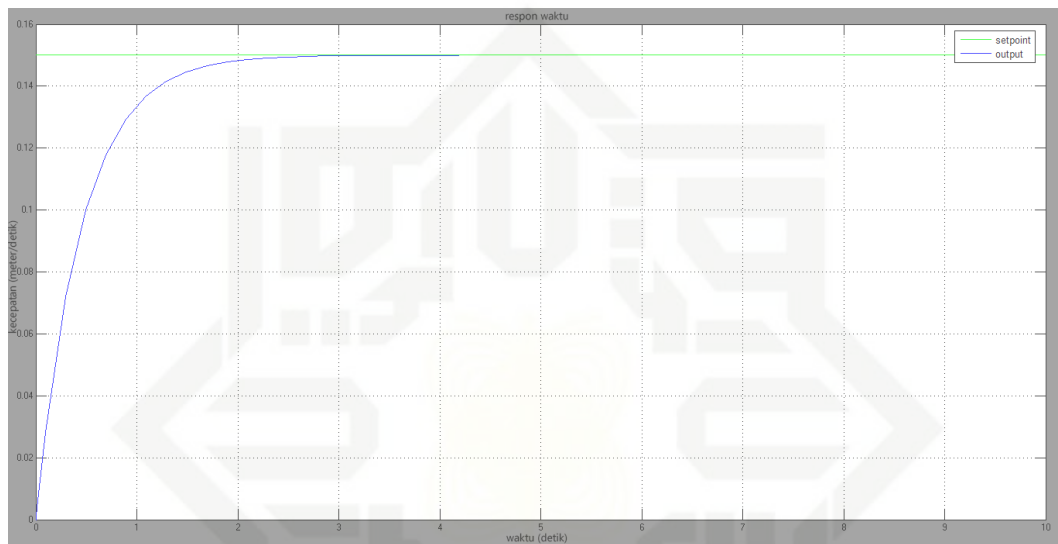
Matriks Q	Matriks R	Error Steady State (E_{ss})	IAE
10	1	0,1048 meter/detik	1,05400
1	1	0,0439 meter/detik	0,47650
0,1	1	0,0070 meter/detik	0,13730
0,01	1	0,0007 meter/detik	0,08097
0,001	1	0,0002 meter/detik	0,07493
0,0001	1	0,0001 meter/detik	0,07432
0,00001	1	0 meter/detik	0,07426

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

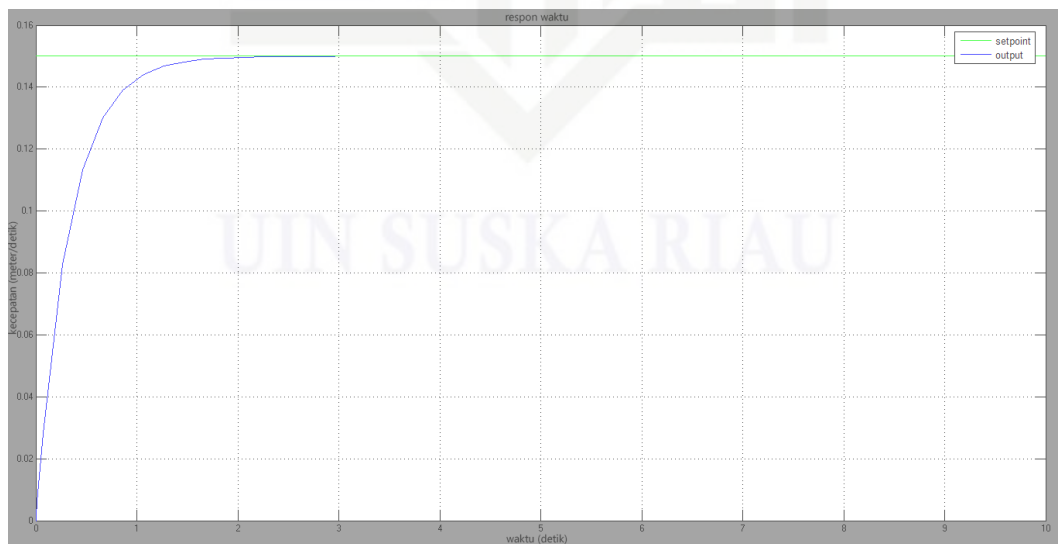
LAMPIRAN C

C.1 Proses Penalaan Parameter K_p dan K_d pada Kendali LQR-PD

8. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 0,1$ dan $K_d = 0$

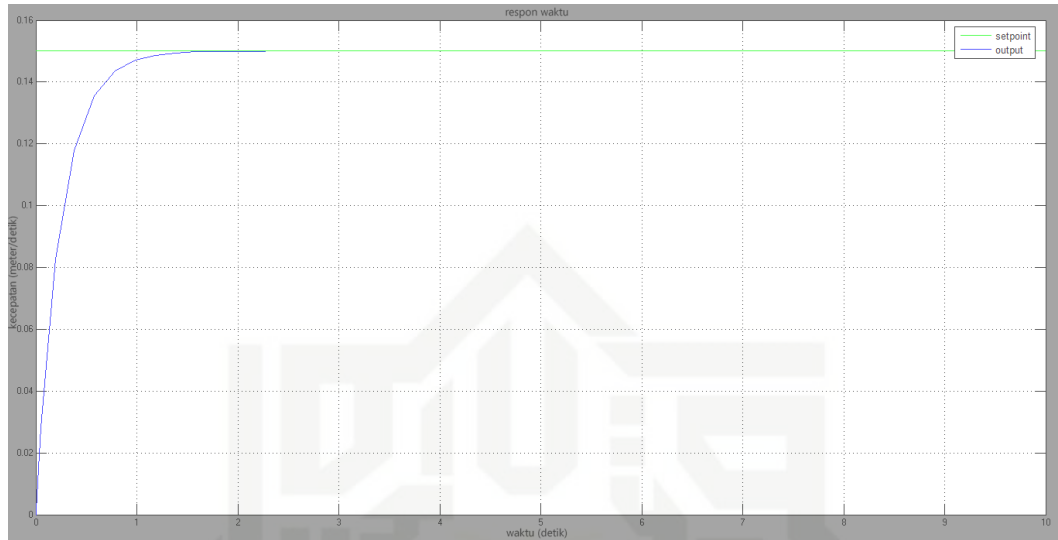


9. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 0,5$ dan $K_d = 0$

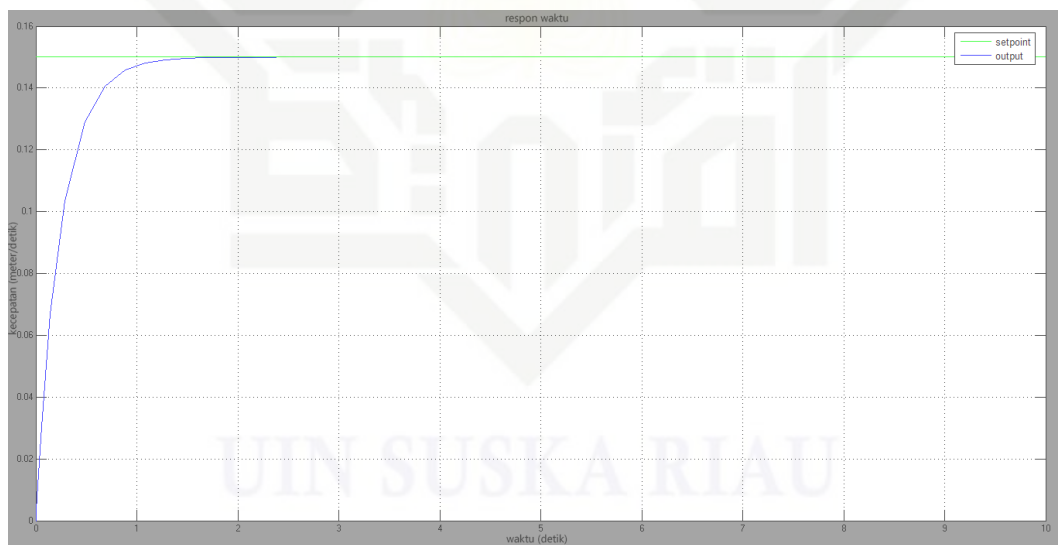


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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

10. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 1$ dan $K_d = 0$



11. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 1.5$ dan $K_d = 0$



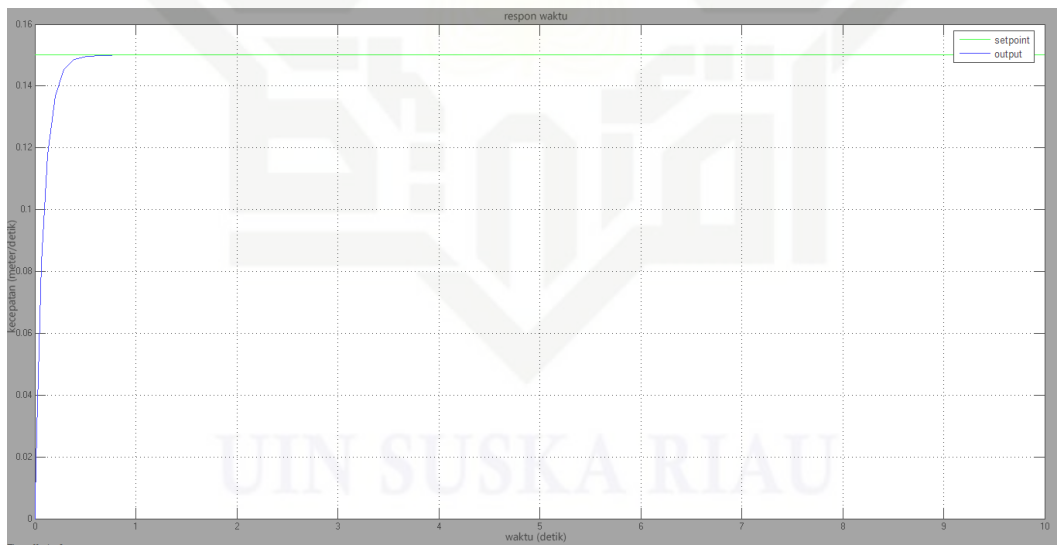
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

12. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 2$ dan $K_d = 0$



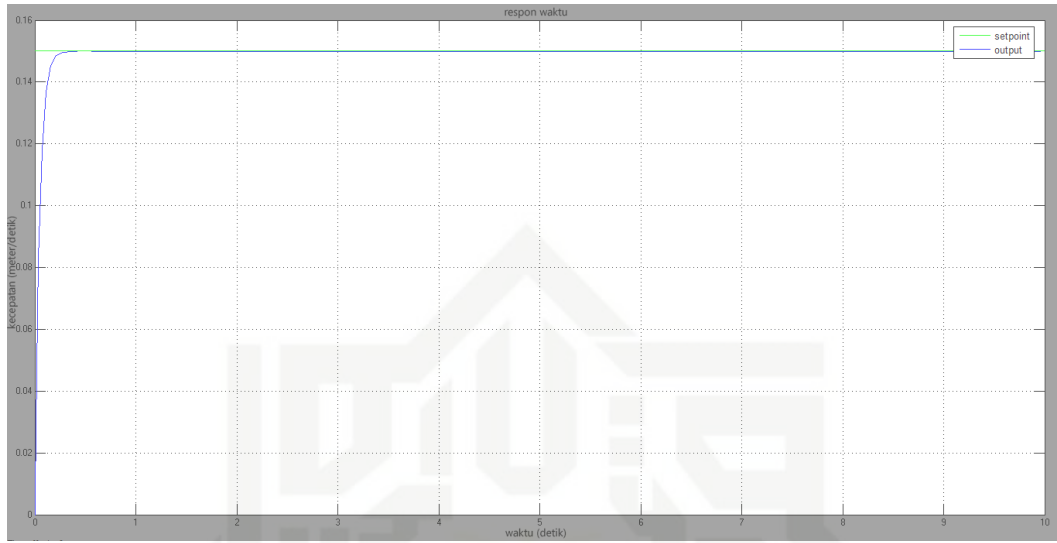
13. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 5$ dan $K_d = 0$



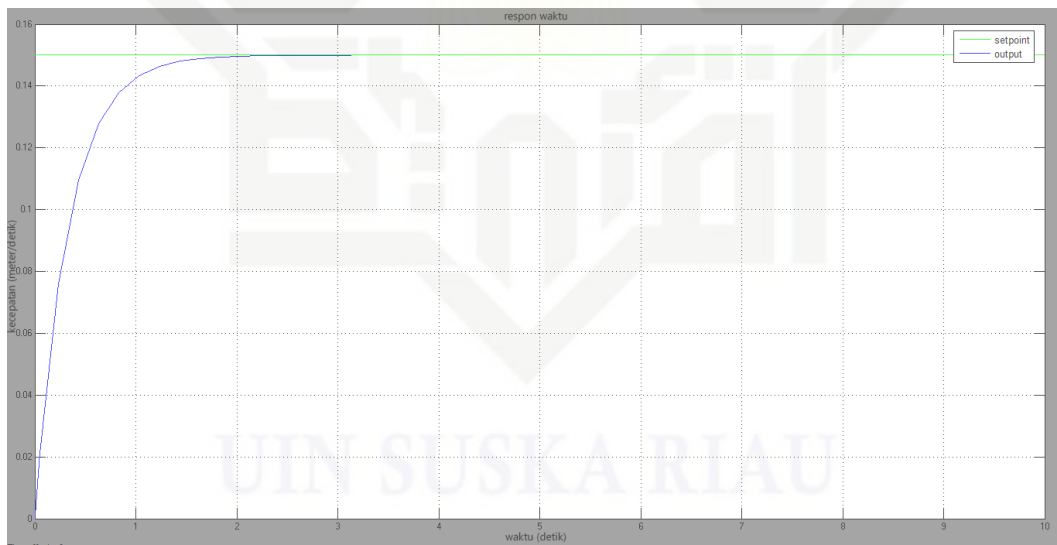
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

14. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 10$ dan $K_d = 0$



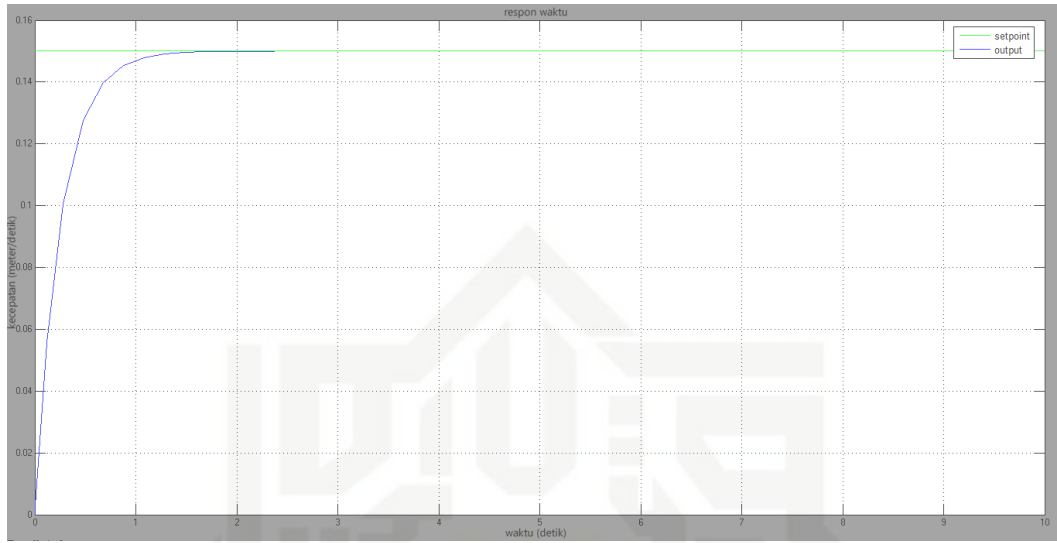
15. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 0.5$ dan $K_d = 0.001$



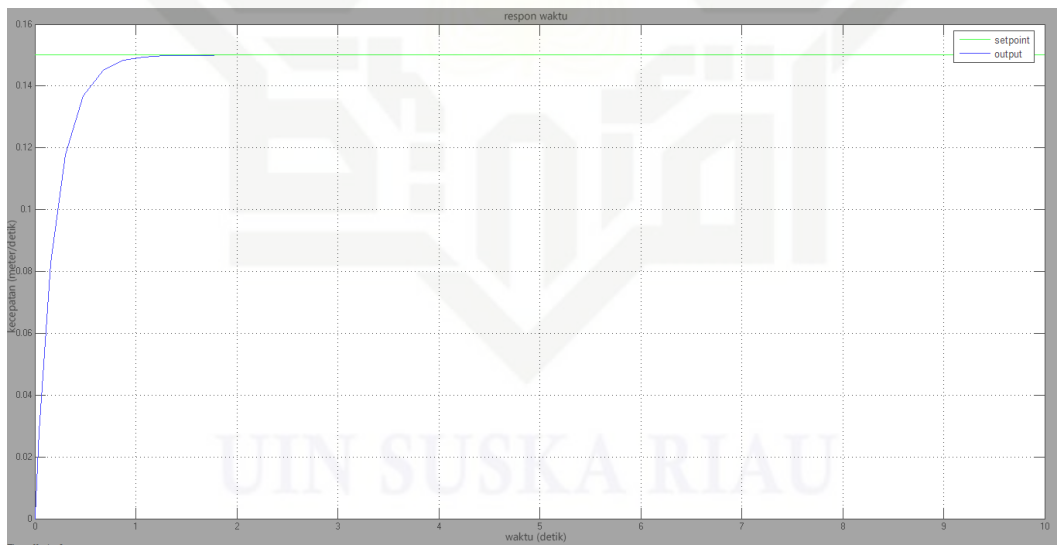
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

16. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 1$ dan $K_d = 0,01$



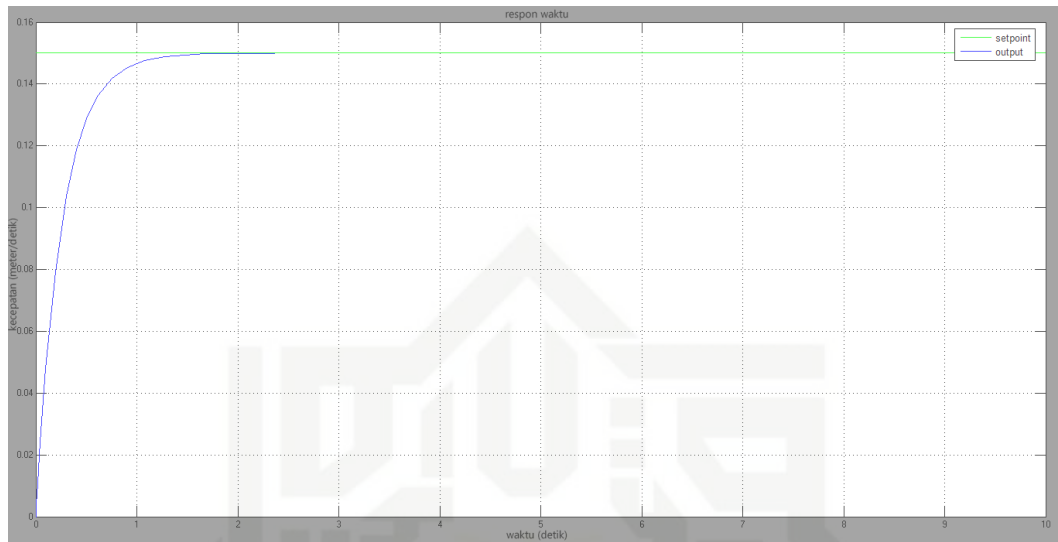
17. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 1,5$ dan $K_d = 0,1$



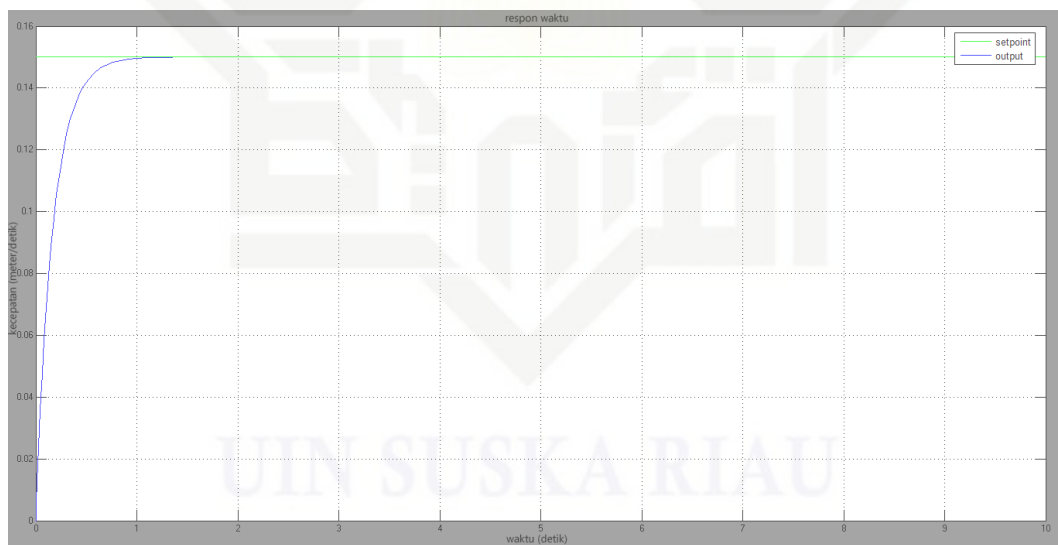
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

18. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 2$ dan $K_d = 0,25$



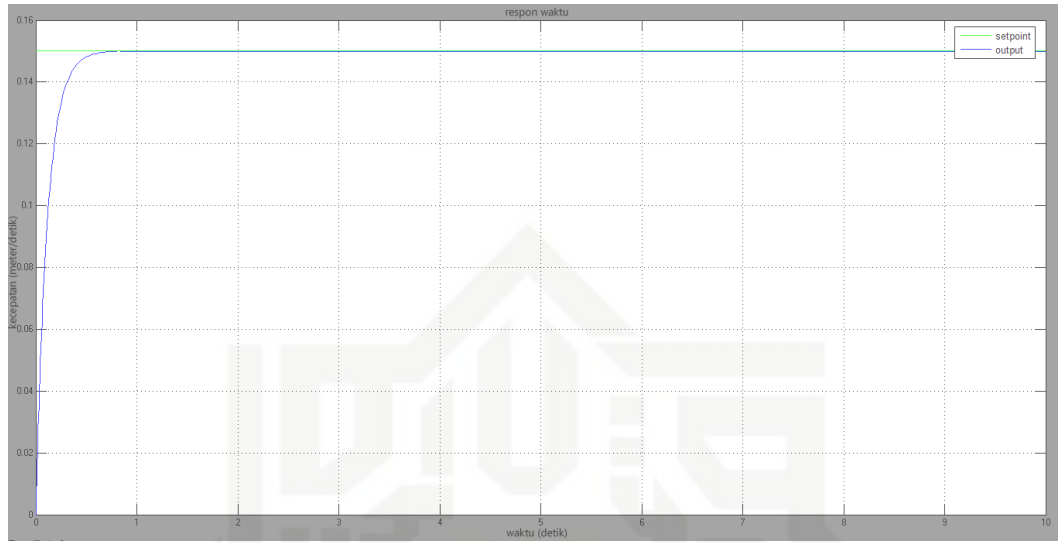
19. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 5$ dan $K_d = 0,5$



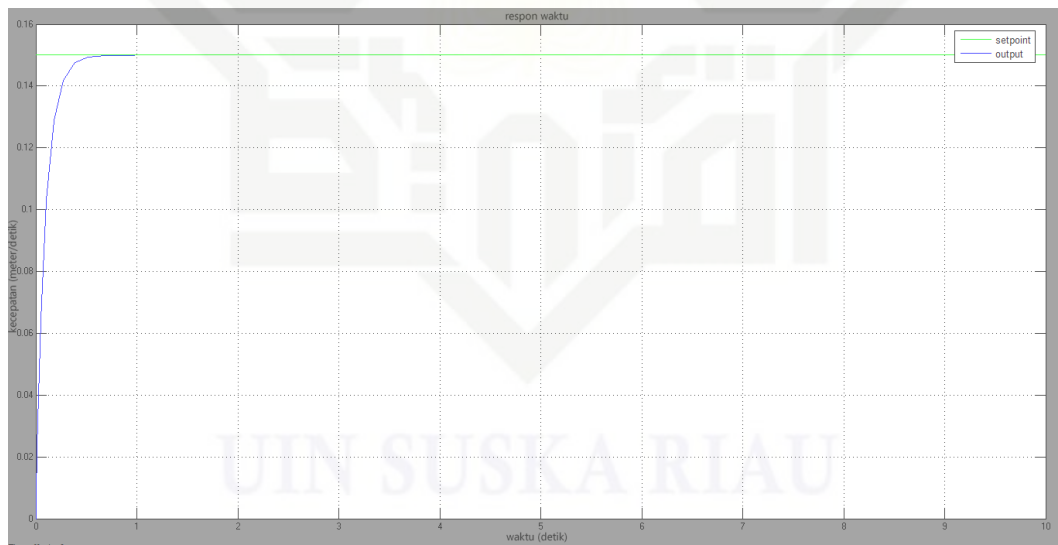
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

20. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 10$ dan $K_d = 0,75$



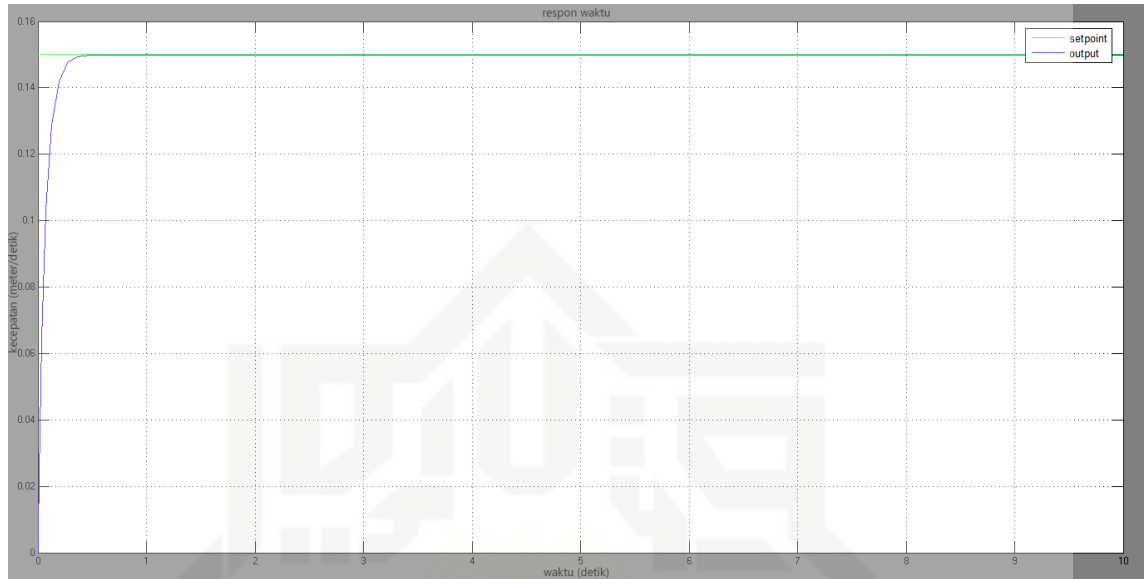
21. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 5$ dan $K_d = 0,05$



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.

22. Hasil simulasi kendali LQR-PD dengan parameter $K_p = 7,5$ dan $K_d = 0,05$

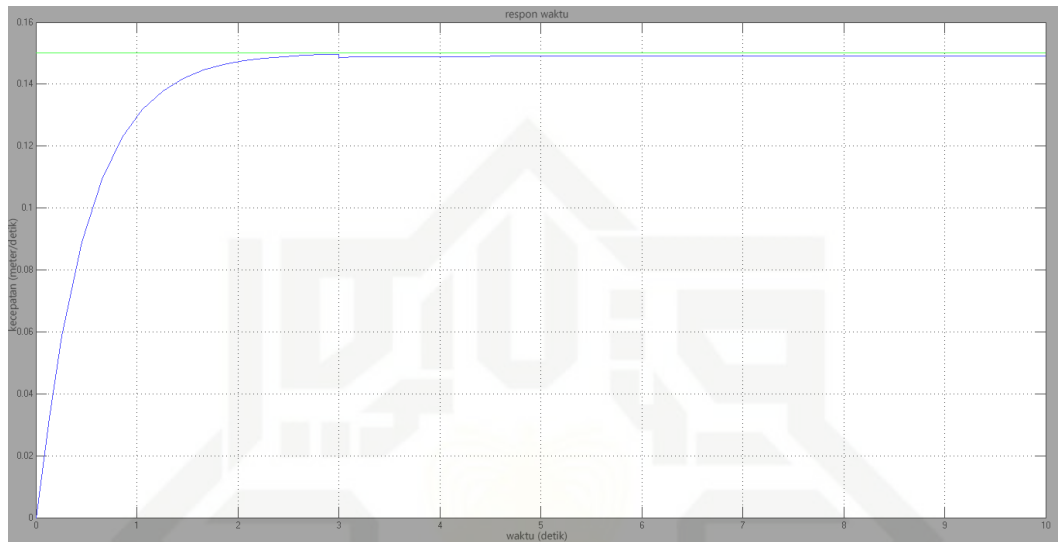


C.2 Tabel Hasil Penalaan Parameter K_p dan K_d pada Kendali LQR-PD

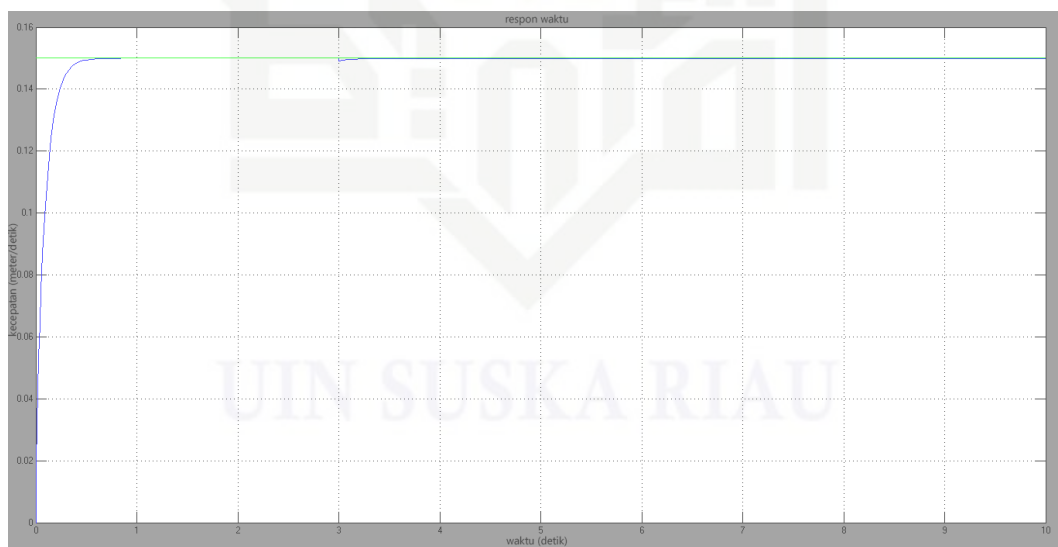
Setpoint (meter/detik)	Heuristik		T_s (detik)	T_r (detik)	E_{ss} (meter/detik)	IAE
	K_p	K_d				
0,15	0,1	-	1,3749	0,9951	0	0,06751
0,15	0,5	-	1,0338	0,7393	0	0,04951
0,15	1	-	0,7680	0,5553	0	0,03713
0,15	1.5	-	0,6294	0,4398	0	0,02971
0,15	2	-	0,5265	0,3696	0	0,02475
0,15	5	-	0,2595	0,1861	0	0,02138
0,15	10	-	0,1374	0,1038	berosilasi	0,00675
0,15	0,5	0,001	1,0335	0,7411	0	0,04963
0,15	1	0,01	0,7833	0,5768	0	0,03801
0,15	1,5	0,1	0,7581	0,5541	0	0,03668
0,15	2	0,25	0,7854	0,5711	0	0,03863
0,15	5	0,5	0,5085	0,3753	0,0001	0,02589
0,15	10	0,75	0,3426	0,2518	0,0002	0,01813
0,15	5	0,05	0,2823	0,2158	0	0,01386
0,15	7,5	0,05	0,2040	0,0852	0,0001	0,00980

LAMPIRAN D

D.1 Hasil Simulasi *Open Loop* dengan Uji Gangguan



D.2 Hasil Simulasi Kendali LQR-PD dengan Tambahkan Gangguan



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Maskun Abdul Manan, lahir di Banyumas pada tanggal 03 Februari 1993. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan *al-marhûm* Nasran/Achmad Nasruddin dan Carwen yang beralamat di Desa Panusupan, RT: 05, RW: 02, Kec. Cilongok, Kab, Banyumas, Prov. Jawa Tengah. Riwayat pendidikan yang pernah ditempuh ialah dimulai dari TK Diponegoro 07 Panusupan pada tahun 1998 - 1999 yang dilanjutkan di MI Ma`arif NU 01 Panusupan pada tahun 1999 - 2005. Setelah menamatkan pendidikan di sekolah

dasar, penulis melanjutkan ke jenjang sekolah menengah yaitu SMP Negeri 01 Cilongok pada tahun 2005 - 2008 dan SMK Negeri 02 Purwokerto pada tahun 2008 - 2011. Setelah tamat pada tahun 2011 penulis sempat bekerja sebagai Teknisi *Service* dan *Maintenance* di PT. Wiryta Krenindo Perkasa, perusahaan yang bergerak di bidang penjualan unit *Overhead Crane* di Jakarta. Selanjutnya pada awal 2012 penulis dimutasi ke cabang perusahaan lain yaitu PT. Ekatama Putra Perkasa, perusahaan yang bergerak di bidang penjualan *Hydraulic Tools* di Balikpapan - Kalimantan Timur dengan posisi yang sama sampai tahun 2013. Seterusnya pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi yaitu Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Elektro. Selama proses pendidikan, penulis aktif mengikuti pengajian ilmu agama di Majelis Jannatul ‘Ilmi yang berpusat di Perum. Paradise Garden Regency tepatnya di belakang Kampus Fakultas Ekonomi dan Ilmu Sosial, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Pada 30 November 2019 penulis menikah dengan Sulastri, S.Pd. dan sekarang menetap di Siak Sri Indrapura. Penulis menyelesaikan pendidikan di Program Studi Teknik Elektro pada tahun 2020 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul **“PERANCANGAN KENDALI *LINEAR QUADRATIC REGULATOR (LQR)-PD* UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN GERAK AKTUATOR HIDROLIK MESIN PRES PADA PROSES *DEEP DRAWING*”**.

Email : maskunabdulmanan@gmail.com

Hp : 0852 8966 8168