

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



PERANCANGAN LQR-PID UNTUK MENGOPTIMALKAN KINERJA WEB TENSION PADA SISTEM REWINDER ROLL

TUGAS AKHIR

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



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

AHMAD IQBAL

11655103542

UIN SUSKA RIAU

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2021



Hak Cipta Diinaungi Unang-Unang

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

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN LQR-PID UNTUK MENGOPTIMALKAN KINERJA *WEB TENSION*
PADA SISTEM *REWINDER ROLL*

TUGAS AKHIR

oleh:

AHMAD IOBAL

11655103542

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 11 juni 2021

Ketua Program Studi
Digitally
Teknik Elektro Signed by

Ewi
Ismaredah
Tanggal:
2021.07.0
7

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

Pembimbing Digitally
signed by
Ahmad Faizal
Tanggal:
2021.07.08
11:33:14 WIB

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



LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN LQR-PID UNTUK MENGOPTIMALKAN KINERJA *WEB TENSION* PADA SISTEM *REWINDER ROLL*

TUGAS AKHIR


oleh:

AHMAD IQBAL
11655103542

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 8 Juli 2021

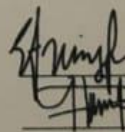
Pekanbaru, 11 Juni 2021

Mengesahkan,


Dekan
Dr. Hartono, M.Pd
NIP. 196403011992031003

Ketua Program Studi
signed by
Teknik Elektro
Ewi
Ismaredah
Tanggal:
2021.07.0
Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom NIP.
19750921 08:38:33 002

W20|B0912 2
Digitally
signed by
Ewi
Ismaredah
Tanggal:
2021.07.0
08:38:36


Digitally signed by Ewi Ismaredah
Tanggal: 2021.07.0 08:38:36

Digitally signed by Ewi Ismaredah
Tanggal: 2021.07.0 08:38:36

DEWAN PENGUJI :

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

Pembimbing : Ahmad Faizal, ST., MT

Anggota I : Aulia Ullah, ST., M.Eng

Anggota II : Halim Mudia, ST., MT

Digitally signed by Halim Mudia
Tanggal: 2021.06.25 09:36:33
WIB
Lokasi: Pekanbaru

Hak Cipta Diinangungi Unang-Unang

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.

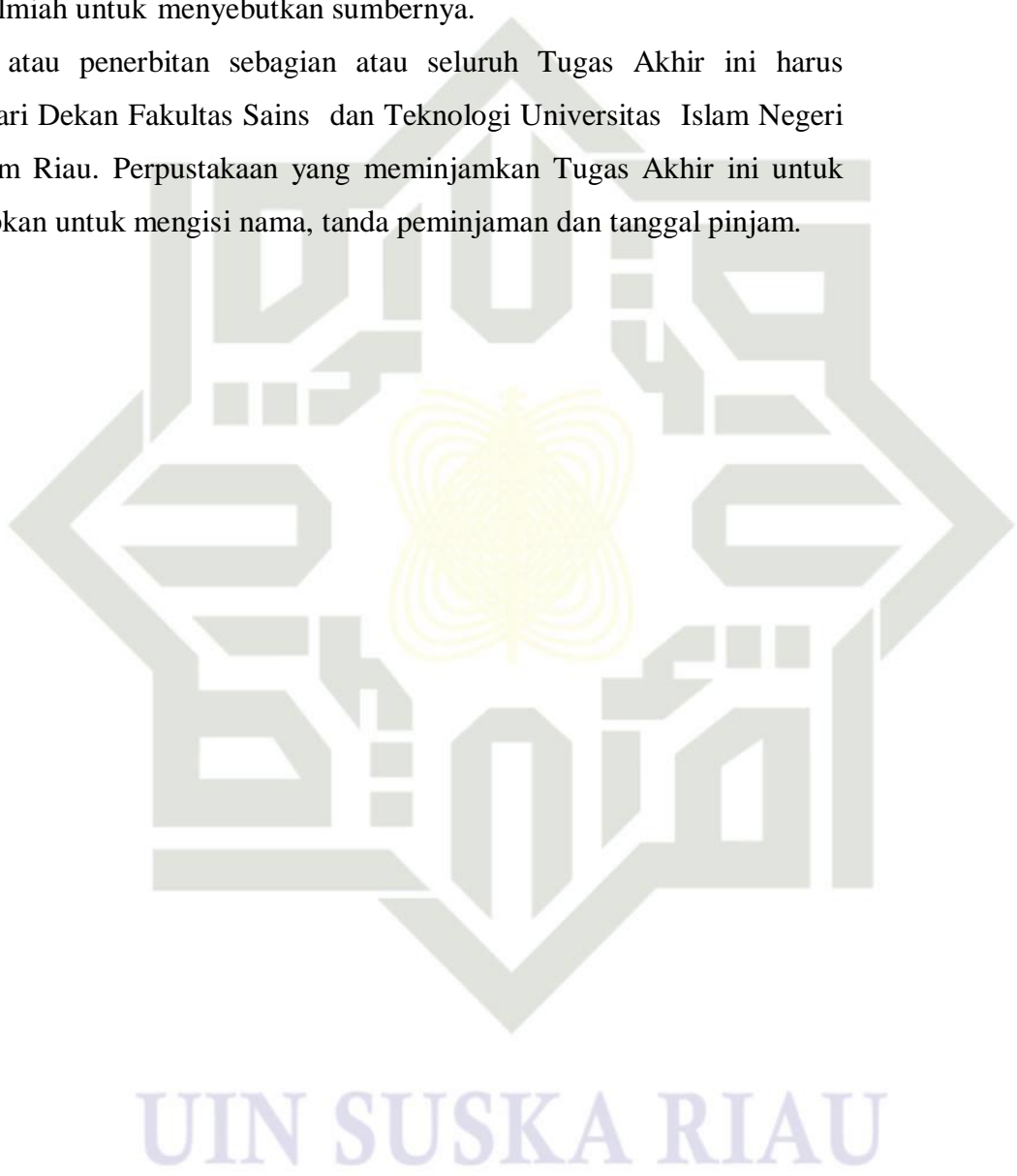
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

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.



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 sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi serta di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 11 Juni 2021

Yang membuat pernyataan,

AHMAD IQBAL
NIM. 11655103542

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

HALAMAN PERSEMBAHAN

“...Allah akan meninggikan derajat orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang mempunyai ilmu pengetahuan beberapa derajat...”

(Al-Mujadilah-11)

Stijud syukurku akan nikmat-Mu dan karunia yang telah kau berikan kepada ku, atas takdirmu telah kau jadikan aku manusia yang senantiasa berpikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Semoga keberhasilan ini menjadisesu langkah awal bagiku untuk meraih cita-cita besar ku.

“Tiga doa yang mustajab yang tidak diragukan lagi yaitu doa orang yang dizholimi, doaorang yang bepergian (safar) dan doa baik orang tua pada anaknya”

(HR. Ibnu Majah no. 3862)

Tak terhitung curahan kasih sayang, doa dan dukungan yang telah diberikan kedua orang tua, yang tak pernah letih bekerja mencari nafkah untuk dapat menghantarkan aku hingga saat ini. Sebongkah harapan mereka titipkan kepada anaknya dan selalu berdoa untuk keberhasilan anaknya.

“Sesungguhnya Allah telah mewahyukan kepadaku agar kalian saling merendahkan diri sehingga salah seorang dari kalian tidak saling membanggakan atau yang lain dan salahseorang dari kalian tidak menzalimi yang lain

(H.R muslim).

Ya Allah, semoga ilmu yang telah ku dapatkan menjadi ilmu yang bermanfaat bagi bangsa, bangsa dan agama. Jauhilah hamba dari sifat tercela dan jadikan hamba, hamba mu yangselalu bersyukur dan hidup seperti tumbuhan padi.

“ Didepan memberi contoh, di tengah memberi semangat dan dibelakang memberikandaya kekuatan “

(K.H. Dewantara)

Terima kasih tak terhingga untuk Bapak Ibu dosen yang telah memberikan bimbingan, dorongan dan semangat. Ribuan ilmu yang engkau berikan baik itu ilmu akademik maupunsosial, yang menjadikan aku pribadi yang lebih baik

PERANCANGAN LQR-PID UNTUK MENGOPTIMALKAN KINERJA WEB TENSION PADA SISTEM REWINDER ROLL

AHMAD IQBAL

NIM : 11655103542

Tanggal Sidang : 11 Juni 2021

Program Studi Teknik Elektro Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Kertas merupakan bagian penting bagi kehidupan manusia salah satunya untuk media pencatatan, dan media informasi seperti Koran, majalah dan lain-lain. Penyebab terjadinya kecacatan produksi kertas yang paling dominan yaitu *smoothness* atau kehalusan dari permukaan kertas dan *wrinkle* atau kertas keriput. Kecacatan produksi ini terjadi karena pengendalian *web tension* yang tidak sesuai pada proses yang terjadi di sistem *rewinder roll*. Oleh karena itu untuk menjaga mutu kualitas kertas yang di produksi maka diperlukan sebuah pengendali untuk pengukuran ketegangan pada kertas. Salah satunya yaitu pengendali LQR, namun pengendali LQR masih menimbulkan *overshoot* dan *error* pada sistem, kemudian pengendali LQR digabungkan dengan pengendali PID untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan melakukan penalaan secara *heuristic*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setelah penambahan pengendali PID pada pengendali LQR terlihat bahwa penambahan pengendali PID mengatasi sebagian besar *overshoot* dan *error steady state* yang di timbulkan pengendali LQR dengan demikian pengendali LQR-PID mampu mengoptimalkan kinerja *web tension* dibandingkan penelitian sebelumnya serta mengurangi *overshoot* dan menghilangkan *Error Steady State* yang di timbulkan pengendali LQR, dimana didapatkan nilai-nilai parameter nya adalah $E_{ss}=0$ N, $t_r=0.1683$ detik, $t_s=0.2242$ detik, $t_d=0.0401$ detik, $M_p=0$ %

Kata Kunci : LQR, PID, Roll, Tension, Web

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.

LQR-PID DESIGN TO OPTIMIZE WEB TENSION PERFORMANCE IN A ROLL REWINDER SYSTEM

AHMAD IQBAL

NIM : 11655103542

Date of Final Exam : 11 juni 2021

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science of Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Paper is an important part of human life, one of which is for recording media, and information media such as newspapers, magazines and others. The most dominant causes of paper production defects are the smoothness or smoothness of the paper surface and wrinkle or wrinkled paper. This production defect occurs due to improper web tension control in the process that occurs in the roll rewinder system. Therefore, to maintain the quality of the paper produced, a controller is needed for measuring the tension on the paper. One of them is the LQR controller, but this LQR controller still causes overshoot and errors in the system, then the LQR controller is combined with the PID controller to get optimal results by tuning it heuristically. The results of this study indicate that after the addition of the PID controller to the LQR controller, it can be seen that the addition of the PID controller overcomes most of the overshoot and steady state errors caused by the LQR controller, thus the LQR-PID controller is able to optimize web tension performance compared to previous studies and reduce overshoot and eliminate errors. Steady State generated by the LQR controller, where the parameter values obtained are $E_{ss}=0$ N, $t_r=0.1683$ seconds, $t_s=0.2242$ seconds, $t_d=0.0401$ seconds, $M_p=0$ %

Key Word : LQR, PID, Roll, Tension, Web

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Perancangan LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja web tension pada sistem rewinder roll”**.

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

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

1. Papa, Mama, kakak dan teman-teman tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Khairunnas Rajab, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom.,M.Kom selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan penelitian tugas akhir.
5. Bapak Mulyono, S.T, M.T selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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 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:

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

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

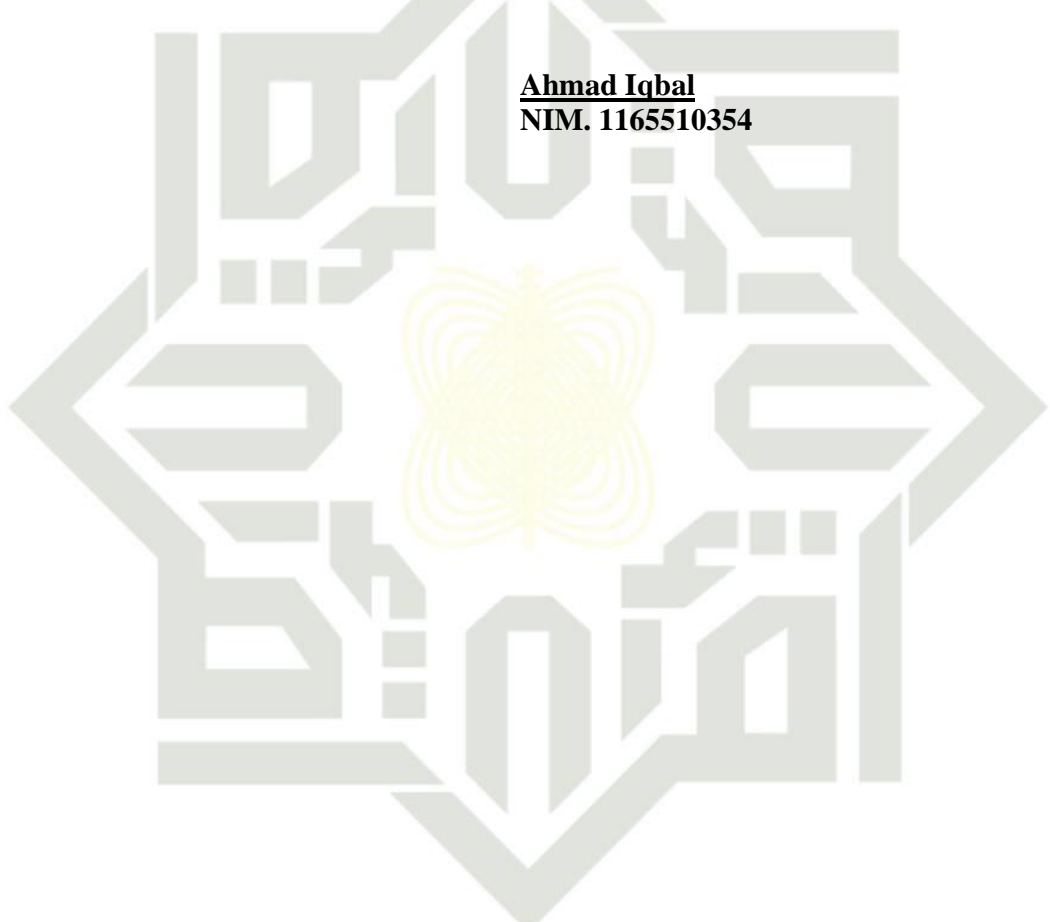
- Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng dan Bapak Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
- Ibu Novi Gusnita, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
- Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Aulia Rahma Jumardi, S.T, yang telah banyak meluangkan waktunya serta memberikan masukan kepada penulis hingga tidak masalah diganggu tengah malam hingga subuh dan selalu sedia kapanpun untuk membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini..
- Eddy Darmawan, S.T, yang telah banyak memberikan masukan hingga tidak masalah diganggu tengah malam hingga subuh dan selalu sedia kapanpun untuk membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Para monyet berkarya (Rahmad Afandi, Dimas M.pamungkas, Fajar Fadhilah, Muhammad Iqbal, Jufri Yanto, Ridwan dan Widho Darmawan) yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Putri Rahayu yang selalu mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Yahya Khairani, R.reski Eka Putra, S.T, Yogi Fernando dan Shandy Resaval, S.T , fadel Muhammad, syafri yandi oksia putra, S.T, zana azra, dwiki imanusa, Muhammad alan subati yang telah memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Instrumen 2016 serta teman-teman angkatan 2016 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
Mudah-mudahan dorongan yang telah diberikan baik moril ataupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, serta suatu harapan dari penulis Mudah-mudahan Tugas Akhir ini bisa berguna bagi penulis serta para pembaca semua pada umumnya.

Seluruh kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Perihal ini yang membuat penulis menyadari kalau dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sebab keterbatasan keahlian, pengalaman, serta pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 11 Juni 2021

Penulis,

Ahmad Iqbal
NIM. 1165510354



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	
HALAMAN PERSEMBAHAN	
ABSTRAK	
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	xxii
DAFTAR GAMBAR	xxiv
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR RUMUS	xxvi
DAFTAR SINGKATAN	xxvii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-4
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Batasan Penelitian	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori	II-2
2.2.1 <i>Winder Machine</i>	II-2
2.2.2 Permodelan Dinamika <i>web tension</i>	II-3
2.3 Identifikasi sistem	II-8
2.4 Sistem Kendali PID	II-9
2.4.1 Pengendali Proportional (P)	II-10
2.4.2 Pengendali Integrative (I)	II-10
2.4.3 Pengendali Derivative (D)	II-11
2.5 Pengendali Linear Quadratic Regulator (LQR)	II-11
2.6 Kriteria Integral Menggunakan Integral of Absolute Error (IAE)	II-15
2.7 Metode <i>Heuristic</i>	II-15
BAB III METODE PENELITIAN	III-1
3.1 Proses Alur Penelitian	III-1
3.2 Tahap Penelitian	III-2
3.3 Perubahan Pemodelan Matematis Ke Fungsi Transfer	III-3

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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.

Validasi Pemodelan Matematis	III-3
Perancangan Pengendali.....	III-5
3.5.1 Perancangan Pengendalian <i>Linear Quadratic Regulator</i> (LQR)	III-5
3.5.2 Perancangan Pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID)	III-8
3.5.3 Perancangan Pengendali LQR-PID	III-9
BAB IV HASIL DAN ANALISA	IV-1
Gambaran Umum Pengujian	IV-1
Hasil Dan Analisa Simulasi <i>Web Tension</i> Pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> Secara <i>Open Loop</i>	IV-1
Hasil Dan Analisa Simulasi <i>Web Tension</i> Pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> Menggunakan Pengendali LQR.....	IV- 5
Hasil Dan Analisa Simulasi Pengaruh Penambahan PID Pada Pengendali LQR Terhadap Performansi Sistem <i>Rewinder Roll</i>	IV-9
BAB V KESIMPULAN.....	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 <i>winder machine</i>	II-2
Gambar 2.2 <i>roll winder</i> mesin.....	II-2
Gambar 2.3 <i>rewinder roll</i>	II-3
Gambar 2.4 blok diagram <i>web tension</i>	II-5
Gambar 2.5 Respon Sistem Orde Dua	II-6
Gambar 2.6. Blok diagram pengendali PID	II-7
Gambar 2.7 Sistem Kendali dengan Skema Kendali Optimal LQR.....	II-12
Gambar 2.8. Ikon matlab.....	II-13
Gambar 3.1. Diagram blok <i>open loop rewinder roll</i>	III-4
Gambar 3.2. Subsistem blok <i>rewinder roll</i>	III-4
Gambar 3.3. Grafik keluaran <i>open loop rewinder roll</i>	III-4
Gambar 3.4. Diagram blok pengendali LQR	III-8
Gambar 3.5. Tampilan program	III-8
Gambar 3.6. Blok diagram pengendali PID	III-9
Gambar 3.7. Blok diagram pengendali LQR-PID	III-9
Gambar 3.8. Tampilan program	III-10
Gambar 4.1. Respon simulasi secara <i>open loop</i>	IV-1
Gambar 4.2. Hasil respon pengendali LQR pada sistem <i>rewinder roll</i>	IV-5
Gambar 4.3. Hasil respon pengendali LQR-PID pada sistem <i>rewinder roll</i>	IV-9

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR TABEL

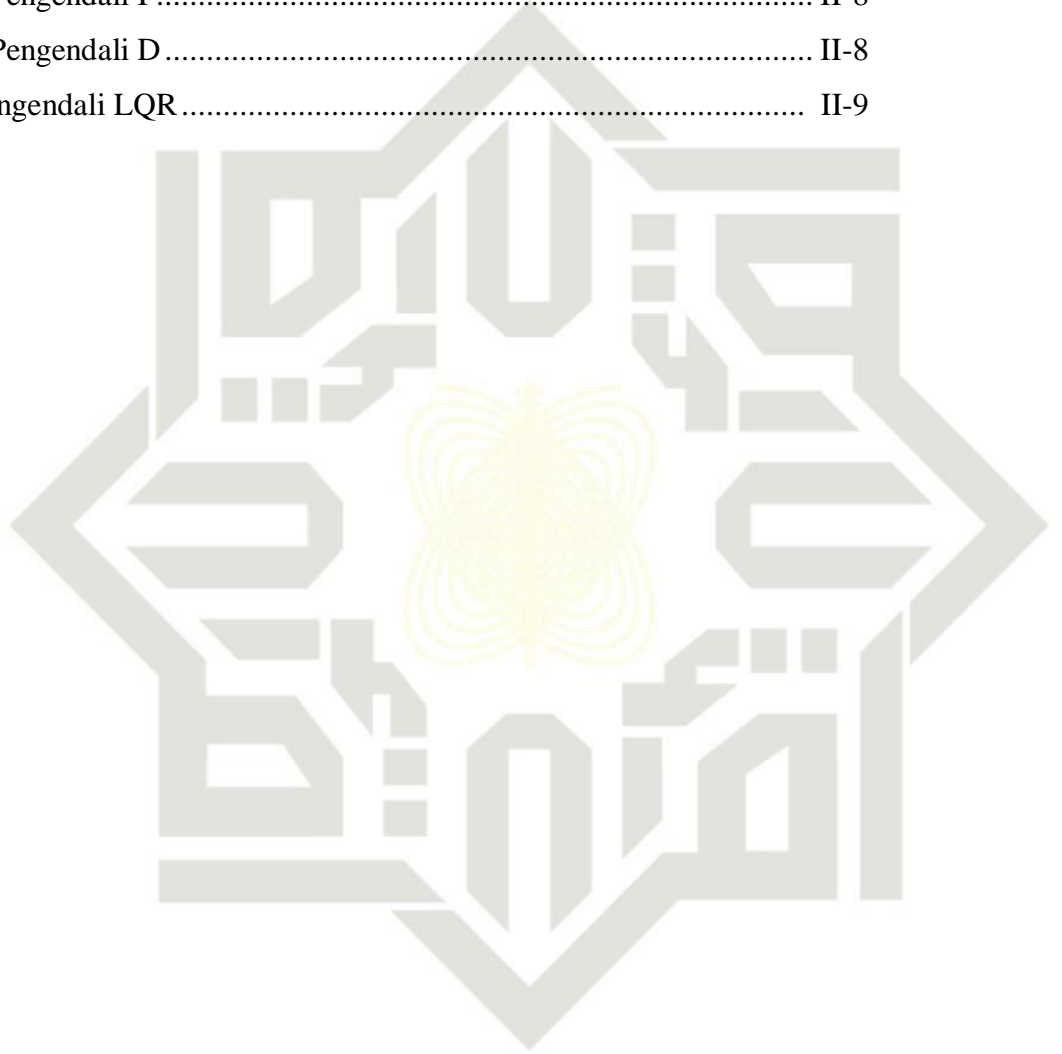
Tabel	Halaman
Tabel 2.1 parameter <i>web tension</i> pada <i>rewinder roll</i>	II-5
Tabel 3.1. Matrik R konstan dengan analisa IAE.....	III-6
Tabel 4.1. Data <i>rise time</i> 5% dari <i>setpoint</i> 0.5 N secara <i>open loop</i>	IV-2
Tabel 4.2. Data <i>rise time</i> 95% dari <i>setpoint</i> 0.5 N secara <i>open loop</i>	IV-3
Tabel 4.3. Nilai <i>settling time</i> dengan <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-3
Tabel 4.4. Data <i>delay time</i> secara <i>open loop</i> dengan <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-4
Tabel 4.5. Respon waktu sistem <i>rewinder roll</i> secara <i>open loop</i>	IV-5
Tabel 4.6. Data <i>rise time</i> 5% menggunakan LQR <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-6
Tabel 4.7. Data <i>rise time</i> 95% menggunakan LQR <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-7
Tabel 4.8. Nilai <i>settling time</i> menggunakan LQR <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-7
Tabel 4.9. Data <i>delay time</i> menggunakan LQR <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-8
Tabel 4.10. Respon waktu sistem <i>rewinder roll</i> menggunakan LQR.....	IV-8
Tabel 4.11. Data <i>rise time</i> 5% menggunakan LQR-PID <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-10
Tabel 4.12. Data <i>rise time</i> 95% menggunakan LQR-PID <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-10
Tabel 4.13. Nilai <i>settling time</i> menggunakan LQR-PID <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-11
Tabel 4.14. Data <i>delay time</i> menggunakan LQR-PID <i>setpoint</i> 0.5 N.....	IV-11
Tabel 4.15. Respon waktu sistem <i>rewinder roll</i> menggunakan LQR-PID.....	IV-12

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
Rumus 2.2.2. Permodelan dinamika <i>web tension</i>	II-3
Rumus 2.6. <i>Maximum Overshoot</i>	II-7
Rumus 2.4.1. Pengendali P.....	II-8
Rumus 2.4.2. Pengendali I	II-8
Rumus 2.4.3. Pengendali D.....	II-8
Rumus 2.5. Pengendali LQR.....	II-9



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR SINGKATAN

- = *Linear Quadratic Regulator*
- = *Proportional Integral Derivative*
- = *Matrix Laboratory*



UIN SUSKA RIAU

© Hak Cipta Milik UIN Suska Riau
LQR
PID
MATLAB

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada saat ini berkembang begitu cepat dan mempermudah pekerjaan manusia. Teknologi otomatis sekarang sudah banyak dijumpai oleh masyarakat dan peranan *Automatic system* memberikan peran yang sangat berguna dan mempermudah bagi masyarakat. Industri yang sudah memakai *Automatic system* salah satunya yaitu industri *pulp & paper* [1].

Konsumsi kertas dapat menjadi salah satu tolak ukur kemajuan suatu bangsa. Sebagai contoh, Amerika serikat menduduki peringkat pertama dalam mengkonsumsi kertas dengan jumlah sebesar 345 kg/kapita, sedangkan Indonesia menduduki peringkat ke-13 dalam mengkonsumsi kertas jumlahnya sebesar 30,1 kg/kapita [2]. Dimana Kertas merupakan bagian penting bagi kehidupan manusia salah satunya untuk sebagai media pencatatan, atau penyebaran media informasi seperti Koran, majalah, dan lain-lain.

Maka diperlukan suatu pengendalian kualitas dalam sebuah produksi, ini dilakukan untuk mendeteksi ketidaknormalan atau cacat pada sebuah produksi sehingga dapat untuk antisipasinya [3]. Untuk menunjang hal tersebut pentingnya suatu industry untuk menjaga kualitas produksinya, karena didalam dunia industri kualitas adalah hal yang paling penting untuk kemajuan suatu industry.

Berdasarkan studi literatur, penyebab terjadinya kecacatan produksi kertas yang paling dominan yaitu *Smoothness* atau kehalusan dari permukaan kertas dan *wrinkle* atau kertas keriput [4] [5]. Salah satu alat untuk pengendalian proses produksi kertas yaitu *web tension*. *Web* merupakan bahan yang terus menerus ditarik dari gulungan melalui beberapa proses pembuatan, sedangkan *tension* merupakan kekuatan ketegangan terukur yang merentangkan *web*. *web* yang dimaksud disini adalah kertas, dimana kertas yang sudah kering akan melalui proses di *dryer* memiliki variasi pelapisan dan ketebalan pencetakan. Kemudian kertas tersebut digulung pada gulungan besar (*jumbo roll*) dan akan ditarik kembali untuk dipotong menjadi gulungan lebih kecil. alat ini berfungsi untuk mengontrol ketegangan kertas agar permukaan kertas selalu konsisten dan sesuai standar yang diinginkan oleh perusahaan. *Web tension* bekerja menjaga antara ketegangan pada

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

roll winder dengan *lead roll* agar selalu terjaga pada *set point*nya. Kekurangan tegangan akan menyebabkan kecacatan pada kertas, sedangkan bila tegangan berlebih kertas akan mengalami putus atau tidak bisa digunakan [6].

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian terkait *web tension*. Diantaranya adalah sistem pengendalian *web tension* menggunakan kontroler *Robust PID*. Dimana penelitian ini membandingkan kendali PID konvensional dengan pengendali *Robust PID*. Namun, pengendali *Robust PID* ini masih memiliki *overshoot* sebesar 1,744% dan responya lambat mencapai *setpoint* sebesar 3 detik [6]. Dari hasil percobaan dengan memakai pengendali *Robust PID* pengendali ini bekerja dengan baik dibanding dengan PID konvensional dan system ini menimbulkan osilasi.

Penelitian lainnya yaitu menggunakan pengendali LQR. Dimana pada pengendali LQR ini mampu dalam mempercepat respon waktu, meminimalisir *overshoot*, dapat mempertahankan *setpoint*, serta dapat meminimalisir gangguan yang terjadi secara optimal. Akan tetapi, pengendali ini masih terdapat *overshoot* pada system sebesar 0,5% dan error sebesar 0.0025 N [7]. Pada penelitian ini respon waktu yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan tetapi masih terdapat *overshoot* pada sistem sebesar 0.5 % dan error 0.0025 N.

Penelitian lainnya menggunakan *web tension* dengan menggunakan *adaptive force control*, pada penelitian ini menggunakan kendali *neural fuzzy approximator* untuk *gain scheduling* pada sistem kendali *web handling*. Berdasarkan pada penelitian ini mampu mencapai *steady state* ketika diberikan *setpoint gain scheduling* 0,1 dan 0,2 dengan waktu sekitar 6 detik. Pada penelitian ini juga terdapat osilasi namun lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan pengendali logika *fuzzy* [8].

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dapat kita lihat pengendali *web tension* menggunakan system pengendali *Robust PID*, LQR, dan *neural fuzzy approximator* sudah mendapatkan hasil yang maksimal, tetapi kekurangan yang masih terdapat pada 3 pengendali tersebut yaitu *overshoot* pada sistem. Disini penulis mencoba memperbaiki hasil penelitian menggunakan pengendali LQR dengan menambahkan pengendali PID untuk menghasilkan keluaran yang lebih optimal yaitu menghilangkan *overshoot* dari penelitian

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.

sebelumnya. Berdasarkan beberapa studi literatur mengenai kelebihan kombinasi pengendali LQR-PID telah dilakukan yaitu tentang pengaturan kecepatan pada simulator *parallel hybrid electric vehicle* menggunakan metode PID-LQR. Dimana pada penelitian ini ketika terjadi penurunan kecepatan, kontroler PID-LQR mampu mengontrol motor dc untuk membantu ICE agar dapat mempertahankan kecepatan nilai *steady state* dari ICE sehingga menghilangkan kesalahan 99,8%, dan pada hasil implementasi motor dc dapat juga membantu nilai ICE pada saat terjadi pembebanan sehingga kecepatan putar HEV mendekati *set point*, meskipun masih terdapat error *steady state* sebesar 28,8% pada kecepatan putar HEV.

Berdasarkan pada penelitian yang dirujuk dengan menggunakan pengendali LQR untuk pengendalian *web tension* pada *rewinder roll* masih terdapat *overshoot* pada sistem ini [7]. Oleh karena itu, pengendali LQR pada penelitian ini untuk membantu sistem ini dengan mengkombinasikannya dengan pengendali PID. Pengendali PID terdiri dari tiga macam pengendali yaitu *propotional*, *integral*, dan *derivative*. Dimana tiga pengendali tersebut disusun secara parallel. Pengendali *propotional* dapat mempercepat *rise time*, sedangkan pengendali *integral* dapat mereduksi *error steady state* yang dihasilkan oleh sistem, dan pengendali *derivative* mempercepat *settling time* serta dapat mereduksi *overshoot*.

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan di beberapa plant berbeda dengan menggunakan kombinasi pengendali LQR-PID dapat dilihat bahwa kombinasi pengendali LQR-PID menghasilkan keluaran yang lebih optimal maka dari itu penulis ingin menggunakan kombinasi pengendali LQR-PID untuk pengendalian *web tension* pada sistem *rewinder roll* agar keluaran sistem menghasilkan keluaran yang lebih optimal jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan pengendali LQR yaitu untuk mengurangi *overshoot* pada sistem *rewinder roll*. Dengan judul tugas akhir “**PERANCANGAN LQR-PID UNTUK MENOPTIMALKAN KINERJA WEB TENSION PADA SISTEM REWINDER ROLL**”

Hak Cipta Ditanggung 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.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pengendali PID pada pengendali LQR?
2. Bagaimana performansi pengendali LQR setelah ditambahkan pengendali PID dalam mengurangi *overshoot* pada sistem *Rewinder Roll*.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendesain pengendali LQR yang ditambahkan dengan pengendali PID
2. Untuk menghasilkan keluaran yang lebih optimal dengan menggunakan kombinasi LQR-PID jika dibandingkan dengan pengendali LQR saja
3. Untuk mengetahui hasil performansi ketika ditambahkan pengendali PID pada pengendali LQR untuk pengendalian *web tension* pada sistem *rewinder roll*

1.4 Batasan Penelitian

Agar pembahasan tidak terlalu luas, oleh karena itu peneliti membatasi masalah sebagai berikut :

1. Pemodelan sistem pengendalian *web tension* yang digunakan berdasarkan penelitian T. R. Biyanto [6].
2. Menggunakan software MATLAB R2014a untuk melakukan simulasi

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu :

1. Menghasilkan sebuah rancangan sistem kendali yang menggunakan pengendali LQR-PID untuk pengendalian *web tension*
2. dapat dijadikan referensi dalam mengaplikasikan sistem kendali di industri, serta dapat memberikan kemudahan dalam penyelesaian permasalahan umum yang terjadi pada proses *web tension*
3. dapat dijadikan sebagai referensi selanjutnya

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan studi literature yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang terkait dengan masalah yang akan diselesaikan. Beberapa penelitian terkait adalah sebagai berikut :

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian terkait *web tension*. Diantaranya adalah sistem pengendalian *web tension* menggunakan kontroler *Robust* PID. Dimana penelitian ini membandingkan kendali PID konvensional dengan pengendali *Robust* PID. Dari hasil percobaan dengan memakai pengendali *Robust* PID pengendali ini bekerja dengan baik disbanding dengan PID konvensional dan system ini menimbulkan osilasi. Namun, pengendali *Robust* PID ini masih memiliki *overshoot* sebesar 1,744% dan responya lambat mencapai *setpoint* [6].

Penelitian menggunakan *web tension* juga dilakukan dengan kendali optimal LQR. Pada penelitian ini respon waktu yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan. Dimana pengendali LQR dapat mempertahankan *steady state* dan mengurangi *overshoot* 1,5. Tetapi, pengendali ini masih terdapat *overshoot* pada system sebesar 0,5% dan error sebesar 0.0025 N [7].

Penelitian lainnya menggunakan *web tension* dengan menggunakan *adaptive force control*, pada penelitian ini menggunakan kendali *neural fuzzy approximator* untuk *gain scheduling* pada sistem kendali *web handling*. Berdasarkan pada penelitian ini mampu mencapai *steady state* ketika diberikan *setpoint gain scheduling* 0,1 dan 0,2 dengan waktu sekitar 6 detik. Pada penelitian ini juga terdapat osilasi namun lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan pengendali logika *fuzzy* [8].

Berdasarkan beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan peneliti sebelumnya, didapatkan bahwa beberapa sistem yang sudah dianalisa menggunakan beberapa pengendali. Oleh karena itu penulis tertarik untuk menambahkan pengendali PID pada pengendali LQR untuk mengatasi *overshoot* yang ditimbulkan pada sistem *Rewinder Roll*.

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.

Landasan Teori

2.2.1 Winder Machine

Winder Machine merupakan sebuah mesin yang ditempatkan setelah proses *dryer* untuk memotong gulungan kertas berdiameter besar (*jumbo roll*) menjadi gulungan yang berdiameter lebih kecil. *Winder Machine* memiliki fungsi utama yaitu melepaskan gulungan kertas pada kondisi tegangan kertas dari *jumbo roll* memotong kertas dengan lebar tertentu, dan menggulung kertas tersebut menjadi gulungan *roll* berdiameter kecil. Tahapan-tahapan yang terjadi pada *winder machine* diantaranya *unwind system*, *lead in roll*, *slitter section*, *trim system*, *guide rolls*, *spreader rolls*, *core chuck*, *rider roll*, *ejector and cradle*, *paper core leader*, *safety guard*, dan *threading system* [7]. Pada tahapan-tahapan inilah *web tension* berperan untuk memastikan keluaran dari *winder machine* memiliki hasil gulungan yang padat, tidak memnimbulkan *wrinkle*, dan seluruh permukaan kertas rata.



Gambar 2.1 *winder machine* [7]

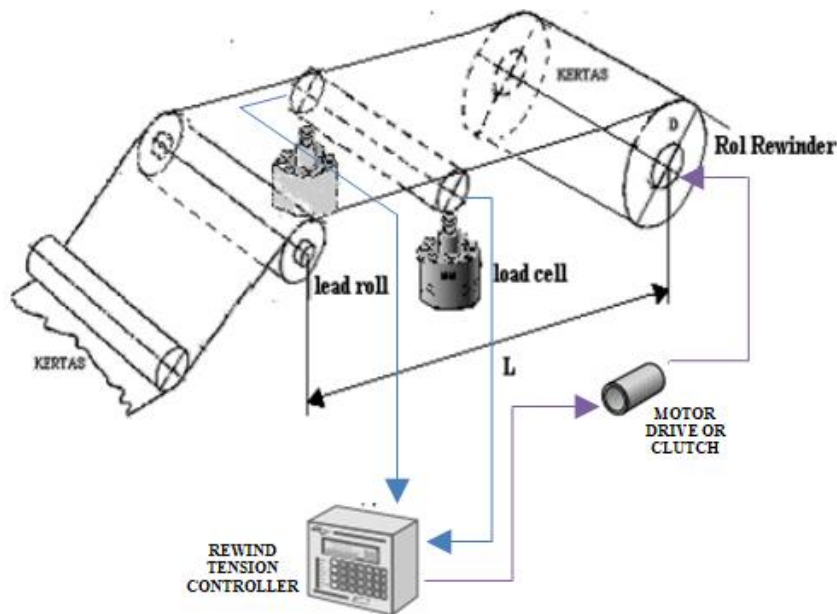


Gambar 2.2 *roll winder* mesin [7]

Hasil akhir dari *winder machine* disebut dengan *roll winder* dimana, pada *winder roll* kertas digulung kembali dengan diameter yang lebih kecil.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2.3 *rewinder roll* [6]

Proses pengendalian tegangan kertas terjadi ketika *load cell* yang berperan sebagai *transducer* melakukan pengukuran ketegangan kertas berdasarkan beban atau gaya yang dihasilkan dari tegangan kertas dalam proses penggulungan. *Load cell* ini terhubung ke perangkat yang menampilkan nilai ketegangan kertas (*rewind tension controller*) dan secara otomatis mengontrol torsi motor pada *roll rewinder*. Operator menginputkan pengaturan tegangan yang diinginkan (titik pengaturan tegangan) dan tindakan korektif yang tepat dilakukan secara otomatis dengan mengubah torsi motor pada *roll rewinder*. *Rewind tension controller* terus-menerus membandingkan titik pengaturan tegangan dengan tegangan aktual yang diukur oleh *load cell* dan secara otomatis mengambil tindakan korektif untuk memastikan bahwa nilai ketegangan kertas sesuai dengan yang diinginkan.

2.2.2 Permodelan Dinamika *web tension*

Web tension merupakan seperangkat peralatan pengendalian yang digunakan untuk mengontrol ketegangan kertas pada *rewinder roll* agar permukaan kertas menjadi rata dan hasil gulungan kertas menjadi padat. Hasil gulungan padat akan membuat kertas lebih tahan terhadap kelembapan dan tidak mudah rusak. Namun, jika kurangnya keakuratan dalam pengukuran ketegangan tarikan maka dapat menyebabkan kertas putus akibat tarikan terlalu besar atau gulungan kurang padat (*wrinkle*) akibat tarikan terlalu rendah [6]:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

1. Percepatan V_1 pada *lead roll* adalah konstan/tetap
2. Lebar melintang kertas adalah seragam
3. *Strain* / $\varepsilon \ll 1$
4. Kertas elastis
5. Kepadatan kertas tidak ada perubahan yaitu :

$$\rho = \rho_{u+1} \quad (2.1)$$

Permodelan dinamika kertas adalah sebagai berikut :

$$\frac{d}{dt}(\rho AL) = \rho_1 A_1 V_1 - \rho AV \quad (2.2)$$

Dimana :

ρ = Resistivitas

A = Luas permukaan pada lembaran kertas

L = Panjang kertas

V = Kecepatan

Persamaan 2.2 merupakan neraca massa untuk lebar kertas antara *lead roll* dan *rewinder roll*. $\frac{d}{dt}(\rho AL)$ menyatakan sebuah perubahan keseluruhan lembar kertas antara *lead roll* dan *rewinder roll* sedangkan $\rho_1 A_1 V_1 - \rho AV$ menunjukkan neraca material yang masuk ke *lead roll* dan material yang digulung pada *rewinder roll*.

Hukum elastisitas dan persamaan untuk menentukan ketegangan pada *plant* sebagai berikut :

$$\sigma = E\varepsilon + C \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad \sigma = \frac{T}{A} \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk menyatakan *strain*/tegangan dan kontinuitas massa dinyatakan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{L - L_u}{L_u} \rho AL = \rho_u A_u L_u \quad (2.4)$$

Untuk menentukan karakteristik dinamika torsi di daerah *rewinder* maka menggunakan persamaan 2.3 dan persamaan 2.4, dapat disederhanakan menjadi satu persamaan sebagai berikut :

$$L \frac{dT}{dt} = EA(V - V_1) + T_1 V_1 - TV + CA \frac{d}{dt}(V - V_1) \quad (2.5)$$

Dimana :

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.

- σ = Tegangan pada *web tension*
 ε = Regangan pada *web tension*
 L = Panjang antara *lead roll* dan *rewinder roll*
 E = Modulus elastisitas young pada kertas
 A = Luas melintang kertas
 V = Kecepatan kertas pada *rewinder roll*
 V_1 = Kecepatan kertas pada *lead roll*
 C = Modulus redaman kertas

Dengan penurunan rumus sebagai berikut :

$$L \frac{dT}{dt} = EA(V - V_1) - TV_1 + CA \frac{d}{dt}(V - V_1)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{EA(V - V_1) - TV_1 + CA \frac{d}{dt}(V - V_1)}{L}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{EA(V - V_1) + CA \frac{d}{dt}(V - V_1) - TV_1}{L}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{EA + CA \frac{d}{dt}}{L} (V - V_1) - \frac{TV_1}{L}$$

$$\frac{dT}{dt} + \frac{TV_1}{L} = \frac{EA + CA \frac{d}{dt}}{L} (V - V_1)$$

$$\left(\frac{d}{dt} + \frac{V_1}{L}\right) T = \frac{EA + CA \frac{d}{dt}}{L} (V - V_1) \quad (2.6)$$

Maka dari persamaan 2.6 diubah ke persamaan laplace sebagai berikut :

$$\left(s + \frac{V_1}{L}\right) T = \frac{EA + CAs}{L} (V - V_1)$$

$$\frac{EA + CAs}{L + \frac{V_1}{L}} = \frac{T}{(V - V_1)}$$

$$\frac{EA + CAs}{L + \frac{V_1}{L}} = \frac{T}{(V - V_1)}$$

Maka dari persamaan 2.6 didapatkan persamaan laplace sebagai berikut :

$$\frac{EA + CAs}{L + \frac{V_1}{L}} = \frac{T}{(V - V_1)} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 diatas mencerminkan dinamika yang domain dari daerah *rewinder* untuk disimulasikan serta dianalisa.

Bagian yang dimanipulasi meliputi motor, *gearbox*, dan *rewinder roll*.

Dengan menggunakan hukum Newton kedua persamaan *rewinder* adalah :

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.

$$\Sigma \tau(t) = J\alpha(t) \tag{2.8}$$

Dimana :

- α = Percepatan Rotasi
- J = Konstanta Inersia
- τ = Momen Putar atau Torsi

Gaya putar atau torsi masukan $\tau(t)$, yang diterapkan pada massa yang dapat diputar dengan inersia massa J , akan menyebabkan terjadi putaran dengan sudut putar $\theta(t)$, dengan kecepatan dan percepatan sudut putar sebesar $\omega(t)$ dan $\alpha(t)$. Adanya sifat-sifat fisik massa mekanik berputar, dapat menyebabkan timbulnya gaya-gaya putar (torsi) lawan, yaitu masing-masing torsi gesek viskos $\tau_b(t)$, dengan persamaan :

$$\tau_b(t) = B\omega(t) \tag{2.9}$$

Dimana :

- ω = Kecepatan Rotasi
- B = Koefisien Gesek
- τ_b = Momen Putar atau Torsi gesek

Maka persamaan 2.8 dan persamaan 2.9 dapat di jabarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Sigma \tau(t) &= J\alpha(t) \\ \tau(t) - \tau_b(t) &= J\alpha(t) \\ \tau(t) - B\omega(t) &= J\alpha(t) \\ \tau(t) &= J\alpha(t) + B\omega(t) \end{aligned} \tag{2.10}$$

selain itu hubungan antara kecepatan sudut putar $\omega(t)$ dan percepatan sudut putar $\alpha(t)$, dijabarkan dengan persamaan berikut :

$$\alpha(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} \tag{2.11}$$

Maka dari persamaan 2.11 yang di substitusikan ke persamaan 2.10 maka di dapatkan persamaan torsi yang dihasilkan motor yang kemudian di transfer untuk memutar beban, dapat dirumuskan sebagai berikut :

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.

$$\tau(t) = J\alpha(t) + B\omega(t)$$

$$\tau(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (2.12)$$

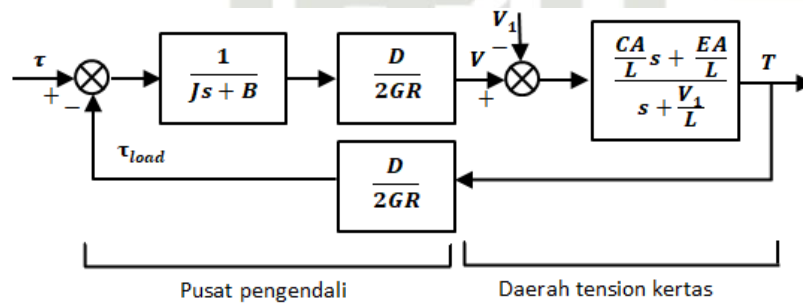
Maka dari persamaan 2.12 didapatkan persamaan laplace sebagai berikut :

$$\tau(t) = Js\omega(t) + B\omega(t)$$

$$\tau(t) = (Js + B)\omega(t)$$

$$\frac{\omega(t)}{\tau(t)} = \frac{1}{(Js + B)} \quad (2.13)$$

Berdasarkan persamaan 2.6 dan 2.13, blok diagram *web tension* dapat dilinierisasikan sebagai berikut :



Gambar 2.4 blok diagram *web tension* [6]

Berdasarkan blok diagram diatas didapatkan fungsi transfer orde dua dalam domain-s mulai dari torsi motor sampai *tension* lembar kertas adalah sebagai berikut :

$$\frac{T}{\tau} = \frac{\frac{D}{2GR} \frac{EA}{JL} \left(\frac{C}{E} s + 1 \right)}{s^2 + \left(\frac{B}{J} + \frac{V_1}{L} + \frac{D^2}{4GR^2} \frac{CA}{JL} \right) s + \frac{BV_1}{JL} + \frac{D^2}{4GR^2} \frac{EA}{JL}} \quad (2.14)$$

Dengan parameter yang digunakan :

Table 2.1 parameter *web tension* pada *rewinder roll* [6]

No.	Parameter	Keterangan	Nilai
1.	D	Diameter Rewinder Roll	1.056 m
2.	GR	Gear Ratio	3
3.	E	Modulus Elastisitas Young pada Kertas	1719 × 10 ⁶ N/m ²
4.	A	Luas Melintang Kertas	1.72 × 10 ⁻³ m ²
5.	J	Total Inersia pada Motor	144.967 kgm ²

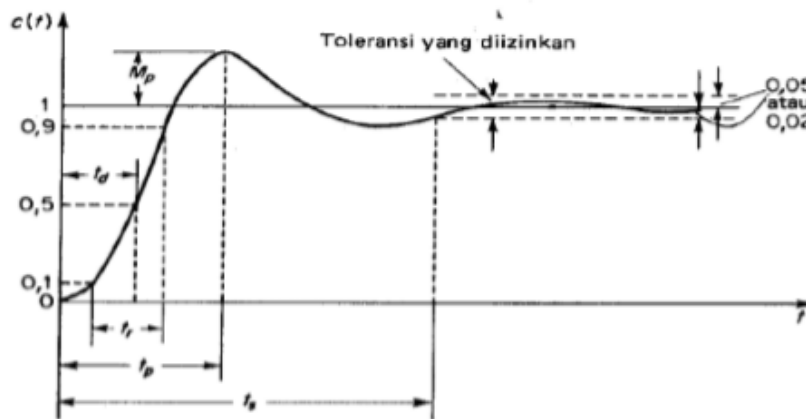
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

6.	L	Panjang antara Lead Roll dan Rewinder Roll	5 m
7.	C	Modulus Redaman Kertas	5 N sec/m ²
8.	B	Koefisien Gesek pada Motor Penggerak	2.25 × 10 ⁻³ m/rad /sec
9.	V ₁	Kecepatan Kertas Pada Lead Roll	152 m/sec

2.3 Identifikasi sistem

Identifikasi sistem yang mengacu pada *respons transient* sistem dalam kondisi *loop terbuka*. Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan step. Sistem yang digunakan pada pengaturan *web tension* pada *rewinder roll* merupakan sistem orde 2 yang ditunjukkan pada gambar berikut [9]:



Gambar 2.5 Respon Sistem Orde Dua [10]

Respon transient suatu sistem terhadap masukan tangga satuan tergantung transien terhadap variasi sistem, terdapat yang mudah yang biasa digunakan adalah syarat ketentuan awal standar bahwa sistem mula-mula diam dengan keluaran dan semua turunannya nol. Dengan demikian, karakteristik tanggapannya bias dengan mudah dibandingkan. Respon transien suatu sistem kendali secara praktek selalu menampilkan osilasi teredam saat sebelum menggapai kondisi tunaknya. Dalam menggolongkan karakteristik tanggapan transien suatu kendali terhadap masukan tangga satuan secara umum dikelompokkan sebagai berikut [11]:

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. Waktu Tunda (*delay time*)

Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali.

2. Waktu Naik (*rise time*)

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

3. Waktu Puncak

Waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak yang pertama kali.

4. *Overshoot* Maksimum (M_p)

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

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} 100\% \quad (2.8)$$

5. Waktu Tunak (*setting time*)

Setting time merupakan waktu yang dibutuhkan kurva reaksi untuk menggapai serta menetap dalam wilayah disekitar harga akhir yang ukurannya dengan persentase mutlak dari harga akhir (5% atau 2%)

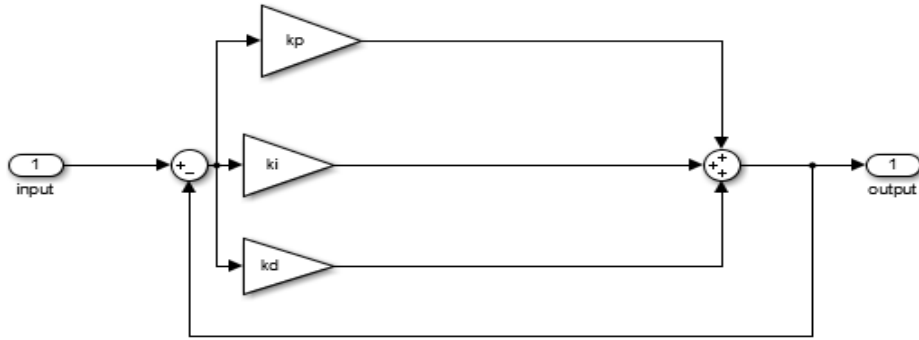
2.4 Sistem Kendali PID

Pengendali PID adalah pengendali paling umum digunakan pada industri seperti pada mesin cuci, mesin pompa air, sepeda motor, dll. Menurut survey, 97% mesin industry yang berkecimpungan dalam pengolahan industri menggunakan sistem pengendali PID sebagai pengendali utamanya [12]. Alasan menggunakan pengendali PID adalah karena algoritmanya sederhana sehingga mudah dipakai dan implementasi pada alat industri.

Sistem kendali *Proportional-Integrative-Derivative Controller* (PID) merupakan pengendali yang digunakan untuk menentukan presisi pada suatu sistem pengukuran dengan adanya umpan balik pada *setpoint* sistem tersebut. Pengendali PID mempunyai 3 komponen pengendali utama yaitu : kendali *Proportional* (P), *Integrative* (I), *Derivative* (D) yang memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri dan dapat saling membantu dalam mengerjakan suatu sistem.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2.6 Blok Diagram Pengendali PID

2.4.1 Pengendali Proportional (P)

Pengendali proporsional sering di simbol dengan P pada sistem kendali PID. Kontribusi pengendali P pada sistem, yaitu dapat menambah atau mengurangi tingkat kestabilan sistem, dapat menaikkan *rise time* dan setting time pada respon *transient* dan juga pengendali P dapat mengurangi *steady state error* sistem yang mana apabila kita menginginkan mengurangi error maka kita harus menaikkan nilai Kp-nya sehingga nilai kp-nya besar semakin tinggi nilai Kp-nya maka semakin berkurang errornya tapi dengan menaikkan nilai Kp maka sistem menjadi tidak stabil [13]. Pengendali P ini akan memberikan pengaruh langsung pada sistem yang sebanding dengan error. Adapun kekurangannya apabila apabila pengendali P terlalu tinggi maka semakin tinggi *overshoot* yang dihasilkan dan respon sistem akan berosilasi.

Persamaan pengendali proporsional sebagai berikut [11]:

$$u(t) = Kp (t) \tag{2.9}$$

2.4.2 Pengendali Integrative (I)

Pengendali integral biasanya disimbolkan dengan I pada pengendali PID. Pengendali I berfungsi untuk menghilangkan *steady state error* pada sistem sehingga respon sistem tidak mengalami osilasi. Dengan menggunakan hanya pengendali P sistem kadang tidak mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan maka dari itu dibantu dengan pengendali I. Kekurangan dari pengendali I adalah apabila nilai I terlalu tinggi maka membuat ketidakstabilan dalam sistem dan overshoot yang tinggi, dan juga pengendali I tidak bisa berdiri sendiri dengan artian pengendali I harus dibarengi dengan pengendali P.

Persamaan pengendali integrative sebagai berikut [11]:

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.

$$u(t) = Kie(t)dt \tag{2.10}$$

2.4.3 Pengendali Derivative (D)

Pengendali Derivatif biasanya disimbolkan dengan D. Besar *output* dari pengendali derivatif memiliki sifat seperti operasi diferensial pada umumnya. Pengontrol derivatif menggunakan kecepatan perubahan sinyal kesalahan sebagai parameter pengendali. Apabila tidak ada perubahan sinyal *error*, maka *output* dari pengendali derivatif tidak akan berubah [14]. Pengendali D berfungsi sebagai penurun *overshoot* dan meningkatkan kestabilan pada sistem. Kekurangan dari pengendali D adalah pengendali membuat *rise time* sistem semakin lama dan pengendali D tidak bisa berdiri sendiri.

Persamaan pengendali derivative sebagai berikut [11]:

$$u(t) = Kd \frac{du}{dt} e(t) \tag{2.11}$$

2.5 Pengendali Linear Quadratic Regulator (LQR)

Inti bahasan dalam kendali optimal yaitu menentukan sinyal kendali yang akan diproses untuk memenuhi batasan fisik sesuai dengan kinerja performansi yang kita inginkan. *Linear quadratic regulator* merupakan salah satu metode kendali yang menyelesaikan permasalahan pada regulator. Bentuk dan kendali LQR ini berupa sistem *linear* disebut juga kuadratik karena memiliki *cost function* yaitu kuadrat dan arena referensi sistem bukan fungsi waktu maka disebut regulator [15]. dari linearisasi didapatkan suatu plant linear dalam bentuk

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A_x + B_u \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \tag{2.12}$$

Keterangan :

- A : Matriks sistem
- B : Matriks *input*
- C : Matriks *output*
- y : *State output*
- x : *State* sistem
- u : *State input*

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.

Dalam perancangan kendali maksimal LQR, yang pertama merupakan memastikan matriks Q serta R yang berfungsi sebagai penentuan indeks performansi sistem, nilai matriks Q serta R di tentukan bersumber pada kriteria yang diinginkan dengan memakai indeks performansi [16].

$$J(t_0) = \frac{1}{2} S(T)x^2(T) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (Qx^2 + Ru^2) \quad (2.13)$$

Dengan syarat sebagai berikut :

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

Keterangan :

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

Sehingga diperoleh persamaan Hamilton berikut :

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

$$H(x, u, \lambda, t) = \frac{1}{2} (x^T Qx + u^T Ru) + \lambda^T (Ax + Bu) \quad (2.14)$$

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

1. Syarat perlu
 - a. Persamaan *state*

$$\dot{x} = \left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Qx + \left(\frac{\partial Qx}{\partial \lambda} \right)^T u = Ax + Bu \quad (2.15)$$

- b. Persamaan *costate*

$$\dot{\lambda} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Qx + \left(\frac{\partial Qx}{\partial x} \right)^T x + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^T Ru + \left(\frac{\partial Ru}{\partial x} \right)^T u \right] + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial x} \right)^T (Ax + Bu) + \left(\frac{\partial (Ax + Bu)}{\partial x} \right)^T \lambda - \dot{\lambda} = Qx + A^T \lambda \quad (2.16)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

c. Kondisi stationer

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial u} &= 0 \\ \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Qx + \left(\frac{\partial Qx}{\partial x} \right)^T x + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^T Ru + \left(\frac{\partial Ru}{\partial x} \right)^T u \right] + \left(\frac{\partial x}{\partial u} \right)^T (Ax + Bu) + \left(\frac{\partial (Ax + Bu)}{\partial u} \right)^T \lambda &= 0 \\ Ru + B^T \lambda &= 0 \\ u &= -R^{-1} B^T \lambda \end{aligned} \quad (2.17)$$

2. Syarat batas

a. Batas awal

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

b. Batas akhir

$$(\phi_x + \psi_x^T v - \lambda)^T dx|_T + (\phi_t + \psi_t^T v - H) dt|_{t=T} = 0 \quad (2.18)$$

Karena $\psi = 0$ dan

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

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

Sehingga diperoleh persamaan

$$\begin{aligned} (S(T) x(T) + v \cdot 0 - \lambda)^T dt|_{t=T} &= 0 \\ S(t) x(t) &= \lambda(t) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Dari persamaan *costate* dan 2.19, keduanya mengandung variabel λ . Ketika keduanya disubstitusikan maka akan menghasilkan persamaan :

$$\begin{aligned} S(t) x(t) &= \lambda(t) \\ \dot{\lambda}(t) &= \dot{S}(t) x(t) + S(t) \dot{\lambda}(t) \\ \dot{\lambda}(t) &= -Qx - A^T \lambda \\ \dot{S}(t) x(t) + S(t) \dot{\lambda}(t) &= -Qx - A^T \lambda \\ \dot{S}(t) x(t) + S(t) \{Ax + Bu\} &= -Qx - A^T \lambda \\ \dot{S}(t) x(t) + S(t) \{Ax + B(-R^{-1} B^T \lambda)\} &= -Qx - A^T \lambda \\ -\dot{S} &= (A^T S + SA - SBR^{-1} B^T S + Q)x \\ -\dot{S} &= A^T S + SA - SBR^{-1} B^T S + Q \end{aligned} \quad (2.20)$$

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.

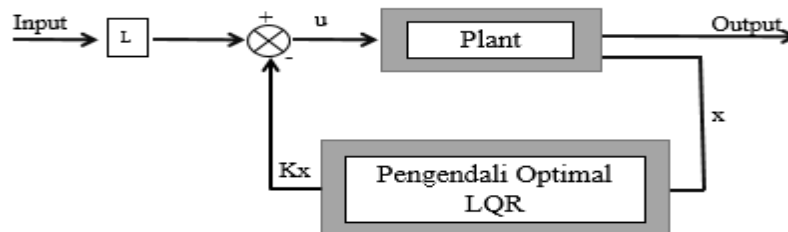
Persamaan 2.20 disebut persamaan diferensial riccati. Untuk $\dot{\lambda} = 0$ persamaannya disebut *Algebraic Riccati Equation* (ARE) [17]. Dengan didapatkan matrik S dari persamaan ARE ini sehingga persamaan sinyal kendali pun dapat di hitung :

$$u = -R^{-1}B^T \lambda = -R^{-1}B^T Sx = -Kx \quad (2.21)$$

Maka konstanta umpan balik keadaan K dapat dicari sevelum menghasilkan sinyal kendali pada persamaan 2.22 [16].

$$K = R^{-1}B^T S \quad (2.22)$$

Dimana nilai S ialah unik, pemecahan semi definit positif buat persamaan ARE harus memenuhi ketentuan persamaan 2.15. Selanjutnya dalam perancangan metode kendali optimal LQR, sehabis nilai S diketahui sampai nilai S tersebut disubtitusikan kedalam persamaan 2.17. Sehingga didapatkan nilai matriks maksimal K, dengan K ialah *Gain State Feedback*, sehingga sistem kendali optimal LQR hasil desain dapat di perlihatkan pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.7 Sistem Kendali dengan Skema Kendali Optimal LQR [16]

Dari hasil desain diatas dapat kita simpulkan bahwa tahap-tahap untuk merancang pengendali LQR adalah sebagai berikut :

1. Apabila persamaan matematis masih dalam wujud transfer fungsi, ganti wujud transfer guna *plant* nonlinier jadi wujud *state space* dan dapatkan matriks A, B, C dan D dari persamaan tersebut.
2. Tentukan matriks pembobot Q dan R. dimana matriks Q dan R memiliki sifat yang berbeda yaitu :
 - a. Apabila nilai matriks Q semakin besar, maka nilai elements matriks *gain* yang dihasilkan akan membesarkan kendali dan mempercepat respon untuk mencapai *steady state*.

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.

b. Apabila nilai matrik R semakin besar, maka elements *gain* akan memperkecil dan memperlambat nilai *steady state*.

3. Kemudian selesaikanlah persamaan aljabar riccati sehingga mendapatkan hasil matriks S yang definit positif.

2.6 Kriteria Integral Menggunakan Integral of Absolute Error (IAE)

Kriteria integral membutuhkan data tanggapan mulai dari $t = 0$ hingga mencapai keadaan tunak. Kriteria ini didasarkan pada seluruh tanggapan dari proses yang bersangkutan. Kriteria integral yang digunakan pada penelitian ini adalah kriteria IAE (*integral 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 lup tertutup. Kriteria IAE lebih populer dikalangan praktisi industri sebab mudah dalam pemakaiannya serta sangat cocok untuk menekan error [18]

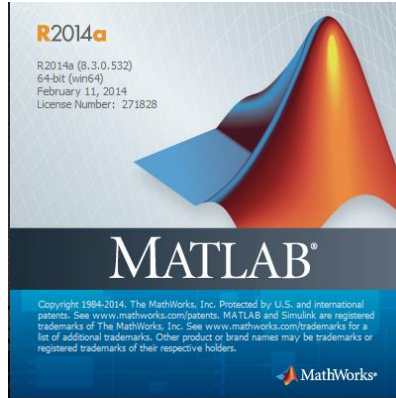
2.7 Metode *Heuristic*

Metode *heuristic* adalah suatu aturan metode untuk menyelesaikan masalah secara penalaan. Rancangan metode *heuristic* ini didapatkan dengan cara dengan perubahan parameter yang dicocokkan dengan kinerja *plant* yang akan kita kendalikan. Untuk perancangan sistem pengendali PID dilakukan dengan pencarian nilai dari besar k_p , k_i , dan k_d dengan melalui beberapa tahapan yaitu dimana penalaan parameter pengendali dimulai hanya dengan menggunakan pengendali P, selanjutnya ditambahkan dengan pengendali I, dan yang terakhir ditambahkan pengendali D. pemberian nilai pada parameter yang disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh.

MATLAB (Matrix Laboratory) adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahah pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks [19].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2.8 Ikon Matlab

MATLAB merupakan merk *software* yang dikembangkan oleh Mathworks.Inc dimana, dalam software ini menggunakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks dan sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Sehingga Matlab banyak digunakan pada Matematika dan Komputansi, Pengembangan dan Algoritma, Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototype, Analisa Data ,Eksplorasi dan visualisasi, Analisis numerik dan statistic, dan Pengembangan aplikasi teknik [19].

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

1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Current Directory* berfungsi untuk menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab
3. *Command history* berfungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat kembali.
4. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

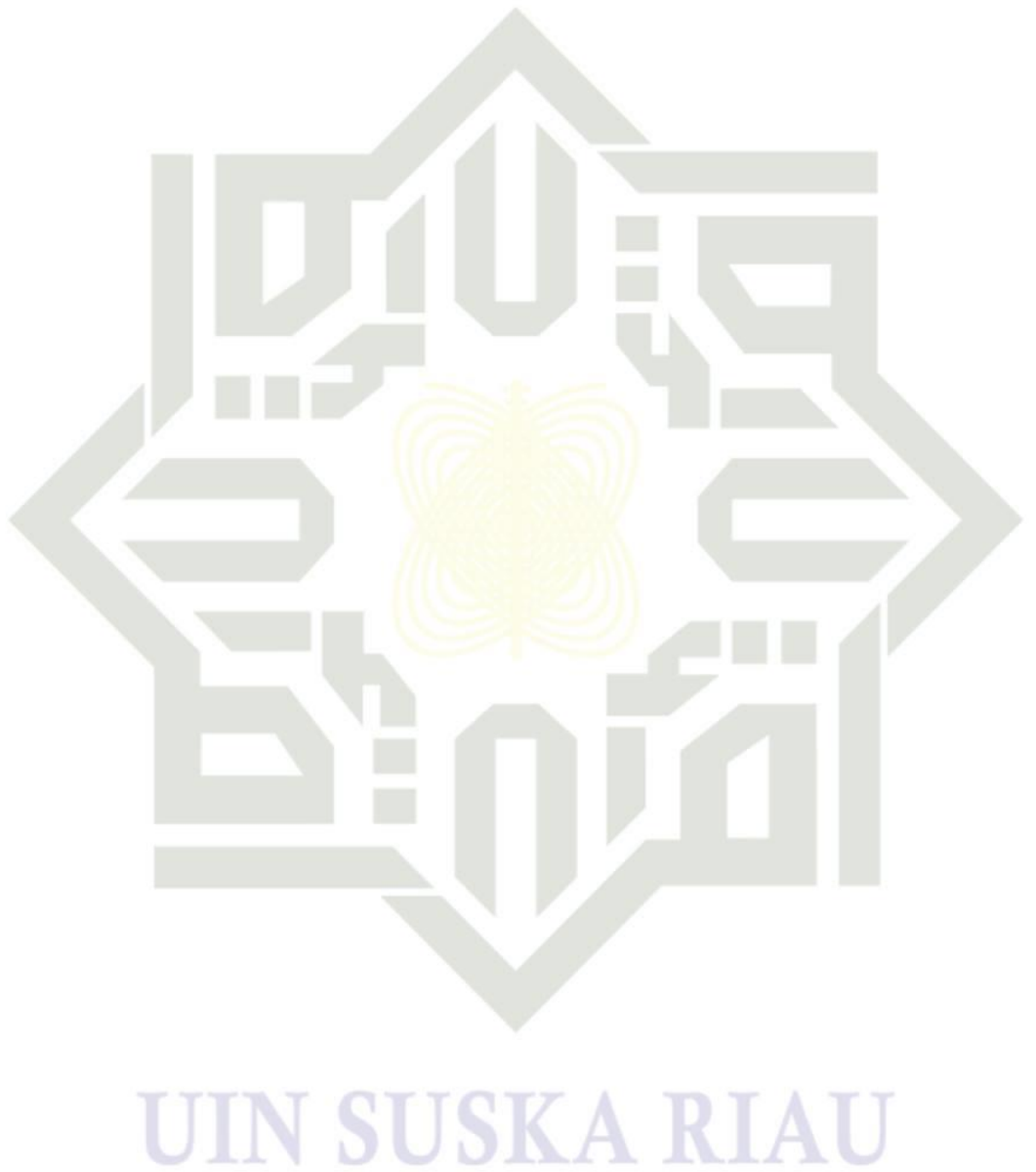
Pada penelitian ini dilakukan pemograman modeling dan simulasi untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan. fitur matlab yang digunakan untuk simulasi ini disebut *Simulink*.

Simulink adalah salah satu bagian dari Matlab program dimana *simulink* dapat digunakan untuk mensimulasi sistem, dalam artian mengamati dan menganalisa perilaku dari sebuah tiruan sistem yang sudah di modelkan. Tiruan sistem

Diharapkan memiliki perilaku yang sangat mirip dengan sistem fisik. Bila digunakan dengan benar, simulasi hendak membantu proses analisis dan desain sistem [20].

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.



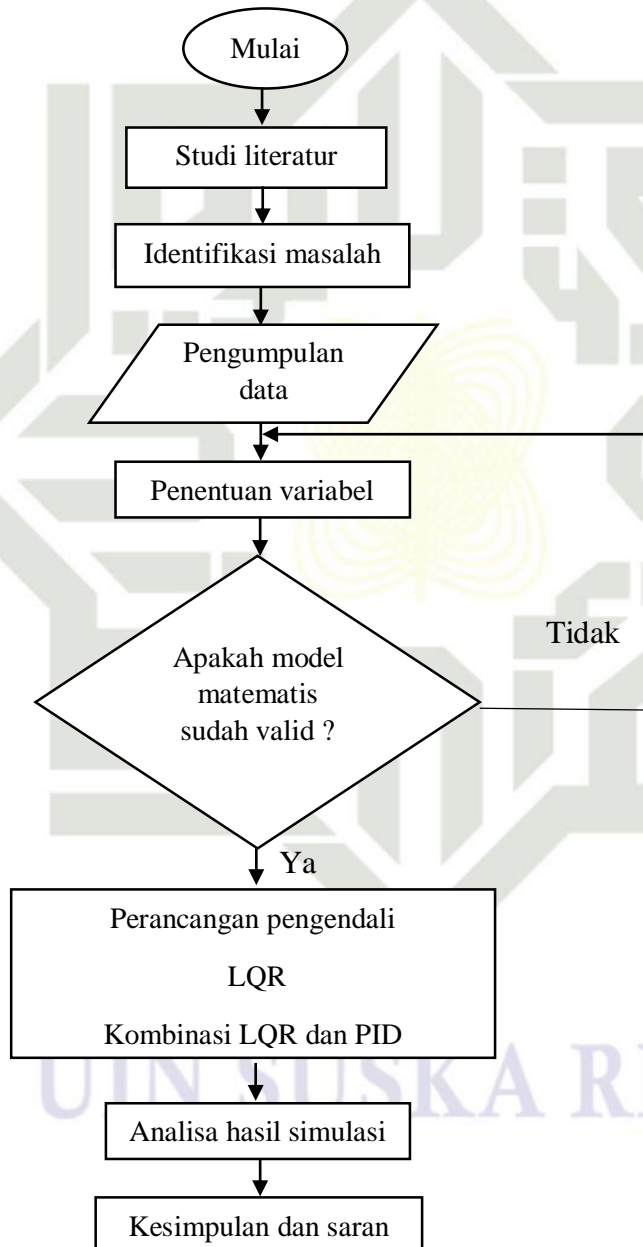
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

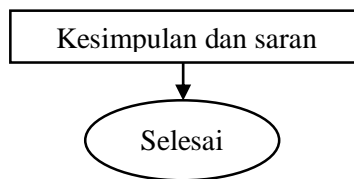
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan ataupun langkah-langkah yang penulis lakukan, mulai dari studi literature hingga hasil akhir dalam penelitian tugas akhir ini. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan oleh penulis:





Gambar 3.1 *Flowchart* Alur Penelitian

Tahap Penelitian

Berdasarkan *flowchart* penelitian diatas, supaya riset yang dilakukan dapat dapat menggapai tujuan yang diharapkan, hingga tahapan yang harus dilakukan sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Adapun masalah yang dinaikan dalam riset tugas akhir ini merupakan performansi sistem memakai perancangan LQR

2. Studi Literatur

Tahapan berikutnya ialah studi literature dimana dalam tahapan ini peneliti mencari serta mempelajari penelitian terkait dari sebagian rujukan baik dari buku, jurnal, *paper* atau sumber lainnya. Adapun perihal yang dipelajari merupakan pemodelan matematis *web tension* pada *rewinder roll*, pengendali *Linear Quadratic Regulator* (LQR) dan pengendali PID.

3. Pengumpulan Data

Pada sesi ini data-data yang terkait hendak dikumpulkan untuk mengenali karakteristik dari sistem yang hendak diteliti meliputi informasi *setpoint* sebesar 0,5N serta data-data yang berhubungan dengan perancangan pengendali data ketetapan *transfer function* sistem yang hendak diuji yaitu *web tension* pada *rewinder roll*

$$TF = \frac{a}{bs^2 + cs + d} \quad (3.1)$$

4. Penentuan variabel

Sehabis didapatkan nilai tiap-tiap variabel pada tahap pengumpulan data, maka berikutnya variabel-variabel tersebut disubsitusikan kedalam pemodelan matematis sistem dalam bentuk persamaan *transfer function*.

5. Validasi model matematis

Validasi model matematis sistem merupakan tahap pengujian model matematis dalam bentuk *transfer function* dari sistem yang diganti kedalam

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.

bentuk bahasa pemrograman *matlab Simulink*. Apakah hasil keluaran telah cocok dengan rujukan *web tension* pada *rewinder roll*.

Perancangan pengendali

Penelitian ini memakai pengendali LQR yang dikombinasikan dengan PID. Untuk merancang pengendali LQR, terlebih dahulu dilakukan penurunan matematis pengendali LQR. berikutnya melaksanakan perancangan pengendalian PID serta mengkombinasikan pengendali LQR dengan pengendali PID.

Analisa hasil

Analisa hasil dapat untuk melihat respon keluaran sistem yang meliputi *rise time*, *setting time*, serta *error steady state* dari perancangan apakah hasil responnya sudah sesuai yang diharapkan.

8. Kesimpulan dan saran

Setelah dilakukan analisa hasil dan tujuan tercapai hingga penelitian yang dilakukan berhasil dan dapat ditarik kesimpulan dari penelitian. Dan memberikan saran-saran yang bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

3.3 Perubahan Pemodelan Matematis Ke Fungsi Transfer

Berdasarkan persamaan 2.7 model fungsi alih sistem *rewinder roll*, dengan memasukkan nilai- nilai parameter yang terdapat pada tabel 2.1 maka, didapatkan *transfer function* sebagai berikut :

$$= \frac{\frac{1.056 \text{ m}(1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2) \times (1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}{2(3)} \frac{144.967 \text{ kgm}^2 \times 5 \text{ m}}{144.967 \text{ kgm}^2 \times 5 \text{ m}} \left(\frac{5 \text{ N sec/m}^2}{1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2} s + 1 \right)}{s^2 + \left(\frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ N m/rad/sec}}{144.967 \text{ kgm}^2} + \frac{152 \text{ m/sec}}{5 \text{ m}} + \frac{1.056^2}{4(3)^2} \times \frac{5 \text{ N sec/m}^2 \times 1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{144.967 \text{ kgm}^2 \times 5 \text{ m}} \right) s + \frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ N m/rad/sec}}{144.967 \text{ kgm}^2} \times \frac{152 \text{ m/sec}}{5 \text{ m}} + \frac{1.056^2}{4(3)^2} \times \frac{1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \times 1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{144.967 \text{ kgm}^2 \times 5 \text{ m}}} \quad (3.2)$$

$$= \frac{2.088 \times 10^{-6} s + 717.922}{s^2 + 31.9885s + 173.535237} \quad (3.3)$$

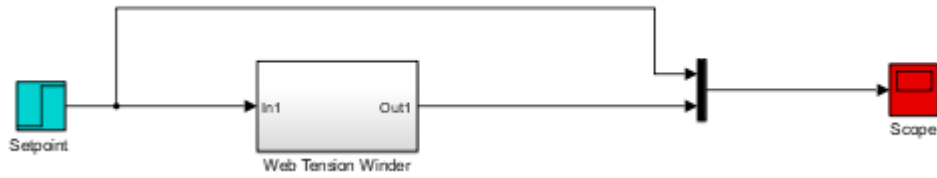
3.4 Validasi Pemodelan Matematis

Validasi pemodelan matematis untuk sistem *rewinder roll* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Simulink Matlab R2014a* dimana sistem disimulasikan secara *open loop* dengan memasukkan nilai yang telah didapatkan dari persamaan 2.7.

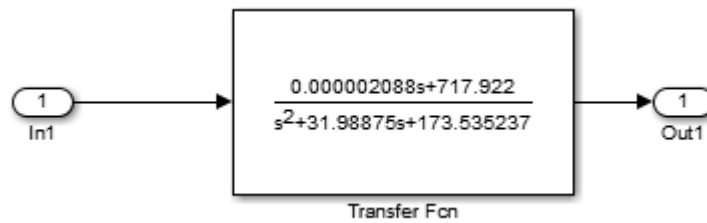
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

Pada blok diagram simulasi dinamika sistem pada unit *rewinder roll* akan dimodelkan dalam bentuk single input dan single output, yang mana torsi motor sebagai *manipulated variable* (input) dan *tension* sebagai *process variable* (output). Seperti pada gambar berikut :

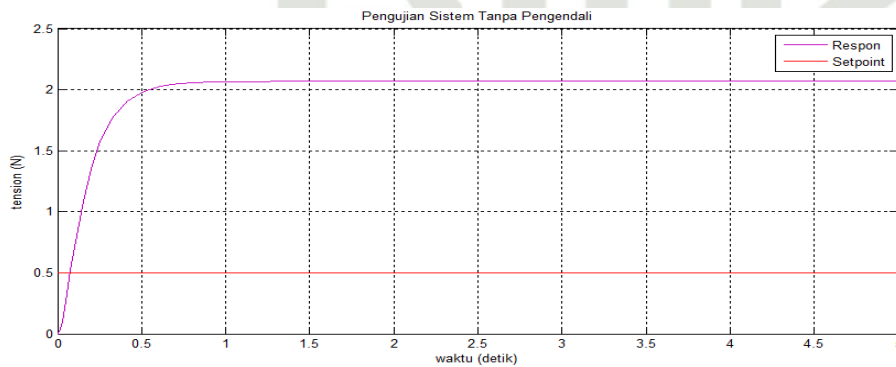


Gambar 3.1 diagram blok *open loop Rewinder Roll*



Gambar 3.2 Subsistem blok *Rewinder Roll*

Setelah merancang diagram blok *Simulink* sistem tersebut, maka sistem disimulasikan dan menghasilkan grafik yang menyatakan respon keluaran sistem secara *open loop*. Grafik respon keluaran sistem dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.3 Grafik keluaran *open loop Rewinder Roll*

Berdasarkan grafik hasil pengujian sisten tanpa pengendali diatas terlihat bahwa respon keluaran sistem stabil namun, sistem tidak dapat mengikuti nilai *setpoint* yang diharapkan. Pada gambar 3.4 diatas menunjukkan nilai *setpoint* sebesar 0.5 N namun hasil respon keluaran sistem menunjukkan nilai melebihi nilai 0.5 N dalam waktu kurang dari 1 detik untuk mencapai keadaan stabil.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Perancangan Pengendali

3.5.1 Perancangan Pengendalian *Linear Quadratic Regulator* (LQR)

Untuk keperluan perancangan kendali optimal LQR, *transfer function* diubah dalam bentuk *state space* sebagai berikut :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2.088 \times 10^{-6} s + 717.922}{s^2 + 31.98875s + 173.535237}$$

Setelah fungsi alih didapatkan selanjutnya kita akan mengubah kebentuk transformasi *laplace* sebagai berikut :

$$2.088 \times 10^{-6} s U(s) + 717.922 U(s) = s^2 Y(s) + 31.98875 s Y(s) + 173.535237 Y(s)$$

Setelah kita mendapatkan transformasi *laplace* kemudian diturunkan dengan metode *inverse transformasi laplace* balik sehingga diperoleh persamaan differensial orde dua sebagai berikut :

$$2.088 \times 10^{-6} \frac{du}{dt} + 717.922 u = \frac{d^2 y}{dt^2} + 31.98875 \frac{dy}{dt} + 173.535237 y$$

$$2.088 \times 10^{-6} \dot{u} + 717.922 u = \ddot{y} + 31.98875 \dot{y} + 173.535237 y$$

$$\ddot{y} + 31.98875 \dot{y} + 173.535237 y = 2.088 \times 10^{-6} \dot{u} + 717.922 u$$

$$\ddot{y} = -31.98875 \dot{y} - 173.535237 y + 2.088 \times 10^{-6} \dot{u} + 717.922 u$$

Didefinisikan variabel *state* :

$$x_1 = y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y}$$

$$x_2 = \dot{y} \rightarrow \dot{x}_2 = \ddot{y} = -31.98875 \dot{y} - 173.535237 y + 2.088 \times 10^{-6} \dot{u} + 717.922 u$$

Sehingga diperoleh persamaan *state space* sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -173.535237 & -31.98875 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2.088 \times 10^{-6} \end{bmatrix} \dot{u} + \begin{bmatrix} 0 \\ 717.922 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Dan persamaan *output* :

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Dari persamaan *state space* (3.5) dan persamaan *output* (3.6) maka dapat ditentukan matrik *state space* A, B, C, dan D sebagai berikut :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -173.535237 & -31.98875 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2.088 \times 10^{-6} & 717.922 \end{bmatrix}$$

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.

$$H = [1 \quad 0]$$

$$Q = [0]$$

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

Tabel 3.1 matrik R konstan dengan analisa IAE

NO.	Matriks R	Matriks Q	IAE
1	[1]	$\begin{bmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.952
2	[1]	$\begin{bmatrix} 0.02 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.903
3	[1]	$\begin{bmatrix} 0.03 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.855
4	[1]	$\begin{bmatrix} 0.04 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.807
5	[1]	$\begin{bmatrix} 0.05 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.759
6	[1]	$\begin{bmatrix} 0.06 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.71
7	[1]	$\begin{bmatrix} 0.07 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.622
8	[1]	$\begin{bmatrix} 0.08 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.614
9	[1]	$\begin{bmatrix} 0.09 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.565
10	[1]	$\begin{bmatrix} 0.1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.517
11	[1]	$\begin{bmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.034
12	[1]	$\begin{bmatrix} 0.3 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	3.551
13	[1]	$\begin{bmatrix} 0.4 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	3.068

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.

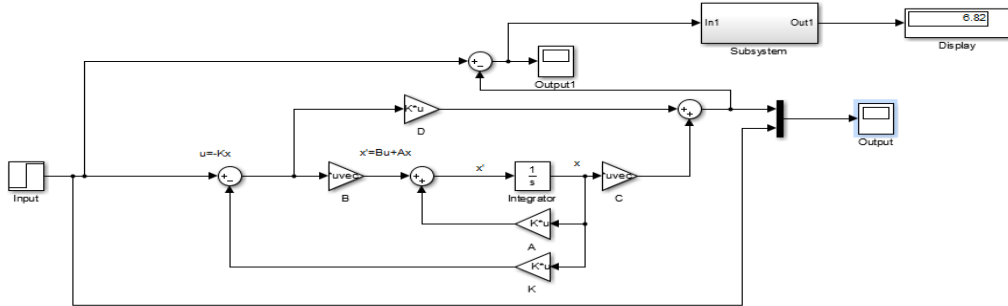
14	[1]	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	2.585
15	[1]	$\begin{bmatrix} 0.6 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	2.102
16	[1]	$\begin{bmatrix} 0.7 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	1.619
17	[1]	$\begin{bmatrix} 0.8 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	1.136
18	[1]	$\begin{bmatrix} 0.9 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	0.6535
19	[1]	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	0.1705
20	[1]	$\begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	4.693
21	[1]	$\begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	9.514
22	[1]	$\begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	14.34
23	[1]	$\begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	19.17

Pada tabel percobaan 3.1 dilakukan *trial and error* dengan memasukkan nilai matrik Q yaitu $\begin{bmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ kemudian didapatkan nilai IAE namun respon keluaran sistem melebihi set point. Selanjutnya dilakukan penambahan nilai matrik Q sebesar 0.1, nilai IAE semakin kecil namun respon keluaran sistem masih melebihi *set point*. Penambahan terus dilakukan sebesar 0.1, sampai pada matrik Q = $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ pada matrik ini respon keluaran sistem telah mencapai *set point* dan didapatkan nilai IAE. Selanjutnya dilakukan penambahan nilai matrik Q sebesar 1, namun nilai IAE semakin besar dan respon keluaran sistem tidak mencapai *set point*. Penambahan terus dilakukan sampai pada matrik Q = $\begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ nilai IAE lebih besar dari pada matrik Q = $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ dan respon keluaran sistem semakin tidak mencapai *set point*. Sehingga dilakukan perancangan pengendali LQR dengan menggunakan nilai matrik Q = $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, matrik R = [1] dan nilai IAE = 0.1705.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Perancangan pengendali LQR adalah berdasarkan penurunan persamaan matematis LQR pada BAB 2. Sehingga berdasarkan turunan matematis dan skema LQR yang sudah didapat akan dibuat ke simulink. Blok-blok Simulink pengendali LQR pada sistem *rewinder roll* diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 3.4 Diagram Blok Pengendali LQR

Adapun program M-filenya adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar (3.6) dibawah ini :

```

Editor - D:\proposal TA\koding.m
koding.m
1 - A=[0 1 ; -173.535237 -31.98875] ;
2 - B=[0; 0.000002088]+[0; 717.922] ;
3 - C=[1 0] ;
4 - D=[0] ;
5 - R=[1] ;
6 - Q=[0.942 0;0 0] ;
7 - N=[0] ;
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
    
```

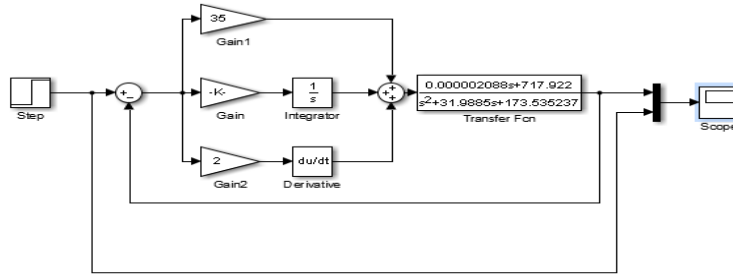
Gambar 3.5 Tampilan Program

3.5.2 Perancangan Pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID)

Bersumber pada studi literatur yang telah ditetapkan sampai desain pengendali PID dapat dibuat dengan bentuk *Simulink* yang ada pada gambar (3.7) dengan memasukkan nilai *transfer function* yang diperoleh dari sistem *web tension* dengan kondisi set point 0.5 yang telah dimasukkan kedalam blok desain pengendali PID. Penentuan nilai K_p , K_i an K_d diperoleh dengan memakai metode *heuristic* untuk memperoleh nilai parameternya dimana, metode ini dilakukan secara penalaan yang disesuaikan dengan kinerja plant yang dihasilkan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

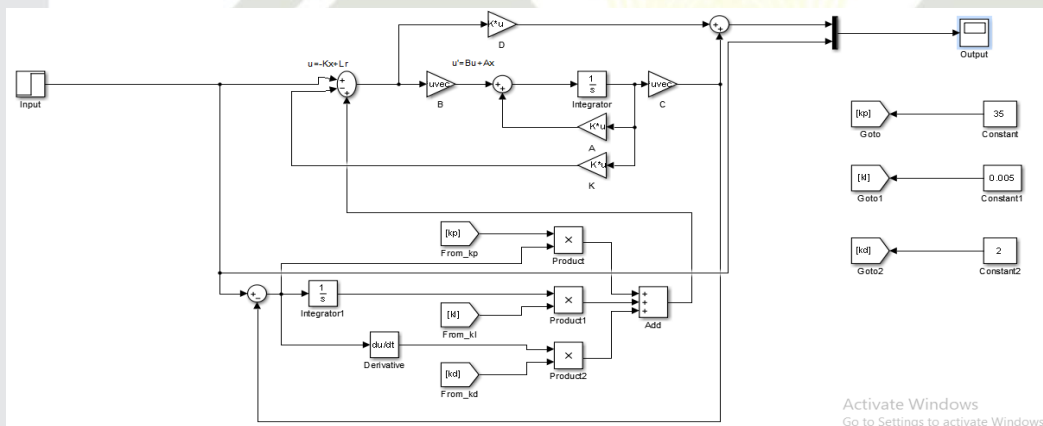


Gambar 3.6 Blok Diagram Pengendali PID

3.5.3 Perancangan Pengendali LQR-PID

Setelah mendapatkan serta menekuni desain pengendali LQR dan desain pengendali PID sampai dapat mengombinasikan pengendali maksimal LQR dan pengendali PID biar kinerja dari pengendali LQR jadi lebih baik serta optimal.

Nilai parameter PID dituning mengenakan metode *heuristic*, terdapat pula tabel *heuristic* parameter PID terdapat pada lampiran. Sehingga didapatkan nilai $K_p = 35$, $K_i = 0.005$, $K_d = 2$. Blok diagram desain pengendali LQR-PID pada sistem *rewinder roll* sebagai berikut :



Gambar 3.7 Blok Diagram Pengendali LQR-PID

Adapun program M-file adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar (3.10) dibawah ini :

```

Editor - D:\proposal TA\koding.m
koding.m
1 - A=[0 1 ; -173.535237 -31.98875] ;
2 - B=[0; 0.000002088]+[0; 717.922] ;
3 - C=[1 0] ;
4 - D=[0] ;
5 - R=[1] ;
6 - Q=[0.942 0;0 0] ;
7 - N=[0] ;
8 - sys=ss(A,B,C,D)
9 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R,N)
    
```

Gambar 3.8 Tampilan Program

BAB V

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa pengendali LQR dengan kombinasi pengendali PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* dalam mengatasi *overshoot* pada sistem *rewinder roll* dapat dikatakan berhasil karena pada penelitian ini pengendali LQR-PID tidak memiliki *overshoot* sama sekali serta mampu menghasilkan respon yang cepat dari penelitian sebelumnya dengan nilai *settling time* 0.2242 detik, *rise time* 0.683 detik, *error steady state* 0 N dan *overshoot* 0 N.

Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, untuk penelitian selanjutnya bisa digunakan dengan pengendali yang berbeda. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai PID yaitu metode heuristic, sehingga dalam proses *tunning* membutuhkan waktu yang sangat lama sehingga, untuk proses penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan pengendali seperti JST, MPC, dan lain lain agar dapat dilakukan perbandingan.

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 PUSTAKA

- [1] Siagian, "SIMULASI MATLAB UNTUK PERANCANGAN PID CONTROLLER," *Jurnal PROCESSOR*, vol. 6, no. 1, pp. 51-60, Februari 2011.
- [2] M. Ikhsan, "Pengembangan Material Kertas Menggunakan Serat Sekam Padi dengan Variasi Konsentrasi NaOH 10%, 15%, dan 20%," 2018.
- [3] "[6] Parlaungan. "Quality Control Untuk Produksi Kertas PT X Paper Products Menggunakan Metode Six Sigma", Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, 2011," 2011.
- [4] A. Ihwah, "PENGENDALIAN MUTU STATISTIK PRODUK AKHIR PAPERBOARD (STUDI KASUS PT SURYA PAMENANG KEDIRI JAWA TIMUR)," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 29 (1):19- 26 (2019), 2019.
- [5] dkk, "PENERAPAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL DALAM MENGENDALIKAN KUALITAS KERTAS BOBBIN (Studi Kasus : PT. Pusaka Prima Mandiri)," *Buletin Utama Teknik*, vol. 14, Januari 2018.
- [6] T. R.Biyanto, "Sistem Pengendalian Web Tension Menggunakan Kontroler," *JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 7, oktober 2005.
- [7] S. Jamil, "DESAIN PENGENDALIAN WEB TENSION PADA ROLL WINDER MENGGUNAKAN KENDALI OPTIMAL LQR," 2018.
- [8] A. Kadik, "Adaptive Force Control of in Web Handling Systems," *Intelligent Control and Automation*, 12.
- [9] "Teknik Listrik Industri Jilid 2," 2008.
- [10] K. K, "Teknik Kontrol Automatik jilid 1," jakarta, Erlangga, 1995.
- [11] K. K, "Modern Control Engineering," 5 ed., prentice hall, 2010.
- [12] Setiawan, Kontrol PID untuk industri 2008.
- [13] . "APLIKASI KONTROL PID DENGAN SOFTWARE MATLAB," *Jurnal Teknik*, vol. 4, 2015.
- [14] Priyono, "Aplikasi Kontrol PID dengan Software Matlab," *Jurnal Teknik*, vol. 1, 2015.
- [15] Pavel Jakoubek, "Experimental Identification of Stable Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Methods," 2009.
- [16] Lewis, Optimal Control, 1995.

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.

- [17] Mursyitah, "Pengendalian Posisi Sistem Magnetic Levitation Ball Menggunakan Pengendali Optimal Metode Linear Quadratic Regulator (LQR)," 2018.
- [18] Ogata, "Teknik Kontrol Automatic Edisi 2 Jilid 1", Jakarta: Prentice Hall, 1970.
- [19] B. Cahyono, "PENGUNAAN SOFTWARE MATRIX LABORATORY (MATLAB) DALAM PEMBELAJARAN ALJABAR LINIER," *jurnal phenomenon*, vol. 1, juli 2013.
- [20] M. Kadaffi, Penerapan simulink untuk simulasi, fakultas teknik industri universitas mercu buana jakarta, 2011.
- [21] M. ali, "PEMBELAJARAN PERANCANGAN SISTEM KONTROL PID," *Jurnal Edukasi@Elektro*, vol. 1, oktober 2004.
- [22] . fernaza, "Studi Metoda Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) dan Aplikasinya pada Sistem Automatic Voltage Regulator (AVR)".

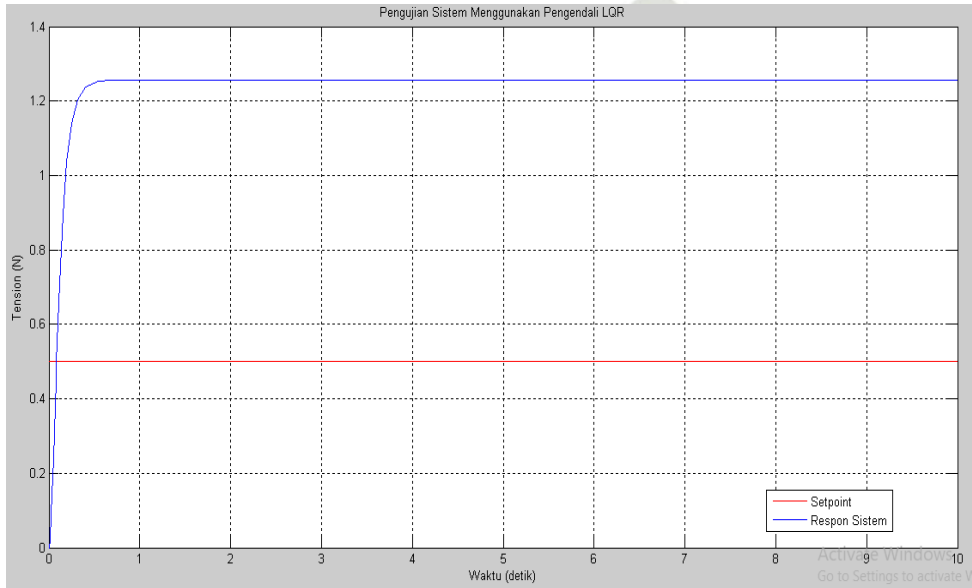
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

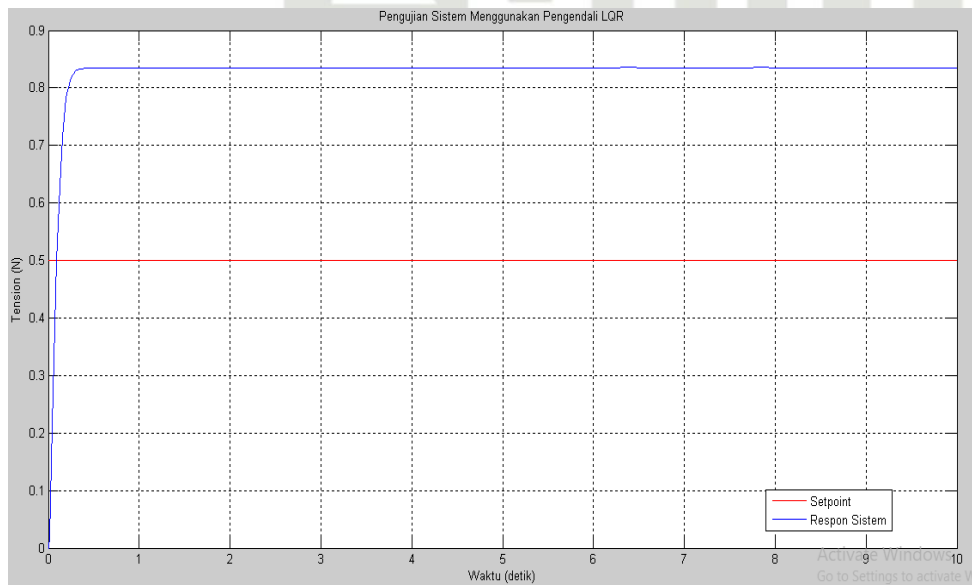
LAMPIRAN A

PROSES TUNNING LQR PADA MATRIKS Q DAN R UNTUK MENGOPTIMALKAN KINERJA *WEB TENSION* PADA SISTEM *REWINDER* *ROLL*

1. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.1$ dan $R=1$



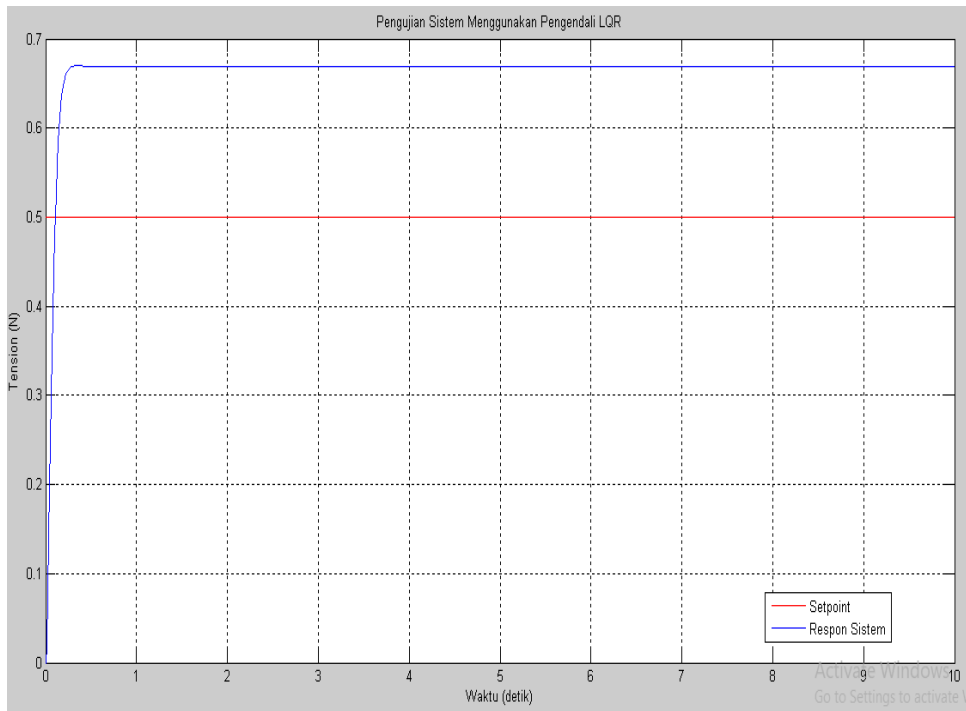
2. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.3$ dan $R=1$



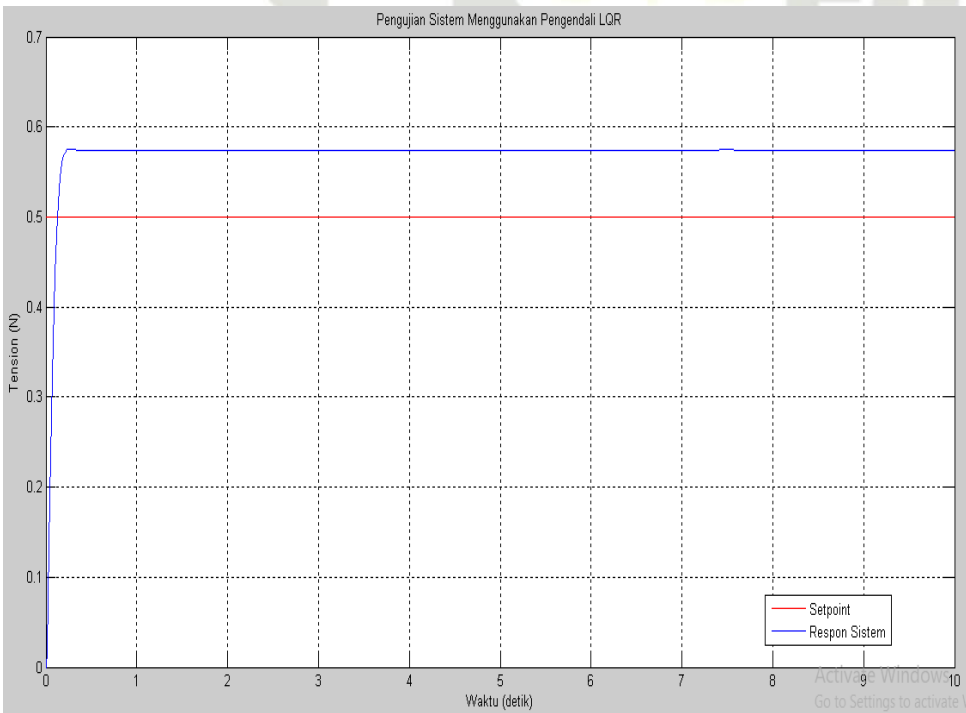
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

3. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.5$ dan $R=1$



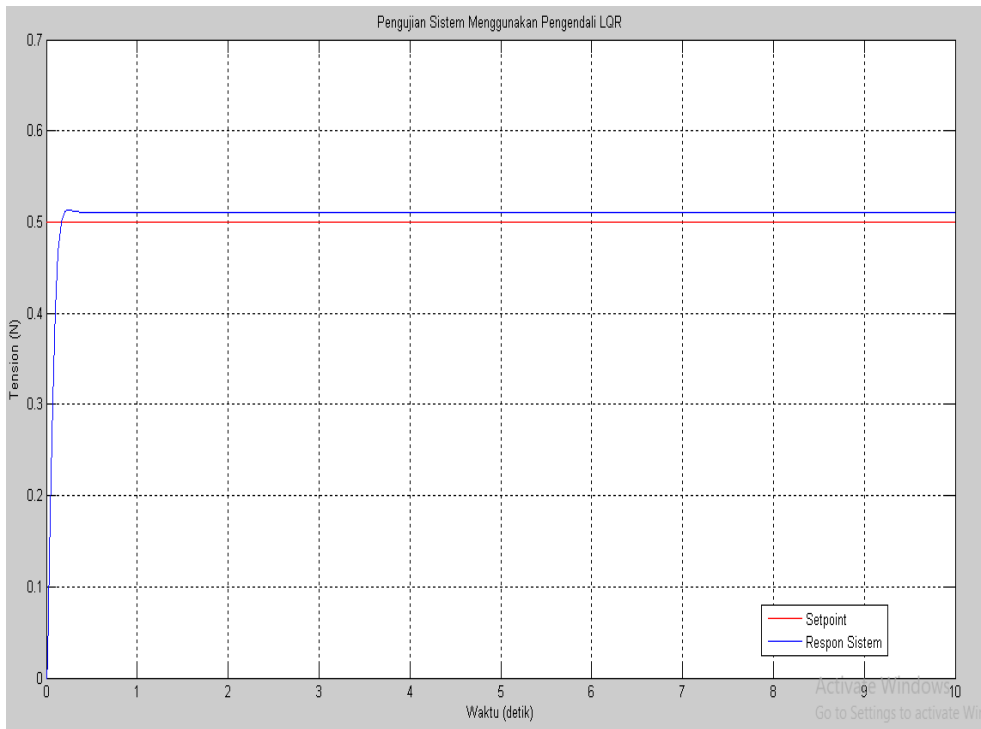
4. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.7$ dan $R=1$



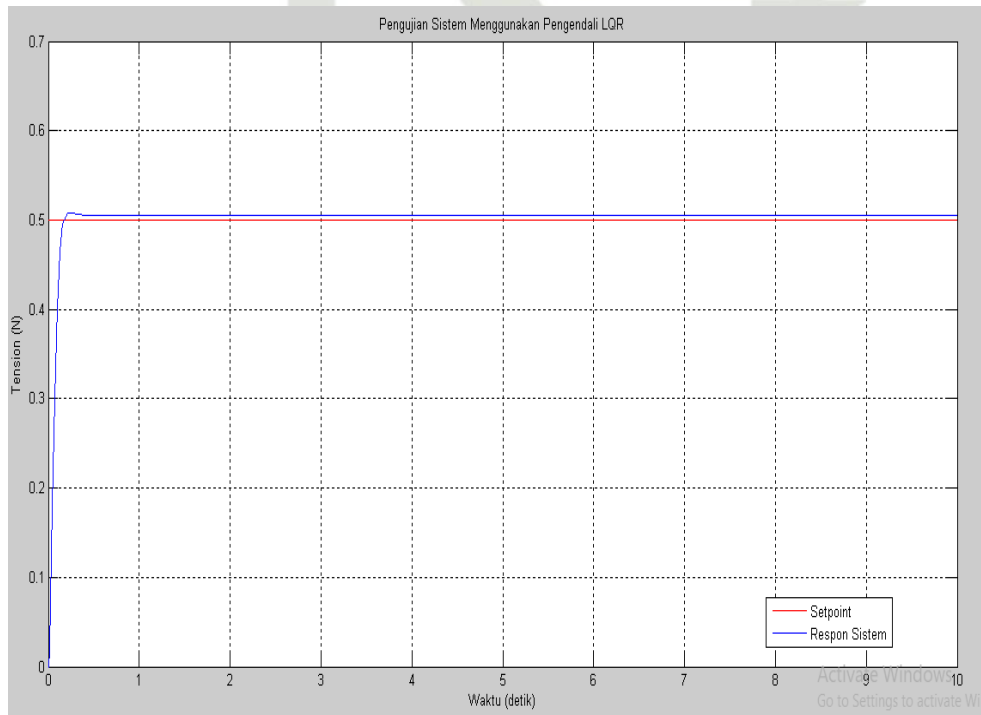
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

5. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.9$ dan $R=1$



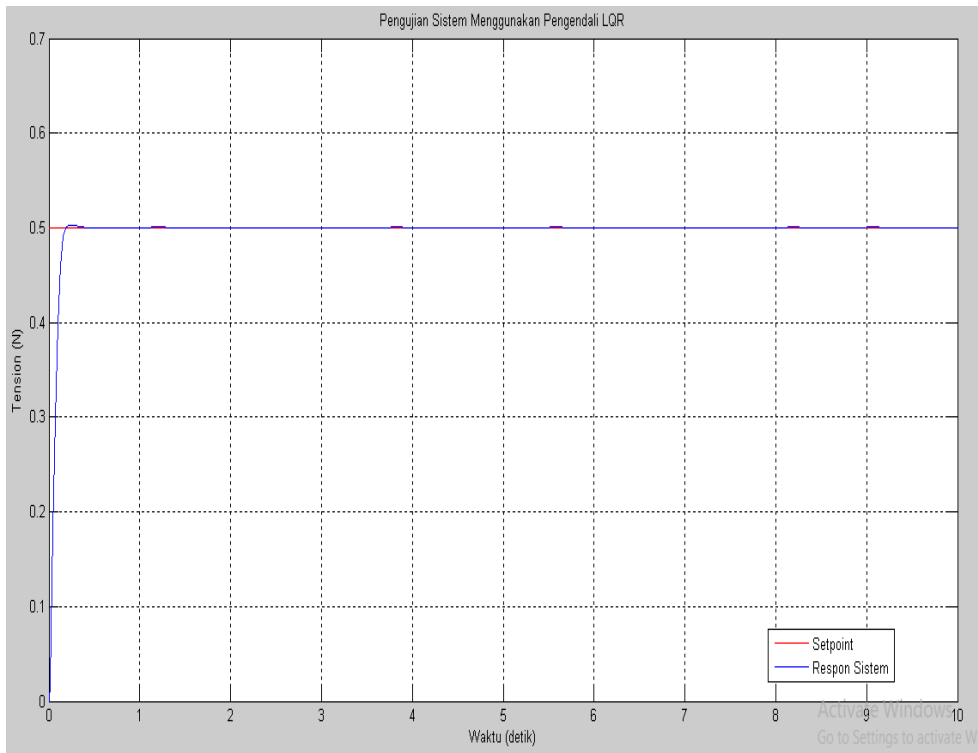
6. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.92$ dan $R=1$



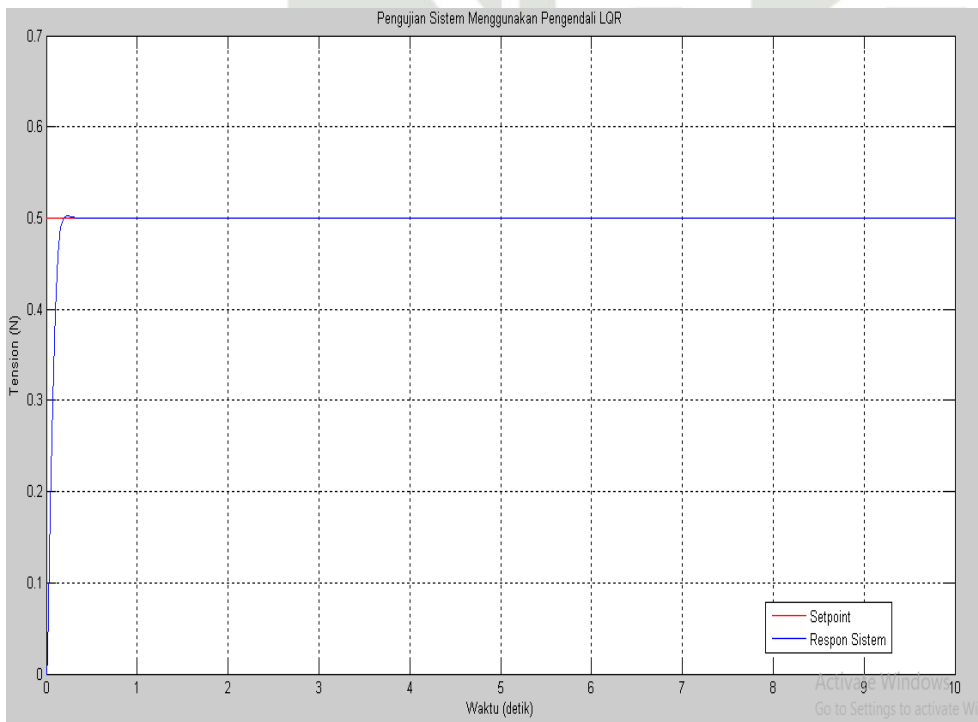
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

7. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.94$ dan $R=1$



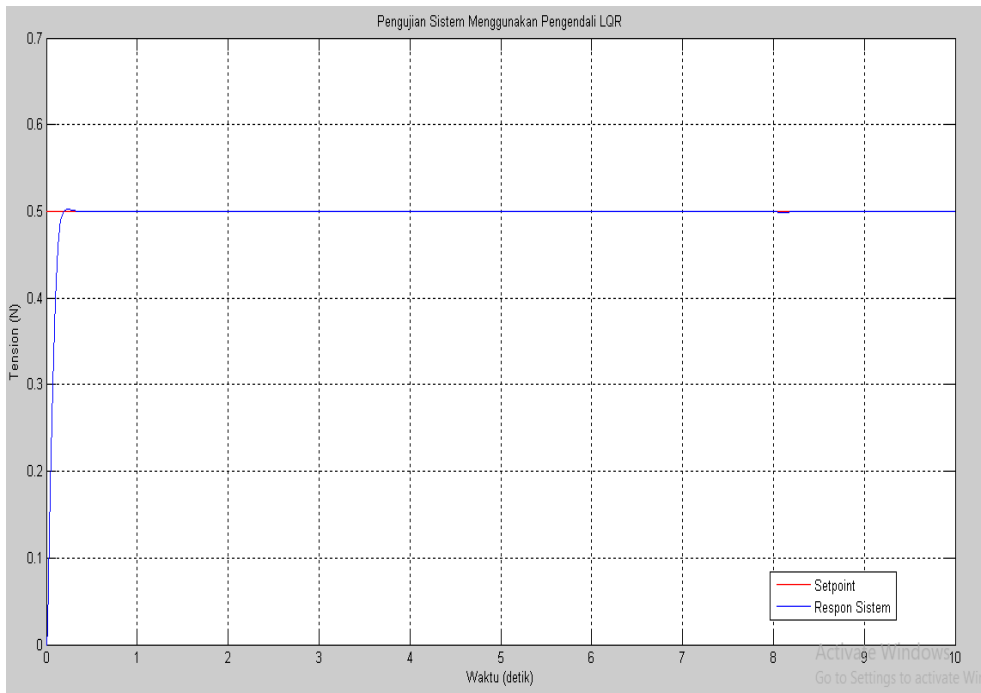
8. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.942$ dan $R=1$



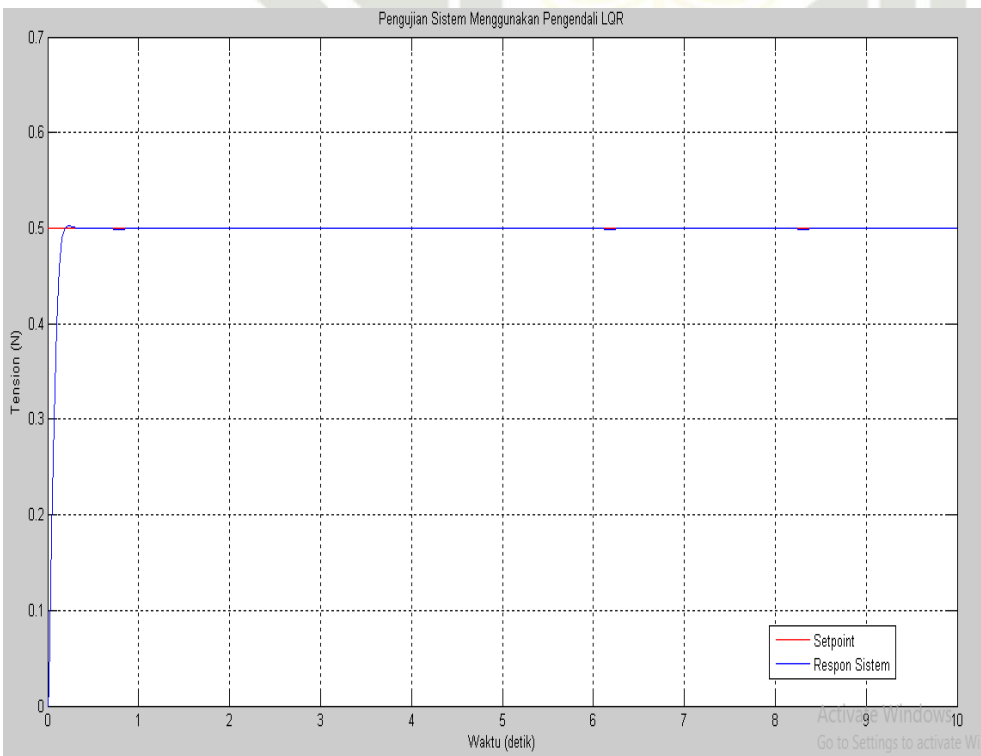
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

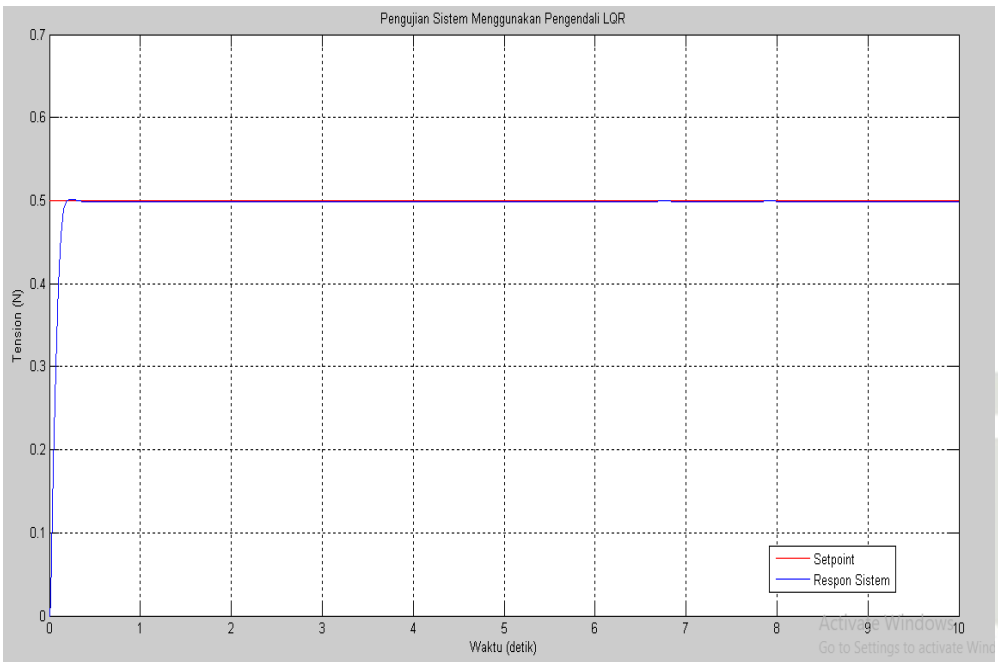
9. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.943$ dan $R=1$



10. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.944$ dan $R=1$



11. Hasil simulasi LQR untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan $Q = 0.945$ dan $R=1$

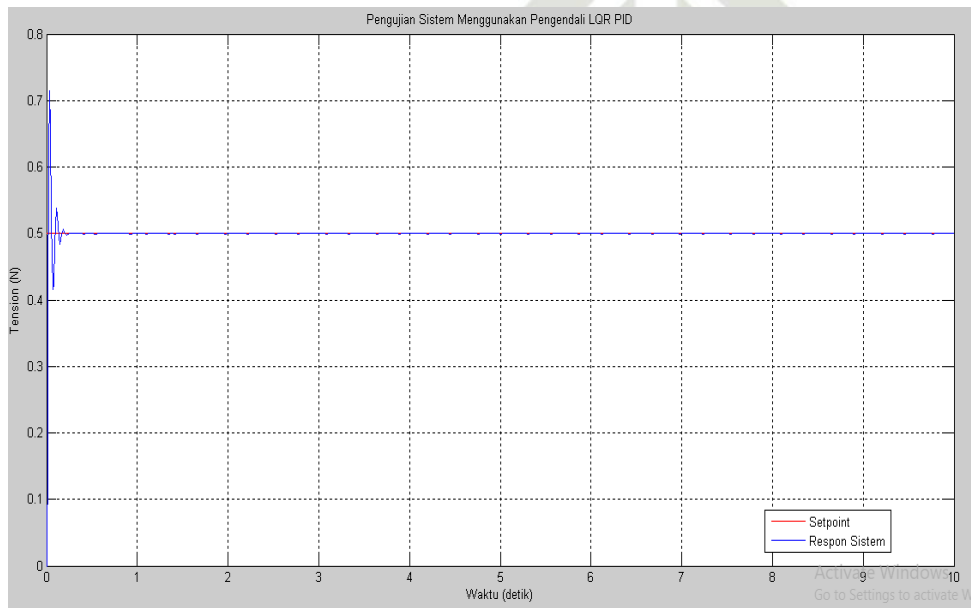


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b.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

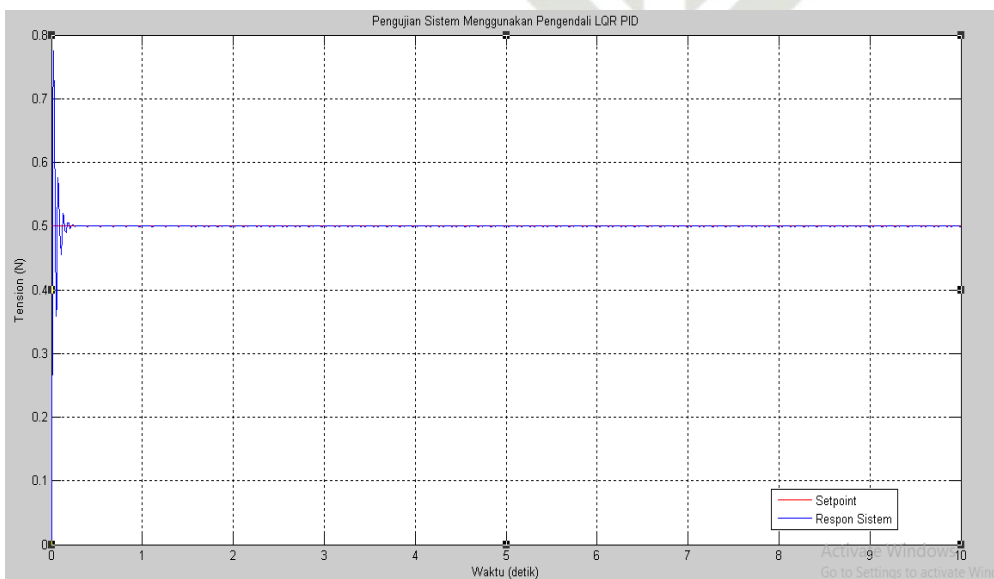
LAMPIRAN B

PROSES TUNNING PARAMETER KP, KI, DAN KD PADA PENGENDALI LQR KOMBINASI PID DENGAN MENGGUNAKAN METODE *HEURISTIC* UNTUK MENGOPTIMALKAN KINERJA *WEB TENSION* PADA SISTEM *REWINDER ROLL*

1. Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 10$



2. Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 20$



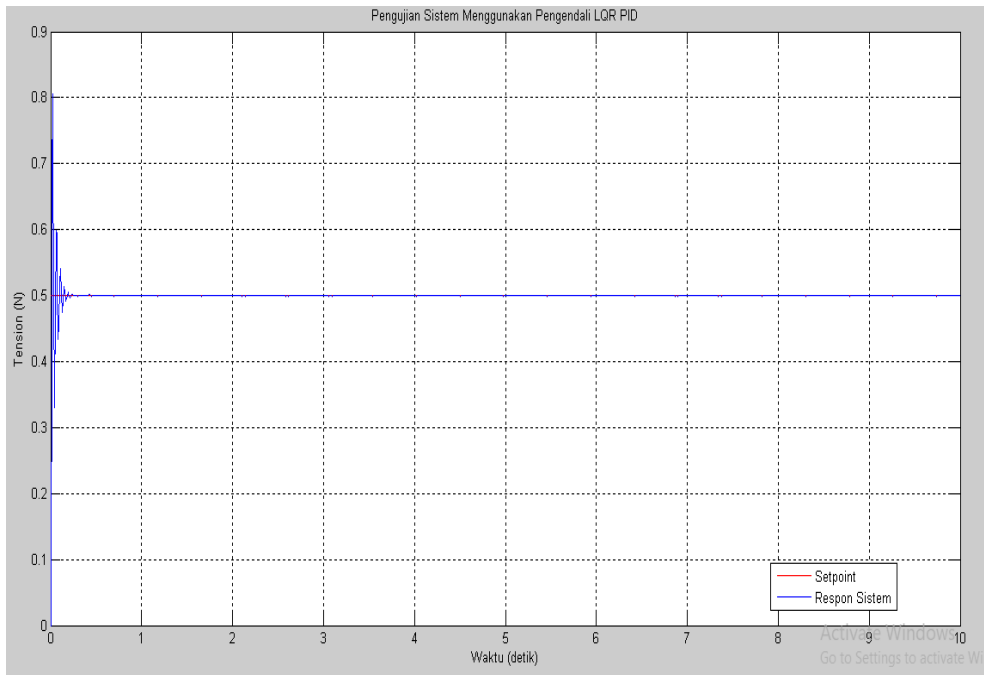
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1.

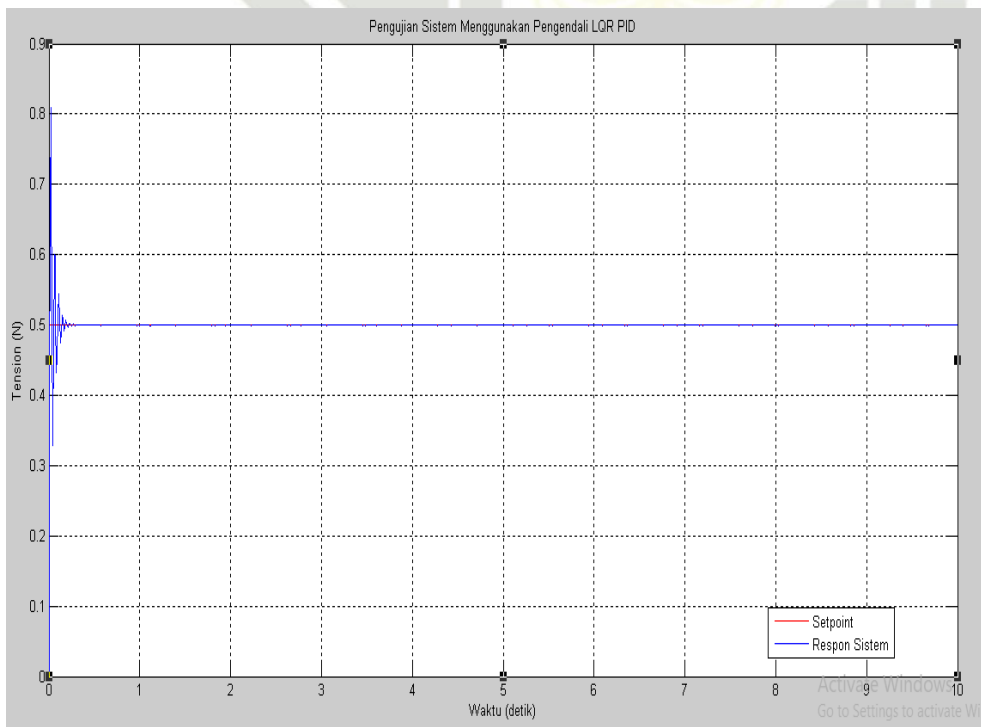
2.

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.

Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 30$



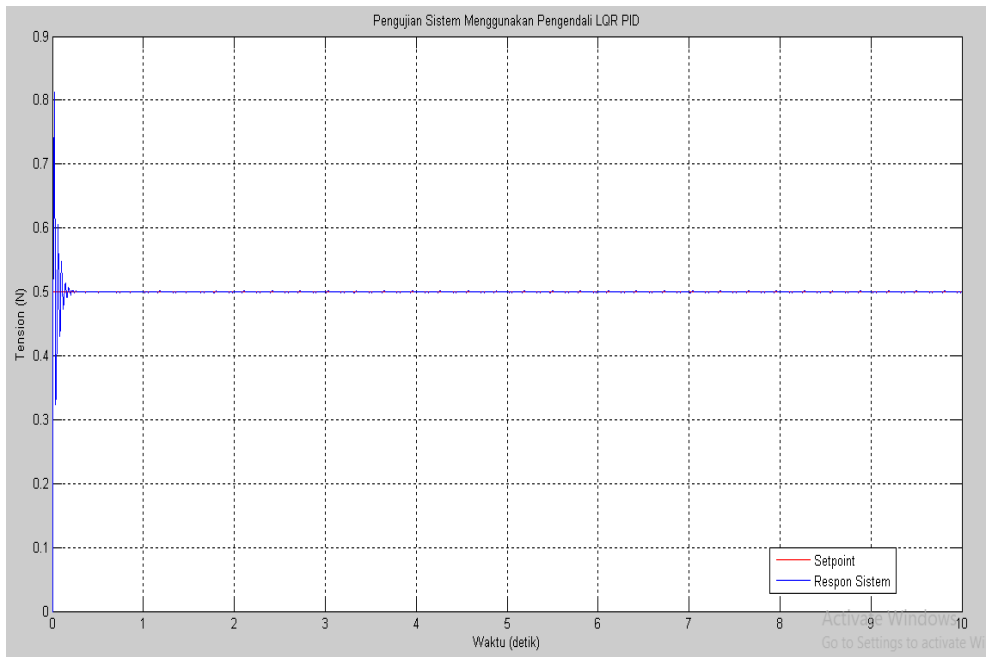
4. Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 31$



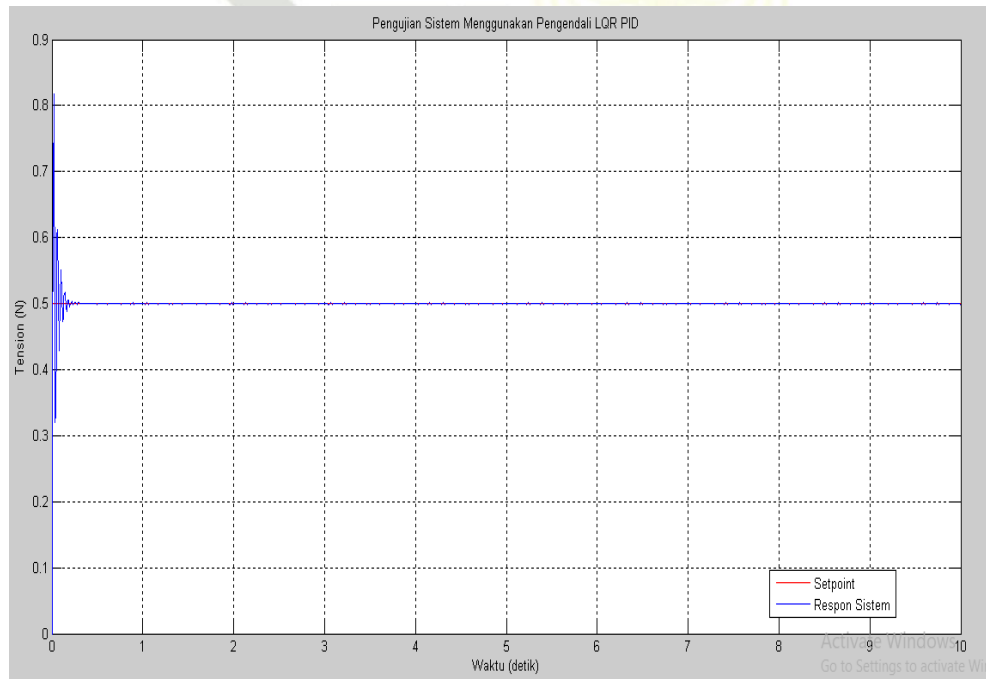
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 33$



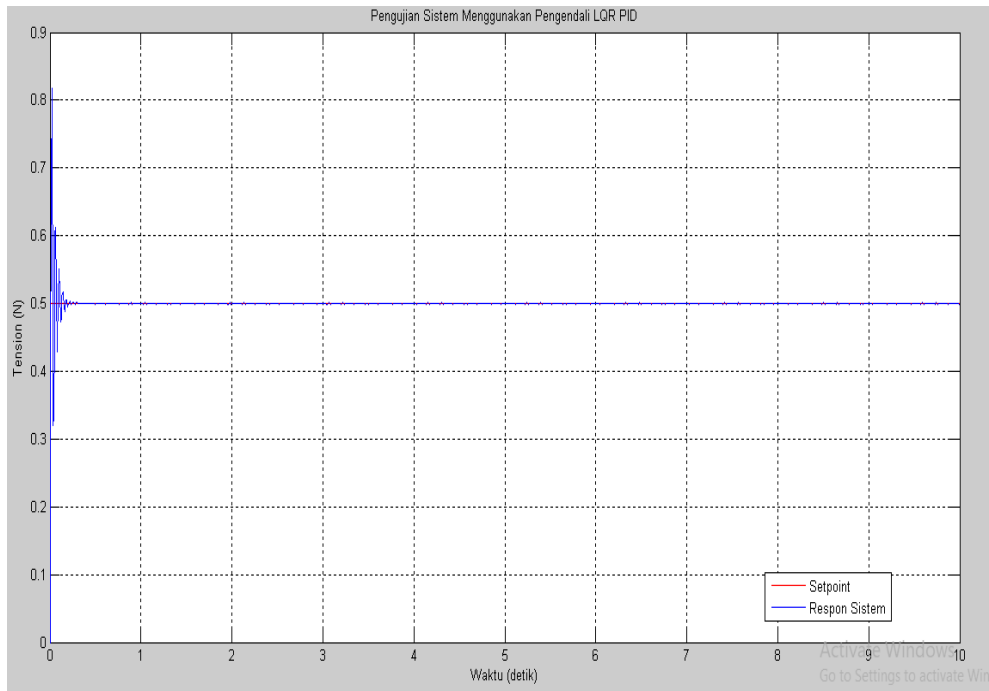
6. Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 35$



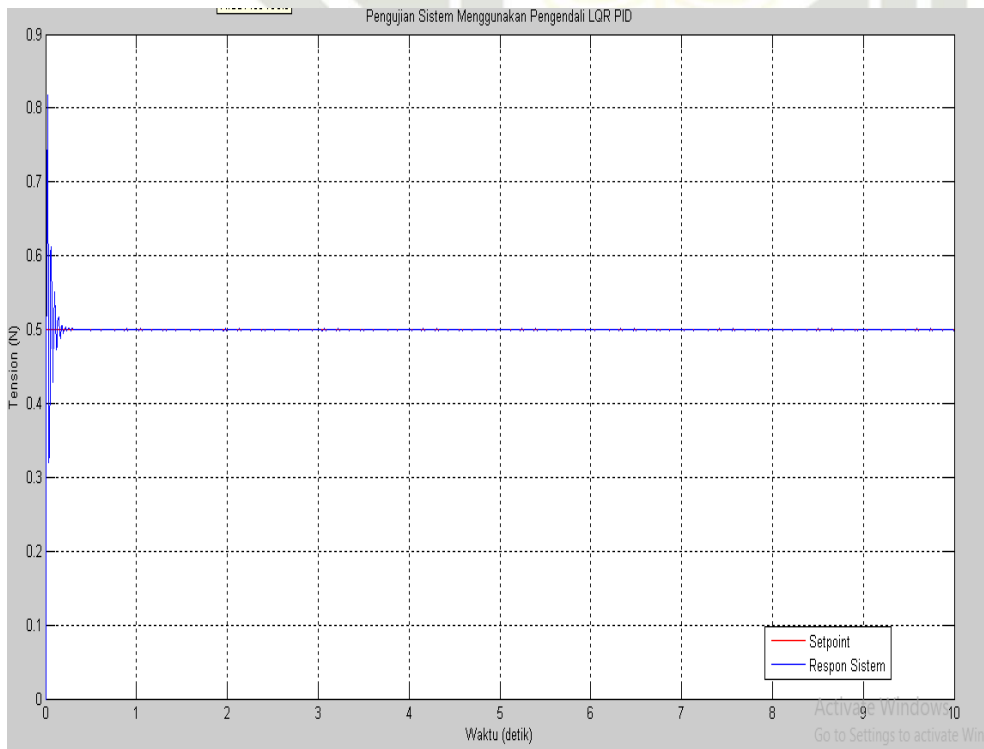
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 35$, $K_i = 0,001$



8. Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 35$, $K_i = 0,003$



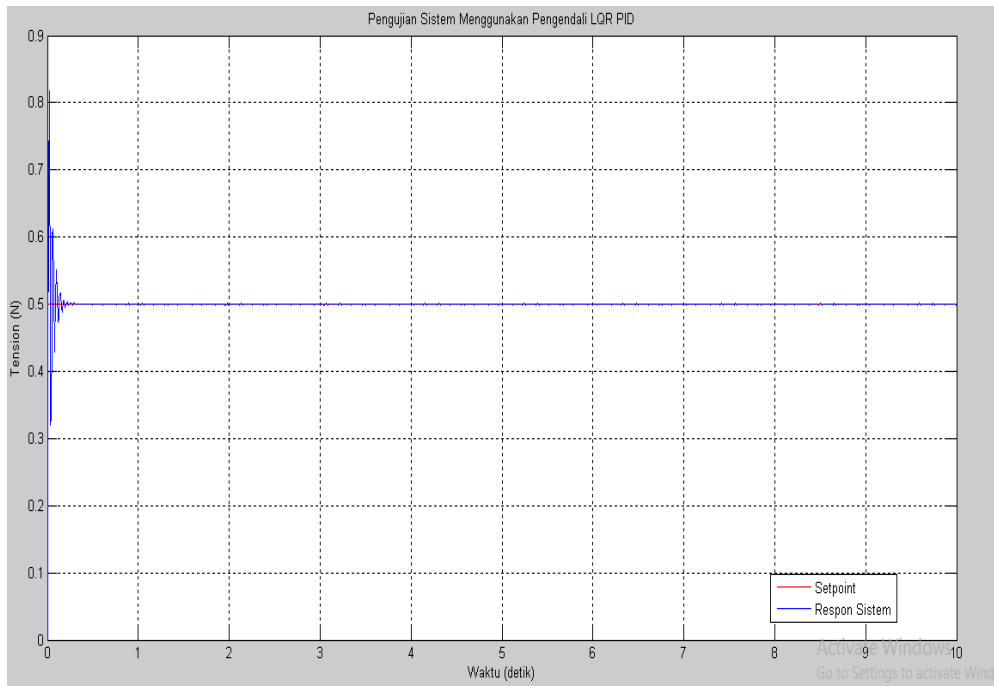
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

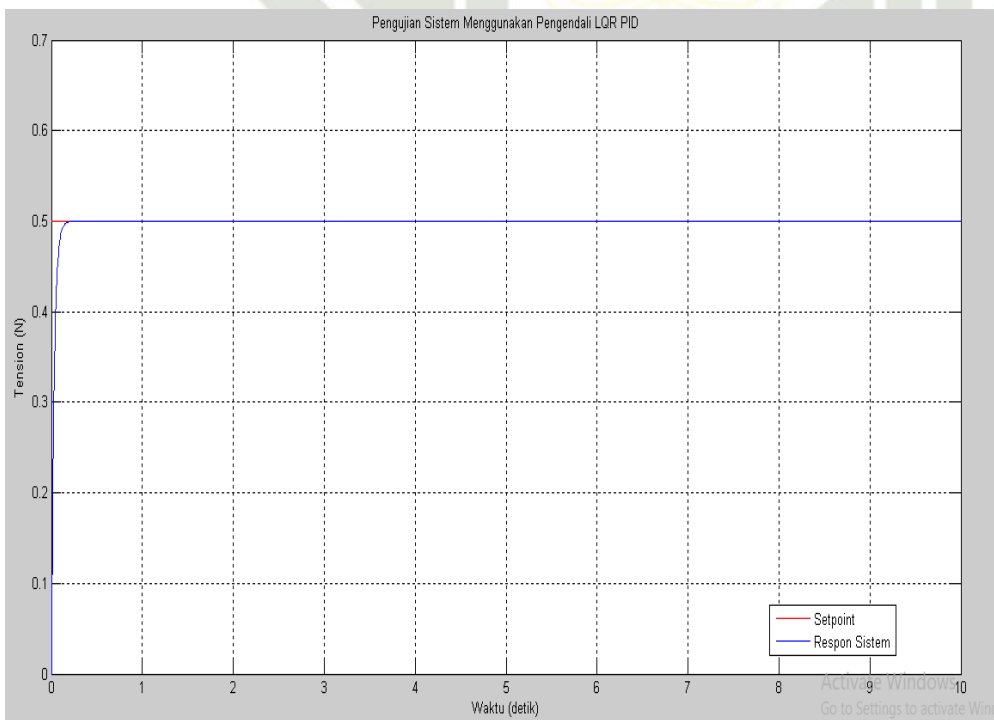
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

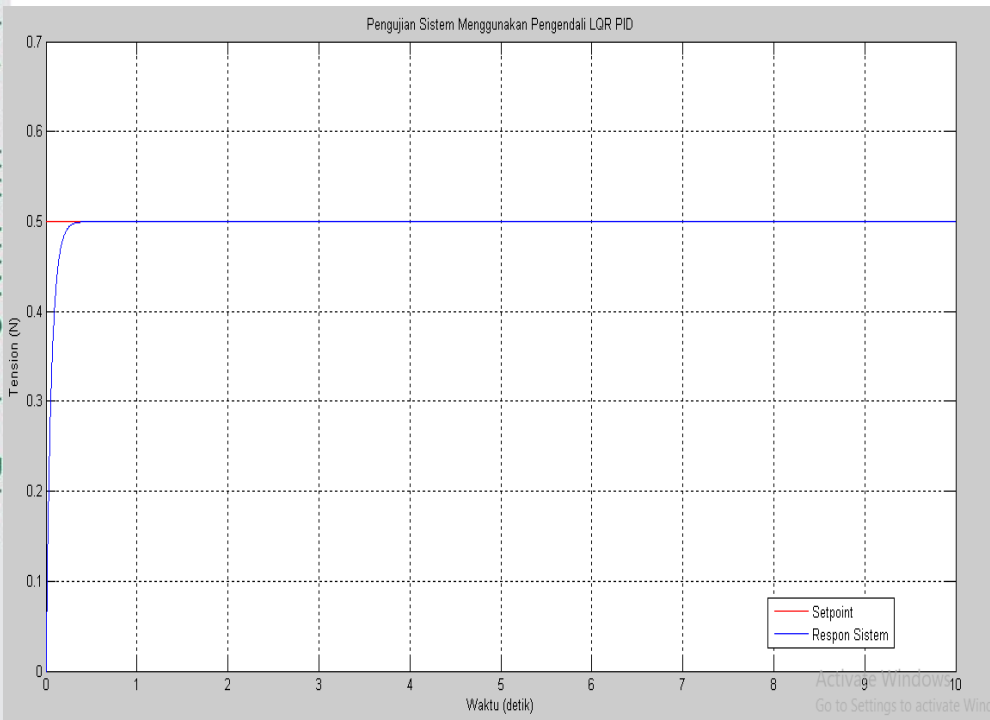
Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 35$, $K_i=0,005$



10. Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 35$, $K_i=0,005$, $K_d=1$



1. Hasil Simulasi LQR-PID untuk mengoptimalkan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll* dengan nilai $K_p = 35$, $K_i=0,005$, $K_d=2$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Ahmad Iqbal lahir pada tanggal 25 Agustus 1997 merupakan anak kedua dari Ardison dan Yeni Roza, S.Pd. yang beralamat Jl. Anggur Merah Kelurahan Duri Barat Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar SD 015 Air Jamban lulus pada tahun 2009 kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama SMPN 2 Mandau lulus pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas SMAN 1 Mandau. Pada saat penulis duduk di kelas 1 SMA penulis pernah mengikuti test paskibraka pada tahun 2013 dan menjadi salah satu pasukan pengibar bendera merah putih untuk acara 17 Agustus 2013 di kantor Gubernur Riau dan lulus SMA pada tahun 2015. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan jenjang pendidikan di perguruan tinggi Universitas Islam Sultan Syarif Kasim Riau dengan mengambil Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Elektronika Instrumentasi dengan Penelitian Tugas akhir yang berjudul **“Perancangan LQR-PID Untuk Mengoptimalkan Kinerja *Web Tension* Pada Sistem *Rewinder Roll* “.**

No. HP : 082284475033

Email : bal234876@gmail.com

© Hak ci

ia u

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.