

PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR DC

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:

ISEP RIVALDI

11355106269

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2020

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University 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:
 - a. Pengutipan hanya untuk 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 KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK
MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR DC**

TUGAS AKHIR

oleh

ISEP RIVALDI

11355106269

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir
Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 04 Agustus 2020

Ketua Program Studi Teknik Elektro

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

Pembimbing Tugas Akhir

Halim Mudia, S.T., M.T.
NIK. 130517053

UIN SUSKA RIAU



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK
MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR DC**

TUGAS AKHIR

oleh

ISEP RIVALDI

11355106269


Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 4 Agustus 2020

Pekanbaru, 4 Agustus 2020

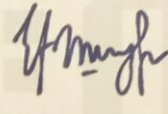
Mengesahkan,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Program Studi Teknik Elektro


Dr. Ahmad Darmawi, M. Ag

NIP. 196606041992031004


Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom

NIP. 197509222009122002

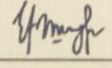

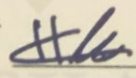
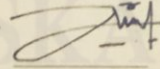
DEWAN PENGUJI

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

Sekretaris : Halim Mudia, S.T., M.T

Penguji I : Ahmad Faizal, S.T., M.T

Penguji II : Aulia Ulah, S.T., M.Eng



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

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

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

Hak Cipta 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 dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan didalam daftar pustaka.

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

Pekanbaru, 04 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

ISEP RIVALDI

11355106269

1. Dilarang menjiplak sebagian atau seluruh karya 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 PERSEMBAHAN

Alhamdulillah segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah *subhanahu wata'ala* yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya masih diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. *Shalawat* dan salam tak lupa saya doakan untuk Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah mengajarkan kita sebagai umatnya akan pentingnya menuntut ilmu dan beribadah dalam mencari *ridho* Allah SWT untuk keselamatan dunia dan akhirat.

Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta yang sejatinya adalah semangat hidup saya atas semua pengorbanan, doa, dan jerih payahnya agar saya bisa dititik ini sekarang. Kepada dosen pembimbing saya ucapkan terimakasih telah membimbing, membantu, menasehati, dan memberi saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga selesai tepat pada waktunya. Kepada dosen penguji terimakasih juga telah memberikan kritik dan saran yang sifatnya membangun sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur. Rasa terima kasih juga saya ucapkan kepada Rekan-rekan seperjuangan yang telah menemani saya ketika suka maupun duka, memotivasi dan menginspirasi hingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua dengan pahala yang berlipat ganda.

Aamiin

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa menguraikan 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 KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR DC

ISEP RIVALDI

11355106269

Tanggal Sidang: 04 Agustus 2020
Tanggal Wisuda:

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. H.R. Soebrantas, km. 15, no. 155, Tuah Madani - Tampan - Pekanbaru

ABSTRAK

Motor DC merupakan salah satu peralatan yang banyak digunakan dalam proses Industri yang memiliki masalah saat pembebanan yang mengakibatkan kecepatan motor tidak stabil dan tidak konstan. Pemasangan pengendali *Self Tuning Regulator* PID (STR-PID) dilakukan untuk mengatur kecepatan Motor DC sesuai dengan *setpoint* yang dibutuhkan meski terjadi gangguan perubahan pembeban ketika sistem berlangsung yang mengakibatkan perubahan kecepatan. Simulasi dilakukan pada *Software* Matlab untuk memperlihatkan cara kerja Motor DC yang kemudian digabungkan dengan sistem STR-PID yang telah dirancang dengan menggunakan persamaan ARMA orde 2 dengan menggunakan algoritma *Extended Least Square* (ELS), dimana sistem ini mampu memberikan nilai parameter yang tepat untuk pengendali PID dan akan *update* nilai parameter secara otomatis dan tak terbatas ketika terjadi gangguan. Penelitian ini memfokuskan perancangan pengendali STR-PID pada Motor DC guna mencapai kecepatan yang diinginkan, serta dilakukan analisa hasil keluarannya dalam kondisi normal ataupun kondisi dengan memiliki gangguan. Pengendali adaptif STR-PID mampu memperlihatkan respon yang bagus saat diberi gangguan berupa kenaikan atau penurunan kecepatan dengan menghilangkan *error steady state* dan *overshoot*.

Kata Kunci: Motor DC, STR, PID.

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



STR-PID ADAPTIVE CONTROL DESIGN FOR SPEED OF DC MOTOR SYSTEM

ISEP RIVALDI

11355106269

Examination Date: 4th August 2020

Graduation Date:

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
H.R. Soebrantas St. km. 15, no. 155, Tuah Madani - Tampan - Pekanbaru*

ABSTRACT

DC motor is one of the widely used equipment in industrial processes that have problems when there is extra load coming, or disruption happens, it's becoming unstable on DC motor speed. Installation of the PID Self Tunning Regulator (STR-PID) controller is carried out to adjust the DC motor's speed according to the required setpoint even though there is an additional load during the system that impacts to change the speed of Motor DC. The simulation is carried out on the Matlab software to show how the DC motor works, which are then combined with the STR-PID system, which has been designed using the 2nd order ARMA equation using the Extended Least Square (ELS) algorithm, where this system can provide the correct parameter values for the PID controller. And will update the parameter value automatically and infinitely when an error occurs. This research focuses on designing an STR-PID controller on a DC motor to achieve the speed of Motor DC and analyzing the output in normal conditions or conditions with disruption. The result showed STR-PID adaptive controller could offer a good response when disturbed by an increase or decrease in speed by eliminating steady-state errors and overshoot.

Keyword: *DC Motor, STR, PID.*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

UIN SUSKA RIAU



KATA PENGANTAR



Assalammu 'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah Robbil'amin, penulis bersyukur ke-hadirat Allah SWT, karena atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini. *Allahummasholli'ala Muhammad wa'alaalisayyidina Muhammad*, yang tidak lupa penulis haturkan juga untuk Rasul Allah, Muhammad SAW. Laporan tugas akhir ini yang berjudul **“PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR DC”** ini disusun sebagai salah satu prasyarat untuk memenuhi persyaratan akademis dalam rangka meraih gelar kesarjanaan di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau (UIN SUSKA Riau). Selama menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, arahan, dan petunjuk dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua saya tercinta Embon Haryadi dan Ruliani, Ibu Endartati, kakakku Yenti Septiani, adik-adikku Lusti Aprilianti dan Khaira Okta Bela. Serta keluarga besar yang telah mendo'akan dan memberikan semangat dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Prof. Dr. Suyitno , M.Ag. selaku Plt Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom.,M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Bapak Mulyono, ST.,MT selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
6. Bapak Sutoyo, ST., MT selaku Penasehat Akademik yang telah banyak memberikan nasehat dan motivasi selama masa perkuliahan



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. Bapak Halim Mudia selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terimakasih banyak atas waktu, ilmu, suport, dan motivasinya yang luar biasa yang diberikan kepada penulis.
8. Bapak Ahmad Faizal, ST.,MT selaku dosen penguji 1, dan Bapak Aulia Ullah, M.Eng selaku dosen penguji 2, yang telah banyak memberikan masukan dan arahan kepada penulis agar tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.
9. Kepada seluruh dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi khususnya pada Program Studi Teknik Elektro. Terimakasih atas semua ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.
10. Rekan-rekan seperjuangan Nisa Vathona Magetan, Dila Marta Putri, Siti Nurjannah, Elsi Novianti, Dara Mardhotilah, Wan Yuliantari, Jamiatul Rahmi, Nur Alvarisi, Sahrul Amri, M Kamal K, Bayu Suganda Putra, Dimas Prasetyo, Jefri, Maskun Abdul Manan, Hariandi, M Hanafi Asyraf yang selalu membantu, menyemangati dan menemani penulis dari awal perkuliahan nohingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan kuliah
11. Kakanda dan adinda di Program Studi Teknik Elektro. Adril, M Fadhil Al Arif, Ramadani, Abdul Rahman, Dika yang telah membantu memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran.
12. Teman sepermainan Arfika Jendri, Hamsani, HDH, Riski Patian M yang selalu menghibur ketika saya
13. Seluruh pihak yang terlibat yang tidak dapat disebutkan satu persatu penulis mengucapkan terimakasih.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya, Aamiin.

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 04 Agustus 2020

Penulis

ISEP RIVALDI



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SIMBOL	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
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 Masalah.....	I-4
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-5
1.6 Sistematika Penulisan	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Peneletian Terkait.....	II-1
2.2 Dasar Teori	II-2
2.2.1. Motor DC.....	II-2
2.2.2. Konstruksi Motor DC	II-3
2.2.3. Prinsip Kerja Motor DC	II-4



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 2.3
 2.4
 2.5
 2.6
 2.7
 2.8
 2.9
 2.10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
 3.1
 3.2
 3.3
 3.4
 3.5
 3.6
BAB IV ANALISA DAN PERANCANGAN
 4.1
 4.2
 4.2.1
 4.3

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

2.2.4. Jenis-jenis Motor DC.....	II-7
2.2.5. Model Matematis Motor DC	II-9
Identifikasi Sistem	II-13
Proportional Integral Derivative (PID).....	II-14
<i>Tuning</i> (Penalaan) Parameter PID	II-14
<i>Self Tuning Regulator</i> (STR).....	II-15
ARMA (<i>Auto Regressive Moving Average</i>)	II-16
ELS (<i>Extended Least Square</i>).....	II-17
Kendali PID Diskrit	II-19
Perangkat Lunak MATLAB	II-23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
3.1 Alur Metode Penelitian.....	III-1
3.2 Tahapan Penelitian	III-2
3.3 Pengumpulan Data.....	III-3
3.4 Penentuan Variabel.....	III-3
3.5 Validasi Pemodelan dan Pengujian Matematis Motor DC pada MATLAB	III-4
3.6 Perancangan kendali STR.....	III-5
3.6.1 Perancangan <i>Plant</i>	III-5
3.6.2 Identifikasi Parameter.....	III-9
3.6.3 Mekanisme Adaptasi dan Desain Kontroler	III-10
BAB IV ANALISA DAN PERANCANGAN	IV-1
4.1 Gambaran Umum Analisa Sistem	IV-1
4.2 Hasil pengujian sistem motor DC secara <i>open loop</i>	IV-1
4.2.1. Analisa Pengujian Sistem Motor DC secara <i>Open Loop</i>	IV-6
4.3 Hasil pengendali STR-PID pada sistem motor DC dalam mengikuti <i>setpoint</i> yang diberikan	IV-7



4.3.1. Analisa Pengendali STR-PID pada sistem motor DC dalam mengikuti *set point* yang diberikanIV-11

4.4 Analisa kekokohan pengendalian STR-PID dalam mengatasi gangguan eksternal pada motor DC.....IV-12

4.4.1. Gangguan berupa pengurangan kecepatan pada sistem motor DCIV-12

4.4.2. Gangguan berupa penambahan kecepatan pada sistem motor DC.....IV-13

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... V-1

5.1 Kesimpulan..... V-1

5.2 Saran V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

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



DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
Gambar 2.1	Motor DC Sederhana	II-3
Gambar 2.2	Medan Magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor	II-4
Gambar 2.3	Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor	II-4
Gambar 2.4	Medan magnet mengelilingi konduktor dan diantara kutub	II-4
Gambar 2.5	Reaksi garis fluks	II-5
Gambar 2.6	Prinsip kerja motor DC	II-6
Gambar 2.7	Klasifikasi Motor DC	II-7
Gambar 2.8	Motor DC Penguat Terpisah	II-7
Gambar 2.9	Rangkaian Motor DC	II-9
Gambar 2.10	Respon sistem orde dua	II-13
Gambar 2.11	Rangkaian Dasar STR	II-16
Gambar 2.12	Diagram Blok <i>Plant</i> dengan Kendali PID Diskrit	II-20
Gambar 2.13	Diagram Blok Perhitungan Parameter	II-22
Gambar 2.14	Tampilan awal MATLAB.....	II-23
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penelelitian.....	III-1
Gambar 3.2	Blok simulink diagram blok <i>open loop</i> motor DC	III-4
Gambar 3.3	<i>Output</i> kecepatan motor DC <i>open loop</i> (tanpa pengendali)	III-4
Gambar 3.4	Diagram Blok STR	III-5
Gambar 3.5	Data Rise Time (5%) Open Loop pada Motor DC	III-6
Gambar 3.6	Data Rise Time (95%) Open Loop pada Motor DC	III-7
Gambar 3.7	Data Delay Time (50%) Open Loop pada Motor DC.....	III-8
Gambar 4.1	Blok simulink diagram blok <i>open loop</i> motor DC.	IV-1
Gambar 4.2	<i>Output</i> kecepatan motor DC <i>open loop</i> (tanpa pengendali)	IV-3
Gambar 4.3	Data Rise Time (5%) <i>Open Loop</i> pada Motor DC	IV-4
Gambar 4.4	Data Rise Time (95%) <i>Open Loop</i> pada Motor DC	IV-5
Gambar 4.5	Data Delay Time (50%) <i>Open Loop</i> pada Motor DC.....	IV-6
Gambar 4.6	Rangkaian Blok Diagram STR-PID pada motor DC.....	IV-7
Gambar 4.7	<i>Output</i> kecepatan motor DC STR-PID	IV-8
Gambar 4.8	Data <i>Rise Time</i> (5%) STR-PID pada Motor DC.....	IV-9
Gambar 4.9	Data <i>Rise Time</i> (95%) STR-PID pada Motor DC.....	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.



Gambar 4. 10 Data *Delay Time* (50%) STR-PID pada Motor DCIV-10

Gambar 4. 11 Rangkaian Blok Diagram STR-PID pada motor DC setelah diberi gangguan penurunan kecepatanIV-12

Gambar 4. 12 Hasil Respon STR-PID pada motor DC dalam mengatasi gangguan berupa perubahan kecepatan.....IV-12

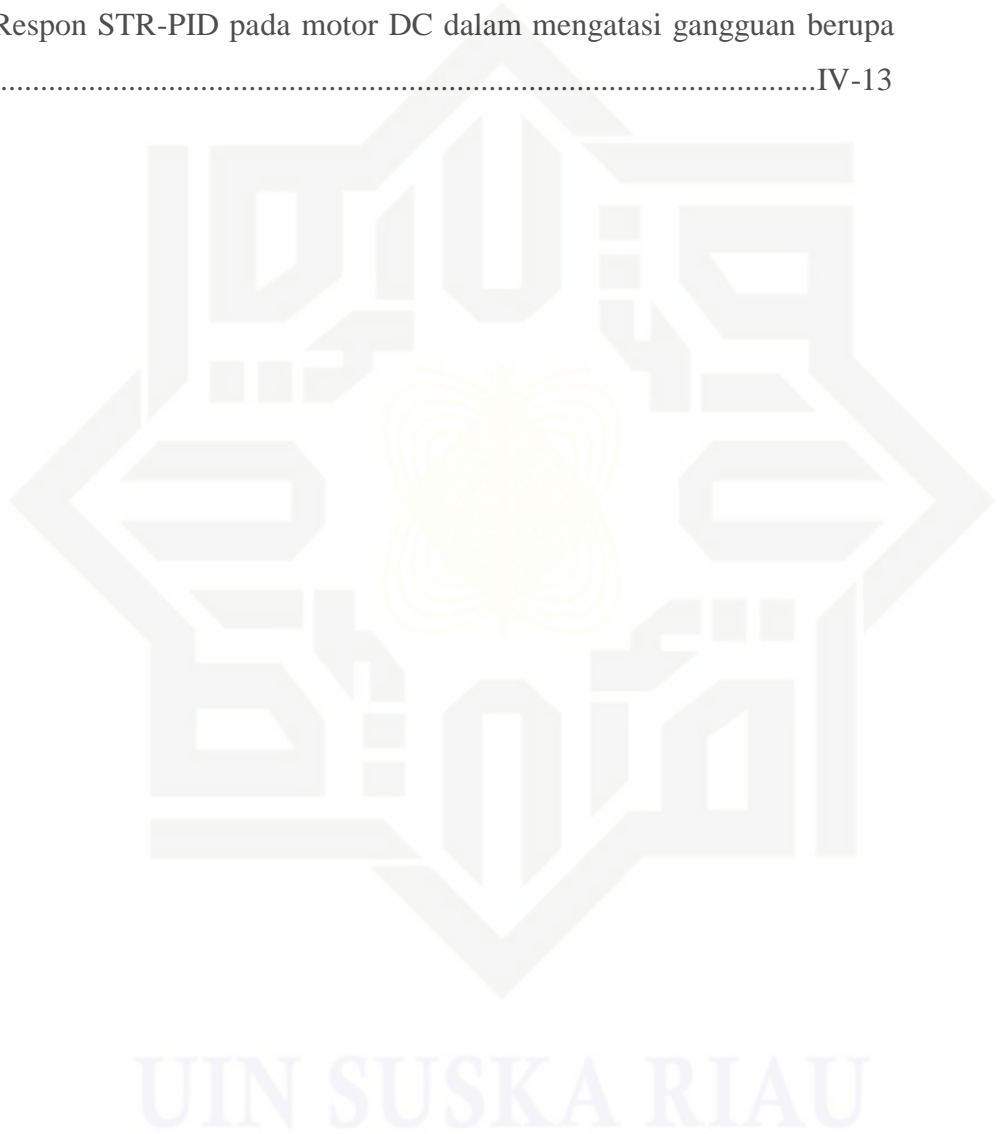
Gambar 4. 13 Rangkaian Blok Diagram STR-PID pada motor DC setelah diberi gangguan berupa kenaikan kecepatan.....IV-13

Gambar 4. 14 Hasil Respon STR-PID pada motor DC dalam mengatasi gangguan berupa kenaikan kecepatan.....IV-13

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Parameter Motor DC	II-12
Tabel 2.2 Hubungan antara kendali P, I dan D	II-15
Tabel 4.1 Respon Sistem tanpa Pengendali.....	IV-7
Tabel 4.2 Respon sistem menggunakan pengendali STR-PID.....	IV-11

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

DAFTAR SIMBOL

tau
kecepatan sudut motor (*rad/sec*)
gain overall
tegangan masukan (V)
konstanta torsi (Nm/A)
momen inersia ekuivalen (Kgm^2)
induksi kumparan jangkar (H)
tahanan jangkar (Ω)
konstanta EMF balik (*V/s.rad*)
arus kumparan jangkar (A)
torsi beban (Nm)

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



DAFTAR SINGKATAN

- = *Self Tuning Regulator*
- = *Proportional Integral Derivative*
- = *Auto Regressive Moving Average*
- = *Recursive Least Square*
- = *Extended Least Square*
- = *Close Loop Transfer Function*
- = *Time Sampling*
- = *Rise Time*
- = *Time Delay*
- = *Time Settling*
- = *Matrix Laboratory*

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.

STR
PID
ARMA
RLS
ELS
CLTF
Ts
Tr
Td
ts
MATLAB



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A- 1 Blok Simulink STR-PID saat setpoint pada Motor DC.....	A-1
Lampiran A- 2 Blok Simulink STR-PID ketika diberi gangguan pada Motor DC.	A-2
Lampiran B- 1 Program M-File pada Blok ELS	B-1
Lampiran B- 2 Program M-File pada Blok Formulasi Kontroller.....	B-2
Lampiran B- 3 Program M-File pada Blok Kontroller PID	B-3



- Hal-Cipin Dindugi 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 dan ilmu pengetahuan yang terjadi pada era ini memberikan pengaruh besar terhadap hal-hal yang berkaitan erat dengan aktivitas manusia. Bidang industri merupakan salah satu bidang yang saat ini sangat diperhatikan perkembangannya. Hal ini terjadi akibat industri sendiri memegang peran penting dalam pertumbuhan ekonomi, terbukti dalam Analisa Perkembangan Industri Edisi I – 2019 oleh Kementerian Perindustrian Republik Indonesia tercatat bahwa sektor industri pengolahan menjadi sumber pertumbuhan tertinggi bagi pertumbuhan ekonomi tahun 2018, sebesar 19.86% struktur perekonomian Indonesia tahun 2018 didominasi oleh sektor Industri [1]

Pada operasi industri ada berbagai macam penemuan peralatan industri yang hingga saat ini masih menjadi kebutuhan pokok bagi dunia industri seperti motor, *generator*, *boiler*, *heater*, dan kompresor telah banyak dikembangkan. Peralatan ini terus dikembangkan dengan optimal agar dapat lebih mempermudah pekerjaan manusia pada bidang industri [2]. Dalam dunia industri, motor disebut sebagai “kuda kerja” nya industri karena diperkirakan bahwa sekitar 70% beban listrik dihasilkan oleh motor-motor yang berada pada suatu industri [3], salah satunya yaitu motor arus searah (motor DC) yang merupakan jenis motor listrik paling awal digunakan karena karakteristik pengendalian motornya yang bagus. Dalam motor DC terdapat dua yang dapat dikendalikan, yaitu posisi [4] [5] dan kecepatan [6] [7] [8]. Diperlukan sebuah pengendali yang tepat agar proses pada operasi industri dapat mencapai keluaran *setpoint* yang diinginkan [9].

Motor DC sangat dikenal pemakaiannya dalam berbagai hal, salah satu contohnya adalah digunakan pada sistem manufaktur modern yaitu pada bidang industri produk dan layanan, seperti industri makanan dan kimia, peralatan mesin, *robotic*, *aeronautic* dan wahana elektrik. Hal ini dikarenakan motor DC memiliki karakteristik yang mudah diatur, terutama pada pemakaian yang memerlukan rentang kecepatan motor yang lebar atau pengaturan yang teliti pada keluaran motornya. Akan tetapi, kecepatan putar motor DC mengalami penurunan akibat dari pembebanan sehingga menyebabkan putarannya menjadi lambat dan kecepatannya tidak konstan.



Tidak hanya itu, panas yang berlebihan adalah kendala yang sangat kerap terjadi, sebab sifat dari motor DC tersebut merupakan apabila motor beroperasi secara terus menerus, menyebabkan temperatur dari motor pula terus bertambah sehingga kinerja kecepatan motor menyusut serta tidak konstan, dampaknya motor akan cepat rusak serta usia konsumsi akan cepat menurun. Tidak cuma itu, kendala dari luar semacam halnya keadaan area, temperatur area, apalagi beban material yang dibawa oleh motor semacam pada pergerakan Belt Conveyor di industri sangat pengaruhi kecepatan motor, ini disebabkan material yang turun dapat menggapai 60 ton per jam yang menyebabkan kecepatan belt tidak normal serta tidak konstan [10]. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa telah terjadi ketidak linier sistem perputaran kecepatan motor karena gangguan-gangguan yang terjadi baik dari dalam maupun dari luar yang mengakibatkan kecepatan motor tidak stabil dan tidak konstan. Padahal yang dibutuhkan adalah kecepatan motor yang konstan. Untuk mengatasi permasalahan motor DC maka diperlukan suatu perancangan sistem kendali kecepatan motor DC agar motor DC tersebut berjalan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan walaupun terdapat beban ataupun gangguan [7][9].

Beberapa penelitian yang membahas kecepatan tentang motor DC diantaranya penelitian [7] disimpulkan bahwa dengan menggunakan kontrol PID dengan metode heuristic pengendali ini masih terdapat *error steady state* yang besar dan masih menggunakan metode *trial and error* untuk mencari nilai pada parameter sistem PID nya. Penelitian ini merupakan penelitian yang penulis rujuk bentuk model matematis dari pemodelan motor DC jenis penguat terpisah, yakni *type PITMAN series GM 14900 type 1* yang dikenal dengan spesifikasi motor DC yang lengkap sehingga memudahkan dalam penurunan matematisnya. Pada model *open loop* dari penelitian ini juga dapat terlihat bahwa ketika diberikan setpoint sebesar 1750 rad/detik, sistem tidak melebihi nilai *setpoint* yang diinginkan. Nilai setpoint sebesar 1750 rad/detik adalah nilai yang akan digunakan untuk penelitian ini.

Lalu penelitian selanjutnya [9] dilakukan menggunakan pengendali SMC-PID dengan metode heuristic atau penalaan memberikan hasil *error steady state* besar dan juga masih menggunakan metode *trial and error* untuk mencari nilai pada parameter PIDnya. Dan penelitian terakhir [8] menggunakan pengendali MRAC-PID disimpulkan bahwa *error steady state* cukup besar dan masih sama dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *trial and error* dalam penentuan nilai PID nya. Dari ketiga hasil penelitian tersebut, ketiga sistemnya menggunakan metode *trial and error*. Metode *trial*



and error ini memerlukan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan hasil terbaik yang sesuai [11]. Oleh karena itu, untuk membantu mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem, maka disarankan menggunakan satu kendali adaptif yaitu *Self Tuning Regulator* (STR).

STR merupakan salah satu jenis kendali adaptif yang mampu melakukan estimasi terhadap nilai parameter pada kendali PID [12]. STR bekerja dengan cara membaca dan memeriksa data yang diterima dari sistem kemudian mencari nilai parameter yang tepat lalu melakukan *update* parameter kendali PID agar tetap bekerja pada posisi yang diinginkan sesuai dengan *output steady state* yang telah diatur. STR juga dapat beradaptasi terhadap perubahan parameter yang dapat mengganggu keluaran, sehingga cukup baik untuk mengatasi gangguan [12] [13] [14]. Pada penelitian [13] dikatakan bahwa nilai *overshoot* menjadi sangat kecil, sehingga bisa dilihat STR-PID menghasilkan respon yang sangat baik pada sistem yang ditelitinya dan nilai kendali parameternya sudah dicari dengan otomatis atau *auto tuning*. Lalu pada penelitian [15] dikatakan bahwa STR-PID mampu mencapai *output steady state* yang diberikan dan ketika nilai *output steady state* respon *output* dirubah, kendali STR-PID dapat mengidentifikasi perubahan tersebut sehingga membawa sistem untuk mencapai *output steady state* yang diinginkan. Nilai kendali pada penelitian ini juga didapatkan secara otomatis atau *auto tuning*. Dan dalam penelitian [14] STR akan beradaptasi dengan pemodelan parameter sistem sehingga proses *tuning* dilakukan secara online atau setiap terjadi perubahan pada sistem secara otomatis STR akan meng-*update* nilai parameter dengan mencari nilai baru pada parameter PID.

Dalam proses perancangan STR ini akan menggunakan metode pendekatan ARMA (*Autoregressive Moving Average*) orde 2 untuk mengubah *transfer function* dari *plant* ke dalam bentuk diskrit karena memiliki turunan matematis yang sederhana serta mudah untuk dipahami. Model ARMA memiliki struktur yang sederhana serta mudah untuk dipahami kemudian untuk proses *tuning* nilai STR menggunakan algoritma *Extended Least Square* (ELS) yang merupakan modifikasi dari *Recursive Least Square* (RLS) agar proses *tuning* yang dilakukan pada dalam waktu tidak terbatas selama *power supply* masih aktif [14].

Dari beberapa penelitian tentang Motor DC dapat disimpulkan bahwa diperlukan pengendalian kecepatan untuk mencapai kinerja Motor DC yang diinginkan sehingga dibutuhkan pengendali yang tepat, selain itu penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pencarian nilai kendali parameter membutuhkan waktu yang cukup lama karena masih



menggunakan metode *trial and error* pada pengendali PIDnya, sehingga penulis ingin menggunakan pengendali STR-PID untuk membantu mencapai kecepatan yang diinginkan pada sistem Motor DC serta mempercepat pencarian nilai parameter pada *plant* Motor DC.

Maka penulis tertarik melakukan tugas akhir dengan judul “**Perancangan Kendali Adaptif STR-PID untuk Mengendalikan Kecepatan Motor DC**”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bagaimana cara merancang kendali adaptif STR-PID agar bisa mengendalikan kecepatan pada sistem motor DC untuk mencapai nilai kecepatan yang diinginkan (*setpoint*) meski memiliki nilai-nilai gangguan yang terjadi dan mampu meminimalisir *overshoot* dan *error steady state*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah mendapat suatu rancangan sistem kendali adaptif STR-PID untuk mengendalikan kecepatan motor DC agar mendapatkan respon *output* terutama mencapai nilai kecepatan (*setpoint*) yang diinginkan meski dengan berbagai macam gangguan yang terjadi dan meminimalisir nilai *overshoot* dan *error steady state*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan agar pembahasan tidak terlalu luas, maka penelitian ini membatasi masalah sebagai berikut:

1. Pemodelan sistem motor DC yang digunakan adalah jenis sumber daya terpisah [14],
2. Parameter yang digunakan untuk pemodelan berdasarkan Motor DC *type* PITMAN *series* GM 14900 *type* 1 [16],
3. Perancangan STR ini akan menggunakan metode pendekatan ARMA (*Autoregressive Moving Average*) orde 2.
4. Proses *tuning* nilai STR menggunakan algoritma *Extended Least Square* (ELS).
5. Nilai *setpoint* yang digunakan adalah 1750 rad/detik, merujuk dari penelitian sebelumnya [7].
6. Nilai uji coba gangguan adalah 10% lebih dan kurang dari *setpoint* merujuk ke penelitian sebelumnya [9].
7. Tidak ada pembahasan tentang *hardware*,



8. Sistem yang dibuat berupa simulasi menggunakan *software* MATLAB.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Menghasilkan sebuah rancangan sistem kendali yang menggunakan kendali adaptif STR-PID untuk mengatur kecepatan pada sistem motor DC dalam gangguan yang terjadi.
2. Dapat dijadikan referensi dalam mengaplikasikan sistem kendali pada proses industri.
3. Menjadi referensi tambahan untuk penelitian-penelitian berikutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, dijelaskan mengenai hal umum dari Tugas Akhir ini, yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Berisi mengenai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan pengetahuan dasar yang berhubungan dengan Tugas Akhir yang peneliti lakukan. Teori yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini yaitu: Sistem pengendalian, motor DC, metode identifikasi sistem, PID (*Proportional, Integral Derivative*), STR (*Self Tuning Regulator*), ARMA (*Auto Regressive Moving Average*), ELS (*Extended Least Square*), dan MATLAB.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi penjelasan mengenai tahapan dalam proses penelitian Tugas Akhir yang penulis lakukan. Dimulai dari identifikasi serta perumusan masalah, pengumpulan data, analisa dan perancangan, pengujian sistem, serta kesimpulan dan saran.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang pengujian performansi pengendali dan identifikasi sistem dari setiap pengendali.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil dan analisa, dan saran yang akan dilakukan untuk penelitian ke depannya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya dan terdapat penjelasan tentang dasar teori yang dipakai dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Dasar teori tersebut meliputi: Motor DC, metode identifikasi sistem, PID (*Proportional, Integral Derivative*), STR (*Self Tuning Regulator*), ARMA (*Auto Regressive Moving Average*), ELS (*Extended Least Square*), dan Perangkat Lunak MATLAB.

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, paper, buku dan sumber lainnya.

Penelitian yang berjudul Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik, pada penelitian ini disimpulkan bahwa dengan menggunakan pengendali ini masih terdapat nilai *error steady state* yang cukup besar dan pada penelitian ini penentuan nilai PID dilakukan dengan metode *trial and error* [7].

Penelitian selanjutnya yang berjudul Analisa Pengendalian Kecepatan Motor DC menggunakan Pengendali *hybrid* SMC dan PID dengan Metode Heuristik, pada penelitian ini disimpulkan bahwa pengendali *hybrid* SMC PID menunjukkan performansi yang paling baik. Hal ini terbukti dari hasil visualisasi dan analitik yang dilakukan. *Setpoint* yang diberikan berhasil tercapai dengan percobaan memberi gangguan sebesar perubahan sebesar 10% dari *setpoint* setelah pemberian beban, hal ini berhasil diatasi dengan baik. Penambahan PID dengan metode heuristik terhadap pengendali SMC berhasil menurunkan *error steady state* yang besar menjadi kecil. Tetapi kekurangan pada penelitian ini masih menggunakan metode *trial and error* sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencari nilai yang sesuai pada pengendali PIDnya [9]. Dari penelitian ini, penulis akan merujuk persentasi gangguannya sebagai pengujian kestabilan sistem.

Pada penelitian yang berjudul Desain Kendali MRAC dengan Kombinasi PID untuk Mengendalikan Kecepatan pada sistem Motor DC disimpulkan bahwa pengendali MRAC kombinasi PID yang dirancang telah bekerja dengan baik dalam meningkatkan



performansi sistem dan mampu mencapai tujuan yang diinginkan. Tetapi dalam penentuan nilai pada MRAC dan PIDnya masih menggunakan metode *trial and error* [8].

Dari ketiga penelitian tersebut, dapat dikatakan bahwa ketiganya menggunakan metode *trial and error* dalam mencari hasil yang terbaik. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah kendali adaptif seperti *self-tuning regulator* atau STR yang mampu membantu proses *tuning* untuk mendapatkan parameter kontrol yang tepat meskipun terjadi perubahan gangguan pada sistem. Seperti pada penelitian yang berjudul Perancangan dan Implementasi Kontroler PID Adaptif pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa, pada penelitian ini disimpulkan bahwa kontrol PID adaptif dengan STR (*self-tuning regulator*) ini dapat bekerja dengan baik untuk memperlambat respon *plant* dan juga mampu mengadakan adaptasi terhadap perubahan beban dengan kemampuan *recovery time* [14].

Pada penelitian yang berjudul Perancangan Kendali Adaptif STR-PID untuk Pengendalian Posisi Pada Sistem *Magnetic Levitation Ball*. Disimpulkan bahwa respon dapat bekerja dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan [13]. Dari kedua penelitian tentang STR PID dapat disimpulkan bahwa STR bekerja dengan cara memeriksa dan membaca data yang diterima oleh *plant* kemudian STR akan mencari parameter yang tepat dan meng-*update* parameter kendali PID agar tetap berada pada *setpoint* yang diinginkan. STR dapat menyesuaikan perubahan parameter yang mengganggu *output plant*, sehingga bisa dikatakan cukup mampu mengatasi gangguan yang terjadi [13] [14].

Berdasarkan studi literatur dan hasil penelitian yang didapat, maka penulis akan merancang pengendali STR untuk mengendalikan kecepatan pada sistem motor DC dipadukan dengan pengendali PID, agar dapat menutupi kekurangan seperti yang sebelumnya.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan seperti untuk memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri [3].

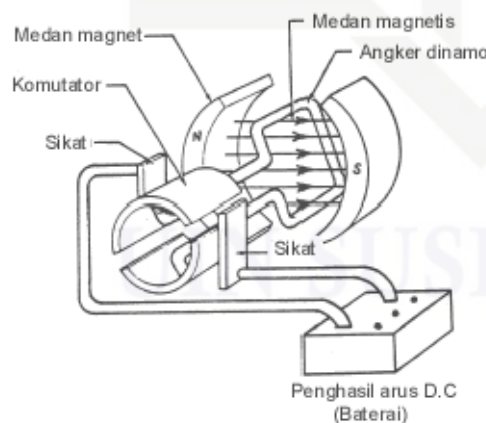


Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.

Penggunaan motor arus searah akhir-akhir ini mengalami perkembangan, khususnya dalam pemakaiannya sebagai motor penggerak. Motor arus searah digunakan secara luas pada berbagai motor penggerak dan pengangkut dengan kecepatan yang bervariasi yang membutuhkan respon dinamis dan keadaan *steady-state*. Motor arus searah mempunyai pengaturan yang sangat mudah dilakukan dalam berbagai kecepatan dan beban yang bervariasi. Itu sebabnya motor arus searah digunakan pada berbagai aplikasi tersebut. Pengaturan kecepatan pada motor arus searah dapat dilakukan dengan memperbesar atau memperkecil arus yang mengalir pada jangkar menggunakan sebuah tahanan.

2.2.2. Konstruksi Motor DC

Gambar di bawah ini merupakan konstruksi dari Motor DC.



Gambar 2. 1 Motor DC Sederhana [17]

Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar

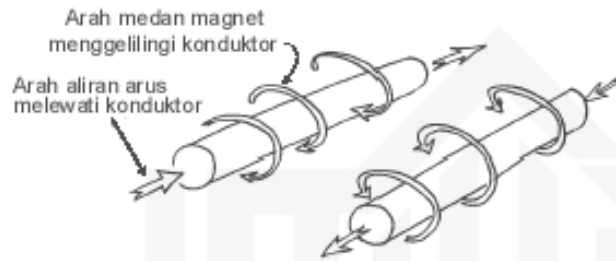
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian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



di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

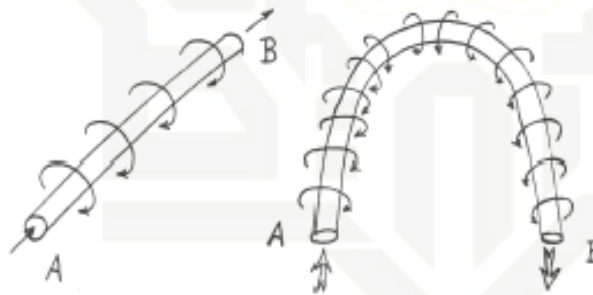
2.2.3. Prinsip Kerja Motor DC

Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor.



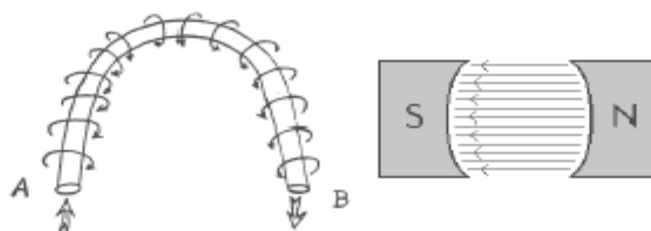
Gambar 2. 2 Medan Magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor [17]

Aturan Genggaman Tangan Kanan bisa dipakai untuk menentukan arah garis fluks di sekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari anda akan menunjukkan arah garis fluks. Gambar 2.3 menunjukkan medan magnet yang terbentuk di sekitar konduktor berbentuk U.



Gambar 2. 3 Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor [17]

Medan magnet hanya terjadi di sekitar sebuah konduktor jika ada arus mengalir pada konduktor tersebut. Pada motor listrik konduktor berbentuk U disebut angker dinamo.

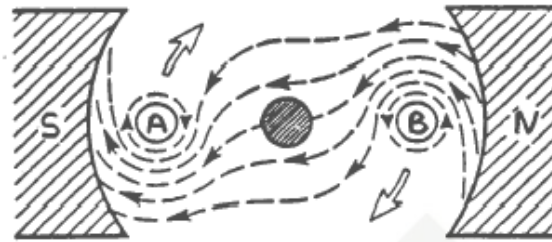


Gambar 2. 4 Medan magnet mengelilingi konduktor dan diantara kutub [17]

Hak cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengidentifikasi 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.



Jika konduktor berbentuk U (angker dinamo) diletakkan di antara kutub utara dan selatan yang kuat medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan medan magnet kutub. Lihat gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Reaksi garis fluks [17]

Lingkaran bertanda A dan B merupakan ujung konduktor yang dilengkungkan (*looped conductor*). Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B. Medan konduktor A yang searah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di bawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak ke atas untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di atas konduktor. Konduktor akan berusaha untuk bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat tersebut. Gaya-gaya tersebut akan membuat angker dinamo berputar searah jarum jam [18].

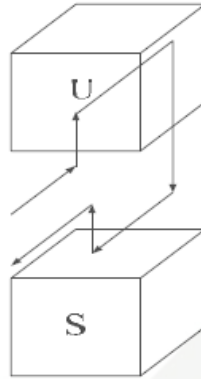
Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum:

- a. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- b. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran / *loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- c. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar / *torque* untuk memutar kumparan.
- d. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Pada motor dc, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat



untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi, daerah tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 6 Prinsip kerja motor DC [17].

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor. Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban dalam hal ini mengacu kepada keluaran tenaga putar / *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok:

- a. Beban *torque* konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torquencya* tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- b. Beban dengan variabel *torque* adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa sentrifugal dan *fan* (*torque* bervariasi sebagai kuadrat kecepatan). Peralatan Energi Listrik : Motor Listrik.
- c. Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

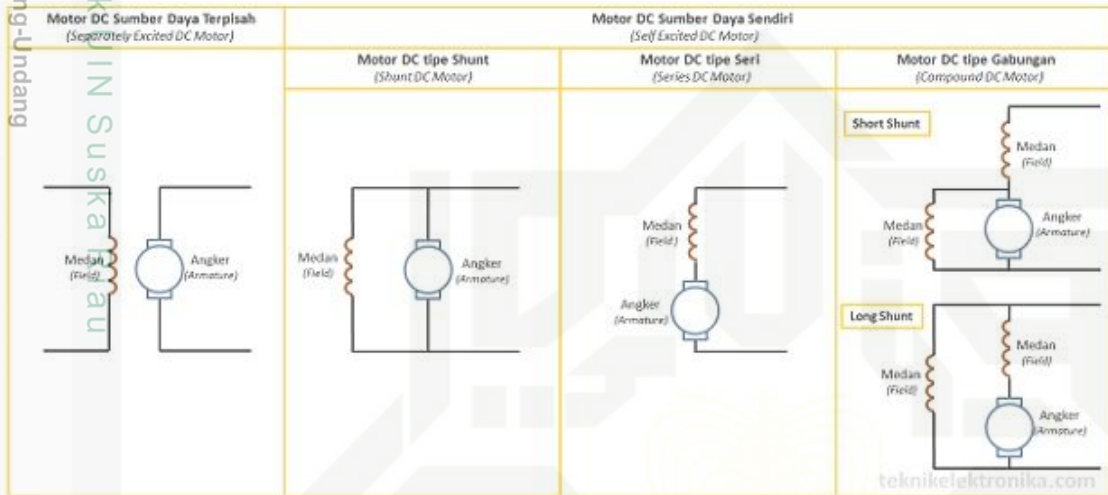
Untuk menentukan arah putaran motor digunakan kaedah *Flammig* tangan kiri. Kutub-kutub magnet akan menghasilkan medan magnet dengan arah dari kutub utara ke kutub selatan. Jika medan magnet memotong sebuah kawat penghantar yang dialiri arus searah dengan empat jari, maka akan timbul gerak searah ibu jari. Gaya ini disebut gaya *Lorentz*, yang besarnya sama dengan F . Prinsip motor adalah aliran arus di dalam



penghantar yang berada di dalam pengaruh medan magnet akan menghasilkan gerakan. Besarnya gaya pada penghantar akan bertambah besar jika arus yang melalui penghantar bertambah besar.

2.2.4. Jenis-jenis Motor DC

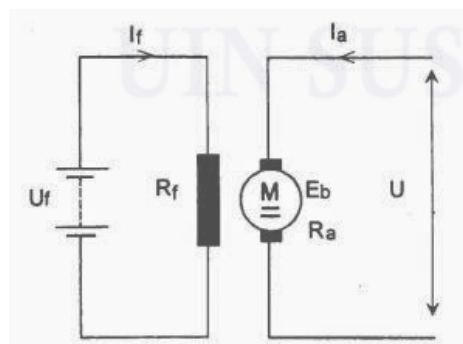
Jenis-jenis motor DC secara umum digambarkan sesuai diagram pada gambar 2.7 berikut:



Gambar 2. 7 Klasifikasi Motor DC [19].

a. Motor DC Penguat Terpisah

Motor DC jenis ini pada medan magnetnya disuplai oleh sumber tegangan yang terpisah dari sumber tegangan yang menyuplai medan magnet jangkar, sehingga tegangan pada penguatnya dapat dikendalikan dan kecepatannya dapat diatur tanpa mempengaruhi dari tegangan supplainya.



Gambar 2. 8 Motor DC Penguat Terpisah [20]



b. Motor DC Penguat Sendiri

Motor DC penguat sendiri ini yaitu jika arus penguat magnet diperoleh dari motor itu sendiri. Berdasarkan hubungan lilitan penguat magnet terhadap lilitan jangkar motor DC dengan penguat sendiri dapat dibedakan:

- Motor Seri

Motor ini dipasang secara seri dengan kumparan armature (kumparan angker). Motor ini, kurang stabil. Pada torsi yang tinggi kecepatannya menurun dan sebaliknya. Namun, pada saat tidak terdapat beban motor ini akan cenderung menghasilkan kecepatan yang sangat tinggi. [20]

- Motor *shunt*

Motor ini dinamakan motor DC shunt karena cara mengkabelkan motor ini yang parallel (*shunt*) dengan kumparan armature. Motor DC shunt berbeda dengan motor yang sejenis terutama pada gulungan kawat yang terkoneksi parallel dengan medan armature.

Karakter kecepatan motor DC tipe shunt adalah [20]:

1. Kecepatan pada praktiknya konstan tidak tergantung pada beban (hingga torque tertentu setelah kecepatannya berkurang) dan oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.
2. Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan dinamo (kecepatan berkurang) atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

- Motor Campuran/Kompon

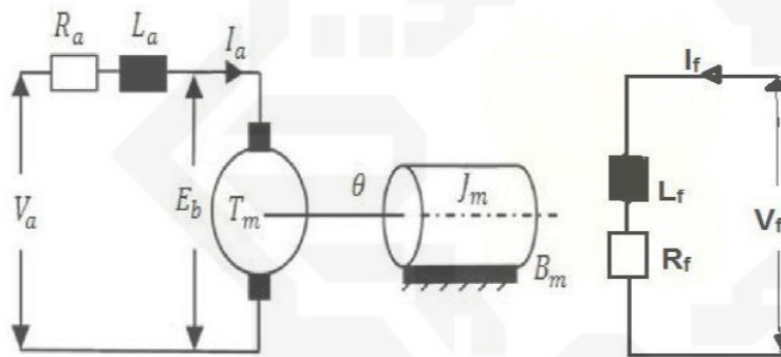
Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara parallel dan seri dengan gulungan dinamo (A). Sehingga, motor kompon memiliki torque penyalaan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula torque penyalaan awal yang dapat ditangani oleh motor ini [20].

2.2.5. Model Matematis Motor DC

Pemodelan matematis sistem motor DC dilakukan dengan cara menurunkan persamaan berdasarkan hukum-hukum fisika yang diilustrasikan pada Gambar 2.9 berikut ini. Gambar 2.9 merupakan rangkaian ekuivalen untuk motor DC. Perlu disepakati bahwa anak-panah menggambarkan arah patokan bagi arus terhadap rangkaian untuk memudahkan pemodelan. Dalam aplikasi sistem servo, motor dc ini umumnya dioperasikan pada daerah kurva kemagnetan yang linear. Oleh sebab itu fluks pada celah udara (K_f) sebanding dengan arus medannya (i_f), dalam hal ini adalah:

$$\phi = K_f i_f \quad (2.1)$$

Model pengendalian motor dc dengan armature terkendali ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2. 9 Rangkaian Motor DC [21]

Karena motor DC sering digunakan pada sistem kendali untuk tujuan analisis, sehingga perlu dibuat model matematis motor DC untuk diaplikasikan pada kendali menggunakan gambar rangkaian ekuivalen untuk mempresentasikan motor DC dengan magnet permanen. Untuk analisis linier diasumsikan bahwa torsi yang dihasilkan motor (T_m) sebanding dengan fluks pemisah udara, arus medan dan arus jangkar.

$$T_m = K_1 K_f I_f i_a \quad (2.2)$$

dimana K_1 adalah suatu konstanta.

Pada motor dc *armature* terkendali, arus medan selalu terjaga konstan, oleh karena itu persamaan 2.2 dapat ditulis:



$$T_m = K_T i_a \quad (2.3)$$

dimana K_T adalah konstanta dari torsi motor.

Pada bagian mekanik motor DC, terdapat persamaan kesetimbangan torsi motor dengan beban. Momen inersia dan torsi *damper* terletak pada bagian beban. Torsi yang dihasilkan motor bekerja terhadap inersia dan torsi beban, sehingga persamaan torsi motor T_m terhadap waktu (t) dapat ditulis sebagai berikut:

$$T_m(t) = J \frac{d\omega}{dt}(t) + T_L \omega(t) \quad (2.4)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) ke dalam persamaan (2.4) maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$K_T i_a(t) = J \frac{d\omega}{dt}(t) + T_L \omega(t) \quad (2.5)$$

Dengan membentuk transformasi Laplace dari persamaan (2.6), maka persamaan tersebut menjadi:

$$K_T I_a(s) = sJ\omega(s) + T_L \omega(s) \quad (2.6)$$

Ketika konduktor bergerak pada medan magnet, suatu tegangan dibangkitkan melintasi ujung-ujungnya. Tegangan ini, emf balik yang sebanding dengan kecepatan motor, berlawanan dengan kecepatan motor, berlawanan dengan aliran arus. Hubungan balik (e_b) Volt dengan kecepatan motor (ω) rad/detik adalah:

$$e_b(t) = K_b \omega(t) \quad (2.7)$$

dimana K_b adalah konstanta emf lawan.

Komponen elektrik yang merupakan kumparan jangkar terdiri atas tahanan dan induktansi jangkar, maka persamaan diferensial pada rangkaian jangkar berdasarkan hukum Kirchhoff dapat ditulis sebagai berikut

$$V_a(t) = i_a R_a(t) + L_a \frac{di_a}{dt}(t) + e_b(t) \quad (2.8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.7) ke dalam persamaan (2.8), maka didapat persamaan berikut:

$$V_a(t) = i_a R_a(t) + L_a \frac{di_a}{dt}(t) + K_b \omega(t) \quad (2.9)$$



Dengan membentuk transformasi Laplace dari persamaan (2.9), maka persamaan tersebut menjadi:

$$V_a(s) = I_a R_a(s) + sL_a I_a(s) + K_b \omega(s) \tag{2.10}$$

Dalam kasus motor DC, yang menjadi *input* adalah energi listrik $V_a(s)$ sedangkan *output* adalah energi mekanik $\omega(s)$. Maka untuk mendapatkan fungsi alih dari sistem motor DC yaitu $G(s) = \frac{\omega(s)}{V_a(s)}$, maka persamaan Laplace (2.10) disubstitusikan ke dalam persamaan Laplace (2.6), sehingga persamaan fungsi alih untuk motor DC menjadi:

$$K_T \left(\frac{V_a(s) - K_b \omega(s)}{R_a + sL_a} \right) = sJ\omega(s) + T_L \omega(s)$$

$$K_T (V_a(s) - K_T K_b \omega(s)) = (sJ\omega(s) + T_L \omega(s))(R_a + sL_a)$$

$$K_T V_a(s) = \omega(s)(sJ + T_L)(R_a + sL_a) + K_T K_b \omega(s)$$

$$K_T V_a(s) = \omega(s) \left[(sJ + T_L)(R_a + sL_a) + K_T K_b \right]$$

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_T}{\left[(sJ + T_L)(R_a + sL_a) + K_T K_b \right]}$$

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_T}{s^2 J L_a + s(J R_a + L_a T_L) + T_L R_a + K_T K_b}$$

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{\frac{K_T}{J L_a}}{s^2 + s(J R_a + L_a T_L) + (T_L R_a + K_T K_b)}$$

Sehingga,

$$G(S) = \frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{\frac{K_T}{J L_a}}{s^2 + s(L_a T_L + J R_a) + (R_a T_L + K_b K_T)} \tag{2.11}$$

Dimana:

V_a = Tegangan Masukan (Volt),

K_T = Konstanta Torsi (Nm/A),

J = Momen Inersia Ekuivalen (Kgm^2),



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

L_a = Induktansi kumparan jangkar (H),

T_L = Torka Beban (Nm),

ω = Kecepatan motor (rad/s),

R_a = Tahanan Jangkar (Ω),

K_b = Konstanta EMF balik (V/s.rad),

I_a = Arus kumparan jangkar (A).

Pada rancangan ini motor DC yang digunakan adalah type PITMAN Series GM 14900 type 1, dimana spesifikasi motor yang digunakan adalah sebagai berikut:

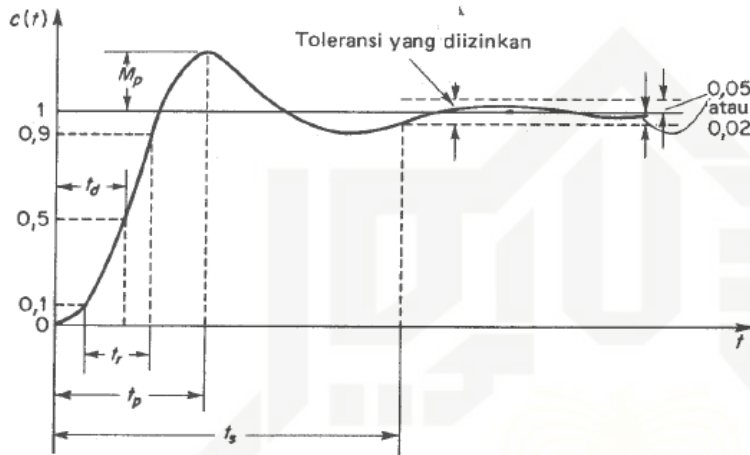
Tabel 2. 1 Parameter Motor DC [16]

No	Parameter motor DC	Nilai
1	No-Load Speed	4230 rad/s
2	No-Load Current	0,20 A
3	Tegangan Jangkar (V_a)	240 V
4	Konstanta Amplifier (K_A)	10 N-m/A
5	Konstanta Torsi Motor (K_T)	9,46 Nm/A
6	Back-EMF Konstan (K_b)	6,99 (V/krad/s)
7	Torsi Beban (T_L)	3,53 Nm
8	Momen Inersia (J)	$1,13 \times 10^{-3} \text{ g/m}^2$
9	Induksi Jangkar (L_a)	4,10 mH
10	Resistansi (R_a)	4,45 ohm



2.3 Identifikasi Sistem

Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan-step. Dimana sinyal uji diberikan kepada sistem untuk mengetahui respon sistem *open loop*. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem. Sistem yang digunakan pada pengaturan kecepatan motor DC merupakan sistem orde 2 yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 berikut:



Gambar 2. 10 Respon sistem orde dua [22]

Respon transien terdiri dari [22]:

1. Waktu tunda (*delay time*), t_d

Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai setengah dari nilai *output steady state* tunak untuk waktu pertama.

2. Waktu naik (*rise time*), t_r

Waktu naik adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai *steady state*.

3. Waktu puncak (*peak time*), t_p

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

4. *Overshoot* maksimum, M_p

Overshoot maksimum adalah nilai puncak kurva respon diukur dari satuan. Apabila nilai akhir keadaan tunak responnya jauh dari satu, maka biasa digunakan persen *overshoot* maksimum, dan didefinisikan oleh

$$\text{Maksimum (persen)overshoot} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% . \text{ Besarnya persen overshoot}$$

maksimum menunjukkan kestabilan relatif dari 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.



2.4 Proportional Integral Derivative (PID)

Proportional Integral Derivative (PID) adalah salah satu pengendali otomatis yang terdiri dari perpaduan tiga aksi dasar kendali yaitu Proporsional, Integral, dan Derivatif. Pada masing-masing memiliki aksi yang khas pada tiap-tiap kekurangan tiap pengendali P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ke tiganya dan merangkai secara paralel menghasilkan pengendali PID. Pada masing- masing aksi keseluruhan memiliki tujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem yang mampu menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan yang besar [18]. Oleh karena itu, pengendali PID merupakan pengendali berumpan balik dengan baik pada beberapa aplikasi proses petroleum, proses polimer, dan lain sebagainya.

Adapun bentuk umum dari aksi kendali PID sebagai berikut :

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de}{dt} \quad (2.12)$$

Persamaan 2.10 diubah ke dalam bentuk Laplace menjadi

$$\frac{U(s)}{E(s)} = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \quad (2.13)$$

Dimana :

k_p = Proporsional Gain

k_i = Integral Gain

k_d = Derivatif Gain

Pengendali proporsional (K_p) akan memberikan efek mengurangi waktu naik, tetapi tidak menghapus *error steady state*. Pengendali integral (K_i) akan memberikan efek menghapus *error steady state* tetapi berakibat buruk pada saat menanggapi respon. Pengendali derivatif (K_d) berdampak pada stabilitas sistem, mengurangi kesalahan keadaan tunak dan menaikkan respon transien. Hubungan dari ketiga aksi ditunjukkan pada Tabel 2.2.

2.5 Tuning (Penalaan) Parameter PID

Istilah penalaan (*tuning*) untuk menggambarkan metode-metode yang digunakan dalam memilih pengontrolan agar mendapat unjuk kerja yang diinginkan. Pada penelitian ini dilakukan penalaan pada pengendali P, I dan D. Metode penalaan parameter pengendali



yang digunakan adalah metode uji coba atau Metode Heuristik yaitu dengan mengombinasikan antara parameter ke pengendali sehingga didapatkan respon yang diinginkan.

Hubungan dari ketiga aksi pengendali tersebut ditunjukkan pada Tabel berikut :

Tabel 2.2 Hubungan antara kendali P, I dan D [5]

Respon lup tertutup	Waktu naik	<i>Overshoot</i>	Waktu turun	Kesalahan keadaan tunak
K_p	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
K_i	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
K_d	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

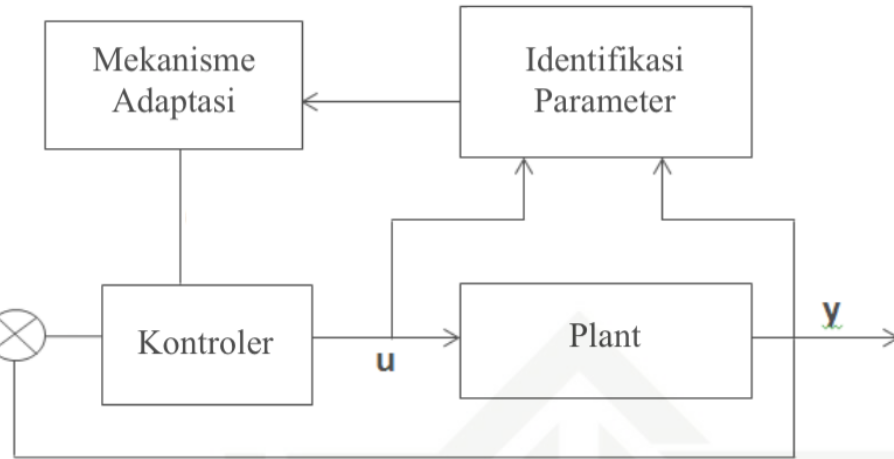
2.6 Self Tuning Regulator (STR)

STR adalah salah satu skema teknik kendali adaptif, dimana parameter sistem diestimasi dan hasil estimasi parameter yang telah dihitung digunakan untuk mendapatkan parameter kontrol [23]. STR ini dikatakan mampu melakukan estimasi terhadap nilai parameter pada kendali PID. STR bekerja dengan cara memeriksa dan membaca data yang diterima oleh *plant* kemudian STR akan mencari parameter yang tepat dan meng-*update* parameter kendali PID agar tetap berada pada *setpoint* yang diinginkan. STR dapat menyesuaikan perubahan parameter yang mengganggu *output plant*, sehingga bisa dikatakan cukup mampu mengatasi gangguan yang terjadi [23].

Dalam penggunaannya berikut merupakan urutan dari STR, yaitu mulai dari pendekatan struktur pemodelan *plant* lalu estimasi parameter sehingga bisa mendesain kendali.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan 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.



Gambar 2. 11 Rangkaian Dasar STR [14].

Pada blok Estimasi merupakan identifikasi parameter dari *plant* yang menggunakan algoritma identifikasi dalam bentuk diskrit agar *plant* memiliki sifat adaptif [14]. Skema STR di estimasi dari parameter-parameter proses secara terus-menerus di-update dan parameter pengendali didapatkan dari solusi dengan menggunakan parameter yang diestimasi [14]. Parameter pengendali diatur oleh kalang yang terdapat di bagian luar, yang terdiri dari blok estimasi parameter dan blok perhitungan desain pengendali. Pada skema STR parameter pengendali atau parameter proses diestimasi secara *real-time* [23].

Parameter-parameter *plant* dari model diestimasi secara *on-line*, dan blok “Estimasi” pada gambar 2.10 melaksanakan estimasi dari parameter-parameter proses. Blok “Desain Kontroler” merepresentasikan penyelesaian desain dari parameter yang telah diidentifikasi. Blok “Pengendali” adalah implementasi pengendalian yang diberikan kepada objek dengan parameter-parameter yang didapatkan dari blok “Desain Pengendali” sehingga sistem ini bisa disebut otomatisasi proses estimasi dan desain karena model dari proses dan desain kendali diperbarui setiap saat [25].

Blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 2.11 mempunyai banyak pilihan yang dapat digunakan untuk model dan struktur dari system kendali adaptif. Pada Tugas Akhir ini, struktur model plant akan menggunakan ARMA orde 2 dengan proses diestimasi menggunakan algoritma ELS.

2.7 ARMA (Auto Regressive Moving Average)

Pada proses perancangan kendali STR sistem pada *plant* diubah ke dalam bentuk sistem diskrit dengan menggunakan metode pendekatan ARMA orde2 yang mengubah



sistem *continue* (s) menjadi diskrit atau digital (z) [26]. Dimana pemodelan diskrit harus memenuhi Persamaan yang berlaku pada ARMA orde 2 adalah sebagai berikut:

$$y(k) = -a_1y(k-1) - a_2y(k-2) \dots - a_{n_a}y(k-n_a) + b_0x(k-d) + \dots + b_{n_b}x(k-d-n_b) \quad (2.14)$$

dengan transformasi Z diperoleh

$$(a_0 + a_1z^{-1} + a_{n_a}z^{-n_a})y(z) = (b_0z^{-d} + \dots + b_{n_b}z^{-d-n_b})x(z) \quad (2.15)$$

$$y(z) = \frac{z^{-d}(b_0 + \dots + b_{n_b}z^{-n_b})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_{n_a}z^{-n_a}} \quad (2.16)$$

Sedangkan untuk *plant* orde 2 menjadi:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{z^{-1}(b_0 + b_1z^{-1})}{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (2.17)$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0z^{-1} + b_1z^{-2}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (2.18)$$

Untuk pengubahan nilai *Transfer Function plant* ke persamaan transformasi Z menggunakan transformasi bilinear berikut:

$$s = \frac{2}{T_s} \times \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (2.19)$$

Dengan penentuan nilai T_s (*time sampling*) pada transformasi bilinear harus mengikuti ketentuan berikut:

$$\frac{T_r}{10} \leq T_s \leq \frac{T_r}{2} \text{ dan } T_s < T_d \quad (2.20)$$

2.8 ELS (*Extended Least Square*)

Kendali STR menggunakan algoritma *Recursive Least Square* (RLS) sebagai identifikasi sistem. Identifikasi sistem adalah suatu cara menentukan model matematis dari sebuah sistem, RLS merupakan salah satu metode estimator dari identifikasi parameter agar sistem memiliki sifat yang adaptif. Estimasi dilakukan secara *real-time* di dalam sistem, bagian *input* dan *output* dari *plant* yang digunakan sebagai input untuk algoritma estimasi [27]. Laju konvergensi pada algoritma RLS lebih cepat dengan tingkat kesalahan yang lebih sedikit. Prinsipnya dasar dari metode ini adalah menghitung nilai parameter-parameter dari suatu model matematik yang nilainya tak diketahui, parameter tersebut

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

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Haris Cipta Dilindungi Undang-undang

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

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



harus dipilih dengan meminimalkan jumlah kuadrat antara pengamatan aktual dengan *output* yang diprediksi dengan nilai pembobotan yang akan menentukan tingkat kepresisian dari parameter yang diestimasi. Kriteria RLS adalah kuadratik, dengan demikian solusi analitik dari permasalahan RLS akan ada sepanjang variabel yang diukur adalah linier. Dalam sistem kendali adaptif pengamatan data diperoleh secara sekuensial secara *real time* [14]. Oleh karena itu metode ini sangat diperlukan dalam estimasi parameter secara *real time*.

Secara umum model dari suatu proses dapat ditulis sebagai berikut:

$$Gp(z^{-1}) = \frac{z^{-d} N(z^{-1})}{D(z^{-1})} \tag{2.21}$$

Dimana d adalah time delay $n \geq m + d$

$$N(z^{-1}) = \beta_0 + \beta_1 z^{-1} + \dots + \beta_m z^{-m} \tag{2.22}$$

$$D(z^{-1}) = \alpha_0 + \alpha_1 z^{-1} + \dots + \alpha_m z^{-m} \tag{2.23}$$

Dalam persamaan:

$$Y(k) = -a_1 Y(k-1) - a_2 Y(k-2) + \dots + a_n Y(k-n) + b_0 U(k-d) \dots + b_m U(k-d-m) \tag{2.24}$$

Dalam bentuk vector $y(k) = \varphi^T(k)\theta$ dimana:

$$\theta = [a_1 \ a_2 \ b_0 \ b_1] \tag{2.25}$$

$$\varphi^T(k) = [-y(k-1), -y(k-2), \dots, -y(k-n), u(k-d)] \tag{2.26}$$

Maka metode RLS estimator dapat diberikan sebagai berikut:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}[(k-1) + F(k)[y(k) - \varphi^T(k), \varphi^T(k-1)]] \tag{2.27}$$

$$F(k) = F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{1 + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)} \tag{2.28}$$

Dalam memperoleh mengestimasi nilai parameter $\hat{\theta}(k)$ dengan menambahkan bobot *error* prediksi nilai $y(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1)$ untuk nilai estimasi $\hat{\theta}(k-1)$

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



sebelumnya. Nilai $F(k)$ adalah matrik gain estimasi (*weighting factors*) yang memperlihatkan bagaimana nilai koreksi dan nilai estimasi parameter sebelumnya harus digabungkan. Metode ini disebut dengan *Standard Least Square*, dimana metode ini cukup baik untuk mengestimasi nilai parameter secara *offline* atau dengan jumlah iterasi data yang terbatas. Namun untuk estimasi secara *online* untuk jumlah iterasi yang tak terhingga, maka dari Persamaan (2.21), matrik gain estimasi dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah iterasi, maka nilai matrik gain estimasi $F(k)$ akan semakin mengecil dan akhirnya menuju nol [24] Jika hal ini terjadi, maka metode *Standard Least Square* akan kehilangan kemampuan untuk mengestimasi parameter. Untuk mengatasi hal ini, dikembangkan sebuah metode untuk memodifikasi nilai matrik gain estimasi agar tetap konstan dan tidak mengecil. Modifikasi nilai matrik gain estimasi dilakukan dengan cara dengan memilih gain adaptasinya.

Untuk itu formulasi dari $F(k)$ dimodifikasi menjadi:

$$F(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{\lambda_1(k) / \lambda_2(k) + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)} \quad (2.29)$$

Hasil modifikasi diatas disebut *Extended Least Square* (ELS) dengan menggunakan *constant forgetting factor* agar estimasi yang dilakukan secara terus menerus tanpa batasan waktu [28], dengan nilai λ_1, λ_2 sebagai berikut:

- 1) Dipilih nilai $0 < \lambda_1 < 1$ dan $\lambda_2 = 1$
- 2) Atau dipilih $\lambda_1 = 1$ dan $\lambda_2 > 1$

2.9 Kendali PID Diskrit

Kendali PID kontinyu secara umum ditulis sebagai berikut[28]:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = H_{PID}(s) = K \left[1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d s}{N}} \right] \quad (2.30)$$

Beberapa metode untuk mendiskritkan persamaan kontinyu, Tetapi secara umum bentuk diskrit akan sama. Untuk kasus ini menggunakan metode *Backward Difference Approximation* di mana *factors (derivative)* akan didekati dengan pendekatan $\frac{1-q^{-1}}{T_s}$, dan $1/s$ (integral) akan didekati dengan $\frac{T_s}{1-q^{-1}}$ [15]. Dari persamaan (2.30), akan didapatkan *transfer function*:



$$TF = K \left[1 + \frac{T_s}{T_i} \frac{1}{1-q^{-1}} + \frac{NT_d}{T_d+NT_s} \frac{(1-q^{-1})}{1-\frac{T_d}{T_d+NT_s}q^{-1}} \right] \quad (2.31)$$

Dengan menyelesaikan Persamaan (2.31), akan didapatkan bentuk perbandingan *polynomial* $R(q^{-1})$ dan $S(q^{-1})$ menjadi Persamaan (2.32), dan Persamaan (2.33):

$$R(q^{-1}) = k_1 + k_2q^{-1} + k_3q^{-2} \quad (2.32)$$

$$S(q^{-1}) = (1 - q^{-1})(1 + k_0q^{-1}) \quad (2.33)$$

Sehingga:

$$H_{PID}(q^{-1}) = \frac{R(q^{-1})}{S(q^{-1})}$$

Dimana:

$$k_0 = \frac{T_d}{T_d+NT_s} \quad (2.34)$$

$$k_1 = K \left[1 + \frac{T_s}{T_i} - Nk_0 \right] \quad (2.35)$$

$$k_2 = K \left[k_0 \left(1 + \frac{T_s}{T_i} + 2N \right) - 1 \right] \quad (2.36)$$

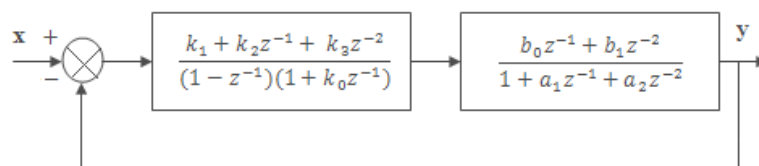
$$k_3 = -K k_0 (1 + N) \quad (2.37)$$

Seperti kendali PID kontinyu, PID diskrit juga memiliki 4 parameter (k_0, k_1, k_2, k_3). Dalam desain kendali PID parameter dari PID diskrit akan dipilih sebagai fungsi dari parameter *plant* yakni k_0, k_1, k_2 dan k_3 akan menggantikan seluruh parameter konstanta dari PID diskrit. Maka bentuk *transfer function* dari PID diskrit yang akan digunakan akan menjadi:

$$\frac{u(q^{-1})}{e(q^{-1})} = \frac{k_1 + k_2q^{-1} + k_3q^{-2}}{(1-q^{-1})(1+k_0q^{-1})} \quad (2.38)$$

Atau dalam bentuk transformasi z:

$$\frac{u(z)}{e(z)} = \frac{k_1 + k_2z^{-1} + k_3z^{-2}}{(1-z^{-1})(1+k_0z^{-1})} \quad (2.39)$$



Gambar 2. 12 Diagram Blok *Plant* dengan Kendali PID Diskrit [14]



CLTF dari gambar 2.12 diatas adalah:

$$Y(z) = \frac{\left(\frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1-z^{-1})(1+k_0 z^{-1})} \right) \left(\frac{b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2}}{1+a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \right)}{1 + \left[\left(\frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1-z^{-1})(1+k_0 z^{-1})} \right) \left(\frac{b_0 z^{-1} + b_1 z^{-2}}{1+a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \right) \right]} \tag{2.40}$$

Jika dipilih $a_1 = \frac{k_2}{k_1}$, $a_2 = \frac{k_3}{k_1}$ dan $k_0 = \frac{b_1}{b_0}$ akan didapatkan persamaan:

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\frac{k_1 b_0 z^{-1}}{(1-z^{-1})}}{1 + \frac{k_1 b_0 z^{-1}}{(1-z^{-1})}} \tag{2.41}$$

Dan bentuk fungsi alih CLTF akhir adalah seperti di bawah:

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{k_1 b_0 z^{-1}}{1 + (k_1 b_0 - 1) z^{-1}} \tag{2.42}$$

Terlihat persamaan CLTF plant adalah orde satu, dengan Time constan fungsi nilai parameter $k_1 * b_0$

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{K \frac{T_s}{2\tau + T_s} z^{-1}}{1 + \frac{T_s - 2\tau}{T_s + 2\tau} z^{-1}} \tag{2.43}$$

Dimana :

- K = Gain Overall
- Ts = Time Sampling
- τ = Time Constant Plant

Dengan:

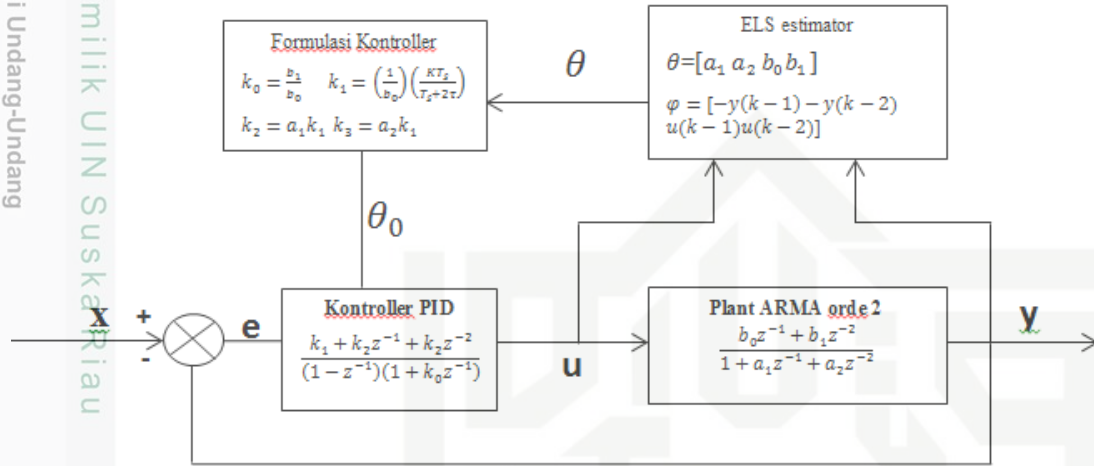
$$k_1 = \frac{1}{b_0} \frac{K T_s}{T_s + 2\tau} \tag{2.44}$$

Maka akan didapatkan nilai Gain overall (K) plant dan parameter-parameter k_0, k_1, k_2 dan k_3 sebagai berikut:

- $k_0 = \frac{b_1}{b_0}$
- $k_1 = \left(\frac{1}{b_0} \right) \left(\frac{K T_s}{T_s + 2\tau} \right)$
- $k_2 = a_1 k_1$
- $k_3 = a_2 k_1$

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

Maka semua parameter kontroler PID telah ditemukan dalam bentuk parameter *plant*, bentuk lengkap diagram blok STR dengan PID adaptif pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Diagram Blok Perhitungan Parameter [14]

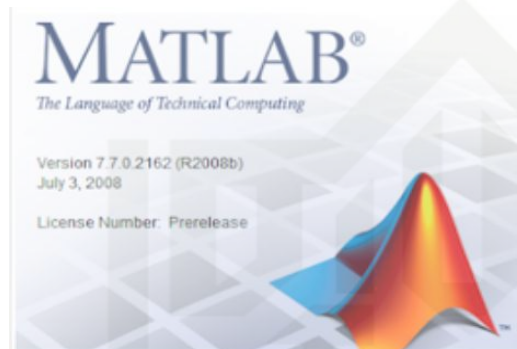
Sinyal kendali yang akan diumpankan ke *plant* dalam bentuk persamaan yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \\
 u(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1}) &= e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}) \\
 u(1 + k_0 z^{-1} - z^{-1} - k_0 z^{-2}) &= e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}) \\
 u(1 + (k_0 - 1)z^{-1} - k_0 z^{-2}) &= k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2} \\
 u + (k_0 - 1)u z^{-1} - k_0 u z^{-2} &= k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2} \\
 u(k) + (k_0 - 1)u(k - 1) - k_0 u(k - 2) &= k_1 e + k_2 e(k - 1) + k_3 e(k - 2) \\
 u(k) &= -(k_0 - 1)u(k - 1) + k_0 u(k - 2) + k_1 e(k) + k_2 e(k - 1) + k_3 e(k - 2)
 \end{aligned}$$



2.10 Perangkat Lunak MATLAB

Matlab merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory* yang berarti bahasa pemrograman tingkat tinggi (semakin tinggi tingkat bahasa pemrograman maka semakin mudah cara penggunaannya) dengan kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam sebuah lingkungan tunggal. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrix* sebagai variabel elemennya tanpa membutuhkan pendeklarasian *array*.



Gambar 2. 14 Tampilan awal MATLAB.

Matlab dikembangkan oleh Mathwork pada tahun 1970. Aplikasi Matlab ini banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik. Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk *plot* grafik. Pada perangkat lunak Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu:

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

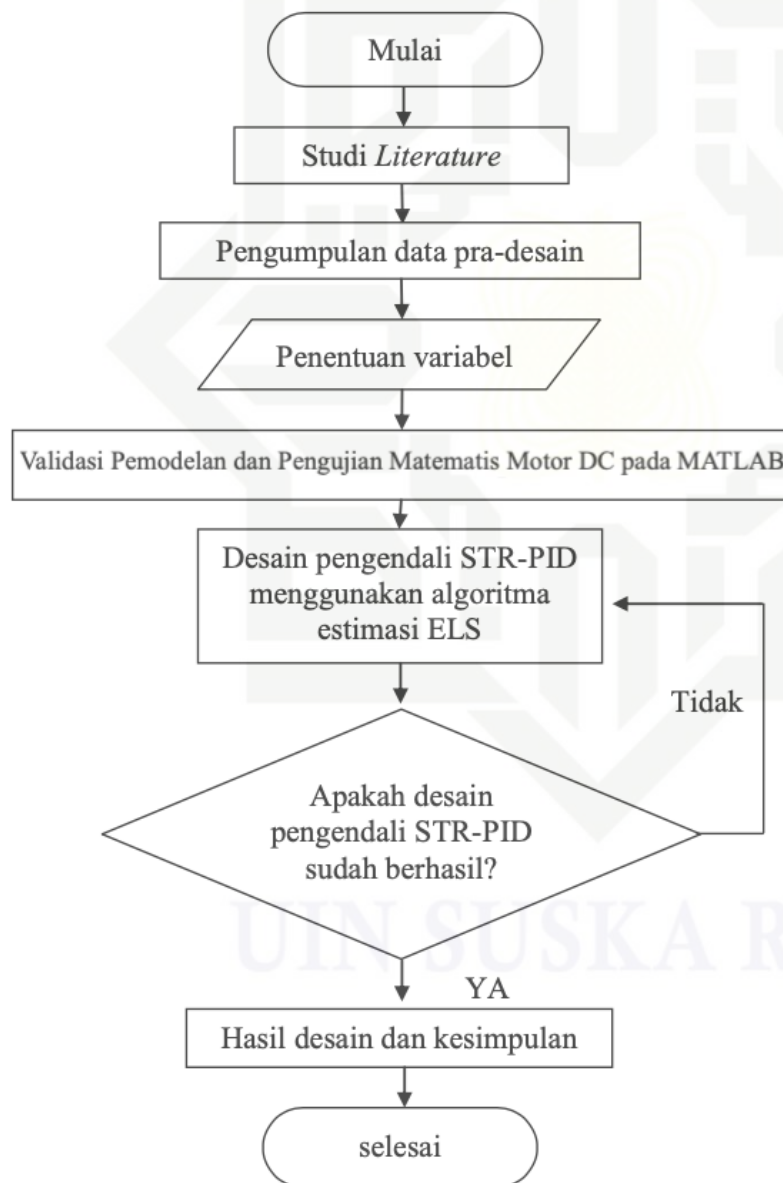
Simulink adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam Matlab untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Program *simulink* memudahkan *user* untuk membuat suatu simulasi lebih interaktif. Tiruan sistem diharapkan mempunyai perilaku yang sangat mirip dengan sistem fisik. Jika digunakan dengan benar, simulasi akan membantu proses analisis dan desain sistem.

Simulink dalam Matlab juga dapat menunjukkan performansi sistem dalam bentuk dua ataupun tiga dimensi. Dalam perancangannya *user* menjadi mudah karena adanya blok-blok diagram yang dapat dengan mudah diatur sedemikian rupa, sesuai dengan model matematis dari sistem atau *plant* yang akan dikendalikan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Metode Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau langkah-langkah yang penulis lakukan, mulai dari studi literatur hingga hasil akhir dalam penelitian tugas akhir ini. Adapun tahap yang dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 *Flow Chart* 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.



3.2 Tahapan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, dibutuhkan sebuah perencanaan agar penelitian ini dalam pengerjaannya sesuai dengan yang diharapkan diawal. Perencanaan dalam penelitian ini dimulai dengan melakukan identifikasi masalah tentang pengendalian kecepatan pada sistem Motor DC, kemudian dilanjutkan dengan pengujian plant, penentuan judul sampai dengan tujuan yang diinginkan dari suatu penelitian sehingga terdapat beberapa tahap perencanaan yang harus dilakukan yaitu:

1. Studi literatur

Melakukan *review*/telaah beberapa pustaka dan penelitian terkait, baik dari artikel penelitian yang telah dipublikasikan maupun buku yang diterbitkan mengenai pemodelan matematis motor DC dan pengendali adaptif STR-PID.

2. Pengumpulan data pra-desain

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data pra-desain untuk pemodelan matematis motor DC dalam bentuk diskrit dengan model struktur ARMA orde 2 dan spesifikasi *output* kendali yang diinginkan dalam bentuk persamaan diskrit orde 1.

3. Penentuan variable

Berdasarkan persamaan (2.11) setelah dimasukkan nilai-nilai parameter motor DC pada table 2.1 ke dalam model fungsi alih motor DC, maka didapatkan fungsi alih motor DC sebagai berikut:

$$\frac{\omega(s)}{Va(s)} = \frac{9,46}{s^2 + s(4.10 \times 3.53) + (1.13 \times 10^{-3} \times 4.45) + (4.45 \times 3.53 + 6.99 \times 9.46)} \quad (3.1)$$

Data-data pra-desain yang sudah didapatkan akan dibuat dalam model matematis yang berbentuk persamaan *transfer function*:

$$G = \frac{c}{s^2 + sa + b} \quad (3.2)$$

Dengan:

$$a = 14.523; b = 81.883; c = 204.18$$

Sehingga data-data pra-desain yang sudah didapatkan dibuat dalam model matematis berbentuk persamaan *transfer function* berbentuk:

$$TF = \frac{204.18}{s^2 + 14.523s + 81.833} \quad (3.3)$$

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.



4. Validasi Pemodelan dan Pengujian Matematis Motor DC pada MATLAB

Pada tahap ini dilakukan pengujian model matematis dalam bentuk *transfer function* dari sistem Motor DC yang sudah dirubah ke dalam bentuk bahasa pemrograman MATLAB *simulink* guna divalidasi bentuk keluarannya, apakah hasil keluarannya sudah sesuai dengan rujukan dari penelitian sebelumnya. Apabila telah sesuai maka penelitian selanjutnya adalah melakukan perancangan pengendali adaptif STR-PID.

5. Perancangan pengendali adaptif STR-PID menggunakan algoritma estimasi ELS

Pada tahap ini, dilakukan perancangan pengendali adaptif STR-PID menggunakan estimasi ELS agar sistem selalu meng-*update* nilai parameter ketika terjadi perubahan dalam waktu yang tidak terbatas.

6. Pengujian dan Analisa hasil perancangan pengendali adaptif STR-PID

Pemodelan yang telah didesain pada *simulink* MATLAB akan diuji dan dianalisa untuk mengetahui apakah pemodelan ini sudah mencapai *setpoint* yang diinginkan. Apabila sistem tidak mencapai *setpoint* maka akan dilakukan kembali perancangan pengendali adaptif STR-PID, dan apabila telah sesuai maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa hasil pengujian berdasarkan hasil respon keluaran sistem.

7. Hasil desain dan kesimpulan.

Pada tahap ini penulis mengklarifikasi hasil desain tersebut terhadap tujuan yang akan dicapai. Apabila telah terpenuhi, penelitian yang telah dilakukan berhasil dan apabila sebaliknya, maka perlu melakukan pemeriksaan ulang pada perancangan pengendali yang telah dibuat. Apabila masalah telah terselesaikan dan tujuan telah tercapai maka di tarikhlah kesimpulan penelitian.

3.3 Pengumpulan Data

Dalam perancangan kendali STR-PID, persamaan yang digunakan adalah persamaan *transfer function* (3.3), dengan nilai *setpoint* = 1750 rad/s.

3.4 Penentuan Variabel

Data-data yang sudah didapatkan dibuat dalam model matematis berbentuk persamaan *transfer function* berbentuk persamaan 3.2.

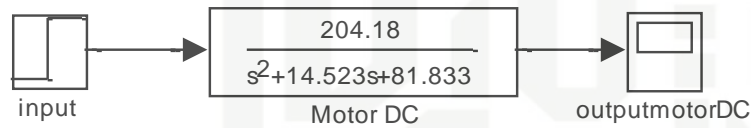


Bentuk *transfer function* diatas dapat juga dituliskan menjadi:

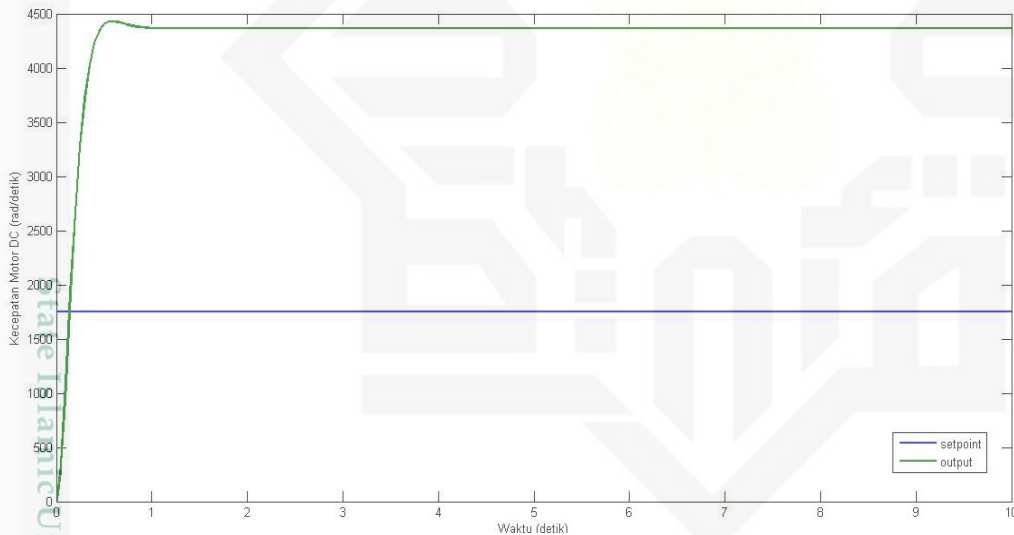
$$G(s) = \frac{204.18}{s^2 + 14.523s + 81.883} \tag{3.4}$$

3.5 Validasi Pemodelan dan Pengujian Matematis Motor DC pada MATLAB

Pengujian *plant* motor DC dilakukan menggunakan perangkat lunak *Simulink* *Matlab* 7.8.0 R2008a dengan *time sampling* 10 detik, blok diagram simulasi pengujian dilakukan secara *open loop* pada *plant* motor DC digambarkan seperti pada gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3. 2 Blok *simulink* diagram blok *open loop* motor DC



Gambar 3. 3 *Output* kecepatan motor DC *open loop* (tanpa pengendali)

Respon sistem motor DC tanpa pengendali (*open loop*) merupakan sistem yang stabil namun tidak dapat mengikuti *setpoint* yang diinginkan. Hal ini ditunjukkan pada gambar 3.5 dimana secara *open loop* tanpa menggunakan pengendali yang disimulasikan menggunakan MATLAB dan hasil respon keluaran sistem menunjukkan grafik yang sama sesuai dengan rujukan. Terlihat bahwa hasil respon sistem memiliki *overshoot* yang besar, nilainya melebihi *setpoint* yang diberikan dan *error steady state* yang besar. Sehingga

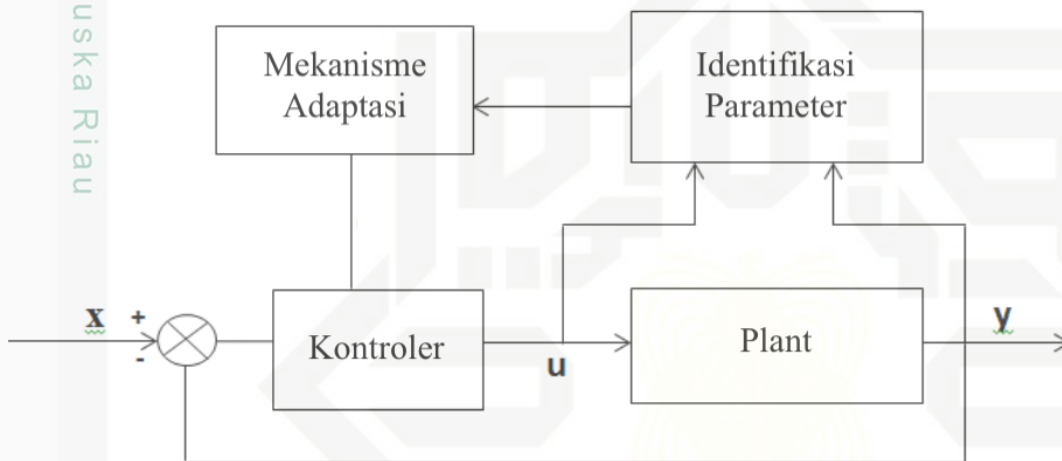
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang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



berdasarkan pengujian simulasi tanpa pengendali maka sistem Motor DC perlu dipasang pengendali yang dapat memperkecil masalah dan menstabilkan sistem tersebut.

3.6 Perancangan kendali STR

Pada *plant* yang telah dirancang akan diterapkan sebuah ilmu kendali yang disebut sebagai kendali adaptif. Adapun langkah-langkah dalam perancangan kendali STR digambarkan pada gambar 2.10.



Gambar 3. 4 Diagram Blok STR

Pada Gambar 3.4, terlihat ada 4 blok (komponen) utama yang membangun diagram *Self Tuning Regulator*, yakni:

1. *Plant*
2. Identifikasi Parameter
3. Mekanisme Adaptasi
4. Kontroler

3.6.1 Perancangan *Plant*

Karakteristik dari persamaan matematis (*transfer function*) dari *plant* harus dipastikan, apakah orde satu atau orde dua. Sistem yang digunakan pada penelitian ini merupakan sistem orde dua. Kemudian diubah menjadi persamaan diskrit dengan menggunakan persamaan ARMA orde 2.

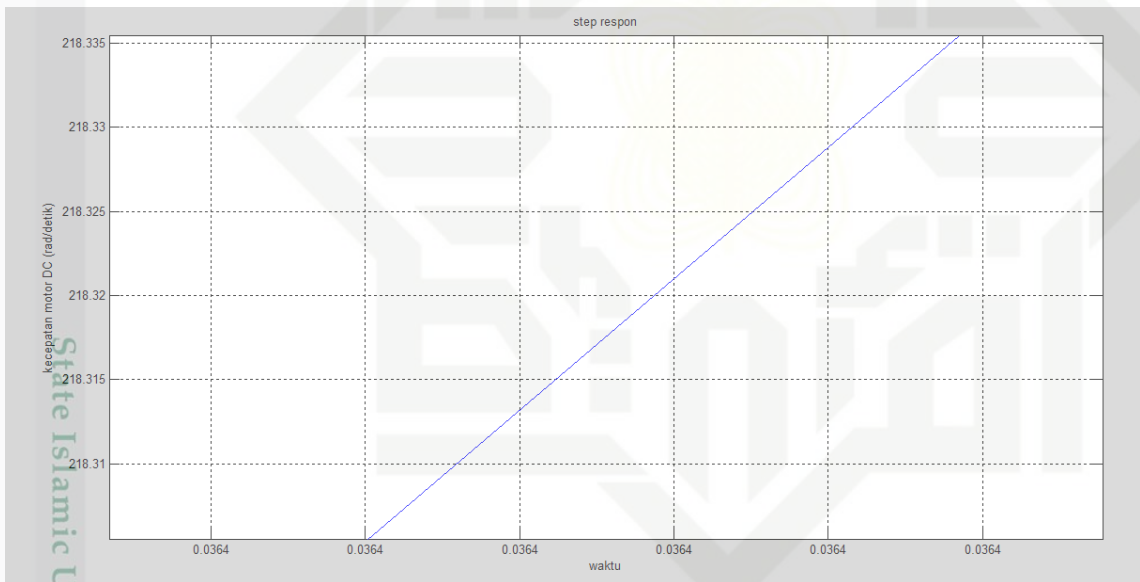


Dalam proses penurunan persamaan plant ke ARMA orde 2 dibantu dengan persamaan bilinear, Dengan penentuan nilai T_s (*time sampling*) untuk transformasi bilinear mempunyai kondisi yang harus dipenuhi seperti pada persamaan 2.20.

Dimana berdasarkan hasil simulasi *open loop* dari sistem didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Nilai waktu naik atau } rise \text{ time } (t_r) \text{ (5\% - 95\%)} \\
 y_{(5\%)} &= 5\% \text{ dari respon } output \text{ steady state} \\
 &= 5\% \times 4366,4 \\
 &= 218.32 \text{ rad/detik}
 \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan kondisi 218.32 rad/detik tidak terlihat pada grafik sehingga untuk melihatnya menggunakan grafik yang telah dilakukan zoom sampai batas tertentu.



Gambar 3. 5 Data Rise Time (5%) Open Loop pada Motor DC

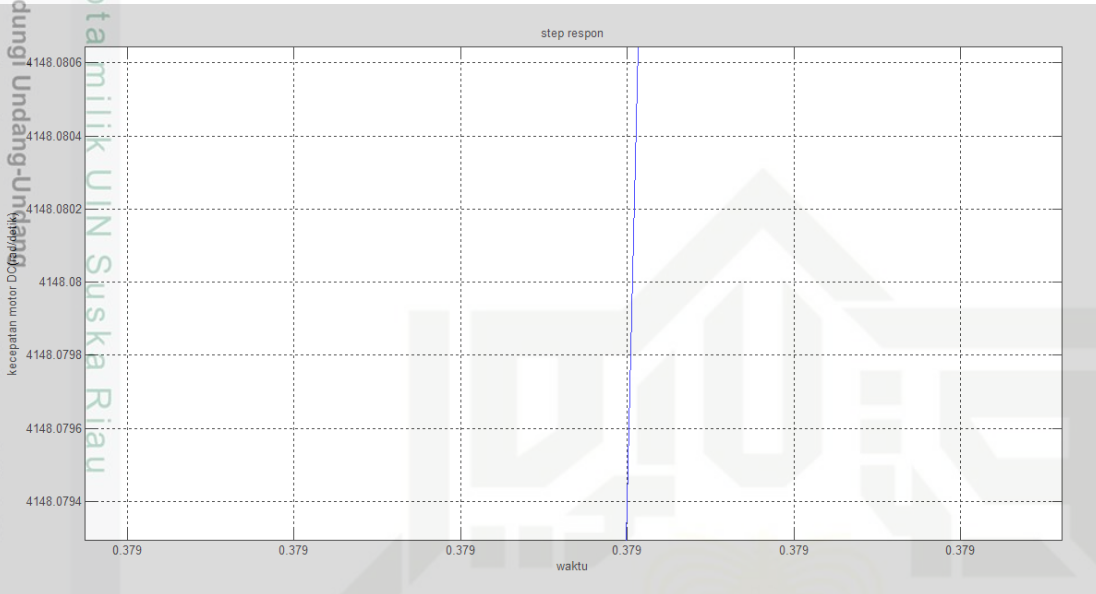
Dari gambar 3.5 diatas, dapat dilihat bahwa untuk mencapai kondisi 218.32 rad/detik waktunya adalah 0.0364 detik

$$\begin{aligned}
 y_{(95\%)} &= 95\% \text{ dari respon } output \text{ steady state} \\
 &= 95\% \times 4366,4 \\
 &= 4148.08 \text{ rad/detik}
 \end{aligned}$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya 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.



Nilai yang menunjukkan kondisi 4148.08 rad/detik tidak terlihat pada grafik sehingga untuk melihatnya menggunakan grafik yang telah dilakukan zoom sampai batas tertentu.



Gambar 3. 5 Data Rise Time (95%) Open Loop pada Motor DC

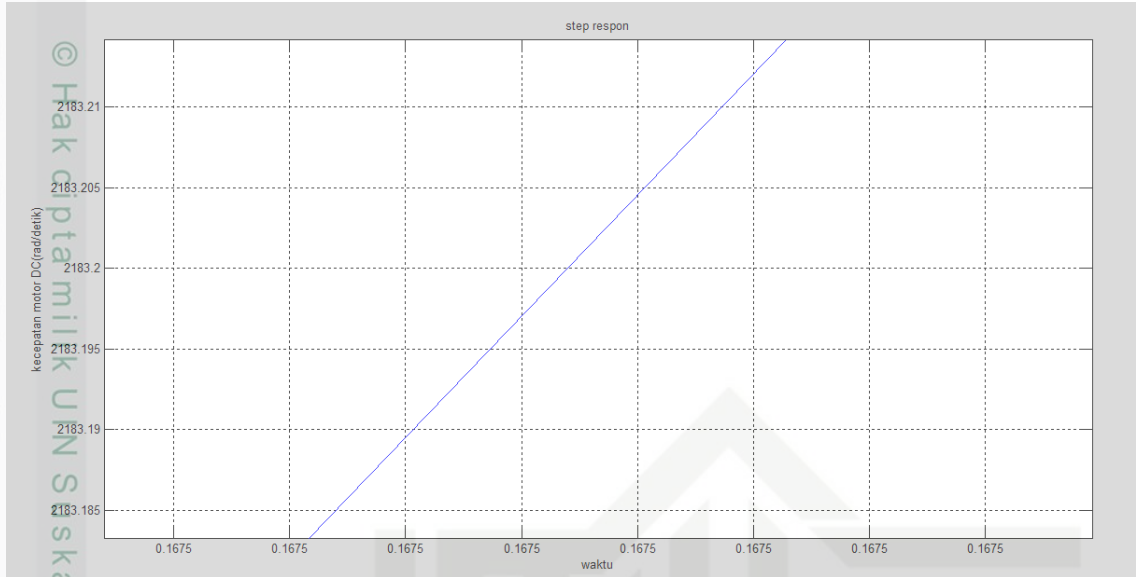
Dari gambar 3.6 dapat dilihat bahwa untuk mencapai kondisi 4366.4 rad/detik waktunya adalah 0.379 detik.

$$\begin{aligned} \text{Maka } t_r (95\% - 5\%) &= 0.379 - 0.0364 \\ &= 0.3426 \text{ detik} \end{aligned}$$

2. Nilai waktu tunda atau *delay time* (t_d)

$$\begin{aligned} y_{(50\%)} &= 50\% \text{ dari respon } \textit{output steady state} \\ &= 50\% \times 4366,4 \\ &= 2183.2 \text{ rad/detik} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan kondisi 2183.2 rad/detik tidak terlihat pada grafik sehingga untuk melihatnya menggunakan grafik yang telah dilakukan zoom sampai batas tertentu.



Gambar 3. 6 Data Delay Time (50%) Open Loop pada Motor DC

Dari gambar 3.7 diatas, dapat dilihat bahwa untuk mencapai kondisi 2183.2 rad/detik, hasil t_d (5%) adalah 0.1675 detik.

Sehingga:

$$\frac{0.3426}{10} \leq t_s \leq \frac{0.3426}{2}$$

$$0.03426 \leq t_s \leq 0.1713$$

Maka nilai t_s yang diinginkan adalah 0.05 detik.

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan 2.19 kepada persamaan 3.4, maka perubahan nilai sebagai berikut:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{204.18}{\left(\frac{2}{t_s} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)^2 + 14.523 \left(\frac{2}{t_s} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right) + 81.833}$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{204.18}{\left(\frac{2}{0.05} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)^2 + 14.523 \left(\frac{2}{0.05} \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right) + 81.833}$$

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{204.18}{\left(40 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)^2 + 14.523 \left(40 \times \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right) + 81.833}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



$$\begin{aligned} \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{204.18}{1600 \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right)^2 + 580.92 \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + 81.833} \\ \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{204.18(1+z^{-1})^2}{1600(1-z^{-1})^2 + 580.92(1-z^{-1})(1+z^{-1}) + 81.833(1+z^{-1})^2} \\ \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{204.18(1+2z^{-1}+z^{-2})}{1600(1-2z^{-1}+z^{-2}) + 580.92(1-z^{-2}) + 81.833(1+2z^{-1}+z^{-2})} \\ \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{204.18(1+2z^{-1}+z^{-2})}{1600(1-2z^{-1}+z^{-2}) + 580.92(1-z^{-2}) + 81.833(1+2z^{-1}+z^{-2})} \\ \frac{y(z)}{x(z)} &= \frac{204.18 + 408.3z^{-1} + 204.18z^{-2}}{2262.750 - 3036.334z^{-1} + 1100.913z^{-2}} \end{aligned}$$

$$(2262.75 - 3036.334z^{-1} + 1100.913z^{-2})(y(z)) = (204.18 + 408.36z^{-1} + 204.18z^{-2})(x(z))$$

$$2262.75y(z) - 3036.334y(z^{-1}) + 1100.913z^{-2}y(z^{-2}) = 408.36x(z^{-1}) + 204.18x(z^{-2})$$

Untuk memenuhi persamaan (2.14) maka:

$$\begin{aligned} 2262.75y(k) - 3036.334y(k-1) + 1100.913y(k-2) &= 408.36x(k-1) + 204.18x(k-2) \\ 2262.75y(k) &= 3036.334y(k-1) + 1100.913y(k-2) + 408.36x(k-1) + 204.18x(k-2) \\ y(k) &= 1.341877804y(k-1) - 0.4865376202y(k-2) + 0.10804x(k-1) + -0.0902x(k-2) \end{aligned}$$

Maka berdasarkan persamaan 2.14 didapatkan:

$$\begin{aligned} a_1 &= -1.3418 \\ a_2 &= 0.4865 \\ b_0 &= 0.1804 \\ b_1 &= 0.0902 \end{aligned}$$

Sehingga jika disubstitusikan ke persamaan 2.18 didapatkan persamaan:

$$\frac{y(z)}{x(z)} = \frac{0.1804z^{-1} + 0.0902z^{-2}}{1 - 1.3418z^{-1} + 0.4865z^{-2}}$$

3.6.2 Identifikasi Parameter

Untuk mencari nilai parameter dari *plant* seperti yang telah diuraikan diatas, maka diperlukan sebuah metode/algorithm tertentu yang mana pada tugas akhir ini dipilih algoritma ELS. Berdasarkan persamaan 2.25 maka:

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

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

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



$$\theta = [-1.3418 \quad 0.4865 \quad 0.1804 \quad 0.0902]$$

3.6.3 Mekanisme Adaptasi dan Desain Kontroler

Dua blok terakhir dari diagram STR adalah blok mekanisme adaptasi dan blok kontroler. Uraian kedua blok ini digabung menjadi satu karena saat pendesainan kendali juga secara tidak langsung akan memformulasikan persamaan untuk mekanisme adaptasi. Pada desain kendali STR ini menggunakan kendali PID diskrit, sehingga mampu mengendalikan plant agar memiliki respon yang dikehendaki. Sebelum mendesain kendali PID diskrit maka ditentukan dulu nilai $K=1$, $T_s = 0.00085$ detik dan $T_r = 0.01$ detik agar respon *output* pengendali sesuai dengan yang kita inginkan.

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



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa didapat kesimpulan dengan menggunakan pengendali STR-PID untuk mengendalikan kecepatan pada sistem motor DC, pengendali berhasil mengikuti *setpoint* yang diberikan, juga mampu menghilangkan *error steady state* dan *overshoot* menjadi 0%, STR-PID juga memperlihatkan respon yang baik saat diberi gangguan.

5.2 Saran

Peneliti selanjutnya diharapkan mampu menggunakan metode atau algoritma lainnya dan atau mengkombinasikan pengendali ini dengan pengendali lain agar waktu yang didapat saat mencapai *setpoint* lebih cepat.

Penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan pada perangkat aslinya sehingga mampu mengatasi masalah pada motor DC

- 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

- [11] Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, "Analisis Perkembangan Industri Edisi I 2018," Jakarta, 2019.
- [12] Bhakti Y.S., "Aplikasi Perbandingan Pengendali P, Pi, Dan Pid Pada Proses Pengendalian Suhu Dalam Sistem Mini Boiler," *Jurnal Amplifier Vol. 3 No. 2*, November 2013.
- [13] Matani, "Mengoptimalkan Efisiensi Energi dengan Meminimalkan Kerugian Motor Listrik pada Daerah Potensial Peningkatan Efisiensi Energi di SSIn& SMEs," *Wyno Academic Journals*, vol. vol.1(5), 2013.
- [14] Ahmad, Riyad Firdaus, Sistem Kendali Posisi Motor DC, Politeknik Batam.
- [15] Nur Rifai Isnandkk, Pengaturan Sudut pada Modul Kendali Posisi Motor secara Otomatis Menggunakan Kendali PID Discreate, Universitas Gajah Mada.
- [16] Kumara, Satya, "Modeling Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Simulink," vol. Vol.6 No. 1 Januari – Juni, 2007.
- [17] Waluyo dkk, "Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik," vol. Teknik Elektro Itenas Vol. 1 No.2, 2013.
- [18] Kartika, Refiana, "Desain Kendali MRAC dengan Kombinasi PID untuk Mengendalikan Kecepatan pada Sistem Motor DC," 2018.
- [9] Mursyitah, Dian, "Studi Performansi Pengendali Sliding Mode dan PID pada Pengendalian Kecepatan Motor DC," 2014.
- [10] Sari, Ranti Permata, dkk., "Penalaan Paramater Kontrol PID Dengan Metode Heuristic, Aplikasi : Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC," 2005.
- [11] Fahmizal, Muhammad Arrifug, Afrizal Mayub, "Identifikasi Pemodelan Matematis Robot Wall Following," 2018.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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



[12] E.Iskandar, Sistem Pengaturan Adaptif, ITS, 2012.

[13] Al-Arif, Muhamad Fadhil, "Sistem Pengaturan Adaptif," 2019.

[14] Halim, Mudia, "Perancangan dan Implementasi Kontroler PID Adaptif dengan Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa," 2015.

[15] Ramadani, "Perancangan Kendali Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Temperatur Pada Annealing Lehr," 2019.

[16] Pittman, Buletin motor DC catalog GM 14900 type 1, 2013.

[17] Sumanto, Mesin Arus Searah, Yogyakarta: Penerbit ANDI OFFSET, 1994.

[18] Wisnu dkk, "Perancangan Sistem Kontrol PID untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret pada Turret-gun Kaliber 20mm," 2017.

[19] Dickson Kho, "Teknik Eletronika," [Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/jenis-jenis-motor-dc-motor-arus-searah/>. [Accessed 14 July 2020].

[20] Muizzu Dwi Prasetyo, Muh Ilham Ali Dhopir, "Rancang Bangun ALat Otomatisasi pembuatan Beton Berbasis PLC," no. Program Studi Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945, 2016.

[21] T.Venkatesh, "Speed Control of DC Motor and Performance is Compared with PID and SMC Controller," *ISSN 2321 3361 © 2016 IJESC.*, 2017.

[22] Ogata, Katsuhiko, Modern Control Engineering, 4th edition., New Jersey : Prentice Hall, 2002.

[23] Annisa, Yakin Dewi, "Simulasi Implementas Self Tuning Regulator pada Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap untuk Pengendalian Frekuensi Keluaran Generator dengan Menggunakan MATLAB," *Universitas Internasional Semen Indonesia*, 2016.



[24] S. Bahera, dkk, "Optimal Pole Placement for a Self Tuning PID Controller," 2017.

[25] Babu V, Madhu ., Das, Kaushik., Kumar, Swagat., "Designing of Self Tuning PID Controller for AR Drone Quadrotor," no. TCS Innovation Lab..

[26] Masatoshi, Anabuki and Hiroshi Hirata, "Self-Tuning Control For Rotational Inverted Pendulum By Eigenvalue Approach," 2004.

[27] J.G.Williams dkk, "Design And Implementation of On-Line Self-Tuning Control for PEM Fuel Cells," vol. Volume 2, 2008.

[28] I. Setiawan, Kontrol PID untuk proses Industri, Alex Media Komputindo, 2008.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya 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.

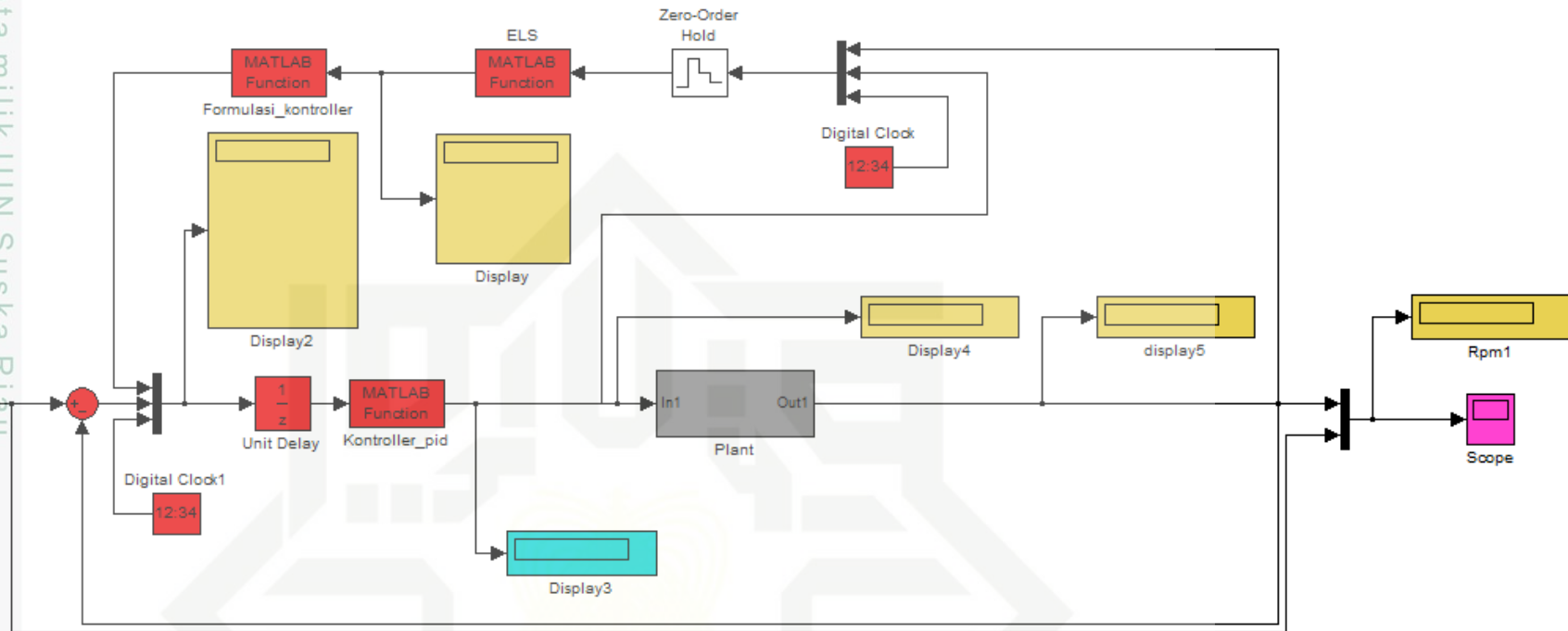
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Lampiran A- 1 Blok Simulink STR-PID saat setpoint pada Motor DC.



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
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun t



LAMPIRAN B

Lampiran B- 1 Program M-File pada Blok ELS



```

function Doutput=DBismillah1(Ddata)
global tep xk yk tetha_p vip lamda_p alfa1 alfa2
tep=Ddata(3);
f tep=0

alfa1=1;
alfa2=2;
tetha_p=[-1.3416; 0.4865; 0.1804; 0.0902];

vip=[0;0;0;0];
lamda_p=0.05*eye(4,4);
xk=[0;0;0];
yk=[0;0;0];
end
xk(1)=Ddata(1);
yk(1)=Ddata(2);
for i=1:2
vip(i)=-yk(i+1);
end
for i=3:4
j=i-2;
vip(i)=xk(j+1);
end
tetha_p=tetha_p+lamda_p*(yk(1)-vip'*tetha_p)*vip;

Doutput(1)=tetha_p(1);
Doutput(2)=tetha_p(2);
Doutput(3)=tetha_p(3);
Doutput(4)=tetha_p(4);
lamda_p=(1/alfa1)*(lamda_p-
(lamda_p*vip*(vip')*lamda_p/(alfa2*(1+(vip'*lamda_p*vip))));
    
```

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya 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- 2 Program M-File pada Blok Formulasi Kontroller



```
function Bk_all=Bformulasi_kontroller(Bdata)
global Ba1 Ba2 Bb0 Bb1 BTs Btau Bk0 Bk1 Bk2 Bk3 taubintang
Ba1=Bdata(1);
Ba2=Bdata(2);
Bb0=Bdata(3);
Bb1=Bdata(4);
BTs=0.00085;
taubintang=8.15;
Btau=0.01025641026*taubintang;
Btau=0.01;
if Bb0==0
    Bb0=0.01;
end
if Bb1==0
    Bb1=0.01;
end
if Ba1==0
    Ba1=0.01;
end
if Ba2==0
    Ba2=0.01;
end
Bk0=Bb1/Bb0;
Bk1=(1/Bb0)*(1*BTs/(2*Btau+BTs));
Bk2=Ba1*Bk1;
Bk3=Ba2*Bk1;
Bk_all(1)=Bk0;
Bk_all(2)=Bk1;
Bk_all(3)=Bk2;
Bk_all(4)=Bk3;
```

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

© Hak cipta dilindungi undang-undang
 UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau





Lampiran B- 3 Program M-File pada Blok Kontroller PID



```
function Cukk=Ckontroller_pid(Cdata)
global te Cckm2 Cek Cckm1 Cuk Cckm1 Cckm2 Ck0 Ck1 Ck2 Ck3
te=Cdata(6);
if te==0
    Cck0=0;
    Cckm1=0;
    Cckm2=0;
    Cuk=0;
    Cckm1=0;
    Cckm2=0;
else
    Ck0=Cdata(1);
    Ck1=Cdata(2);
    Ck2=Cdata(3);
    Ck3=Cdata(4);
    Cek=Cdata(5);
    Cckm2=Cckm1;
    Cckm1=Cek;
    Cckm2=Cckm1;
    Cckm1=Cek;
    Cuk=-(Ck0-1)*Cckm1+Ck0*Cckm2+Ck1*Cek+Ck2*Cckm1+Ck3*Cckm2;
end
Cukk=Cuk;
```

© Hak cipta UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang menyalin, mengutip sebagian atau seluruhnya atau membuat karya tulis 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.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Isep Rivaldi, lahir di Sungai Guntung 18 September 1994 merupakan anak kedua dari pasangan Embon Haryadi dan Ruliani yang beralamat di Komplek PT. Pulau Sambu, Kec. Kateman, Kab. Indragiri Hilir, Provinsi Riau.

Email : iseprivaldi94@gmail.com

Hp : 0822 6132 1994

Riwayat pendidikan yang pernah penulis tempuh ialah dimulai dari TK Dwipa Abadi Sungai Guntung pada tahun 1998-2000 yang dilanjutkan di SD Dwipa Abadi Sungai Guntung pada tahun 2000-2006, kemudian melanjutkan kembali di SMP Dwipa Abadi Sungai Guntung sampai tahun 2007 lalu pindah ke SMP PGRI Pekanbaru hingga selesai di tahun 2009. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di SMKN 2 Pekanbaru pada tahun 2009-2012. Setelah menyelesaikan pendidikan di sekolah menengah kejuruan penulis tidak langsung melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di tahun yang sama dan kemudian melanjutkannya kembali pada tahun 2013 di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Elektro, dengan mengambil bidang kajian Elektronika dan Instrumentasi, lalu penulis menyelesaikan pendidikan pada tahun 2020 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul **“PERANCANGAN KENDALI ADAPTIF STR-PID UNTUK MENGENDALIKAN KECEPATAN MOTOR DC”**