

### PERANCANGAN SISTEM KENDALI LQR-PID DALAM MENGENDALIKAN SELF BALANCING PADA I 8 **DUAL MOTOR PROPELLER**

**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:

**ULFA FAADHILAH** 11750525181

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

2022

不 C

Z S

ipta uska Ria

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

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

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

State Islamic Univ sity of Sultan Syarif Kasim



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

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

### LEMBAR PERSETUJUAN

### PERANCANGAN SISTEM KENDALI LQR-PID DALAM MENGENDALIKAN SELF BALANCING PADA DUAL MOTOR PROPELLER

### TUGAS AKHIR

oleh:

### ULFA FAADHILAH

11750525181

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 14 Januari 2022

> Ketua Program Studi Teknik Elektro

Append by Subset And S

Dr. Zulfatri Aini S.T., M.T NIP. 197210212 00604 2 001 Pembimbing I Halim Mudia

Tanggal: 2022.01.1 9 10:10:03 WIB

i

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



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

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

### LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN SISTEM KENDALI LQR-PID DALAM MENGENDALIKAN SELF BALANCING PADA DUAL MOTOR PROPELLER

### TUGAS AKHIR

oleh:

### ULFA FAADHILAH 11750525181

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji schagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Rim di Pekanbaru, pada tanggal 14 Januari 2022

Pekanbaru, 14 Januari 2022

Mengesahkan,

ains dan Teknologi

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T. NIP. 197210212 00604 2 001

DEWAN PENGUJI:

Ketua

Sutoyo, S.T., M.T.

Sekretaris

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

Anggota I

Jufrizel, S.T., M.T.

Putut Son Maria, S.ST., M.T.

ndarungani sacara elektronik menggunakan sertilikal elektronik yang diterbihan BS/E. Untuk memaatikan kesahlannya on GRCode dan puntikan diarahkan ke alamat https://tta kamenag.go.id atau kunjungi halaman https://tta.kemenag.go.id/ Token: XgxMWy





LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau. I 8 D Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa Lampiran Surat: Nomor 25/2021 Tanggal 10 September 2021 SURAT PERNYATAAN Saya yang bertandatangan di bawah ini: Name. : ULFA TANDHILAH NIM 1 1/450515/01 Tempat/Tul. Lahir : KERNCI / 14 1011/998 Fakultas/Pascasarjana : \$8/195 PMI TEKNOLOGI TERMIN BLEMED Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\*: " PERMICRINGRIL SISTEM KENDALT LIKE-DIE DALAM WENGENDALIKAN SELE BALANCING PACA OVAL MOTOR PROPELLER" Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa : I. Perulium Disertani/Thesis Scripsi/Karya Ilmiah lainnya\* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri. Semua kutipun pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya. 3. Oleh karena itu Disertani/Thesin&krips/Karya Ilmiah lainnya\* saya ini, saya nyutakan beben dari plagiat. 4. Apa bila dikerodias hari terbukti terdaper plagiat dalam Disertasi/Thesis(Skripsi)(Karya Ilmiah lainnya)\* saya tersebut, maka saya besedia menerima unksi sesua peraturan perundang-undangan. Demikianlah Sunst Pernyutaan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari piliak menepun juga. Pekanbaru, 2 Fraueri 2012 Yang membuat pernyataan NIM : VESTSZEVE \* pillik oaliah note sumni Jenis kurya tulis

n Syarif Kasim



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

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

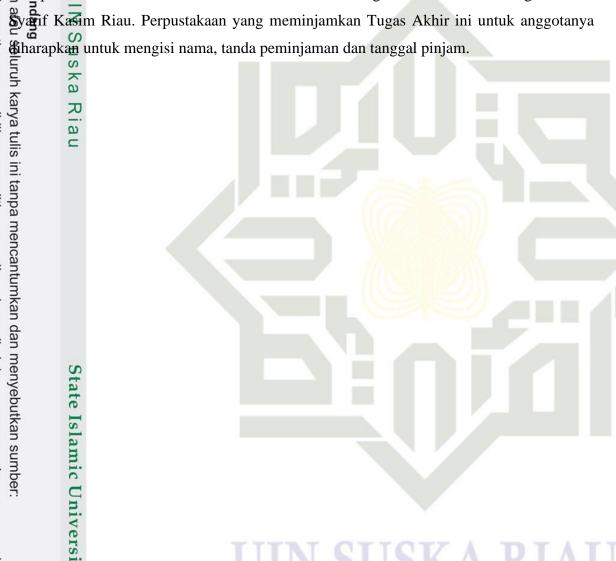
Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

### LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan perpustakaan Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan betentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan di perkenankan dicatat, pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai

Rengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus Rengandaan atau Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya



UIN SUSKA RIAU

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



### LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan yang lain, dan sepanjang saya ketahui, saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau

UIN SUSKA RIAU

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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

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

. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau



### LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barangsiapa yang

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Dilipang pengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Dilipang pengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Maha barang siapa yang menghendaki keduanya,

maka wajih baginya berilmu.

(HR. Tirmidzi)

Terima Kasih Ya Allah...

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

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu

dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.

(QS: Al-Mujadilah 11)

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

Dan katakanlah:" Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku." rsity of Sultan Syarif Kasim

(QS: Al-Isra 80)

| ULFA FAADHILAH |

| 14 Januari 2022 |



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

I

8

C

Sus

Ria

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa

### PERANCANGAN SISTEM KENDALI LQR-PID DALAM

### MENGENDALIKAN SELF BALANCING PADA DUAL MOTOR PROPELLER

### **ULFA FAADHILAH**

NIM:11750525181

Tanggal Sidang: 14 Januari 2022

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
JL. Soebrantas NO.155 Pekanbaru

### **ABSTRAK**

Bual Motor Propeller yaitu sebuah alat dimana sistem tersebut memiliki dua buah motor brushless dengan propeller sebagai penggeraknya. Terdapat permasalahan keseimbangan pada sistem, dimana hal tersebut dapat menimbulkan jatuhnya sistem pada saat beroperasi di udara. Salah satu pengendali yang mampu mengatasi permasalahan tersebut yaitu pengendali LQR. Metode trial and error digunakan untuk menentukan matriks Quan R. Namun pengendali LQR masih membutuhkan waktu yang lama pada respon transient sistem, maka menunjukkan pengendali PID yang menggunakan metode heuristic dalam menentukan nilai Kp, Ki dan Kd. Penelitian menunjukkan bahwa pengendali LQR-PID dapat menghasilkan respon keluaran sistem yang lebih pendidikan memiliki overshoot dan error steady state dengan delay time = 0.0982 detik, settling time = 0.298 detik dan rise time = 0.2251 detik, namun demikian saat diberikan gangguan sebesar 5%, 10%, 15% detik dan overshoot sebesar 0.0008%, error steady state sebesar 0 derajat, delay time = 0.0977 detik, settling time = 0.28 detik dan rise time = 0.217 detik. Waktu yang dibutuhkan untuk kembali menuju setpoint oleh gangguan yaitu 0.4 detik, 0.45 detik, 0.5 detik dan 0.55 detik.

Kata Kunci: Dual Motor Propeller, LQR-PID, Self balancing

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

y mer

S



SELF BALANCE ON DUAL MOTOR PROPELLER

### **ULFA FAADHILAH**

STUDENT NUMBER: 11750525181

Date of Final Exam: 14 January 2022

Department of Electrical Engineering Faculty of Science and Technology Syarif Kasim State Islamic University of Riau Soebrantas Street, Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Pual Motor Propeller is a device where the system has two brushless motors with a propeller as the driving Brce. There is a balance problem in the system, where it can cause the system to fall when operating in the  $\widecheck{\mathfrak{g}}$ r. One controller that is able to overcome these problems is the L $oldsymbol{\mathsf{QR}}$  controller. The trial and error method  $\Xi$  used to determine the Q and R matrices. However, the LQR controller still takes a long time to respond to the transient system, so a PID controller is added that uses the heuristic method to determine the values of Kp, 😂 and Kd. The research shows that the LQR-PID controller can produce a more optimal system output  $ec{m{ec{z}}}$ sponse, because the performance of the LQR-PID controller in an uninterrupted condition produces a system Butput response that has no overshoot and steady state error with delay time = 0.0982 seconds, settling time  $\frac{\Phi}{\Xi}$  0.298 seconds and rise time = 0.2251 seconds, however, when given a disturbance of 5%, 10%, 15% and 20% of the setpoint at the 10th, 20th, 30th and 40th seconds, respectively, it turned out to produce a system Sutput response with an overshoot of 0.0008%, steady state error of 0 degrees, delay time = 0.0977 seconds,  $\vec{B}$  ttling time = 0.28 seconds and rise time = 0.217 seconds. The time needed to return to the setpoint by the disturbance is 0.4 seconds, 0.45 seconds, 0.5 seconds and 0.55 seconds.

Keywords: Dual Motor Propeller, Self balancing, LQR-PID

ersity of Sultan Syarif Kasim

### UIN SUSKA RIAU

mencantumkan dan menyebutkan sumber:

ultan Syarif Kasim



Dilarang

0

I

**KATA PENGANTAR** 

Assalamualaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Athamdulillah Rabbil Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt, Berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat pengengan Tugas Akhir yang berjudul "PERANCANGAN SISTEM KENDALI BOR-PID DALAM MENGENDALIKAN SELF BALANCING PADA DUAL MOTOR PROPELLER". Shalawat serta salam penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat manusia di dunia ini. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menyelesaikan Mata Kuliah Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Rasim Riah.

Ada banyak sekali pihak yang ikut serta membantu dalam menyusun tugas akhir ini, Baik secara moril maupun materi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan primakasih kepada:

- 1. Orang Tua (Ayah, Ibu), Kakak, Adik. Serta keluarga besar yang telah mendo'akan dan memberikan semangat dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
- 2. Bapak Prof. Dr. Hairunnas, M.Ag selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
- 3. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Rau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
- 4. Iby Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
- 5. Bapak Sutoyo, S.T., M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau dan juga selaku ketua sidang yang telah bersedia meluangkan waktu demi terselenggaranya sidang akhir saya.
- 6. Ibu Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing penulis dari awal semester hingga penulis menyelesaikan perkuliahan inin

ix

mic University of Sultan Syarif Kasim



Bapak Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah

banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing tugas akhir yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini.

Bapak Jufrizel, ST., MT selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

Bapak Putut Son Maria S.ST., MT selaku dosen penguji dan dosen pengampu mata kutiah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

Danak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

- Bapak Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah bahyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini.

  Bapak Jufrizel, ST., MT selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

  Bapak Putut Son Maria S.ST., MT selaku dosen penguji dan dosen pengampu mata kutiah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

  Danah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

  Danah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

  Danah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan bimbingan dan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

  Teman-Teman (Sitti Yura Alfatiha, Nadia Aspa, Minnatus Sonia, Putri Ade Irma, dlip yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, dan juga membantu menemani penulis dalam melepaskan segala kesulitan yang penulis hadapi.

  12. Rekan- Rekan di Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang telah turut memberikan dorongan semangat kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

  Semoga bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan baik dari Allah SWT, danah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi penulis dan semua perapara pembaca pada umumnya.

ara pembaca pada umumnya.

Semua kesempurnaan hanya dimiliki oleh Allah SWT, dan semua kekurangan hanya Semua kesempurnaan hanya dimiliki oleh Allah SWT, dan semua kekurangan hanya datang dari penulis. Hal ini menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh ari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengetahuan dan pengalaman penulis. Entuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang positif dari semua pihak yang telah membaca Tugas Akhir ini agar dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

> Pekanbaru 10 Oktober 2021 Penulis,

Ulfa Faadhilah NIM. 11750525181



### **DAFTAR ISI**

| 5  |  | .^                  | 0  |      |
|--|--|---------------------|--|------|
| <ul> <li>b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar</li> <li>Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian</li> </ul> | ь.<br>Б. Е   | EE TIBA             | AR PENGESAHAN  |      |
|  | a. Pengutipan hanya<br>b. Pengutipan tidak r   | E EMBA              | AR PENGESAHAN  | ii   |
|  | utip:  | BE MB               | AR PENGESAHANAR PENGESAHAN KEASLIAN KARYA ILMIAH   | ii   |
| ngu  | an h<br>an ti  | EEMBA               | AR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL  | iv   |
| mur  | hanya<br>tidak   | EEMBA               | AR PERNYATAAN  | v    |
| nkar   |  |                     | AR PERSEMBAHAN   | vi   |
| ı daı  | a untuk kepentingan pendidikan, penelitian,<br>merugikan kepentingan yang wajar UIN Su | ABSTR               | AK.  |      |
| am c   | epe<br>an k  | at Barra            | $A\overline{\overline{C}}T$  |      |
| kepentingan<br>nemperbanya   | nting  | SATA                | PENGANTAR  |      |
| erba   | gan<br>nting   | BAFTA               | ARISI  |      |
| nyal   | pend<br>Jan y  | BAFTA               | ARTGAMBAR  | viv  |
| sel  | ndidika<br>1 yang  | BAETA               | TABEL  |      |
| g wa<br>sbagi  | an, pe<br>I wajar  | DATIA<br>S<br>DATTA | AR RUMUS   | XVI  |
|  | pene<br>ar L   | EAT IA              | AR LAMBANG   |      |
| tau  | elitia<br>JIN S  | PAFTA               | AR SINGKATAN   |      |
| UIN Suska Riau.<br>atau seluruh karya tulis ini dalam  | -  | ğ                   |  | XİX  |
|  | penulisan<br>ska Riau.   | 83                  | PENDAHULUAN  |      |
|  | isan<br>au.  | 計1.1                | Latar Belakang   |      |
|  | kar  | 1.1<br>1.2<br>kan   | Rumusan Masalah  | I-3  |
| is in  | karya ilmiah, pe   | dan menyeb          | Tujuan Penelitian  | I-4  |
| idal   | miał   | ਜੂ 1.4              | Batasan Masalah  |      |
|  | ı, pe  | 1.5                 | Manfaat Penelitian   | I-4  |
| bent   |  | BAB II              | TINJAUAN PUSTAKA   |      |
| 듯  | suna   | an 2.1              | Renelitian Terkait   | II-1 |
| pap  | an la  | umber 2.2           | Pasar Teori  |      |
| oun t  | nyusunan laporan,  | 2.2.                | I Dual Motor Propeller   | II-2 |
| anpa   | in, p  | 2.2.                | 2 Model Mekanik Dual Motor Propeller   | II-3 |
| entuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  | enul   | 2.2.                | Model Matematika <i>Dual Motor Propeller</i>   | II-3 |
|  | penulisan kritik atau tinjauan   | 2.3                 | Sistem Kendali   |      |
| nS l   | Ŕ.   | 2.4                 | Identifikasi sistem  | II-8 |
| ska  | ik at  | 2.5                 | Einear Quadratic Regulator (LQR)   | II-9 |
| Riau   | au ti  | 2.6                 | Pengendali PID.  |      |
| -  | njau   | 0                   | Syari  |      |
|  | an su  |                     | ari  | xi   |
|  | Ë  |                     | The state of the s | 711  |

|   | 2.6.  |  | II-13       |
|---|---|--|-------------|
| D :   | , a : <del>1</del> <del>2</del> 2.6.        |  |             |
| ilara   | k Cipta Dilarar a. Pen                      | Pengendalian Derivative (D)  | II-14       |
| na n  | 9 6 5 7                                     | Kriteria Integral Menggunakan Integral of Absolute Error (IAE)   | II-15       |
| nenc  | 6. Cipta Dilinguillarang meng               | Metode Heuristic   | II-15       |
| inmur   | har uti <b>26</b> 9                         | Program Matrix Laboratory (MATLAB)   | II-15       |
|   |   | METODOLOGI PENELITIAN  |             |
| nkan dan r  | lang-Ur<br>bagian<br>untuk k                | Proses Alur Penelitian   | III-18      |
| an m  | n att                                       | Tahapan Penelitian   |             |
| o. Feligutipali tidak ilielugikali kepelitiligali yalig wajal<br>Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian | ngang:<br>n atau se<br>kepentir             | Pengumpulan Data   |             |
| nemperbanya   | ngan 3.4                                    | Pemodelan matematis  | III-21      |
| ganya   | Peg ₹3.5                                    | ♥alidasi Model Matematis   | III-22      |
| ı yarıy<br>ak seb   | n 3.5<br>pendidil                           | Perancangan Pengendali   | III-23      |
| bagian  | 3.6.  | Perancangan Pengendali Linear Quadratic Regulator (LQR)  | III-23      |
|   | - ¬ → J.U.                                  | 2 Perancangan Pengendali LQR-PID   | III-26      |
| atau  | anpa 3.6.                                   | 3 Perancangan Pengendali LQR-PID dengan Gangguan   | III-29      |
| selui   | 7.7 7.7                                     | Skenario Penelitian  | III-30      |
| r un.   | nen <b>BAB IV</b><br>penulisan<br>penulisan | HASIL DAN ANALISA  |             |
| karva   | san tum 4.1                                 | Gambaran Umum Analisa Sistem   | IV-1        |
| seluruh karva tulis   | kan 4.2                                     | Analisa Sistem pada Self Balancing Dual Motor Propeller secara Open  | ı Loop      |
| s ini da  | 4.2<br>kan dan me                           |  | IV-1        |
|   | 4.3<br>menyebutkan :                        | Amalisa Sistem Self Balancing pada Dual Motor Propeller dengan Peng  | gendali LQR |
| m<br>b  | yebı  | ate  | IV-2        |
| entu  | yebutkan sumber:<br>penyusunan laporan,     | Analisa Sistem pada Self Balancing Dual Motor Propeller dengan   | Pengendali  |
| kap   | n sur                                       | QR-PID   | IV-5        |
| apur  | sumber:                                     | Analisa Kekokohan Pengendali LQR-PID dengan memberikan Ganggi  | uan         |
| ı tan   | r:<br>oran                                  | J militaria de la companya della companya della companya de la companya della com | IV-9        |
| pa i:   |   | KESIMPULAN DAN SARAN   |             |
| Zi<br>C   | penulisan kritik DAFTA                      | ESIMPULAN  | V-1         |
| Ē<br>()   | 5.2   | SARAN  | V-1         |
| lam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  |   | RPUSTAKA   |             |
| a<br>Ri   | at LAMPI                                    | RAN A RANGKAIAN PENGENDALI PADA <i>SIMULINK</i>  |             |
| L   | LAMPI                                       | RAN B HASIL SIMULASI <i>TUNNING</i> LQR  |             |
|   | <b>LAMPI</b><br>tinjauan suatu masa         | yarif  | ••          |
|   | sua   |  | xii         |
|   | ET .  | Kasi   |             |
|   | asa   | im   |             |



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

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

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

### LAMPIRAN C HASIL SIMULASI TUNNING LQR-PID

HIDUPATHINATA

AR Hak cipta milik UIN Suska Riau

AR Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

DDilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber: State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

IN SUSKA RIAI

xiii



### **DAFTAR GAMBAR**

| UA  |  | V  |   |                                   |
|---|--|--|---|-----------------------------------|
| 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau. | b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau. | a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu i | Hake ip bar bar ar a | <ul><li>3.4</li><li>3.5</li></ul> |

|  | Halaman       |
|--|---------------|
| Dual Motor Propeller   | II-3          |
| Model mekanik self balancing Dual Motor Propeller              | II-3          |
| Skematik gaya pada sistem                                      | II-4          |
| Respons sistem orde dua  | II-8          |
| Sistem kendali dengan skema kendali optimal LQR                | II-12         |
| Blok diagram kontroler PID                                     | II-13         |
| Matlab R2015b  | II-16         |
| Tampilan model simulink pada Matlab                            | II-17         |
| Kotak dialog simulink library                                  | II-17         |
| flowchart penelitian   | III-19        |
| Blok simulink diagram open loop sistem self balancing Dual Mo  | tor Propeller |
|  | III-22        |
| Respon open loop sistem self balancing Dual Motor Prop         | peller (tanpa |
| pengendali)  | III-22        |
| Blok diagram self balancing pada Dual Motor Propeller 1        | nenggunakan   |
| pengendali LQR   | III-25        |
| Rangkaian simulink self balancing pada Dual Motor Prop         | eller dengan  |
| pengendali LQR   | III-26        |
| Tampilan program M-File sistem self balancing pada Dual Mo     | tor Propeller |
| menggunakan pengendali LQR                                     | III-26        |
| Blok diagram pengendali LQR-PID                                | III-27        |
| Rangkaian pengendali LQR-PID                                   | III-27        |
| Rangkaian pengendali LQR-PD dengan gangguan                    | III-30        |
| Rangkaian sistem selfbalancing pada Dual Motor Propeller deng  | gan open loop |
|  | IV-1          |
| Grafik keluaran sistem selfbalancing pada Dual Motor Propeller | dengan open   |
| loop   | IV-2          |
| Rangkaian sistem selfbalancing pada Dual Motor Propeller denga | an pengendali |
| LQR  | IV-3          |
|  |               |



Gambar 4.4 © Hak cikta m tik U tik suska Riau

State Islamic U

Hak Capta Dilingungi Unglang-Unglang

1. Dilebrang mengutip sebagian datau 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 masa

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

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

| Respon   | keluaran   | sistem    | selfbalancing | pada   | Dual   | Motor     | Propeller |
|----------|------------|-----------|---------------|--------|--------|-----------|-----------|
| menggur  | nakan peng | endali L( | QR            |        |        |           | IV-3      |
| Rangkaia | an sistem  | selfbalan | cing pada Dua | l Moto | r Prop | eller mei | nggunakan |
| pengenda | ali LQR-PI | D tanpa g | gangguan      |        |        |           | IV-6      |
| Respon   | keluaran   | sistem    | selfbalancing | pada   | Dual   | Motor     | Propeller |
| menggur  | nakan peng | endali L( | QR-PID        |        |        |           | IV-6      |
| Rangkaia | an sistem  | selfbalan | cing pada Dua | l Moto | r Prop | eller mei | nggunakan |
| pengenda | ali LQR-PI | D dengar  | n gangguan    |        |        |           | IV-9      |
| Respon   | keluaran   | sistem    | selfbalancing | pada   | Dual   | Motor     | Propeller |
| menggur  | nakan peng | endali L( | QR-PID dengan | ganggu | ıan    |           | IV-10     |
|          |            |           |               |        |        |           |           |

SUSKA RIA

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



### **DAFTAR TABEL**

| 0)             |    | 0                   |  |         |
|----------------|----|---------------------|--|---------|
| abel           |    | I                   |  | Halaman |
| abel           | 3. | a<br>1 <del>R</del> | arameter Dual Motor Propeller                                  | III-21  |
|                |    |                     | Satriks R konstan dengan analisa IAE                           |         |
| 2 5            |    | 0                   |  |         |
| al <b>s</b> el | 3. | 3 <b>o</b> T        | abel penalaan pengendali LQR-PD menggunakan metode heuristic   | III-28  |
|                |    |                     | espon waktu sistem dengan menggunakan pengendali LQR           |         |
| al             | 4. | 2 <del>_</del> R    | espon waktu sistem dengan menggunakan pengendali LQR-PID       | IV-8    |
| al <b>s</b> el | 4. | 2 <u>H</u>          | asil analisa sistem pengendali LQR-PID saat diberikan gangguan | IV-12   |

**SUSKA RIAI** 

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

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

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



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

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

### **DAFTAR RUMUS**

| a. Pe  | umus                | На  | Halaman<br>Jigma TorsiII-5  |
|--|---------------------|---|---|
| angut  | u <b>an</b> us 2    | 之<br>文  | igma Torsi  |
| ipan   | u <b>m</b> us 2     | 2.2·N   | Model Matematika Self Balancing pada Dual Motor Propeller II-6  Maximum Overshoot II-10  Error Steady State II-10 |
| han  | u <b>ga</b> us 2    | 2.63/   | 1aximum Overshoot     II-10   |
| ya u   | u <b>g</b> us 2     | 2. <del>4</del> E                                       | Stror Steady StateII-10   |
| agia<br>ntuk   | u <b>m</b> us 2     | 2. <del>5.</del> F                                      | Pengendali LQR  |
| kep  | u <del>g</del> us 2 | 2. <u>6</u> F   | Pengendali P ( <i>Proportional</i> )  |
| entir  |                     |   |   |
| ngar   | umus 2              | 0)  | Pengendali D ( <i>Derivative</i> )II-15   |
| darang mengutipasebagian atau saluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:<br>Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa |                     | ka Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim | UIN SUSKA RIAN  |

# State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

### **SUSKA RIAI**



### **DAFTAR LAMBANG**

0

= Moment gaya

= Moment inersia

= Panjang lengan

=Koefisien redaman

=Posisi sudut

= Kecepatan sudut

= Percepatan sudut

= Gaya angkat (thrust) pada motor

= Gaya gravitasi bumi

= Massa benda kiri

刀 a

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

UIN SUSKA RIAU

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengetiposebagiareata selegrulakarya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

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

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

xviii



### **DAFTAR SINGKATAN**

= Direct Current

= Error steady State

= Nilai Critical

= Konstanta *Derivative* 

= Konstanta Integral

= Konstanta *Proportional* 

= Linear Quadratic Regulator

= *Matrix Laboratory* 

= Maximum Overshoot

= Proportional Integral derivative

= Pulse Width Modulation

= Unmanned Aerial Vehicle

### 0 I ak cipta milik UINSuska Z a

Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa BID

M V A A Dilis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

UIN SUSKA RIAU



### **BABI**

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini dapat dikatakan sangat

Diagi dan pesat. Perkembangan ini terjadi karena adanya penyesuaian terhadap permasalahan semakin sulit, yang dimana bertujuan untuk mempermudah pengerjaannya. Persembangan ini berpengaruh terhadap berbagai hal, salah satunya dibidang penerbangan Unmanned Aerial Vehicle (UAV). UAV (Unmanned Aerial Vehicle) merupakan sebuah pesawat tanpa awak yang bisa dikendalikan dari jarak yang jauh atau dapat Bengendalikan dirinya sendiri. Pesawat ini dikendalikan untuk terbang otomatis melalui gancangan program komputer atau melalui kendali jarak jauh yang dimana pilot yang nengendalikan pesawat berada di daratan atau pada tempat yang jauh dari pesawat [1].

Pada kontrol pesawat UAV memiliki variasi utama, salah satunya variasi yang dapat Ekontrol melalui perangkat seperti *remote* dengan kemampuan kendali jarak jauh atau dapat ferbang secara mandiri berdasarkan program yang telah ditanamkan sebelumnya, dengan menggunakan flight control dan sensor yang diperlukan, maka wahana dapat bergerak sesuai engan rencana berdasarkan kondisi-kondisi yang ada di lingkungan sekitar. Di sisi lain AV juga berguna dibidang konstruksi untuk pemetaan pada proyek jalan, dibidang grikultura untuk menghitung jumlah pohon kelapa sawit pada perusahaan kelapa sawit, dibidang militer sebagai sarana pendukung dalam segi pengawasan untuk menjaga pertahanan dan keamanan yang terdapat pada suatu negara, dan juga dibidang fotografi & deografi. dimiliki UAV. Ada beberapa tipe yang contohnya seperti Multicopter/Multirotor, Fixed Wing dan Helicopter. Pada tipe Multicopter/Multirotor secara spesifik juga memiliki beberapa jenis baling-baling, contohnya Twinrotor/Twincopter/ Dual Motor Propeller dengan dua baling-baling, Trirotor/Tricopter dengan tiga baling-baling, an Quadrotor/Quadcopter dengan empat baling-baling[1][2].

Twinrotor/ Dual Motor Propeller yaitu suatu alat yang dimana pada sistemnya dirancang memiliki dua buah motor brushless dengan propeller sebagai penggeraknya [2]. Dalam sikap terbangnya Dual Motor Propeller tidak memerlukan landasan pacu yang panjang untuk mengudara karena sistem Dual Motor Propeller menggunakan sistem Vertical Take Of and Landing (VTOL). Namun pada sistem ini terdapat sebuah permasalahan keseimbangan yang dimana disebabkan oleh beberapa gangguan salah satunya seperti angin. hal tersebut dapat mempengaruhi stabilitas *Dual Motor Propeller* pada

arif Kasim

baling-baling yang berada di samping kanan dan samping kiri, serta dapat menimbulkan jatumnya Dual Motor Propeller pada saat beroperasi di udara [3]. Maka dari itu untuk dapat menimbulkan keseimbangan, dibutuhkannya sebuah sistem pengendali pada Dual Motor propeller.

Penelitian yang telah membahas tentang sistem self balancing pada Dual Motor Propeller waitu pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan pengendali fuzzy logic controller dan PID. Pada penelitian ini didapatkan nilai PID dengan metode Ziegler-Nichols dan kontroller fuzzy dengan metode mamdani. Hasil penelitian mengunjuk kan respon keluaran sistem dengan pengendali FLC-PID dapat bekerja dengan baik dan mampu menyeimbangkan posisi selama diberikannya gangguan, serta dengan cepat membali ke titik seimbang, dengan error steady state (Ess) yaitu 0.0014 %, delay time yaitu delah, settling time yaitu 0.82 detik dan nilai rise time yaitu 0.12 detik. Dari hasil mulasi yang didapat, pengendali yang dirancang mampu menyeimbangkan sistem self mengunakan didapat, pengendali yang dirancang mampu menyeimbangkan sistem menggunakan pengendali FLC-PID masih memiliki overshoot (Mp) yang masih tergolong besar 26.1% [4].

Dari hasil prapengujian simulasi sistem secara open loop yang telah penulis lakukan menunjukkan respon keluaran sistem tak hingga, yang dimana respon output sistem menjauh dari setpoint dan tidak mampu mengikuti setpoint yang diinginkan. Dari studi pustaka yang lah dilakukan mengenai self balancing Dual Motor Propeller menggunakan pengendali belum menghasilkan hasil yang bagus, karena masih terdapat permasalahan yang mana dasih terdapat overshoot yang besar pada hasil penelitian, karena adanya overshoot menandakan salah satu ciri-ciri ketidakstabilan pada sistem. Sementara faktor yang penting pual Motor Propeller adalah kestabilan sistem. Oleh karena itu, untuk menyelesakan permasalahan pada kestabilan sistem diperlukannya pengendali pada sistem diperlukannya pengendali pada sistem diperlukannya pengendali Linear Quadratic menglulator (LQR).

LQR dipilih karena merupakan salah satu kendali optimal yang dikenal mampu dalam menjaga performa sistem [5]. Selain itu pengendali LQR dipilih karena adanya keunggulan dari sifat regulator yang terdapat pada LQR. Regulator bertujuan sebagai pengendali agar sistem tetap konstan yang dimana akan menyebabkan keadaan *steady state* pada *setpoint* yang diberikan [6]. Keadaan *steady state* inilah yang diharapkan agar dapat menjaga kestabilan pada sistem *Dual Motor Propeller* dari awal hingga akhir. Sehingga, permasalahan *overshoot* dan *error steady state* dapat diatasi karena *overshoot* dan *error* 

Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan

karya

ilmiah,

penyusunan laporan,

penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

steady state merupakan salah satu ciri-ciri ketidakstabilan sistem. Overshoot adalah terjadinya lonjakan pada sistem disaat sistem diberikan sinyal masukan. Berdasarkan berdasarkan diatas pengendali yang cocok dalam mengatasi permasalahan pada Dual Motor permeller yaitu pengendali LQR [7].

Pengendali LQR memiliki karakteristik sistem yang berbeda, ketidaklinearan sistem masih belum menggunakan kendali LQR, maka didapatkan bahwa respon keluaran sistem masih belum mengan kelemahan respon waktu yang yang dibutuhkan untuk menuju setpoint masih terlalu lama. Untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik pada kontroler LQR maka diternatifnya adalah dengan melakukan penambahan pengendali Proportional-Integral-perivative (PID). Karena menurut referensi [8] menunjukkan bahwa PID mengandung mengandung dapat mempercepat respon waktu sistem, pengendali mengalami osilasi dan derivative (D) dapat menurunkan atau meredam Overshoot.

Pengendali LQR-PID telah digunakan oleh peneliti [9] dengan *plant* yang berbeda bentuk mengendalikan kinerja *web tension* pada sistem *rewinder roll*. Hasil respon sistem ang didapatkan tidak memiliki *error steady state* dan *overshoot*. Pada respon *output* sistem membuktikan bahwa LQR-PID mampu menstabilkan keluaran sistem, seperti menghasilkan sistem yang tidak memiliki *overshoot*, dapat menghilangkan *error steady state* dan menghasilkan waktu respon *transient* yang cepat.

Berdasarkan permasalahan yang ada pada Dual Motor Propeller dan studi literatur mang telah dibaca tentang penggunaan pengendali yang sama, pengendali LQR-PID mampu memperbaiki respon transient pada sistem. Yang mana LQR-PID mampu menghilangkan mempercepat waktu pada respon transient. Maka dari itu penulis tertarik melakukan penelitian tugas akhir dengan judul mempercepat waktu pada pengendalikan Self Balancing Pada Dual Motor Propeller".

### 1.2 Rumusan Masalah

Syarif Kasim

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang pengendali LQR-PID untuk menjaga kestabilan pada sistem Dual Motor Propeller yang memiliki respon sistem open loop yang menjauh dari serpoint?



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang <sup>™</sup>

Dilarang mengi

Bagaimana merancang kendali LQR-PID untuk mengendalikan sistem self balancing Dual Motor Propeller yang terdapat overshoot dan error steady state?

Bagaimana merancang pengendali LQR-PID untuk mengendalikan self balancing pada Dual Motor Propeller yang kokoh apabila diberikan gangguan?

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

Mampu menyelesaikan permasalahan keseimbangan pada sistem Dual Motor Propeller dengan hasil keluaran sistem yang memiliki nilai error steady state yang keel mendekati 0 dan dapat memperkecil overshoot.

Mampu mempertahankan setpoint ketika sistem pada Dual Motor Propeller diberikan gangguan.

### Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- utip sebagian atau seluruh kana tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber: 1. Pemodelan sistem self balancing pada Dual Motor Propeller yang dipakai adalah pemodelan sistem yang diturunkan dari persamaan matematik pada jurnal rujukan yang berjudul "Perancangan Sistem Pengendalian Self Balancing pada Propeller Dual-Motor Berbasis FLC-PID" [4].
  - Simulasi dilakukan dengan menggunakan software MATLAB.

### Manfaat Penelitian

10

University of Sultan Syarif Kasim

- Menghasilkan rancangan sistem kendali menggunakan Linear Quadratic Regulator (LOR) dan PID untuk mengendalikan self balancing pada Dual Motor Propeller.
- 2. Dapat dijadikan acuan untuk melanjutkan dan mengembangkan sistem *Dual Motor* Propeller dengan menggunakan pengendali lainnya pada penelitian-penelitian berikutnya.





### **BAB II**

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terkait

Pada penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan studi literatur untuk mendapatkan penelitian teori yang sesuai dengan kasus atau permasalahan yang akan diangkat pada

Pada penelitian yang terkait dalam segi plant yaitu menggunakan pengendali fuzzy controller dan PID dalam pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller. penelitian ini dilakukan uji simulasi sistem pada matlab yang selanjutnya akan analisis vaitu pada saat sistem tanpa pengendali, dengan menggunakan sistem kendali, dan gada saat sistem dengan pemberian sinyal *disturbance*. Dalam penelitian ini menggunakan netode Ziegler-Nichols untuk mendapatkan nilai PID dan metode mamdani untuk kontroller Luzzy logie controller. Setpoint yang diberikan dalam simulasi adalah 1 derajat. Hasil  $\overline{B}$ enelitian menunjukkkan respon sistem dengan pengendali LFC-PID dapat menghasilkan spon keluaran sistem yang mampu mengikuti setpoint, serta dapat kembali menuju setpoint Setelah diberikannya gangguan disturbance [4]. Namun dari hasil simulasi sistem self Balancing pada Dual Motor Propeller mengunakan pengendali FLC-PID masih terdapat evershoot yang masih tergolong besar sehingga dapat mempengaruhi kestabilan terhadap stem.

Selain penelitian terkait Dual Motor Propeller, terdapat penelitian lain yang Berkaitan dengan pengendali yang akan peneliti angkat, seperti penelitian tentang gerancangan pengendali *Linier Quadratic Regulator* (LQR) untuk mengendalikan posisi ari sistem magnetic levitation ball. Pada penelitian yang membahas mengenai pertahanan Sosisi pelayangan dalam posisi jarak tertentu pada sistem *magnetic levitation ball* dan stabil Erhadap Zangguan yang diberikan. Agar mendapatkan perfomansi yang optimal maka Agunakamya pengendali LQR, dimana metode yang dipakai dalam perancangan pengendali LQR yaitu metode *trial and error* dengan analisa IAE. Hasil dari penelitian ini menunjukkan performansi sistem dapat mencapai setpoint secara optimal dan stabil [10]. Pada penelitian ini pengendali LQR dapat mempertahankan posisi dari sistem magnetic levitation ball agar tetap stabil terhadap pemberian gangguan dan juga dapat meminimumkan overshoot.

Selanjutnya penelitian lain yang menggunakan pengendali LQR-PID dengan plant yang berbeda yaitu untuk mengendalikan web tension agar sesuai dengan proses yang terjadi pada sistem rewinder roll. Pada penelitian ini menggunakan metode trial and error dengan

karya

penyusunan laporan, penulisan

kritik atau tinjauan suatu masa

analisa IAE untuk menentukan nilai matrik Q dan R pada pengedali LQR, sedangkan metode hermistic digunakan untuk penentuan nilai Kp, Ki, Kd pada pengendali PID. Setelah Eigenakannya pengendali LQR dan PID untuk mengoptimalkan web tension pada sistem Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan Der Groll, pengendali LQR-PID berhasil mengatasi overshoot pada sistem, dapat Benghilangkan error steady state yang ada pada sistem dan juga dapat menghasilkan respon Eelearan sistem yang lebih cepat [9].

Seperti pada penelitian [10] dan [9], LQR-PD digunakan juga untuk pengendalian Sossisi sumbu Elevasi Turret-Gun kaliber 20 milimeter. Turret-Gun merupakan alat yang biasa digunakan untuk mempermudah kerja militer untuk mengenai target yang terdapat pada senjata laras panjang. Pada penelitian ini LQR-PD berhasil membuat sumbu Elevasi **E**urret-Gun mencapai setpoint yang diberikan yaitu sebesar 30 derajat, serta overshoot yang semulany 6.2% dapat ditekan menjadi 0%, berhasil menghilangkan error steady state, dan mampu menjaga posisi setpoint dari sumbu Elevasi Turret-Gun saat diberikannya gangguan **[**} 1].

≣: Dari beberapa penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa pengendali LQR-PID ampu beradaptasi dengan perubahan yang ada seperti perubahan posisi, dan perubahan Retegangan. Dan penelitian mengenai perancangan kendali LQR-PID untuk mengendalikan Self balancing pada Dual Motor Propeller belum pernah dilakukan sebelumnya. Dengan Emikian, penulis ingin melakukan penelitian dengan menggunakan pengendali LQR-PID Entuk mengendalikan self balancing pada Dual Motor Propeller karena pengendali LQR-**PID** mampu memperbaiki error steady state, overshoot, serta mampu beradaptasi ketika diberikan gangguan.

### yeb2.2 Dasar Teori

Syarif Kasim

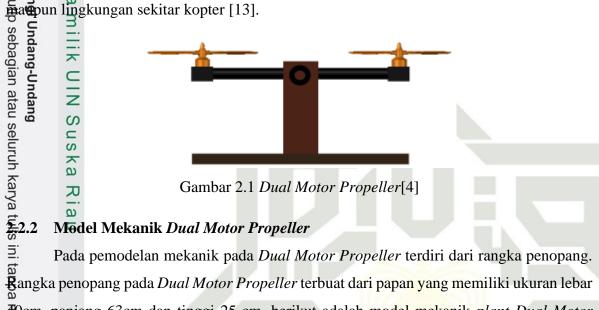
### Dual Motor Propeller

Dual Motor Propeller atau Twinrotor adalah suatu jenis alat berupa kopter yang Agerakkan oleh dua motor Brushless. Pada Dual Motor Propeller terdapat pisau-pisau yang saling berautar dalam arah yang berlawanan dan rotor ekor tidak diperlukan untuk melawan bertindak angular momentum baling-baling. Sebagai sistem dinamik yang digabungkan, dengan mengubah kecepatan motor, posisi juga berubah. Sistem ini digerakkan dan sangat dinamis tidak stabil [12]. Karena kecepatan rotor pada Dual Motor Propeller sangat cepat sehingga bergerakan akan sangat sulit stabil apabila kedua motor sama-sama bekerja. Kestabilan ini dipengaruhi oleh kecepatan putar motor (Rotary Per Minute) yang dapat

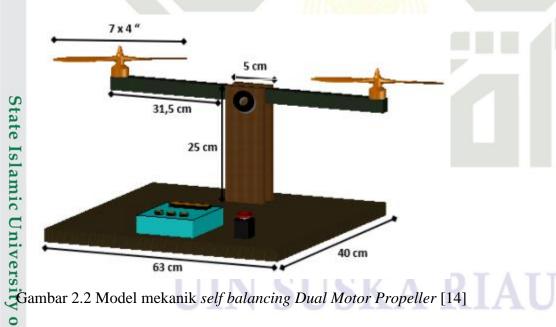
Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

ıtumkan dan menyebutkan sumber:

berakibat pada perubahan sudut yang sangat dinamis. Sehingga untuk dapat membuat kopter bisabergerak dengan stabil maka diperlukannya sebuah pengontrolan. Dengan adanya suatu For yang ditanamkan pada sistem maka akan membuat sistem bisa bergerak dengan nem. Perubahan yang tidak terlalu besar terhadap gerak vertikal dari nilai yang ditentukan Schange membuat respon menjadi lebih halus dan tidak berbahaya untuk kopter itu sendiri apun lingkungan sekitar kopter [13].



40cm, panjang 63cm dan tinggi 25 cm. berikut adalah model mekanik plant Dual Motor  $\mathbf{\bar{g}}$ ropeller pada self balancing yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 [14]:



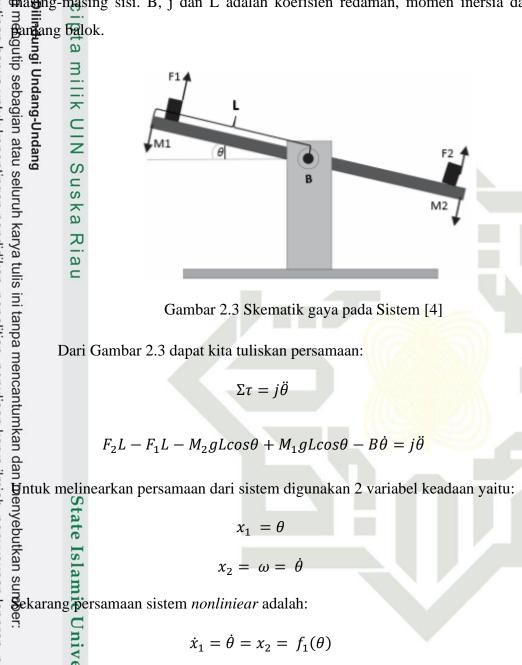
### Model Matematika Dual Motor Propeller

Metode Newton merupakan metode yang digunakan pada pemodelan sistem Dual Motor Propeller ini. Dalam metode ini yang diterapkan pada sistem yaitu persamaan gaya Syarif Kasim



dan torsi. Dimana sistem dilihat sebagai benda tegar dengan distribusi massa seragam.

Diasumsikan bahwa pada masing-masing sisi balok memiliki massa total yang Erkensentrasi. M1 dan M2 adalah jumlah motor massa dan massa terkonsentrasi balok di മുള്ള തുട്ടു sisi. B, j dan L adalah koefisien redaman, momen inersia dan setengah ang balok.



$$\Sigma \tau = j\dot{\theta}$$

$$F_2L - F_1L - M_2gL\cos\theta + M_1gL\cos\theta - B\dot{\theta} = j\ddot{\theta}$$
 (2.1)

$$x_1 = \theta$$

$$x_2 = \omega = \dot{\theta} \tag{2.2}$$

$$\dot{x}_1=\dot{\theta}=x_2=f_1(\theta)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{\ddot{g}}{\dot{g}} \ddot{\theta} = \frac{1}{\dot{f}} \left( F_2 L - F_1 L - M_2 g L \cos \theta + M_1 g L \cos \theta - B \dot{\theta} \right) = f_2(\theta) \tag{2.3}$$

Dengan menggunakan metode jacobian, maka dapat melinearkan persaamaan (2.3) menjadi

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



 $\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} = J_x(0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j} & \frac{-B}{j} \end{bmatrix}$ 

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}$$

$$\frac{\partial f_{\alpha}}{\partial x_{\alpha}} = \frac{\partial \omega}{\partial \theta} = 0$$

b) 
$$\frac{\partial f_{2}}{\partial x_{1}} = \frac{\partial \left(\frac{1}{j}(F_{2}L - F_{1}L - M_{2}gLcos\theta + M_{1}gLcos\theta - B\dot{\theta})\right)}{\partial \theta}$$

$$=\frac{gLsin(0)(M_2-M_1)}{j}$$

c) 
$$\frac{\partial f_1}{\partial x_2} = \frac{\partial x_2}{\partial x_2} = 1$$

d) 
$$\frac{\partial f_2}{\partial x_2} = \frac{\partial \left(\frac{1}{j}(F_2L - F_1L - M_2gL\cos\theta + M_1gL\cos\theta - B\dot{\theta})\right)}{\partial \omega}$$

$$=\frac{-B}{j}$$

e) 
$$\frac{\partial f_{0}}{\partial E} = \frac{\partial \omega}{\partial F} = 0$$

e) 
$$\frac{\partial f_{0}}{\partial E} = \frac{\partial \omega}{\partial F} = 0$$

f)  $\frac{\partial f_{2}}{\partial E} = \frac{\left(\frac{1}{j}(F_{2}L - F_{1}L - M_{2}gLcos\theta + M_{1}gLcos\theta - B\dot{\theta})\right)}{\partial F}$ 

kemudian persamaan linear state space menjadi:

$$\dot{c} = Ax + Bu$$

ian persamaan linear state space menjadi:
$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{gL\sin(0)(M_2 - M_1)}{j} & \frac{-B}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix} F$$
Syarif Kasim



(2.5)

 $0] \begin{bmatrix} S & -1 \\ -\frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j} & S + \frac{B}{j} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix}$ 

$$[1 \quad 0] \begin{bmatrix} \frac{S + \frac{B}{j}}{S(S + \frac{B}{j}) - \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j}} & \frac{1}{S(S + \frac{B}{j}) - \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j}} \\ \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j} & S \\ \frac{S(S + \frac{B}{j}) - \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j}}{S(S + \frac{B}{j}) - \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{S(S + \frac{B}{j})} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} S + \frac{B}{j} & 1 \\ \overline{S\left(S + \frac{B}{j}\right)} - \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j} & \overline{S\left(S + \frac{B}{j}\right)} - \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{L}{j} \end{bmatrix}$$

$$= \left[ \frac{\frac{L}{j}}{S^2 + \frac{B}{j}S - \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j}} \right]$$

$$= \left[ \frac{\frac{L}{j}}{\frac{S}{j}(Sj+B) + \frac{gLsin(0)(M_2 - M_1)}{j}} \right]$$

$$= \frac{L}{js^2 + BS + gLsin(0)(M_2 - M_1)}$$

$$G_{(s)} = \frac{L}{js^2 + Bs} = \frac{\frac{L}{j}}{S^2 + \frac{B_s}{j}}$$

(2.6)

= Gaya angkat (thrust) pada motor 1 (N)

= Gaya angkat (thrust) pada motor 2 (N)

tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:



= Gaya gravitasi bumi  $(m/s^2)$ g

 $M_1^{\odot}$ = Massa benda kiri (kg)

= Massa benda kiri (kg)

= Massa benda kanan (kg)

23 Sistem Kendali

Sistem kendali berarti mengatur, memerintah dan memberi pengarahan baik secara dinamis maupun aktif. Sehingga perancangan sistem kendali tergantung pada bagian-bagian Hak Cipta Dilindungi Hju-[15]. Sistem kendali merupakan hubungan antara berbagai komponen yaitu mekanik, a de grik, Fologi, variabel sosial, hidrolik, dan keuangan bahkan parameter dengan tujuan mendapatkan fungsi yang diinginkan secara baik, akurat dan efisien. Karena teori yang sidah sangat maju dan aplikasi pengendali otomatis memberikan kinerja yang baik terhadap suatu sistem dinamik, menyederhanakan operasi manual yang sering kali dilakukan berulang-Wlang, menaikkan produktifitas, maka banyak peneliti sekarang ini telah memiliki gaham yang baik tentang pengendali otomatis[6].

Istilah dasar dalam sistem kendali:

- 1. Perubahan terkendali (controlled variable) dan perubah yang termanipulasi (manipulated variable). Perubah yang terkendali adalah kuantitas atau keadaan yang perubahannya diukur dan dikendalikan. Yang termasuk perubah termanipulasi adalah kuantitas atau kondisi yang berubah oleh kendali sehingga dapat mempengaruhi nilai perubah terkendali yang biasanya adalah merupakan hasil keluaran sistem.
- Plant. Suatu plant dapat dijelaskan seperti peralatan dan instrumen yang berfungsi sebagai bagian dari sistem yang dikendalikan. Contoh plant misalkan peralatan mekanik, tungku bakar, reaktor kimia, pesawat luar angkasa dan sebagainya.
- 3. Proses. Tidak sama dengan *plant*, proses adalah prosedur dan mekanisme yang dikendalikan seperti pada *plant*. Kendali sistem yang berfungsi untuk memisahkan carran kimia merupakan sistem kendali yang bekerja pada suatu proses.
- 4. Sistem adalah suatu komponen yang saling terhubung satu sama lain yang memiliki tujuan tertentu, termasuk optimasi, otomasi dan efisiensi membentuk sebuah sistem.
- 5. Gangguan (disturbance). Pada sistem real, hamper selalu dijumpai gangguan dan seringkali membuat pengaruh pada stabilitas dan kinerja sistem. Gangguan ini bisa ın Syarif Kasim

nencantumkan dan menyebutkan sumber:

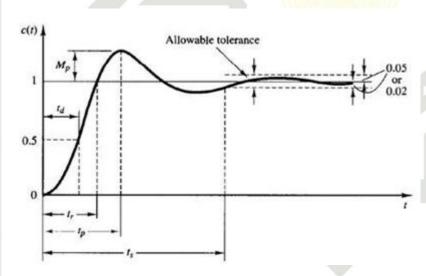


saja berasal dari luar sistem (eksternal disturbance) maupun ganguan yang berasal dan sistem itu sendiri (internal disturbance).

Kendali umpan balik (feedback control). Terdapatnya gangguan, perbedaan dari keluaran dengan masukan sulit diperkirakan yang dapat mengakibatkan tujuan pengoperasian sebuah sistem tidak bisa dicapai. Oleh karena itu, perlu adanya umpan balik keluaran untuk menjadikan perbandingan dengan masukan acuan sehingga selisih perbedaan dapat dikendalikan, dibuat seminimal mungkin secara otomatis.

### Identifikasi sistem

Hak Copta Dilindungi Undang-Undang Dilarang mengutip sebagian atau Identifikasi sitem pada penelitian ini menggunakan metode pengamatan pada respon Stem. Respon sistem merupakan Perubahan perilaku output yang terjadi terhadap input. Bentuk dari respon sistem ini berupa kurva grafik yang menjadi acuan dalam menganalisa kakarakteristik sistem menggunakan persamaan atau model matematis. Kurva grafik respon ini dapat Wilihat setelah mendapatkan sinyal *input*. Sinyal *input* yang diberikan ini disebut Gengan sinyal test [16]. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik Stenting dari sistem. Sistem yang digunakan untuk pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller yaitu sistem orde 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Respons sistem orde dua [16]

### Waktu tunda (td)

State

Islamic Unive

ltan Syarif Kasim

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



Hak Cipta Dilingungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumbet

2. Waktu naik (tr)

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

Waktu puncak (tp)

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

Overshoot maksimum (Mp)

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

$$Mp = \frac{c \text{ (tp)} - c(\infty)}{c(\infty)} 100\%$$
(2.7)

5. Waktu tunak (ts)

Waktu tunak adalah waktu yang dibutuhkan untuk menanggapi kurva agar dapat mencapai dan tetap berada dalam gugus nilai akhir ukuran yang disederhanakan dengan presentase mutlak harga akhirnya (biasanya 2% atau 5%) waktu tunak tadi dihubungkan dengan sebesar sistem kendali.

6. Kesalahan tunak / error steady state (e<sub>ss</sub>) adalah kesalahan yang merupakan selisih antara keluaran yang sebenarnya dengan keluaran yang diharapkan.

$$E_{ss} = R_{ss} - C_{ss} \tag{2.8}$$

Dimana:

Islam

Syarif Kasim

 $E_{ss} = Error Steady State$ 

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

 $C_{ss}$  = Keluaran sistem pada *steady state* 

### Linear Quadratic Regulator (LQR)

Pada kendali optimal pembahasan pokok yang dibahas adalah penentuan sinyal kendali yang akan diproses untuk memenuhi batasan fisik yang sesuai dengan kriteria performansi yang diinginkan. *Linear Quadratic Regulator* (LQR) adalah metode kendali optimal yang menyelesaikan permasahan *regulator* dengan kriteria kuadratik. Oleh karena itu disebut *linear* karena bentuk dan model kendalinya berupa sistem *linear*, sedangkan disebut karadratik karena memiliki *Cost Function* dan disebut *regulator* karena referensi

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



sistem bukan fungsi waktu [16]. Dari hasil linierisasi didapatkan suatu plant linear dalam

Denote: 
$$\bigcirc$$

The property of the property of

 $y \stackrel{\Omega}{=} C_x + D_u$ 

A ∃ matriks sistem

B = matriks input

C⊆ matriks output

D**≤** matriks transmisi langsung

y **⊆** state output

x *state* sistem

u <del>⊋state</del> input

Dalam perancangan pengendali optimal LQR yang pertama perlu dilakukan yaitu mienentukan matriks Q dan matriks R. selanjutnya matriks Q dan matriks R digunakan untuk menetukan indeks performansi sistem. Harga dari matriks Q dan matriks R ditentukan dengan kriteria yang diinginkan menggunakan indeks performansi [16].

Dengan syarat:

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

Denman:
$$t_{o} = \text{waktu awal}$$

$$T_{o} = \text{waktu akhir}$$

$$x = \text{matriks state akhir}$$

$$Q_{o} = \text{matriks semi definit positif}$$

$$(2.10)$$

$$S(T) \ge 0, Q \ge 0, R \ge 0$$

 $R \le = \text{matriks } definit positif$ 

S 🕏 = matriks semi definit positif

Schingga diperoleh persamaan Hamilton [20]:

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

Syarif Kasim

SKA RIAU

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

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

(2.11)

$$\stackrel{\mathfrak{B}}{=} \left(\frac{\partial x}{\partial x}\right)^{T} Q x + \left(\frac{\partial Q x}{\partial \lambda}\right)^{T} u = A_{x} + B_{x}$$

$$(2.12)$$

$$\frac{C}{A} = \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial x}{\partial x} \right)^T Q x + \left( \frac{\partial Q x}{\partial \lambda} \right)^T x + \left( \frac{\partial x}{\partial x} \right)^T R u + \left( \frac{\partial R u}{\partial x} \right)^T u \right] + \left( \frac{\partial \lambda}{\partial \lambda} \right)^T (A_x + B_u) - \frac{\partial \lambda}{\partial x} = Q x + A^T \lambda$$

$$t = 0 \times (0) = 0$$

$$(\mathbf{Q}_{x} + \mathbf{\psi}_{x}^{T} v - \lambda)^{T} dx|_{T} + (\mathbf{Q}_{t} + \mathbf{\psi}_{t}^{T} v - H) dt|_{t=T} = 0$$
(2.13)

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

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

Sehingga diperoleh persamaan

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

$$(\mathbf{S}(t)\mathbf{x}(t) = \lambda(t)$$

$$(2.14)$$

II-11

USKA RIA

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



Dari persamaan Constate dan (2.14), keduanya mengandung variable λ. Ketika

kectanya disubstitusikan maka akan menghasilkan persamaan [16]:

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

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

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

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

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

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

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

$$\overrightarrow{S} = (A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q) \tag{2.1}$$

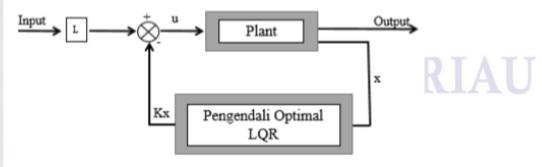
The continuous disubstitusikan maka akan menghasilkan persamaan [16]:

Solution of the continuous RE ini sehingga didapatkan persamaan sinyal kendali yang dapat dihitung:

$$u = -R^{-1}B^{T}\lambda = -R^{-1}B^{T}Sx = -Kx$$
(2.16)

$$k = R^{-1}B^TS (2.17)$$

Maka konstanta umpan balik keadaan K dapat dicari sebelum menghasilkan sinyal kendali pada persamaan (2.17):  $k = R^{-1}B^{T}S \qquad (2.16)$ Karena nilai S adalah nilai yang unik, maka solusi suntuk semi *definit positif* pada persamaan ARE haruslah memenuhi syarat persamaan (2.16). Dalam perancangan kendali eptimal LQR dengan mengetahui nilai S, lalu nilai S tersebut disubstitusikan kepersamaan 2.17) sehingga didapatkan nilai matriks optimal K, dengan K adalah Gain State Feedback, sehingga sistem kendali optimal LQR hasil desain dapat diperlihatkan pada gambar [16].



University of Sultan Syarif Kasim Gambar 2.5 Sistem kendali dengan skema kendali optimal LQR [17]



Dari penjelasan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa langkah-langkah untuk

memincang kendali LQR adalah sebagai berikut:

1. Apabila persamaan matematis dalam
dahulu diubah ke dalam bentuk transferika space lalu temukan nilai setiap n
2. Tentukan nilai matriks pembobotan Q
3. Kemudian selesaikan persamaan aljamatriks S yang definit positif
4. Lalu hitung optimal gain feedback K

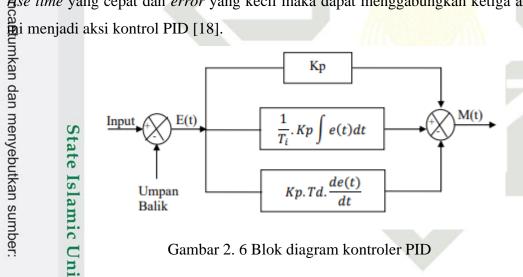
Pengendali PID 1. Apabila persamaan matematis dalam keadaan Transfer function, maka terlebih dahulu diubah ke dalam bentuk transfer Function plant nonliniear dalam bentuk state space lalu temukan nilai setiap matriks A, B, C dan D dari plant tersebut

2. Tentukan nilai matriks pembobotan Q dan nilai matriks pembobotan R

3.—Kemudian selesaikan persamaan aljabar riccati sehingga dapat menghasilkan

### Pengendali PID

mengutip sebagian atau seluruh Dirdalam suatu sistem kontrol ada beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proportional (P), aksi kontrol integral (I) dan aksi kontrol derivative (D). Pada setiap masing-masing aksi kontrol memiliki keunggulan tersendiri yaitu pada proportional (P) mempunyai keunggulan yang bisa mempercepat rise time, integral (I) mempunyai keunggulan dapat memperkecil *error* dan *derivative* (D) mempunyai keunggulan yang dapat meredam undershoot/overshoot. Untuk dapat menghasilkan output yang optimal, dengan Bse time yang cepat dan error yang kecil maka dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol



Gambar 2. 6 Blok diagram kontroler PID

### 2.6.1 Pengendali Proportional (P)

Pengendali proportional sering di simbol dengan P pada sistem kendali PID. Kontribusi pengendali P pada sistem, yaitu dapat mempercepat rise time dan settling time pada respon transient, dapat menambah atau mengurangi tingkat kestabilan sistem, dan juga pengenda P dapat mengurangi error steady state sistem yang mana apabila ingin mengurangi error maka kita harus menaikkan nilai Kp-nya sehingga nilai kp-nya besar, semakin tinggi nilai Kp-nya maka semakin berkurang *error* nya tetapi dengan menaikkan mila Kp maka sistem menjadi tidak stabil [19]. Pengendali P ini akan memberikan pengaruh mengaruh pada sistem yang sebanding dengan *error*. Adapun kekurangannya apabila pengendali P terlalu tinggi maka semakin tinggi *overshoot* yang dihasilkan dan respon sistem berosilasi.

Persamaan pengendali *proportional* sebagai berikut [16]:

$$u(t) = Kp(t) 2.18$$

### Pengendali Integral (I)

\_

Pengendali integral biasanya disimbolkan dengan I. Pengendali I berfungsi untuk menghilangkan error steady state pada sistem sehingga respon sistem tidak mengalami pengendali. Dengan hanya menggunakan pengendali P terkadang sistem tidak mencapai nilai pengendali I terdapat kekurangan yaitu apabila nilai I terlalu tinggi maka dapat membuat pengendali I terdapat kekurangan yaitu apabila nilai I terlalu tinggi maka dapat membuat pengendali I tidak stabil dan overshoot yang tinggi, dan juga pengendali I tidak dapat berdiri pendiri yang artinya bahwa pengendali I harus dibarengi dengan pengendali P.

Persamaan pengendali integral sebagai berikut [16]:

$$u(t) = Kie(t)dt 2.18$$

### 2.6.3 Pengendalian Derivative (D)

sity of Sultan Syarif Kasim

Pengendali derivative biasanya disimbolkan dengan D. Besar output dari pengendali derivative memiliki sifat seperti operasi diferensial pada umumnya. Sebagai parameter pengendalinya pengontrol derivative menggunakan kecepatan perubahan sinyal kesalahan. Papabila tidak adanya perubahan sinyal error, maka output dari pengendali derivative tidak perubah [19]. Pengendali D berfungsi sebagai penurun overshoot dan meningkatkan pestabilan pada sistem. Pengendali D memiliki kekurangan yaitu dapat membuat rise time sistem semakin lama dan pengendali D tidak bisa berdiri sendiri.

Persamaan pengendali derivative sebagi berikut [16]:

$$u(t) = Kd\frac{du}{dt}e(t)$$
 2.19

niversity of Sultan Syarif Kasim



### Kriteria Integral Menggunakan Integral of Absolute Error (IAE)

Kriteria integrasi membutuhkan data tanggapan dimulai dari t = 0 hingga mencapai Reagaan tunak. Dengan demikian kriteria ini didasarkan pada seluruh tanggapan dari proses প্রত্ত্ব bersangkutan. IAE (*Integral of Absolute Error*) adalah kriteria yang akan dipakai dalam Berelitian ni yang memiliki tujuan agar mendapatkan nilai IAE yang kecil dengan pemilihan Erieria yang tergantung pada karakterisktik sistem proses dan beberapa syarat tambahan wart diperoleh dari tanggapan close loop. Kriteria IAE memiliki keunggulan yang mudah Palam pemakaiannya serta sangat cocok untuk menekan error kecil oleh karena itu kriteria

$$IAF = \int_{0}^{\infty} |e| dt$$

Matterkenal dikalangan praktisi industri [20].

Seluruh kasa  $\int_{0}^{\infty} |e| dt$ Metode Heuristic

Metode heuristic adalah sebuah metode separa pelakukan eksplorasi dan cara cera Metode heuristic adalah sebuah metode pemecahan suatu masalah yang digunakan ₫engan cara melakukan eksplorasi dan cara coba-coba. Heuristic adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan permasalahan dengan solusi secara penelaahan. Rancang metode heuristic ini diperoleh dengan cara perubahan pada nilai parameter yang disesuaikan dengan kinerja *plant* yang akan dikendalikan [20].

Untuk merancang sistem pengendali PID dilakukan pencarian nilai besaran Kp, Ki Can Kd menggunakan metode *heuristic*. Dimana dilakukan pertambahan pada nilai parameter yang sesuai dengan kebutuhan dari respon sistem agar menghasilkan respon stem yang optimal [21]

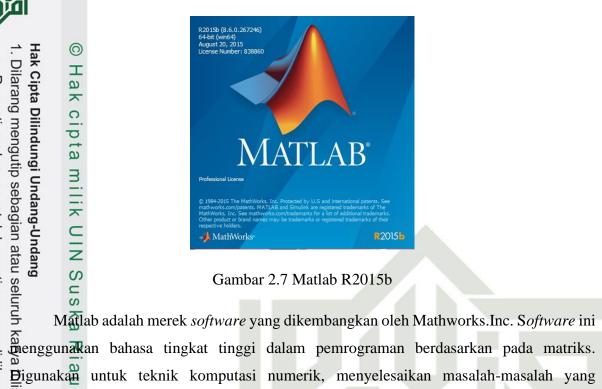
### Program Matrix Laboratory (MATLAB)

Matlab (Matrix Laboratory) merupakan sebuah program yang berfungsi untuk menganalisis dan komputasi numerik yang merupakan bahasa pemrograman matematika anjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks [22].





# 0



Digunakan untuk teknik komputasi numerik, menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, aproksimasi, optimasi dan lain-lain. Matlab Banyak dibidang komputasi matematika, digunakan algoritma pengembangan, emrograman modeling, pembuatan *prototype*, si<mark>mulasi, analisa d</mark>ata, visualisasi ksplorisasi, statistic, analisis numerik dan pengembangan aplikasi teknik [22].

Ada beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program pada gerangkat lunak Matlab yaitu:

- Command Window digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
- Workspace digunakan untuk membuat variabel yang ada di dalam Matlab.
- dan menyebutkan su Current Directory berfungsi untuk menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan Matlab.
  - Command History berfungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat kembali.

Pada penelitian ini dilakukan pemrograman modeling dan simulasi untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan. Fitur Matlab yang digunakan untuk simulasi ini disebut iversity of Sultan Syarif Kasim Simulink



2. Dilarang mengumumkan 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 masa b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

# Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- S U Gambar 2.8 Tampilan model simulink pada Matlab

÷ × 《C L t 88 A Mac ]<mark>e?</mark> Emt Logic and Bit Operations ₩

Gambar 2.9 Kotak dialog simulink library

# State Islamic University of Sultan Syarif Kasim IN SUSKA RIA



### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

⊤ ⊚ Proses Alur Penelitian

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

Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

\*\*Process Alur P YaUSKA RIAU

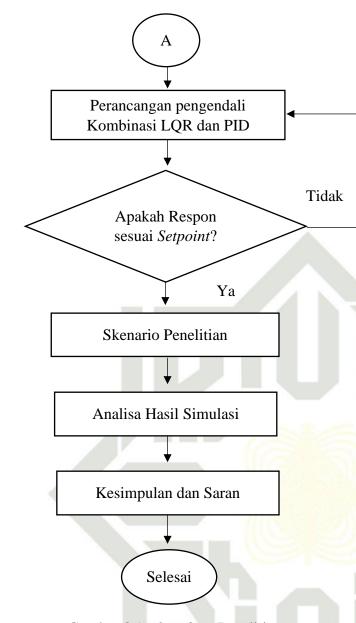


## 0 I 8 ~ C ipta milik UIN Suska

N a

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sur Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

### Tahapan Penelitian

State

Berdasarkan Flowchart diatas, untuk dapat mencapai tujuan yang diharapkan pada Tergelitian in maka terdapat beberapa tahapan penelitian yang harus dilakukan yaitu sebagai Berikut:

- 1. Identifikasi masalah
  - Sebelum melakukan penelitian, pertama dilakukan terlebih dahulu identifikasi masalah yaitumencari permasalahan yang terdapat pada sistem Dual Motor Propeller dengan cara Me-review beberapa referensi yang berkaitan dengan pengendalian pada sistem Dual Motor Propeller.
- Studi literatur 2.

penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

III-19

Dilafang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber



Setelah didapatkannya permasalahan yang akan diangkat menjadi Tugas Akhir, selanjutnya dilakukan pencarian referensi yang terkait dengan *Dual Motor Propeller* dan mempelajari referensi tersebut.

Pengumpulan data

Sebelum membuat desain yang akan diperlukan untuk tahap selanjutnya, dilakukan pengumpulan data dengan mengumpulkan data-data yang berhubungan dengan parameter penelitian mulai dari *setpoint* yaitu 1 derajat agar sesuai dari nilai yang telah diteliti dari jurnal maupun skripsi yang sudah ada sebelumnya.

Penetuan variabel

Setelah nilai dari masing-masing variabel didapatkan pada tahap pengumpulan data, kemudian variabel-variabel tersebut disubstitusikan ke dalam model matematis sistem pada persamaan *transfer function* (2.6) berikut:

Riau

$$G(s) = \frac{\frac{L}{j}}{s^2 + \frac{Bs}{j}}$$

Validasi model matematis

Tahapan ini untuk pengujian model matematis *plant* dalam bentuk transfer fungsi dari sistem *self balancing* pada *Dual Motor Propeller*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pemodelan sudah sesuai dengan referensi dan apakah formulasi yang digunakan sesuai untuk sistem kendali yang akan dibuat.

Desain pengendali

Penelitian ini menggunakan pengendali LQR yang dikombinasikan dengan pengendali PID. Untuk merancang pengendali LQR, terlebih dahulu dilakukan penurunan matematis pengendali LQR. Selanjutnya melakukan perancangan pengendali PID dan mengkombinasikannya dengan pengendali LQR.

Skenario penelitian

Skenario yang diambil pada penelitian ini berupa pengujian tanpa menggunakan gangguan, pengujian dengan menggunakan *setpoint* 1 derajat dan pengujian dengan menggunakan gangguan.

8. Analisa hasil pengujian

Pada ahap ini dilakukan analisa terhadap hasil pengujian, apakah telah sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Apabila telah memenuhi tujuan penelitian berarti penelitian telah berhasil dilakukan dan apabila belum memenuhi tujuan penelitian maka perlu dikaj Jebih lanjut.

penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

/ebutkan sumber



Kesimpulan dan saran

Setelah dilakukannya analisa hasil dan sesuai dengan tujuan penelitian, maka penelitian berhasil. Lalu dari hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan dan saran yang berguna untuk dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya.

### Pengumpulan Data

### Pem@delan matematis

Pada perancangan matematis ini data-data parameter *Dual Motor Propeller* yang sudah giterapkan sebelumnya disubstitusikan ke model matematis yang diturunkan pada persamaan ge. berikut ini adalah parameter dari *Dual Motor Propeller* yang digunakan:

| Parameter Parameter     | Simbol | Nilai |
|-------------------------|--------|-------|
| Koefisien Redaman       | В      | 1     |
| Momen Inersia           | j      | 0.33  |
| Setengah Panjang Lengan | L      | 0.315 |

Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan (2.6) setelah dimasukkannya nilai-nilai parameter *Dual Motor*Francisco Berdasarkan persamaan pers

$$G(s) = \frac{\frac{L}{j}}{s^2 + \frac{Bs}{j}}$$

Dengan mendapatkan konstanta B, j, L maka didapatkan

$$L = 31.5 \text{ cm} = 0.315 \text{ m}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{F}$$

$$j = 0.33 \text{ Kg/m}^2$$

$$G(s) = \frac{\frac{L}{j}}{s^2 + \frac{Bs}{j}}$$



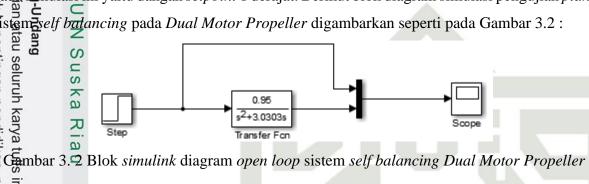
Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

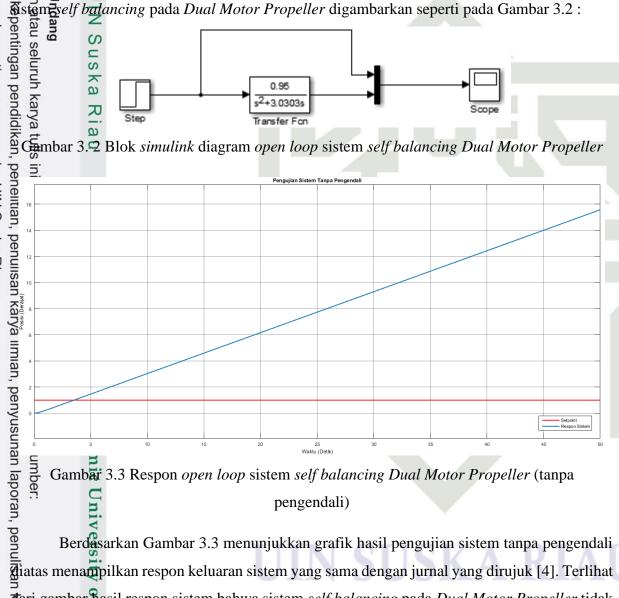
0 I

0.315

Dilarang mengutip Pengutian model Matematis

Signal of the state of the sta samulasi ini yaitu dangan setpoint 1 derajat. Berikut blok diagram simulasi pengujian plant





dari gambar hasil respon sistem bahwa sistem self balancing pada Dual Motor Propeller tidak stabil dan menjauh dari setpoint yang diberikan sehingga diperlukannya pengendali yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sesuai yang dapat menghasilkan sistem menjadi stabil dan dapat mencapai setpoint dengan cepat sesuai yang dapat menghasilkan sesu



2

### Perancangan Pengendali

### \_Perancangan Pengendali Linear Quadratic Regulator (LQR)

sistem self balancing pada Dual Motor Propeller ke dalam pengengan pengendali LQR. Adapun pemodelan state space tersebut adalah sebagai berikut:  $\frac{d}{ds} = \frac{ds}{ds} = \frac{d$ Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

Transfer tersebut kemudian dilakukan penurunan dengan menggunakan metode inverse Eagsformas *Paplace* balik sehingga mendapatkan persamaan sistem orde dua:

$$\frac{Y(s)^{o}}{U(s)^{o}} = \frac{0.95}{s^2 + 3.0303 \, s}$$

$$0.95 y(s) = s^2 y(s) + 3.0303 sy(s)$$

$$0.95 u = \frac{d^2 y}{dt^t} + 3.0303 \frac{dy}{dt}$$

$$0.95u = \ddot{y} + 3.0303\dot{y}$$

$$\ddot{y} = -3.0303\dot{y} + 0.95u$$

Didefenisikan:

$$x_1 = y$$

$$x_2 = \dot{y}$$

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

Dari persamaan di atas persamaan linear state space menjadi:

$$[\dot{x}] = Ax + Bu$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -3.0303 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.95 \end{bmatrix} u$$

$$Y = \mathbf{E}x + D$$

$$Y = \underbrace{\begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \end{array}} 1 \quad 0 \right] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Jadi, dari persamaan di atas didapatkan nilai matriks A, B, C, D yaitu:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -3.0303 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.95 \end{bmatrix}$$

ıgan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

luruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber

Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau



D = [0]

Dia CPerhitungan yang dilakukan pada pengendali LQR yaitu dengan memasukkan pengendali LQR yaitu dengan memasukkan pengendali LQR maka dibutuhkannya nilai matriks Q dan nilai matriks Q dan nilai matriks Q dan nilai matriks R. anabila semelin b her the maka akan memperkecil harga elemen matriks gain kendali dan memperlambat sistem mencapai steady state [10]. Selain dari itu penentuan nilai matriks R dan Q dengan metode and error menggunakan analisa IAE ini, memiliki kriteria nilai IAE terkecil dan juga Sang sesuai dengan analisa IAE yaitu matriks R bernilai 0.3. Yang dimana matriks R ditetapkan berfilai konstan 0.3, sehingga didapatkan nilai matriks Q adalah bilangan itu sendiri. Penentuan makiks Q menggunakan metode trial and error dengan analisa IAE. Berikut dapat dilihat pada **a E e** 1 3.2

ਰੂ ਤੋਂ ਰੂਬਿਓਈ 3.2 Matriks R konstan dengan Analisa IAE

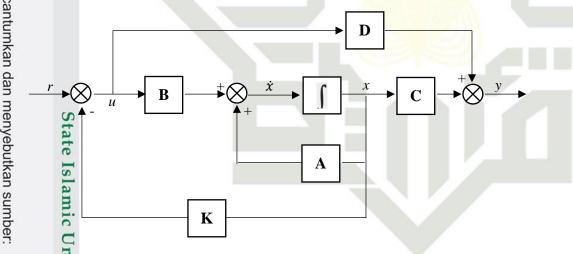
| NO | Matriks R      | Matriks Q  | IAE   |
|----|----------------|--|-------|
| 1  | [0.3]          | $\begin{bmatrix} 0.1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ | 26.48 |
| 2  | [0.3]          | $\begin{bmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ | 6.064 |
| 3  | [0.3]          | $\begin{bmatrix} 0.3 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ | 3.504 |
| 4  | <b>S</b> [0.3] | $\begin{bmatrix} 0.4 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ | 9.362 |
| 5  | [0.3]          | $\begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ | 13.42 |
| 6  | [0.3]          | $\begin{bmatrix} 0.6 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ | 16.46 |
| 7  | [0.3]          | $\begin{bmatrix} 0.7 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ | 18.84 |
| 8  | [0.3]          | $\begin{bmatrix} 0.8 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ | 20.76 |

Pada Tabel 3.2 dilakukan percobaan trial and error dengan cara memasukkan nilai  $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$  lalu kemudian didapatkan nilai IAE, namun respon keluaran sistem masa in to of the lebihi set point. Selanjutnya penambahan pada nilai matriks Q dilakukan sebesar 0.1, III-24 UIN SUSKA RIAU 2 Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau. b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau ıulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

chingga nilai IAE semakin mengecil namun respon keluaran masih melebihi nilai setpoint. Penambahan sebesar 0.1 terus dilakukan pada nilai matriks Q, sampai pada nilai matriks Q = menghasilkan respon keluaran sistem yang mencapai *setpoint* dan mendapatkan nilai penambahan nilai matriks Q sebesar 0.1 sampai penambahan nilai matriks Q yaitu  $\begin{bmatrix} 0.8 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ . Pada penambahan nilai matriks ini, nilai IAE yang hir matriks Q yaitu  $\begin{bmatrix} 0.8 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ . Pada penambahan nilai matriks ini, nilai IAE yang हो है है के कि पार्ट के पार्ट के कि पार्ट Energe pai nilai setpoint atau semakin di bawah setpoint. Sehingga nilai yang digunakan pada pengingangkendali LQR untuk mengendalikan self balancing pada Dual Motor Propeller pada menggunakan nilai matriks  $Q = \begin{bmatrix} 0.3 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ , nilai matriks R = [0.3] dengan nilai IAE =  $\begin{bmatrix} 0.3 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ , matriks optimal Gain Feedback  $K = [0.8165 \quad 0.2589]$  dan matriks S definit positif =  $\begin{bmatrix} 0.8165 & 0.2589 \end{bmatrix}$ 002578 yang mana nilai matriks *Gain Feedback* K dan nilai matriks S *definit positif* 

Perancangan pengendali LQR berdasarkan penurunan persamaan matematis LQR pada

AB 2. Sehingga dibuat *simulink* berdasarkan turunan matematis dan skema LQR yang sudah Hidapat. Berikut adalah blok diagram dan rangkaian simulink pengendali LQR pada sistem self Balancing Dual Motor Properller diperlihatkan pada Gambar 3.4 dan 3.5.



Gambar 3.4 Blok diagram self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan ersity of Sultan Syarif Kasim

pengendali LQR

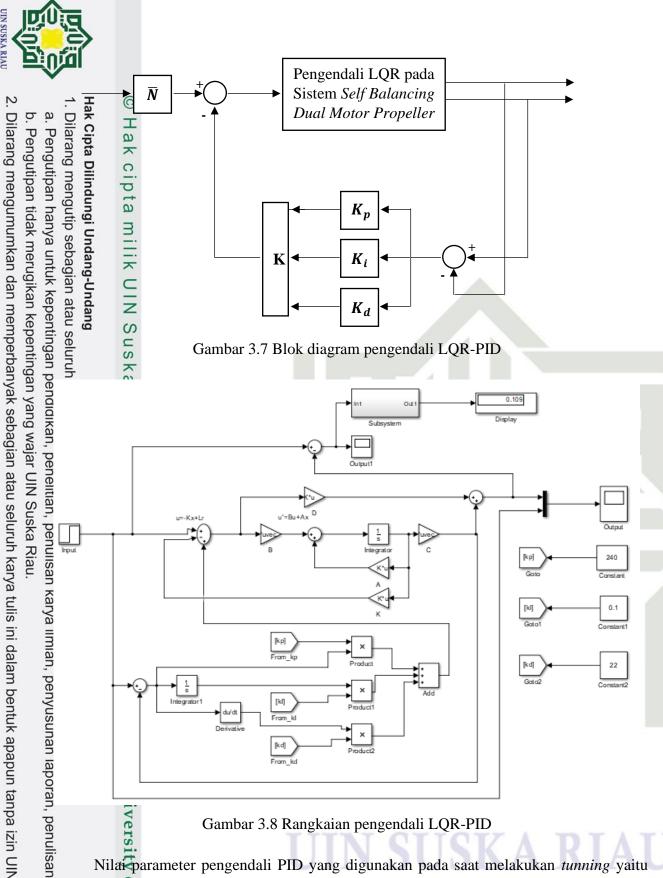
USKA RIA



Sultan Syarif Kasim

pengendali KQR menjadi lebih baik dan optimal. Berikut adalah gambar blok diagram dan gambar rangkaian untuk desain pengendali LQR-PID pada sistem self balancing Dual Motor Propeller di tunjukkan pada Gambar 3.7 dan 3.8: kritik atau tinjauan suatu masa

Syarif Kasim



Gambar 3.8 Rangkaian pengendali LQR-PID

Nilai parameter pengendali PID yang digunakan pada saat melakukan tunning yaitu menggunakan metode heuristic, dimana pada metode ini diperoleh dengan cara melakukan penambahan pada nilai Kp, Ki dan Kd yang disesuaikan dengan kebutuhan dari respon aukeluaran Kinjauan suatu masa sistem menggunakan pengendali LQR. Karena tujuan penelitian ini dapat

Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

**nen**hasilkan respon keluaran sistem yang memiliki nilai *error steady state* mendekati 0 dan mampu memperkecil overshoot, maka nilai Kp, Ki, dan Kd yang dipilih yaitu dengan nilai rise settling time, delay time tercepat dan tidak memiliki error steady state dan overshoot gengan nilai Kp = 240, Ki = 0.1, Kd = 22, nilai matriks R bernilai [0.3], matriks Q bernilai dan setpoint bernilai 1 derajat. Berikut ini tabel penelaan pengendali LQR-PID mengenakan metode heuristic:

acela. 3 Tabel penalaan pengendali LQR-PD menggunakan metode heuristic

| Penendali   |       | Uji Metode |     |      | Rise | Settling | Delay   | Error   | Maximum |       |
|---|-------|------------|-----|------|------|----------|---------|---------|---------|-------|
| LQR   |       | Heuristic  |     | Time | Time | Time     | Steady  | Peak    |         |       |
| L   | Q     |            | P   | I    | D    | (detik)  | (detik) | (detik) | State   | (Mp)  |
| ruh karya tulis ini tanpa mégcantumkan dan menyebutkan sur<br>an pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan | ska   |            | 0   | 0.1  | 0.5  | 5.5835   | 6.35    | 2.535   | 0.1935  | 0.19% |
|   | R     |            | 20  | 0.1  | 2.5  | 0.5415   | 0.6451  | 0.3065  | 0.0537  | 0.05% |
|   | au    |            | 40  | 0.1  | 4.5  | 0.3637   | 0.453   | 0.217   | 0.053   | 0.53% |
|   | 50.2  | 0-1        | 60  | 0.1  | 6.5  | 0.313    | 0.3731  | 0.1777  | 0.046   | 0.04% |
|   |       | 0]<br>0]   | 80  | 0.1  | 8.5  | 0.2857   | 0.3472  | 0.1574  | 0.0347  | 0.03% |
|   |       |            | 100 | 0.1  | 10.5 | 0.2656   | 0.3315  | 0.1425  | 0.0205  | 0.02% |
|   |       |            | 120 | 0.1  | 12.5 | 0.2619   | 0.324   | 0.1361  | 0.0107  | 0.01% |
|   |       |            | 140 | 0.1  | 14.5 | 0.257    | 0.334   | 0.1244  | 0.0033  | 0%    |
|   |       |            | 160 | 0.1  | 16   | 0.2456   | 0.32    | 0.1172  | 0.0002  | 0%    |
|   |       |            | 180 | 0.1  | 17.5 | 0.2424   | 0.3045  | 0.112   | 0.0001  | 0%    |
|   | S     |            | 200 | 0.1  | 19   | 0.236    | 0.304   | 0.1062  | 0       | 0%    |
|   | State |            | 220 | 0.1  | 20.5 | 0.2294   | 0.3     | 0.102   | 0       | 0%    |
|   | e Is  |            | 240 | 0.1  | 22   | 0.2251   | 0.298   | 0.0982  | 0       | 0%    |
| n su<br>unan  | lam   |            | 260 | 0.1  | 23.5 | 0.226    | 0.3     | 0.095   | 0       | 0%    |

Pada rabel percobaan dilakukan metode *heuristic*, dimana pada metode ini diperoleh dengan cara melakukan penambahan pada nilai Kp, Ki dan Kd yang disesuaikan dengan kebutuhan dari respon keluaran sistem menggunakan pengendali LQR. Pada percobaan awal mengunakan nilai Kp = 0, Ki = 0.1 dan Kd = 0.5 mendapatkan nilai C1935 derajat dan maximum overshoot sebesar 0.19% dengan rise time 5.5835 detik, settling time 6.35 de tik dan delay time 2.535 detik. Karena hasil rise time dan settling time masih terlalu Ema, selanjutnya diberikan penambahan sebesar 20 pada nilai Kp, yang mana pengendali selum suatu masih terlalu mas

2 Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

proportional berfungsi untuk mempercepat rise time dan settling time. Untuk nilai Kd diberikan penambahan 2 sampai pada nilai Kd = 14.5, selanjutnya dilakukan penambahan 1.5 Hingg rakhir percobaan, karena pengendali derivative berfungsi untuk menurunkan overshoot Sange stitimbulkan oleh pertambahan nilai pada Kp. Sedangkan untuk nilai Ki, karena hasil sesponsisistem yang hanya memakai pengendali LQR tidak memiliki error steady state maka data it diberikan nilai tetap sebesar 0.1 pada Ki. Pada percobaan heuristic ini, nilai error steady dan nitai maximum peak yang dihasilkan terus mengalami penurunan sampai di akhir Feigelan dengan nilai Kp = 260, Ki = 0.1, Kd = 23.5 yang menghasilkan nilai error steady Ederajat dan maximum peak 0%. Pada nilai rise time yang dihasilkan diawal penelaan, The range  $\frac{1}{2}$  being  $\frac{1}{2}$  dengan nilai rise time5 - 5 £.2251 detik-lalu mengalami kenaikan kembali di akhir penelaan dengan nilai *rise time* 0.2261 चिंद्र. Pada nilai settling time yang dihasilkan di awal penelaan juga terus mengalami pengirunan sampai dinilai Kp = 240 Ki = 0.1, Kd = 22 dengan nilai settling time 0.298 detik,30 detik. Dan pada nilai delay time yang dihasilkan terus mengalami penurunan hingga akhir penelaan dengan Kp = 240, Ki = 0.1, Kd = 22 menghasilkan nilai delay time 0.2251 detik,

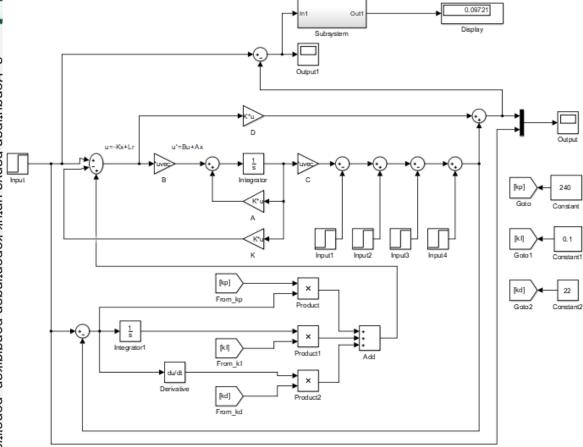
### Perancangan Pengendali LQR-PID dengan Gangguan

Untuk dapat mengetahui performa pengendali LQR-PID dalam mengatasi gangguan gada sistem self balancing Dual Motor Propeller maka pada rangkaian simulink LQR-PID diberikan gangguan sinyal pada sistem. Gangguan yang diberikan yaitu sebesar 5% dan 15% dand setpoint pada detik ke 10 dan detik 30, yang diasumsikan apabila posisi lengan berada di an setpoint. Lalu diberikan gangguan lagi sebesar 10% dan 20% dari setpoint pada detik re ₹0 dan 40, yang diasumsikan apabila posisi lengan berada di atas setpoint. Kemudian Bergon dan 40, yang diasumsikan apabila posisi lengan berada di atas setpoint. Kemudian pengendalisa dampak dan perubahan respon sitem dari pengendali tersebut. Berikut merupakan simulink pengendali LQR-PID saat diberikan gangguan:

University of Sultan Syarif Kasim

III-29





Gambar 3.9 Rangkaian pengendali LQR-PD dengan gangguan

### Skenario Penelitian

mencantumkan Pada skenario penelitian ini model sistem disimulasikan dengan beberapa skenario (4 ekerario), dimana masing-masing skenario menghasilkan satu grafik. Pada penelitian ini genulis menggunakan pengendali LQR-PID dengan memasukkan data-data yang telah dite apkan pada pemodelan matematis sebelumnya kedalam program pada Matlab, berdasarkan dit dapkan pada pemodelan matematis sebelumnya kedalam program pada Matlab, berdasarkan pada matematis penelitian terkait dengan nilai setpoint yang telah ditentukan. Adapun skenario memilitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Simulasi sistem secara open loop

2. Simulasi menggunakan pengendali LQR

3. Simulasi menggunakan pengendali LQR-PID

4. Simulasi pengujian gangguan terhadap pengendali LQR-PID

Figure 1. Simulasi pengujian gangguan terhadap pengendali LQR-PID

III-30



Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau penulisan penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

### **BAB V**

KESIMPULAN DAN SARAN

LITERATION KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa dari respon sistem yang telah dilakukan pada

bermelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pengendali LQR untuk mengendalikan self-balaneing pada Dual Motor Propeller berhasil memperoleh respon keluaran sistem yang Beacapai setpoint sebesar 1 derajat, namun waktu yang dibutuhkan sistem untuk menuju Rabil masih cukup lama. Dengan kombinasi LQR-PID dapat menghasilkan respon keluaran stem yang lebih optimal, karena kinerja pengendali LQR-PID pada kondisi tanpa ada gangguan menghasilkan respon keluaran sistem yang tidak memiliki *overshoot* dan *error*  $\vec{s}_{eady}$  state dengan delay time = 0.0982 detik, settling time = 0.298 detik dan rise time = 6.2251 detik, namun demikian saat diberikan gangguan sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% dari setpoint pada detik ke 10, 20, 30 dan 40 berturut-turut ternyata menghasilkan respon Reluaran sistem dengan overshoot sebesar 0.0008%, error steady state sebesar 0 derajat, delay time = 0.0977 detik, settling time = 0.28 detik dan rise time = 0.217 detik. Waktuang dibutuhkan untuk kembali menuju setpoint oleh gangguan yaitu 0.4 detik, 0.45 detik, ₫5 detik dan 0.55 detik.

### **SARAN**

10

University of Sultan Syarif Kasim

in**±**mkan Berdasarkan pada penelitian ini masih sebatas simulasi, Sehingga pada penelitian selanjutnya dapat merancang hardware dari Dual Motor Propeller menggunakan pengendali QR sehingga dapat menganalisa secara real terhadap hasil respon sistem self balancing ada Dua Motor Propeller. Dan untuk proses penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan dengan menggunakan pengendali lainnya seperti pengendali LQG, MPC, MRAC, JST atau pengendali cerdas lainnya.

i**pta Dilindungi Undang-Undang** arang mengஷ்p sebagடி atau seluru<del>n</del> karya tulis intanpa mencathumkan dan

ndenye Butkan Sumber:

[10]



### **DAFTAR PUSTAKA**

- I. Suroso, "Peran Drone/Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Buatan STTKD Dalam Dunia Penerbangan,"Jurnal Teknik Aeronautika Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, 2016.
- H. Wicaksono, "Self Stabilizing 1 Axis QuadCopter Using T2-Fuzzy Controller," Jurnal Teknik Elektro Universitas Surabaya, 2013.
- M. Mizui, I. Yamamoto, and R. Ohsawa, "Resonance Analysis of the UAV Rotorarm part," *Kyushu Kyouritu Univ. OSR J. Eng.*, vol. 02, no. 08, 2012, doi: 10.9790/3021-02862832.
- E. A. P. K. Khotimah, M. S. Zuhrie, I. G. P. Asto B, and L. Anifah, "Perancangan Sistem Pengendali Self Balancing Pada Propeller Dual- Motor Berbasis FLC-PID," *Tek Elektro*, vol. 10, no. 02, 2021.
- F. Arifin, "Perancangan Dan Simulasi Sistem Suspensi Mobil Berbasis Kendali Optimal," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 4, no. 3, 2006, doi: 10.12928/telkomnika.v4i3.1315.
- Kardono, R. Effendi AK, and A. Fatoni, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Optimal LQR untuk Menjaga Kestabilan Hover pada Quadcopter," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, 2012.
- F. Lewis, D. L. Vrabie, and V. Syrmos, Optimal Control. 2011.
- K. Ogata, Modern control engineering Fourth Edition, Fourth Edi. 2002.
- D. Mursyitah, A. Faizal, S. Basriati, Jumiyatun, and E. Novianti, "Pengendalian Posisi Sistem Magnetic Levitation Ball Menggunakan Pengendali Optimal Metode Linear Quadratic Regulator (LQR)," Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind., 2018.
- [11] H. Mudia, A. W. Putra, M. N. Faizi, and H. Amri, "Perancangan Kendali LQR-PD Untuk Pengendalian Sumbu Elevasi Gun Pada Turret-Gun Kaliber 20 Milimeter," *INOVTEK Seri Elektro*, vol. 2, no. 2, 2020, doi: 10.35314/ise.v2i2.1402.



an பகு பாய்யாழ் அவ்வரு-பாவ்வரு ந

(<del>1</del>7]

tulis ini tanpa

meticantumkan

**B**0]

S. Agarwal, A. Mohan, and K. Kumar, "Design And Fabrcation Of Twinrotor UAV," *Journal of Dep. Mechatronics Manipal Univ. India*, 2013.

H. Lim and S. N. Sinha, "Monocular Localization of a moving person onboard a Quadrotor MAV," *IEEE Int. Conf. Robot. Autom. Washingt. State Conv. Cent.*, 2015, doi: 10.1109/ICRA.2015.7139487.

M. S. Hudha and M. S. Zuhrie, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Self Batancing Pada Dual Motor Propeller Menggunakan Kontroller PID," *Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya, 2019.

Siswoyo, Teknik Listrik Industri Jilid 2. 2008.

K. Ogata, Modern Control Engineering Fifth Edition. New York: Prentice Hall, 2010.

W.A. Candra, R. E. A. K, and A. Fatoni, "Pengaturan Kecepatan pada Simulator Pafallel Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Menggunakan Linear Quadratic Regulator (LQR) Berdasarkan Particle Swarm Optimization (PSO)," *J. Tek. POMITS*, vol. 3, no. 1, 2014.

R. S. R. Simbolon, "Analisis dan Simulasi Sistem Kontrol PI dan PID Menggunakan XCOS SCILAB," *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara, 2020.

Triyono, "Aplikasi Kontrol Pid Dengan Software Matlab," *J. Tek.*, vol. 4, no. 2, 2015, doi: 10.31000/jt.v4i2.390.

K. Qgata, Teknik kontrol automatik jilid 2. Jakarta: Prentice Hall, 1997.

N. Gemeli, "Desain Pengendali Model Reference Adaptive Control (MRAC) Dengan Kombinasi PID Untuk Mengendalikan Tekanan Pada Modul Training Pressure Processn38-714," *Skripsi*. Pekanbaru: UIN Suska Riau, 2018.

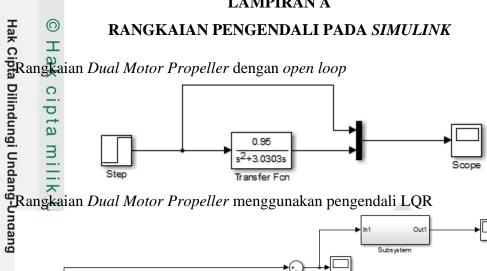
B. Cahyono, "Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier," *Phenom. J. Pendidik. MIPA*, vol. 1, no. 1, 2013, doi: 10.21580/phen.2013.3.1.174.

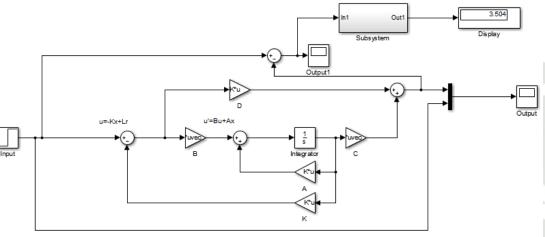
niversity of Sultan Syarif Kasim
B Pe 10



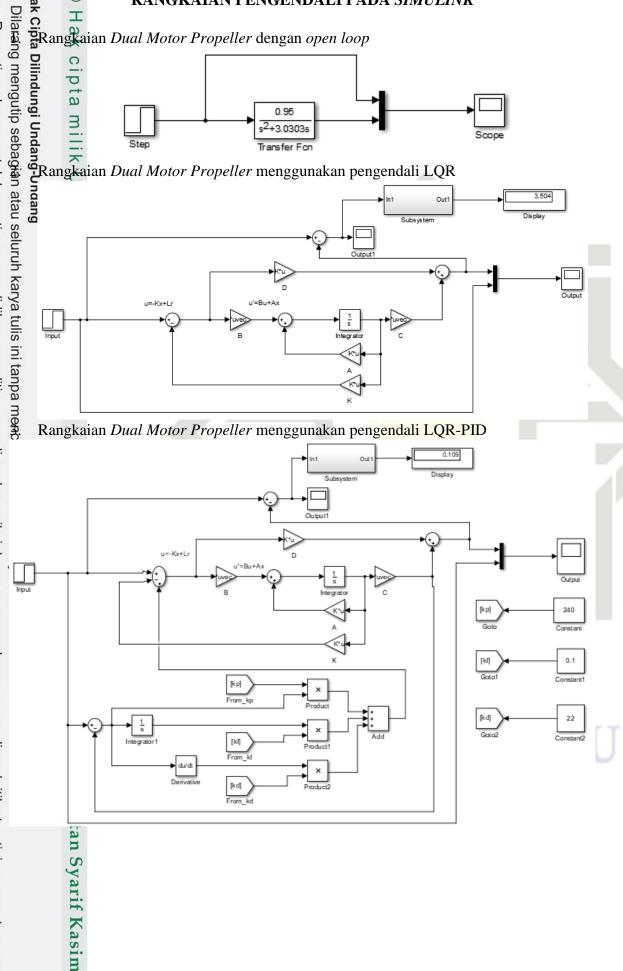
### LAMPIRAN A

### RANGKAIAN PENGENDALI PADA SIMULINK





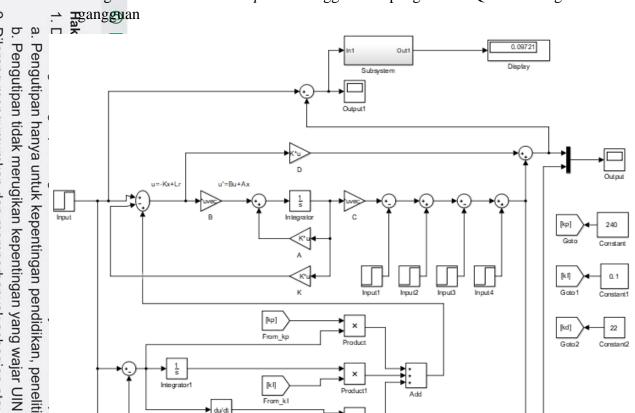
Rangkaian Dual Motor Propeller menggunakan pengendali LQR-PID



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



Rangkaian Dual Motor Propeller menggunakan pengendali LQR-PID dengan



[kd] From\_kd

ımkan dan menyebutkan sumber:

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

UIN SUSKA RIAU

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



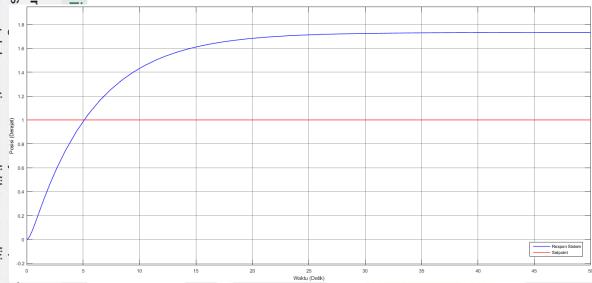
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B

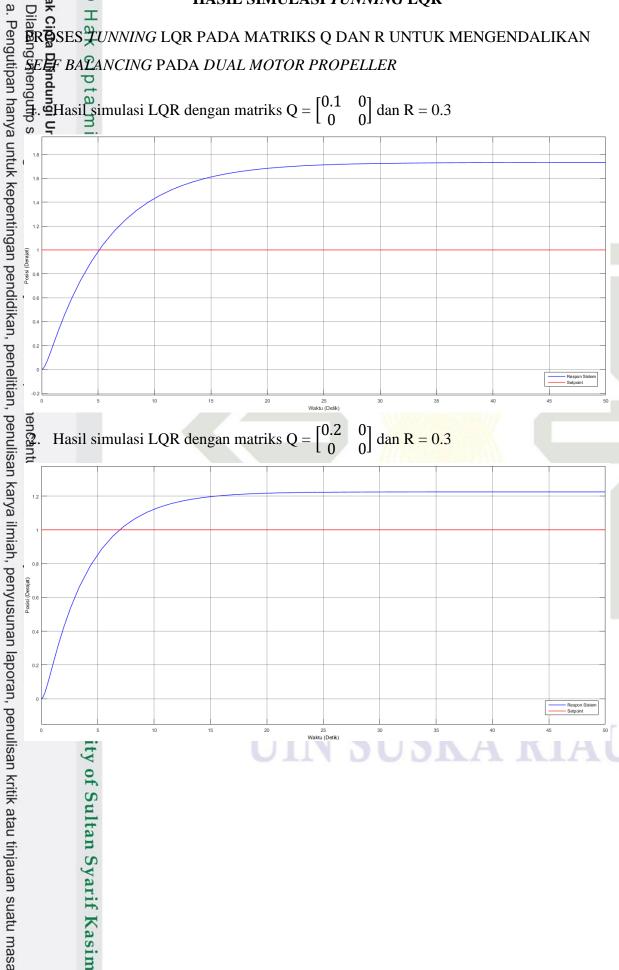
HASIL SIMULASI TUNNING LQR

HASIL SIMULASI TUNNING LQR

ERBSES TUNNING LQR PADA MATRIKS Q DAN R UNTUK MENGENDALIKAN SEEF BALANCING PADA DUAL MOTOR PROPELLER

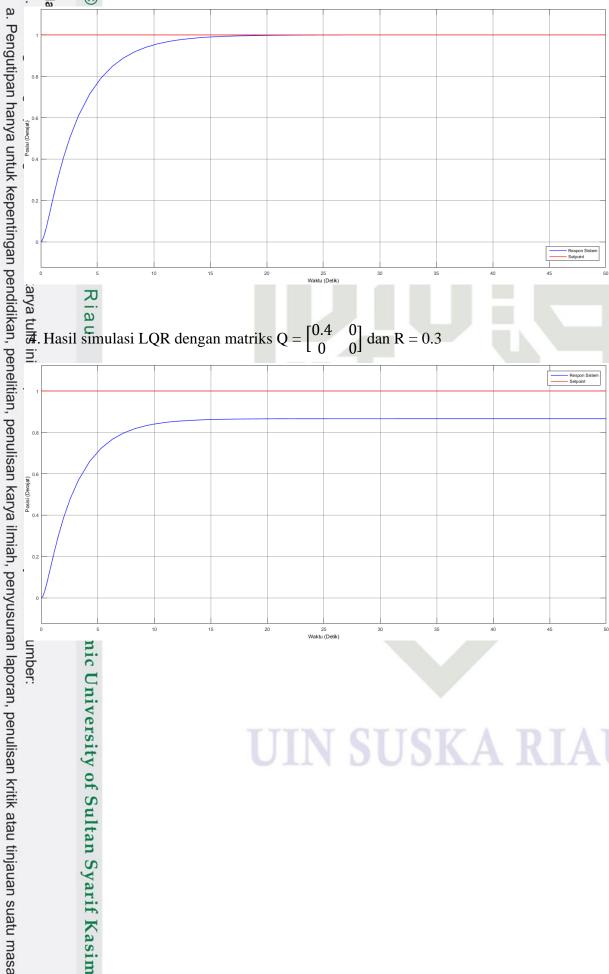
BY THE STATE OF 


 $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ Hasil simulasi LQR dengan matriks  $Q = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0 \end{bmatrix}$ dan R = 0.3

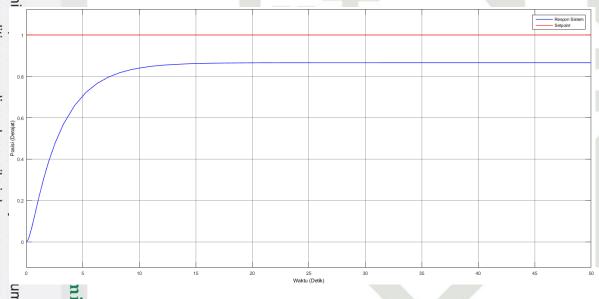


b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

3. Hasil simulasi LQR dengan matriks  $Q = \begin{bmatrix} 0.3 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} dan R = 0.3$ 

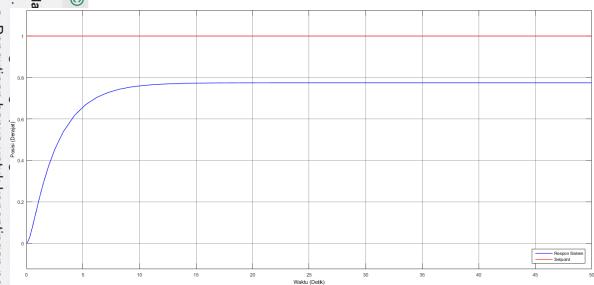


The state of the

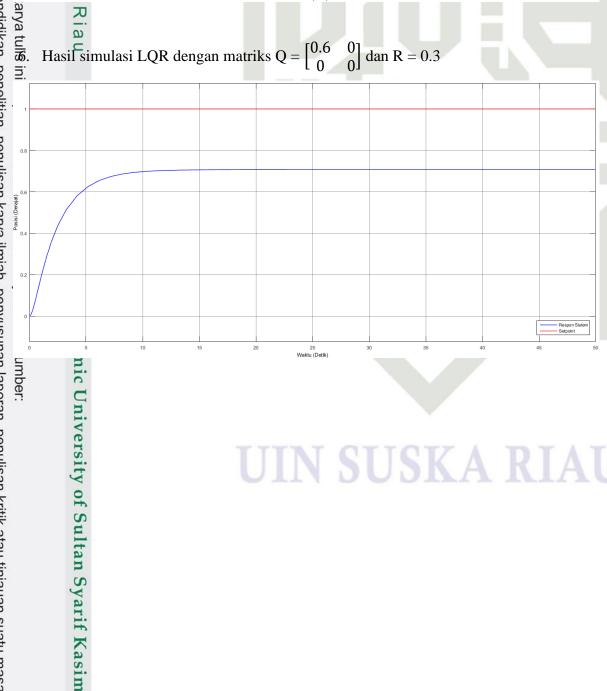


# nic University of Sultan Syarif Kasim

Hasil simulasi LQR dengan matriks  $Q = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$  dan R = 0.3



Hasif simulasi LQR dengan matriks  $Q = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0 \end{bmatrix}$  $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} dan R = 0.3$ 

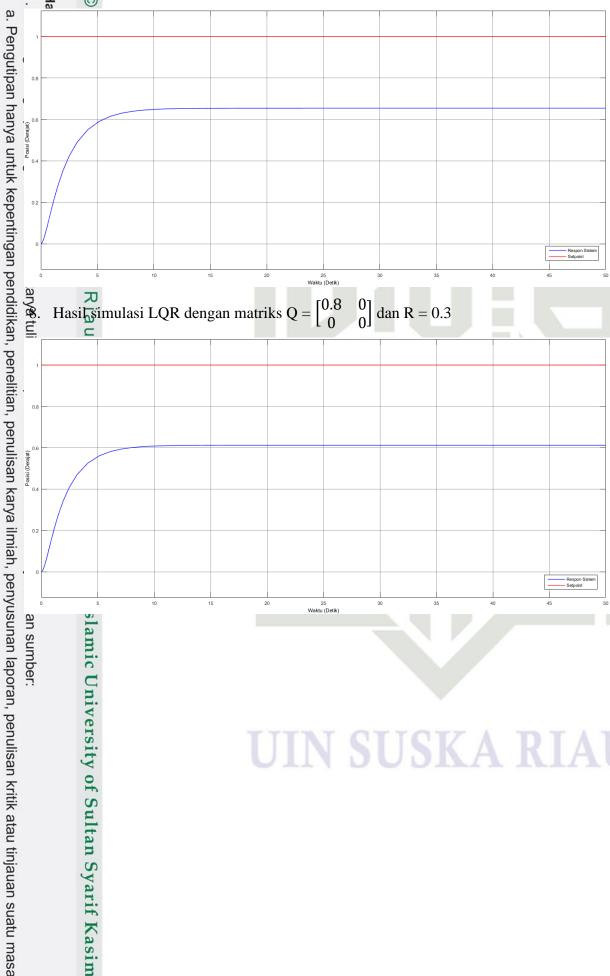


# IN SUSKA RIAU

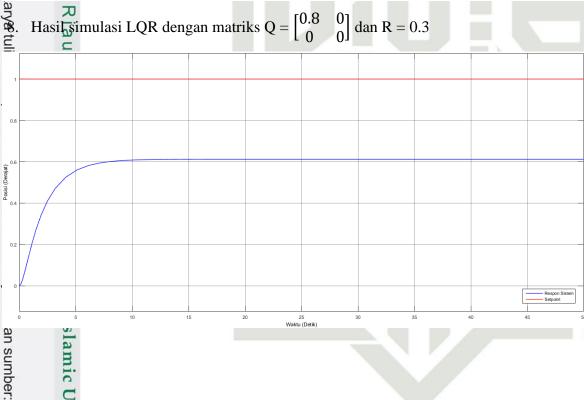
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau. b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau. a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan,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

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

Hasil simulasi LQR dengan matriks  $Q = \begin{bmatrix} 0.7 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$  dan R = 0.3



Hasi Simulasi LQR dengan matriks Q =  $\begin{bmatrix} 0.8 \\ 0 \end{bmatrix}$  $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} dan R = 0.3$ 

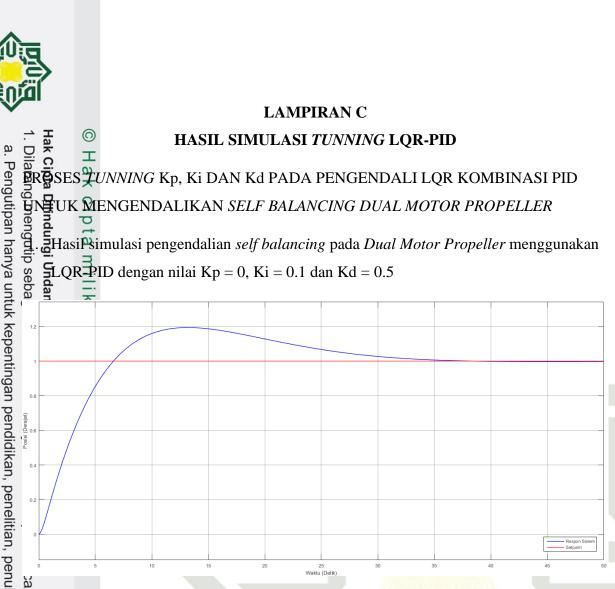


# slamic University of Sultan Syarif Kasim

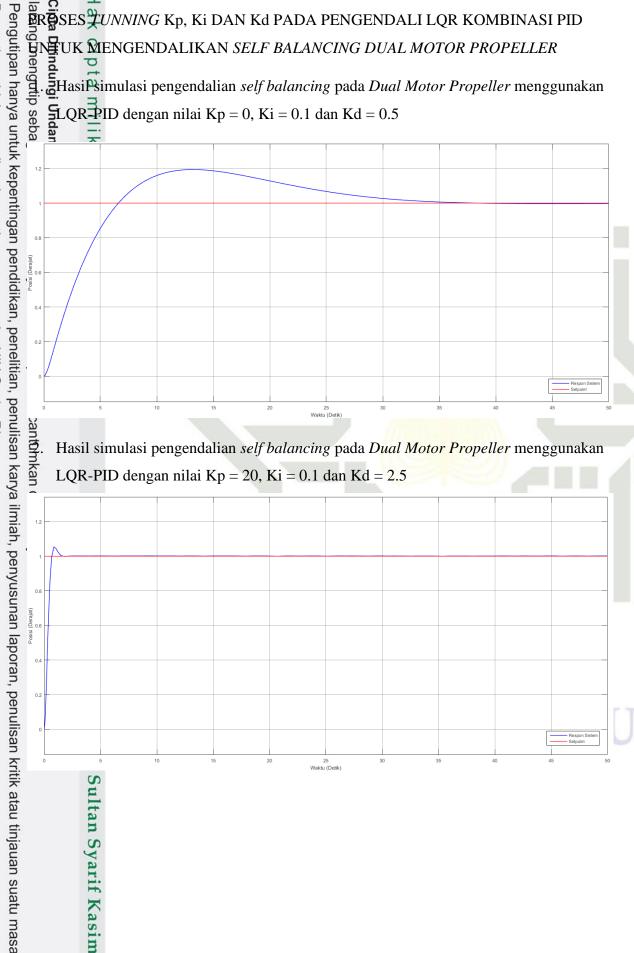


b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

MENGENDALIKAN SELF BALANCING DUAL MOTOR PROPELLER
HasiPsimulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan



Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan LQR-PID dengan nilai Kp = 20, Ki = 0.1 dan Kd = 2.5

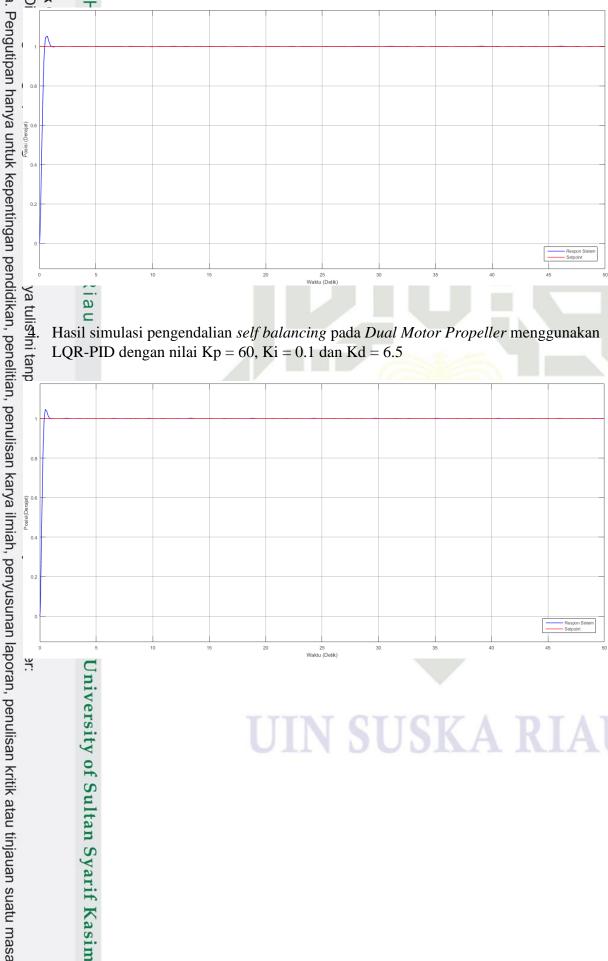




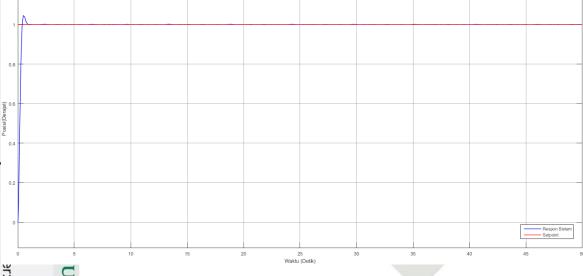
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan

 $\square$  LQR $\square$ ID dengan nilai Kp = 40, Ki = 0.1 dan Kd = 4.5



Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan LQR-PID dengan nilai Kp = 60, Ki = 0.1 dan Kd = 6.5

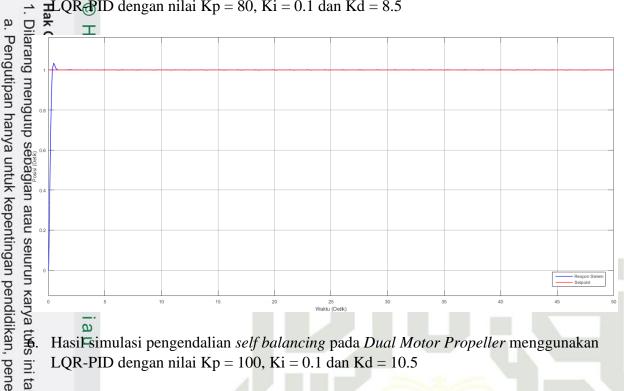


University of Sultan Syarif Kasim

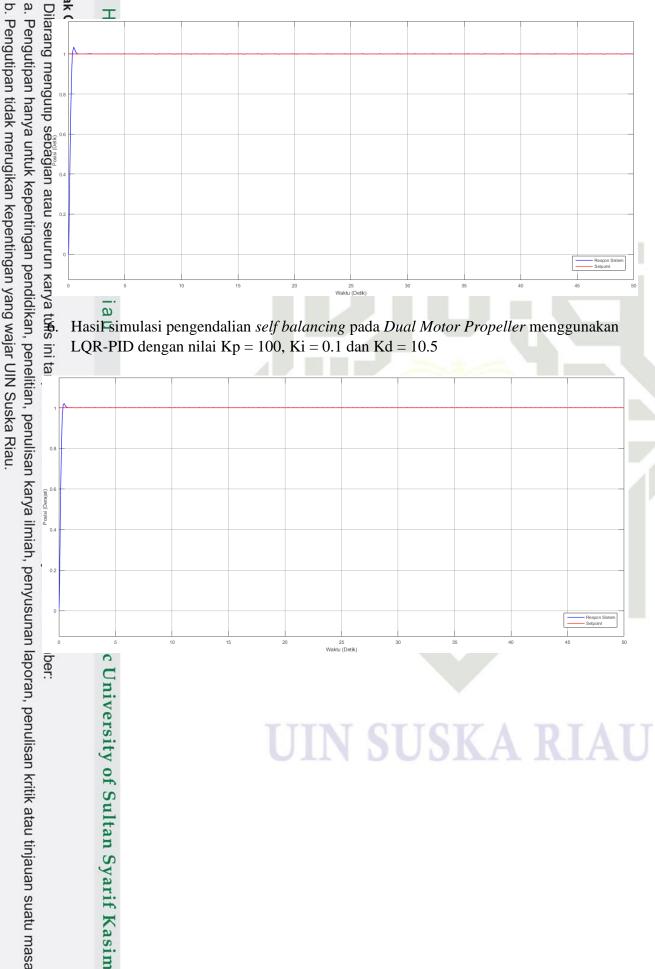
**SUSKA RIA** 



Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan LQR@ID dengan nilai Kp = 80, Ki = 0.1 dan Kd = 8.5



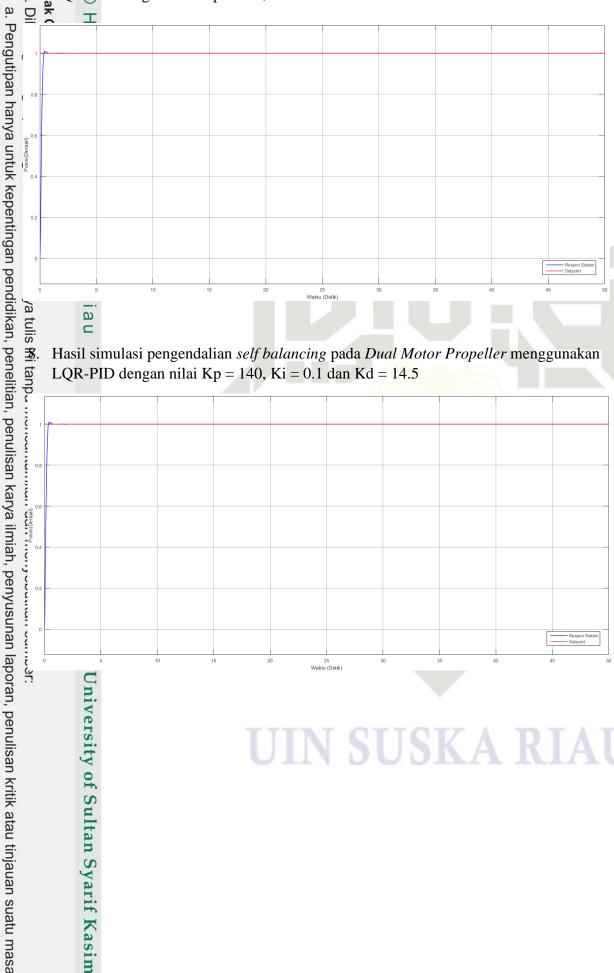
HasiFsimulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan LQR-PID dengan nilai Kp = 100, Ki = 0.1 dan Kd = 10.5



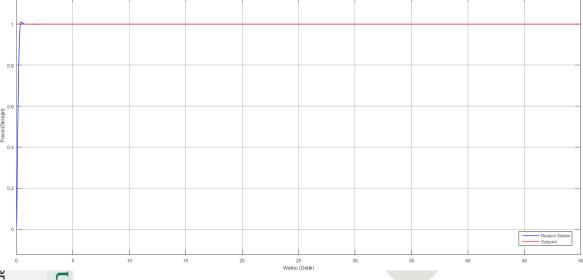


b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

TORGETOGRAM POR PROPERTY DE L'ARCHE POR PROPERTY DE L' Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan



Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan LQR-PID dengan nilai Kp = 140, Ki = 0.1 dan Kd = 14.5



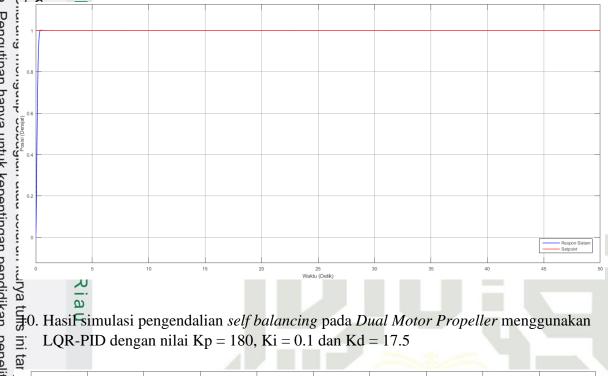
IN SUSKA RIAU

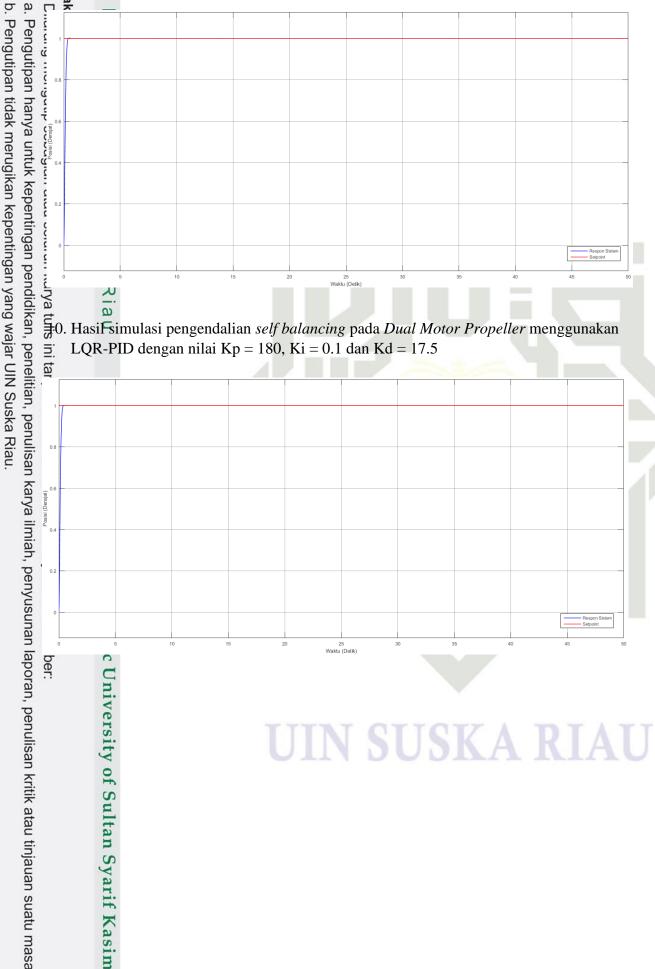
University of Sultan Syarif Kasim

TE CHILD



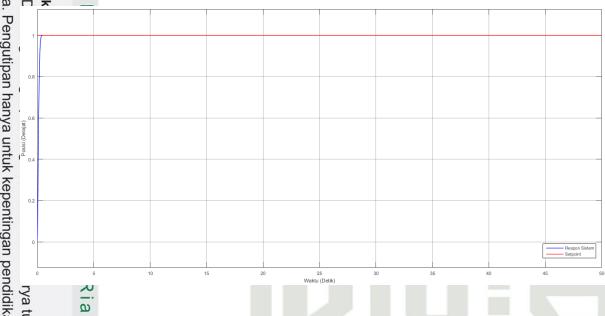
Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan ALQRAPID dengan nilai Kp = 160, Ki = 0.1 dan Kd = 16







11. Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan LQR FID dengan nilai Kp = 200, Ki = 0.1 dan Kd = 19



Hasil simulasi pengendalian *self balancing* pada *Dual Motor Propeller* menggunakan LQR-PID dengan nilai Kp = 220, Ki = 0.1 dan Kd = 20.5

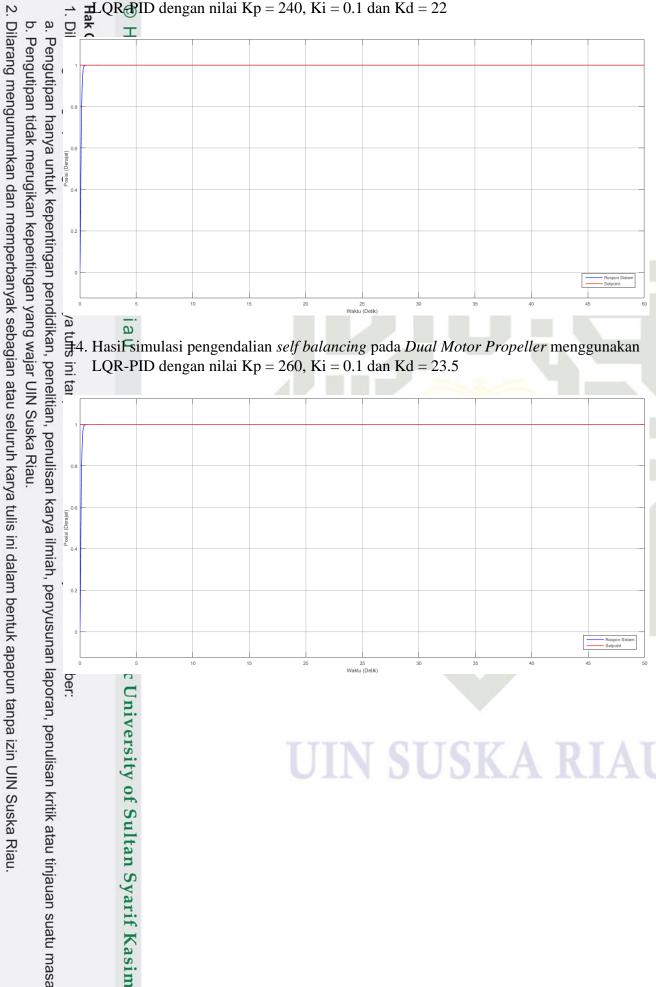


IN SUSKA RIA

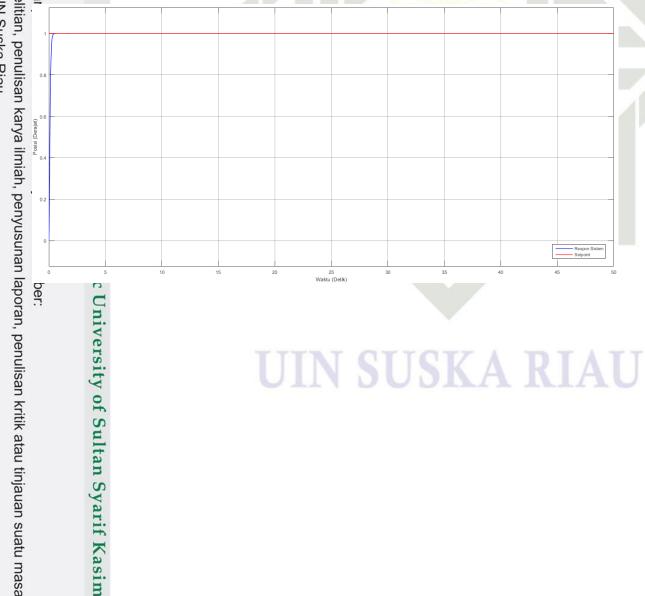
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau. b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan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



ALQRAPID dengan nilai Kp = 240, Ki = 0.1 dan Kd = 22 13. Hasil simulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan



4. HasiFsimulasi pengendalian self balancing pada Dual Motor Propeller menggunakan LQR-PID dengan nilai Kp = 260, Ki = 0.1 dan Kd = 23.5





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

Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau

0

### **DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

Ulfa Faadhilah, lahir di Kerinci 26 Juli 1999 merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Effendi dan Munzirawati yang berlamat di Jalan Mawar, Jorong Kambang Baru, Kecamatan Sungai Rumbai, Kabupaten Dharmasraya, Sumatera Barat.

Email: 11750525181@students.uin-suska.ac.id

HP : 081275405418

Pengalaman pendidikan yang dilalui dari SD Negeri 14 Sungai Rumbai

tahun 2005-2011, kemudian melanjutkan di SMP-IT Insan Cendekia Boarding School ayakumbuh pada tahun 2011-2014, setelah itu melanjutkan pendidikan di MAN/MAPK Koto Barg Padang Panjang pada tahun 2014-2017. Setelah lulus SMA penulis melanjutkan endidikan di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dengan mengambil bidang kajian Elektronika dan Enstrumentasi pada tahun 2017. Penulis menyelesaikan masa studi selama 4 setengah tahun an lulus pada tahun 2022 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul "Peracangan Sistem"

Kendali LQR-PID Dalam Mengendalikan Self Balancing Pada Dual Motor Propeller" nencantumkan dan menyebutkan sumber:

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim