



ANALISIS PERFORMANSI *HIGH GAIN OBSERVER* (HGO) SEBAGAI ESTIMASI *LEVEL* PADA SISTEM NON-LINIER *STORAGE TANK*

TUGAS AKHIR

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



Oleh :

ZAKIAH DINILHAQ
12150522348

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2025

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



LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS PERFORMANSI *HIGH GAIN OBSERVER* (HGO) SEBAGAI ESTIMASI *LEVEL* PADA SISTEM NON-LINIER *STORAGE TANK*

TUGAS AKHIR

Oleh :

ZAKIAH DINILHAQ
12150522348

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 07 Juli 2025

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Pembimbing

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T
NIP. 19722102 200604 2 001

Dr. Dian Mursyitah, S.T., M.T.
NIP.19870906 201503 2 006

UIN SUSKA RIAU

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



LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERFORMANSI *HIGH GAIN OBSERVER* (HGO) SEBAGAI ESTIMASI LEVEL PADA SISTEM NON-LINIER *STORAGE TANK*

TUGAS AKHIR

Oleh :

ZAKIAH DINILHAQ
12150522348

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

di Pekanbaru, pada tanggal 07 Juli 2025

Pekanbaru, 07 Juli 2025

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T

NIP. 19722102 200604 2 001

Dekan

Dr. Yusenita Muda, M.Sc.

NIP. 19770103 200710 2 001

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Prof. Dr. Teddy Purnamirza, S.T., M.Eng

Sekretaris : Dr. Dian Mursyitah, S.T., M.T.

Anggota 1 : Ahmad Faizal, S.T. MT.

Anggota 2 : Aulia Ullah, S.T. M.Eng.

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

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak di terbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya. Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

© Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

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



LEMBAR PERNYATAAN PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Zakiah Dinilhaq
NIM : 12150522348
Tempat/Tanggal Lahir : Pekanbaru/ 28 November 2003
Fakultas : Sains dan Teknologi
Prodi : Teknik Elektro
Judul Skripsi :

ANALISIS PERFORMANSI *HIGH GAIN OBSERVER* (HGO) SEBAGAI ESTIMASI *LEVEL* PADA SISTEM NON-LINIER *STORAGE TANK*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulis Skripsi dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Skripsi saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Skripsi saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 17 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Zakiah Dinilhaq
NIM.12150522348

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



LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.

(HR Tirmidzi)

Terima kasih Ya Allah...

Segala puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan kasih sayang-Nya yang tiada henti. Berkat izin dan kehendak-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Allah SWT adalah Dzat Yang Maha Membolak-balikkan hati. Semoga penulis senantiasa diteguhkan dalam keimanan dan kebaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat, pembawa risalah yang mulia, serta pembangun peradaban yang luhur dan berakhlak.

Orang Tua Tercinta

Dengan penuh rasa hormat dan cinta, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ayah dan Ibu tercinta atas segala doa, dukungan, dan kasih sayang yang tulus. Tanpa kehadiran, pengorbanan, dan peran penting dari Ayah dan Ibu, pencapaian ini tidak akan mungkin terwujud. Karya ini penulis persembahkan sebagai wujud rasa syukur dan penghargaan yang mendalam. Semoga menjadi langkah awal yang membawa kebahagiaan dan kebanggaan bagi Ayah dan Ibu.

Dosen Pembimbing

Ibu Dr. Dian Mursyitah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan, arahan, dan motivasi yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Berkat ilmu, kesabaran, dan perhatian Ibu, tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah Ibu berikan menjadi amal jariyah yang terus mengalir amin...



ANALISIS PERFORMANSI *HIGH GAIN OBSERVER* (HGO) SEBAGAI ESTIMASI LEVEL PADA SISTEM NON-LINIER *STORAGE TANK*

ZAKIAH DINILHAQ
NIM. 12150522348

Tanggal Sidang : 07 Juli 2025

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No.155 Pekanbaru

ABSTRAK

Pengukuran *level* cairan pada *storage tank* memainkan peran penting dalam berbagai proses industri guna menjamin kestabilan operasi dan keselamatan sistem. Namun, tantangan muncul akibat sifat nonlinearitas pada sistem tangki, terutama yang memiliki bentuk geometri tidak standar seperti silinder horizontal atau bola. Hubungan yang tidak linier antara tinggi permukaan dan volume cairan, serta karakteristik aliran yang dipengaruhi oleh tekanan dan bukaan katup, menyebabkan kompleksitas dalam pemodelan dan pengendalian sistem. Penelitian ini menggunakan *High Gain Observer* (HGO) untuk mengestimasi *level* cairan secara efisien meskipun beberapa variabel tidak dapat diukur langsung, sehingga dapat mengatasi tantangan akibat sifat non-linier dan keterbatasan pengukuran. Simulasi dilakukan dengan melibatkan variasi *input*, kondisi awal, dan gangguan *noise* untuk menguji keakuratan HGO. Hasil menunjukkan bahwa HGO mampu memberikan estimasi sangat akurat dalam kondisi normal dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0, yang berarti tidak terdapat deviasi antara estimasi dan data aktual. Namun, pengujian kekokohan terhadap *noise* sebesar 6% mengindikasikan penurunan akurasi akibat sensitivitas tinggi yang dipicu oleh nilai *gain* besar (56.8841), sehingga kestabilan estimasi terganggu saat sistem menerima gangguan eksternal.

Kata kunci : estimasi *level*, *High Gain Observer*, sistem non-linier, *storage tank*



PERFORMANCE ANALYSIS OF HIGH GAIN OBSERVER (HGO) AS A LEVEL ESTIMATION IN NON-LINEAR SYSTEMS OF STORAGE TANK

ZAKIAH DINILHAQ

Number Student : 12150522348

Session Date : 07 July 2025

Electrical Engineering Study Program

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim Riau State Islamic University

Jl. Soebrantas No.155 Pekanbaru

ABSTRACT

Liquid level measurement in storage tanks plays an important role in various industrial processes to ensure the stability of operation and safety of the system. However, challenges arise due to the nonlinearity of the tank system, especially those with non-standard geometric shapes such as horizontal cylinders or spheres. The non-linear relationship between surface height and liquid volume, as well as flow characteristics affected by pressure and valve openings, cause complexity in system modeling and control. This study uses a High Gain Observer (HGO) to efficiently estimate liquid levels even though some variables cannot be measured directly, so that it can overcome the challenges due to non-linearity and measurement limitations. Simulations were carried out involving variations in input, initial conditions, and noise disturbances to test the accuracy of HGO. The results show that HGO is able to provide very accurate estimates under normal conditions with a Root Mean Square Error (RMSE) value of 0, which means there is no deviation between the estimate and the actual data. However, the robustness test against noise of 6% indicates a decrease in accuracy due to high sensitivity triggered by a large gain value (56.8841), so that the stability of the estimate is disturbed when the system receives external disturbances.

Keywords : *High Gain Observer, level estimation, non-linear system, storage tank*



KATA PENGANTAR



Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan kebaikan dan ampunannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Atas karunia Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“ANALISIS PERFORMANSI *HIGH GAIN OBSERVER* (HGO) SEBAGAI ESTIMASI *LEVEL* PADA SISTEM NON-LINIER STORAGE TANK”**.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dengan melalui proses bimbingan dan pengarahan yang diberikan oleh orang-orang yang memiliki pengetahuan, wawasan dan pengalaman yang luar biasa sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Untuk penyelesaian penulisan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dorongan, dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin menyampaikan penghargaan ucapan terimakasih tak terhingga kepada:

1. Allah SWT dengan rahmat-Nya telah memberikan semua yang terbaik dan yang dengan hidayah-Nya memberikan petunjuk sehingga dalam penyusunan laporan ini berjalan lancar.
2. Ucapan terimakasih tak terhingga kepada kedua orang tua tercinta yakni Ayahanda Syamsul Qomar dan Ibunda Kasmidesrinda, dengan segala pengorbanan, kerja keras dan kasih sayang tulusnya selalu mendukung penulis dalam keadaan apapun. Doa dan motivasi dari kedua orang tua menjadi kekuatan terbesar sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
3. Kepada tiga saudara kandung penulis yaitu : Indra Setyawan, Miftahul Azmi dan Keyziah Shadiqah. Terimakasih atas segala doa dan support yang tiada hentinya baik materi maupun non materi, memotivasi dan mendoakan penulis.
4. Ibu Prof. Dr. Hj. Leny Nofianti MS, SE, M. Si, AK, CA selaku rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
5. Ibu DR. Yuslenita Muda, M.Sc selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

6. Ibu Zulfatri Aini ST.,MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
7. Bapak Sutoyo, ST.,MT selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
8. Kepada Ibu Dr. Dian Mursyitah, S.T., M.T selaku dosen pembimbing penulis. Terima kasih atas kesediaan untuk mendengar, membimbing, dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran. Setiap arahan yang diberikan bukan hanya sekedar petunjuk akademik, tetapi juga menjadi bekal berharga bagi penulis dalam memahami ilmu yang lebih dalam.
9. Bapak Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari awal semester hingga akhir semester.
10. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak/Ibu dosen penguji yaitu kepada Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T dan Bapak Aulia Ullah, S.T., M.eng yang telah meluangkan waktu, memberikan masukan, arahan, serta kritik yang membangun demi penyempurnaan laporan tugas akhir ini. Kehadiran, perhatian, dan evaluasi yang diberikan menjadi motivasi berharga bagi penulis untuk terus belajar.
11. Ucapan terimakasih kepada sahabat seperjuangan Della Oktaviani, Sitri Permata Sari, Syarifah Adriana, Muhammad Supbahan, dan Alif Mir'atul Ansyari telah hadir menjadi bagian dari perjalanan kuliah penulis yang terus memberikan kontribusi banyak dalam memberikan semangat, dukungan motivasi, hiburan dan selalu ada untuk penulis.
12. Kepada diri sendiri, terimakasih telah menghadapi fase perkuliahan ini dengan baik, yang tidak menyerah dan mampu berdiri tegak, sesulit apapun rintangan perkuliahan ataupun penyusunan proposal tugas akhir ini.
13. Teman-Teman seperjuangan dalam Konsentrasi Instrumentasi 2021 serta teman-teman teknik elektro angkatan 2021 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.



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

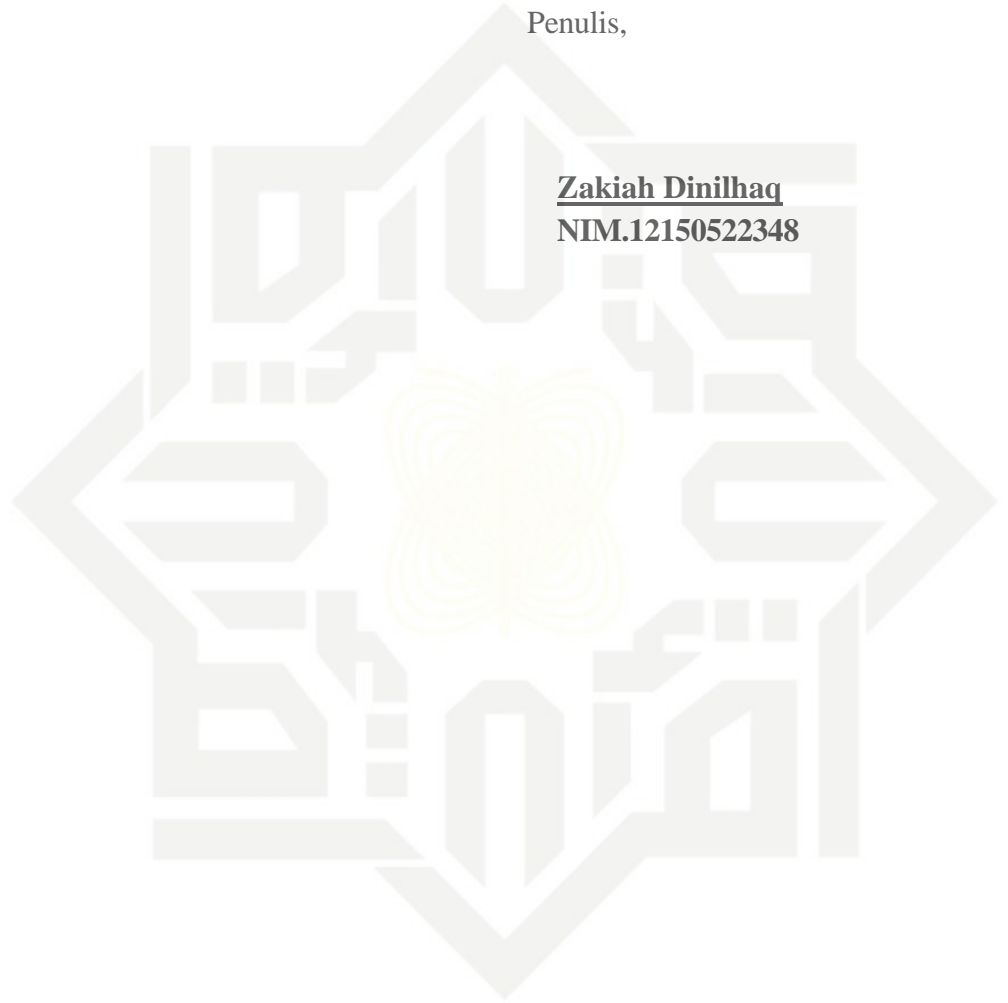
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna karena keterbatasan ilmu pengetahuan, kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan.

Pekanbaru, 07 Juli 2025

Penulis,

Zakiah Dinilhaq
NIM.12150522348



UIN SUSKA RIAU



DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iii
LEMBAR PERNYATAAN PLAGIAT	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR RUMUS.....	xv
DAFTAR SINGKATAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-4
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Batasan Masalah	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Landasan Teori	II-3
2.2.1 <i>Storage Tank</i>	II-3
2.2.2 Pemodelan Matematis	II-5
2.3 Estimasi <i>Level</i>	II-9
2.4 <i>Observer</i>	II-9
2.4.1 <i>High Gain Observer</i>	II-9
2.4.2 Desain <i>High Gain Observer</i>	II-10
2.5 <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	II-11
2.6 <i>Gaussian White Noise</i>	II-12
2.7 Analisis kekokohan dan sensitivitas	II-13
2.8 MATLAB.....	II-14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1



3.1	Proses Alur Penelitian	I-1
3.2	Tahap Penelitian	III-3
3.2.1	Identifikasi Masalah	III-3
3.2.2	Studi Literatur	III-3
3.2.3	Pengumpulan Data	III-3
3.2.4	Pemodelan Matematis <i>Storage Tank</i>	III-3
3.2.5	Pengujian Sistem <i>Storage Tank</i>	III-4
3.2.6	Desain <i>Observer</i>	III-5
3.2.7	Pengujian <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	III-6
3.2.8	Simulasi dan pengujian sistem <i>High Gain Observer</i>	III-7
3.2.9	Analisis Hasil	III-10
3.2.10	Kesimpulan.....	III-10
3.3	Skenario Penelitian	III-11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		IV-1
4.1	Pengujian sistem <i>storage tank</i> secara <i>open loop</i>	IV-1
4.2	Pengujian sistem <i>storage tank</i> menggunakan <i>High Gain Observer</i>	IV-2
4.3	Pengujian Sensitivitas <i>High Gain Observer</i> Sebagai Estimasi <i>Level</i> Pada Sistem Non-linier <i>Storage Tank</i>	IV-3
4.4	Pengujian Kekokohan Sistem <i>Storage Tank</i> dengan <i>High Gain Observer</i> Terhadap <i>Noise</i>	IV-6
BAB V PENUTUP.....		V-1
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA		
RIWAYAT HIDUP		



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 <i>Storage Tank</i>	I-4
Gambar 2.2 Model <i>Storage Tank</i>	II-5
Gambar 2.3 Pipa Keluaran <i>Storage Tank</i>	II-7
Gambar 2.4 Blok Diagram <i>High Gain Observer</i>	II-10
Gambar 2.5 Matlab R2023b	II-14
Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian	III-2
Gambar 3.2 Blok Diagram <i>Storage Tank</i> Secara <i>Open Loop</i>	III-4
Gambar 3.3 Rangkaian <i>Simulink High Gain Observer</i>	III-5
Gambar 4.1 Hasil Keluaran Sistem <i>Storage Tank</i>	IV-1
Gambar 4.2 Hasil Pengujian <i>Storage Tank</i> dengan <i>High Gain Observer</i>	IV-2
Gambar 4. 3 Respon Keluaran <i>High Gain Observer</i> terhadap Perubahan <i>Input</i>	IV-4
Gambar 4.4 Respon Keluaran HGO terhadap Perbedaan Kondisi Awal	IV-5
Gambar 4.5 Respon Keluaran <i>High Gain Observer</i> terhadap <i>Noise</i> (6%)	IV-6

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



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Parameter operasional <i>Storage Tank</i>	I-9
Tabel 2.2 Tabel Interpretasi Nilai RMSE	II-12
Tabel 2.3 <i>Simulink</i> Blok	II-15
Tabel 3.1 Algoritma Pemograman Sistem Storage tank	III-4
Tabel 3.2 Algoritma <i>High Gain Observer</i>	III-5
Tabel 3.3 Algoritma <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE).....	III-6
Tabel 3.4 Algoritma <i>High Gain Observer</i> terhadap perubahan <i>input</i>	III-7
Tabel 3.5 Algoritma <i>High Gain Observer</i> terhadap perbedaan kondisi awal	III-8
Tabel 3.6 Pemograman <i>Noise</i>	III-9
Tabel 3.7 Algoritma Pemberian <i>Noise</i> pada <i>High Gain Obserever</i>	III-10



DAFTAR RUMUS

Rumus

Halaman

2.1	Hukum Kesetaraan <i>Volume</i>	II-6
2.2	Perubahan <i>Volume</i> pada Tangki	II-6
2.6	Persamaan Kecepatan Aliran Keluaran	II-6
2.7	Persamaan Tekanan <i>Hidrostatik</i>	II-6
2.15	Persamaan <i>State Space</i>	II-10
2.17	Persamaan <i>High Gain Observer</i>	II-11
2.19	Persamaan <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	II-12
2.20	<i>Gaussian White Noise</i>	II-13

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



DAFTAR SINGKATAN

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta

Diindungi Undang-Undang

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

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

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

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

HGO

PID

MPC

RMSE

SSMC

MRAC

CSTR

DOF

WAF

RMS

LC

MATLAB

TSTB

LNG

BBM

HC-SR04

TBBM

: *High Gain Observer*

: *Proportional Integral Derivative*

: *Model Predictive Control*

: *Root Mean Square error*

: *Sliding Surface Mode Control*

: *Model Reference Adaptive Control*

: *Continuous Stirred Tank Reactor*

: *Degree of Freedom*

: *Variance Accounted For*

: *Root Mean Square*

: *Level Control*

: *MATrix LABoratory*

: *Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi*

: *Liquefied Natural Gas*

: *Bahan Bakar Minyak*

: *High-Accuracy Sensor (Ultrasonic Sensor)*

: *Terminal Bahan Bakar Minyak*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem non-linier merupakan sistem yang hubungan antara *input* dan *output* bersifat tidak linier, berarti perubahan kecil dalam *input* bisa menghasilkan perubahan yang besar atau tidak terduga dalam *output*, dan sebaliknya [1]. Sistem non-linier menunjukkan perubahan variabel dan tidak dapat diprediksi sehingga menghasilkan perilaku *chaos* atau bifurkasi dimana sistem sangat sensitif terhadap kondisi awal dan ketidakpastian parameter [2]. Hal ini membuat pengendalian sistem non-linier menjadi lebih kompleks dibandingkan sistem linier. Oleh karena itu, dalam perancangan sistem kendali, diperlukan model matematis yang akurat untuk mensimulasikan perilaku sistem. Simulasi ini menjadi langkah awal yang penting untuk menguji efektivitas dan kestabilan sistem sebelum diimplementasikan pada kondisi nyata [3].

Model matematis non-linier faktanya dapat langsung digunakan untuk mendesain sistem tanpa dilinierkan terlebih dahulu seperti pada penelitian *Quadruple Tank* [4], *Storage Tank* [5], dan *Three Tank System* [6]. Model non-linier dapat menangkap dinamika kompleks dari sistem secara akurat sehingga merepresentasikan sistem sebenarnya. Tetapi, untuk menghadapi permasalahan sistem non-linier, diperlukan pendekatan yang lebih tepat dan efektif agar sistem dapat berfungsi dengan baik meskipun memiliki sifat yang kompleks.

Agar mempermudah menganalisa, beberapa peneliti melakukan linierisasi pada sistem non-linier agar penyederhanaan sistem lebih mudah dikendalikan dan membuat sistem menjadi lebih sederhana secara matematis. Pendekatan ini diterapkan, seperti pada penelitian Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi (TSTB) [7], *Three Tank System* [8], dan Tangki Pengaduk [9]. Proses linierisasi ini membuat banyak variabel yang diabaikan, termasuk variabel-variabel yang memiliki karakteristik non-linier. Akibatnya, model yang dihasilkan hanya mampu merepresentasikan sebagian dari sifat asli sistem yang sebenarnya.

Kehilangan karakteristik non-linier ini menyebabkan model linier tidak lagi mampu menggambarkan secara akurat sistem yang kompleks, yang berpotensi membuat sistem yang dirancang tidak optimal [10]. Selain itu, Penyelesaian persoalan sistem non-linier banyak diselesaikan menggunakan pengendali beberapa peneliti yang melibatkan pengendali sistem non-linier antara lain; menggunakan kombinasi PID dengan logika fuzzy [11], Model



Prediktif Control (MPC) [12], kombinasi Hybrid pengendali berbasis *Fuzzy* dan *Sliding Surface Mode Control* (SSMC) [13]. Penggunaan pengendali kompleks ini menandakan bahwa selain menghadapi karakteristik non-linieritas sistem, para peneliti juga harus mengelola tingkat kompleksitas pengendali yang semakin tinggi.

Kompleksitas ini membawa adanya tantangan algoritma pemrograman yang rumit, yang pada akhirnya dapat menghadapi berbagai masalah numerik. Pengendali juga sangat bergantung pada sensor. Sementara, sensor memiliki kelemahan yang timbul akibat ketidakakuratan pengukuran ditambah lagi akurasi yang terbatas dan rentan terhadap gangguan yang dapat menurunkan ketepatan hasil pengukuran. Penggunaan banyak sensor juga dapat meningkatkan biaya dan meningkatkan *noise* yang mempengaruhi akurasi pengukuran. Selain itu, dalam kenyataannya tidak semua *state* dalam sistem kendali dapat diukur secara langsung oleh sensor [14].

Oleh karena itu, untuk mengatasi keterbatasan tersebut, terdapat satu metode yang dapat meningkatkan kinerja sensor, yaitu penggunaan *observer*. Fungsi *Observer* sebagai pendukung yang sangat efektif dalam sistem, dengan kehadiran *observer* kebutuhan akan sensor fisik dapat diminimalkan atau bahkan digantikan sepenuhnya. Kemampuan matematis dan estimasi yang dimilikinya, *observer* dapat memperkirakan nilai *state* dari sistem berdasarkan keluaran yang diukur, meskipun pengukuran tersebut terdapat *noise*. Selain itu, *observer* juga mampu memperbaiki kinerja sistem secara menyeluruh karena mampu mengecilkan *error* pada sistem [15].

Terdapat berbagai jenis dari *observer* yang telah dikembangkan, seperti *Luenberger Observer* yang hanya efektif pada sistem linier [15], *Kalman Bucy* yang hanya optimal untuk sistem linier dan sangat bergantung pada model dan data statistik *noise* yang akurat [16], *Sliding Mode Observer* bersifat *robust* terhadap gangguan namun cenderung menghasilkan fenomena *chattering* yaitu getaran atau osilasi pada sinyal estimasi yang terjadi akibat *switching* yang tajam dalam algoritma sehingga menyebabkan ketidakstabilan sistem dan merusak komponen fisik [17].

Berdasarkan studi pustaka, salah satu jenis *observer* yang efektif menangani sifat nonlinieritas dari sistem adalah *High Gain observer* (HGO) yang memiliki kemampuan estimasi yang akurat. Selain itu, HGO mampu mengatasi persoalan nonlinieritas pada sistem terutama pada sistem dengan dinamika cepat atau perubahan yang tidak dapat diprediksi secara langsung [18]. HGO bekerja dengan meningkatkan *gain* pengamatan, sehingga mampu memperkirakan kondisi internal sistem meskipun terdapat ketidakpastian atau



nonlinieritas dalam model [18]. Prinsip kerja HGO adalah membandingkan estimasi dari variabel yang tidak dapat diukur dengan *output* yang tersedia, kemudian mengoreksi estimasi tersebut dengan memperbesar perbedaan antara nilai estimasi dan nilai pengukuran [19]. Penguatan yang tinggi pada HGO memungkinkan kesalahan antara estimasi dan pengukuran untuk mengecil dengan cepat, meskipun sistem yang diobservasi bersifat non-linier atau memiliki gangguan [20]. Untuk mengetahui kinerja HGO dalam estimasi sistem non-linier, akan dilakukan penerapan pada *storage tank* sebagai studi kasus.

Storage tank memiliki sifat non-linier yang kompleks, yang disebabkan oleh berbagai faktor yang saling memengaruhi. Salah satu penyebab utama non-linearitas ini adalah dinamika aliran cairan yang masuk dan keluar dari tangki, di mana perubahan *level* cairan tidak selalu berbanding lurus dengan laju aliran tersebut. Kecepatan aliran masuk dan keluar sangat menentukan fluktuasi *level* permukaan cairan di dalam tangki, dan hal ini sering kali berubah-ubah tergantung pada kondisi operasional sistem [7]. Selain itu, sifat fisik cairan yang disimpan juga turut memengaruhi perilaku sistem, seperti suhu, yang dapat mempengaruhi tekanan serta laju aliran serta bentuk dan ukuran tangki menjadi faktor tambahan yang berkontribusi terhadap karakteristik non-linier ini [21]. Misalnya, tangki berbentuk kerucut [22] dan tangki berbentuk bulat [23] memiliki luas penampang yang bervariasi terhadap ketinggian, sehingga perubahan volume cairan tidak menghasilkan perubahan *level* yang linier.

Storage tank merupakan bagian dari infrastruktur industri modern, tangki ini digunakan untuk menyimpan berbagai jenis bahan yang vital dalam banyak proses industri, seperti minyak, air, bahan kimia, gas, dan produk olahan lainnya. Kebutuhan akan *storage tank* pada industri sangat penting karena dapat memastikan bahwa bahan-bahan yang akan digunakan dalam proses industri disimpan dalam jumlah yang cukup, mengelola persediaan bahan baku atau produk jadi dalam jumlah yang cukup, selain itu dapat menyimpan bahan berbahaya atau mudah terbakar sehingga memerlukan penyimpanan dengan hati-hati. *Storage tank* dirancang dengan standar keselamatan tinggi untuk mencegah kebocoran, kontaminasi atau reaksi kimia yang berbahaya [24]. Selain desain yang aman, pengendalian *level* pada *storage tank* juga menjadi aspek penting dalam menjamin keselamatan operasional. Pengetahuan yang memadai tentang *level* cairan dalam tangki dibutuhkan untuk mencegah terjadinya luapan (*overflow*) maupun kekeringan (*dry run*) yang dapat membahayakan sistem. Variasi luas penampang dan jenis cairan yang disimpan dapat menyebabkan perubahan *level* yang tidak teratur, sehingga berpotensi menyebabkan kapasitas tangki menjadi *overload*.



Pemantauan yang tidak tepat pada sistem penyimpanan dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang besar, risiko keselamatan, dan dampak lingkungan [25]. Oleh karena itu, diajukan HGO untuk memantau sistem ini agar dapat beroperasi dengan efisien dan aman, dengan cara mengestimasi parameter *level*. Dengan demikian, penulis mengangkat judul sebagai tugas akhir yaitu “**ANALISIS PERFORMANSI *HIGH GAIN OBSERVER* (HGO) SEBAGAI ESTIMASI LEVEL PADA SISTEM NON-LINIER *STORAGE TANK***”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana performansi *High Gain Observer* (HGO) melakukan estimasi *level* pada sistem *storage tank* yang bersifat non-linear ?
2. Apakah *High Gain Observer* masih mampu untuk mengestimasi keluaran jika diberikan perbedaan kondisi awal dan perubahan *input* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah di atas sebagai berikut :

1. Menganalisis kemampuan *High Gain Observer* dalam mengestimasi *output* sistem jika diberikan perbedaan kondisi awal dan perubahan *input*.
2. Mengevaluasi kekokohan *High Gain Observer* terhadap gangguan *noise* dalam proses estimasi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan agar pembahasan tidak terlalu luas, maka penulis membatasi masalah sebagai berikut :

1. Pemodelan sistem *storage tank* berdasarkan penelitian sebelumnya [26]
2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan simulink Matlab R2023b.
3. Jenis gangguan (*noise*) yang diberikan pada sistem adalah *Gaussian White Noise*, yang digunakan untuk menguji ketahanan dan keakuratan estimasi oleh *High Gain Observer* (HGO)

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan wawasan baru tentang performansi *observer* pada terutama jenis HGO untuk menangani permasalahan pada sistem non-linier pada *Storage Tank*.



2. Membantu merancang sistem kontrol yang lebih efisien sehingga mengurangi potensi kegagalan di dalam proses industri.
 3. Penelitian ini menambah pengetahuan tentang penggunaan *High Gain Observer* pada sistem non-linear, sehingga bisa bermanfaat bagi peneliti dan praktisi yang ingin mempelajari atau menggunakan metode ini.
 4. Penelitian ini dapat digunakan sebagai landasan untuk pengembangan metode kontrol lanjutan, seperti *non-linear control* atau *adaptive control*, yang memerlukan estimasi keadaan yang akurat.
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penulis melakukan studi pustaka untuk menemukan sumber-sumber yang relevan terkait dengan sistem non-linier pada *storage tank*, dengan berfokus pada *High Gain Observer* sebagai metode untuk mengestimasi *level* pada sistem non-linier *storage tank*. Dapat dilihat dari berbagai sumber yang terkait sebagai berikut :

Pada penelitian pemodelan sistem tangki-terhubung dengan menggunakan model *Fuzzy Takagi-Sugeno* memiliki karakteristik non-linier sehingga penelitian ini melakukan pendekatan berbasis data masukan-keluaran menggunakan model *Fuzzy Takagi-Sugeno* yang mampu meniru karakteristik non-linier. Model ini dibangun berdasarkan data masukan dan keluaran, sehingga mampu mencerminkan karakteristik non-linier sistem tersebut dengan baik. Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa model mampu menangkap dinamika non-linier. Model ini menunjukkan performa yang sangat baik dengan nilai *Variance Accounted For* (VAF) yang tinggi sebesar 99,6582%, menandakan akurasi dalam menjelaskan variabilitas data keluaran, serta *Root Mean Square* (RMS) yang rendah dengan nilai 0,4277, yang mencerminkan tingkat kesalahan prediksi yang kecil. Namun penelitian ini memiliki keterbatasan dalam menangani *input* besar, akibatnya ketergantungan pada kualitas data masukan sehingga model tidak mampu menangkap seluruh dinamika sistem, sensitivitas terhadap parameter inisialisasi dalam *clustering* sehingga tidak sesuai dengan dinamika sistem [27].

Pada penelitian Model *Reference Adaptive Control* (MRAC) untuk pengaturan proses tinggi permukaan *spherical tank*. Sistem yang digunakan pada penelitian ini non-linier karena karakteristik fisik sistem, seperti hubungan antara tinggi permukaan cairan dan volume tangki tidak linier. Penelitian ini berfokus pada pengendalian tingkat cairan dalam tangki penyimpanan berbentuk *spherical* (bulat), yang digunakan untuk menyimpan *Liquefied Natural Gas* (LNG). Sistem ini penting karena fluktuasi permukaan cairan dapat mengganggu stabilitas proses distribusi LNG. Penelitian ini menggunakan pendekatan MRAC yang menyesuaikan parameter kendali, secara otomatis memperbarui parameter kontrol (seperti penguatan atau konstanta lainnya) untuk mengatasi perubahan kondisi sistem, seperti perubahan aliran LNG atau gangguan lainnya. Tetapi masih kekurangan



terhadap jurnal ini yaitu MRAC berbasis aturan MIT membutuhkan waktu untuk beradaptasi karena menggunakan mekanisme *gradient-based tuning*. Hal ini dapat menjadi kelemahan saat sistem menghadapi perubahan mendadak atau dinamika yang sangat cepat dan kurang memperhitungkan gangguan lingkungan atau perubahan parameter plant yang signifikan. Ini bisa menyebabkan performa sistem menurun dalam kondisi operasi yang tidak ideal [28].

Penelitian pada rancang bangun sistem pengendalian *level* pada tangki penyimpanan menggunakan *Degree of Freedom (DOF) Analysis* dengan Tuning PID Berdasarkan metode Cohen-Coon membahas merancang sistem kontrol untuk menjaga *level* cairan dalam tangki penyimpanan agar stabil sesuai *set point*. Tangki ini memiliki sistem non-linier karena mencerminkan sifat kompleks dari dinamika aliran fluida yang dipengaruhi oleh tekanan, gravitasi, dan karakteristik fisik tangki. Dalam penelitian ini, analisis *Degree of Freedom (DOF)* digunakan untuk menentukan variabel terkontrol, variabel manipulasi, dan variabel gangguan. Sistem ini dirancang menggunakan tiga *input* dan dua *output*, di mana variasi aliran pada *input* utama menjadi fokus pengendalian, sementara *input* lainnya dijaga konstan. Dengan menggunakan tuning PID berbasis Cohen-Coon mampu menangani sistem dengan *dead time* besar dan menghasilkan respons transien berupa *quarter amplitude decay*, di mana amplitudo osilasi sistem akan berkurang secara eksponensial dalam setiap siklus hingga mencapai stabilitas. Selain itu, penelitian juga menguji performa alat ukur, seperti sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur *level* cairan hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan *error* pengukuran rata-rata sebesar 0,013% untuk sensor ultrasonik. Namun, Sistem PID yang dirancang hanya bergantung pada sensor langsung untuk variabel seperti *level* tangki. Jika terdapat variabel yang tidak terukur tetapi memengaruhi sistem, kontrol berbasis PID tidak akan mampu mengatasi masalah tanpa pengukuran tambahan [25].

Pada penelitian *Non-linear model predictive control of conically shaped liquid storage tanks*. Penelitian dibahas penerapan pengendalian prediktif model non-linier (Non-linear Model Predictive Control atau NMPC) pada sistem tangki penyimpanan cairan berbentuk kerucut. Studi ini menyoroti tantangan pengendalian sistem dengan dinamika non-linier yang muncul akibat bentuk geometris tangki, di mana hubungan antara tinggi permukaan cairan dan volumenya tidak linear. Para penulis mengembangkan model matematis non-linier dari tangki tersebut dan menerapkannya dalam kerangka kerja NMPC untuk mencapai pengendalian *level* cairan yang stabil dan presisi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan NMPC mampu mengatasi ketidaklinieran sistem secara efektif dibandingkan



dengan metode pengendalian konvensional. Penelitian ini menjadi referensi penting dalam pengembangan strategi kendali cerdas untuk sistem penyimpanan cairan dengan karakteristik non-linier, khususnya dalam industri proses dan pengolahan cairan. [5].

Selanjutnya, Pada penelitian *Evaluating the Performance of High-Gain Observer (HGO) for Accurate Level Estimation in a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* Jurnal ini membahas metode estimasi *level* pada sistem *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dengan memanfaatkan *High-Gain Observer (HGO)*. Sistem CSTR sering digunakan dalam industri untuk pencampuran cairan, tetapi memiliki tantangan operasional karena sifat non-linier dan fluktuasi aliran yang dapat memengaruhi kontrol *level* cairan. Penelitian ini fokus pada tiga kriteria utama, yaitu akurasi estimasi, kecepatan konvergensi, dan robust terhadap *noise*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa HGO mampu menghasilkan estimasi yang akurat dengan *error* mendekati nol dan konvergensi cepat dalam waktu 0,1 detik. Selain itu, HGO menunjukkan sensitivitas yang baik terhadap variasi kondisi operasi dan mampu bertahan dalam kondisi pengukuran dengan *noise* [18].

Berdasarkan studi literatur dari penelitian diatas, berbagai metode telah digunakan untuk menangani sistem non-linear dengan fokus pada estimasi *level* pada sistem non-linier . Dari semua pendekatan yang ditinjau, *High-Gain Observer (HGO)* telah terbukti efektif dalam menangani estimasi *level* pada sistem non-linier, seperti pada penelitian [18]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa HGO mampu memberikan estimasi yang akurat dengan *error* mendekati nol, serta konvergensi yang cepat dalam waktu 0,1 detik, meskipun dalam kondisi operasi yang fluktuatif dan dengan adanya *noise* dalam pengukuran. Dapat disimpulkan bahwa *High-Gain Observer (HGO)* merupakan solusi yang layak untuk estimasi *level* pada sistem non-linier [18].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Storage Tank

Tangki penyimpanan atau *storage tank* adalah wadah yang dirancang menyimpan berbagai jenis cairan atau gas dalam jumlah besar. Dalam industri *storage tank* sangat penting untuk menyimpan minyak, gas, kimia, makanan, minuman dan pengolahan air. Tangki ini dapat berupa horizontal atau vertikal tergantung pada jenis bahan yang disimpan dan kebutuhan operasional. Desain tangki harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti tekanan, suhu dan lingkungan sekitar serta mematuhi regulasi keselamatan dan lingkungan untuk mencegah kebocoran dan memastikan keamanan [29]. Selain perannya yang penting



di berbagai industri, sistem *storage tank* sering kali melibatkan dinamika yang bersifat non-linier.

Nonlinieritas ini dapat muncul akibat interaksi variabel seperti tekanan, suhu, dan aliran cairan atau gas, yang dapat dipengaruhi oleh bentuk tangki, viskositas cairan, serta perubahan termodinamika akibat fluktuasi suhu. Pada sistem yang kompleks, perilaku non-linier ini juga dapat memicu fenomena *chaos*, di mana perubahan mendadak pada aliran atau kondisi operasi menghasilkan fluktuasi yang tidak terprediksi, serta bifurkasi, yaitu perubahan mendadak dari satu keadaan stabil ke keadaan lain akibat perubahan parameter operasi. Untuk mengatasi tantangan ini, model dinamik non-linier sering digunakan untuk memprediksi perilaku sistem dengan lebih akurat, sementara kontrol adaptif dan simulasi dinamik dapat membantu mengelola perilaku *chaos* atau bifurkasi dalam operasi [30]. Salah satu contoh penerapan *storage tank* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 *Storage Tank* [26]

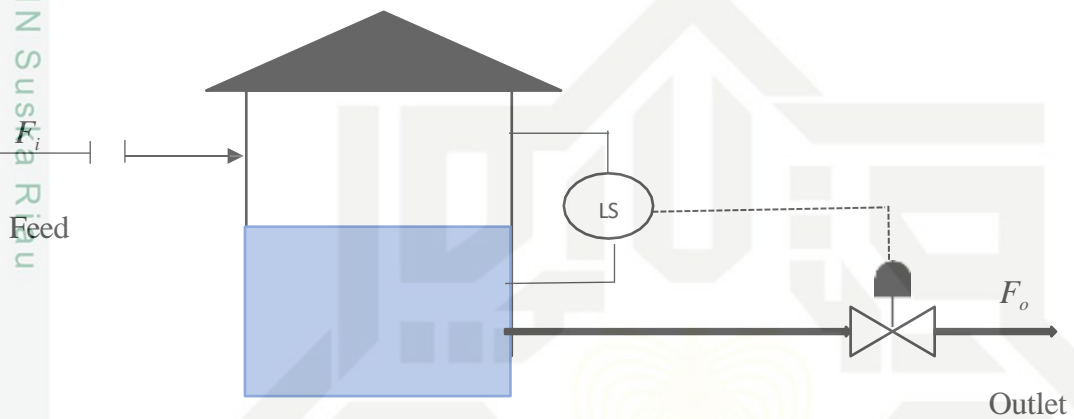
Gambar 2.1 merupakan contoh *storage tank* milik PT.Pertamina TBBM Tuban saat ini memiliki kapasitas penampungan total tangki hingga 450.000 kL, digunakan menampung BBM jenis Solar, Premium dan Pertamina. Memiliki total 12 tangki. Terdiri dari 3 buah tangki pertamax dengan kapasitas masing-masing 20.000 kL, 3 buah tangki premium dengan kapasitas masing-masing 30.000 kL dan 3 tangki solar dengan kapasitas masing-masing 50.000 kL. Sedangkan 3 tangki yang lain masih dalam keadaan kosong yang terdiri dari tangki 7, 9 dan 11 dengan kapasitas 50.000 kL [31]. Supaya dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakter operasional *storage tank*, perlunya pendekatan sistematis melalui pemodelan matematis untuk menggambarkan dinamika sistem. Pemodelan ini tidak hanya membantu memahami pola distribusi dan penyimpanan, tetapi



juga mendukung analisis kinerja yang optimal, sehingga dapat memastikan efisiensi operasional.

2.2.2.2 Pemodelan Matematis

Pada sistem *storage tank* dilakukan penyusunan persamaan yang diturunkan berdasarkan hubungan antara berbagai variabel yang memengaruhi sistem tangki seperti aliran masuk, aliran keluar, dan perubahan volume dalam tangki. Proses ini diilustrasikan melalui gambar 2.2



Gambar 2.2 Model *Storage Tank*

Pada gambar 2.2 menunjukkan diagram skematik dari sistem *storage tank* yang akan disimulasikan. Diagram ini mencakup elemen-elemen utama seperti tangki, pompa, katup, serta *level sensor*. Sistem kerja *storage tank* untuk mengendalikan *level* cairan dalam tangki, cairan yang masuk kedalam tangki melalui aliran masuk *Flow Indikator* (F_i) sehingga langsung mengukur laju aliran pada *fluida*. *Level* cairan pada tangki akan dipantau oleh *Level sensor* (LS). LS membandingkan ketinggian cairan dengan nilai *set point* yang telah ditentukan sehingga *volume* cairan tetap berada dalam batas yang diinginkan dan mencegah terjadinya kelebihan (*overflow*) atau kekurangan (*underflow*)

LS mengirimkan sinyal ke aktuator yang mengendalikan katup pada jalur keluaran (F_o) sehingga cairan yang disimpan kemudian dialirkan keluar melalui *flow outlet* (F_o), katup ini yang akan menyesuaikan laju aliran keluar untuk menjaga keseimbangan antara aliran masuk dan keluar. Berdasarkan prinsip kesetaraan volume, perubahan volume cairan di dalam tangki merupakan selisih antara laju aliran masuk dengan laju aliran keluar. Persamaan sistem ini dapat dituliskan sebagai berikut:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

$$\frac{dV(t)}{dt} = F_i(t) - F_o(t) \quad (2.1)$$

Karena bentuk tangki diasumsikan silinder atau bentuk tetap, maka volume cairan dalam tangki dinyatakan sebagai:

$$V(t) = A \cdot h(t) \quad (2.2)$$

Volume dalam tangki adalah hasil perkalian dari luas permukaan tangki (A) dengan perubahan *level* (h), sehingga menurunkan persamaan (2.2) terhadap waktu dapat ditulis :

$$\frac{dV(t)}{dt} = A \cdot \frac{dh(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Sehingga :

$$dV = A dh \quad (2.4)$$

Mensubstitusikan persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) sehingga menjadi :

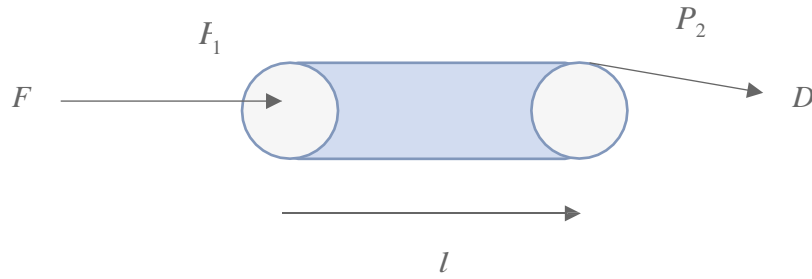
$$A \cdot \frac{dh(t)}{dt} = F_i(t) - F_o(t) \quad (2.5)$$

Kemudian F_i dan F_o masing – masing dibagi dengan A untuk menyederhanakan persamaan, sehingga menjadi :

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{F_i(t)}{A} - \frac{F_o(t)}{A} \quad (2.6)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} F_i(t) - \frac{1}{A} F_o(t) \quad (2.7)$$

Kecepatan aliran keluaran (F_o) tergantung dari ketinggian (h) permukaan tangki dan luas diameter pipa (D). Nilai Konstanta (c) dapat diilustrasikan pada Gambar 2.3 :



Gambar 2.3 Pipa Keluaran *Storage Tank*

Gambar 2.3 menunjukkan pipa keluaran dari tangki. Fluida mengalir dari tekanan P_1 (di ujung pipa, terhubung ke dasar tangki) menuju tekanan P_2 (ujung keluar pipa). Sehingga ilustrasi pada Gambar 2.3 dapat ditulis :

$$F_o(t) = \frac{D}{pl} \sqrt{P}(t) \quad (2.8)$$

Dimana $P_i \gg P_2$ menunjukkan bahwa aliran keluar dari tangki sepenuhnya dikendalikan oleh tekanan hidrostatik akibat tinggi cairan.

$$P_1 = \text{Tekanan didasar tangki} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$P_2 = \text{Tekanan di ujung pipa keluaran} \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$F = \text{Laju Aliran} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$D = \text{Diameter Pipa} (m)$$

$$l = \text{Panjang Saluran Pipa} (m)$$

$$\rho = \text{massa jenis fluida} (kg / m^3)$$

$$F_o = \text{Laju Aliran Keluar} \left(\frac{m}{h} \right)$$

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



Berdasarkan Persamaan (2.8), laju aliran keluaran $F_o(t)$ bergantung pada tekanan dalam pipa. Tekanan tersebut dapat dianalisis menggunakan konsep tekanan hidrostatik, yaitu tekanan di dasar tangki akibat kolom cairan [32], sehingga dapat ditulis :

$$P(t) = \rho gh(t) \quad (2.9)$$

Dengan menggantikan $P(t)$ ke dalam Persamaan (2.8), diperoleh:

$$F_o(t) = \frac{D}{pl} \sqrt{\rho gh(t)} \quad (2.10)$$

$$F_o(t) = \frac{D}{pl} \sqrt{\rho g} \sqrt{h(t)} \quad (2.11)$$

Dengan demikian, Kecepatan Aliran Keluaran (F_o) ditentukan oleh ketinggian (h) permukaan dalam tangki, Luas Diameter Pipa (D) dan Konstanta (c) sebagai berikut :

$$\frac{D}{pl} \sqrt{\rho g} = c \quad (2.12)$$

Berdasarkan Gambar 2.3 yang melanjutkan Gambar 2.2 (pipa keluaran), maka aliran keluar menjadi :

$$F_o(t) = c \sqrt{h(t)} \quad (2.13)$$

Kemudian substitusikan persamaan (2.13) ke persamaan (2.7) sehingga menjadi :

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} F_i(t) - \frac{c \sqrt{h(t)}}{A} \quad (2.14)$$

Berdasarkan persamaan (2.14) menyatakan model matematis dari *storage tank* bersifat non-linier.

Tabel 2.1 Parameter operasional *Storage Tank* [26]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Diameter Tangki	d	1 m	m
Ketinggian Cairan Dalam Tangki	h	0.75 m	m
Luas Penampang Tangki	A	$\pi / 4d^2$	m^2
Laju Aliran Masuk	F_i	$0.2 m^3 / s$	m^3 / s
Konstanta	c	$\frac{1.8}{90} \sqrt{0.6}$	-

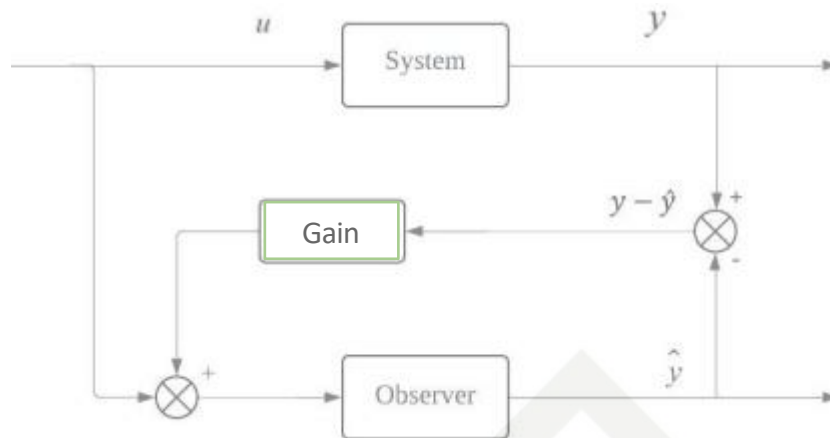
2.3 Estimasi Level

Estimasi *level* adalah proses mengukur tingkat ketinggian cairan atau gas dalam suatu tangki. Estimasi *level* bertujuan memastikan ketinggian cairan atau gas dalam tangki tidak melebihi batas yang ditentukan, memantau ketinggian cairan atau gas dalam tangki untuk menghindari kebocoran atau kerusakan pada tangki dan memastikan penggunaan cairan atau gas dalam tangki yang optimal. Pendekatan ini menggunakan *observer*, untuk melakukan pengamatan visual terhadap ketinggian cairan atau gas dalam tangki dan memperkirakan tingkat ketinggian berdasarkan pengamatan tersebut [33].

2.4 Observer

2.4.1 High Gain Observer

High Gain Observer (HGO) adalah sebuah teknik dalam teori kontrol yang digunakan untuk memperkirakan keadaan internal dari suatu sistem dinamis. Teknik ini dirancang untuk meningkatkan akurasi estimasi keadaan dengan menerapkan umpan balik gain yang tinggi, sehingga memungkinkan konvergensi cepat dari keadaan *observer* ke keadaan sistem yang sebenarnya, meskipun terdapat gangguan dan *noise* dalam pengukuran. Metode ini menggunakan persamaan *observer* untuk memodelkan perilaku variabel yang diamati, tanpa perlu pengukuran langsung. Salah satu keunggulan dari HGO adalah dapat mengatasi tantangan yang muncul akibat karakteristik non-linier dan ketidakpastian dalam sistem dinamis [34].



Gambar 2.4 Blok Diagram *High Gain Observer*

Gambar 2.4 menampilkan diagram blok dari *High Gain Observer*. Pada diagram tersebut, sinyal masukan u dikirimkan ke sistem untuk menghasilkan sinyal keluaran y . Sinyal masukan yang sama juga diberikan ke *observer*, yang kemudian menghasilkan keluaran estimasi \hat{y} . Kedua *output* tersebut kemudian dibandingkan ($y - \hat{y}$) untuk mengestimasi *error*, yang selanjutnya dikirimkan ke blok K , keluaran dari blok K berupa $K(y - \hat{y})$ dikirimkan ke blok penjumlahan (*sum*) untuk membentuk persamaan *High Gain Observer*.

2.4.2 Desain *High Gain Observer*

Agar sistem dapat dianalisis dan dirancang menggunakan pendekatan modern, maka sistem tersebut perlu dinyatakan dalam bentuk ruang keadaan (*state space*). Secara umum, bentuk model *state space* non-linier adalah:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= f(x, u, t) \\ y(t) &= h(x) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Dengan mendefinisikan :

$x(t) = h(t)$ sebagai variabel keadaan (*state*)

$u(t) = F(t)$ sebagai input sistem (debit masuk)



Dimana $x(t) \in R^n$ merupakan keadaan sistem atau *state*, $u(t) \in R^q$ merupakan *input* sistem atau masukan yang memengaruhi dinamika sistem, $f(x, u, t)$ merupakan Fungsi non-linier yang menggambarkan dinamika sistem dan $y(t) = h(t)$ merupakan *output* sistem.

Selanjutnya Memodelkan sistem *storage tank* ke dalam persamaan (*state space equation*), maka persamaan (2.14) dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \frac{1}{A} u(t) - \frac{c \sqrt{x(t)}}{A} \\ y(t) &= x(t) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Algoritma *High Gain Observer* dirancang untuk menghasilkan estimasi keadaan $\hat{x}(t)$ yang mendekati nilai sebenarnya, $x(t)$ berdasarkan informasi *input* dan *output*. Bentuk umum persamaan HGO adalah:

$$\dot{\hat{x}} = f(\hat{x}, u, t) + K(y - \hat{y}) \quad (2.17)$$

Sehingga menjadi :

$$\dot{\hat{x}}(t) = \frac{1}{A} u(t) - \frac{c \sqrt{\hat{x}(t)}}{A} + K(y(t) - \hat{y}(t)) \quad (2.18)$$

Dimana $\hat{x}(t)$ adalah estimasi dari *state* $x(t)$ yaitu hasil perkiraan oleh *observer*, $K(y - \hat{y})$ adalah koreksi estimasi yang ditentukan berdasarkan *error* antara *output* aktual y dan *output* estimasi \hat{y} dimana $\hat{y} = h(\hat{x})$ dan $f(x, u, t)$ adalah fungsi non-linier asli dari sistem.

2.5 Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE adalah Sebuah ukuran statistik yang digunakan untuk menilai seberapa besar perbedaan antara nilai yang diprediksi (estimasi) dengan nilai yang sebenarnya (aktual) dalam suatu model atau sistem. RMSE menghitung rata-rata selisih kuadrat antara prediksi dan data aktual, kemudian mengambil akar kuadrat dari hasil tersebut sehingga menghasilkan nilai *error* dalam satuan asli data. Dengan demikian, RMSE menunjukkan seberapa jauh rata-rata prediksi model menyimpang dari kondisi sebenarnya. Semakin kecil nilai RMSE, semakin akurat model atau metode estimasi yang digunakan, karena *error*



prediksinya lebih rendah. Sebaliknya, nilai RMSE yang besar menunjukkan bahwa hasil prediksi kurang sesuai dengan kenyataan, sehingga kualitas model perlu diperbaiki [35].

Rumus perhitungan RMSE dapat dituliskan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2.19)$$

Keterangan :

n = Jumlah total data

$\sum_{i=1}^n$ = menjumlahkan dari indeks $i = 1$ hingga $i = n$

y_i = Nilai aktual ke- i (data pengukuran sebenarnya).

\hat{y}_i = Nilai prediksi ke- i (hasil model atau estimasi).

Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) digunakan sebagai indikator tingkat akurasi model prediksi tinggi permukaan cairan dalam tangki. Semakin kecil nilai RMSE, semakin dekat hasil estimasi model terhadap data sebenarnya [36]. Untuk mempermudah pemahaman, berikut disajikan tabel interpretasi nilai RMSE dalam satuan meter :

Tabel 2. 2 Tabel Interpretasi Nilai RMSE [36]

Kategori	RMSE Absolut (meter)	RMSE %	Deskripsi
Sangat Baik	<0.0075 m	<1%	Sangat presisi
Baik	0.0075 – 0.01875 m	1% – 2.5%	Akurat dan stabil
Cukup Baik	0.01875 – 0.0375 m	2.5% – 5%	Bisa diterima, masih perlu penyempurnaan
Kurang baik	>0.0375 m	>5%	Error signifikan, performa model perlu diperbaiki

2.6 Gaussian White Noise

Noise adalah gangguan sinyal yang tidak diinginkan dapat mempengaruhi kinerja keakuratan sistem, Dampak dari *noise* ini dapat menyebabkan distorsi sinyal, yang mengakibatkan informasi yang diterima menjadi tidak akurat, serta kesalahan dalam pengukuran dan umpan balik dalam sistem kontrol. Batas toleransi *noise* yaitu sekitar 0-5% Gangguan ini biasanya muncul dalam bentuk sinyal acak atau kesalahan (*error*) yang



mengandung informasi tidak relevan, sehingga menyebabkan hasil pengukuran menjadi tidak akurat.

Dalam *storage tank*, *noise* dapat memengaruhi pengukuran *level* cairan, aliran, atau tekanan, sehingga berpotensi mengurangi akurasi kontrol sistem. Salah satu jenis *noise* adalah *gaussian white noise* berasal dari bilangan acak yang mengikuti distribusi normal, di mana nilai-nilainya tersebar secara acak namun tetap berada dalam rentang tertentu. Karakteristik utama dari *gaussian white noise* adalah memiliki rata-rata nol ($\mu = 0$), yang menunjukkan bahwa nilai positif dan negatifnya seimbang secara statistik, serta memiliki variansi sebesar 1 [37]. Untuk menghasilkan *Gaussian noise* dengan standar deviasi sebesar σ dan rata-rata μ , dapat digunakan rumus berikut :

$$d = rand * \sigma + \mu \quad (2.20)$$

Jika rata-rata $\mu = 0$, maka dapat disederhanakan menjadi :

$$d = rand * \sigma \quad (2.21)$$

Selanjutnya rumus untuk *gaussian white noise* dengan rata-rata 0 dan varian 1, yaitu :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.22)$$

Keterangan :

$p(x)$ # Variabel acak

μ # Rata-rata (*mean*)

σ # Standar deviation

σ^2 # Varian dari distribusi

π # Konstanta untuk normalisasi sama dengan nol

2.7 Analisis kekokohan dan sensitivitas

Menganalisis kekokohan dan sensitivitas sangat penting dalam pengendalian proses industri, karena memberikan pemahaman tentang bagaimana sistem bereaksi terhadap variasi parameter dan gangguan eksternal. Berikut konsep dari kedua analisis tersebut :

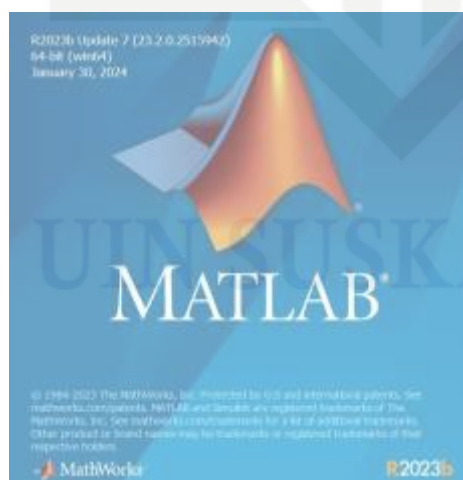


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Analisis Sensitivitas menggambarkan seberapa besar perubahan dalam *output* sistem sebagai respon terhadap perubahan dalam parameter atau kondisi *input* tertentu. Analisis sensitivitas digunakan untuk mengidentifikasi parameter kunci dalam sistem yang perlu diatur dengan hati-hati untuk mencapai kinerja yang diinginkan dan membantu dalam memahami seberapa stabil sistem terhadap variasi parameter, pengujian sensitivitas dapat dilakukan adanya perubahan *input* dan perubahan kondisi awal pada sistem [31].
2. Analisis kekokohan kemampuan sistem untuk menjaga kinerja yang baik meskipun adanya gangguan eksternal. Analisis kekokohan melibatkan menguji respons sistem terhadap gangguan menggunakan teknik simulasi atau eksperimen. Sistem dikatakan kokoh jika kinerjanya tetap stabil atau sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan meskipun terjadi gangguan. Sebaliknya, jika gangguan tersebut menyebabkan perubahan yang signifikan dalam kinerja sistem, maka sistem tersebut dianggap tidak kokoh. Analisis kekokohan membantu dalam merancang sistem kendali yang dapat berfungsi secara efektif di bawah berbagai kondisi operasional dan mengurangi risiko kegagalan sistem karena gangguan [16].

2.8 MATLAB

Merupakan perangkat lunak (*software*) yang umumnya digunakan untuk pemrograman, analisis, serta komputasi teknis dan matematis berbasis matriks. Matlab adalah singkatan dari MATrix LABoratory karena mampu menyelesaikan masalah perhitungan atau analisis komputasi berdasarkan sifat dan bentuk matriks.



2.5 Matlab R2023b





Bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *Mathworks inc* ini menggabungkan proses pemrograman, komputasi, dan visualisasi dalam lingkungan yang ramah pengguna bahasa pemrograman ini menawarkan banyak manfaat, antara lain analisis dan eksplorasi data, pengembangan algoritma, pemodelan dan simulasi, visualisasi *plot* dalam 2D dan 3D, serta pembuatan aplikasi antarmuka grafis [38]. Pada Matlab sendiri terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu :







1. *Toolstrip* Merupakan tombol-tombol yang digunakan untuk perintah.
2. *Workspace* digunakan untuk menampilkan variabel-variabel yang ada dalam matlab.
3. *Command Window* Adalah bagian tempat untuk memasukkan perintah MATLAB dan didapatkan hasilnya.
4. *Command History* Menunjukkan daftar perintah yang telah dijalankan selama sesi MATLAB.
5. *Current Folder* Menampilkan struktur direktori yang sedang digunakan [38].

Selain itu, *Simulink Block* pada MATLAB juga memiliki peran penting dalam pemodelan dan simulasi sistem dinamis. Simulink menyediakan lingkungan berbasis blok diagram untuk merancang, menganalisis, dan menguji sistem kontrol, sinyal, dan proses fisik secara grafis. Setiap blok merepresentasikan elemen fungsional tertentu seperti *input*, pemrosesan sinyal, dan *output*, sehingga memudahkan dalam membangun model sistem secara intuitif dan interaktif.

Tabel 2. 3 *Simulink Blok*

No	Blok <i>Simulink</i>	Keterangan
1	 Step	Blok <i>Step</i> adalah salah satu jenis blok sinyal yang digunakan untuk menyediakan sinyal tangga atau langkah ke dalam model <i>Simulink</i> . Menghasilkan sinyal yang berubah dari nilai awal ke nilai yang ditentukan pada waktu tertentu, dan tetap pada nilai tersebut setelahnya.
2	 Gain	digunakan untuk menerapkan faktor penguatan (atau <i>gain</i>) pada sinyal input yang melewatinya. Fungsi utamanya adalah untuk mengalikan sinyal <i>input</i> dengan faktor skalar tertentu sebelum mengirimkannya ke blok selanjutnya dalam model <i>Simulink</i> .



3	 Integrator	berfungsi untuk melakukan operasi numerik terhadap sinyal <i>input</i>
4	 Sum	Digunakan sebagai elemen untuk menambahkan atau mengurangi.
5	 Constant	Digunakan untuk menghasilkan nilai tetap atau konstan dalam model simulasi.
6	 Sqrt	digunakan untuk menghitung akar kuadrat dari nilai inputnya secara elemen demi elemen
7	 To Workspace	<i>To Workspace</i> digunakan untuk menyimpan data hasil simulasi ke dalam variabel di <i>workspace</i> matlab.
8	 Scope	Digunakan untuk tampilan sinyal input sehubungan dengan waktu simulasi yang dilakukan.

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



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

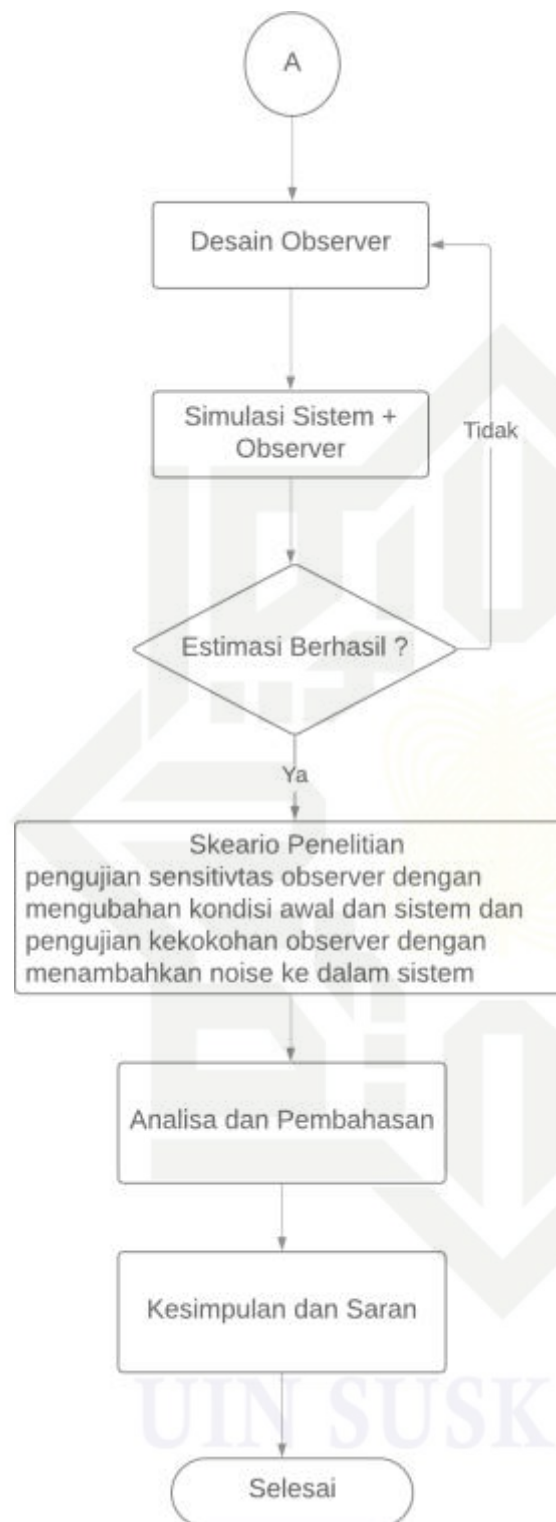
3.1 Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap alur penelitian yang penulis lakukan, Adapun tahap yang dilakukan sebagai berikut :



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 3.1 *Flowchart* Alur Penelitian



3.2 Tahap Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, dibutuhkan sebuah perancangan agar penelitian ini dalam pengerjaan sesuai dengan yang diharapkan. Perancangan dalam penelitian ini meliputi pengujian *plant*, penentuan judul sampai dengan tujuan yang diinginkan dari suatu penelitian sehingga terdapat beberapa tahap perencanaan yang harus dilakukan yaitu :

3.2.1 Identifikasi Masalah

Pada tahapan ini hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan topik permasalahan yang diangkat pada tugas akhir ini, masalah yang diidentifikasi adalah mengestimasi *level* air pada sistem *Storage Tank*.

3.2.2 Studi Literatur

Melakukan studi literatur untuk memahami penelitian sebelumnya terkait teori *High Gain Observer* pada sistem *Storage Tank* serta aplikasi sejenis. Informasi diperoleh dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal, dan sumber lainnya.

3.2.3 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini penulis mengumpulkan data dari jurnal maupun rujukan dari penelitian sebelumnya yang meliputi pemodelan matematis dari sistem *storage tank*.

3.2.4 Pemodelan Matematis *Storage Tank*

Pemodelan matematis sistem tangki penyimpanan dilakukan dengan memanfaatkan variabel-variabel yang diperoleh dari tahap pengumpulan data. Setelah itu, model diuji menggunakan perangkat lunak yang telah ditentukan. Proses ini dimulai dari persamaan (2.1) hingga persamaan (2.14), dapat dilihat pada persamaan (2.14) terlihat bahwa sistem bersifat non-linear. Untuk kebutuhan desain observer diperlukannya matrix dari persamaan (2.14) yang akan di definisikan sebagai matrix A₋₁, B, C, D sebagai berikut :

$$A_{-1} = \begin{pmatrix} c & \sqrt{h} \\ -A \end{pmatrix}$$

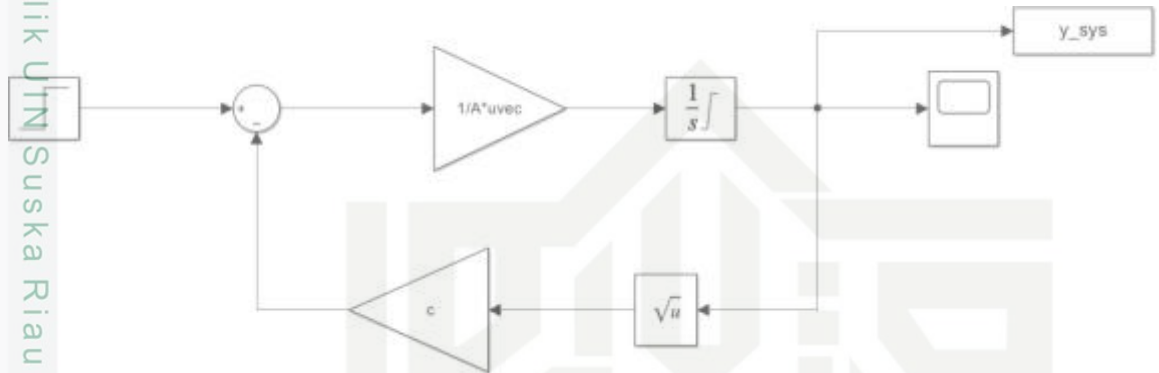
$$B = \begin{pmatrix} 1 \\ A \end{pmatrix}$$

$$C = (1)$$

$$D = (0)$$

3.2.5 Pengujian Sistem Storage Tank

Perancangan *storage tank* membutuhkan bentuk *state space* dari sistem *storage tank*. Pada persamaan (2.14). Pengujian dilakukan dengan software Simulink MATLAB R2023b menggunakan *time sampling 1 second* untuk melihat karakteristik sistem secara *open loop*.



Gambar 3.2 Blok Diagram *Storage Tank* Secara *Open Loop*

Adapun algoritma pemrograman untuk sistem *Storage Tank* dijabarkan dalam Tabel 3.2 berikut:

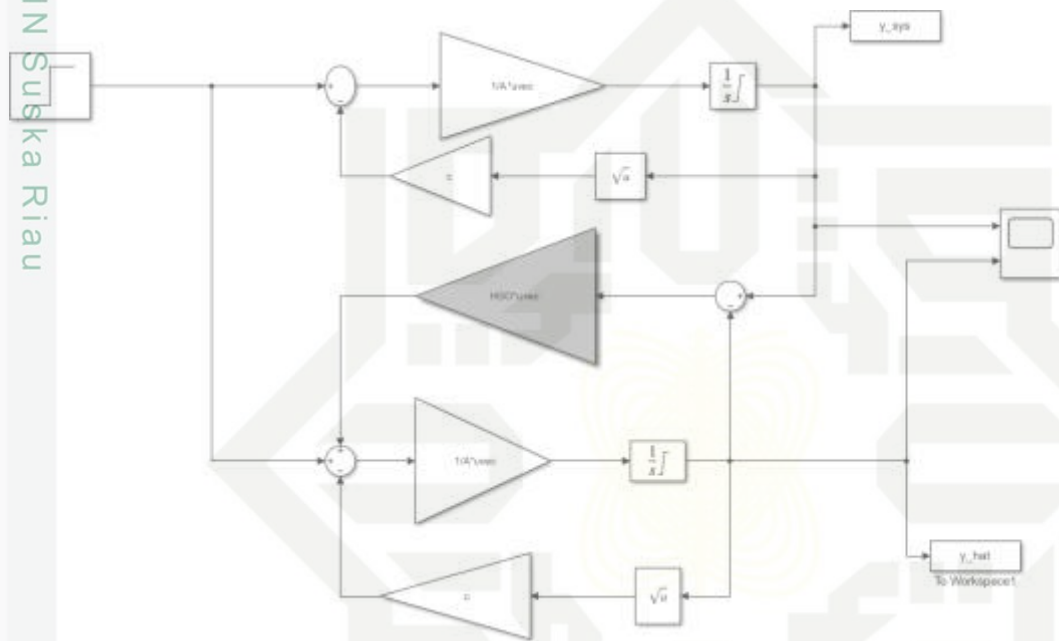
Tabel 3.1 Algoritma Pemograman Sistem *Storage tank*

Algoritma Pemograman 1	
1.	Menghapus semua variabel yang ada di <i>workspace</i> , menutup semua jendela grafik aktif, dan membersihkan jendela command dengan menggunakan perintah <code>clear all;</code> <code>close all;</code> <code>clc;</code>
2.	Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1) dan waktu akhir (360 detik)
3.	Mendefinikan kondisi awal sistem : <code>init (0)</code>
4.	Mendeskripsikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan pada Tabel 2.1
5.	Memanggil program <i>simulink</i> dari file <i>simulink</i> bernama ' <i>storagetank.slx</i> '
6.	Menyimpan data sistem <i>storage tank</i> dengan nama “ <i>datasistem</i> ”
7.	Plot untuk menampilkan grafik

Setelah melakukan perancangan pengujian sistem *storage tank* dan membuat algoritma pemograman 1. selanjutnya melakukan perancangan sistem menggunakan *observer*.

3.2.6 Desain *Observer*

Perancangan *observer* dapat dimulai dari persamaan (2.15) hingga ke persamaan (2.18) dengan menentukan bentuk *state space* dari sistem *storage tank*. Sehingga desain *Observer* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini :



Gambar 3.3 Rangkaian *Simulink High Gain Observer*

Setelah merancang rangkaian *Simulink High Gain Observer*. Pemograman pada gambar 3.4 ini ditunjukkan pada algoritma 2 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Algoritma *High Gain Observer*

Algoritma Pemograman 2	
1.	Menghapus semua variabel yang ada di <i>workspace</i> , menutup semua jendela grafik aktif, dan membersihkan jendela command dengan menggunakan perintah <code>clear all; close all; clc;</code>
2.	Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1) dan waktu akhir (360 detik)
3.	Mendefinisikan kondisi awal sistem : (<code>init = 0</code>)



4.	Mendeskripsikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan pada Tabel 2.1
5.	Mendeskripsikan matriks sistem (A_1, B, C, D) sesuai persamaan (2.14)
6.	Mendefinisikan gain <i>observer</i> sesuai persamaan (2.14) ke matriks <i>observer</i> A_1obs = [A_1], B_obs = [B], C_obs = [C], D_obs = [D]
7.	Memanggil program <i>Simulink</i> matlab “StorageTank_Observer”
8.	Plot untuk menampilkan grafik

3.2.7 Pengujian Root Mean Square Error (RMSE)

Pengujian RMSE pada sistem *storage tank* nonlinier yang menggunakan *High Gain Observer* (HGO) diperlukan untuk mengevaluasi seberapa baik estimasi keadaan yang dihasilkan *observer* dibandingkan dengan kondisi sebenarnya dari sistem. Karena karakteristik non-linier *storage tank* dapat menyebabkan dinamika yang kompleks dan sulit diprediksi, RMSE menjadi indikator kuantitatif yang membantu memastikan bahwa HGO mampu meminimalkan kesalahan estimasi secara konsisten. Dengan menghitung RMSE, peneliti dapat menilai akurasi dan efektivitas HGO dalam melacak perubahan variabel sistem secara real time. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan Algoritma 3 sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Algoritma Root Mean Square Error (RMSE)

Algoritma Pemrograman 3	
1.	Menghapus semua variabel yang ada di <i>workspace</i> , menutup semua jendela grafik aktif, dan membersihkan jendela command dengan menggunakan perintah clear all; close all; clc;
2.	Memuat data <i>error</i> yang disimpan dalam file “dataerror.mat” menggunakan perintah: load dataerror.mat
3.	Mendefinisikan nilai aktual (<i>observasi</i>) dari variabel y_sys
4.	Mendefinisikan nilai estimasi (<i>prediksi model</i>) dari variabel y_hat
5.	Menghitung jumlah data (<i>n</i>) berdasarkan panjang vektor nilai aktual: $n = \text{length}(\text{actual});$
6.	Menghitung selisih kuadrat antara nilai aktual dan prediksi: $\text{error_squared} = (\text{actual} - \text{predicted}).^2;$
7.	Menghitung akar kuadrat dari MSE untuk memperoleh <i>Mean Square Error</i> (MSE): $\text{mse} = \text{sum}(\text{error_squared}) / n;$



8.	Menghitung akar kuadrat dari MSE untuk memperoleh <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE): <code>rmse = sqrt(mse);</code>
9.	Menampilkan hasil RMSE pada jendela <i>command</i> dengan format desimal empat angka: <code>fprintf('RMSE = %.4f\n', rmse);</code>

3.2.8 Simulasi dan pengujian sistem *High Gain Observer*

Melakukan simulasi pada *observer* yang sudah dirancang sebelumnya. Bertujuan untuk memvalidasi kinerja HGO dalam berbagai kondisi operasional, termasuk gangguan eksternal, *noise*, dan ketidakpastian parameter sistem, guna memastikan estimasi yang akurat dan andal. Pengujian mencakup beberapa gambaran, yaitu perubahan *input*, kondisi awal, dan penambahan *noise*.

1. Pengujian Sensitivitas terhadap perubahan *input*

Pengujian sensitivitas terhadap perubahan *input* dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan *High Gain Observer* dalam merespons variasi sinyal masukan yang diterapkan pada sistem. Perubahan *input* penting dilakukan karena pada kondisi nyata, sistem tidak selalu menerima masukan yang konstan, melainkan sering mengalami variasi nilai secara tiba-tiba maupun bertahap. Dengan melakukan pengujian ini, dapat diketahui sejauh mana *observer* mampu mengikuti dinamika sistem dan mempertahankan ketepatan estimasi ketika terjadi perubahan kondisi operasional. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan Algoritma 4 sebagai berikut :

Tabel 3.4 Algoritma *High Gain Observer* terhadap perubahan *input*

Algoritma Pemograman 4	
1	Menghapus semua variabel yang ada di <i>workspace</i> , menutup semua jendela grafik aktif, dan membersihkan jendela <i>command</i> dengan menggunakan perintah <code>clear all; close all; clc;</code>
2	Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1) dan waktu akhir (360 detik)
3	Mengubah nilai step time = 90
4	Mendefinisikan kondisi awal sistem : (<code>init = 0</code>)
4	Mendefinisikan parameter sistem storage tank berdasarkan Tabel 2.1



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

5.	Mendefinisikan gain <i>Observer</i>
6.	Mendefinisikan matriks sistem (A_1, B, C, D) sesuai persamaan (2.14)
7.	Mendefinisikan gain <i>observer</i> sesuai persamaan (2.14) ke matriks <i>observer</i> $A_{1obs} = [A_1]$, $B_{obs} = [B]$, $C_{obs} = [C]$, $D_{obs} = [D]$
8.	Mendefinisikan kondisi awal Observer : IC = 0
9.	Memanggil program <i>Simulink</i> matlab “StorageTank_Observer”
10.	Plot untuk menampilkan grafik

2. Pengujian sensitivitas terhadap perbedaan kondisi awal

Pengujian sensitivitas terhadap perbedaan kondisi awal dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi nilai awal terhadap respons sistem dan performa *High Gain Observer* dalam mengestimasi keadaan. Sebelum simulasi dijalankan, perlu dilakukan langkah-langkah pemrograman guna menyiapkan variabel, parameter, serta konfigurasi model secara menyeluruh. Berikut Tabel Algoritma Pemograman 5 :

Tabel 3.5 Algoritma *High Gain Observer* terhadap perbedaan kondisi awal

Algoritma Pemograman 5	
1.	Menghapus semua variabel yang ada di <i>workspace</i> , menutup semua jendela grafik aktif, dan membersihkan jendela command dengan menggunakan perintah <code>clear all</code> ; <code>close all</code> ; <code>clc</code> ;
2.	Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1) dan waktu akhir (360 detik)
3.	Mengubah kondisi awal sistem $init = 0$
4.	Mendeskripsikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan pada Tabel 2.1
5.	Mendefinisikan matriks sistem (A_1, B, C, D) sesuai persamaan (2.14)
6.	Mendefinisikan matriks <i>observer</i> : $A_{1obs} = [A_1]$, $B_{obs} = [B]$, $C_{obs} = [C]$, $D_{obs} = [D]$ sesuai persamaan (2.14)
7.	Mendefinikan kondisi awal Observer : IC (0)
8.	Memanggil program <i>Simulink</i> matlab “StorageTank_Observer”
9.	Plot untuk menampilkan grafik



3. Pengujian Kekokohan *High Gain Observer* terhadap *noise*

Pengujian kekokohan (*robustness*) *High Gain Observer* terhadap gangguan (*noise*) dilakukan untuk memastikan bahwa *observer* mampu mempertahankan akurasi estimasi meskipun sistem mengalami gangguan sinyal yang tidak diinginkan. Penambahan *noise* pada proses simulasi bertujuan mengevaluasi sejauh mana kestabilan dan ketahanan performa estimasi ketika kondisi operasional mendekati situasi nyata yang umumnya tidak bebas dari gangguan. Dengan pengujian ini, dapat diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan *High Gain Observer* dalam menghadapi variasi atau fluktuasi data pengukuran. Berikut disajikan algoritma pemrograman yang digunakan untuk menambahkan *noise* ke dalam sistem pengujian:

Tabel 3. 6 Pemograman *Noise*

Algoritma Pemograman 6	
1.	Menghapus semua variabel yang ada di <i>workspace</i> , menutup semua jendela grafik aktif, dan membersihkan jendela command dengan menggunakan perintah <code>clear all; close all; clc;</code>
2.	Memanggil “ <i>datasistem</i> ” yang telah disimpan
3.	Menentukan amplitudo σ_v (<i>noise</i> untuk pengukuran) dengan $\max(y_{sys})$ 3% atau 0.03
4.	Mendefinisikan gangguan acak yaitu <i>rv</i>
5.	Normalisasikan <i>rv</i> sehingga terdistribusi dengan rata-rata 0 dan varian 1
6.	Hasil dari normalisasi tersebut dikalikan dengan skala σ_v
7.	Data <i>noise</i> disimpan dengan nama “ <i>datanoise</i> ”

Selanjutnya, dilakukan perancangan algoritma untuk menguji kekokohan *High Gain Observer* terhadap *noise*. Dalam tahap ini, algoritma pemrograman *noise* yang telah dibuat sebelumnya akan diintegrasikan ke dalam keseluruhan prosedur pengujian kekokohan *observer*. Penggabungan algoritma ini bertujuan agar sistem simulasi tidak hanya menjalankan estimasi pada kondisi ideal, tetapi juga dapat mengevaluasi kinerja *observer* ketika menerima sinyal yang telah terkontaminasi gangguan. Dengan demikian, pengujian ini dapat memberikan informasi yang lebih menyeluruh mengenai keandalan dan stabilitas *High Gain Observer* dalam kondisi operasional yang realistis. Berikut algoritma pemrograman pengujian kekokohan *High Gain Observer* terhadap *noise*:

Tabel 3. 7 Algoritma Pemberian *Noise* pada *High Gain Observer*

Algoritma Pemograman 7	
1.	Menghapus semua variabel yang ada di <i>workspace</i> , menutup semua jendela grafik aktif, dan membersihkan jendela command dengan menggunakan perintah <code>clear all; close all; clc;</code>
2.	Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1) dan waktu akhir (360 detik)
3.	Mengubah kondisi awal sistem $init = 0$
4.	Mendeskrripsikan dinamika fisik sistem <i>storage tank</i> berdasarkan pada Tabel 2.1
5.	Mendefinisikan matriks sistem (A_1, B, C, D) sesuai persamaan (2.14)
6.	Mendefinisikan matriks <i>observer</i> : $A_{1obs} = [A_1]$, $B_{obs} = [B]$, $C_{obs} = [C]$, $D_{obs} = [D]$ sesuai persamaan (2.14)
7.	Memanggil program <i>Simulink</i> matlab “NoiseOBS”
8.	Plot untuk menampilkan grafik

3.2.9 Analisis Hasil

Setelah perancangan dan simulasi selesai, langkah berikutnya adalah menganalisis hasil pengujian yang telah dilakukan. Pada tahap ini, hasil tersebut dievaluasi dan dibandingkan dengan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya untuk memastikan kesesuaian dan pencapaian yang diharapkan.

3.2.10 Kesimpulan

Setelah seluruh proses penelitian selesai dan penggunaan *observer* untuk mengestimasi keadaan (*state*) sistem dinamis berdasarkan data yang terbatas, seperti keluaran sistem dan model matematisnya. Dapat menarik kesimpulan agar menjadi acuan bagi penelitian lanjutan di masa mendatang, sehingga memberikan sumbangan penting bagi perkembangan ilmu di bidang terkait.



3.3 Skenario Penelitian

Dalam penelitian ini, model matematis yang telah berhasil diturunkan akan disimulasikan melalui beberapa skenario untuk mengevaluasi performa sistem dan menghasilkan visualisasi berupa grafik. Penelitian ini berfokus pada sistem *storage tank* yang dianalisis menggunakan pendekatan *High Gain Observer* sebagai *state estimator*. Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam simulasi diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya, sehingga memastikan keakuratan model yang digunakan.

1. Menguji sistem *storage tank* dalam kondisi *open loop* untuk memahami karakteristik dasar sistem.
2. Setelah itu, sistem diuji dengan memasukkan *High Gain Observer* sebagai *state estimator* untuk memperkirakan kondisi internal yang tidak dapat diukur secara langsung, sehingga memungkinkan pemantauan lebih akurat terhadap dinamika sistem.
3. Selanjutnya, dilakukan pengujian sensitivitas *observer* pada sistem *storage tank*. Pengujian ini mencakup analisis terhadap perbedaan kondisi awal sistem *storage tank* dan perubahan *input* pada sistem. Bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan *observer* dalam menyesuaikan diri terhadap dinamika sistem yang berubah. Hal ini penting untuk memastikan keandalan *observer* dalam berbagai kondisi operasional.
4. Tahap akhir pengujian melibatkan evaluasi kekokohan *observer* dengan menambahkan *noise* sebesar 6% ke dalam sistem *storage tank*. Ini dilakukan untuk menilai sejauh mana *observer* mampu menghasilkan estimasi yang tetap akurat meskipun sistem menghadapi gangguan atau *noise* yang biasanya terjadi dalam lingkungan nyata.

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



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. HGO menunjukkan performansi estimasi yang sangat akurat dan andal dalam kondisi ideal tanpa gangguan, dengan hasil estimasi yang identik dengan *output* sistem dan nilai RMSE sebesar 0 yang berarti tidak terdapat selisih antara data estimasi dan data aktual sepanjang waktu simulasi. Berdasarkan Tabel 2.2, nilai RMSE < 0.0075 meter termasuk dalam kategori sangat baik dengan tingkat error kurang dari 1%. Ini mengindikasikan bahwa performa estimasi yang dihasilkan sangat presisi.
2. HGO tetap mampu melakukan estimasi dengan baik saat terjadi perubahan input dan kondisi awal, ditunjukkan oleh respons yang cepat dan estimasi yang stabil. Namun, saat sistem diberi gangguan berupa *noise*, akurasi estimasi menurun secara signifikan disebabkan oleh *gain observer* sebesar 56.8841. Hasil pengujian kuantitatif menunjukkan nilai RMSE sebesar 0.3199, menandakan deviasi rata-rata estimasi sekitar 0.32 m. Berdasarkan Tabel 2.2 nilai ini masuk dalam kategori kurang baik karena melebihi ambang batas >0.0375 m. Ini menunjukkan bahwa HGO kurang *robust* terhadap *noise*, karena kestabilan dan akurasi estimasi menjadi terganggu.

5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil analisis, HGO menunjukkan sensitivitas yang cukup tinggi terhadap gangguan *noise*, terutama pada saat *gain* bernilai besar. Oleh karena itu, disarankan untuk menambahkan mekanisme filtering, seperti *low-pass filter* atau pendekatan hybrid dengan *Kalman Filter*, guna meningkatkan ketahanan estimasi terhadap gangguan pengukuran yang bersifat acak.
2. Selanjutnya, Pada penelitian ini, sistem masih diuji dalam kondisi *open-loop*, sehingga hanya mengandalkan estimasi dari *High Gain Observer* (HGO) tanpa adanya aksi pengendalian terhadap *level* cairan. Untuk itu, disarankan agar penelitian selanjutnya mengintegrasikan HGO dengan sistem pengendali, seperti PID *controller* atau *Fuzzy Logic Controller*, guna meningkatkan performa sistem secara



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

keseluruhan. Dengan adanya pengendali, estimasi dari HGO dapat digunakan sebagai masukan untuk menghasilkan aksi kontrol yang tepat dan *real-time*, sehingga sistem tidak hanya mampu memperkirakan *level* cairan secara akurat, tetapi juga mengatur dan mempertahankan *level* cairan pada titik yang diinginkan meskipun terjadi gangguan atau perubahan *input*. Integrasi antara *observer* dan *controller* ini akan membuat sistem menjadi lebih responsif, adaptif, dan stabil, serta lebih siap untuk diterapkan dalam kondisi operasional nyata.

3. Untuk mengatasi permasalahan kekokohan *High Gain Observer* (HGO) terhadap *noise*, terdapat beberapa solusi yang dapat diterapkan. Salah satu pendekatan adalah dengan menurunkan nilai *gain observer* secara bertahap agar sensitivitas terhadap fluktuasi berkurang, meskipun hal ini perlu dikompromikan dengan kecepatan konvergensi estimasi. Selain itu, penggunaan metode filtering seperti Kalman Filter atau penambahan *low-pass filter* pada sinyal masukan *observer* dapat membantu meredam *noise* yang muncul akibat ketidakseimbangan aliran dalam tangki. Strategi lain adalah menerapkan desain *observer* dengan *gain* adaptif, yaitu *gain* yang secara otomatis menyesuaikan besarnya tergantung tingkat gangguan yang terdeteksi selama operasi, sehingga tetap menjaga estimasi akurat tanpa menjadi terlalu responsif terhadap variasi kecil yang tidak signifikan. Dengan penerapan solusi tersebut, diharapkan *observer* dapat menghasilkan estimasi yang lebih stabil, *robust*, dan akurat meskipun sistem mengalami gangguan internal maupun perubahan kondisi operasi.



DAFTAR PUSTAKA

- [11] R. Yunus, V. V. R. Repi, and F. Hidayanti, "Perancangan Sistem Kontrol On/Off Multivariabel Level dan Temperatur Berbasis Microcontroller," *Jurnal Ilmiah Giga*, vol. 19, no. 1, pp. 9-16, 2016.
- [12] A. Dolu and B. Tatong, "Analisis getaran non linier dan fenomena chaos pada solusi persamaan diferensial duffing," *SMARTek*, vol. 9, no. 3, 1999.
- [13] I. N. Sutantra and I. H. Siahaan, "Simulasi Model Matematis Kontrol Sistem Kontrol Traksi," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 35-42, 2005.
- [14] K. H. Johansson, "The quadruple-tank process: A multivariable laboratory process with an adjustable zero," *IEEE Transactions on control systems technology*, vol. 8, no. 3, pp. 456-465, 2000.
- [15] M. Klaučo, Ľ. Čirka, and J. Kukla, "Non-linear model predictive control of conically shaped liquid storage tanks," *Acta Chimica Slovaca*, vol. 11, no. 2, pp. 141-146, 2018.
- [16] S. Rúa, R. E. Vásquez, N. Crasta, and C. A. Zuluaga, "Observability analysis and observer design for a nonlinear three-tank system: Theory and experiments," *Sensors*, vol. 20, no. 23, p. 6738, 2020.
- [17] Y. D. Hermawan, Y. Suksmono, D. U. Dewi, and W. Widyaswara, "Dinamika Level Cairan pada Sistem Tangki-Seri-Tak-Berinteraksi." *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, 2020.
- [18] M. Sarailoo, Z. Rahmani, and B. Rezaie, "Modeling of three-tank system with nonlinear valves based on hybrid system approach," *J. of Control Eng. and Technol*, vol. 3, pp. 20-23, 2013.
- [19] A. Wahid, H. Ramadhani, and F. Imanuddin, "Pengendalian Reaktor Alir Tangki Berpengaduk Menggunakan Representative Model Predictive Control," *Sinergi*, vol. 19, no. 3, pp. 227-234, 2015.
- [10] A. T. Deresse and T. T. Dufera, "A deep learning approach: Physics-informed neural networks for solving the 2D nonlinear Sine–Gordon equation," *Results in Applied Mathematics*, vol. 25, p. 100532, 2025.
- [11] R. Al-Majeez, K. Al-Badri, H. Al-Khazraji, and S. M. Ra'afat, "Design of A Backstepping Control and Synergetic Control for An Interconnected Twin-Tanks

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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



System: A Comparative Study," *International Journal of Robotics and Control Systems*, vol. 4, no. 4, pp. 2041-2054, 2024.

S. Salighe, N. Trivedi, F. Bakhshande, and D. Söffker, "Decoupled Model-Free Adaptive Control with Prediction Features Experimentally Applied to a Three-Tank System Following Time-Varying Trajectories," *Automation*, vol. 5, no. 4, pp. 527-544, 2024.

D. Mursyitah, A. Faizal, and E. Ismaredah, "Desain Pengendali Hybrid Fuzzy-SSMC Untuk Pengendalian Level Pada Coupled Tank," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*, pp. 566-574.

D. H. Nugrah, "Respon Atas Variasi Gangguan Setpoint pada Sistem Kontrol PID Penyeimbang Bola dengan Penambahan Filter pada Pembacaan Sensor Inframerah," Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2021.

Y. Yudhi Fariztian, "Performansi Luenberger Observer dalam Mengestimasi Konsentrasi pada Continuoius Stirred Tank Reactor (CSTR)," Tugas Akhir, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2024.

S. Sovi Pebriani, Performansi Estimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Kalman-Bucy Sebagai State Observer," Tugas Akhir, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2024.

A. U. Darajat, "Kompensasi Kesalahan Aktuator Quadrotor Pada Control Assembler Menggunakan Modified Least Square," Thesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.

D. Mursyitah, A. Faizal, and Z. Aini, "Performance of High-Gain Observer (HGO) For Level Estimation in Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 11, no. 2, pp. 117-124, 2024.

M. A. Saragih, N. Hikmah, P. I. Siregar, and E. Ekawati, "Simulasi Pengontrolan dan Observer pada Kompleksitas Pemodelan Sistem Demo Set Tangki Kering," *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 12, no. 2, pp. 102-114.

J. H. Ahrens and H. K. Khalil, "High-gain observers in the presence of measurement noise: A switched-gain approach," *Automatica*, vol. 45, no. 4, pp. 936-943, 2009.

Z. Noer and I. Dayana, *sistem kontrol*. Guepedia, 2021.



[22]

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

[23]

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

[25]

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

[26]

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

[27]

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

[28]

[29]

[30]

[31]

H. Subhadra, V. S. Reddy, S. Prananvanand, and N. Swapna, "Performance Comparison of PI Controllers for Conical Tank Process Using Various Tuning Methods," in *E3S Web of Conferences*, 2025, vol. 616: EDP Sciences, p. 03016.

A. Pinheiro, L. Monteiro, J. Carneiro, M. do Céu Almeida, and D. Covas, "Water mixing and renewal in circular cross-section storage tanks as influenced by configuration and operational conditions," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 147, no. 12, p. 04021050, 2021.

S. L. Allo, R. Hanifi, and R. D. Anjani, "Proses Produksi Mixer Tank Kapasitas 500 Liter Pada Pt. Xyz," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 8, no. 11, pp. 230-242, 2022.

E. A. Nugroho, P. D. Permatasari, and H. E. G. Prasetya, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Level Pada Tangki Penyimpanan Menggunakan Degree Of Freedom Analysis Dengan Tuning PID Berdasarkan Metode Cohen-Coon," *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 9, no. 2, 2020.

N. C. S. U. U. o. Ottawa, ""Introduction to Data Reconciliation," in Basic Concepts in Data Reconciliation., " *USA & Canada: North Carolina State University & University of Ottawa*, 2003.

A. Subiantoro, "Pemodelan Sistem Tangki-terhubung Dengan Menggunakan Model Fuzzy Takagi-sugeno," *Makara Journal of Technology*, vol. 10, no. 1, p. 148332, 2006.

Y. K. Putra and O. Yuliani, "Model Perefence Adaptive Control untuk PengaturanProses Tinggi Permukaan Shperical Tank,," *JMTE (Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro)*, vol. 4, no. 2, pp. 40-49, 2023.

P. Mahardhika and A. Ratnasari, "Perancangan tangki stainless steel untuk penyimpanan minyak kelapa murni kapasitas 75 m3," *Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol. 3, no. 1, pp. 39-46, 2018.

G. Chen and J. L. Moiola, "An overview of bifurcation, chaos and nonlinear dynamics in control systems," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 331, no. 6, pp. 819-858, 1994.

A. B. Winarno, B. Prasojo, and M. M. E. Prayitno, "Desain dan Pemodelan Pada Storage Tank Kapasitas 50.000 kL (Studi Kasus PT. Pertamina Region V TBBM Tuban)," in *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 47-50.



[32]

P. Ongga, Y. Sanwaty, F. S. Rondonuwu, and W. H. Kristiyanto, "Konsepsi mahasiswa tentang tekanan hidrostatik," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 2009.

[33]

A. Arif Muhaimin, "Perancangan Estimator Terdistribusi dengan Observer pada Quadruple- Tank Process," Thesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020

[34]

H. K. Khalil and L. Praly, "High-gain observers in nonlinear feedback control," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 24, no. 6, pp. 993-1015, 2014.

[35]

P. Kharazi Esfahani, K. Peiro Ahmady Langeroudy, and M. R. Khorsand Movaghar, "Enhanced machine learning—ensemble method for estimation of oil formation volume factor at reservoir conditions," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, p. 15199, 2023.

[36]

C. Urrea and F. Páez, "Design and comparison of strategies for level control in a nonlinear tank," *Processes*, vol. 9, no. 5, p. 735, 2021.

[37]

O. Lepskii, "On a problem of adaptive estimation in Gaussian white noise," *Theory of Probability & Its Applications*, vol. 35, no. 3, pp. 454-466, 1991.

[38]

A. Tjolleng, *Pengantar Pemrograman Matlab*. Elex Media Komputindo, 2017.

[39]

D. Astolfi, L. Marconi, L. Praly, and A. Teel, "Sensitivity to high-frequency measurement noise of nonlinear high-gain observers," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 18, pp. 862-866, 2016.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

[33]

[34]

[35]

[36]

[37]

[38]

[39]

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



RIWAYAT HIDUP

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



Penulis bernama Zakiah Dinilhaq, lahir di Pekanbaru pada tanggal 28 November 2003. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis memulai pendidikan formal di SDN 08 Duri Barat pada tahun 2008 dan lulus pada tahun 2015. Kemudian melanjutkan pendidikan ke MTS Yasmi Duri dan lulus pada tahun 2018. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMA Negeri 07 Mandau dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Pada semester lima, penulis memilih konsentrasi pada bidang Elektronika Instrumentasi. Penulis berhasil menyelesaikan studi dan lulus pada tahun 2025.

Atas izin dan rahmat Allah SWT, serta berkat ketekunan dan semangat belajar yang tinggi, penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis berharap, karya ini dapat memberikan manfaat serta kontribusi yang berguna bagi siapa pun yang membutuhkan. Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul “Analisis Performansi *High Gain Observer (HGO)* Sebagai Estimasi *Level* Pada Sistem Non-linier *Storage Tank*”

Email : zakiahdinilhaq@gmail.com.

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