

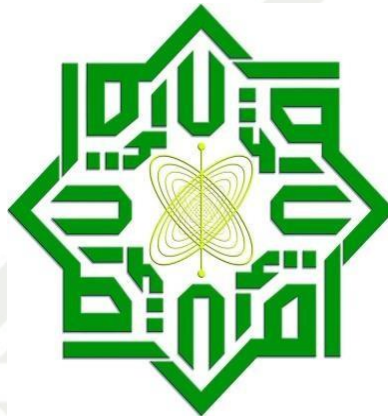


1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

DETEKSI KESALAHAN MENGGUNAKAN *LUENBERGER* *OBSERVER* PADA SISTEM *STORAGE TANK*

TUGAS AKHIR

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



Oleh :

SITRI PERMATA SARI

12150520297

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

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

2025



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

LEMBAR PERSETUJUAN

DETEKSI KESALAHAN MENGGUNAKAN *LUENBERGER* *OBSERVER* PADA SISTEM *STORAGE TANK*

TUGAS AKHIR

Oleh :

SITRI PERMATA SARI
12150520297

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 22 Mei 2025

a.n Ketua Program Studi Teknik Elektro
Sekretaris Program Studi Teknik Elektro

Sutoyo, S.T., M.T.
NIP. 19841202 201903 1 004

Pembimbing

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



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

LEMBAR PENGESAHAN

DETEKSI KESALAHAN MENGGUNAKAN LUENBERGER OBSERVER PADA SISTEM STORAGE TANK

TUGAS AKHIR

Oleh :

SITRI PERMATA SARI
12150520297

Telah dipertahankan didepan 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 22 Mei 2025

Pekanbaru, 22 Mei 2025

Mengesahkan,



Dr. H. Kanaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc
NIP. 19760724 200710 1 003

a.n Ketua Program Studi Teknik Elektro
Sekretaris Program Studi Teknik Elektro

Sutoyo, S.T., M.T.

NIP. 19841202 201903 1 004

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Sutoyo, S.T., M.T.

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

Anggota 1 : Hilman Zarory, S.T., M.Eng.

Anggota 2 : Ahmad Faizal, S.T., M.T.



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

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

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

© Hak cipta dimiliki UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



SURAT PERNYATAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa didalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

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

Pekanbaru, 22 Mei 2025

Yang membuat pernyataan,



Sitri Permata Sari
NIM.12150520297



LEMBAR PERSEMBAHAN



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...



DETEKSI KESALAHAN MENGGUNAKAN *LUENBERGER OBSERVER* PADA SISTEM *STORAGE TANK*

SITRI PERMATA SARI
NIM.12150520297

Tanggal Sidang : 22 Mei 2025

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl.Soebrantas No.155 Pekanbaru

ABSTRAK

Luenberger Observer (LO) didesain sebagai pendeteksi kesalahan pada sistem *storage tank*. Hal ini dilakukan karena *storage tank* merupakan komponen penting dalam industri proses yang rentan mengalami gangguan seperti kebocoran, kerusakan sensor, dan gangguan proses lainnya. Gangguan-gangguan ini berdampak pada keselamatan serta kualitas produksi. Perancangan *Luenberger Observer* sebagai pendeteksi kesalahan dimulai dengan menguji kemampuan LO untuk mengestimasi kondisi sistem secara akurat, dan menghasilkan residual yang menjadi indikator terjadinya kesalahan. Sensitivitas dan kekokohan diuji terlebih dahulu untuk proses estimasi, kemudian dilanjutkan dengan deteksi kesalahan pada sistem *storage tank* dengan skenario yang telah dibuat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *Luenberger Observer* efektif dalam mendeteksi kesalahan pada sistem *storage tank*. Efektivitas ini ditunjukkan melalui tiga skenario kesalahan, yaitu sinyal *ramp*, *square*, dan *ramp* terbalik. Nilai *residual* yang dihasilkan dalam masing-masing skenario menunjukkan pola perubahan yang konsisten dan sesuai dengan karakteristik kesalahan yang diberikan.

Kata kunci : *Luenberger Observer*, *storage tank*, deteksi kesalahan



FAULT DETECTION USING LUENBERGER OBSERVER IN STORAGE TANK SYSTEM

SITRI PERMATA SARI
Number Student : 12050520518

Session Date : Mei 22, 2025

*Electrical Engineering Study Program
 Faculty of Science and Technology
 Sultan Syarif Kasim Riau State Islamic University
 Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru*

ABSTRACT

Luenberger Observer (LO) is designed as an error detector in the storage tank system. This is done because the storage tank is an important component in the process industry that is susceptible to disturbances such as leaks, sensor damage, and other process disturbances. These disturbances have an impact on safety and production quality. The design of the Luenberger Observer as an error detector begins by testing the LO's ability to estimate system conditions accurately, and produce residuals that are indicators of errors. Sensitivity and robustness are tested first for the estimation process, then continued with error detection in the storage tank system with the scenarios that have been created. The simulation results show that the Luenberger Observer is effective in detecting errors in the storage tank system. This effectiveness is demonstrated through three error scenarios, namely ramp, square, and reverse ramp signals. The residual values generated in each scenario show a consistent pattern of change and are in accordance with the characteristics of the given error.

Keywords : Luenberger Observer, storage tank, error detection



KATA PENGANTAR



Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran 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 “**DETEKSI KESALAHAN MENGGUNAKAN LUENBERGER OBSERVER PADA SISTEM 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. Kepada ayahanda Masril dan almh. ibunda Suharni. Terimakasih telah memberikan kepercayaan dan pengorbanan, cinta, do’a, motivasi, semangat dan nasihat.
3. Kepada kedua saudara kandung Diana Anwariah dan Fiki Arianto. Terimakasih atas segala doa dan semangat nya yang dalam proses penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Hairunas, M.Ag. selaku Rektor Uin Suska Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya..
5. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Uin Suska Riau beserta kepada seluruh Staf dan jajarannya.
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 Uin Suska Riau.
8. Ibu Dr. Dian Mursyitah, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

9. Bapak Hilman Zarory, S.T., M.Eng selaku Dosen penguji I yang telah bersedia meluangkan waktunya dan memberikan kritik saran yang membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir
10. Bapak Ahmad Faizal, ST., M.T selaku Dosen penguji II yang telah bersedia meluangkan waktunya dan memberikan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
11. Ibu Dr. Fitri Amillia, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari awal semester hingga akhir semester.
12. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Para Sahabat Zakiah Dinilhaq, Della Oktaviani, Syarifah Adriana, Regina Fadillah Muhammad Supbahan dan Alif Mir'atul Ansyari yang telah memberikan dukungan, dorongan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Kepada diri sendiri karena telah mampu berusaha keras dan bertahan sejauh ini. Mampu mengatur waktu, tenaga, pikiran sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu dan mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tidak pernah putus asa sesulit apapun penyusunan skripsi ini.
15. 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 Tugas Akhir ini.

Sebagai manusia biasa penulis menyadari bahwa 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 kesempurnaa.

Pekanbaru, 27 Mei 2025

Penulis



Sitri Permata Sari
NIM.12150520297



© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR RUMUS	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4 Batas Masalah	I-3
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Landasan Teori	II-2
2.2.1 <i>Storage tank</i>	II-2
2.2.2 Model Matematis.....	II-3
2.3 Deteksi Kesalahan	II-7
2.4 <i>Luenberger Observer</i>	II-8
2.4.1 Desain <i>Luenberger Observer</i>	II-9
2.4.2 Pemilihan <i>Pole</i>	II-10
2.5 <i>Gaussian White Noise</i>	II-10
2.6 Analisis Sensitivitas dan Kekokohan	II-11
2.7 <i>Software Matlab</i>	II-11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1



3.1 Proses Alur Penelitian	III-1
3.2 Tahapan Penelitian	III-2
3.3 Skenario Penelitian.....	III-15

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....IIV-1

4.1 Analisa Sistem <i>Storage Tank</i> Secara <i>Open Loop</i>	IIV-1
4.2 Analisa peformasi <i>Luenberger Observer</i> dari 2 indikator pengujian yaitu sensitivitas dan kekokohan	IIV-2
4.2.1 Analisa sensitivitas <i>Luenberger Observer</i> terhadap perubahan kondisi awal....	IIV-2
4.2.2 Analisa sensitivitas <i>Luenberger Observer</i> terhadap perubahan <i>input</i>	IIV-4
4.2.3 Analisa Kekokohan <i>Luenberger Observer</i> setelah Sistem Ditambahkan <i>Noise</i>	IIV-5
4.3 Analisa Deteksi Kesalahan Menggunakan <i>Luenberger Observer</i> pada Sistem <i>Storage Tank</i>	IIV-6
4.3.1 Analisa Deteksi Kesalahan dengan Bentuk Sinyal Kesalahan Ramp.....	IIV-6
4.3.2 Analisa Deteksi Kesalahan dengan Bentuk Sinyal Kesalahan <i>Square</i>	IIV-7
4.3.3 Analisa Deteksi Kesalahan dengan Bentuk Sinyal Kesalahan Ramp Terbalik .	IIV-8

BAB V PENUTUP..... V-1

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

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



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 <i>Storage Tank</i> [18].....	II-2
2.2 Sistem <i>Storage Tank</i> [17].....	II-3
2.3 Pipa Keluaran <i>Storage Tank</i> [19]	II-4
2.4 Blok Diagram Deteksi Kesalahan.....	II-8
2.5 Blok Diagram <i>Luenberger Observer</i> [10].....	II-9
3.1 Diagram alur penelitian.....	III-2
3.2 Blok Diagram Sistem <i>Storage Tank</i> secara <i>Open Loop</i>	III-3
3.3 Rangkaian <i>Simulink</i> Sistem <i>Storage Tank</i> secara <i>Open Loop</i>	III-5
3.4 Rangkaian <i>Simulink Luenberger Observer</i>	III-6
3.5 Sinyal kesalahan berbentuk Ramp	III-11
3.6 Sinyal Kesalahan Berbentuk <i>Square</i>	III-11
3.7 Sinyal Kesalahan berbentuk Ramp terbalik.....	III-12
3.8 Blok Diagram Sistem <i>Storage Tank</i> Setelah ditambahkan Kesalahan.....	III-13
3.9 Rangkaian <i>Simulink</i> Sistem <i>Storage Tank</i> Setelah Sistem ditambahkan Kesalahan	III-13
3.10 Rangkain <i>Simulink Luenberger Observer</i> Setelah Sistem ditambahkan Kesalahan...	III-14
4.1 Respon Keluaran <i>Storage Tank</i> secara <i>Open Loop</i>	IIV-2
4.2 (a) Respon Keluaran <i>Luenberger Observer</i> terhadap Perubahan Kondisi Awal Sistem (b) Respon Keluaran <i>Luenberger Observer</i> terhadap Perubahan Kondisi Awal <i>Observer</i>	IIV-2
4.3 Respon Keluaran <i>Luenberger Observer</i> terhadap Perubahan <i>Input</i>	IIV-4
4.4 Respon Keluaran <i>Luenberger Observer</i> setelah Sistem ditambahkan <i>Noise</i>	IIV-5
4.5 (a) Hasil Estimasi <i>Luenberger Observer</i> dengan Bentuk Sinyal Kesalahan Ramp (b) Hasil Deteksi Kesalahan dengan Bentuk Sinyal Kesalahan Ramp	IIV-6
4.6 (a) Hasil Estimasi <i>Luenberger Observer</i> dengan Bentuk Sinyal Kesalahan <i>Square</i> (b) Hasil Deteksi Kesalahan dengan Bentuk Sinyal Kesalahan <i>Square</i>	IIV-7
4.7 (a) Hasil Estimasi <i>Luenberger Observer</i> dengan Bentuk Sinyal Kesalahan Ramp Terbalik (b) Hasil Deteksi Kesalahan dengan Bentuk Sinyal Kesalahan Ramp Terbalik.....	IIV-8



DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2.1 Hukum Kesetaraan <i>Volume</i>	II-3
2.2 Perubahan <i>Volume</i> pada Tangki	II-3
2.6 Persamaan Kecepatan Aliran Keluaran	II-4
2.7 Persamaan Tekanan <i>Hidrostatik</i>	II-4
2.15 Deret <i>Taylor</i>	II-5
2.21 Persamaan <i>State Space</i>	II-6
2.25 Persamaan <i>Luenberger Observer</i>	III-9
2.26 <i>Gaussian White Noise</i>	II-10

© Hak cipta dimiliki UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruhnya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

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



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Dilarang mengutip atau menyalin sebagian atau seluruhnya tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

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

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Parameter Sistem <i>Storage Tank</i> [17].....	II-7
3.1 Blok <i>Simulink</i>	III-4
3.2 Algoritma Pemograman Sistem <i>Storage Tank</i> secara <i>Open Loop</i>	III-5
3.3 Algoritma <i>Luenberger Observer</i>	III-6
3.4 Algoritma <i>Luenberger Observer</i> terhadap Perubahan <i>Input</i>	III-7
3.5 Algoritma <i>Luenberger Observer</i> terhadap Perubahan Kondisi Awal	III-8
3.6 Algoritma <i>Noise</i>	III-9
3.7 Algoritma <i>Luenberger Observer</i> terhadap Pembambahan <i>Noise</i>	III-9
3.8 Algoritma Sistem <i>Storage Tank</i> setelah ditambahkan Kesalahan.....	III-13
3.9 Algoritma <i>Luenberger Observer</i> setelah Sistem ditambahkan Kesalahan.....	III-14



DAFTAR SINGKATAN

HSD = *High Speed Diesel*

LO = *Luenberger Observer*

MATLAB = *Matrix Laboratory*

Mimo = *Multi Input Multi Output*

MWPCA = *Moving Window Principal Component Analysis*

PCA = *Principal Component Analysis*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

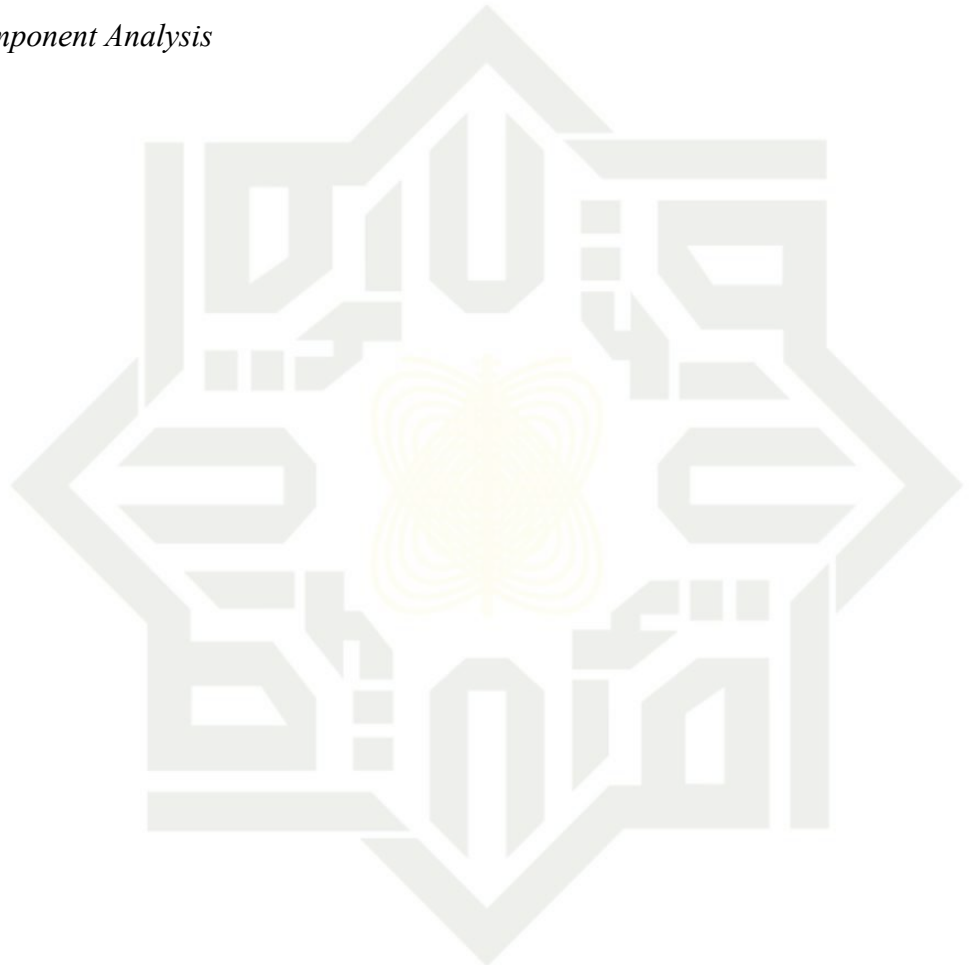
1. Dilindungi dengan hak cipta atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

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.

© Haxcep milia UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



UIN SUSKA RIAU



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Storage tank atau tangki penyimpanan adalah unit penting dalam bidang rekayasa proses yang banyak diaplikasikan pada skala kecil hingga industri besar. Penerapannya banyak ditemukan pada sektor industri kimia, seperti minyak dan gas, petrokimia, serta polimer. *Storage tank* berfungsi sebagai wadah untuk menyimpan berbagai jenis cairan atau bahan kimia sesuai dengan kebutuhan industri [1]. Seiring dengan tingginya tingkat penggunaan, *storage tank* rentan terhadap berbagai jenis masalah. Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah kerusakan akibat korosi pada dinding tangki yang menimbulkan kebocoran atau bahkan kegagalan struktural tangki. Korosi dipicu oleh faktor internal seperti kontak cairan dengan dinding tangki serta faktor eksternal seperti lingkungan sekitar. Dengan adanya kerusakan seperti ini, risiko terjadinya kebakaran atau ledakan meningkat, yang tentunya akan berpotensi membahayakan keselamatan pekerja serta lingkungan di sekitar fasilitas industri [2].

Kebocoran dan ledakan tangki penyimpanan dapat menimbulkan dampak signifikan terhadap lingkungan. Insiden seperti kebocoran bahan berbahaya dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air, yang sering kali memerlukan biaya pemulihan yang tinggi. Seperti insiden yang terjadi di ITC Deer Park pada tahun 2019, di mana kegagalan pompa sirkulasi pada Tangki 80-8 menyebabkan pelepasan *butana-enriched naphtha*, yang kemudian menyulut kebakaran hebat dan menghancurkan 15 tangki penyimpanan, mengakibatkan pencemaran di sepanjang *Houston Ship Channel*. Area yang terdampak harus ditutup untuk mencegah dampak lebih lanjut, mengganggu ekosistem perairan dan kegiatan ekonomi di sekitarnya. Dampak ini tidak hanya mengancam flora dan fauna tetapi juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia melalui paparan zat berbahaya [3].

Selain itu dalam pengoperasiannya, sistem otomatis untuk pengisian atau pengosongan cairan dalam tangki banyak diterapkan di berbagai industri, terutama di sektor kimia. Proses industri kimia sering kali melibatkan pengendali *level* cairan yang presisi karena perubahan *level* cairan, seperti air, minyak, atau bahan kimia lainnya, sangat memengaruhi hasil proses. Pengisian dan pengosongan cairan dalam tangki tertutup juga menimbulkan masalah tersendiri bagi operator, yang mana sulit untuk memantau apakah *level* cairan melebihi atau kurang dari batas yang diinginkan [4]. Ketidakseimbangan antara laju aliran masuk dan keluar dapat menyebabkan kondisi berbahaya, seperti *overflow* (meluap) atau *dry run* (kekeringan), yang dapat merusak sistem dan mempengaruhi kualitas produksi [5].



Sistem otomatis untuk pengisian tangki mengandalkan sensor yang berfungsi memantau *level* cairan di dalam tangki. Namun, perangkat ini masih memiliki keterbatasan dalam mendeteksi gangguan atau anomali yang terjadi secara spontan. Perubahan kondisi seperti kerusakan katup atau sensor yang tidak akurat dapat menyebabkan pembacaan *level* yang keliru [4]. Hal ini mengantarkan untuk mengeksplor tentang deteksi kesalahan. Deteksi kesalahan bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengisolasi kesalahan pada sistem.

Beberapa penelitian yang membahas tentang deteksi kesalahan pada sistem tangki penyimpanan telah banyak dilakukan seperti menggunakan metode *Moving Window Principal Component Analysis* (MWPCA) dan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mendeteksi kesalahan pada sistem tiga tangki [6], *Change Finder* dan *Support Vector Machine* (SVM) untuk deteksi kesalahan sensor suhu pada sistem tangki ganda [7] *Moving Window Independent Component Analysis with Adaptive Threshold* (MWAT-ICA) untuk mendeteksi kesalahan sensor, kebocoran, dan penyumbatan katup pada sistem tiga tangki [8]. Sejumlah penelitian tentang deteksi kesalahan menunjukkan peformasi yang baik namun, masih terdapat kekurangan pada ketergantungan data *training* [7, 8], *false positive* dan *delay* deteksi [6]. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang lebih efisien dan and al untuk deteksi kesalahan.

Luenberger Observer dapat menjadi solusi sebagai pendeteksi kesalahan, karena kemampuannya dalam mengestimasi keadaan sistem secara akurat dan menghasilkan sinyal residu yang berguna dalam proses deteksi kesalahan [9]. Metode ini digunakan untuk memperkirakan keadaan suatu sistem yang mungkin tidak dapat diukur secara langsung. Selain itu *Luenberger Observer* bermanfaat dalam pengaturan, identifikasi, serta peningkatan kinerja sistem secara keseluruhan [10]. Dengan penerapan *Luenberger Observer*, proses linierisasi sistem dapat direalisasikan, sehingga sistem yang sebelumnya kompleks karena sifat non-liniernya menjadi lebih sederhana. Keunggulan *Luenberger Observer* terletak pada kemampuannya menyajikan model matematis yang sederhana, kestabilan yang dapat diandalkan, serta kemampuannya dalam mengatasi gangguan. Namun, pemilihan gain pada *Luenberger Observer* sangat penting untuk mencapai keakuratan estimasi dan penurunan *error* yang cepat [11].

Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa *Luenberger Observer* merupakan metode yang efektif dalam mendeteksi kesalahan pada berbagai jenis sistem seperti pada BLDC motor [12], kereta api [13], konverter DC-DC [14], suspensi [15], tangki ganda [16]. Berdasarkan pemaparan diatas metode *Luenberger Observer* akan di desain pada sistem *storage tank* untuk mendeteksi kesalahan. Dengan demikian penulis mengajukan penelitian Tugas Akhir dengan



judul “DETEKSI KESALAHAN MENGGUNAKAN *LUENBERGER OBSERVER* PADA SISTEM *STORAGE TANK*”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana *Luenberger Observer* dalam mendeteksi kesalahan pada sistem *storage tank* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah mendeteksi kesalahan menggunakan *Luenberger Observer* pada sistem *storage tank*.

1.4 Batas Masalah

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

1. Pemodelan sistem *storage tank* berdasarkan penelitian sebelumnya [17]
2. Jenis *Observer* yang digunakan adalah *Luenberger Observer*
3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *simulink* Matlab R2023b.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian yang dilakukan yaitu :

1. Memperoleh pemahaman mengenai *Luenberger Observer*.
2. Sebagai referensi tambahan untuk penelitian selanjutnya.
3. Dapat digunakan sebagai acuan dalam menerapkan sistem deteksi kesalahan pada sistem *storage tank* di industri.

UIN SUSKA RIAU



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini, penulis melakukan studi pustaka untuk mengidentifikasi sumber-sumber yang relevan terkait dengan deteksi kesalahan pada sistem *storage tank*, dengan fokus pada penerapan *Luenberger Observer* sebagai metode deteksi kesalahan. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengusulkan metode deteksi kesalahan. Salah satunya adalah *Moving Window Principal Component Analysis* (MWPCA) dan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mendeteksi kesalahan sensor dan kebocoran pada sistem tiga tangki, namun hasilnya menunjukkan kelemahan dalam hal kecepatan deteksi, tingkat *false positive* yang tinggi [6]. Kemudian metode *Change Finder* dan *Support Vector Machine* (SVM) telah diterapkan untuk mendeteksi kesalahan sensor suhu pada sistem tangki ganda, namun metode ini menunjukkan keterbatasan dalam mengatasi *false positive* dan *delay* deteksi dan ketergantungan pada data *training* [7]. *Moving Window Independent Component Analysis with Adaptive Threshold* (MWAT-ICA), yang digunakan untuk mendeteksi kesalahan sensor, kebocoran, dan penyumbatan katup pada sistem tiga tangki. Penelitian ini menunjukkan hasil yang baik dalam mendeteksi anomali dalam sistem, namun masih bergantung pada data pelatihan yang besar, yang menjadi kendala dalam aplikasi dunia nyata yang memiliki data terbatas atau variabel yang berubah-ubah [8].

Penelitian terhadap *Luenberger Observer* untuk deteksi kesalahan telah banyak dilakukan seperti *Fault Detection in Coupled Liquid Tank System*, hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan metode *Luenberger Observer* efektif dalam mendeteksi kesalahan pada sensor, baik dalam kondisi simulasi maupun pada sistem nyata, dengan residual yang dihasilkan mampu mengidentifikasi kesalahan sensor [16]. *Luenberger Observer-Based Speed Sensor Fault Detection of BLDC Motors* mengusulkan metode berbasis *Luenberger Observer* untuk mendeteksi kesalahan pada sensor kecepatan motor DC *brushless* (BLDC). Hasil simulasi menunjukkan bahwa *Observer* berhasil mendeteksi berbagai jenis kesalahan sensor, seperti kesalahan mendadak dan kegagalan sensor [12]. Kemudian penelitian *Fault Detection Using Luenberger Observer in a Railway System* mengeksplorasi penggunaan *Luenberger Observer* untuk deteksi kesalahan dalam sistem kereta api berbasis model linear multi-*input* multi-output (MIMO). Hasil simulasi menunjukkan efektivitas *Observer* dalam mengidentifikasi kesalahan dengan cepat dan stabil [13].



Penelitian *Sensor Fault Detection and System Reconfiguration for DC-DC Boost Converter*

Mengusulkan metode deteksi kesalahan sensor dan rekonfigurasi sistem berbasis *Luenberger Observer* untuk konverter DC-DC *Boost*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode yang diusulkan efektif dalam mendeteksi tiga jenis kesalahan sensor, yaitu kesalahan sirkuit terbuka, deviasi gain, dan kebisingan [14]. Berdasarkan studi literatur dan hasil penelitian, maka akan dirancang sistem deteksi kesalahan pada sistem *storage tank* menggunakan *Luenberger Observer*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Storage tank*

Storage tank adalah tangki yang digunakan sebagai wadah penyimpanan. [18]. Salah satu masalah yang muncul pada *storage tank* adalah kerusakan akibat korosi pada dinding tangki yang menimbulkan kebocoran atau bahkan kegagalan struktural tangki. Dengan adanya kerusakan seperti ini, risiko terjadinya kebakaran atau ledakan meningkat, yang tentunya akan berpotensi membahayakan keselamatan pekerja serta lingkungan di sekitar fasilitas industri [2]. Salah satu contoh penerapan *storage tank* dapat dilihat pada Gambar 2.1

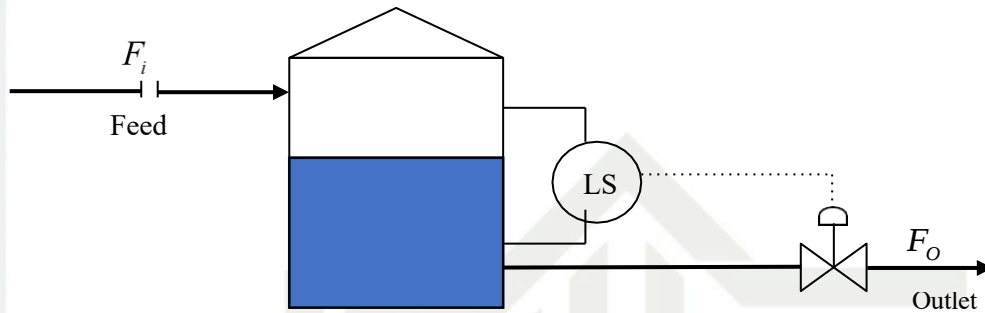


Gambar 2.1 *Storage Tank* [18]

Storage tank pada Gambar 2.1 tersebut berisi HSD (*High-Speed Diesel*) berkapasitas 21000 KL dengan jenis material ASTM A283 grade C (*low carbon steel*) pada PT. Indonesia Power Tambak Lorok [18]. Untuk memahami secara mendalam karakteristik *storage tank*, diperlukan pendekatan sistematis melalui pemodelan matematis. Pendekatan ini bertujuan untuk menggambarkan dinamika sistem secara akurat dan mendukung analisis kinerja yang optimal.

2.2.2 Model Matematis

Pemodelan matematis dalam sistem *storage tank* dilakukan dengan cara menurunkan persamaan berdasarkan pada hukum kesetaraan *volume* tangki, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Sistem *Storage Tank* [17]

Gambar 2.2 menunjukkan sistem *storage tank* yang digunakan untuk menyimpan cairan dalam sebuah proses industri. Pada sistem ini, cairan masuk ke dalam tangki melalui *Flow Indicator* (F_i). Di dalam tangki, *level sensor* (LS) berfungsi untuk mengatur dan memantau *level* cairan, sehingga *volume* cairan tetap berada dalam batas yang diinginkan, mencegah terjadinya kelebihan (*overflow*) atau kekurangan (*underflow*). Cairan yang disimpan kemudian dialirkan keluar melalui *flow outlet* (F_o) menuju sistem berikutnya, dengan aliran yang diatur oleh *valve*. Berdasarkan prinsip kesetaraan *volume*, perubahan *volume* cairan di dalam tangki merupakan selisih antara laju aliran masuk dengan laju aliran keluar. Persamaan diferensial yang menggambarkan sistem ini dapat dituliskan sebagai berikut :

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

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

$$v = Ah(t) \quad (2.2)$$

Volume dalam tangki merupakan hasil perkalian dari luas permukaan tangki (A) dengan *level* (h) dalam tangki, sehingga penurunan persamaan (2.2) terhadap waktu dituliskan sebagai berikut :

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

Sehingga :

$$dV = Adh \quad (2.4)$$

Selanjutnya substitusikan persamaan (2.1) ke persamaan (2.4) sehingga persamaan menjadi seperti di bawah ini :

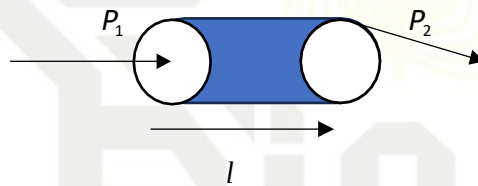
$$A \frac{dh(t)}{dt} = F_i(t) - F_o(t) \quad (2.5)$$

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 keluar (F_o) tergantung dari ketinggian (h) cairan dalam tangki dan luas diameter pipa (D). Nilai konstanta (c) didapat dari ilustrasi Gambar 2.3



Gambar 2.3 Pipa Keluar *Storage Tank* [19]

Berdasarkan ilustrasi Gambar 2.3 dapat ditulis :

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

Dimana $P_1 \gg P_2$

P = Tekanan $\left(\frac{Kg}{m^3} \right)$

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

D = Diameter Pipa (m)

l = Panjang Saluran Keluar (m)



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

Berdasarkan persamaan (2.8) dapat disubstitusikan dengan rumus tekanan hidrostatik [20] sehingga ditulis sebagai berikut :

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

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

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

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

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

Sehingga persamaan (2.12) menjadi seperti di bawah ini :

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

Kemudian substitusikan persamaan (2.13) ke persamaan (2.7) menjadi seperti dibawah ini :

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

Berdasarkan persamaan (2.14) model matematis dari sistem *storage tank* bersifat *non-linear*, sehingga diperlukan proses linearisasi untuk mempermudah analisis. Proses linearisasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan deret *taylor* [21] sebagai berikut :

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} (x - x_0)^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x - x_0)^n \quad (2.15)$$

Setelah mendapatkan teori deret *taylor*, linierisasi dapat menggunakan *first orde* (orde pertama) dari rumus deret *taylor*. Persamaan (2.14) mempertimbangkan fungsi dari variabel h dan F_i yaitu :

$$f(x(t)) = f(h(t), F_i(t)) + \left(\frac{\partial f(x)}{\partial h} \right)_{h=h_0} (h(t) - h_0(t)) + \left(\frac{\partial f(x)}{\partial F_i} \right)_{F_i=F_{i_0}} (F_i(t) - F_{i_0}(t)) \quad (2.16)$$



$$f(x(t)) = \frac{1}{A} F_{i_0}(t) - \frac{c}{A} \sqrt{h_0(t)} - \frac{1}{2} \frac{c}{A} h(t)^{-1/2} (h(t) - h_0(t)) + \frac{1}{A} (F_i(t) - F_{i_0}(t)) \quad (2.17)$$

$$f(x(t)) = \frac{1}{A} F_{i_0}(t) - \frac{c}{A} \sqrt{h_0(t)} - \frac{c}{2A\sqrt{h(t)}} h(t) - \frac{c}{2A\sqrt{h(t)}} h_0(t) + \frac{1}{A} F_i(t) - \frac{1}{A} F_{i_0}(t) \quad (2.18)$$

$$f(x(t)) = -\frac{c}{A} \sqrt{h_0(t)} - \frac{c}{2A\sqrt{h}} h_0(t) - \frac{c}{2A\sqrt{h(t)}} h(t) + \frac{1}{A} F_i(t) \quad (2.19)$$

$$f(x(t)) = -\frac{c}{2A\sqrt{h(t)}} h(t) + \frac{1}{A} F_i(t) \quad (2.20)$$

Selanjutnya model matematis direfensial diubah ke persamaan *state space* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Sehingga persamaan(2.20) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{x} = \left(-\frac{c}{2A\sqrt{h(t)}} \right) x + \left(\frac{1}{A} \right) u \quad (2.22)$$

$$y = (1)x + (0)u \quad (2.23)$$

Dengan matrix A, B, C dan D sebagai berikut :

$$A = -\frac{c}{2A\sqrt{h(t)}} \quad I = \begin{bmatrix} \frac{c}{2A\sqrt{h(t)}} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{A} \end{bmatrix}$$

$$C = [1]$$

$$D = [0]$$

Berdasarkan persamaan (2.22), matriks *A* yang sebelumnya digunakan untuk merepresentasikan nilai dari sistem *storage tank*, telah diganti namanya menjadi *A_I*. Pergantian ini dilakukan untuk menghindari kebingungan, karena simbol *A* telah digunakan untuk menyatakan luas penampang tangki. Parameter-parameter sistem *storage tank* yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Parameter Sistem *Storage Tank* [17]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Diameter tangki	d	1	m
Ketinggian cairan dalam tangki	h	0.75	m
Ketinggian Tangki	ht	1.2	m
Luas penampang tangki	A	0.78	m^2
Laju aliran masuk	F_i	0.2	m^3 / s
Konstanta	c	0.023	-

Tabel 2.1 menjelaskan parameter-parameter yang digunakan dalam model matematis sistem *storage tank*. Informasi ini menjadi dasar penting dalam menganalisis dan memodelkan perilaku sistem yang bersifat *non-linear*.

2.3 Deteksi Kesalahan

Deteksi dan diagnosis kesalahan (*Fault Detection and Diagnosis/FDD*) merupakan proses yang sangat penting dalam sistem kendali, terutama dalam lingkungan industri. FDD bertujuan untuk mengidentifikasi, mengisolasi, dan menganalisis sumber kesalahan dalam suatu sistem, dengan mengenali adanya ketidaksesuaian atau penyimpangan dari kondisi operasi normal yang dapat mengindikasikan adanya gangguan atau kerusakan [22]. Dalam praktiknya, FDD menjadi komponen penting dalam menjaga efisiensi proses, keselamatan operasional, dan kualitas produk. Kemampuan untuk mendeteksi kesalahan secara dini memungkinkan langkah-langkah pencegahan diambil sebelum terjadi kerusakan yang lebih besar, sehingga dapat menghindari *downtime* yang merugikan serta mengurangi potensi kerugian finansial [23].

Secara umum, proses FDD terdiri atas tiga tahap utama. Tahap pertama adalah deteksi kesalahan, yaitu proses untuk mengenali bahwa suatu kesalahan telah terjadi dalam sistem. Tahap kedua adalah isolasi kesalahan, di mana lokasi atau komponen yang mengalami gangguan diidentifikasi secara spesifik. Tahap ketiga adalah diagnosis atau identifikasi kesalahan, yang bertujuan untuk menentukan jenis dan penyebab kesalahan tersebut. Setelah proses FDD selesai dilakukan, biasanya dilanjutkan dengan evaluasi dampak kesalahan terhadap performa sistem secara keseluruhan [23]. Untuk memahami lebih lanjut bagaimana proses deteksi kesalahan dilakukan dalam sistem kendali, dapat dilihat pada blok diagram Gambar 2.4 berikut.

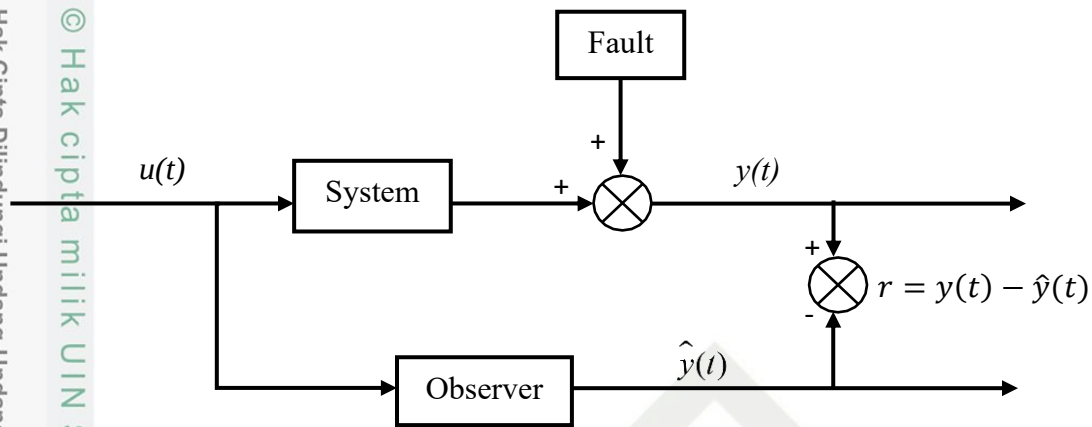
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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

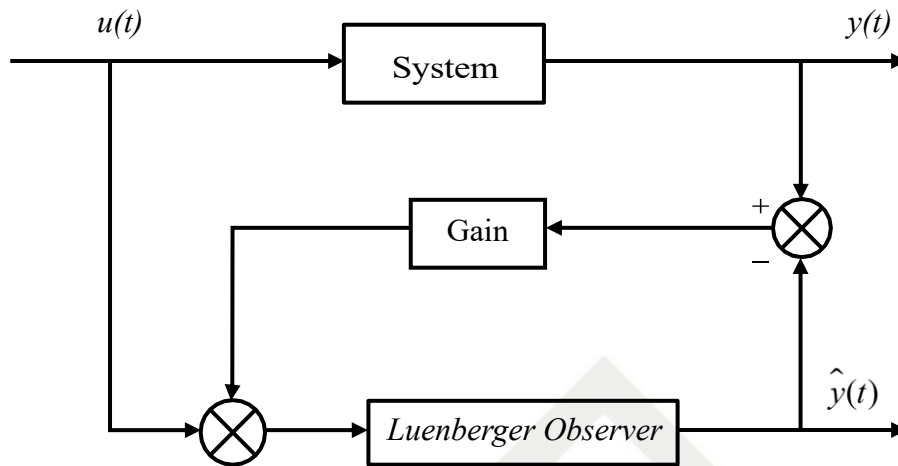


Gambar 2.4 Blok Diagram Deteksi Kesalahan

Berdasarkan Gambar 2.4 Deteksi kesalahan dilakukan dengan memanfaatkan model matematis yang merepresentasikan perilaku sistem. Model ini digunakan untuk memperkirakan *output* sistem berdasarkan input yang diberikan serta kondisi awal sistem. *Output* aktual dari sistem kemudian dibandingkan dengan hasil prediksi dari model, dan selisih antara keduanya disebut sebagai residual. Nilai residual ini menjadi dasar analisis untuk menentukan apakah sistem bekerja secara normal atau mengalami gangguan. Apabila residual melebihi ambang batas yang telah ditentukan, maka hal ini dapat dijadikan sebagai indikator awal adanya anomali atau kerusakan pada sistem. Pendekatan ini menggunakan *observer*, yaitu suatu mekanisme untuk memperkirakan *output* sistem dan menghasilkan residual. Jika nilai residual, yaitu selisih antara keluaran aktual dan estimasi model, melampaui batas toleransi atau ambang yang telah ditentukan, maka hal ini menjadi indikasi adanya kesalahan atau gangguan dalam sistem [16].

2.4 Luenberger Observer

Luenberger Observer merupakan suatu metode dalam teori kendali yang berfungsi untuk mengamati atau memperkirakan nilai variabel yang sulit untuk diukur secara langsung dalam suatu sistem. Metode ini menggunakan persamaan *Observer* yang didasarkan pada model matematis sistem, dengan tujuan untuk meniru perilaku variabel yang diamati tanpa memerlukan pengukuran langsung. Umumnya, *Luenberger Observer* diintegrasikan kembali ke dalam sistem sebagai umpan balik. Informasi yang dihasilkan oleh *Observer* kemudian digunakan untuk melakukan penyesuaian pada masukan atau kondisi operasional sistem [11].



Gambar 2.5 Blok Diagram *Luenberger Observer* [10]

Gambar 2.3 menunjukkan blok diagram *Luenberger Observer*. Pada blok diagram tersebut, *input* $u(t)$ diberikan ke sistem untuk menghasilkan *output* $y(t)$. Selain itu, *input* $u(t)$ juga diberikan ke *observer*, yang menghasilkan *output* estimasi $\hat{y}(t)$. Selanjutnya, kedua *output* tersebut dibandingkan ($y(t) - \hat{y}(t)$) untuk mendapatkan estimasi *error*, kemudian diteruskan ke blok Gain. Hasil dari blok Gain akan dikirimkan ke blok penjumlahan (sum) untuk membentuk persamaan *Luenberger Observer* [10].

2.4.1 Desain *Luenberger Observer*

Representasi sistem *storage tank* dapat di tulis dengan sebuah persamaan ruang keadaan yang ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t)\end{aligned}\quad (2.24)$$

Dimana dapat dilihat berdasarkan persamaan diatas bahwasanya $x(t) \in \mathbb{R}^n$ merupakan *state* sistem, $u(t) \in \mathbb{R}^q$ merupakan *input* sistem dan $y(t) \in \mathbb{R}^p$ merupakan *ouput* sistem. $x(t) \in \mathbb{R}^n$, $u(t) \in \mathbb{R}^q$, $y(t) \in \mathbb{R}^p$ adalah matriks dalam *state observer*. $v(t)$ merupakan gangguan pada *output* [11]. Algoritma *Luenberger Observer* dapat dituliskan sebagai berikut

$$\dot{\hat{x}}(t) = Ax(t) + Bu(t) + LO(t)(y(t) - \hat{y}) \quad (2.25)$$

Berdasarkan persamaan (2.25), Algoritma *Luenberger Observer* memungkinkan untuk estimasi variabel *state* yang tidak dapat diukur secara langsung sebelum perancangan dilakukan pada sub bab berikutnya



2.4.2 Pemilihan *Pole*

Dalam teori kendali, *pole placement* adalah metode yang digunakan untuk merancang pengendali pada sistem dinamis dengan cara menentukan lokasi akar dari fungsi karakteristik sistem. *Pole* merujuk pada akar dari persamaan karakteristik sistem, yang merupakan akar dari polinomial karakteristik atau penyebut dari fungsi transfer sistem. Fungsi utama dari *pole* dalam sistem adalah untuk merancang pengendali, umumnya pengendali umpan balik, agar respons sistem dapat disesuaikan dengan spesifikasi yang diinginkan [10]. Salah satu aspek penting dalam penempatan *pole* adalah menjaga stabilitas sistem. Penempatan *pole* pada wilayah stabil (biasanya di sebelah kiri bidang kompleks dalam domain *Laplace*) akan memastikan sistem tetap stabil, serta menghindari terjadinya osilasi tak terkendali atau ketidakstabilan. Oleh karena itu, menjaga agar *pole* berada pada lokasi yang tepat menjadi tujuan utama dalam metode *pole placement* demi menjamin kinerja dan kestabilan sistem secara keseluruhan.

2.5 Gaussian White Noise

Noise adalah gangguan yang dapat memengaruhi kinerja sistem, baik yang berasal dari proses *internal* maupun *eksternal*. Dalam sistem *storage tank*, noise dapat timbul akibat dinamika sistem seperti ketidakstabilan aliran fluida atau ketidakakuratan sensor dalam mengukur ketinggian cairan [6]. Gangguan ini biasanya muncul dalam bentuk sinyal acak atau kesalahan (*error*) yang mengandung informasi tidak relevan, sehingga menyebabkan hasil pengukuran menjadi tidak akurat. Secara umum, tingkat noise yang masih dapat ditoleransi pada sistem pengukuran berada dalam rentang 1% hingga 5% dari sinyal aslinya.

Salah satu jenis noise adalah *Gaussian White Noise*. Jenis noise ini dihasilkan dari bilangan acak yang terdistribusi secara normal dalam rentang nilai tertentu. Karakteristik utamanya adalah memiliki rata-rata nol (*zero mean*) dan varian sebesar 1[24]. Untuk menghasilkan noise *Gaussian* dengan deviasi standar σ dan rata-rata sama dengan μ , dapat digunakan persamaan berikut :

$$d = rand * \sigma + \mu \quad (2.26)$$

Bila μ adalah nol maka persamaan (2.26) dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$d = rand * \sigma \quad (2.27)$$

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

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.28)$$



Keterangan :

$p(x)$ = variabel acak

μ = rata-rata (*mean*)

σ = standar deviation

σ^2 = varian dari distribusi

σ = konstanta untuk normalisasi sama dengan nol

2.6 Analisis Sensitivitas dan Kekokohan

Analisis sensitivitas dan kekokohan merupakan aspek penting dalam pengendalian proses industri, karena keduanya memungkinkan pemahaman tentang bagaimana sistem merespons perubahan parameter dan gangguan eksternal. Berikut adalah penjelasan mengenai kedua analisis tersebut.

1. Sensitivitas

Sensitivitas menunjukkan sejauh mana perubahan output sistem terjadi sebagai respons terhadap perubahan parameter atau kondisi input tertentu. Analisis sensitivitas berfungsi untuk mengidentifikasi parameter-parameter dalam sistem yang perlu diatur dengan cermat agar kinerja yang diinginkan tercapai, serta membantu dalam memahami tingkat stabilitas sistem terhadap variasi parameter. Pengujian sensitivitas dapat dilakukan dengan mengubah parameter dalam sistem dan memodifikasi kondisi awal sistem tersebut [19].

2. Kekokohan

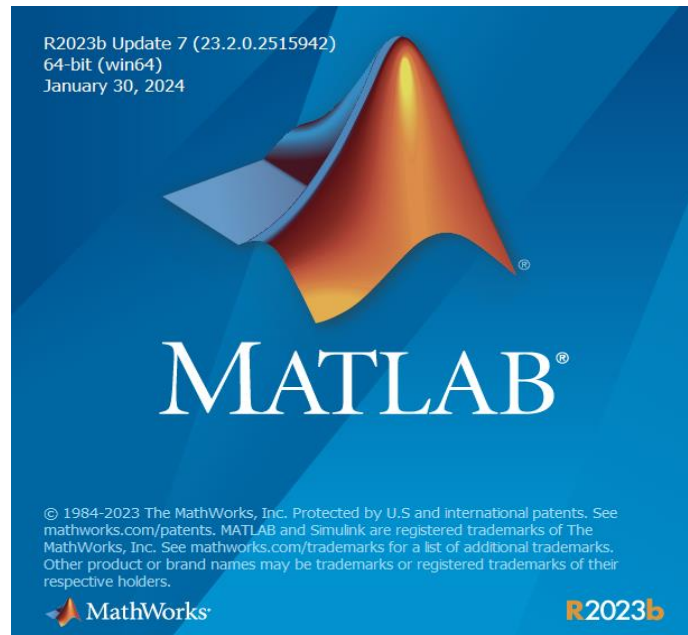
Kekokohan merujuk pada kemampuan sistem untuk mempertahankan kinerja yang baik meskipun terdapat gangguan. Analisis kekokohan melibatkan pengujian respons sistem terhadap gangguan melalui teknik simulasi. Sebuah sistem dianggap kokoh jika kinerjanya tetap stabil atau sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan meskipun terjadi gangguan. Sebaliknya, jika gangguan tersebut menyebabkan perubahan signifikan dalam kinerja sistem, maka sistem itu dianggap tidak kokoh. Analisis kekokohan berperan penting dalam merancang sistem kendali yang dapat beroperasi secara efektif di berbagai kondisi operasional dan mengurangi risiko kegagalan sistem akibat gangguan [19].

2.7 Software Matlab

Matlab merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory*, adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman, analisis data, perhitungan matematika, pemodelan, pembuatan



grafik, dan pengembangan komputasi. Dikembangkan pertama kali oleh Cleve Moler pada tahun 1970. Matlab pada awalnya dirancang hanya untuk menyelesaikan masalah dalam persamaan aljabar *linier*. Namun, seiring waktu, *software* ini mengalami banyak perkembangan dari segi fungsi dan performa komputasi [10]. Gambar 3.2 menunjukkan tampilan logo matlab, yang merepresentasikan *software* tersebut beserta informasi versinya.



Gambar 2.6 Matlab R2023b

Gambar 2.4 menunjukkan tampilan logo matlab R2023b. Matlab, yang dikembangkan oleh *MathWorks Inc*, memungkinkan pengguna untuk menggabungkan pemrograman, komputasi, dan visualisasi dalam lingkungan kerja yang mudah digunakan. Di dunia pendidikan, matlab sering digunakan sebagai media pembelajaran untuk mata pelajaran matematika, teknik, dan ilmu pengetahuan, baik di tingkat dasar maupun lanjutan. Sementara itu, di sektor industri, matlab menjadi pilihan yang populer untuk melakukan penelitian, pengembangan, dan analisis produk industri [11]. Pada Matlab sendiri terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu :

1. *Command window* digunakan untuk mengetikkan fungsi yang diinginkan.
2. *Command history* berfungsi untuk menampilkan perintah yang sudah digunakan sebelumnya, sehingga dapat diakses kembali.
3. *Workspace* digunakan untuk menampilkan variabel-variabel yang ada dalam matlab [10].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang menyalin atau menjiplak seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

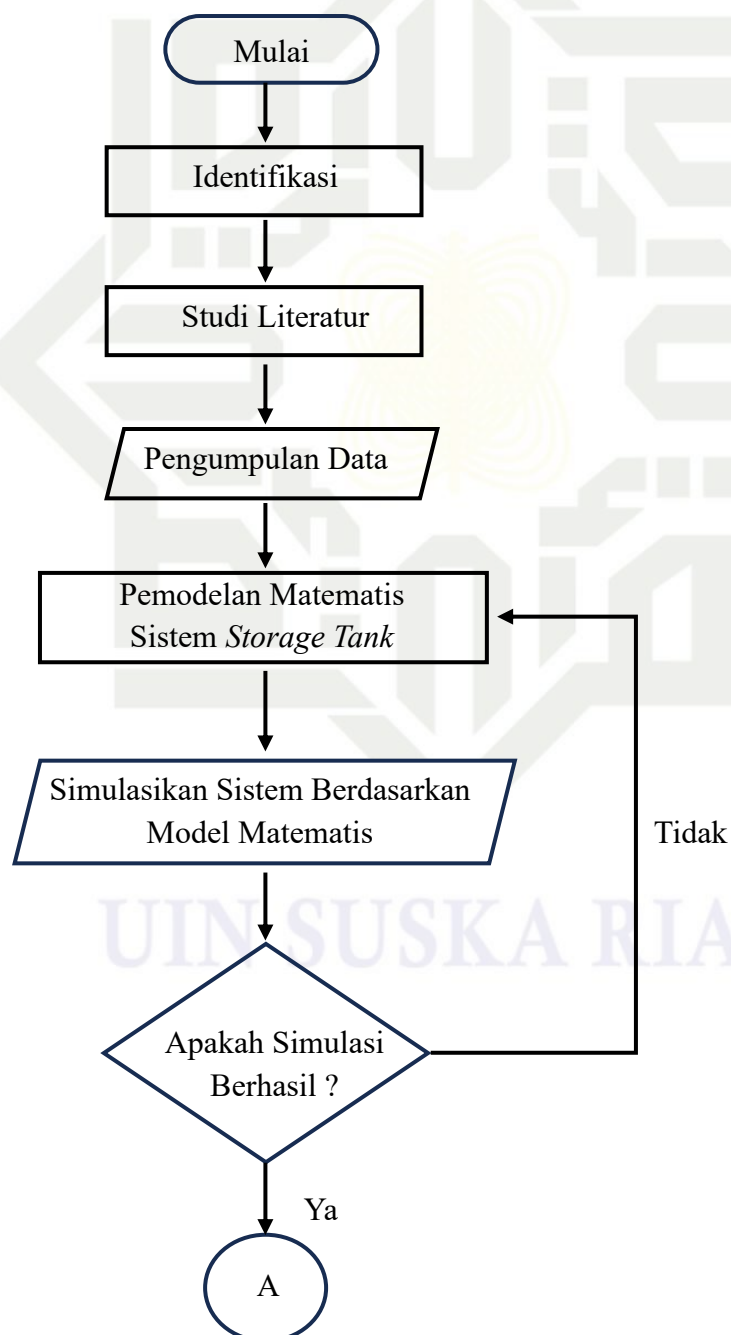
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

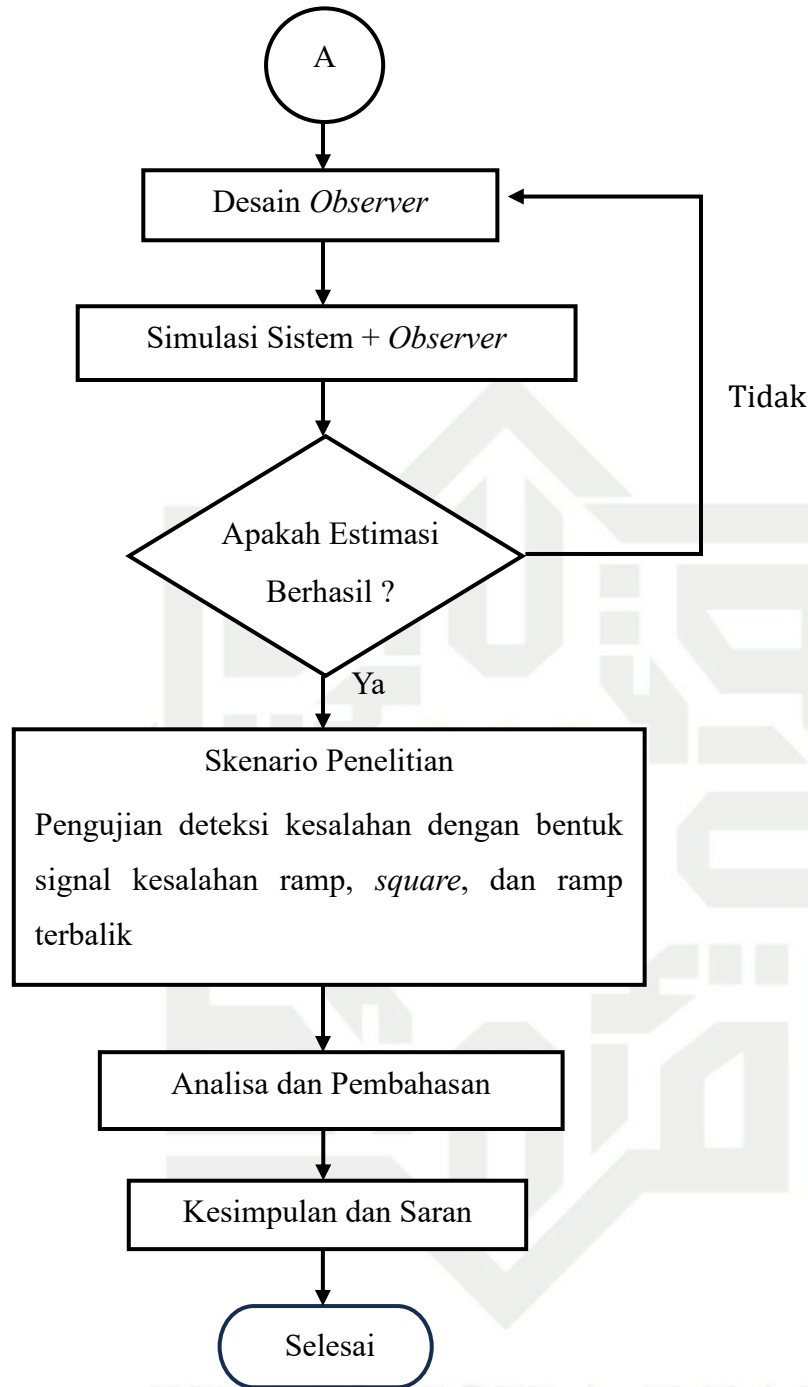
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis melakukan serangkaian langkah dalam proses deteksi kesalahan menggunakan *Luenberger Observer* pada sistem *storage tank*, dilakukan melalui simulasi menggunakan *software* Matlab. Alur penelitian yang dilakukan dapat digambarkan dalam bentuk *flowchart* berikut :





Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Sebelum melaksanakan penelitian, diperlukan sebuah perencanaan agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan sesuai dengan harapan. Perencanaan ini mencakup penentuan judul, hingga tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tersebut. Oleh karena itu, terdapat beberapa tahapan perencanaan yang perlu dilakukan yaitu :



1. Identifikasi Masalah

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu mengidentifikasi masalah pada sistem *storage tank* dan mengajukan metode *Luenberger Observer* sebagai deteksi kesalahan pada sistem *storage tank*.

2. Studi Literatur

Melakukan studi literatur untuk mentelaah beberapa studi pustaka baik melalui artikel, *e-book* dan buku yang berkaitan dengan sistem *storage tank* dan *Luenberger Observer*

3. Pengumpulan Data

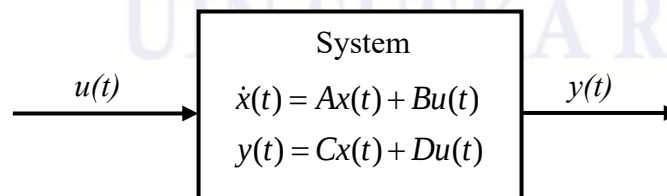
Dalam penelitian ini, penulis mengumpulkan data dari jurnal-jurnal acuan serta penelitian terdahulu yang mencakup pemodelan matematis sistem *storage tank* yang mengacu pada Tabel 2.1.

4. Pemodelan Matematis *Storage Tank*

Pemodelan matematis sistem *storage tank* dilakukan dengan menggunakan variabel-variabel yang diperoleh dari tahap pengumpulan data. Selanjutnya, model tersebut diuji menggunakan *software* yang telah ditentukan. Proses ini dimulai dari persamaan (2.1) hingga persamaan (2.20). Persamaan (2.14) menunjukkan sistem bersifat *non-linier* sehingga perlu dilinearisasi dengan menggunakan deret *taylor* orde pertama yang merujuk pada persamaan (2.15). Hasil linearisasi ditunjukkan pada persamaan (2.20), yang dimana akan mendapatkan hasil *state space* yang merujuk pada matriks A_1 , B , C dan D .

5. Pengujian Sistem *Storage Tank*

Perancangan sistem *storage tank* dilakukan dengan menentukan bentuk persamaan ruang keadaan (*state space*) dari sistem *storage tank*. Persamaan (2.20) digunakan sebagai representasi sistem *storage tank* dan diuji menggunakan *software Simulink* Matlab R2018b dengan *time sampling* 1 menit. Pengujian sistem ini dilakukan secara *open loop*, yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut:

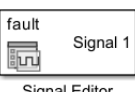


Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem *Storage Tank* secara *Open Loop*

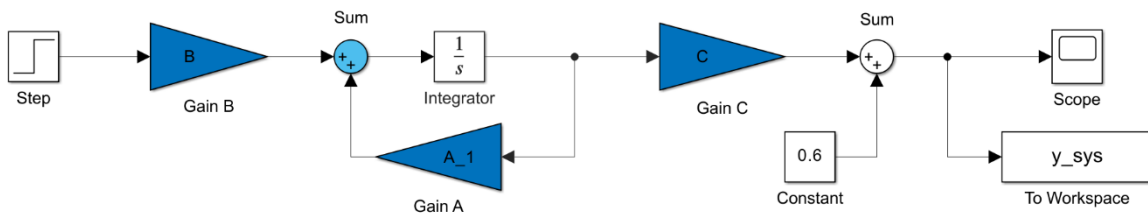
Pengujian ini dilakukan untuk memastikan apakah hasil keluaran sudah sesuai dengan referensi. Proses pengujian dilakukan berdasarkan fungsi alih yang parameternya telah ditentukan dalam tabel 2.1. Diagram simulasi sistem *storage tank* secara *open loop* dapat

dibuat berdasarkan blok-blok yang disajikan dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1 Blok *Simulink*

No	Blok <i>Simulink</i>	Keterangan
1	 Gain	Digunakan untuk elemen kendali ataupun matriks.
2	 Integrator	Digunakan untuk mengintegrasikan sinyal input secara terus menerus.
3	 Scope	Digunakan sebagai tampilan sinyal output yang dihasilkan simulasi pada <i>Simulink</i> matlab
4	 Sum	Digunakan sebagai elemen untuk menambahkan atau mengurangi.
5	 Constant	Digunakan untuk menghasilkan nilai tetap atau konstan dalam model simulasi.
6	 Step	Digunakan untuk menghasilkan sinyal tangga atau langkah. Blok ini menghasilkan sinyal yang berubah dari nilai awal ke nilai tertentu pada waktu yang ditentukan, dan kemudian mempertahankan nilai tersebut setelahnya.
7	 To Workspace	Digunakan untuk menyimpan hasil simulasi ataupun analisis sistem kedalam workspace matlab yang berupa variabel, struktur data atau respon sistem yang akan digunakan untuk analisis lebih lanjut.
8	 Signal Editor	Sinyal editor adalah alat untuk mengelola, mengedit, dan menambahkan gangguan atau kesalahan pada sistem dalam simulasi, memungkinkan pengguna untuk mendefinisikan nilai, variabel, dan jenis sinyal serta menguji respons sistem terhadap perubahan tersebut.

Tabel 3.1 di atas menjelaskan berbagai jenis blok dalam *Simulink* yang digunakan untuk membangun model simulasi sistem *storage tank* menggunakan matlab. Berdasarkan Gambar 3.2, dapat dibuat rangkaian *Simulink* untuk sistem *storage tank* secara *open loop* yang mengacu pada Tabel 3.1, sebagai berikut :



Gambar 3.3 Rangkaian *Simulink* Sistem *Storage Tank* secara *Open Loop*

Gambar 3.3 menunjukkan blok diagram *Simulink* sistem *storage tank* secara *open loop*, yang akan dijalankan dengan menggunakan algoritma pemrograman 1 seperti dibawah ini :

Tabel 3.2 Algoritma Pemrograman Sistem *Storage Tank* secara *Open Loop*

Algoritma Pemrograman 1
1. Membuat perintah <code>clc</code> ; <code>clear all</code> ; <code>close all</code> ; (untuk membersihkan <i>comand window</i> , menghapus variabel di <i>baseworkspase</i> dan menutup jendela <i>figure</i> yang masih terbuka)
2. Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1), dan waktu akhir (360) dalam satuan menit.
3. Mendefinisikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan Tabel 2.1
4. Mendefinisikan kondisi awal sistem : <code>init = 0</code>
5. Mendefinisikan matriks sistem (A_1, B, C, D) yang merujuk persamaan (2.20)
6. Memanggil program <i>simulink</i> matlab “storagetanksystem”
7. Menyimpan data <i>open loop</i> sistem <i>storage tank</i> dengan nama “datasistem”
8. Plot untuk menampilkan grafik

Setelah berhasil menjalankan sistem *storage tank* sesuai dengan Gambar 3.3, langkah selanjutnya adalah merancang desain *observer*.

6. Desain *Observer*

Perancangan *Observer* dimulai dengan menentukan bentuk *state space* dari sistem *storage tank*, yang dapat dimulai dari persamaan (2.24) hingga ke persamaan (2.25). Selanjutnya, mendefinisikan matriks *Observer* sebagai berikut :

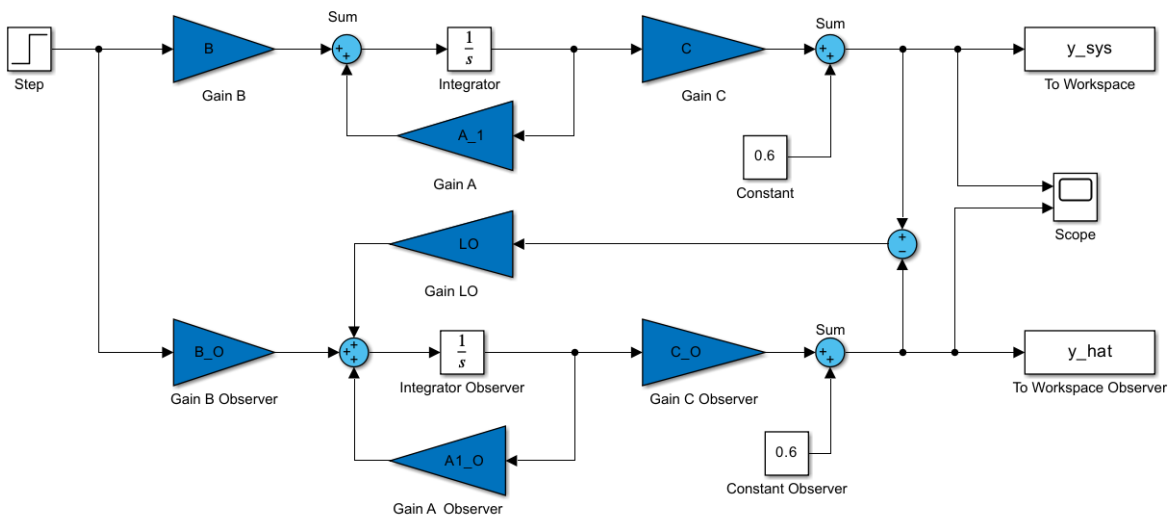
$$A_O [A_1]$$

$$B_O [B]$$

$$C_O = [C]$$

$$D_O = [D]$$

Setelah mendefinisikan matriks *Observer*, langkah berikutnya adalah menetapkan *pole* untuk mengevaluasi apakah sistem *storage tank* dapat berfungsi dengan baik saat menggunakan *Observer*. Berdasarkan persamaan (2.23) dapat dibangun blok diagram *Simulink* berdasarkan Tabel 3.1, sehingga desain *Observer* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Rangkaian *Simulink Luenberger Observer*

Sistem *storage tank* dengan menggunakan *Luenberger Observer* dapat dijalankan dengan menggunakan algoritma pemrograman 2 sebagai berikut :

Tabel 3.3 Algoritma *Luenberger Observer*

Algoritma Pemrograman 2
1. Membuat perintah <code>clc</code> ; <code>clear all</code> ; <code>close all</code> ; (untuk membersihkan <i>comand window</i> , menghapus variabel di <i>baseworkspase</i> dan menutup jendela <i>figure</i> yang masih terbuka)
2. Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1), dan waktu akhir (360) dalam satuan menit.
3. Mendefinisikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan Tabel 2.1
4. Mendefinisikan kondisi awal : <code>init = 0</code>
5. Mendefinisikan matriks sistem (<code>A_1</code> , <code>B</code> , <code>C</code> , <code>D</code>) yang merujuk persamaan (2.20)
6. Mendefinisikan kondisi <i>Observer</i> : <code>init_O = 0</code>
7. Mendefinisikan gain <i>observer</i>



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

Algoritma Pemograman 2
8. Mendefinisikan matriks <i>observer</i> : $A1_O = [A_1]$, $B_O = [B]$, $C_O = [C]$, $D_O = [D]$
9. Mendefinisikan gain <i>observer</i>
10. Memanggil program <i>Simulink</i> matlab “storagetank_Observer”
11. Plot untuk menampilkan grafik

7. Simulasi *Luenberger Observer* dan pengujian

Pada tahap ini, akan dilakukan simulasi terhadap *Luenberger Observer* yang telah dirancang sebelumnya. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk menguji sensitivitas *Luenberger Observer* terhadap perubahan yang terjadi dan menguji ketahanan *Luenberger Observer* dalam mengestimasi sistem yang terdapat gangguan. Pengujian mencakup beberapa skenario, yaitu perubahan *input*, kondisi awal, dan penambahan *noise* pada sistem.

a. Pengujian Sensitivitas *Luenberger Observer* terhadap Perubahan *Input*

Pengujian sensitivitas *Luenberger Observer* terhadap perubahan *input* dilakukan dengan menggunakan desain *Observer* yang ditampilkan pada Gambar 3.4. Dalam *Simulink* matlab, pada Gambar 3.4, blok step diberikan variasi *input* untuk mengamati respons *observer* terhadap perubahan tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan algoritma pemograman 3 sebagai berikut :

Tabel 3.4 Algoritma *Luenberger Observer* terhadap Perubahan *Input*

Algoritma Pemograman 3
1. Membuat perintah <code>clc; clear all; close all;</code> (untuk membersihkan <i>comand window</i> , menghapus variabel di <i>baseworkspase</i> dan menutup jendela <i>figure</i> yang masih terbuka)
2. Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1), dan waktu akhir (360) dalam satuan menit.
3. Mengubah nilai step time
4. Mendefinisikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan Tabel 2.1
5. Mendefinisikan kondisi awal sistem : $init = 0$
6. Mendefinisikan matriks sistem (A_1 , B , C , D) yang merujuk persamaan (2.20)
7. Mendefinisikan kondisi <i>Observer</i> : $init_O = 0$

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.

Algoritma Pemograman 3

8. Mendefinisikan matriks *observer* : $A1_O = [A_1]$, $B_O = [B]$, $C_O = [C]$, $D_O = [D]$
9. Mendefinisikan gain *observer*
10. Memanggil program *Simulink* matlab “storagetank_Observer”
11. Plot untuk menampilkan grafik

b. Pengujian Sensitivitas *Luenberger Observer* terhadap Perubahan Kondisi Awal

Pengujian selanjutnya adalah pengujian terhadap perubahan kondisi awal, dimana sistem dan *observer* diberikan kondisi awal yang berbeda. Diharapkan *observer* mampu mengestimasi perubahan tersebut. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan Algoritma 4 sebagai berikut :

Tabel 3.5 Algoritma *Luenberger Observer* terhadap Perubahan Kondisi Awal

Algoritma Pemograman 4	
1.	Membuat perintah <code>clc; clear all; close all;</code> (untuk membersihkan <i>comand window</i> , menghapus variabel di <i>baseworkspase</i> dan menutup jendela <i>figure</i> yang masih terbuka)
2.	Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1), dan waktu akhir (360) dalam satuan menit.
3.	Mendefinisikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan Tabel 2.1
4.	Mengubah kondisi awal sistem
5.	Mendefinisikan matriks sistem (A_1 , B , C , D) yang merujuk persamaan (2.20)
6.	Mendefinisikan kondisi <i>Observer</i> : $init_O = 0$
7.	Mendefinisikan matriks <i>observer</i> : $A1_O = [A_1]$, $B_O = [B]$, $C_O = [C]$, $D_O = [D]$
8.	Mendefinisikan gain <i>Observer</i>
9.	Memanggil program <i>Simulink</i> matlab “storagetank_Observer”
10.	Plot untuk menampilkan grafik

c. Pengujian Kekokohan *Luenberger Observer* terhadap *Noise*

Pengujian selanjutnya adalah pengujian kekokohan *Luenberger Observer* terhadap *noise*. Sebelum melakukan pengujian tersebut, algoritma pemrograman untuk menambahkan *noise* ke dalam sistem pengujian perlu disusun terlebih dahulu. Berikut adalah algoritma pemrograman untuk menambahkan *noise* :

Tabel 3.6 Algoritma *Noise*

Algoritma Pemograman 5
1. Membuat perintah <code>clc; clear all; close all;</code> (untuk membersihkan <i>comand window</i> , menghapus variabel di <i>baseworkspase</i> dan menutup jendela <i>figure</i> yang masih terbuka)
2. Memanggil “ <i>datasistem</i> ” yang telah disimpan pada pemograman 1
3. Mendefinisikan σ_v (<i>noise</i> untuk pengukuran) dengan $\max(y_{sys}) \cdot 0.06$ atau (6%)
4. Mendefinisikan gangguan acak yaitu <i>rv</i>
5. Gangguan acak tersebut kemudian dinormalisasikan sehingga terdistribusi dengan rata-rata 0 dan varian 1
6. Hasil dari normalisasi tersebut dijumlahkan dengan σ_v
7. Data <i>noise</i> disimpan dengan nama “ <i>datanoise</i> ”

Setelah pemrograman *noise* selesai, langkah selanjutnya adalah merancang algoritma untuk menguji kekokohan *Luenberger Observer* terhadap *noise*. Algoritma pemrograman *noise* yang telah dibuat akan dimasukkan ke dalam algoritma pengujian kekokohan *Luenberger Observer*, sebagai berikut :

Tabel 3.7 Algoritma *Luenberger Observer* terhadap Pemambahan *Noise*

Algoritma Pemograman 6
1. Membuat perintah <code>clc; clear all; close all;</code> (untuk membersihkan <i>comand window</i> , menghapus variabel di <i>baseworkspase</i> dan menutup jendela <i>figure</i> yang masih terbuka)
2. Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1), dan waktu akhir (360) dalam satuan menit.
3. Mendefinisikan parameter sistem <i>storage tank</i> 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.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Algoritma Pemograman 6
4. Mendefinisikan kondisi awal sistem : $init = 0$
5. Mendefinisikan matriks sistem (A_1, B, C, D) yang merujuk persamaan (2.20)
6. Mendefinisikan gain <i>observer</i>
7. Mendefinisikan matriks <i>observer</i> : $A1_O = [A_1], B_O = [B], C_O = [C], D_O = [D]$
8. Memanggil data <i>noise</i> v dengan nama “datanoise”
9. Memanggil program <i>Simulink</i> matlab “storagetankobserver_NOISE”
10. Plot untuk menampilkan grafik

8. Deteksi Kesalahan

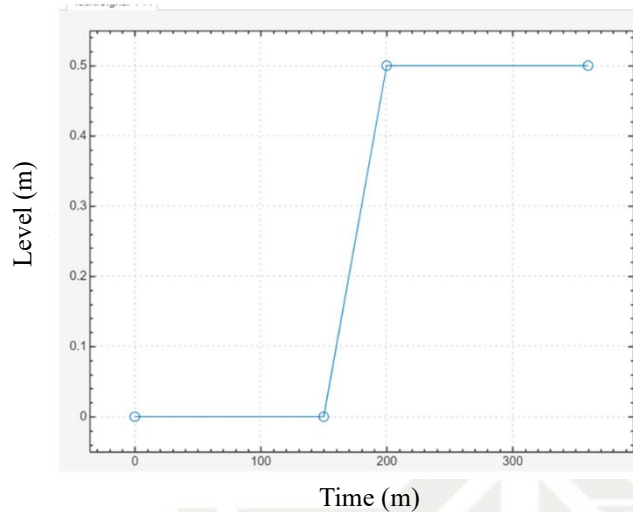
Setelah pengujian sensitivitas dan kekokohan *Luenberger Observer* berhasil langkah selanjutnya yaitu menambahkan kesalahan pada sistem untuk menguji kemampuan *Luenberger Observer* dalam mendeteksi kesalahan. Penambahan kesalahan ini dirancang untuk mensimulasikan kondisi abnormal sistem *storage tank*. Kesalahan ini dibuat dalam bentuk sinyal yang menggambarkan gangguan pada sistem, dengan tiga skenario sebagai berikut :

a. Sinyal kesalahan berbentuk ramp

Sinyal ramp merupakan sinyal dengan bentuk grafik berupa garis lurus yang memiliki kemiringan tetap. Sinyal ini umumnya dimulai dari nol dan meningkat secara linear terhadap waktu. Sinyal ramp digunakan untuk merepresentasikan kesalahan yang berkembang secara perlahan (*slowly developing fault*). Sinyal ramp dapat menggambarkan adanya kesalahan pada aliran masuk yang tidak terdeteksi, sehingga menyebabkan *level* cairan dalam tangki meningkat secara bertahap. Desain sinyal ini diatur sesuai pada Gambar 3.5

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

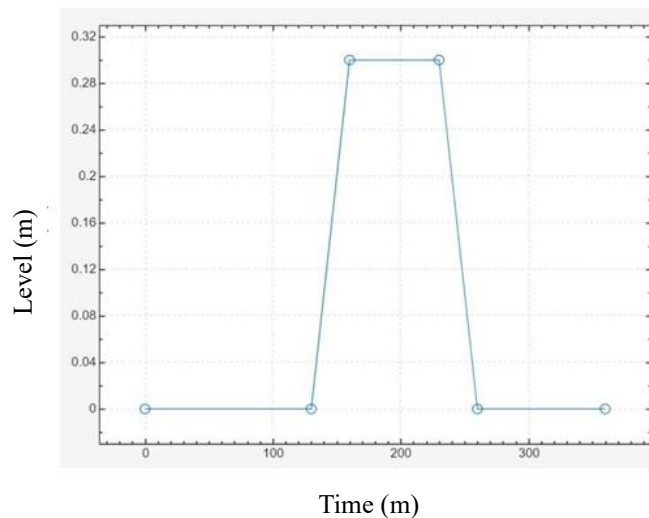


Gambar 3.5 Sinyal kesalahan berbentuk Ramp

Berdasarkan Gambar 3.5, kesalahan diatur untuk diberikan pada rentang waktu ke 150 menit hingga ke 200 menit sebesar 0.5 m.

b. Sinyal kesalahan berbentuk pola pulsa persegi (*square*)

Sinyal *square* merupakan sinyal dengan bentuk gelombang persegi yang menunjukkan perubahan nilai secara tiba-tiba antara dua *level*, yaitu *level* tinggi dan *level* rendah. Sinyal ini digunakan untuk merepresentasikan kesalahan yang terjadi secara mendadak dan bersifat sementara. Salah satu contoh penerapannya adalah untuk menggambarkan gangguan sesaat pada sensor *level*, yang dapat menyebabkan pembacaan nilai *level* cairan menjadi tidak stabil dalam waktu singkat. Desain sinyal ini diatur seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Sinyal Kesalahan Berbentuk *Square*

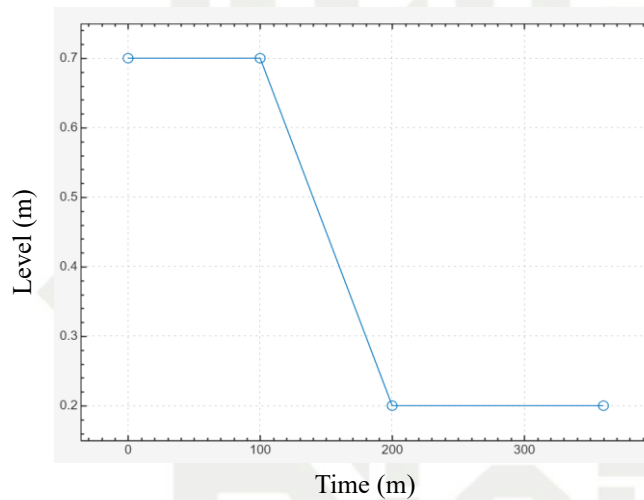
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

Berdasarkan Gambar 3.6, kesalahan diatur untuk diberikan pada rentang waktu 160 menit hingga 230 menit sebesar 0.3 m.

c. Sinyal kesalahan berbentuk ramp terbalik

Sinyal ramp terbalik merupakan sinyal dengan bentuk grafik berupa garis lurus yang menurun secara linear terhadap waktu. Sinyal ini digunakan dalam simulasi untuk merepresentasikan kesalahan yang berkembang secara perlahan namun mengarah pada penurunan nilai. Sebagai contoh, sinyal ini dapat menggambarkan adanya kebocoran kecil yang tidak terdeteksi pada tangki, yang menyebabkan *level* cairan menurun secara bertahap seiring waktu. Desain sinyal ini ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Sinyal Kesalahan berbentuk ramp terbalik

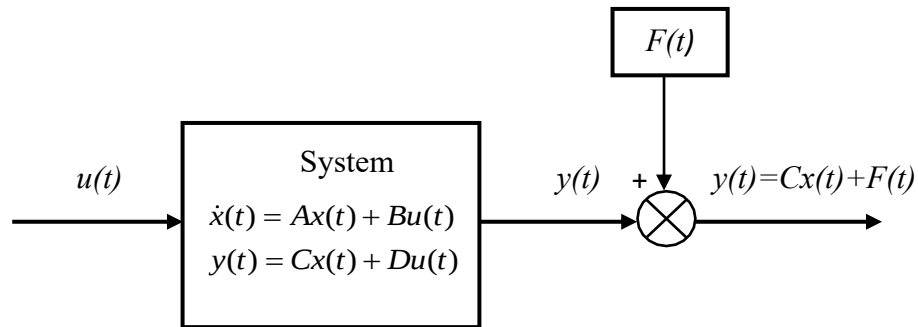
Berdasarkan Gambar 3.7, dapat dilihat bahwa kesalahan diatur untuk diberikan pada rentang waktu 100 menit sampai 200 menit sebesar 0.7 m

Setelah merancang sinyal kesalahan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap sistem *storage tank* yang telah ditambahkan kesalahan, yang dapat dilihat pada berdasarkan Gambar 3.8.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

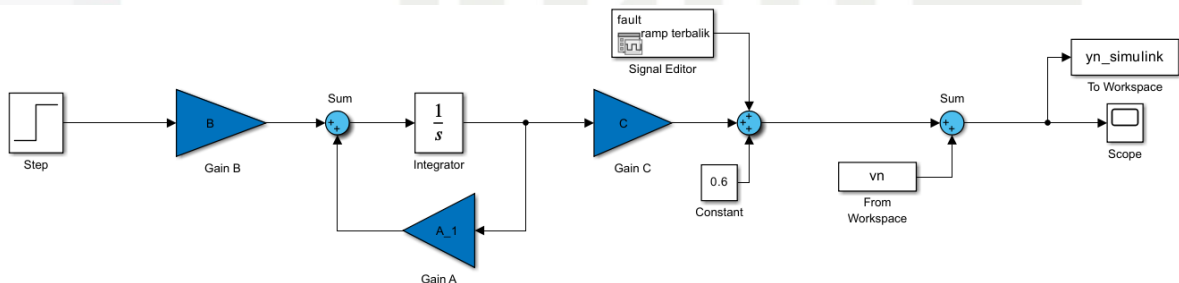
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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



Gambar 3.8 Blok Diagram *Storage Tank* Setelah ditambahkan Kesalahan

Berdasarkan Gambar 3.8, dapat dibuat rangkaian *Simulink* untuk sistem *storage tank* yang telah ditambahkan blok kesalahan, yang dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut :



Gambar 3.9 Rangkaian *Simulink* Sistem *Storage Tank* Setelah Sistem Ditambahkan Kesalahan

Gambar 3.9 menunjukkan rangkaian *Simulink* sistem *storage tank* yang sudah ditambahkan kesalahan, yang akan dijalankan dengan menggunakan algoritma pemrograman 7 seperti dibawah ini :

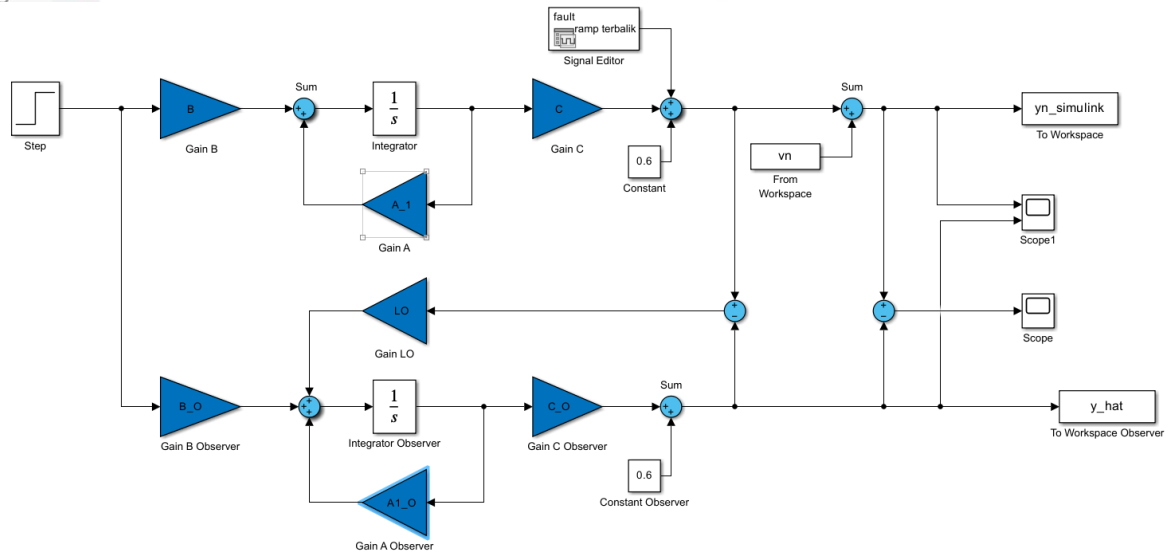
Tabel 3.8 Algoritma Sistem *Storage Tank* setelah Ditambahkan Kesalahan

Algoritma Pemrograman 7
1. Membuat perintah <code>clc</code> ; <code>clear all</code> ; <code>close all</code> ; (untuk membersihkan <i>comand window</i> , menghapus variabel di <i>baseworkspase</i> dan menutup jendela <i>figure</i> yang masih terbuka)
2. Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1), dan waktu akhir (360) dalam satuan menit
3. Mendefinisikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan Tabel 2.1
4. Mendefinisikan kondisi awal sistem : <code>init = 0</code>
5. Mendefinisikan matriks sistem (A_1, B, C, D) yang merujuk persamaan (2.20)
6. Memanggil program <i>simulink</i> matlab “storagetanksytem_Fault”

Algoritma Pemograman 7

7. Plot untuk menampilkan grafik

Setelah berhasil merancang sistem *storage tank* dengan menambahkan blok kesalahan, langkah selanjutnya yaitu menambahkan blok kesalahan pada perancangan desain *Observer*, yang dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Rangkain *Simulink Luenberger Observer* Setelah Sistem Ditambahkan Kesalahan

Sistem *storage tank* dengan menggunakan *Luenberger Observer* yang telah ditambahkan kesalahan dapat dijalankan dengan menggunakan algoritma pemograman 8 sebagai berikut :

Tabel 3.9 Algoritma *Luenberger Observer* setelah Sistem Ditambahkan Kesalahan

Algoritma Pemograman 8	
1.	Membuat perintah <code>clc</code> ; <code>clear all</code> ; <code>close all</code> ; (untuk membersihkan <i>comand window</i> , menghapus variabel di <i>baseworkspase</i> dan menutup jendela <i>figure</i> yang masih terbuka)
2.	Mendefinisikan waktu : waktu mulai (0), waktu sampling (1), dan waktu akhir (360) dalam satuan menit.
3.	Mendefinisikan parameter sistem <i>storage tank</i> berdasarkan Tabel 2.1
4.	Mendefinisikan kondisi awal sistem: <code>init = 0</code>
5.	Mendefinisikan matriks sistem (A_1, B, C, D) yang merujuk persamaan (2.20)



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Algoritma Pemograman 8
6. Mendefinisikan kondisi awal <i>observer</i> : $\text{init_O} = 0$
7. Mendefinisikan matriks <i>observer</i> : $A_O = [A_1]$, $B_O = [B]$, $C_O = [C]$, $D_O = [D]$
8. Mendefinisikan gain <i>observer</i>
9. Memanggil program <i>Simulink</i> matlab “storagetankssystemobserver_Fault”
10. Mendefinisikan residual : $r = y_sys - y_hat$
11. Plot untuk menampilkan grafik

9. Analisis Hasil

Setelah menyelesaikan perancangan dan simulasi, tahap ini bertujuan untuk menganalisis hasil pengujian dan membandingkannya dengan tujuan yang diharapkan.

10. Kesimpulan

Setelah semua tahapan dilaksanakan dan hasil evaluasi menunjukkan bahwa penelitian yang menggunakan *Luenberger Observer* sebagai deteksi kesalahan berhasil, maka dapat ditarik kesimpulan untuk menegaskan gagasan dan dapat dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

3.3 Skenario Penelitian

Dalam penelitian ini, model matematis yang telah berhasil diturunkan disimulasikan menggunakan beberapa skenario yang dimana skenario tersebut menghasilkan satu grafik. Penelitian ini dilakukan pada sistem *storage tank* menggunakan *Luenberger Observer* dengan memasukkan nilai-nilai parameter yang telah didapatkan pada penelitian sebelumnya.

1. Simulasi sistem *storage tank* secara *open loop*
2. Pengujian sistem *storage tank* dengan menambahkan *Luenberger Obeserver* sebagai *state estimator*
3. Pengujian performasi *Luenberger Obeserver* dengan 2 indikator yaitu sensitivitas dan kekokohan
4. Pengujian deteksi kesalahan dengan bentuk sinyal kesalahan ramp, *square*, dan ramp terbalik



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa performa *Luenberger Observer* sebelum mendeteksi kesalahan menunjukkan hasil yang baik. Hal ini dibuktikan melalui dua indikator pengujian, yaitu sensitivitas dan kekokohan. Selain itu, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa *Luenberger Observer* efektif dalam mendeteksi kesalahan pada sistem *storage tank*. Efektivitas ini ditunjukkan melalui tiga jenis sinyal kesalahan, yaitu sinyal *ramp*, *square*, dan *ramp* terbalik. Nilai *residual* yang dihasilkan pada masing-masing jenis sinyal menunjukkan pola perubahan yang konsisten dan sesuai dengan karakteristik kesalahan yang diberikan.

5.2 Saran

Penelitian ini masih berfokus pada aspek simulasi dalam mendeteksi kesalahan menggunakan *Luenberger Observer*. Oleh karena itu, disarankan agar metode ini diimplementasikan secara langsung pada sistem fisik nyata atau setidaknya pada sistem skala laboratorium. Langkah ini bertujuan untuk menguji keandalan dan kinerja metode dalam kondisi operasional yang lebih kompleks dan dinamis, sehingga hasil yang diperoleh dapat lebih aplikatif serta relevan dengan kebutuhan industri.

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



DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Alida and A. P. Anjastara, "P Penentuan Waktu Pemakaian Storage Tank Melalui Analisa Data Hasil Pengukuran Ultrasonic Thickness Pada Tangki Tep-028 Di Stasiun Pengumpul Jemenang Pt Pertamina Ep Asset 2 Field Limau," *Jurnal Teknik Patra Akademika*, vol. 11, no. 02, pp. 26-32, 2020.
- [2] H. Hardiyono, P. Pongky, S. Purwanti, K. Rusba, I. Siboro, and H. E. Putri, "Inspeksi Storage Tank di PT. ABC pada Proyek di PT. XYZ Menggunakan Metode Risk Based Inspection," *Media Bina Ilmiah*, vol. 17, no. 9, pp. 2311-2318, 2023.
- [3] P. Ambrose. "Report: 5 Key Findings from 2019 Tank Farm Explosion, Fire." Hazmat Nation. <https://www.hazmatnation.com/news/report-5-key-findings-from-2019-tank-farm-explosion-fire/> (accessed 26 Oktober, 2024).
- [4] S. Rahmani, S. A. Rosana, and G. H. Tian, "Sistem Kontrol Level Air Dengan Pengontrol PID," *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 10, no. 2, pp. 174-181, 2022.
- [5] F. 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.
- [6] C. Zhou and X. Li, "Fault Detection Method Based on Moving Window Principal Component Analysis for Three-Tank System," in *2017 International Conference on Industrial Informatics-Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration (ICIICIT)*, 2017: IEEE, pp. 280-285.
- [7] Y. Furukawa and M. Deng, "Fault detection of tank-system using ChangeFinder and SVM," in *2020 international conference on advanced mechatronic systems (icamechs)*, 2020: IEEE, pp. 260-265.
- [8] M. Liu, Y. Liao, and X. Li, "Data-Driven Fault Detection of Three-Tank System Applying MWAT-ICA," *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, vol. 25, pp. 659-664, 2020.
- [9] J. Cao, M. U. B. Niazi, M. Barreau, and K. H. Johansson, "Sensor Fault Detection and Isolation in Autonomous Nonlinear Systems Using Neural Network-Based Observers," in *2024 European Control Conference (ECC)*, 2024: IEEE, pp. 7-12.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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



- [10] Y. Yudhi Fariztian, "Performansi Luenberger Observer dalam Mengestimasi Konsentrasi pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2024.
- [11] N. Kurnia Apriyanti, "Performansi Estimasi Kecepatan Sistem Motor Direct Current Menggunakan Luenberger Observer," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2024.
- [12] Y. Al-Mutayeb and M. Almobaied, "Luenberger observer-based speed sensor fault detection of BLDC Motors," in *2021 International Conference on Electric Power Engineering–Palestine (ICEPE-P)*, 2021: IEEE, pp. 1-7.
- [13] A. Rawia, T. Hatem, and K. Jilani, "Fault detection using luenberger observer in a railway system," in *2016 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT)*, 2016: IEEE, pp. 1-6.
- [14] J. Li, Z. Zhang, and B. Li, "Sensor fault detection and system reconfiguration for DC-DC boost converter," *Sensors*, vol. 18, no. 5, p. 1375, 2018.
- [15] A. Sellami and N. Zanzouri, "Fault diagnosis of a vehicular active suspension system by Luenberger observer using bond graph approach," in *2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS)*, 2017: IEEE, pp. 1-8.
- [16] F. Kousar, M. Abid, and A. Q. Khan, "Sensor fault detection in coupled liquid tanks system," in *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, 2012: IEEE, pp. 318-324.
- [17] 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.
- [18] B. S. Hartadi and G. D. Haryadi, "Analisa Corroton Rate Dan Remaining Life Pada High Speed Diesel Shell Storage Tank Dengan Menggunakan Pengukuran Non Destructive Testing," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 132-137, 2016.
- [19] F. Fito Alfarido, "Performansi Luenberger Observer dalam Mengestimasi Level pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2024.
- [20] 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.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

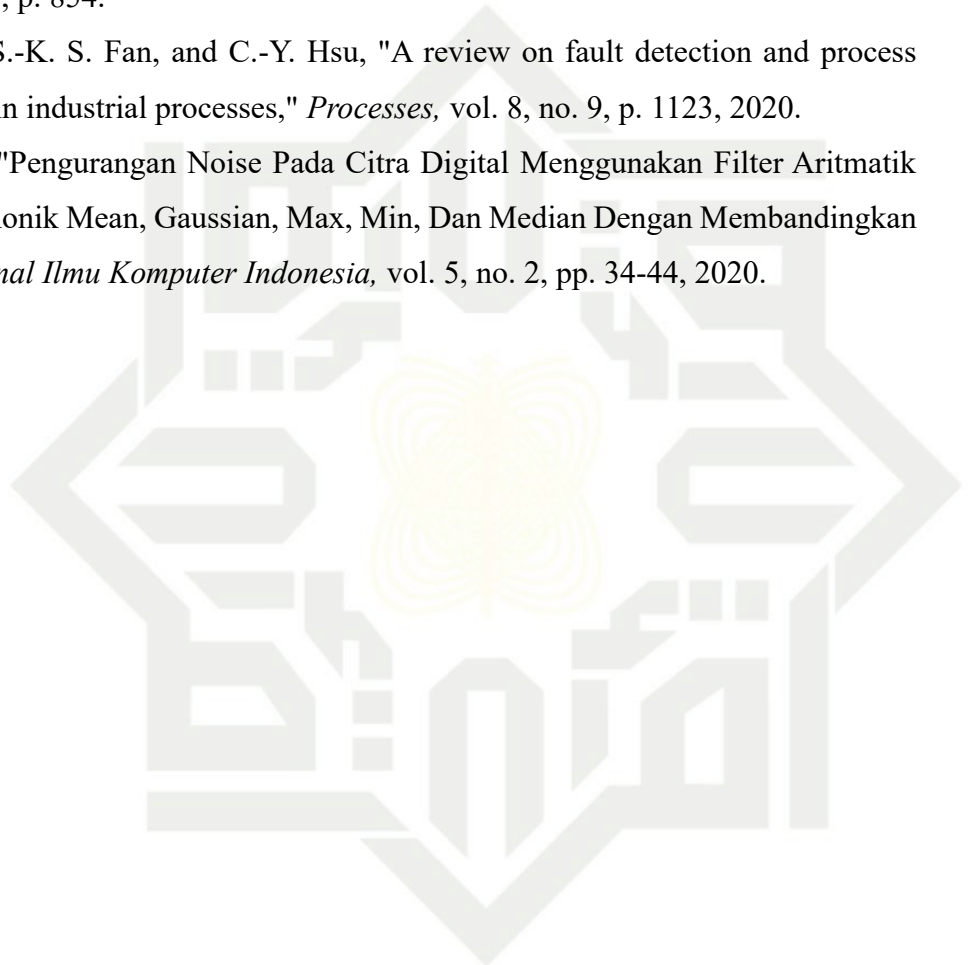
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

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

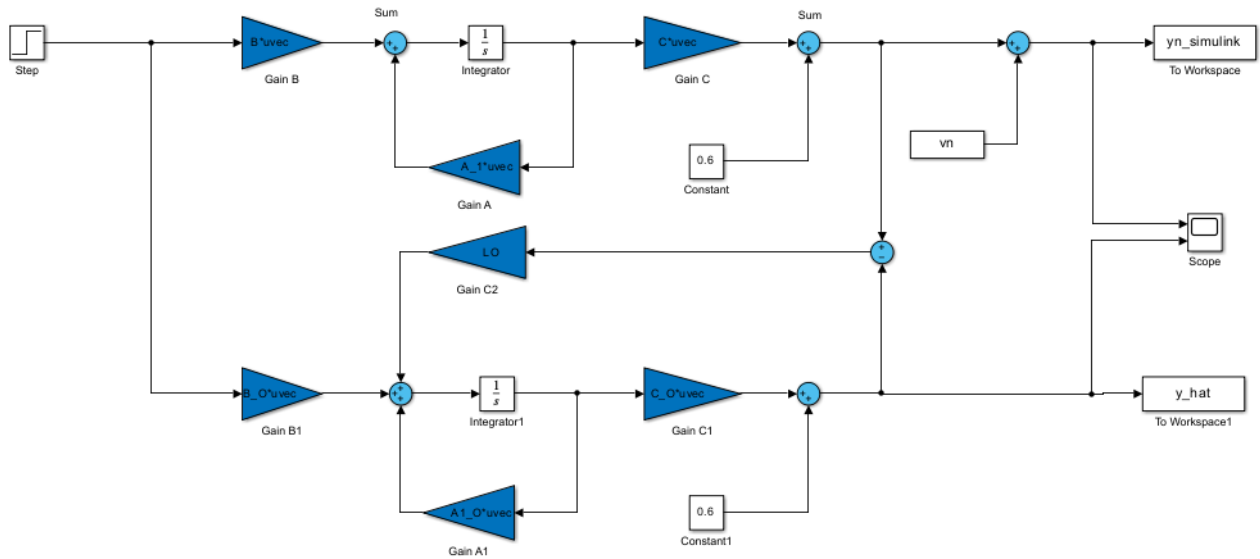
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



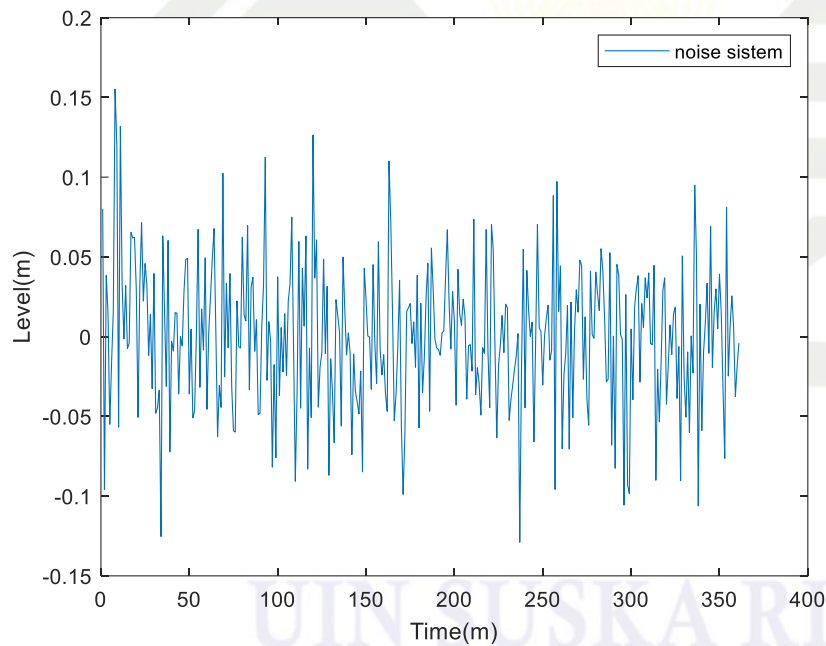
- [21] I. F. Putra, M. Syafwan, M. R. Helmi, and A. Nazra, "Bentuk Eksplisit Rumus Maju dan Beda Mundur untuk Turunan Ke-N Berdasarkan Deret Taylor," *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, vol. 4, no. 3, pp. 1675-1686, 2023.
- [22] A. Rosato, M. S. Piscitelli, and A. Capozzoli, "Data-driven fault detection and diagnosis: research and applications for HVAC systems in buildings," vol. 16, ed: MDPI, 2023, p. 854.
- [23] Y.-J. Park, S.-K. S. Fan, and C.-Y. Hsu, "A review on fault detection and process diagnostics in industrial processes," *Processes*, vol. 8, no. 9, p. 1123, 2020.
- [24] A. Gunadi, "Pengurangan Noise Pada Citra Digital Menggunakan Filter Aritmatik Mean, Harmonik Mean, Gaussian, Max, Min, Dan Median Dengan Membandingkan PSNR," *Jurnal Ilmu Komputer Indonesia*, vol. 5, no. 2, pp. 34-44, 2020.



LAMPIRAN



Gambar 1 Rangkaian *Luenberger Observer* setelah Sistem ditambahkan *Noise*



Gambar 2 *Noise* Pengukuran 6%

- Hal 1.1
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- b. Penguasaan untuk menguraikan permasalahan yang wajar UIN Suska Riau.

ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Sitri Permata Sari lahir di Payakumbuh, Provinsi Sumatera Barat, pada tanggal 12 Juli 2002, anak ketiga dari pasangan Bapak Marsil dan Ibu Suharni, serta memiliki dua orang saudara. Penulis tinggal di Cubadak Aia, Kecamatan Payakumbuh Utara, Kota Payakumbuh. Pendidikan formal dimulai di PAUD Balai Jariang dan diselesaikan pada tahun 2008. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan dasar di SD Negeri 38 Kelurahan Balai Jariang dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun yang sama, penulis diterima di SMP Negeri 2 Kaning

Bukik dan berhasil menyelesaikan pendidikan menengah pertama tersebut pada tahun 2018. Kemudian, penulis melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Nan Kodok dengan peminatan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), dan lulus pada tahun 2021. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan studi di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi. 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 menjadi 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 **“Deteksi Kesalahan Menggunakan Luenberger Observer pada Sistem Storage Tank”**

NO HP : 0858-3045-9108

Email : Sitripermatasari30@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.