

SKRIPSI

**KENDALI MODE LUNCUR PADA SISTEM SUSPENSI
AKTIF DENGAN SIMULASI MATLAB**



DEWI ROHMAWATI
21106010006
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2025

KENDALI MODE LUNCUR PADA SISTEM SUSPENSI AKTIF DENGAN SIMULASI MATLAB

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan

mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Matematika



diajukan oleh

DEWI ROHMAWATI

21106010006

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Kepada

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2025



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Dewi Rohmawati

NIM : 21006010006

Judul Skripsi : Kendali Mode Luncur Pada Sistem Suspensi Aktif Dengan Simulasi
MATLAB

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Matematika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 07 Februari 2025

Pembimbing

Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, S.Si., M.Si

NIP. 19800402 200501 1 003



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-394/Un.02/DST/PP.00.9/03/2025

Tugas Akhir dengan judul : Kendali Mode Luncur pada Sistem Suspensi aktif dengan Simulasi MATLAB

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : DEWI ROHMAWATI
Nomor Induk Mahasiswa : 21106010006
Telah diujikan pada : Selasa, 25 Februari 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang/Penguji I

Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 67c52126ebbd1



Penguji II

Pipit Pratiwi Rahayu, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 67c5246ee5590



Penguji III

Dr. Sugiyanto, S.Si., ST., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 67be5700882df



Yogyakarta, 25 Februari 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 67c555b3ed00a

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dewi Rohmawati

NIM : 21106010006

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini menyatakan bahwa isi skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi dan sesungguhnya skripsi ini merupakan hasil pekerjaan penulis sendiri sepanjang pengetahuan penulis, bukan duplikasi atau saduran dari karya orang lain kecuali bagian tertentu yang penulis ambil sebagai bahan acuan. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.


Yogyakarta, 07 Februari 2025



Dewi Rohmawati

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN



Karya tulis ini dipersembahkan kepada Alm Bapak dan Mamak. Orang terhebat yang selalu menjadi inspirasi. Seseorang yang tidak akan berhenti memberikan doa, dukungan serta kasih sayang dengan penuh cinta.

Karya tulis ini dipersembahkan juga kepada keluarga dekat dan almamater penulis yaitu Universitas Islam

Negeri Sunan Kalijaga

HALAMAN MOTTO



”Jangan samakan prosesmu dengan orang lain, karena bunga tak akan bisa tumbuh secara bersama-sama. Ingat orangtua yang senantiasa menantikan kepulangan anaknya dengan hasil terbaik. Simpan keluhan kesahmu karena letihmu tak sebanding dengan perjuangan mereka.”

Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Akan tetapi Allah berjanji bahwa Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan {QS. Al Insyirah 94:6}

PRAKATA

Allhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, serta hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Kendali mode luncur pada sistem suspensi aktif dengan simulasi MATLAB". Penulisan skripsi ini diselesaikan sebagai salah satu prasyarat mencapai gelar Sarjana Matematika.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini terdapat banyak hambatan dan halangan. Namun berkat adanya motivasi, bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak, *alhamdulillah* skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Dr. Epha Diana Supandi, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Matematika.
3. Sri Utami Zuliana, S.Si., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan pengarahan kepada penulis selama menempuh pendidikan.
4. Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan ilmu bermanfaat dan memberikan pelayanan administrasi akademik.

6. Orang tua tercinta yaitu Almarhum Bapak Thoyib dan Ibu Siti Juwariyah yang selalu memberikan kasih sayang, nasehat, semangat serta memanjatkan doa-doa terbaiknya sehingga penulis bisa sampai dititik ini. Terimakasih yang tak terhingga, untuk sosok ayah tercinta yang selalu menjadi inspirasi penulis dapat berdiri sejauh ini. Meski tak lagi disini, kenangan maupun nasehatnya selalu tersimpan dalam hati. Tidak lupa terimakasih juga untuk sosok ibu tercinta yang mampu mengorbankan seluruh tenaga dan keringatnya hingga penulis berhasil memperoleh gelar sarjana. Saya persembahkan karya tulis sederhana ini untuk kalian dari putri kecilmu yang sudah ditahap pendewasaan dengan mimpi-mimpi besar dalam angannya.
7. Kakak penulis yaitu Agus Syaifulloh atas doa-doa tulus serta support yang telah diberikan selama menjalani perkuliahan ini.
8. Teman terdekat penulis Nawa Lailaturrohmah, Faiqotul Muna, dan Lailatul Ulla Safitri yang berperan mendukung, mendengarkan keluh kesah, memberi semangat, pikiran, serta waktu dalam mengerjakan penyusunan skripsi ini. Terimakasih atas dedikasi kalian selama ini membersamaai penulis hingga detik ini.
9. Seluruh teman-teman seperjuangan konsentrasi terapan angkatan 2021. Terutama teman-teman seperbimbingan yaitu Ratna, putri, dan vizona.
10. Seluruh teman-teman seperjuangan Program Studi Matematika angkatan 2021.
11. Keluarga besar HMPS Matematika UIN Sunan Kalijaga periode 2022 dan periode 2023. Terutama untuk devisi Cyber Space 2022 dan devisi Jaringan Eksternal 2023.

12. Keluarga besar pondok pesantren Al-Barokah terutama anggota kamar Hindun serta pengurus Madrasah Diniyah Al Barokah yang senantiasa member-samaai dalam senang dan pahitnya selama menempuh perkuliahan.
13. Dewi Rohmawati, terimakasih untuk diri saya sendiri yang telah bekerja keras dan berjuang sejauh ini. Tidak pernah memutuskan untuk menyerah dalam proses penyusunan skripsi dengan menyelesaikan semaksimal mungkin. Hal ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.
14. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan yang secara langsung maupun tidak langsung membantu terselesaikannya skripsi ini.

Semoga Allah SWT memberi balasan kebaikan serta keikhlasan berbagai pihak kepada penulis. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Untuk itu, Penulis juga berharap kritik dan saran yang membangun sehingga dapat menyempurnakan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua yang membacanya.

Yogyakarta, 06 Februari 2025

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMBANG	xv
INTISARI	xvii
ABSTRACT	xviii
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Batasan Masalah	5
1.3. Rumusan Masalah	5
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	7
1.6. Tinjauan Pustaka	7
1.7. Metode Penelitian	8
1.8. Sistematika Penulisan	11
II DASAR TEORI	12

2.1. Sistem Kendali	12
2.1.1. Sistem Suspensi	14
2.1.2. Pembentukan Model Suspensi	17
2.1.3. Suspensi Seperempat Mobil	21
2.2. Pemodelan Sistem Kendali	25
2.2.1. Pemodelan Ruang Keadaan (<i>State Space</i>)	26
2.2.2. Keterkendalian Sistem	32
2.2.3. Kestabilan Sistem	35
2.2.4. Fungsi Lyapunov	37
2.3. Kendali Optimal <i>Linear Quadratik Regulator (LQR)</i>	39
2.4. Kendali Mode Luncur (<i>Sliding Mode Control</i>)	41
III PEMBAHASAN	45
3.1. Kestabilan Sistem	45
3.2. Pengaturan Linear Kuadratik	49
3.3. Kendali Mode Luncur	53
3.4. Pembentukan Modal Suspensi dan Kendalinya	58
3.4.1. Pemodelan Matematika Sistem Suspensi Aktif	58
3.4.2. Pembentukan Kendali Mode Luncur	64
IV SIMULASI PADA SISTEM SUSPensi	73
4.1. Sistem Suspensi Pasif	74
4.2. Sistem Suspensi Aktif	75
4.2.1. Sistem <i>Linear Quadratik Regulator (LQR)</i>	75
4.2.2. Sistem Kendali Mode Luncur (<i>Sliding Mode Control</i>)	79
4.2.3. Respon Hasil Simulasi	80
V PENUTUP	95
5.1. Kesimpulan	95

5.2. Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	100
A SIMULASI GRAFIK SISTEM SUSPENSIF PASIF DENGAN APLIKA- SI MATLAB	100
B SIMULASI GRAFIK SISTEM SUSPENSIF SKEMA LQR DENGAN APLIKASI MATLAB	102
C SIMULASI GRAFIK SISTEM SUSPENSIF SKEMA SMC DENGAN APLIKASI MATLAB	104
D SIMULASI GRAFIK PADA KETIGA SISTEM SUSPENSIF DENGAN APLIKASI MATLAB	107
E SIMULASI MATRIKS GAIN K DAN NILAI EIGEN DENGAN APLI- KASI MATLAB	110
Curriculum Vitae	112

DAFTAR TABEL

4.1 Hasil Respon Terhadap Gangguan Pertama	88
4.2 Hasil Respon Terhadap Gangguan Kedua	88
4.3 Hasil Respon Simulasi Kedua Terhadap Gangguan Pertama	94
4.4 Hasil Respon Simulasi Kedua Terhadap Gangguan Kedua	94

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

1.1 Skema Metode Penelitian	10
2.1 Diagram Input-Output	13
2.2 Loop Terbuka Sistem	13
2.3 Loop Tertutup Sistem	14
2.4 Skema Sistem Suspensi Aktif (Sumber: Carbajal, 2011)	16
2.5 Skema Sistem Suspensi Pasif (Sumber: Carbajal, 2011)	17
2.6 Diagram Langkah-Langkah Pemodelan Matematika	18
2.7 Model Suspensi Seperempat Mobil	22
3.1 Suspensi Aktif (Sumber: Carbajal, 2011)	58
4.1 Respon Sistem Terhadap Travel Suspensi	81
4.2 Respon Sistem Terhadap Defleksi Roda	84
4.3 Respon Sistem Terhadap Percepatan Getar Badan Mobil	85
4.4 Respon Sistem Terhadap Percepatan Getar Roda Mobil	87
4.5 Respon Sistem Simulasi Kedua Terhadap Travel Suspensi	90
4.6 Respon Sistem Simulasi Kedua Terhadap Defleksi Roda	92
4.7 Respon Sistem Simulasi Kedua apabila Koefisien Redaman Diperkecil	93

DAFTAR LAMBANG

$x(t)$: Vektor keadaan sistem (<i>state space</i>)
$u(t)$: Vektor kendali (vektor masukan)
$y(t)$: Vektor keluaran
\mathbb{R}^n	: Himpunan semua vektor dengan n entri real
F	: Gaya
a_1	: Perpindahan (gerak vertikal) massa <i>sprung</i>
a_2	: Perpindahan (gerak vertikal) massa <i>unsprung</i>
m_s	: Massa <i>Sprung</i> (Massa bodi kendaraan)
m_{us}	: Massa <i>Unsprung</i> (Massa roda kendaraan)
c	: Koefisien Redaman (Peredam kejut suspensi)
C_a	: Koefisien Redaman
k	: Koefisien pegas
k_s	: Konstanta pegas <i>sprung</i> atau bodi suspensi
k_{us}	: Konstanta pegas <i>unsprung</i> dari roda dan ban
r	: Gangguan permukaan profil jalan
\mathbb{R}	: Matriks simetris real positif definit
\mathbb{Q}	: Matriks simetris real positif definit atau positif semi definit
\mathbb{R}^m	: Himpunan semua vektor dengan m entri real
A	: Ruang Matriks berdimensi $m \times n$
B	: Ruang Matriks berdimensi $m \times n$
λ	: Nilai Eigen

x_e	:	Titik ekuilibrium sistem
\dot{x}	:	Turunan fungsi x terhadap waktu t atau $\frac{dx}{dt}$
u	:	Sinyal kendali
\dot{y}	:	Kecepatan benda
\ddot{y}	:	Percepatan benda
b	:	Damper kendaraan
$Rank(\mathbb{A})$:	Rank matriks A
$det(\mathbb{A})$:	Determinan matriks A
$Im(\mathbb{A})$:	Ruang kolom dari A
$\sigma(x)$:	vektor kolom terdiri dari fungsi skalar
$\sigma_i(x)$:	kondisi untuk mendeteksi suatu sistem kendali
S	:	matriks konstanta dengan dimensi $m \times n$
C	:	Matriks penentu jenis luncur
K	:	Matriks kontrol sehingga sistem tetap berada pada permukaan luncur
J	:	Indeks performa (fungsi biaya minimum)

INTISARI

KENDALI MODE LUNCUR PADA SISTEM SUSPensi AKTIF DENGAN SIMULASI MATLAB

Oleh

DEWI ROHMAWATI

21106010006

Sistem suspensi terdapat dua macam yaitu sistem suspensi pasif dan sistem suspensi aktif. Dalam mengaplikasikan sistem suspensi pasif pada mobil terdiri dari pegas dan redaman. Sedangkan sistem suspensi aktif terdiri dari komponen pasif dan aktuator gaya yang berfungsi menyuplai energi suatu sistem sehingga menghasilkan gerak relatif yang mampu menghasilkan keamanan dan kenyamanan dalam berkendara. Banyaknya skema sistem suspensi yang bisa digunakan untuk mendapatkan performa terbaik. Penelitian ini menyajikan konsep dasar sistem kendali dan penerapan masalah sistem kendali. Penelitian ini melakukan perbandingan sistem suspensi pasif dan sistem suspensi aktif dengan 2 skema yaitu *Linear Quadratik Regulator* (LQR) dan *Sliding mode control* (SMC). Sistem kendali dimodelkan dalam bentuk sistem seperempat mobil dan metode yang digunakan dalam analisis kestabilan sistem adalah metode Lyapunov. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai C_a (koefisi redaman) berpengaruh pada kestabilan sistem.

Kata kunci : Sistem kendali, Sistem Suspensi *Linear Quadratik Regulator* (LQR), *Sliding Mode Control* (SMC), Simulasi MATLAB.

ABSTRACT

SLIDING MODE CONTROL IN ACTIVE SUSPENSION SYSTEM WITH MATLAB SIMULATION

By

DEWI ROHMAWATI

21106010006

The suspension system consists of two types: passive suspension and active suspension. In the application of passive suspension in cars, it consists of springs and dampers. Meanwhile, the active suspension system includes both passive components and force actuators that supply energy to the system, resulting in relative motion that enhances safety and comfort while driving. There are various suspension system schemes that can be used to achieve optimal performance. This research presents the basic concepts of control systems and the application of control system problems. This research compares passive suspension system and active suspension system with 2 schemes namely Linear Quadratic Regulator (LQR) and Sliding Mode Control (SMC). The control system is modeled in the form of a quarter car system and the method used in analyzing the stability of the system is the Lyapunov method. The results of this study show that the value of C_a (damping coefficient) affects the stability of the system.

Keyword : Control System, *Linear Quadratic Regulator (LQR)*, Suspension System, *Sliding Mode Control (SMC)*, MATLAB Simulation

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Alat transportasi darat yang digunakan manusia dalam kegiatan sehari-hari salah satunya adalah mobil. Mobil digunakan manusia untuk perjalanan dengan tujuan memperoleh kenyamanan dan keamanan ketika berkendara. Pada sebuah kendaraan terdapat sistem yang memiliki fungsi atas waktu yang disebut fungsi *input* atau fungsi *output*. Sehingga dapat diketahui bahwa suatu sistem akan berpengaruh terhadap lingkungan sekitar. Oleh karena itu, sistem kendali pada kendaraan mobil sangat penting untuk menstabilkan sistem. Hal ini dibahas dalam Al-Quran yang berkaitan dengan kestabilan suatu sistem dalam kehidupan. Dalam Al-Quran surat *Yunus ayat 5* Allah SAW berfirman:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

Artinya: "Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya. Dialah pula menetapkan tempat-tempat orbitnya agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan demikian itu, kecuali dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada kaum yang mengetahui." (Q.S Yunus : 5)

Tafsiran yang selaras dengan masalah tersebut dapat dikuatkan dengan surat *Ar Rohman ayat 5* Allah SAW berfirman:

الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ بِحُسْبَانٍ ﴿٥﴾

Artinya:” Matahari dan bulan (beredar) sesuai dengan perhitungannya.” (Q.S Ar Rahman : 5)

Dalam ayat-ayat tersebut menjelaskan bahwa setiap sistem yang ada di dunia tidak terlepas dari berbagai instrumen penyusunnya. Dalam konteks alam semesta, terdapat sistem yang dikenal dengan tata surya. Di dalamnya terdapat banyak instrumen penyusun, seperti matahari yang berfungsi sebagai poros utama, planet-planet, garis edar, orbit, dan lain sebagainya. Keberadaan tata surya, bagi masyarakat muslim, merupakan tanda kebesaran Allah Swt. Selain itu, terdapat istilah yang disebut dengan sunnatullah, atau dalam bahasa sederhana disebut dengan hukum sebab akibat. Sehingga muncul pemahaman bahwa waktu siang untuk bekerja dan waktu malam untuk istirahat. Hal ini mungkin bisa dikaitkan dengan sistem yang berkaitan dengan sistem kendali, di mana setiap instrumennya punya fungsi dan tujuan masing-masing. Dengan hasil akhir bahwa sistem dapat terkendali dan stabil.

Dalam sistem di sebuah kehidupan tidak akan terlepas dengan yang namanya sistem kendali. Oleh karena itu, sistem kendali merupakan rangkaian komponen pada sistem yang akan dihubungkan sedemikian sehingga perubahan sistem sesuai dengan yang diinginkan. Pada setiap sistem mobil terdapat sistem suspensi yang bertujuan untuk meredam gangguan-gangguan yang terjadi pada mobil ketika permukaan jalan tidak rata. Sehingga sistem suspensi juga bertujuan untuk memberikan kenyamanan pada sistem ketika dijalankan.

Terdapat beberapa karakteristik performansi pada sebuah sistem diantaranya adanya pengaturan pegas, pengaturan redaman, pengaturan gerak suspensi, pengaturan gerak mobil, dan beberapa pengaturan gaya yang akan dihasilkan oleh sistem.

Ketika pada jalan yang berbelok, sistem akan memberikan gaya sehingga terjadi kenyamanan. Gerakan atau gaya yang akan dihasilkan sistem harus seimbang dan tidak berlebih pada gerakan simpangan. Oleh karena itu, pengemudi mobil tidak akan terganggu.

Sistem suspensi terbagi menjadi dua yaitu sistem suspensi pasif dan sistem suspensi aktif. Ketika banyak orang yang belum mengenal sistem suspensi aktif, maka sistem suspensi pasif digunakan untuk mengoptimisasi sistem karena memiliki karakteristik yang optimal. Perlu diketahui bahwa terdapat dua komponen penyusun sistem suspensi pasif yaitu pegas dan redaman. Tujuan adanya komponen tersebut pada sistem suspensi pasif adalah mengenalkan dan membatasi kecepatan sistem pada suatu laju tertentu.

Perbedaan sistem suspensi pasif dan sistem suspensi aktif terdapat pada tiga komponen penyusun yaitu pegas, redaman, dan aktuator gaya. Aktuator gaya pada sistem suspensi aktif akan menghasilkan energi, sehingga menghasilkan gerak yang relatif saat terjadi gangguan terhadap permukaan jalan. Hal ini mengakibatkan penumpang tidak merasakan gangguan tersebut dan terjadi peningkatan keamanan dalam mengemudi.

Pada penelitian ini, metode pengendalian yang digunakan pada sistem suspensi aktif diantaranya *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dan *Sliding Mode Control (SMC)*. Dengan membandingkan kedua skema sistem suspensi aktif yang mampu menstabilkan dan memberi kendali terhadap pengaruh gangguan permukaan profil jalan. Pada pemodelan suspensi terdapat beberapa jenis sesuai kebutuhan kendaraan seperti seperempat kendaraan (*half car*), setengah kendaraan (*quarter car*), dan kendaraan penuh (*full car*). Akan tetapi, pada dasarnya penelitian ini terbatas dengan sistem suspensi seperempat kendaraan dengan diketahui performa pengaruh

pada gerakan horisontal sistem suspensi.

Kestabilan pada sistem merupakan hal yang penting pada sebuah kendaraan. Sehingga pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menstabilkan sistem dengan menggunakan fungsi Lyapunov. Apabila sistem bergesekan dengan permukaan jalan yang menghasilkan gangguan-gangguan maka dilakukan kestabilan sistem. Adapun faktor yang menyebabkan adanya getaran atau gangguan pada suspensi adalah profil permukaan jalan (Reni Sundari, 2017).

Linear Quadratik Regulator (LQR) merupakan metode sistem kendali dengan melibatkan persamaan keadaan (*state space*). Pada masalah sistem kendali metode *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dapat diselesaikan dengan menentukan kendali umpan balik yang meminimumkan indeks performansi. Desain pada *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dapat dijabarkan dengan rentang waktu tak terhingga sehingga dapat dicari dengan persamaan Ricatti (Ezhari Asfa'ani, 2024).

Sliding Mode Control (SMC) merupakan metode sistem kendali umpan balik berkecepatan tinggi yang efektif dan kokoh (Perruquetti, 2002). Pada *Sliding Mode Control (SMC)* tersusun dari komponen penting yaitu permukaan luncur dan sinyal kendali. Dengan kinerja pengendalian ditentukan oleh permukaan luncur. Kendali mode luncur efektif digunakan untuk masalah sistem dinamik yang kompleks misalnya terdapat gangguan-gangguan permukaan jalan yang mengakibatkan getaran pada sistem.

Sliding Mode Control (SMC) pertama kali dikenalkan (Utkin, 2017). *Sliding Mode Control (SMC)* merupakan pengembangan konsep teori kendali yang memiliki sifat kokoh dan memiliki struktur yang sederhana terhadap gangguan permukaan jalan. *Sliding Mode Control (SMC)* terus dikembangkan seiring berjalannya waktu. Salah satu pengembangan adalah dengan menggunakan simulasi MATLAB. Kemu-

dian ada beberapa peneliti yang membandingkan performa beberapa teori kendali seperti teori kendali dengan metode *Sliding Mode Control (SMC)* dan *Linear Quadratik Regulator (LQR)*. Berikut tesis yang dibuat Andi Rahadi tersebut, sekaligus menjadi rujukan utama penulis dalam pembuatan skripsi ini.

Skripsi ini memperkenalkan konsep dasar sistem kendali dengan menstabilkan sistem. Dengan membandingkan pada performa sistem suspensi aktif, *Linear Quadratik Regulator (LQR)*, serta *Sliding Mode Control (SMC)*. Kemudian diakhiri penerapan simulasi pertama maupun simulasi kedua pada sistem dengan menggunakan aplikasi MATLAB. Akan diperoleh hasil perbandingan yang lebih efektif dan efisien bagi pengendara.

1.2. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah model kendaraan sistem suspensi yang digunakan hanya terbatas pada sistem suspensi seperempat kendaraan dengan asumsi semua roda itu simestris. Selanjutnya digunakan metode fungsi Lyapunov untuk menstabilkan sistem suspensi. Pada akhirnya akan diperoleh perbandingan performa pada sistem pasif, *Linear Quadratik Regulator (LQR)*, serta *Sliding Mode Control (SMC)*. Sistem suspensi tersebut akan di simulasi dengan menggunakan aplikasi MATLAB untuk menentukan performa yang terbaik dan efisien.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan batasan masalah yang telah diuraikan di atas, kemudian dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana konsep dasar tentang sistem kendali?

2. Bagaimana pemodelan matematika pada sistem suspensi aktif, sistem suspensi pasif, maupun sistem suspensi seperempat mobil?
3. Bagaimana konsep dasar sistem suspensi pada *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dan *Sliding Mode Control (SMC)*?
4. Bagaimana mengetahui perbandingan kestabilan suatu sistem pada metode *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dan *Sliding Mode Control (SMC)* dengan simulasi menggunakan aplikasi MATLAB?

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penulis dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui konsep dasar sistem kendali pada suspensi serta menstabilkan suatu sistem.
2. Mempelajari tentang konsep dasar tentang sistem kendali terutama pada kendali optimal *Linear Quadratik Regularor (LQR)* dan *Sliding Mode Control (SMC)*.
3. Mengetahui tentang penerapan dan pemodelan matematika pada sistem suspensi seperempat mobil.
4. Membandingkan performa sistem suspensi pasif dan sistem suspensi aktif dengan skema *Linear Quadratik Regularor (LQR)* dan *Sliding Mode Control (SMC)*.
5. Mengetahui parameter yang mempengaruhi kestabilan sistem dengan simulasi MATLAB.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan pemahaman tentang konsep dasar sistem kendali suspensi aktif dan suspensi pasif.
2. Memberikan pemahaman tentang pemodelan matematika sistem suspensi aktif dan sistem suspensi pasif.
3. Memberikan pemahaman tentang pemodelan matematika pada sistem suspensi seperempat mobil.
4. Memberikan pemahaman tentang konsep dasar serta pemodelan matematika dari metode *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dan *Sliding Mode Control (SMC)*.
5. Memberikan gambaran tentang penerapan atau simulasi program MATLAB pada metode *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dan *Sliding Mode Control (SMC)*.

1.6. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka digunakan penulis sebagai acuan yang terdapat pada landasan teori dalam penulisan skripsi yang bersumber dari buku, makalah, jurnal, dan skripsi.

1. Tesis karya (Rahadi, 2020) dengan judul ***Kendali Mode Luncur Pada Sistem Suspensi Aktif Dengan Simulasi MATLAB*** membahas sistem suspensi yaitu sistem suspensi aktif dan sistem suspensi pasif. Penelitian ini menggunakan

beberapa metode kendali salah satunya membandingkan metode *Linear Quadratik Regulator* dan metode kendali mode luncur dengan batasan bahwa sistem yang digunakan merupakan sistem suspensi seperempat mobil dengan menggunakan simulasi MATLAB untuk mengetahui efesiensi kestabilan sistem.

2. Jurnal karya (Yahaya, 2004) dengan judul *A class of proportional-integral sliding mode control with application to active suspension system* membahas tentang pengendalian sistem dengan strategi menggunakan skema sistem kendali mode luncur dan skema Linear Quadratik Regulator untuk membuktikan keefektifan suatu sistem.
3. Buku karya (Utkin, 2017) dengan judul *Sliding Mode Control in Engineering* membahas tentang dasar-dasar kendali mode luncur (*Sliding Mode Control*). Pada buku ini membahas langkah-langkah dalam menstabilkan sistem menggunakan kendali mode luncur *Sliding Mode Control*.
4. Buku karya (Goodwin, 2000) dengan judul *Control Systems Design* pada buku tersebut terdapat bab yang membahas tentang dasar-dasar *Linear Quadratik Regulator (LQR)* serta diketahui pula langkah-langkah menstabilkan sistem dengan fungsi Lyapunov. Akan tetapi dalam buku tersebut juga membahas tentang sistem kendali.

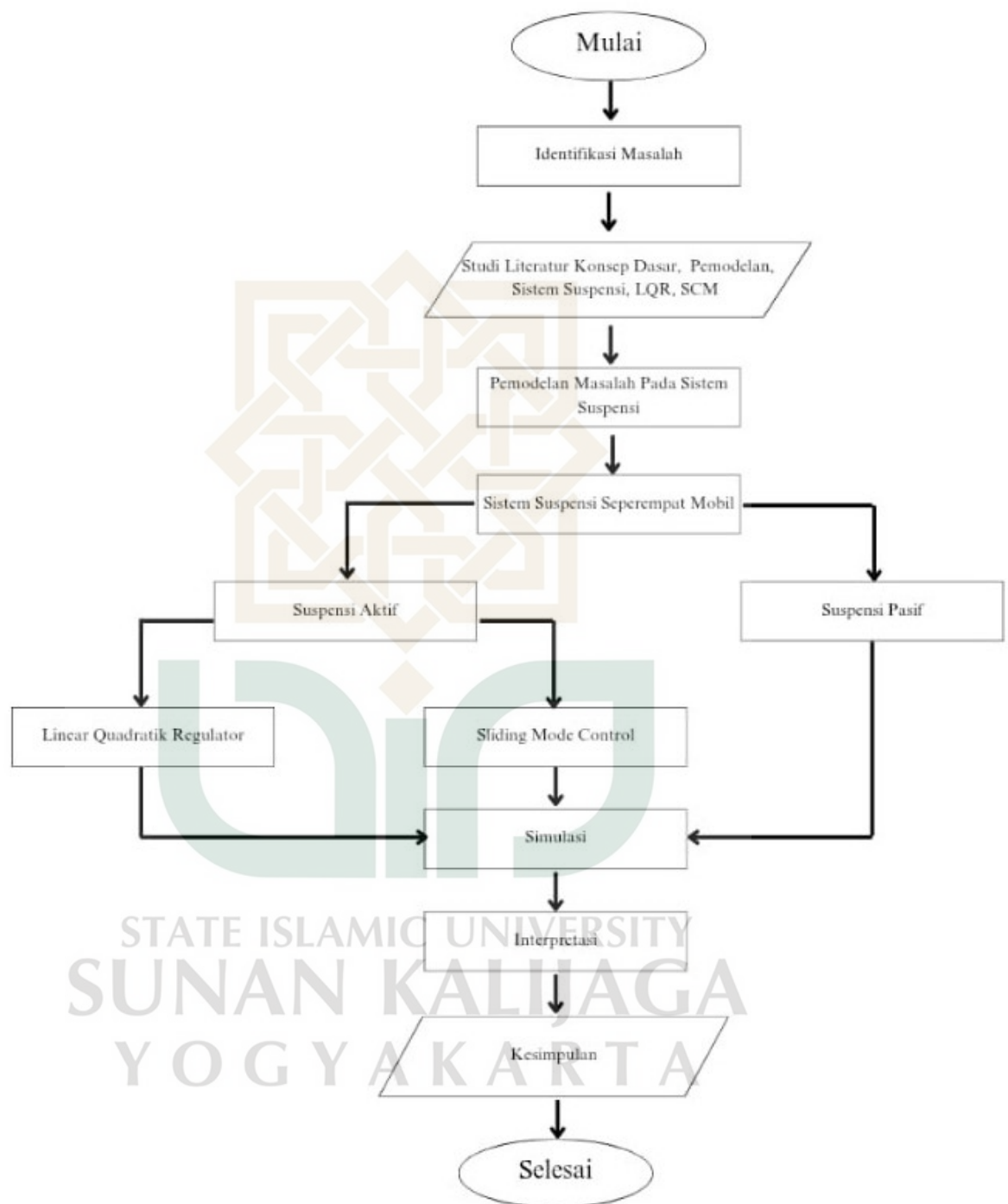
1.7. Metode Penelitian

Penelitian ini penulis menggunakan metode studi literatur. Studi literatur diambil dari buku-buku referensi, jurnal-jurnal terkait topik penelitian yaitu; konsep dasar sistem kendali, memodelkan sistem suspensi aktif dan suspensi pasif, memodelkan sistem suspensi seperempat mobil, menstabilkan sistem, *Linear Quadratik*

Regulator (LQR), kendali mode luncur (*sliding mode control*). Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan ini adalah:

1. Membahas konsep dasar dari sistem kendali, *Linear Quadratik Regulator (LQR)*, kendali mode luncur (*sliding mode control*) dan sedikit pengenalan program MATLAB.
2. Membahas konsep dasar yang ada pada pemodelan matematika terhadap sistem suspensi.
3. Membahas konsep dasar tentang sistem suspensi seperempat kendaraan dengan metode *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dan kendali mode luncur (*sliding mode control*) .
4. Mengetahui penerapan dengan simulasi metode sistem suspensi menggunakan aplikasi MATLAB.
5. Mengetahui perbandingan performa kestabilan sistem, keamanan, maupun kenyamanan kendaraan melalui skema sistem suspensi aktif dengan metode *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dan kendali mode luncur (*sliding mode control*)

Berikut alur yang digunakan penulis dalam penyusunan skripsi sehingga akan diperoleh *flowcart* sebagai berikut.



Gambar 1.1 Skema Metode Penelitian

1.8. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini Kendali terbagi menjadi lima bab, yaitu sebagai berikut:

- BAB 1** : Bab ini membahas tentang latar belakang masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, tinjauan pustaka, metode penelitian, dan sistematika penulisan.
- BAB 2** : Bab ini memuat penjelasan tentang dasar sistem kendali yaitu sistem suspensi, pembentukan model suspensi, dasar sistem suspensi sepermepat mobil, pemodelan ruang keadaan (*state space*), Kestabilan sistem, fungsi Lyapunov. Membahas konsep dasar kendali optimal *Linear Quadratik Regulator (LQR)*, kendali mode luncur (*sliding mode control*), pengenalan program MATLAB
- BAB 3** : Bab ini membahas tentang menstabilkan sistem suspensi aktif sepermepat mobil dengan perbandingan metode yaitu *Linear Quadratik Regulator (LQR)*, kendali mode luncur (*sliding mode control*) dengan simulasi MATLAB.
- BAB 4** : Bab ini membahas simulasi sistem suspensi pasif, sistem kendali dengan metode *Linear Quadratik Regulator (LQR)* dan sistem kendali *sliding mode control (SMC)* dengan aplikasi MATLAB. Serta adanya perbandingan simulasi yang berguna untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh pada sistem suspensi.
- BAB 5** : Bab ini berisikan tentang kesimpulan penelitian dan saran dari penulis terhadap pengembangan penelitian.

BAB V

PENUTUP

Bab penutup ini akan diberikan kesimpulan dan saran-saran yang dapat diambil berdasarkan materi-materi yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya.

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil penulis setelah menyelesaikan pembuatan skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Perbedaan antara sistem suspensi aktif dan sistem suspensi pasif terdapat pada adanya komponen aktuator gaya dalam sistem suspensi aktif yang bertujuan untuk mengontrol gaya yang bekerja pada sistem suspensi untuk meningkatkan kestabilan dan kenyamanan pengguna.
2. Sistem suspensi yang digunakan merupakan sistem suspensi seperempat mobil dalam menganalisis hasil respon sistemnya.
3. Sistem suspensi aktif mampu memperkecil pengaruh gangguan profil permukaan jalan karena terdapat sistem kendali yaitu aktuator gaya. Waktu yang dibutuhkan sistem suspensi aktif untuk mencapai kestabilan atau grafik menuju nol lebih cepat daripada sistem suspensi pasif tanpa kendali.
4. Sistem suspensi aktif dengan *Sliding Mode Control* (SMC) menunjukkan performa yang lebih baik dengan meningkatkan kenyamanan berkendara dengan tetap mempertahankan karakteristik pengendalian jalan, dibandingkan

dengan metode *Linear Quadratik Regulator* (LQR) dan sistem suspensi pasif. Tingkat kenyamanan sistem dapat dilihat dari amplitudo *Sliding Mode Control* (SMC) yang lebih rendah dari kedua sistem lainnya. Pengaruh lainnya adalah waktu terjadinya osilasi yang lebih kecil. Pada grafik percepatan getar badan mobil pada skema *Sliding Mode Control* (SMC) puncak osilasi yang dihasilkan dalam rentang waktu tertentu lebih sedikit dibandingkan dengan kedua sistem lainnya.

5. Setelah dilakukan simulasi kedua pada ketiga sistem suspensi menunjukkan bahwa parameter pada koefisien redaman (C_a) berpengaruh pada respon hasil simulasi terhadap kestabilan sistem. Diketahui dari input matriks A yang dijalankan pada persamaan sistem pada skema LQR dan SMC. Apabila jika nilai koefisien redaman (C_a) tinggi maka menghasilkan panjang amplitudo lebih pendek dari simulasi awal dan waktu yang lebih cepat menuju titik 0 atau dapat dikatakan sistem menuju titik stabil. Terlihat dari grafik travel suspensi, defleksi roda, percepatan gerak badan mobil, maupun percepatan gerak roda mobil tetap diperoleh hasil sistem suspensi aktif dengan skema *Sliding Mode Control* (SMC) mengalami kestabilan yang efisien terhadap gangguan profil permukaan jalan yang ditentukan.

5.2. Saran

Saran yang akan penulis sampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dibatasi pada sistem suspensi seperempat mobil. Diharapkan ada peneliti yang membahas sistem suspensi setengah mobil maupun sistem suspensi kendaraan penuh (*full body*), sehingga hasil yang diperoleh

akan lebih kompleks.

2. Menggunakan perbandingan sistem suspensi aktif selain *Linear Quadratik Regulator* (LQR) sehingga dapat membandingkan kembali sistem suspensi yang efektif dalam hal kestabilan sistem terutama pada sistem suspensi dengan skema *Sliding Mode Control* (SMC).



DAFTAR PUSTAKA

- Carbajal, F. B. (2011). *Control of Nonlinear Active Vehicle Suspension Systems Using Disturbance Observers*. InTech Europe.
- Ezhari Asfa'ani, Anisa Rizki Sari, L. H. H. (2024). Aplikasi metode kendali lqr (linier quadratic regulator) pada sistem suspensi seperempat. *Science and Technology*, 4(1):49–62.
- Friedland, B. (1986). *Control Systems Design: An Introduction to State Space Methods*. Dover Publications, INC.
- Gamal, M. (2016). *Delay Compensation Using Smith Predictor for Wireless Network Control System*. Alexandria Engineering Journal.
- G.J. Olsder, J. v. d. W. (1994). *Mathematical Systems Theory*. Delf University Press.
- Goodwin, G. C. (2000). *Control Systems Design*. Prentice Hall,.
- Heij, C. (2007). *Introduction to Mathematical Systems Theory Linear System, Identification and Control*. Springer Science and Business Media.
- Iswanto, R. J. (2012). *Pemodelan Matematika: Aplikasi dan Terapannya*. Graha Ilmu.
- Ma'arif, A. (2021). *Dasar Sistem Kendali: Pemodelan, Pengendalian, Analisis, Simulasi, dan Implementasi*. UAD Press.

- Meksianis Z. Ndi, P. (2022). *Pemodelan Matematika*. Nasya Expanding Management.
- Musthofa, M. (2015). *Pengantar Teori Sistem dan Kendali*.
- Ndii, M. Z. (2018). *Pemodelan Matematika Dinamika Populasi dan Penyebaran Penyakit*. Depublish Publisher.
- Ogata, K. (2004). *System Dynamic*. Prentice Hall.
- Perruquetti, W. (2002). *Sliding Mode Control in engenering*. Marcel Dekker, Inc.
- Priyandoko, G. (2021). *Dasar Sistem Kendali*. Literasi Nusantara.
- Rahadi, A. P. (2020). kendali mode luncur pada sistem suspensi aktif dengan simulasi matlab. *Jurnal Unisba Matematika*, 19:1–12.
- Reni Sundari, E. A. (2017). Konstruksi fungsi lyapunov untuk menentukan kestabilan. *Jurnal sains dan seni ITS*, 6(1):28–32.
- Salmah (2023). *Teori Sistem Kendali Linier dan Aplikasinya*. Gadjah Mada University Press.
- Subiono (2013). *Sistem Linier dan Kontrol Optimal*. FMIPA ITS.
- Utkin, V. (2017). *Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems*. CRC Press.
- Yahaya (2004). A class of proportional-integral sliding mode control with application to active suspension system. *Systems Control Letters*, 51:1–7.
- Yuri Shtessel, Christopher Edwards., L. F. A. L. (2010). *Sliding Mode Control and Obsevation*. Springer New York Heidelberg Dordrecht Londonl.