

**TUGAS AKHIR - TM234802**

**RANCANG BANGUN SISTEM SUSPENSI SEPEDA MOTOR  
TRAIL LISTRIK 2X2 DENGAN METODE ALGORITMA  
GENETIK**

**ALVYN PRAMANA KARTIKA PUTRA**

**NRP 5007201204**

Dosen Pembimbing

**Prof. Dr. Ir. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.**

**NIP. 197004121997032003**

**Program Studi Sarjana**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



**TUGAS AKHIR - TM234802**

**RANCANG BANGUN SISTEM SUSPENSI SEPEDA MOTOR  
TRAIL LISTRIK 2X2 DENGAN METODE ALGORITMA  
GENETIK**

**ALVYN PRAMANA KARTIKA PUTRA**

**NRP 5007201204**

Dosen Pembimbing

**Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., IPM**

**NIP. 197004121997032003**

**Program Studi Sarjana**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



**FINAL PROJECT - TM234802**

**DESIGN OF SUSPENSION SYSTEM OF 2X2 ELECTRIC  
DIRT BIKE WITH GENETHIC ALGORITHM METHOD**

**ALVYN PRAMANA KARTIKA PUTRA**

**NRP 5007201204**

*Advisor*

**Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., IPM**

**NIP. 197004121997032003**

***Undergraduate Study Program***

*Department of Mechanical Engineering*

*Faculty of Industrial Technology and System Engineering*

*Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

*Surabaya*

*2024*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**"RANCANG BANGUN SISTEM SUSPENSI SEPEDA MOTOR TRAIL  
LISTRIK 2X2 DENGAN METODE ALGORITMA GENETIK"**

**TUGAS AKHIR**

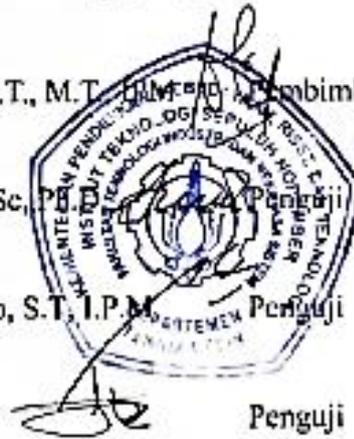
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1  
Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Alvyn Pramana Kartika Putra**  
NRP. 5007201204

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. Pembimbing
2. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc. Pengajar
3. Dr. Ir. Muhammad Nur Yuniarto, S.T., I.P.M. Pengajar
4. Moch. Solichin, S.T, M.T. Penguji



**SURABAYA**  
**Juli 2024**

**APPROVAL SHEET**

**"DESIGN OF SUSPENSION SYSTEM OF 2X2 ELECTRIC DIRT BIKE WITH  
GENETIC ALGORITHM METHOD"**

**FINAL PROJECT**

*Submitted to fulfill one of the requirements for obtaining a Bachelor degree of  
Engineering at Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering  
Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

*By :*

**Alvyn Pramana Kartika Putra**  
NRP 5007201204

*Approved by Final Project Examiner Team :*

1. Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., IPM *Advisor*
2. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D *Examiner*
3. Dr. Ir. Muhammad Nur Yuniarto, S.T, I.P.T., AEng *Examiner*
4. Moch. Solichin, S.T, M.T. *Examiner*



**SURABAYA**  
**JULY 2024**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

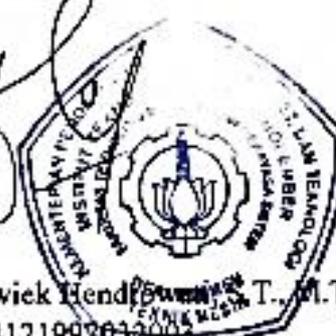
Nama mahasiswa / NRP : Alvyn Pramana Kartika Putra / 5007201204  
Departemen : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. /  
197004121997032003

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan Judul "Rancang Bangun Sistem Suspensi Sepeda Motor Trail Listrik 2x2 dengan Metode Algoritma Genetik" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

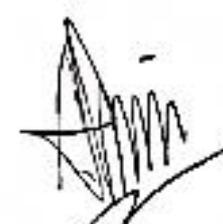
Surabaya, 2 Agustus 2024

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.  
NIP : 197004121997032003

Mahasiswa



Alvyn Pramana Kartika Putra  
NRP : 5007201204

## STATEMENT OF ORIGINALITY

*The undersigned below :*

*Name of Student/ NRP* : Alvyn Pramana Kartika Putra / 5007201204  
*Department* : Mechanical Engineering  
*Advisor / NIP* : Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. /  
197004121997032003

*Hereby declare that the Final project with the title of "Design of Suspension System of 2x2 Electric Dirt Bike With Genetic Algorithm Method" Suspension System" is the result of my own work, is original, and written by following the rules of scientific writing.*

*If in the future there is a discrepancy with the statement, then I am willing to accept sanctions in accordance to the provisions applied at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*

Surabaya, August 2<sup>nd</sup> 2024

*Acknowledge,  
Advisor*



Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.  
NIP : 197004121997032003

*Student*

Alvyn Pramana Kartika Putra  
NRP : 5007201204

# RANCANG BANGUN SISTEM SUSPENSI SEPEDA MOTOR TRAIL LISTRIK 2X2 DENGAN METODE ALGORITMA GENETIK

Nama Mahasiswa / NRP : Alvyn Pramana Kartika Putra / 5007201204  
Departemen : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., I.P.M.

## ABSTRAK

Kebutuhan akan sepeda motor khususnya tipe *trail* yang mampu digunakan dalam segala medan dengan kontur jalan yang tidak rata semakin tinggi. Sepeda motor *trail* listrik dapat diandalkan sebagai alat transportasi utama untuk memasok barang – barang ke daerah terpencil yang sulit dilalui kendaraan besar karena kontur jalan yang ekstrim dan sulit untuk mendapatkan bahan bakar minyak. Performa sepeda motor *trail* listrik selain dari motor listriknya juga bergantung pada sistem suspensi yang dipakai oleh sepeda motor tersebut. Sistem suspensi haruslah kuat menahan beban barang hingga ratusan kilogram dalam melewati medan yang ekstrim dan tidak rata. Kekuatan dan kenyamanan suspensi berkaitan erat dengan nilai koefisien kekakuan dan redaman dari pegas suspensi.

Perancangan sistem suspensi dilakukan dengan menggunakan pemodelan sistem satu kendaraan dengan 5 derajat kebebasan, dengan jenis suspensi *dualshock* yang disimulasikan menggunakan MATLAB *Simulink* dengan input jalan sinusoidal dan *white gaussian noise* untuk mensimulasikan jalanan yang tidak rata. Parameter yang digunakan diambil dari beberapa referensi dan pengamatan lapangan, lalu akan dilakukan perancangan menggunakan metode optimasi algoritma genetik. Hasil akhir dari metode ini adalah nilai koefisien kekakuan dan redaman suspensi depan dan belakang dengan variasi amplitudo 0.1 meter, 0.15 meter, dan 0.2 meter, dengan panjang lintasan 1.5 meter.

Berdasarkan analisis dan simulasi, serta metode optimasi algoritma genetik yang telah dilakukan, didapatkan nilai koefisien kekakuan dan redaman suspensi depan sepeda motor *trail* listrik 2x2 ini sebesar 41109 N/m dan 1913 Ns/m, sedangkan untuk nilai koefisien kekakuan dan redaman suspensi belakang sepeda motor ini adalah 58389 N/m dan 3460 Ns/m. Berdasarkan perhitungan defleksi statis, didapat nilai defleksi untuk suspensi depan *telescopic* adalah sebesar 3,9 cm dan untuk suspensi belakang *dualshock* sebesar 6,7 cm. Berdasarkan fungsi objektif yang menunjukkan batasan dari percepatan dari bodi sepeda motor tidak lebih dari  $9,8 \text{ m/s}^2$ , perpindahan *pitch* sepeda motor tidak lebih dari  $6,28 \text{ rad/s}^2$ , maksimum defleksi suspensi depan *telescopic* sebesar 13,5 cm, dan maksimum defleksi suspensi belakang *dualshock* sebesar 15 cm, dari hasil simulasi didapat untuk tiap variasi amplitudo, dengan parameter suspensi hasil optimasi nilai perpindahan dan percepatan yang didapat telah memenuhi fungsi objektif tersebut.

**Kata Kunci : Algoritma Genetik, Dualshock, Kekakuan, Redaman**

## **DESIGN OF SUSPENSION SYSTEM OF 2X2 ELECTRIC DIRT BIKE WITH GENETIC ALGORITHM METHOD**

**Student Name / Number** : Alvyn Pramana Kartika Putra / 5007201204  
**Department** : Mechanical Engineering  
**Advisor** : Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., I.P.M.

### **ABSTRACT**

*The need for motorcycles, especially trail types that can be used in all terrains with uneven road contours, is getting higher. Electric dirt bikes can be relied upon as the main means of transportation to supply goods to remote areas that are difficult for large vehicles to pass due to extreme road contours and difficult to obtain fuel oil. The performance of an electric dirt bike apart from the electric motor also depends on the suspension system used by the motorcycle. The suspension system must be strong enough to withstand the weight of goods up to hundreds of kilograms in passing through extreme and uneven terrain. The strength and comfort of the suspension are closely related to the stiffness and damping coefficient values of the suspension springs.*

*The design of the suspension system is carried out using a single vehicle system modeling with 5 degrees of freedom, with a dualshock suspension type simulated using MATLAB Simulink with sinusoidal road input and white gaussian noise to simulate uneven roads. The parameters used are taken from several references and field observations, then the design will be carried out using the genetic algorithm optimization method. The final result of this method is the value of the stiffness and damping coefficients of the front and rear suspensions with amplitude variations of 0.1 meters, 0.15 meters, and 0.2 meters, with a track length of 1.5 meters.*

*Based on the analysis and simulation, as well as the genetic algorithm optimization method that has been carried out, the value of the stiffness and damping coefficient of the front suspension of this 2x2 electric dirt bike is 41109 N/m and 1913 Ns/m, while the value of the stiffness and damping coefficient of the rear suspension of this motorcycle is 58389 N/m and 3460 Ns/m. Based on the static deflection calculation, the deflection value for the front suspension is 3,9 cm and for the rear suspension is 6,7 cm. Based on the objective function that shows the limits of the acceleration of the motorcycle body of no more than 9.8 m/s<sup>2</sup>, the pitch displacement of the motorcycle is no more than 6.28 rad/s<sup>2</sup>, the maximum deflection of the telescopic front suspension is 13.5 cm, and the maximum deflection of the dualshock rear suspension is 15 cm, from the simulation results obtained for each amplitude variation, with the suspension parameters of the results of the optimization of the displacement and acceleration values obtained have met the objective function.*

**Keywords** :Damping, Dualshock, Genethic Algorithm, Stiffness

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Suspensi Sepeda Motor Trail Listrik 2x2 dengan Metode Algoritma Genetik” dapat terselesaikan dengan baik, sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan S1 Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis memperoleh banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak I Nyoman Bhawa Kartika dan Ibu Haryanti Emirensiana, yang senantiasa memberikan dukungan baik materiil maupun moril sehingga dilancarkan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
2. Saudara kandung penulis, Amelia Amanda Kartika Putri, dan saudara sepupu penulis, Ferra Winata dan Bella Winata, yang telah memberikan dukungan dan hiburan, khususnya selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin ITS.
3. Dosen pembimbing penulis, Ibu Prof. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T, M.T, yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan semangat kepada penulis selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Para dosen penguji, Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D., Bapak Dr. Ir. Muhammad Nur Yuniarto, A.Eng., dan Bapak Moch. Solichin, S.T, M.T. Ph.D, yang telah memberikan saran dan masukan dalam menyempurnakan tugas akhir ini.
5. Teman – teman laboratorium RVSO (Zara Ismi Nuraini, Herfina Lailatul Ramadhani, Jonathan, Muhammad Farhan Azmi, Daulika Sarasvati, Dwiyantri Aigistin Faradila, Muhammad Hasan Reyhan, Muhammad Ghazy Rifqi Farada) yang telah memberikan masukan dan hiburan selama mengerjakan tugas akhir ini.
6. Teman – teman KMK ITS (Anselmus Yesa Dewanta Putra, Marcellino Effelinus, Agustina Misel Fortuna, Theresia Nawangsih, Monica Narda Davita, Nathan Setyananda) yang telah memberikan semangat dan doa bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman – teman Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin, khususnya angkatan “Bandul” dan divisi HRD kepengurusan 2021-2022 dan 2022-2023 yang telah banyak memberikan ilmu dan pengalaman berorganisasi penulis.
8. Seluruh dosen, karyawan, dan civitas akademik Teknik Mesin ITS atas segala ilmu, dan pengalaman yang diberikan selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin ITS.
9. Teman – teman TPKH M63 (Gede Mulana Mahendradivya, Dewa Agung Rangga Gita Bhuwana, I Putu Harry Arya Bagiada, I Kadek Tresna Yudananta, Kadek Yudi Dwipayana, Made Krishna Aditya Parta) yang banyak memberikan hiburan dan bantuan selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin ITS.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan penulis satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis berharap agar laporan tugas akhir ini dapat memiliki manfaat bagi pembaca, khususnya keluarga besar Departemen Teknik Mesin dan civitas akademika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, juga menjadi acuan untuk riset dan pengembangan selanjutnya.

Surabaya, 13 Juli 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR & TABEL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II DASAR TEORI.....	3
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1. <i>Multi Degree of Freedom</i> .....	3
2.1.2. Algoritma Genetika.....	4
2.1.3. Sepeda Motor <i>Trail</i> .....	5
2.1.4. Sistem Suspensi Depan Teleskopik.....	5
2.1.5. Sistem Suspensi Belakang <i>Dualshock</i> .....	7
2.1.6. <i>Sag</i> dan <i>Preload</i> .....	9
2.2 Tinjauan Pustaka.....	10
2.2.1 <i>Race Tech's Motorcycle Suspension Bible</i> .....	10
2.2.2 Desain dan Analisis Karakteristik Pegas Koil Sistem Suspensi untuk Kendaraan Ringan Sepeda Motor Listrik.....	10
2.2.3 Analisa Kenyamanan Kendaraan Roda Dua dengan Pemodelan Pengendara sebagai Sistem Multi D.O.F.....	13
2.2.4 Analisa Respon Dinamik Sepeda Motor Terhadap Posisi Sudut Suspensi.....	15
2.2.5 <i>Study on Characteristic of Motorcycle Suspension</i> .....	18
2.2.6 <i>Optimization of Vehicle Suspension Parameters with Use of Evolutionary Computation</i> .....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	23
3.1.1 <i>Flowchart</i> Penelitian Umum.....	23
3.1.2 <i>Flowchart Genetic Algorithm</i> .....	24
3.2 Metode Penelitian.....	25
3.2.1. Identifikasi Masalah.....	25
3.2.2. Studi Literatur.....	25

3.2.3.	Pengumpulan Data .....	25
3.2.4.	Perancangan Mekanisme Sistem.....	26
3.2.5.	Perhitungan <i>Center of Gravity</i> Kendaraan.....	26
3.2.6.	Pemodelan Sistem Dinamis.....	27
3.2.7.	Penurunan Persamaan Gerak.....	28
3.2.8.	Profil Lintasan Jalan.....	32
3.2.9.	Metode Optimasi <i>Genethic Algorithm</i> .....	33
3.2.10.	Analisa Hasil dan Pembahasan.....	33
3.2.11.	Kesimpulan.....	33
BAB IV ANALISIS HASIL & PEMBAHASAN.....		34
4.1.	Analisis Parameter Awal Suspensi Sepeda Motor Trail Listrik 2x2 .....	34
4.1.1.	Amplitudo 0.1 meter .....	34
4.1.2.	Amplitudo 0.15 meter .....	36
4.1.3.	Amplitudo 0.2 meter .....	38
4.2.	Proses Perancangan dengan Metode <i>Genetic Algorithm</i> .....	40
4.2.1.	Fungsi Objektif.....	40
4.2.2.	Penentuan Parameter .....	40
4.2.3.	Nilai Hasil Perancangan .....	41
4.3.	Hasil Parameter Baru Suspensi Sepeda Motor Trail Listrik 2x2 .....	41
4.3.1.	Amplitudo 0.1 Meter .....	42
4.3.2.	Amplitudo 0.15 Meter .....	43
4.3.3.	Amplitudo 0.2 Meter .....	45
4.4.	Pembahasan.....	47
4.4.1.	Respon Pengendara .....	47
4.4.2.	Respon Bodi Kendaraan.....	52
4.4.3.	Respon <i>Pitch</i> Kendaraan .....	57
4.4.4.	Analisis Defleksi Statis Suspensi .....	61
BAB V KESIMPULAN & SARAN.....		63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA .....		64
LAMPIRAN .....		65
Bagian 1 Objek Penelitian Sepeda Motor Trail Listrik 2x2 .....		65
Bagian 2 Pemodelan Sistem Dinamis pada Aplikasi Matlab Simulink.....		66
Bagian 3 Input Nilai Sinusoidal dan Nilai <i>Band-Limited White Noise</i> .....		68
Bagian 4 Simulasi Optimasi Algoritma Genetik .....		69

## DAFTAR GAMBAR & TABEL

<b>Gambar 2. 1</b>	Penggambaran sistem <i>spring mass</i> dengan tiga derajat kebebasan.....	3
<b>Gambar 2. 2</b>	Sepeda Motor <i>Trail</i> .....	5
<b>Gambar 2. 3</b>	Konstruksi & Prinsip Kerja Suspensi Teleskopik (Nugraha, 2005).....	6
<b>Gambar 2. 4</b>	Langkah Tekan pada Suspensi <i>Dualshock</i> .....	8
<b>Gambar 2. 5</b>	Langkah Tekan pada Suspensi <i>Dualshock</i> .....	8
<b>Gambar 2. 6</b>	Suspensi <i>Dual Spring</i> pada Sepeda Motor <i>Trail</i> .....	8
<b>Gambar 2. 7</b>	<i>Sag</i> .....	9
<b>Gambar 2. 8</b>	<i>Preload</i> .....	9
<b>Gambar 2. 9</b>	Pemodelan Sistem Suspensi SEMOLI .....	11
<b>Gambar 2. 10</b>	<i>Displacement Transmissibility</i> untuk Jumlah Pegas Aktif 8 .....	11
<b>Gambar 2. 11</b>	<i>Displacement Transmissibility</i> untuk Jumlah Pegas Aktif 7 .....	12
<b>Gambar 2. 12</b>	<i>Displacement Transmissibility</i> untuk Jumlah Pegas Aktif 6 .....	12
<b>Gambar 2. 13</b>	Tabel Nilai <i>Steady State</i> .....	12
<b>Gambar 2. 14</b>	Tabel Nilai <i>Overshoot</i> .....	12
<b>Gambar 2. 15</b>	Pemodelan Dinamis Sepeda Motor dengan Pengendaranya .....	13
<b>Gambar 2. 16</b>	Pemodelan Blok <i>Simulink</i> dan Sistem.....	14
<b>Gambar 2. 17</b>	Diagram perbandingan nilai percepatan (RMS) untuk variasi kecepatan 20 km/jam, 50 km/jam dan 80 km/jam.....	15
<b>Gambar 2. 18</b>	Simulasi Respon tubuh pengendara berupa percepatan akibat input harmonik sebesar 0.03 m pada kecepatan 80 km/jam.....	15
<b>Gambar 2. 19</b>	Pemodelan Dinamis Suspensi Sepeda Motor dengan 4 DOF .....	16
<b>Gambar 2. 20</b>	Pengaruh sudut suspensi terhadap amplitudo <i>displacement</i> horizontal <i>sprungmass</i> pada kecepatan 30m/s dan amplitudo jalan 0.02m .....	16
<b>Gambar 2. 21</b>	Pengaruh sudut suspensi terhadap amplitudo <i>displacement</i> vertikal <i>sprungmass</i> .....	17
<b>Gambar 2. 22</b>	Pemodelan setengah kendaraan dari sistem suspensi mobil .....	18
<b>Gambar 2. 23</b>	<i>Simulink-block diagram</i> untuk pemodelan setengah kendaraan roda empat .	19
<b>Gambar 2. 24</b>	Pemodelan Sistem Setengah Kendaraan dengan 4 DoF.....	20
<b>Gambar 2. 25</b>	Parameter Awal Kendaraan .....	21
<b>Gambar 2. 26</b>	Nilai k dan c Sebelum dan Setelah Dioptimasi .....	21
<b>Gambar 2. 27</b>	Grafik Percepatan Bodi Kendaraan Vertikal (a) dan Percepatan Angular (b)	22
<b>Gambar 2. 28</b>	Grafik Perpindahan Roda Belakang (a) dan Roda Depan (b) .....	22
<b>Gambar 3. 1</b>	<i>Flowchart</i> Penelitian Umum .....	23
<b>Gambar 3. 2</b>	<i>Flowchart Genetic Algorithm</i> .....	24
<b>Gambar 3. 3</b>	Pemodelan Fisik Sepeda Motor dengan Suspensi <i>Dualshock</i> .....	26
<b>Gambar 3. 4</b>	Pemodelan Dinamis Satu Kendaraan dengan Suspensi Belakang <i>Dualshock</i> .	28
<b>Gambar 4. 1</b>	Respon Dinamis Pengendara pada Amplitudo 0.1 meter .....	34
<b>Gambar 4. 2</b>	Respon Dinamis Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.1 meter .....	35
<b>Gambar 4. 3</b>	Respon Dinamis Pitching Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.1 meter .....	35
<b>Gambar 4. 4</b>	Respon Dinamis Roda Depan pada Amplitudo 0.1 meter.....	35
<b>Gambar 4. 5</b>	Respon Dinamis Roda Belakang pada Amplitudo 0.1 meter .....	36
<b>Gambar 4. 6</b>	Respon Dinamis Pengendara pada Amplitudo 0.15 meter .....	36
<b>Gambar 4. 7</b>	Respon Dinamis Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.15 meter .....	37
<b>Gambar 4. 8</b>	Respon Dinamis <i>Pitching</i> Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.15 meter .....	37
<b>Gambar 4. 9</b>	Respon Dinamis Roda Depan pada Amplitudo 0.15 meter.....	37
<b>Gambar 4. 10</b>	Respon Dinamis Roda Belakang pada Amplitudo 0.15 meter .....	38
<b>Gambar 4. 11</b>	Respon Dinamis Pengendara pada Amplitudo 0.2 meter .....	38

<b>Gambar 4. 12</b>	Respon Dinamis Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.2 meter .....	39
<b>Gambar 4. 13</b>	Respon Dinamis <i>Pitching</i> Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.2 meter .....	39
<b>Gambar 4. 14</b>	Respon Dinamis Roda Depan pada Amplitudo 0.2 meter.....	39
<b>Gambar 4. 15</b>	Respon Dinamis Roda Belakang pada Amplitudo 0.2 meter .....	40
<b>Gambar 4. 16</b>	Respon Dinamis Baru Pengendara pada Amplitudo 0.1 meter .....	42
<b>Gambar 4. 17</b>	Respon Dinamis Baru Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.1 meter.....	42
<b>Gambar 4. 18</b>	Respon Dinamis Baru <i>Pitching</i> Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.1 meter	42
<b>Gambar 4. 19</b>	Respon Dinamis Baru Roda Depan pada Amplitudo 0.1 meter.....	43
<b>Gambar 4. 20</b>	Respon Dinamis Baru Roda Belakang pada Amplitudo 0.1 meter .....	43
<b>Gambar 4. 21</b>	Respon Dinamis Baru Pengendara pada Amplitudo 0.15 meter .....	44
<b>Gambar 4. 22</b>	Respon Dinamis Baru Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.15 meter.....	44
<b>Gambar 4. 23</b>	Respon Dinamis Baru <i>Pitching</i> Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.15 meter .....	44
<b>Gambar 4. 24</b>	Respon Dinamis Baru Roda Depan pada Amplitudo 0.15 meter.....	45
<b>Gambar 4. 25</b>	Respon Dinamis Baru Roda Belakang pada Amplitudo 0.15 meter .....	45
<b>Gambar 4. 26</b>	Respon Dinamis Baru Pengendara pada Amplitudo 0.2 meter .....	46
<b>Gambar 4. 27</b>	Respon Dinamis Baru Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.2 meter.....	46
<b>Gambar 4. 28</b>	Respon Dinamis Baru <i>Pitching</i> Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.2 meter	46
<b>Gambar 4. 29</b>	Respon Dinamis Baru Roda Depan pada Amplitudo 0.2 meter.....	47
<b>Gambar 4. 30</b>	Respon Dinamis Baru Roda Belakang pada Amplitudo 0.2 meter .....	47
<b>Gambar 4. 31</b>	Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Perpindahan Pengendara .....	48
<b>Gambar 4. 32</b>	Perbandingan Nilai Perpindahan Pengendara pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter.....	49
<b>Gambar 4. 33</b>	Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Percepatan Pengendara .....	50
<b>Gambar 4. 34</b>	Perbandingan Nilai Percepatan Pengendara pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter.....	52
<b>Gambar 4. 35</b>	Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Perpindahan Bodi Kendaraan.....	53
<b>Gambar 4. 36</b>	Perbandingan Nilai Perpindahan Bodi Kendaraan pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter.....	54
<b>Gambar 4. 37</b>	Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Percepatan Bodi Kendaraan.....	55
<b>Gambar 4. 38</b>	Perbandingan Nilai Percepatan Bodi Kendaraan pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter.....	56
<b>Gambar 4. 39</b>	Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Perpindahan <i>Pitch</i> Kendaraan.....	57
<b>Gambar 4. 40</b>	Perbandingan Nilai Perpindahan <i>Pitch</i> Kendaraan pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter.....	59
<b>Gambar 4. 41</b>	Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Percepatan <i>Pitch</i> Kendaraan.....	60
<b>Gambar 4. 42</b>	Perbandingan Nilai Percepatan <i>Pitch</i> Kendaraan pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter.....	61
<b>Tabel 2. 1</b>	Parameter Sepeda Motor yang Digunakan.....	13
<b>Tabel 2. 2</b>	Parameter Pengendara Sepeda Motor .....	14
<b>Tabel 3. 1</b>	Parameter Sistem Kendaraan .....	25
<b>Tabel 3. 2</b>	Parameter Genetik yang Akan Digunakan .....	33

<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Perancangan dengan Metode Algoritma Genetik .....	41
<b>Tabel 4. 2</b> Perbandingan Nilai RMS Perpindahan Pengendara.....	48
<b>Tabel 4. 3</b> Perbandingan Nilai RMS Percepatan Pengendara .....	50
<b>Tabel 4. 4</b> Perbandingan Nilai RMS Perpindahan Bodi Kendaraan .....	52
<b>Tabel 4. 5</b> Perbandingan Nilai RMS Percepatan Bodi Kendaraan.....	55
<b>Tabel 4. 6</b> Perbandingan Nilai RMS Perpindahan <i>Pitch</i> Kendaraan.....	57
<b>Tabel 4. 7</b> Perbandingan Nilai RMS Percepatan <i>Pitch</i> Kendaraan .....	59

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia dapat dikatakan belum 100% merata. Hal ini terlihat dari kondisi infrastruktur jalan raya yang belum seluruhnya merata, khususnya di daerah – daerah terpencil. Sebagai contoh pada Pulau Papua, menurut data dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2020, panjang jalan di Papua mencapai 2.358,82 km, namun 954,69 km diantaranya dalam kondisi rusak dan 141,35 km atau 14,8% dalam kondisi rusak berat. Hal ini tentu berdampak pada kegiatan ekonomi yang dilakukan oleh masyarakat setempat. Kendaraan besar dan berat seperti truk yang membawa logistik atau barang lainnya tentu mengalami kesulitan dalam melewati kondisi jalan yang rusak berat. Hal tersebut akan lebih mudah dilakukan dengan kendaraan kecil yang mampu membawa barang namun tetap lincah bergerak di jalanan yang ekstrim. Maka dari itu digunakanlah sepeda motor tipe *trail* dengan penggerak motor listrik sebagai alternatif pengangkut barang ke daerah terpencil.

Di pasaran sangat banyak jenis suspensi pada sepeda motor, khususnya untuk jenis *trail*, dengan jenis dan pilihan yang sangat beragam dan disesuaikan dengan kebutuhan pengendara. Namun seringkali pengendara sepeda motor *trail* yang memilih suspensi untuk kendaraannya kurang memperhitungkan dengan benar bagaimana menentukan setelan yang pas sehingga dapat meningkatkan performa dan stabilitas dari kendaraan itu sendiri. Seringkali pengendara hanya mengandalkan pengalaman dan saran dari orang lain yang tidak menggunakan perhitungan. Hal tersebut membuat performa yang seharusnya bisa dimaksimalkan menjadi kurang maksimal. Perlunya perhitungan yang tepat agar kemampuan sepeda motor meningkat.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dirancang sistem suspensi yang dapat memenuhi spesifikasi awal yang diinginkan sehingga dapat membuat sepeda motor *trail* listrik 2x2 ini dapat digunakan sebagaimana mestinya. Perancangan dilakukan dengan mencari rentang nilai *settling time* terkecil dari rentang nilai kekakuan dan redaman suspensi, lalu hasilnya akan dilakukan optimasi dengan metode *Genetic Algorithm* untuk menentukan nilai kekakuan dan redaman suspensi yang paling optimal, lalu hasilnya akan diterapkan pada pemodelan *full body* kendaraan sepeda motor dan disimulasikan dengan MATLAB.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pemodelan dinamis dan matematis dari sistem suspensi yang digunakan pada sepeda motor *trail* listrik 2x2?
2. Bagaimana nilai parameter kekakuan dan redaman pada suspensi sepeda motor *trail* listrik 2x2 berdasarkan metode Algoritma Genetik?
3. Bagaimana pengaruh nilai kekakuan dan koefisien redaman sistem suspensi yang baru terhadap respon kendaraan dan pengemudi ketika melewati kontur jalan yang tidak rata?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pemodelan dinamis dan matematis dari sistem suspensi sepeda motor *trail* listrik 2x2.
2. Mengetahui nilai parameter kekakuan dan redaman pada suspensi sepeda motor *trail* listrik 2x2 berdasarkan metode *Genethic Algorithm*.
3. Mengetahui pengaruh nilai kekakuan dan koefisien redaman sistem suspensi yang baru terhadap respon kendaraan dan pengemudi ketika melewati kontur jalan yang tidak rata.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan sistem suspensi sepeda motor *trail* 2x2 akan menggunakan sistem satu kendaraan.
2. Suspensi yang digunakan sebagai objek penelitian adalah tipe *telescopic* untuk suspensi depan dan tipe *dualshock* untuk suspensi belakang.
3. Kontur lintasan yang disimulasikan berupa jalur bergelombang acak.
4. Beban yang ditumpu suspensi merupakan beban maksimal antara pengendara dan barang.
5. Analisis yang dilakukan meliputi respon pengendara dan beban yang ditumpu ketika melewati variasi kontur jalan yang tidak rata.
6. Kecepatan motor diasumsikan konstan 10 km/jam.
7. Gerak relatif antara massa *unsprung* dan motor penggerak diabaikan.
8. Massa sepeda motor mengambil dari sepeda motor sejenis.
9. Rentang nilai kekakuan dan redaman suspensi mengacu pada referensi jurnal.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini disusun dengan harapan dapat menghasilkan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai penerapan ilmu pengetahuan di bidang otomotif yang telah didapat oleh penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Mesin ITS.
2. Sebagai referensi dan studi literatur mengenai perancangan sistem suspensi sepeda motor *trail* 2x2 ini.
3. Sebagai opsi alternatif bagi tim pengembang sepeda motor *trail* listrik 2x2 ini dalam memilih jenis dan tipe suspensi berdasarkan simulasi yang telah dilakukan.

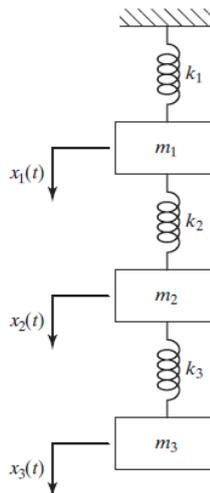
## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Dasar Teori

Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar. Kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (*engineering*) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Dalam penelitian ini, teori mekanika getaran dan sistem suspensi rel digunakan sebagai dasar dan literatur. Dalam penelitian ini, teori mekanika getaran dan sistem suspensi sepeda motor digunakan sebagai dasar dan literatur. Teori ini mencakup :

#### 2.1.1. Multi Degree of Freedom

Sistem yang tersusun dari beberapa massa menjadi satu kesatuan akan mempunyai koordinat independen untuk merepresentasikan gerakannya. Koordinat independent tersebut disebut *degree of freedom* atau derajat kebebasan. Sistem getaran yang paling sederhana memiliki satu derajat kebebasan, atau biasa disebut *single degree of freedom* dengan satu koordinat independent. Selain itu terdapat juga *multi degree of freedom* yang berarti sistem yang memiliki lebih dari satu koordinat independent yang mewakili gerakan massa. Persamaan gerak dari sistem *multi degree of freedom* mengacu pada Hukum Newton II tentang gerak. Karena penyelesaian persamaan gerak dalam bentuk skalar melibatkan operasi aljabar yang kompleks, representasi matriks digunakan untuk sistem *multi degree of freedom*. Contoh penggambaran dari sistem *multi degree of freedom* adalah sebagai berikut :



**Gambar 2. 1** Penggambaran sistem *spring mass* dengan tiga derajat kebebasan

Berdasarkan Hukum Newton II, persamaan gerak untuk setiap massa adalah sebagai berikut :

$$m_i \ddot{x}_i + k_i x_i = 0$$

Dengan nilai  $I = 1, 2, 3$  sehingga persamaan dapat ditulis dalam matriks berikut :

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k \end{bmatrix}$$

Selanjutnya, persamaan 2.2 dan 2.3 disubstitusikan pada persamaan 2.1 sehingga didapatkan persamaan gerak sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = 0$$

(Rao, 2011)

### 2.1.2. Algoritma Genetika

Algoritma Genetika (*Genethic Algorithm*) merupakan metode optimasi yang memanfaatkan kriteria Darwin tentang evolusi populasi untuk menyelesaikan masalah optimasi berdasarkan seleksi alam. Proses seleksi alam dan genetik digunakan untuk meningkatkan keefektifan kelompok solusi yang memungkinkan untuk memenuhi lingkungan optimal.

Algoritma genetik merupakan teknik pencarian stokastik berdasarkan mekanisme evolusi dan genetika alam. Populasi dari kandidat-kandidat solusi atau individual dipertahankan dan berkompetisi untuk bertahan hidup. Individu yang lebih kuat mempunyai kesempatan lebih besar untuk menghasilkan individu baru daripada individu yang lebih lemah. Individu baru tersebut dihasilkan melalui rekombinasi, kemudian melalui proses mutasi akan sifat-sifat dari tiap induk akan terwarisi sehingga pilihan kandidat solusi lebih banyak. Pada tahap selanjutnya, keturunan tersebut berkompetisi juga dengan induknya. Pertambahan populasi dari induk terbaik tersebut selanjutnya akan menghasilkan keturunan unggul dan menyisihkan individu yang lemah. Algoritma genetik memiliki perbedaan yang mendasar dengan metode pencarian solusi optimal berbasis model matematika kalkulus, perbedaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mekanisme optimasi algoritma genetik bekerja berdasarkan kromosom, di mana setiap kromosom menyimpan informasi parameter tersebut.
2. Proses pencarian solusi optimal pada algoritma genetik tidak dilakukan pada satu titik pencarian tetapi pada sekumpulan titik pencarian.
3. Algoritma genetik tidak memerlukan prosedur matematis untuk mencari solusi optimal tetapi algoritma genetik menggunakan informasi spesifik dari hasil transfer tiap parameter ke suatu fungsi yang dapat mewakili tujuan dari proses optimasi yang sedang dilakukan.
4. Mekanisme genetik digunakan untuk mengodekan parameter suatu masalah, melalui proses seleksi, rekombinasi dan mutasi untuk mendapatkan solusi optimal.
5. Proses pencarian solusi optimal menggunakan algoritma genetik dengan titik acuan sembarang untuk menghindari solusi optimal lokal.
6. Mekanisme pencarian diberikan dengan menganalisis ciri-ciri kode atau kromosom yang dimiliki setiap individu dalam satu generasi.

Sebagai cabang dari algoritma evolusi *genetic algorithm* termasuk metode adaptif yang digunakan untuk memecahkan pencarian nilai untuk melakukan

optimasi. Dalam penerapannya, algoritma genetika melibatkan beberapa operator yaitu operasi evolusi dan genetika. Operasi evolusi melibatkan proses seleksi, sedangkan operasi genetika melibatkan operator pindah silang (crossover) dan mutasi. Berikut ini merupakan tahapan dalam melakukan optimasi *genetic algorithm*. (Mulyo, 2018)

### 2.1.3. Sepeda Motor *Trail*

Sepeda motor yang berjenis *trail* merupakan sepeda motor yang dikhususkan untuk melewati medan yang tidak rata / *off road*, misalnya medan berbatu atau berlumpur. Sepeda motor jenis ini mempunyai ciri berupa ban yang berdiameter besar dan memiliki kontur permukaan ban yang kasar dan berbentuk gerigi kotak – kotak untuk menambah daya cengkeram saat melewati permukaan tanah yang gembur atau licin. Selain itu sepeda motor ini memiliki *ground clearance* yang relatif tinggi dan bentuknya yang khas, berbeda dengan sepeda motor yang memang diperuntukkan untuk berjalan di jalan raya. Mesin dari sepeda motor jenis *trail* ini didesain untuk memiliki akselerasi yang spontan dibandingkan kecepatan puncak yang tinggi, sehingga hal tersebut juga berdampak pada desain transmisi dan diameter *gear* pada roda dan poros engkol.

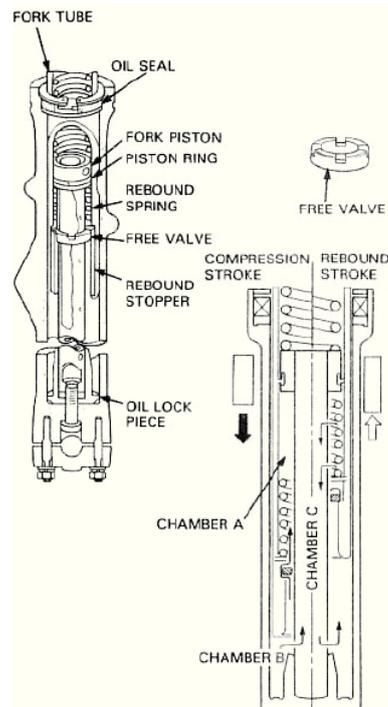
Sepeda motor *trail* yang beredar di jalanan umumnya hanya menggunakan penggerak satu roda, yaitu hanya roda belakang yang digunakan sebagai penggerak kendaraan. Namun seiring berjalannya waktu, teknologi telah berkembang dan sepeda motor *trail* di masa sekarang sudah mulai menerapkan teknologi penggerak dua roda. Artinya roda depan dan belakang sepeda motor dapat digunakan sebagai penggerak kendaraan. Teknologi ini memungkinkan sepeda motor untuk melewati medan yang berat dengan lebih mudah karena kedua roda yang bergerak membuat tenaga dari mesin terbagi lebih merata.



**Gambar 2. 2** Sepeda Motor *Trail*

### 2.1.4. Sistem Suspensi Depan Teleskopik

Sistem suspensi teleskopik merupakan sistem suspensi yang paling umum ditemui pada sepeda motor yang beredar di jalan raya. Suspensi teleskopik terdiri dari tabung besar dan kecil yang didalamnya terdapat komponen utama berupa pegas dan oli khusus suspensi sebagai media redaman getaran. Menggunakan pegas dan oli garpu, pegas menampung kejutan dari kontur jalan dan oli garpu meredam getaran tersebut agar frekuensi getaran tidak semakin besar (Ariyanto, 2016). Konstruksi suspensi teleskopik seperti pada gambar berikut :



**Gambar 2. 3** Konstruksi & Prinsip Kerja Suspensi Teleskopik (Nugraha, 2005)

Prinsip kerja suspensi teleskopik terdiri dari dua langkah, yaitu langkah menekan (*compression*) dan langkah naik (*rebound*), sebagai berikut :

a. Langkah Menekan (*compression*)

Pada saat garpu teleskopik (*fork tube*) bergerak pada posisi menekan (langkah kompresi), oli pada *chamber B* mengalir melalui lubang *orifice* pada pipa garpu menuju *chamber C*. Sementara itu, oli di dalam *chamber B* juga menekan *free valve* dan kembali ke atas menuju *chamber A*. Tahanan oli yang mengalir akan meredam gerakan kejut (*shock absorber*) pada saat gerakan menekan. Untuk kejutan yang besar atau saat garpu mendekati tekanan yang maksimal, maka bagian bawah dari ujung garpu akan tersumbat oleh “*oil lock piece*”, sehingga terjadi tahanan gerakan garpu secara hidrolis sebelum garpu menyentuh bagian bawah.

b. Langkah Naik (*rebound*)

Pada langkah naik (*rebound stroke*), oli dalam *chamber A* mengalir menuju *chamber C* melalui lubang *orifice* yang berada pada bagian atas fork piston sehingga mengakibatkan tahanan aliran oli. Tahanan oli tersebut akan berfungsi sebagai tenaga redam (*damping force*) untuk mengontrol gerak naik pegas suspensi. *Rebound spring* akan bekerja meredam gerakan kejut dari garpu pada saat terjadi gerakan *rebound* yang lebih kuat. Pada saat tersebut terjadi aliran oli dari *chamber C* menuju *chamber B*, melalui lubang *orifice* yang berada pada bagian bawah *piston fork*. (Nugraha, 2005)

Suspensi jenis teleskopik ini memiliki keunggulan pada bobotnya yang ringan, memiliki harga yang murah, tangguh, dan mudah dalam perawatannya. Suspensi jenis ini sangat umum digunakan pada sepeda motor di jalan raya

sehingga suku cadangnya pun banyak tersedia di berbagai tempat, dan banyak jaringan bengkel yang dapat memperbaiki dan merekondisi suspensi jenis ini.

### 2.1.5. Sistem Suspensi Belakang *Dualshock*

Jenis suspensi ini umumnya digunakan pada sepeda motor di jalan raya dengan kapasitas cc mesin yang kecil. Tipe ini menggunakan dua buah lengan ayun digantung pada *frame* dan ujung lain dari lengan tersebut menopang roda belakang, dan unit suspensi diletakkan antara ujung belakang dari lengan dan *frame*. Jenis ini mempunyai dua peredam kejut yang mendukung bagian belakang *body frame* dan *swing arm*. Untuk sepeda motor umumnya menggunakan lengan dari plat baja, sedangkan untuk motor *sport* menggunakan pipa baja. (Jama, 2015)

Secara prinsip kerja, baik suspensi depan maupun suspensi belakang memiliki cara kerja yang hampir sama, sebagai berikut :

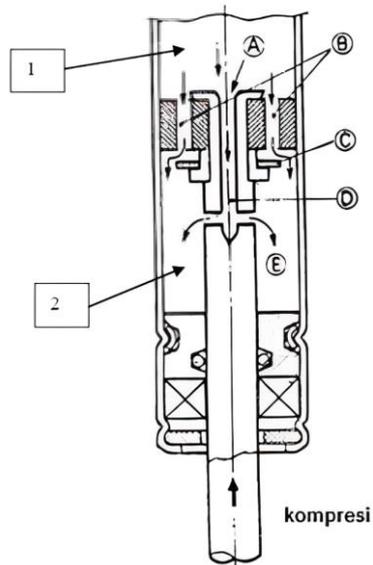
a. Langkah Tekan (*compression*)

Pada saat terjadi kompresi maka piston bergerak turun (langkah tekan) oli di ruang 1 berpindah ke ruang 2 melalui saluran A, saluran B, saluran C, saluran D dan saluran E, karena lubang saluran yang dilalui oli banyak maka seolah oli melewati lubang besar sehingga tahanan oli yang berpindah kecil. Penggambarannya seperti pada **gambar 2.4**.

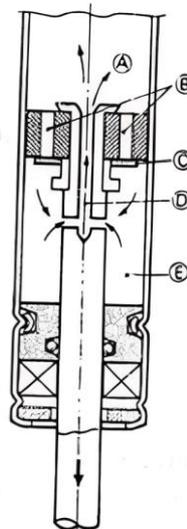
b. Langkah Naik (*rebound*)

Pada saat tekanan kompresi sudah tidak ada terjadi tekanan kembali karena adanya tekan pegas, maka piston bergerak kebawah oli dari ruang 2 hanya mengalir melalui lubang *orifice* E, saluran D dan saluran A, aliran oli tertahan dengan lambat, oleh karena oli berpindah melalui lubang kecil sehingga tahanan oli yang berpindah besar, maka terjadi *damping*. Penggambarannya seperti pada **gambar 2.5** (Wahyudi, 2013)

Suspensi dengan tipe *dualshock* memiliki keunggulan pada kemampuan menahan beban berat lebih baik dibandingkan dengan tipe *monoshock*. Suspensi *dualshock* juga memiliki harga yang relatif lebih murah dan mudah dalam perawatannya karena terletak di bagian luar *frame*. Suspensi ini cocok untuk sepeda motor *trail* yang memang dikhususkan untuk medan berat dan kuat dalam menahan beban yang berat.



**Gambar 2. 4** Langkah Tekan pada Suspensi *Dualshock*



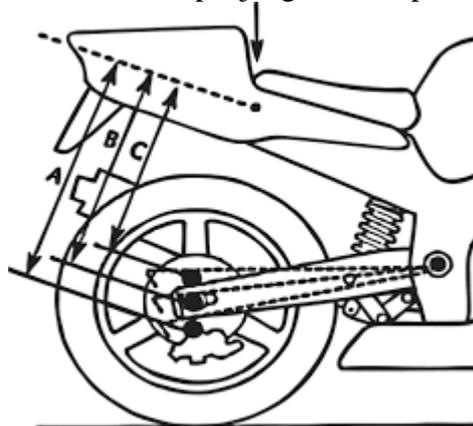
**Gambar 2. 5** Langkah Tekan pada Suspensi *Dualshock*



**Gambar 2. 6** Suspensi *Dual Spring* pada Sepeda Motor *Trail*

### 2.1.6. *Sag* dan *Preload*

*Sag* jika diterjemahkan ke dalam Bahasa Indonesia diartikan sebagai “melengkung / melorot”. *Sag* merupakan istilah dalam suspensi yang menggambarkan pemendekan suspensi ketika dikenai beban pengendara di atasnya dihitung dari posisi ekspansi maksimum. Hal ini berkaitan erat dengan besarnya nilai konstanta pegas, *sprung mass* dari pengendara dan sepeda motor yang ditumpu, dan *preload*. *Sag* pada suspensi juga dapat bergantung pada geometri sasis/rangka yang digunakan dan tipe penggunaannya, namun secara umum besarnya nilai *sag* harus sekitar 1/3 dari panjang total suspensi.



**Gambar 2. 7** *Sag*

*Sag* berhubungan dengan kualitas pengendalian dan kenyamanan dalam berkendara. Suspensi yang terlalu lunak akan memendek dan turun dengan mudah ketika dikenai beban, sebaliknya suspensi yang terlalu keras akan terasa kaku karena gaya yang terbentuk terlalu cepat dan tidak memiliki waktu yang cukup untuk bergerak ketika terkena gundukan atau medan yang tidak rata.

*Preload* merupakan penyetel pada suspensi yang dapat mengatur keras lembutnya gerakan suspensi sesuai keinginan pengendara. Semakin berat beban yang ditumpu oleh suspensi, maka *preload* dapat disetel untuk mendapat tahanan suspensi yang lebih besar sehingga ketika pengendara berada di atasnya, suspensi tidak menjadi terlalu lembut dan akan melorot, baik secara statis maupun dinamis. (Thede & Parks, 2010)



**Gambar 2. 8** *Preload*

## 2.2 Tinjauan Pustaka

### 2.2.1 *Race Tech's Motorcycle Suspension Bible*

Buku ini diterbitkan pada tahun 2010 oleh Paul Thede dan Lee Parks. Secara umum buku ini berisi tentang dasar - dasar perancangan suspensi dan apa saja yang harus diperhatikan ketika ingin merancang atau memodifikasi suatu suspensi, khususnya untuk sepeda motor *trail* yang digunakan di medan berat dan memiliki kontur yang bervariasi. Buku ini memiliki total 8 bab yang akan membahas mengenai dasar – dasar suspensi, pegas dan redaman, gesekan, geometri pada suspensi, apa saja permasalahan dan penanganan masalah yang terjadi pada suspensi, hingga peralatan penunjang untuk perbaikan dan perawatan suspensi. Buku ini juga dilengkapi panduan perawatan suspensi yang disertai gambar yang membuat buku ini mudah dipahami oleh orang awam.

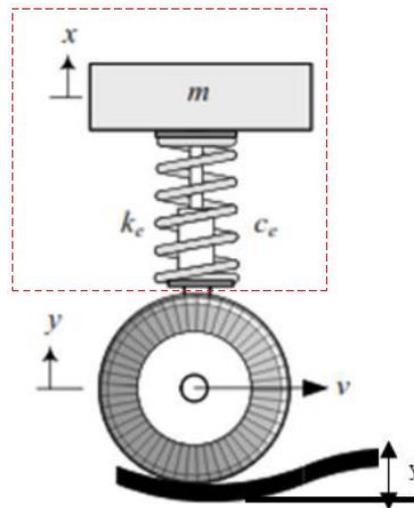
Pada buku ini dijelaskan bahwa komponen penting yang menunjang kinerja suspensi antara lain adalah pegas, peredam suspensi yang dapat berupa fluida *compressible* atau *incompressible*, geometri pada suspensi meliputi *rake*, *trail*, *offset*, *sag*, dan *preload*, posisi suspensi itu sendiri, dan bagaimana pemilihan jenis suspensi dapat memengaruhi performa dan stabilitas dari sepeda motor itu sendiri. Suspensi yang baik adalah suspensi yang digunakan secara optimal sesuai dengan kegunaannya, baik yang digunakan sebagai olahraga *motocross* maupun yang digunakan sebagai kendaraan pengangkut beban.

Yang menjadi poin utama pada buku ini adalah pada bab 5 mengenai geometri suspensi depan dan belakang, dijelaskan bahwa geometri suspensi berkaitan dengan *rake*, *trail*, dan *offset*, dimana *rake* sendiri berkaitan dengan *trail* yang mana ketika *trail* membesar berarti stabilitasnya meningkat dan diperlukan gaya yang lebih besar untuk membuat sistem suspensi bergerak ke bawah, atau dengan kata lain sistem suspensi menjadi lebih keras dan kaku, juga berefek pada nilai *rake* yang lebih besar menandakan sumbu kemudi lebih panjang ke arah depan menjauhi bidang kontak. Sedangkan ketika nilai *trail* lebih kecil, stabilitas menjadi berkurang tetapi gaya yang diperlukan untuk membuat sistem suspensi bergerak ke bawah menjadi lebih kecil, atau dengan kata lain suspensi menjadi lebih lembut. Selain itu juga terdapat komponen *swing arm* yang menjadi komponen utama penyambung antara roda belakang dengan rangka sepeda motor. *Swing arm* yang lebih panjang memiliki stabilitas yang lebih baik, khususnya ketika menikung, namun menjadi lebih sulit untuk dikendalikan. Maka dari itu diperlukan perhitungan dan analisis yang tepat untuk membuat sepeda motor menjadi nyaman dan mudah dikendalikan.

### 2.2.2 **Desain dan Analisis Karakteristik Pegas Koil Sistem Suspensi untuk Kendaraan Ringan Sepeda Motor Listrik**

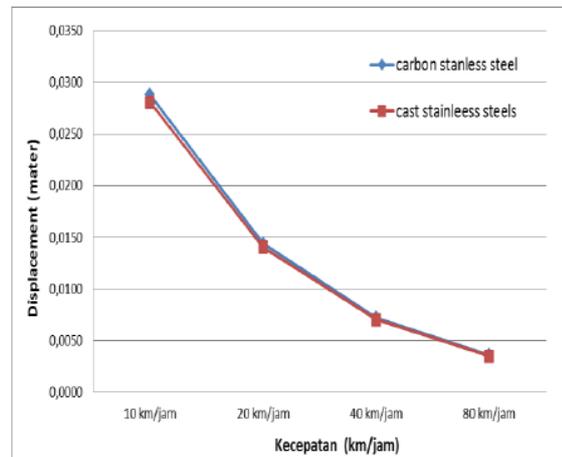
Penelitian ini dilakukan oleh Nur Akhlis Sarihidaya Laksana, Bayu Aji Girawan, dan Joko Setia Pribadi dari Program Studi Teknik Mesin Universitas Negeri Cilacap pada tahun 2022. Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain pegas untuk sistem suspensi kendaraan sepeda motor listrik (SEMOLI) dengan mempertimbangkan karakteristik *displacement transmissibility* dan respon sistem dari pegas dengan material dan jumlah pegas aktif dengan mengasumsikan kendaraan berjalan dengan kecepatan tertentu dan terjadi osilasi karena getaran yang diakibatkan oleh jalan yang terjal. Pada penelitian ini digunakan variasi material yang digunakan pada pegas yaitu *cast stainless steel* dan *carbon stainless*

steel dengan desain pegas berbentuk helikal yang memiliki panjang 150 mm dan memiliki 3 variasi jumlah pegas aktif dan jarak *pitch*. Variasi pertama berjumlah 8 pegas aktif dan jarak antar *pitch* sebesar 15 mm, variasi kedua berjumlah 7 pegas aktif dan jarak antar *pitch* sebesar 20 mm, dan variasi ketiga berjumlah 6 pegas aktif dan jarak antar *pitch* sebesar 25 mm. Penelitian ini mempertimbangkan variasi kecepatan kendaraan yang berbeda antara 10 km/jam, 20 km/jam, 40 km/jam, dan 80 km/jam. Diasumsikan bobot kendaraan sebesar 100 kg dengan *unsprung weight* 65%, penumpang 2 orang dengan bobot per orang maksimal 80 kg, *damping ratio* pegas 0,5 dengan kondisi medan bergelombang dan tinggi amplitudo 20mm. Pemodelan sistem suspensinya sebagai berikut :

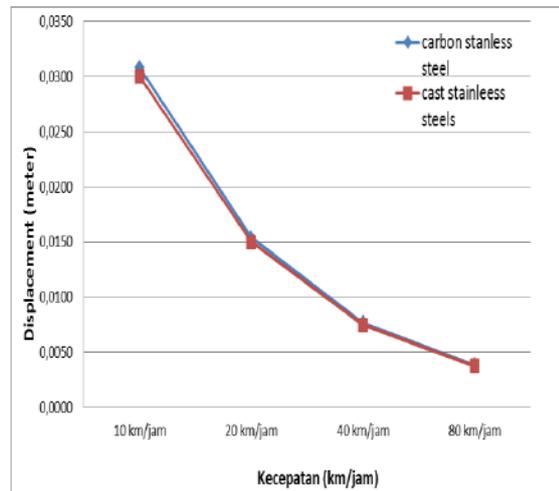


**Gambar 2. 9** Pemodelan Sistem Suspensi SEMOLI

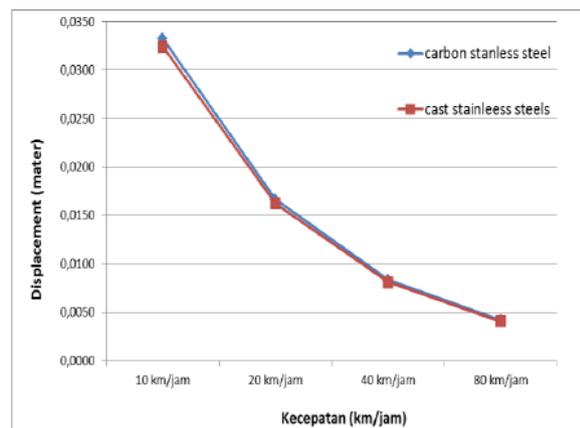
Hasil perhitungan dan analisis untuk *displacement transmissibility* pada pegas dengan jumlah pegas aktif 8, 7, maupun 6 memiliki hasil yang hampir sama jika dilihat pada grafik perbandingannya, namun jika lebih diperhatikan, nilai *displacement transmissibility* pada material *carbon stainless steel* lebih tinggi daripada *cast stainless steel*, seperti pada beberapa grafik di bawah ini :



**Gambar 2. 10** *Displacement Transmissibility* untuk Jumlah Pegas Aktif 8



**Gambar 2. 11** *Displacement Transmissibility* untuk Jumlah Pegas Aktif 7



**Gambar 2. 12** *Displacement Transmissibility* untuk Jumlah Pegas Aktif 6

Selanjutnya untuk analisis *steady state* dan *overshoot* dari tiap material dengan variasi pegas aktif didapat nilai sebagai berikut :

**Gambar 2. 13** Tabel Nilai *Steady State*

Jumlah Pegas Aktif	Nilai <i>Steady State</i>	
	<i>Cast Stainless Steel</i>	<i>Carbon Stainless Steel</i>
8	0,25 s	0,25 s
7	0,25 s	0,25 s
6	0,25 s	0,3 s

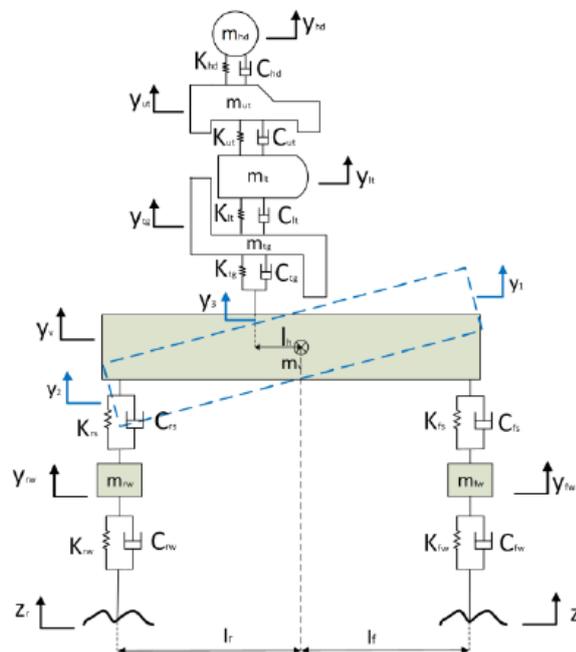
**Gambar 2. 14** Tabel Nilai *Overshoot*

Jumlah Pegas Aktif	Nilai <i>Overshoot</i>	
	<i>Cast Stainless Steel</i>	<i>Carbon Stainless Steel</i>
8	50,3 %	51 %
7	52,7 %	53,3 %
6	55,3 %	55,8 %

Karakteristik dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5 digunakan sebagai pertimbangan dalam desain dan pemilihan pegas pada sistem suspensi belakang untuk sepeda motor listrik (SEMOLI). Dari Tabel 4 dan 5 menunjukkan tabel *steady state* dan *overshoot* untuk pemilihan material dan jumlah pegas yang baik yaitu material *cast stainless steels* dengan jumlah pegas aktif 8. (Laksana, Girawan, & Pribadi, 2022)

### 2.2.3 Analisa Kenyamanan Kendaraan Roda Dua dengan Pemodelan Pengendara sebagai Sistem Multi D.O.F

Penelitian yang dilakukan pada tahun 2014 oleh Chika Olviani dan Harus Laksana Guntur dari Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember menganalisis hasil simulasi respon dinamis pada *software SIMULINK* dari kendaraan sepeda motor yang akan ditinjau berdasarkan standar ISO 2631 tentang kenyamanan berkendara. Penelitian ini menggunakan pemodelan matematis satu kendaraan beserta pengendaranya yang terdiri dari massa roda depan ( $m_{fw}$ ), massa roda belakang ( $m_{rw}$ ), massa bodi kendaraan ( $m_v$ ), massa paha ( $m_{tg}$ ), massa *lower torso* ( $m_{lt}$ ), massa *upper torso* ( $m_{ut}$ ), dan massa kepala ( $m_{hd}$ ) dengan *Multi Degree of Freedom* (DOF) yang berjumlah empat DOF dengan pemodelan sebagai berikut :



**Gambar 2. 15** Pemodelan Dinamis Sepeda Motor dengan Pengendaranya

Parameter sepeda motor dan pengendara yang digunakan pada persamaan ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 2. 1** Parameter Sepeda Motor yang Digunakan

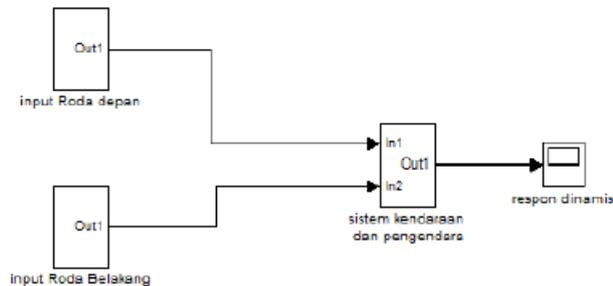
Keterangan Komponen	Simbol	Nilai	Satuan
Massa roda depan	$m_{fw}$	10	Kg
Massa roda belakang	$m_{rw}$	10	Kg
Massa bodi kendaraan	$m_v$	93	Kg
Konstanta kekakuan roda depan dan belakang	$k_{fw}, k_{rw}$	1600	N/m

Konstanta redaman roda depan dan belakang	$C_{fw}, C_{rw}$	2200	N/m
Konstanta kekakuan suspensi depan	$k_{fs}$	15090	N/m
Konstanta kekakuan suspensi belakang	$k_{rs}$	24600	N/m
Konstanta redaman suspensi depan	$c_{fs}$	500	N.s/m
Konstanta redaman suspensi belakang	$c_{rs}$	750	N.s/m
Inersia bodi kendaraan	$I_v$	35.376	Kg/m <sup>2</sup>
Jarak suspensi depan terhadap cg kendaraan	$l_f$	0.6526	m
Jarak suspensi belakang terhadap cg kendaraan	$l_r$	0.6024	m
Jarak manusia terhadap cg kendaraan	$l_h$	0.175759	m

**Tabel 2. 2** Parameter Pengendara Sepeda Motor

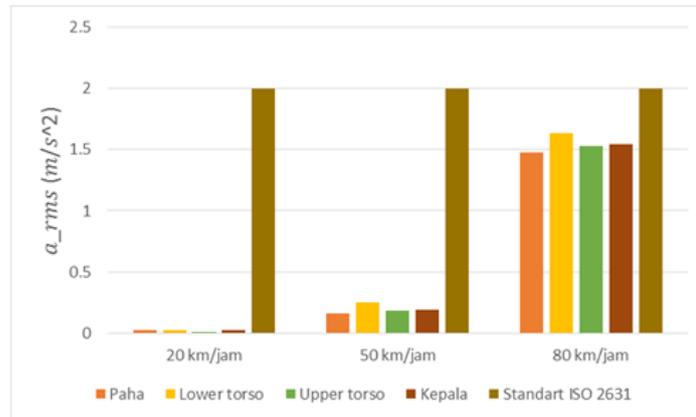
Keterangan Bagian Tubuh Manusia	Simbol	Nilai	Satuan
Massa paha	$m_{tg}$	10.92	Kg
Massa <i>lower torso</i>	$m_{lt}$	7.32	Kg
Massa <i>upper torso</i>	$m_{ut}$	24.12	Kg
Massa kepala	$m_{hd}$	4.5	Kg
Konstanta kekakuan paha	$k_{tg}$	90000	N/m
Konstanta kekakuan <i>lower torso</i>	$k_{lt}$	162800	N/m
Konstanta kekakuan <i>upper torso</i>	$k_{ut}$	183000	N/m
Konstanta kekakuan kepala	$k_{hd}$	310000	N/m
Konstanta redaman paha	$c_{tg}$	2064	N.s/m
Konstanta redaman <i>lower torso</i>	$c_{lt}$	4585	N.s/m
Konstanta redaman <i>upper torso</i>	$c_{ut}$	4750	N.s/m
Konstanta redaman kepala	$c_{hd}$	400	N.s/m

Kedua parameter di atas digunakan untuk melakukan simulasi pada *software* SIMULINK lalu pada blok simulasi diberikan *input* berupa *step* dan harmonik dengan variasi kecepatan 20 km/jam, 50 km/jam, dan 80 km/jam, serta variasi amplitudo jalan 0.01 m, 0.02 m, dan 0.03 m.

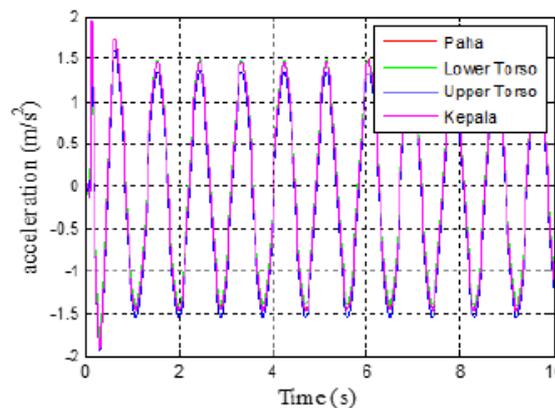


**Gambar 2. 16** Pemodelan Blok *Simulink* dan Sistem

Berdasarkan hasil simulasi dan dihubungkan dengan standar ISO 2631, keempat bagian tubuh pengendara masih berada pada standart kenyamanan yang diijinkan. Pada kecepatan 20 km/jam pengendara tidak ada keluhan ketidaknyamanan. Sedangkan pada kecepatan 50 km/jam dan 80 km/jam nilai percepatan lebih besar dari 0.315 m/s<sup>2</sup>. Hal ini menimbulkan adanya ketidaknyamanan pada pengendara, dengan perbandingan pada diagram berikut :



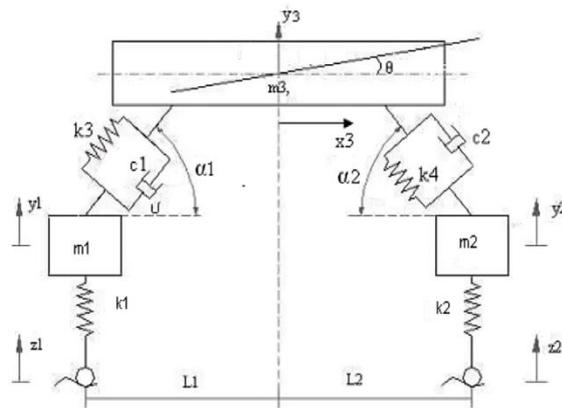
**Gambar 2. 17** Diagram perbandingan nilai percepatan (RMS) untuk variasi kecepatan 20 km/jam, 50 km/jam dan 80 km/jam



**Gambar 2. 18** Simulasi Respon tubuh pengendara berupa percepatan akibat input harmonik sebesar 0.03 m pada kecepatan 80 km/jam  
(Olviani & Guntur, 2014)

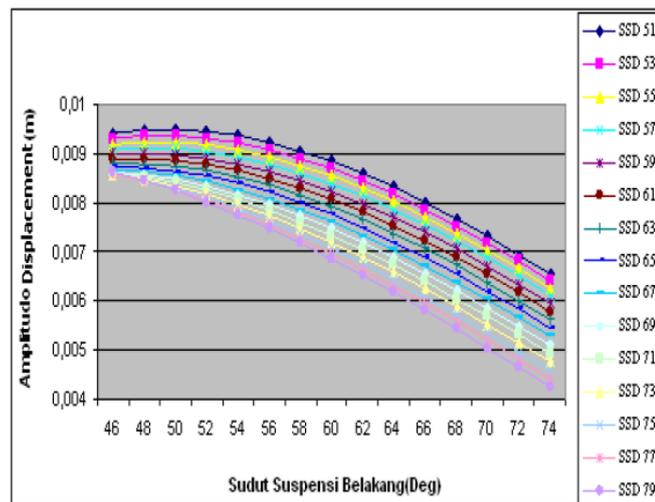
#### 2.2.4 Analisa Respon Dinamik Sepeda Motor Terhadap Posisi Sudut Suspensi

Penelitian ini dilakukan oleh Benjamin G. Tentua pada tahun 2011. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sudut – sudut efektif pada pemasangan suspensi yang paling efektif dalam meredam getaran pada kondisi jalan sinusoidal terhadap respon penumpang sebagai *sprung mass*. Pada penelitian ini digunakan pemodelan kendaraan dengan 4 *Degree of Freedom*, diantaranya massa *sprung* yang meninjau gerakan vertikal dan *pitching* kendaraan, dan untuk massa *unsprung* yang ditinjau adalah gerakan ban depan dan belakang.

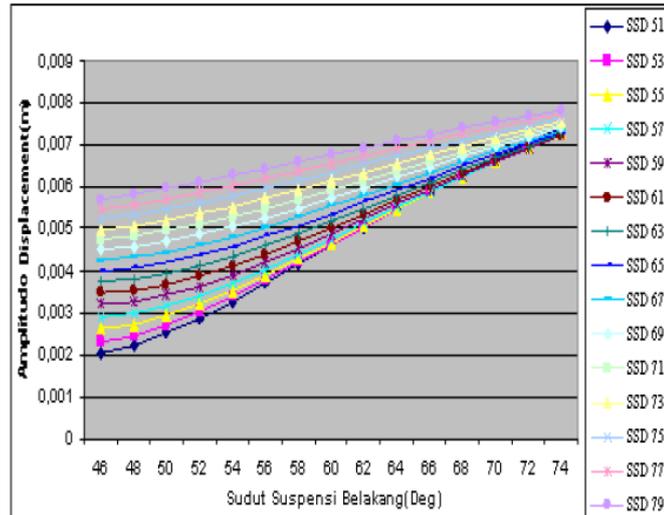


**Gambar 2. 19** Pemodelan Dinamis Suspensi Sepeda Motor dengan 4 DOF

Analisa akan dilakukan pada sistem suspensi pasif, dengan memvariasikan sudut pemasangan suspensi. Dari variasi tersebut akan dianalisa pengaruhnya terhadap respon yang diperoleh dari hasil simulasi baik sprungmass arah horizontal (lateral), vertikal dan pitching. Dengan demikian akan diperoleh hasil berupa sudut pemasangan suspensi yang efektif sehingga kenyamanan (ride comfort) maupun faktor keamanan dalam berkendara (stability) meningkat. Pengaruh sudut suspensi terhadap amplitudo respon displacement (arah x) didapatkan, dengan memvariasikan 51-79° untuk suspensi depan dengan interval 2°, sedang untuk suspensi belakang divariasikan 46-74° dengan interval 2°.



**Gambar 2. 20** Pengaruh sudut suspensi terhadap amplitudo *displacement* horizontal *sprungmass* pada kecepatan 30m/s dan amplitudo jalan 0.02m



**Gambar 2. 21** Pengaruh sudut suspensi terhadap amplitudo *displacement* vertikal *sprungmass*

Dari hasil simulasi di atas dapat dilihat bahwa baik sudut suspensi depan maupun belakang berpengaruh terhadap amplitudo respon, dimana dengan bertambahnya sudut suspensi belakang pada sudut suspensi depan yang tetap maka amplitudo respon *vertical sprungmass* akan semakin meningkat, dengan peningkatan amplitudo ini maka kenyamanan dan stabilitas kendaraan akan semakin berkurang. Pada sudut suspensi belakang yang sama dengan semakin bertambahnya sudut suspensi depan, terlihat bahwa amplitudo respon *vertical sprungmass* akan semakin meningkat sehingga menyebabkan tingkat kenyamanan akan semakin berkurang. Dengan semakin membesarnya sudut suspensi maka respon *sprungmass* ke arah y dan rotasi akan meningkat hal ini dikarenakan dengan semakin meningkat sudut suspensi maka gaya-gaya yang bekerja ke arah y semakin membesar sehingga menyebabkan displacement arah y dan rotasi semakin membesar, untuk displacement arah x kebalikannya, akan mengecil dengan bertambahnya sudut suspensi.

Dari hasil yang diperoleh dari simulasi pada kecepatan 30km/jam, didapatkan sudut suspensi efektif menurut standart ISO adalah :

Belakang = 70 – 74 deg.

Depan = 51 – 79 deg.

Pada kecepatan 50 km/jam :

Belakang = 52 – 58 deg.

Depan = 51 – 79 deg.

Pada kecepatan 80 km/jam :

Belakang = 46 – 52 deg.

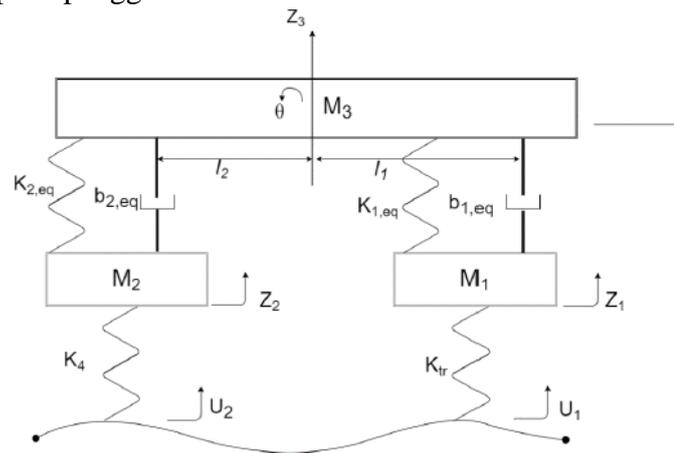
Depan = 51 – 79 deg.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan, letak sudut efektif semakin kecil. Selain itu juga bisa dilihat bahwa pengaruh dari sudut suspensi belakang lebih besar dari pada sudut suspensi depan. Ini disebabkan karena propertis dari sudut belakang sendiri yang besar sehingga memiliki *effect* yang besar terhadap kenyamanan. (Tentua, 2011)

### 2.2.5 Study on Characteristic of Motorcycle Suspension

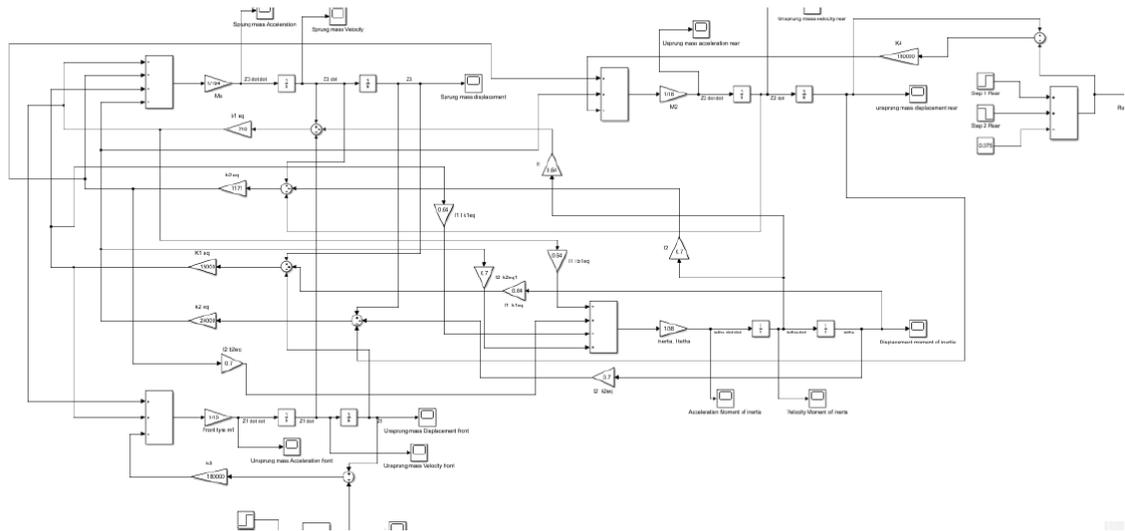
Penelitian yang dilakukan oleh Brandon Vico Francis, Muhammad Asri Bin Azizul, dan Syabillah Bin Sulaiman pada tahun 2021 dari Universitas Tun Hussein Onn Malaysia ini membahas tentang sistem suspensi pasif pada sepeda motor yang umum digunakan di jalan raya dan menyelidiki pengaruh kenyamanan berkendara dari sepeda motor dengan menerapkan kecepatan yang berbeda dengan menggunakan analisis model kendaraan. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mengembangkan model setengah kendaraan roda empat dan disimulasikan dengan MATLAB.

Pemodelan setengah kendaraan dari sistem suspensi mobil digunakan karena dapat diimplementasikan ke dalam sistem suspensi sepeda motor. Pemodelan dengan 4-DOF digambarkan dengan perpindahan vertikal roda depan dan roda belakang, perpindahan vertikal sasis (*bouncing*), dan sudut rotasi sasis (*pitch*), seperti pada penggambaran di bawah ini :



**Gambar 2. 22** Pemodelan setengah kendaraan dari sistem suspensi mobil

Pada analisis yang dilakukan, sepeda motor bergerak melewati polisi tidur dengan dimensi (2,45 x 0,40 x 0,075)m dengan variasi kecepatan 20 km/h, 30 km/h, dan 40 km/h. Pada *Matlab/Simulink*, sepeda motor akan berjalan dengan kecepatan konstan yang divisualisasikan pada *input step* dari 0 hingga nilai akhir untuk *input step* adalah 0.075. Untuk *input step* ke-2, nilainya ditetapkan sebesar 0.075 hingga nilai akhir 0 pada persyaratan spesifikasi *input step*. Pemodelan setengah kendaraan pada gambar di atas lalu disimulasikan ke dalam *Matlab/Simulink* sebagai *block diagram* seperti pada gambar di bawah ini. Dari simulasi *block diagram* tersebut, dapat diperoleh hasil untuk *sprung mass* dan *unsprung mass* untuk suspensi depan dan belakang, serta momen inersia suspensi tersebut.



**Gambar 2. 23** Simulink-block diagram untuk pemodelan setengah kendaraan roda empat

Hasil dari simulasi tersebut didapat hasil perpindahan, kecepatan, dan percepatan dari *sprung mass*, *unsprung mass*, dan *angular moment of inertia* suspensi pada kecepatan 20 km/jam, 30 km/jam, dan 40 km/jam. Pada grafik *sprung mass* menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan sepeda motor, semakin rendah perpindahan massa pegas. Hal tersebut beralasan bahwa kendaraan tergantung pada dimensi *bump*, dimana dimensi *bump* yang lebih tinggi akan memberikan lebih banyak perpindahan vertikal dari sistem suspensi pasif. Namun hal tersebut dapat diimprovisasi dengan menggunakan pegas yang lebih kaku dan *shock absorber* untuk mengurangi perpindahan vertikal massa pegas.

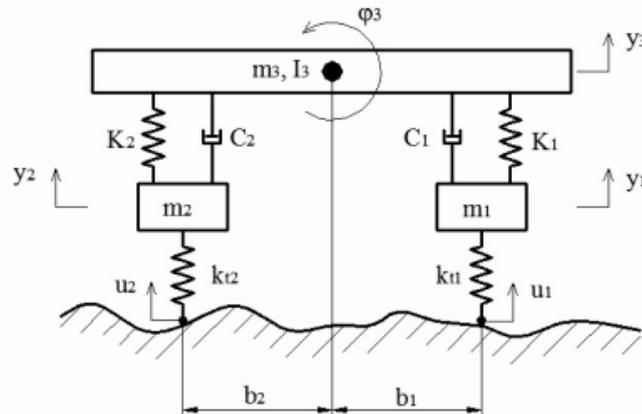
Pada grafik *unsprung mass* depan dan belakang, dapat disimpulkan dengan meningkatnya kecepatan sepeda motor, nilai maksimum untuk perpindahan, kecepatan, dan percepatan untuk *unsprung mass* depan dan belakang tetap sama. Percepatan untuk *unsprung mass* depan menunjukkan tren grafik yang meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan. Perpindahan *unsprung mass* belakang juga menunjukkan fluktuasi grafik yang meningkat secara stabil pada kecepatan tinggi selama 1 detik dengan nilai pembacaan maksimum pada perpindahan 0,1 m. Semakin cepat perjalanan sepeda motor saat menabrak polisi tidur, maka semakin tinggi pula pantulan yang terjadi saat sepeda motor menabrak polisi tidur. Hal ini disebabkan oleh *unsprung mass* yang memberikan kenyamanan berkendara sepeda motor, termasuk isolasi getaran dari jalan. Faktor lain seperti kekakuan ban juga berperan penting dalam memberikan kenyamanan berkendara.

Pada grafik momen inersia, dengan bertambahnya kecepatan sepeda motor, nilai pembacaan maksimum untuk *angular displacement* menurun dari 20 km/jam hingga 40 km/jam. Sedangkan nilai *angular velocity* meingkat seiring dengan peningkatan kecepatan sepeda motor. Pada nilai *angular acceleration*, nilai maksimum terdapat pada kecepatan 30 km/jam dengan nilai minimumnya pada 20 km/jam. Perubahan hasil simulasi ini kemungkinan disebabkan oleh karakteristik komponen sistem suspensi dan nilai parameter dari bobot komponen suspensi yang ringan, karena ketika sepeda motor dalam kecepatan tinggi, peluang untuk memantul pada jalan bergelombang berkurang sehingga memberikan efek pantulan yang lebih kecil ketika bobot komponen sistem suspensi yang lebih

ringan dengan kecepatan tinggi yang dilalui sepeda motor. (Francis, Azizul, & Sulaiman, 2021)

### 2.2.6 Optimization of Vehicle Suspension Parameters with Use of Evolutionary Computation

Penelitian yang dilakukan oleh Vladimir Goga dan Marian Kl'ucik pada tahun 2012 ini membahas tentang optimasi suspensi pasif kendaraan roda empat menggunakan pemodelan setengah kendaraan dengan metode *genethic algorithm*. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mencari konstanta kekakuan ( $k$ ) dan redaman ( $c$ ) yang paling optimal pada suspensi kendaraan tersebut. Penelitian ini menggunakan pemodelan setengah kendaraan dengan 4 DoF, seperti pada gambar berikut :



**Gambar 2. 24** Pemodelan Sistem Setengah Kendaraan dengan 4 DoF

Persamaan matematis pada pemodelan sistem di atas adalah sebagai berikut:

$$m_1 \ddot{y}_1 + C_1 (-\dot{y}_1 + \dot{y}_3 + b_1 \dot{\phi}_3) + K_1 (-y_1 + y_3 + l_1 \phi_3) + k_{t1} (y_1 - u_1) = 0 \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + C_2 (-\dot{y}_2 + \dot{y}_3 - b_2 \dot{\phi}_3) + K_2 (-y_2 + y_3 - l_2 \phi_3) + k_{t2} (y_2 - u_2) = 0 \quad (2)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + C_1 (-\dot{y}_1 + \dot{y}_3 + b_1 \dot{\phi}_3) + C_2 (-\dot{y}_2 + \dot{y}_3 - b_2 \dot{\phi}_3) + K_1 (y_3 - y_1 + l_1 \phi_3) + K_2 (-y_2 + y_3 - b_2 \phi_3) = 0 \quad (3)$$

$$I_3 \ddot{\phi}_3 + C_1 b_1 (-\dot{y}_1 + \dot{y}_3 + b_1 \dot{\phi}_3) + C_2 b_2 (-\dot{y}_2 + \dot{y}_3 - b_2 \dot{\phi}_3) + K_1 b_1 (y_3 - y_1 + b_1 \phi_3) + K_2 b_2 (-y_2 + y_3 - b_2 \phi_3) = 0 \quad (4)$$

Pada penelitian ini ditetapkan kecepatan kendaraan konstan sebesar 60 km/jam. Input kontur jalan dimodelkan sebagai *speed bump* dengan tinggi 0,1 m. Parameter awal kendaraan adalah sebagai berikut :

Parameters	Values	Units
$b_1$	1.271	m
$b_2$	1.713	m
$k_{t1}$	200000	N/m
$k_{r1}$	200000	N/m
$m_1$	87.15	kg
$m_2$	140.04	kg
$m_3$	1794	kg
$C_1$	1190	N.s/m
$C_2$	1000	N.s/m
$I_3$	3443.05	kg.m <sup>2</sup>
$K_1$	66824.2	N/m
$K_2$	18615.0	N/m

**Gambar 2. 25** Parameter Awal Kendaraan

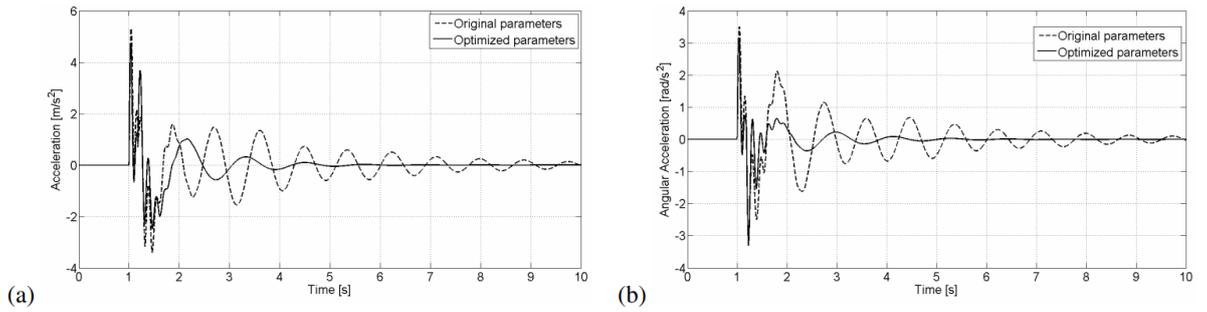
Parameters	Original values	Optimized values	Units
$C_1$	1190	2023	N.s/m
$C_2$	1000	1508	N.s/m
$K_1$	66824.2	33412	N/m
$K_2$	18615.0	22850	N/m

**Gambar 2. 26** Nilai k dan c Sebelum dan Setelah Dioptimasi

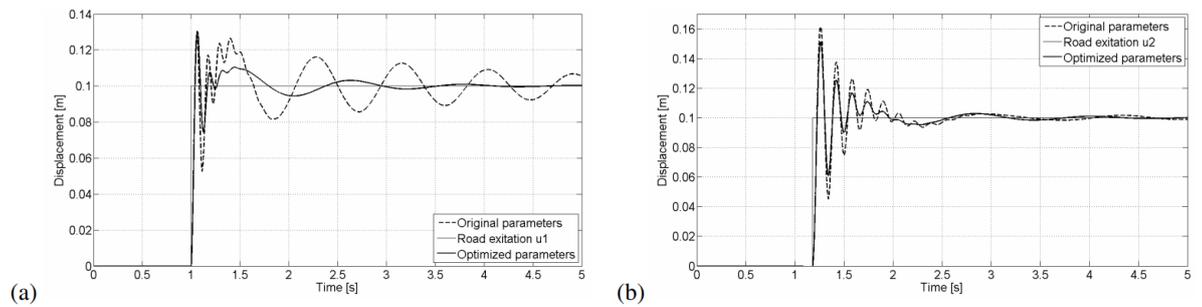
Optimasi dilakukan menggunakan Matlab/Simulink dengan kondisi optimasi sebagai berikut :

- *Number of Individual* : 100
- *Number of Generations* : 250
- *Elitism* : best seven individuals from each generation were chosen for creation of next population;
- *Mutation* : random and adaptive mutations were used;
- *Crossover* : just neighboring individuals were crossed;
- *Selection* : random.

Hasil optimasi menggunakan Matlab/Simulink dengan membandingkan parameter awal dan parameter optimasi. Hasil akhir berupa grafik perpindahan roda depan dan belakang, percepatan vertikal, dan percepatan angular, seperti pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2. 27** Grafik Percepatan Bodi Kendaraan Vertikal (a) dan Percepatan Angular (b)



**Gambar 2. 28** Grafik Perpindahan Roda Belakang (a) dan Roda Depan (b)

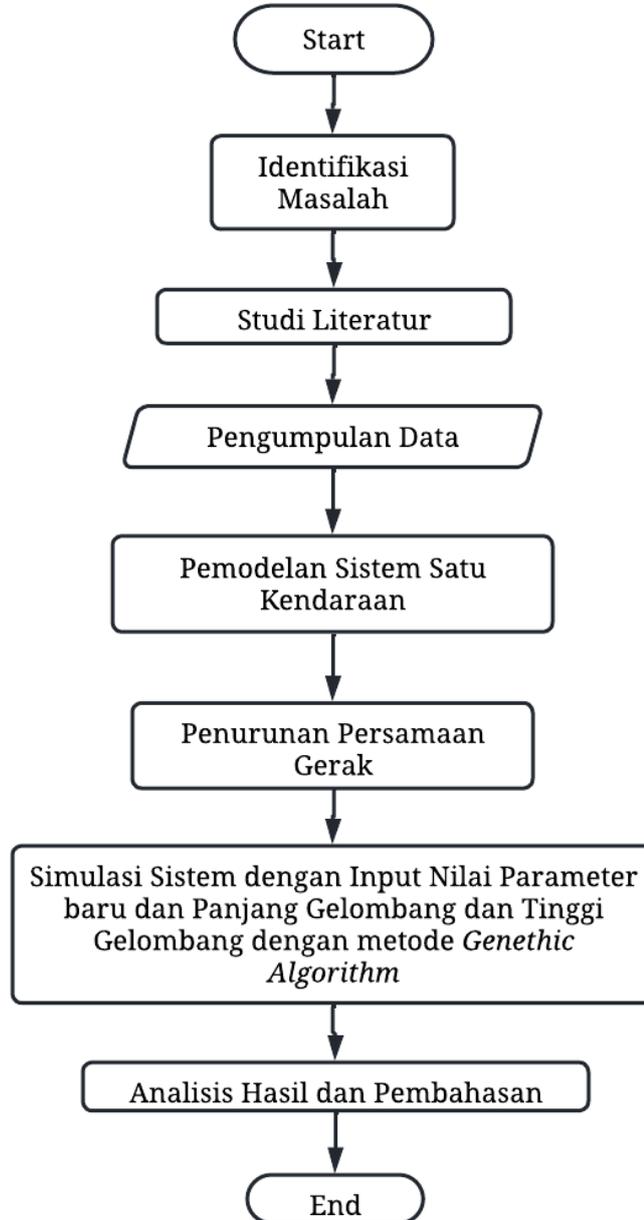
Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat pada grafik percepatan bodi kendaraan arah vertikal dan angular yang telah dioptimasi lebih cepat stabil dari pada parameter asli kendaraan. Begitu juga pada grafik perpindahan roda depan yang perbedaan setelah optimasi menunjukkan hasil yang signifikan dimana lebih cepat stabil, namun untuk roda belakang tidak terjadi perubahan yang signifikan namun tetap menunjukkan hasil yang lebih cepat stabil.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 *Flowchart* Penelitian

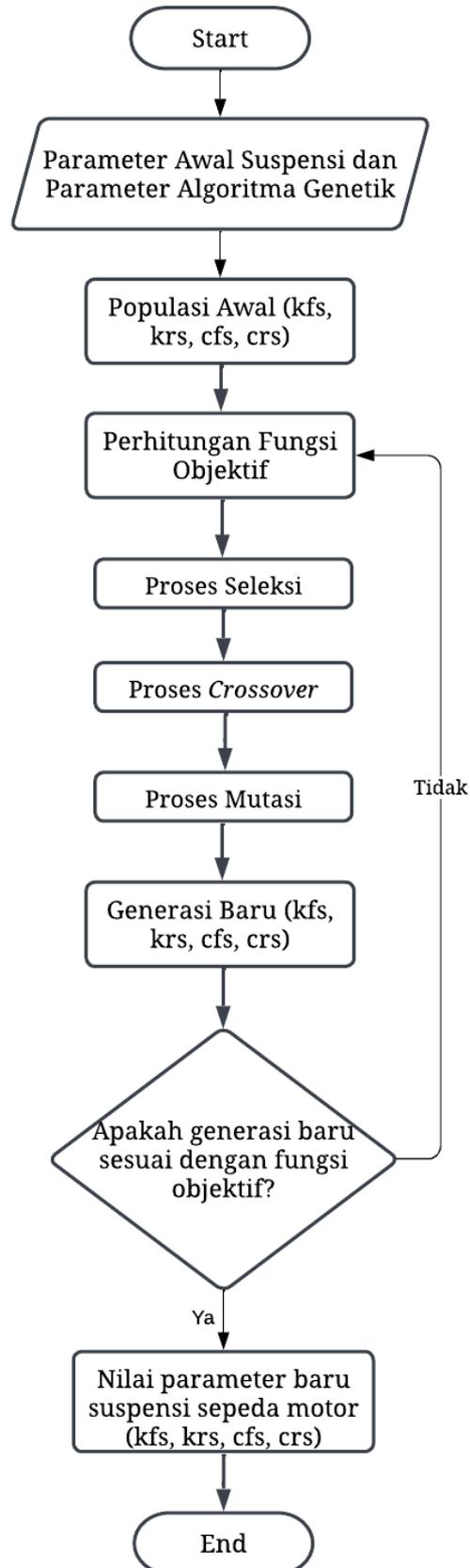
Penelitian ini dilakukan untuk merancang suspensi dari sepeda motor *trail* 2x2. Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini digambarkan pada *flowchart* sebagai berikut :

#### 3.1.1 *Flowchart* Penelitian Umum



**Gambar 3. 1** *Flowchart* Penelitian Umum

### 3.1.2 Flowchart Genetic Algorithm



Gambar 3. 2 Flowchart Genetic Algorithm

## 3.2 Metode Penelitian

### 3.2.1. Identifikasi Masalah

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah melakukan identifikasi masalah pada sepeda motor *trail* listrik 2x2. Sebagai alat transportasi yang digunakan sebagai kendaraan mobilisasi barang ke daerah pelosok, dibutuhkan suspensi yang paling optimal dalam menopang beban pengendara dan barang bawaannya sehingga meningkatkan kemampuan sepeda motor *trail* listrik 2x2 dalam melewati medan yang tidak rata.

### 3.2.2. Studi Literatur

Tahap selanjutnya pada penelitian ini yaitu studi literatur. Diperlukan berbagai referensi terkait untuk menunjang penyusunan penelitian ini. Sumber referensi yang digunakan meliputi buku, dan jurnal nasional maupun internasional yang membahas tentang materi *multi degree of freedom, base motion*, dan sistem suspensi pada sepeda motor.

### 3.2.3. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data dari referensi jurnal yang membahas mengenai sistem suspensi pada sepeda motor. Berikut adalah parameter sistem suspensi sepeda motor.

**Tabel 3. 1** Parameter Sistem Kendaraan

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Massa Pengendara	$M_p$	100	kg
Massa Barang	$M_b$	300	kg
Massa Bodi Sepeda Motor	$M_m$	160	kg
Massa <i>Unsprung</i> Depan	$M_{fw}$	10	kg
Massa <i>Unsprung</i> Belakang	$M_{rw}$	10	kg
Jarak Pengendara dengan CoG	$l_p$	0	m
Jarak Barang dengan CoG	$l_b$	0.149	m
Jarak Suspensi Depan dengan CoG	$l_{fs}$	0.353	m
Jarak Suspensi Belakang dengan CoG	$l_{rs}$	0.753	m
Jarak Roda Depan dengan CoG	$l_{fw}$	0.448	m
Jarak Roda Belakang dengan CoG	$l_{rw}$	0.922	m
Konstanta Pegas <i>seat</i> Pengendara	$k_p$	200	N/m
Konstanta Pegas <i>seat</i> Barang	$k_b$	200	N/m
Konstanta Pegas <i>Sprung</i> Roda Depan	$k_{fs}$	28171.66	N/m
Konstanta Pegas <i>Sprung</i> Roda Belakang	$k_{rs}$	60313.2	N/m
Konstanta Pegas Roda Depan	$k_{fw}$	152.53	N/m
Konstanta Pegas Roda Belakang	$k_{rw}$	176.1	N/m
Koefisien Redaman <i>seat</i> Pengendara	$c_p$	1165	Ns/m
Koefisien Redaman <i>Sprung</i> Roda Depan	$c_{fs}$	1926	Ns/m
Koefisien Redaman <i>Sprung</i> Roda Belakang	$c_{rs}$	4017	Ns/m
Koefisien Redaman Roda Depan	$c_{fw}$	175	Ns/m
Koefisien Redaman Roda Belakang	$c_{rw}$	150	Ns/m
Sudut Kemiringan Suspensi Depan	$\alpha$	15	°
Sudut Kemiringan Suspensi Belakang	$\beta$	60	°

### 3.2.4. Perancangan Mekanisme Sistem

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan sistem satu kendaraan penuh. Sistem ini terdiri dari pengendara, penumpang, *body* kendaraan pada gerakan translasi dan *pitching*, massa *unsprung* depan, dan massa *unsprung* belakang. Berikut adalah model fisik sistem suspensi *dualshock* :



Gambar 3. 3 Pemodelan Fisik Sepeda Motor dengan Suspensi *Dualshock*

### 3.2.5. Perhitungan *Center of Gravity* Kendaraan

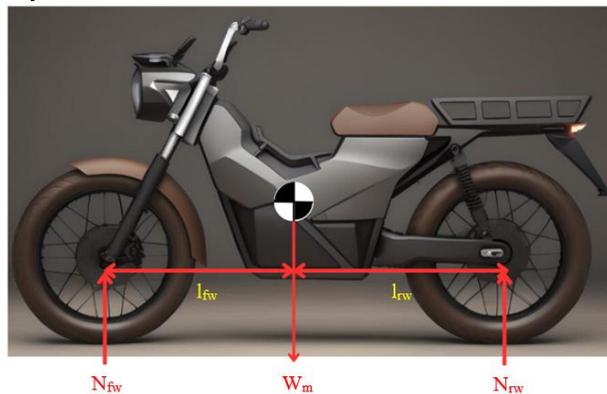
Perhitungan *Center of Gravity* dilakukan untuk mendapatkan titik dimana seluruh bobot kendaraan terpusat. Perhitungan *center of gravity* dilakukan sebagai berikut :

Diketahui :

$l$	$= 1.37 \text{ m}$	$l_p$	$= 0.5 \text{ m}$
$m_p$	$= 100 \text{ kg}$	$l_{fw}$	$= 0.8 \text{ l (asumsi)}$
$m_m$	$= 160 \text{ kg}$	$l_{rw}$	$= 0.2 \text{ l (asumsi)}$
$m_b$	$= 300 \text{ kg}$	$g$	$= 9.81 \text{ m/s}^2$

Jawab :

a. Kondisi tanpa beban



$$(\uparrow)\Sigma F = 0$$

$$W_m = N_{fw} + N_{rw}$$

$$(\curvearrowright)\Sigma M = 0$$

$$N_{fw} \cdot l - W_m \cdot l_{rw} = 0 \rightarrow N_{fw} = \frac{W_m \cdot l_{rw}}{l}$$

$$N_{fw} \cdot 1,37 - 9,81 \times 160 \times 0,2 \times 1,37 = 0$$

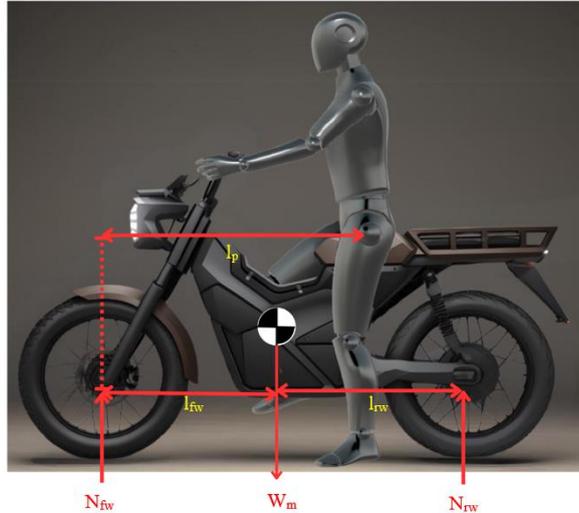
$$N_{fw} = 313.92 \text{ N}$$

$$W_m = N_{fw} + N_{rw}$$

$$1569.6 = 313.92 + N_{rw}$$

$$N_{rw} = 1255.68 \text{ N}$$

b. Kondisi dengan Beban



$$(\uparrow)\Sigma F = 0$$

$$W_m = N_{fw} + N_{rw}$$

$$(\curvearrowright)\Sigma M = 0$$

$$N_{fw} \cdot l - W_p(l - l_p) - (m_m + m_p + m_b) \cdot g \cdot l_{rw} = 0$$

$$\frac{W_m \cdot l_{rw}}{l} \cdot l - W_p(l - l_p) - (m_m + m_p + m_b) \cdot g \cdot 0,2l = 0$$

$$4905l_{rw} - 981(1,37 - 0,5) - (160 + 100 + 300) \times 9,81 \times 0,2 \times 1,37 = 0$$

$$4905l_{rw} = 853,47 + 4031,91$$

$$l_{rw} = 0,481 \text{ m}$$

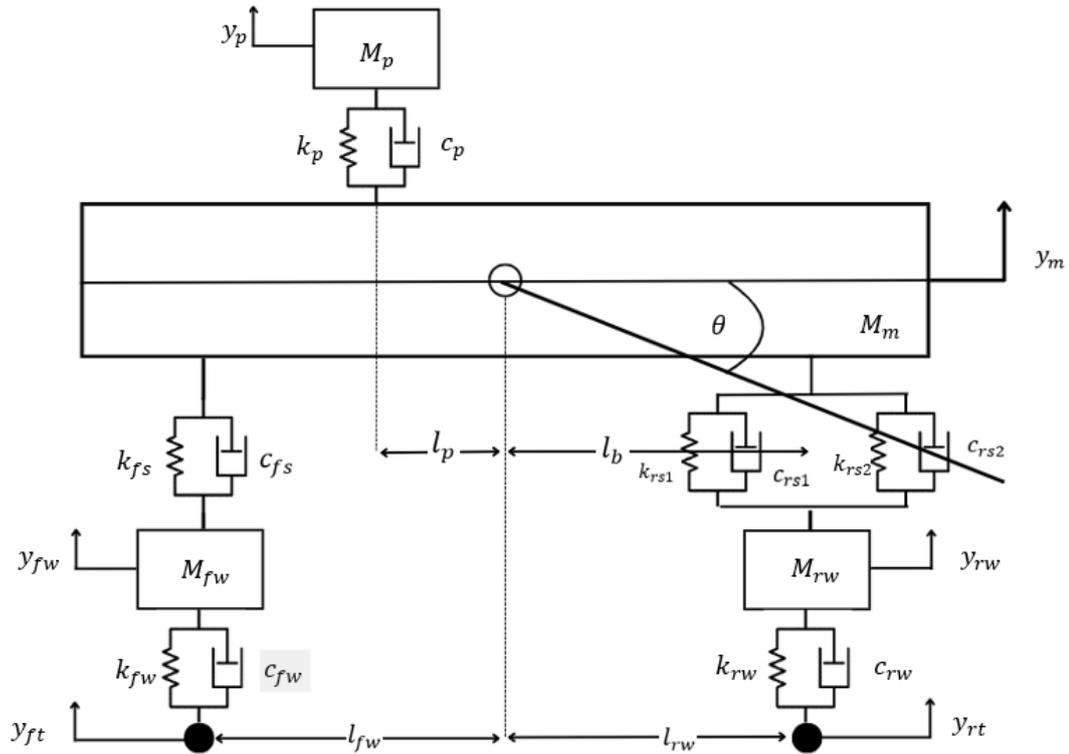
$$l_{fw} = l - l_{rw}$$

$$l_{fw} = 1,37 - 0,481$$

$$l_{fw} = 0,889 \text{ m}$$

### 3.2.6. Pemodelan Sistem Dinamis

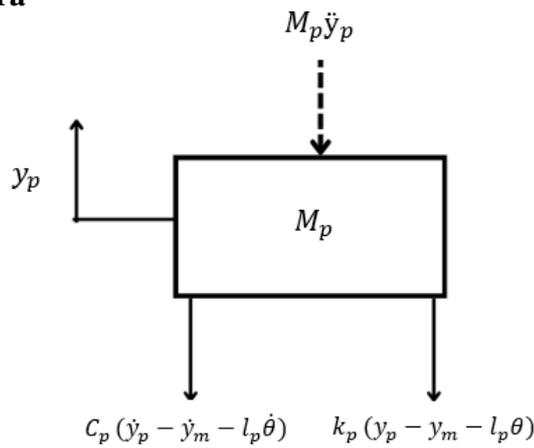
Digunakan pemodelan sistem satu kendaraan penuh dengan pengendara di bagian depan dan beban barang di bagian belakang. Melalui pemodelan ini, dapat diketahui besar gelombang permukaan jalan arah memanjang dan pengaruh kontur jalan pada suspensi *dualshock* pada roda belakang. Model ini terdiri dari 5 derajat kebebasan (*Degree of Freedom / DOF*) yang meliputi 1 dari pengendara, 2 dari *body* sepeda motor, 1 dari roda dan poros depan, serta 1 lainnya dari roda dan poros belakang.



**Gambar 3. 4** Pemodelan Dinamis Satu Kendaraan dengan Suspensi Belakang *Dualshock*

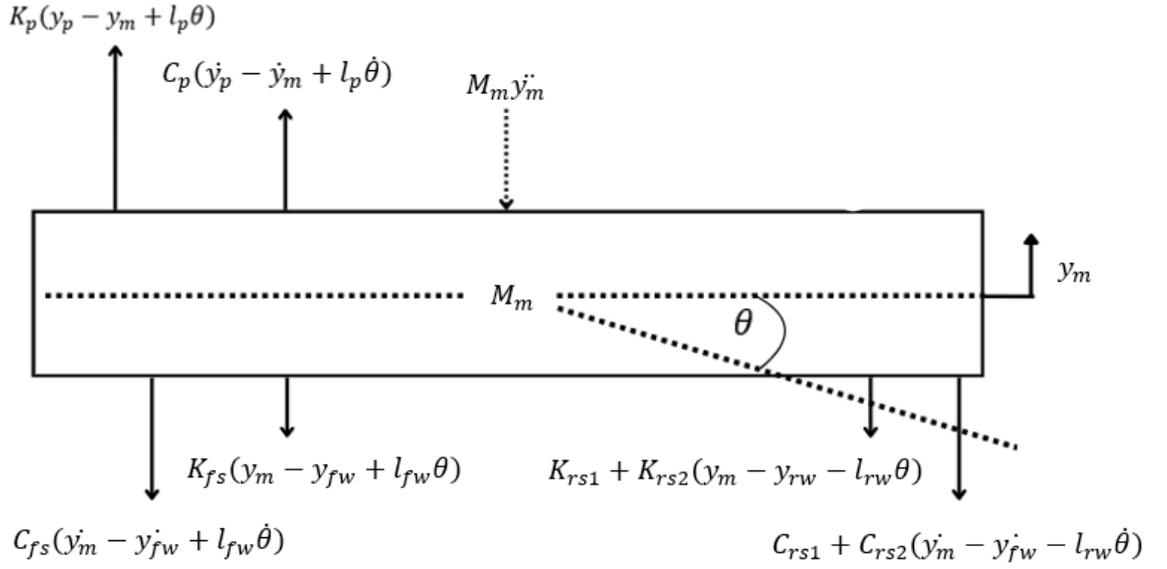
### 3.2.7. Penurunan Persamaan Gerak

#### 3.2.7.1. Pengendara



$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum F &= M_p \ddot{y}_p \\
 -k_p(y_p - y_m + l_p \theta) - c_p(\dot{y}_p - \dot{y}_m + l_p \dot{\theta}) &= M_p \ddot{y}_p \\
 M_p \ddot{y}_p &= -k_p y_p + k_p y_m - k_p l_p \theta - c_p \dot{y}_p + c_p \dot{y}_m - c_p l_p \dot{\theta} \\
 \ddot{y}_p &= \frac{1}{M_p} (-k_p y_p - c_p \dot{y}_p + c_p \dot{y}_m + k_p y_m - k_p l_p \theta - c_p l_p \dot{\theta}) \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

### 3.2.7.2. Bodi Sepeda Motor



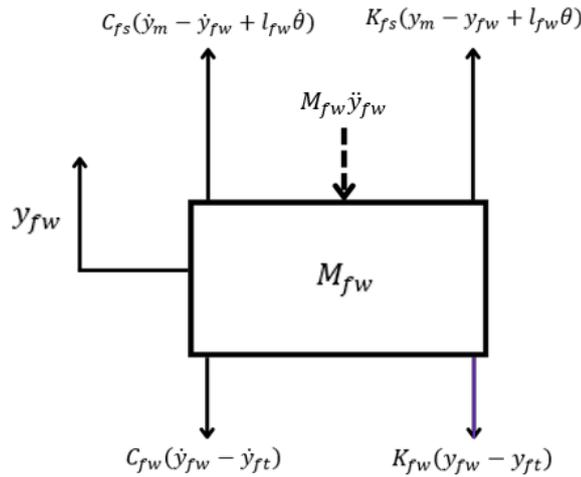
$$\begin{aligned}
 & +\uparrow \sum F = M_m \ddot{y}_m \\
 & k_p(y_p - y_m + l_p \theta) + c_p(\dot{y}_p - \dot{y}_m + l_p \dot{\theta}) - k_{fs}(y_m - y_{fw} + l_{fw} \theta) \\
 & \quad - c_{fs}(\dot{y}_m - \dot{y}_{fw} + l_{fw} \dot{\theta}) - (k_{rs1} + k_{rs2})(y_m - y_{rw} - l_{rw} \theta) \\
 & \quad - (c_{rs1} + c_{rs2})(\dot{y}_m - \dot{y}_{rw} - l_{rw} \dot{\theta}) = M_m \ddot{y}_m \\
 & M_m \ddot{y}_m = k_p y_p - k_p y_m + k_p l_p \theta + c_p \dot{y}_p - c_p \dot{y}_m + c_p l_p \dot{\theta} - k_{fs} y_m + k_{fs} y_{fw} \\
 & \quad - k_{fs} l_{fw} \theta - c_{fs} \dot{y}_m + c_{fs} \dot{y}_{fw} - c_{fs} l_{fw} \dot{\theta} - k_{rs1} y_m + k_{rs1} y_{rw} \\
 & \quad + k_{rs1} l_{rw} \theta - c_{rs1} \dot{y}_m + c_{rs1} \dot{y}_{rw} + c_{rs1} l_{rw} \dot{\theta} - k_{rs2} y_m + k_{rs2} y_{rw} \\
 & \quad + k_{rs2} l_{rw} \theta - c_{rs2} \dot{y}_m + c_{rs2} \dot{y}_{rw} + c_{rs2} l_{rw} \dot{\theta} \\
 & \ddot{y}_m = \frac{1}{M_m} (k_p y_p + c_p \dot{y}_p - k_p y_m - k_{fs} y_m - k_{rs1} y_m - k_{rs2} y_m - c_p \dot{y}_m - c_{fs} \dot{y}_m \\
 & \quad - c_{rs1} \dot{y}_m - c_{rs2} \dot{y}_m + k_p l_p \theta + k_{fs} l_{fw} \theta + k_{rs1} l_{rw} \theta + k_{rs2} l_{rw} \theta \\
 & \quad + c_p l_p \dot{\theta} + c_{fs} l_{fw} \dot{\theta} + c_{rs1} l_{rw} \dot{\theta} + c_{rs2} l_{rw} \dot{\theta} + k_{fs} y_{fw} + c_{fs} \dot{y}_{fw} \\
 & \quad + k_{rs1} y_{rw} + c_{rs1} \dot{y}_{rw} + k_{rs2} y_{rw} + c_{rs2} \dot{y}_{rw}) \\
 & \ddot{y}_m = \frac{1}{M_m} \{k_p y_p + c_p \dot{y}_p - (k_p y_m + k_{fs} y_m + k_{rs1} y_m + k_{rs2} y_m) - \\
 & (c_p \dot{y}_m + c_{fs} \dot{y}_m + c_{rs1} \dot{y}_m + c_{rs2} \dot{y}_m) + (k_p l_p \theta + k_{fs} l_{fw} \theta + k_{rs1} l_{rw} \theta + \\
 & k_{rs2} l_{rw} \theta) + (c_p l_p \dot{\theta} + c_{fs} l_{fw} \dot{\theta} + c_{rs1} l_{rw} \dot{\theta} + c_{rs2} l_{rw} \dot{\theta}) + k_{fs} y_{fw} + c_{fs} \dot{y}_{fw} + \\
 & (k_{rs1} y_{rw} + k_{rs2} y_{rw}) + (c_{rs1} \dot{y}_{rw} + c_{rs2} \dot{y}_{rw})\} \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

### 3.2.7.3. Pitching Sepeda Motor

$$\begin{aligned}
 & +\cup \sum M = J_m \ddot{\theta} \\
 & J_m \ddot{\theta} = k_p(y_p - y_m + l_p \theta) l_p + c_p(\dot{y}_p - \dot{y}_m + l_p \dot{\theta}) l_p \\
 & \quad - k_{fs}(y_m - y_{fw} + l_{fs} \theta) l_{fs} \sin \alpha - c_{fs}(\dot{y}_m - \dot{y}_{fw} + l_{fs} \dot{\theta}) l_{fs} \sin \alpha \\
 & \quad - (k_{rs1} + k_{rs2})(y_m - y_{rw} - l_{rs} \theta) l_{rs} \sin \beta - (c_{rs1} \\
 & \quad + c_{rs2})(\dot{y}_m - \dot{y}_{rw} - l_{rs} \dot{\theta}) l_{rs} \sin \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_m \ddot{\theta} &= k_p y_p l_p - k_p y_m l_p + k_p l_p^2 \theta + c_p \dot{y}_p l_p - c_p \dot{y}_m l_p + c_p l_p^2 \dot{\theta} \\
&\quad + (-k_{fs} y_m l_{fs} + k_{fs} y_{fw} l_{fs} - k_{fs} l_{fs}^2 \theta - c_{fs} \dot{y}_m l_{fs} + c_{fs} \dot{y}_{fw} l_{fs} \\
&\quad - c_{fs} l_{fs}^2 \dot{\theta}) \sin \alpha \\
&\quad - \{(k_{rs1} + k_{rs2}) y_m l_{rs} - (k_{rs1} + k_{rs2}) y_{rw} l_{rs} - (k_{rs1} \\
&\quad + k_{rs2}) l_{rs}^2 \theta + (c_{rs1} + c_{rs2}) \dot{y}_m l_{rs} - (c_{rs1} + c_{rs2}) \dot{y}_{rw} l_{rs} - (c_{rs1} \\
&\quad + c_{rs2}) l_{rs}^2 \dot{\theta}\} \sin \beta \\
\ddot{\theta} &= \frac{1}{J_m} [k_p y_p l_p - k_p y_m l_p + k_p l_p^2 \theta + c_p \dot{y}_p l_p - c_p \dot{y}_m l_p + c_p l_p^2 \dot{\theta} + \\
&\quad (-k_{fs} y_m l_{fs} + k_{fs} y_{fw} l_{fs} - k_{fs} l_{fs}^2 \theta - c_{fs} \dot{y}_m l_{fs} + c_{fs} \dot{y}_{fw} l_{fs} - c_{fs} l_{fs}^2 \dot{\theta}) \sin \alpha - \\
&\quad \{(k_{rs1} + k_{rs2}) y_m l_{rs} - (k_{rs1} + k_{rs2}) y_{rw} l_{rs} - (k_{rs1} + k_{rs2}) l_{rs}^2 \theta + (c_{rs1} + \\
&\quad c_{rs2}) \dot{y}_m l_{rs} - (c_{rs1} + c_{rs2}) \dot{y}_{rw} l_{rs} - (c_{rs1} + c_{rs2}) l_{rs}^2 \dot{\theta}\} \sin \beta] \\
\ddot{\theta} &= \frac{1}{J_m} [k_p y_p l_p + c_p \dot{y}_p l_p - k_p y_m l_p - c_p \dot{y}_m l_p - k_p l_p^2 \theta - c_p l_p^2 \dot{\theta} \\
&\quad + (-k_{fs} y_m l_{fs} + k_{fs} y_{fw} l_{fs} - k_{fs} l_{fs}^2 \theta - c_{fs} \dot{y}_m l_{fs} + c_{fs} \dot{y}_{fw} l_{fs} \\
&\quad - c_{fs} l_{fs}^2 \dot{\theta}) \sin \alpha - \{(k_{rs1} + k_{rs2}) y_m l_{rs} - (k_{rs1} + k_{rs2}) y_{rw} l_{rs} \\
&\quad - (k_{rs1} + k_{rs2}) l_{rs}^2 \theta + (c_{rs1} + c_{rs2}) \dot{y}_m l_{rs} - (c_{rs1} + c_{rs2}) \dot{y}_{rw} l_{rs} \\
&\quad - (c_{rs1} + c_{rs2}) l_{rs}^2 \dot{\theta}\} \sin \beta] \\
\ddot{\theta} &= \frac{1}{J_m} [k_p y_p l_p + c_p \dot{y}_p l_p + \{-k_p y_m l_p - k_{fs} y_m l_{fs} \sin \alpha - (k_{rs1} + \\
&\quad k_{rs2}) y_m l_{rs} \sin \beta\} - \{c_p \dot{y}_m l_p + c_{fs} \dot{y}_m l_{fs} \sin \alpha - (c_{rs1} + c_{rs2}) \dot{y}_m l_{rs} \sin \beta\} - \\
&\quad \{k_p l_p^2 \theta - k_{fs} l_{fs}^2 \theta \sin \alpha - (k_{rs1} + k_{rs2}) l_{rs}^2 \theta \sin \beta\} + \{c_{fs} l_{fs}^2 \dot{\theta} \sin \alpha + \\
&\quad (c_{rs1} + c_{rs2}) l_{rs}^2 \dot{\theta} \sin \beta - c_p l_p^2 \dot{\theta}\} - k_{fs} y_{fw} l_{fs} \sin \alpha + c_{fs} \dot{y}_{fw} l_{fs} \sin \alpha + \\
&\quad (k_{rs1} + k_{rs2}) y_{rw} l_{rs} \sin \beta + (c_{rs1} + c_{rs2}) \dot{y}_{rw} l_{rs} \sin \beta] \tag{3.3}
\end{aligned}$$

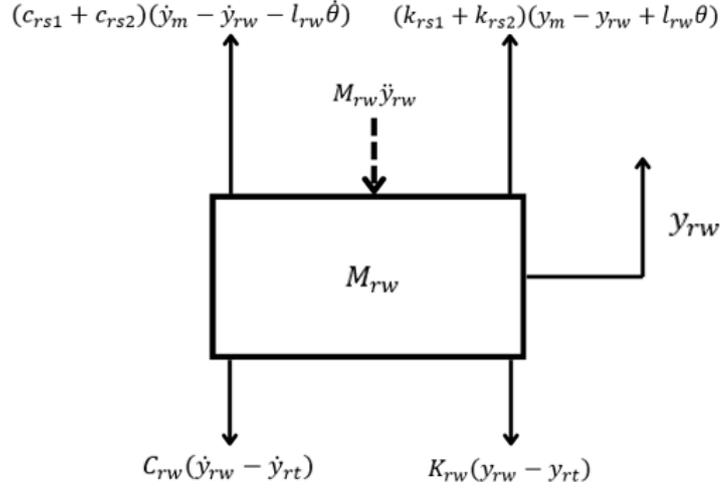
#### 3.2.7.4. Massa Unsprung Depan



$$\begin{aligned}
&+\uparrow \sum F = M_{fw} \ddot{y}_{fw} \\
&k_{fs}(y_m - y_{fw} + l_{fw}\theta) + c_{fs}(\dot{y}_m - \dot{y}_{fw} + l_{fw}\dot{\theta}) - k_{fw}(y_{fw} - y_{ft}) \\
&\quad - c_{fw}(\dot{y}_{fw} - \dot{y}_{ft}) = M_{fw} \ddot{y}_{fw} \\
M_{fw} \ddot{y}_{fw} &= k_{fs} y_m - k_{fs} y_{fw} + k_{fs} l_{fw} \theta + c_{fs} \dot{y}_m - c_{fs} \dot{y}_{fw} + c_{fs} l_{fw} \dot{\theta} - k_{fw} y_{fw} \\
&\quad + k_{fw} y_{ft} - c_{fw} \dot{y}_{fw} + c_{fw} \dot{y}_{ft}
\end{aligned}$$

$$\ddot{y}_{fw} = \frac{1}{M_{fw}} (k_{fs}y_m + c_{fs}\dot{y}_m - (k_{fs}y_{fw} + k_{fw}y_{fw}) - (c_{fs}\dot{y}_{fw} + c_{fw}\dot{y}_{fw}) - k_{fs}l_{fw}\theta - c_{fs}l_{fw}\dot{\theta} + k_{fw}y_{ft} + c_{fw}\dot{y}_{ft}) \quad (3.4)$$

### 3.2.7.5. Massa *Unsprung* Belakang



$$\begin{aligned}
& + \uparrow \sum F = M_{rw} \ddot{y}_{rw} \\
& (k_{rs1} + k_{rs2})(y_m - y_{rw} + l_{rw}\theta) + (c_{rs1} + c_{rs2})(\dot{y}_m - \dot{y}_{rw} + l_{rw}\dot{\theta}) \\
& \quad - k_{rw}(y_{rw} - y_{rt}) - c_{rw}(\dot{y}_{rw} - \dot{y}_{rt}) = M_{rw} \ddot{y}_{rw} \\
& M_{rw} \ddot{y}_{rw} = k_{rs1}y_m - k_{rs1}y_{rw} + k_{rs1}l_{rw}\theta + c_{rs1}\dot{y}_m - c_{rs1}\dot{y}_{rw} + \\
& c_{rs1}l_{rw}\dot{\theta} + k_{rs2}y_m - k_{rs2}y_{rw} + k_{rs2}l_{rw}\dot{\theta} + c_{rs2}\dot{y}_m - c_{rs2}\dot{y}_{rw} + c_{rs2}l_{rw}\dot{\theta} - \\
& k_{rw}y_{rw} + k_{rw}y_{rt} - c_{rw}\dot{y}_{rw} + c_{rw}\dot{y}_{rt} \\
& \ddot{y}_{rw} = \frac{1}{M_{rw}} \{ (k_{rs1} + k_{rs2})y_m + (c_{rs1} + c_{rs2})\dot{y}_m - (k_{rs1}y_{rw} + k_{rs2}y_{rw} + \\
& k_{rw}y_{rw}) - (c_{rs1}\dot{y}_{rw} + c_{rs2}\dot{y}_{rw} + c_{rw}\dot{y}_{rw}) + (k_{rs1} + k_{rs2})l_{rw}\dot{\theta} + (c_{rs1} + \\
& c_{rs2})l_{rw}\dot{\theta} + k_{rw}y_{rt} + c_{rw}\dot{y}_{rt} \} \quad (3.5)
\end{aligned}$$

Keterangan Notasi :

- $M_p$  = Massa Pengendara
- $M_b$  = Massa Barang
- $M_m$  = Massa Bodi Sepeda Motor
- $M_{fw}$  = Massa *Unsprung* Depan
- $M_{rw}$  = Massa *Unsprung* Belakang
- $l_p$  = Jarak Pengendara dengan CoG
- $l_{fs}$  = Jarak Suspensi Depan dengan CoG
- $l_{rs}$  = Jarak Suspensi Belakang dengan CoG
- $l_{fw}$  = Jarak Roda Depan dengan CoG
- $l_{rw}$  = Jarak Roda Belakang dengan CoG
- $k_p$  = Konstanta Pegas *seat* Pengendara
- $k_{fs}$  = Konstanta Pegas *sprung* Roda Depan
- $k_{rs1}, k_{rs2}$  = Konstanta Pegas *sprung* Roda Belakang
- $k_{fw}$  = Konstanta Pegas Roda Depan
- $k_{rw}$  = Konstanta Pegas Roda Belakang
- $c_p$  = Koefisien Redaman *seat* Pengendara
- $c_{fs}$  = Koefisien Redaman *sprung* Roda Depan

$c_{rs1}, c_{rs2}$	= Koefisien Redaman <i>sprung</i> Roda Belakang
$c_{fw}$	= Koefisien Redaman Roda Depan
$c_{rw}$	= Koefisien Redaman <i>sprung</i> Roda Belakang
$\alpha$	= Sudut Kemiringan Suspensi Depan
$\beta$	= Sudut Kemiringan Suspensi Belakang
$J_b$	= Momen Inersia Bodi Sepeda Motor
$y_p$	= Perpindahan Pengendara
$y_m$	= Perpindahan Bodi Sepeda Motor
$y_{fw}$	= Perpindahan <i>unsprung</i> Depan
$y_{rw}$	= Perpindahan <i>unsprung</i> Belakang
$y_{ft}$	= Perpindahan Roda Depan
$y_{rt}$	= Perpindahan Roda Belakang
$\theta$	= Perpindahan <i>pitch</i> Sepeda Motor
$\dot{y}_p$	= Kecepatan Pengendara
$\dot{y}_m$	= Kecepatan Bodi Sepeda Motor
$\dot{y}_{fw}$	= Kecepatan <i>unsprung</i> Depan
$\dot{y}_{rw}$	= Kecepatan <i>unsprung</i> Belakang
$\dot{y}_{ft}$	= Kecepatan Roda Depan
$\dot{y}_{rt}$	= Kecepatan Roda Belakang
$\dot{\theta}$	= Kecepatan <i>pitch</i> Sepeda Motor
$\ddot{y}_p$	= Percepatan Pengendara
$\ddot{y}_m$	= Percepatan Bodi Sepeda Motor
$\ddot{y}_{fw}$	= Percepatan <i>unsprung</i> Depan
$\ddot{y}_{rw}$	= Percepatan <i>unsprung</i> Belakang
$\ddot{\theta}$	= Percepatan <i>pitch</i> Sepeda Motor

### 3.2.8. Profil Lintasan Jalan

Profil jalan yang akan dilalui pada simulasi ini menggunakan dua input *disturbance* yaitu fungsi sinusoidal dan *White Gaussian Noise*.

#### 3.2.8.1. Fungsi Sinusoidal

Lintasan sinusoidal yang digunakan memiliki amplitudo dengan variasi 0.1 m, 0.15 m, dan 0.2 m. Kendaraan bergerak dengan kecepatan 10 km/jam. Profil permukaan jalan diasumsikan sebagai gerak harmonik dengan karakteristik sebagai berikut :

$$z(t)_f = A \sin \omega t \quad (3.9)$$

$$z(t)_r = A \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.10)$$

Dimana:

$A = \text{Amplitudo (m)}$

$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{V}{\lambda} = \text{frekuensi (rad/s)}$

$V = \text{Kecepatan kendaraan (m/s)}$

$\lambda = \text{Panjang gelombang (m)}$

$\varphi = \text{Delay roda belakang dan roda depan (s)}$

### 3.2.8.2. Fungsi White Gaussian Noise

Fungsi *White Gaussian Noise* yang disimulasikan adalah gangguan yang tidak rata pada jalan dengan variasi panjang gelombang ( $\lambda$ ) maksimum sebesar 1.5 m. Input *noise power* yang disimulasikan sebesar 0.05 detik dengan nilai *seed* acak agar gelombang yang dihasilkan juga bervariasi. (Lihat **Lampiran Bagian 3**)

### 3.2.9. Metode Optimasi Genetic Algorithm

Pada metode optimasi dengan metode *genetic algorithm*, ditetapkan populasi awal yang akan digunakan sebesar 200 untuk setiap nilai kekakuan dan redaman suspensi depan dan belakang. Batas ketentuan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Batas nilai kekakuan suspensi depan  $30000 \text{ N/m} \leq k_{fs} \leq 50000 \text{ N/m}$ .
2. Batas nilai kekakuan suspensi belakang  $50000 \text{ N/m} \leq k_{rs} \leq 100000 \text{ N/m}$ .
3. Batas nilai redaman suspensi depan  $1000 \text{ Ns/m} \leq c_{fs} \leq 3000 \text{ Ns/m}$
4. Batas nilai redaman suspensi belakang  $1000 \text{ Ns/m} \leq c_{rs} \leq 4000 \text{ Ns/m}$ .

Dengan fungsi objektif sebagai berikut :

$$F(k_s, c_s) = \max(|y_m| + |\dot{y}_m|) + \max(\ddot{y}_m - 9.8) + \max(\theta - 6.28) + \max(|y_m - \dot{y}_{rw}| - 0.15) + \max(|y_m - \dot{y}_{fw}| - 0.135)$$

Generasi dengan nilai fitness tertinggi akan dipertahankan, lalu dilanjutkan dengan proses seleksi menggunakan metode *roulette-wheel selection*. Generasi terbaik hasil seleksi ini akan melalui tahap persilangan (*crossover*) untuk menghasilkan generasi turunan (*offspring*). Untuk meningkatkan variasi generasi yang dihasilkan, mutasi akan dilakukan pada *offspring*. Proses ini akan terus berulang hingga mencapai 200 generasi. *Output* dari metode ini adalah nilai kekakuan dan koefisien redaman sistem suspensi pada sepeda motor sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan dalam sistem optimasi, sebagai berikut :

**Tabel 3. 2** Parameter Genetik yang Akan Digunakan

Parameter	Nilai
Jumlah Populasi	250
Peluang Crossover	<i>Crossoverheuristic</i>
Peluang Mutasi	<i>Mutationadaptfeasible</i>

### 3.2.10. Analisa Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan simulasi dan optimasi yang dilakukan menggunakan metode *genetic algorithm*, selanjutnya akan dianalisis dan dibahas sesuai dengan rumusan masalah yang telah dibuat. Data hasil penelitian kemudian akan dibandingkan dengan analisis menggunakan parameter asli yang telah diterapkan pada kendaraan yang digunakan sebagai pemodelan untuk kemudian ditarik kesimpulan dari hasil yang telah dicapai.

### 3.2.11. Kesimpulan

Setelah dilakukan semua tahapan sebelumnya, tahapan terakhir adalah penarikan kesimpulan. Kesimpulan ditentukan melalui poin bahasan dan menjawab rumusan masalah yang telah ditentukan sebelumnya sehingga tujuan dari penelitian dapat tercapai. Kemudian dapat diberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

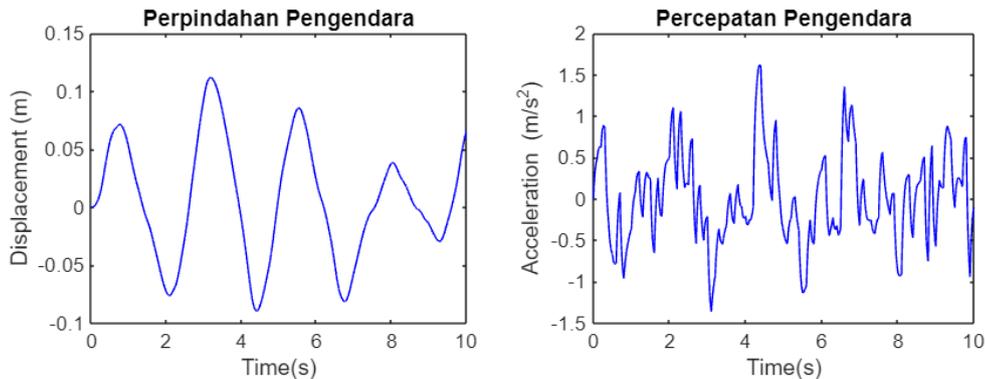
## BAB IV ANALISIS HASIL & PEMBAHASAN

### 4.1. Analisis Parameter Awal Suspensi Sepeda Motor Trail Listrik 2x2

Parameter awal yang digunakan sebagai referensi pada sepeda motor *trail* listrik 2x2 ini disimulasikan pada MATLAB untuk mengetahui respon perpindahan dan percepatan dari tiap – tiap derajat kebebasan sepeda motor tersebut. Input yang digunakan untuk pemodelan respon dinamis sistem pada analisis ini yaitu input sinusoidal dengan variasi amplitudo sebesar 0.1 meter, 0.15 meter, dan 0.2 meter dengan kelajuan sepeda motor konstan 10 km/jam. Input sinusoidal tersebut kemudian digabungkan dengan *input* gangguan jalan dengan fungsi *band-limited white noise* sehingga mendekati kondisi jalanan asli yang akan dilalui sepeda motor tersebut. Parameter awal yang digunakan pada analisis ini merupakan hasil dari referensi dan pengamatan *prototype* secara langsung di lapangan sehingga didapat beberapa parameter yang dibutuhkan untuk selanjutnya akan dilakukan optimasi. Dengan total 5 DOF, hasil dari simulasi tersebut adalah sebagai berikut :

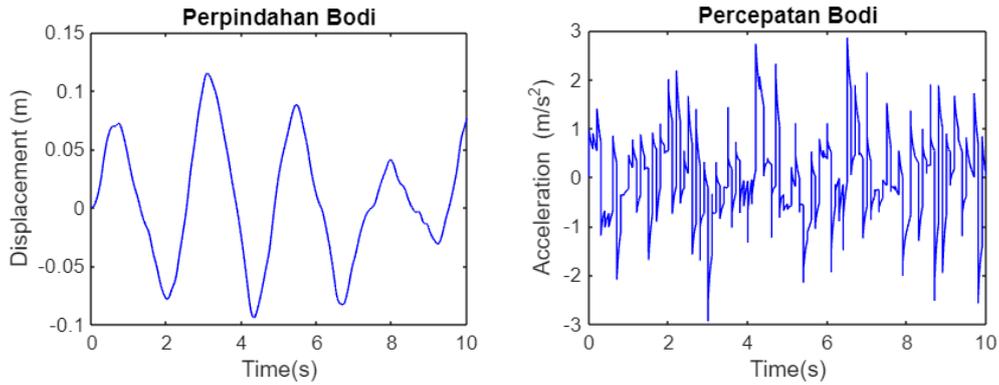
#### 4.1.1. Amplitudo 0.1 meter

Respon dinamis yang dihasilkan oleh simulasi pada amplitudo 0.1 m yaitu respon percepatan dan perpindahan vertikal yang terjadi pada pengendara, bodi kendaraan, *sprung*, serta percepatan dan perpindahan *pitch* yang terjadi pada bodi kendaraan.

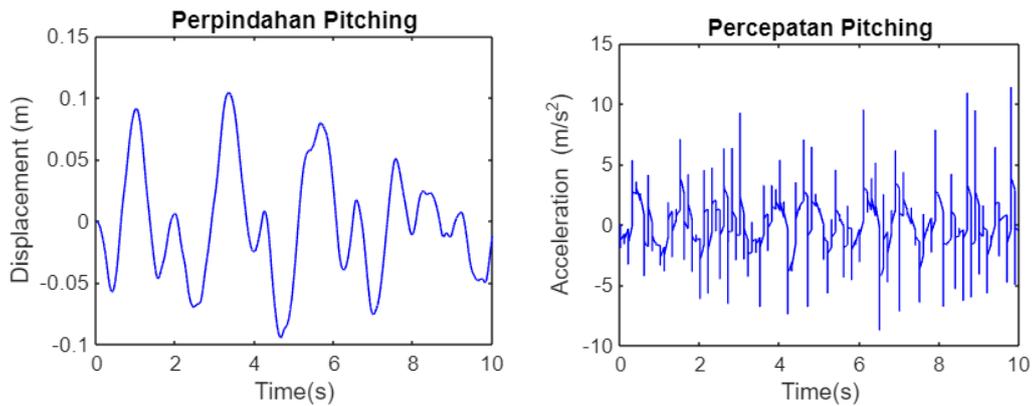


**Gambar 4. 1** Respon Dinamis Pengendara pada Amplitudo 0.1 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1, dapat dilihat bahwa respon perpindahan maksimal yang terjadi pada pengendara sebesar 0.0503 m, sedangkan percepatan maksimal yang terjadi pada pengendara adalah sebesar 0.5600 m/s<sup>2</sup>.

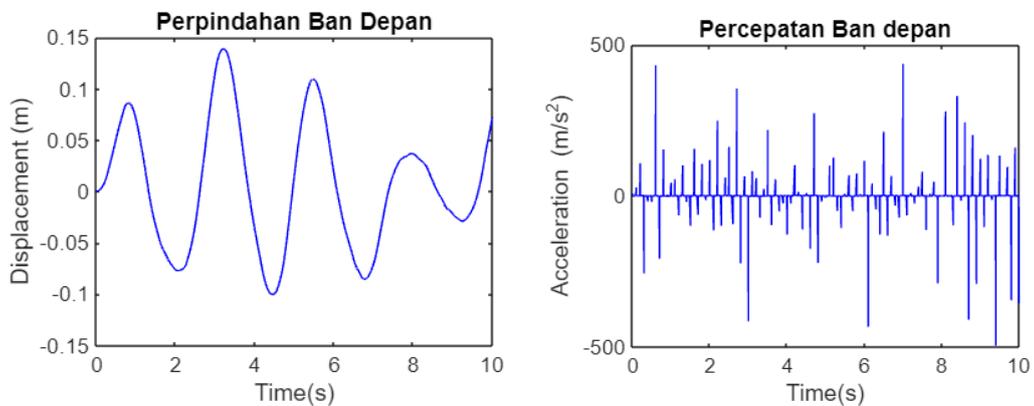


**Gambar 4. 2** Respon Dinamis Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.1 meter

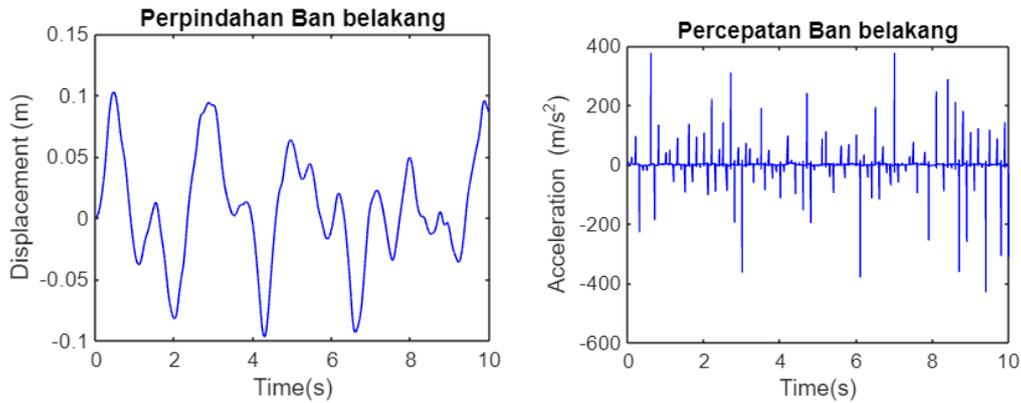


**Gambar 4. 3** Respon Dinamis Pitching Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.1 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.2 dan 4.3 di atas, dapat dilihat bahwa pada bodi kendaraan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.0515 m, serta percepatan maksimal sebesar  $0.9266 \text{ m/s}^2$ . Perpindahan *pitch* maksimal yang dialami bodi kendaraan sebesar 0.0460 rad dan percepatan *pitch* maksimal sebesar  $1.7987 \text{ rad/s}^2$ .



**Gambar 4. 4** Respon Dinamis Roda Depan pada Amplitudo 0.1 meter

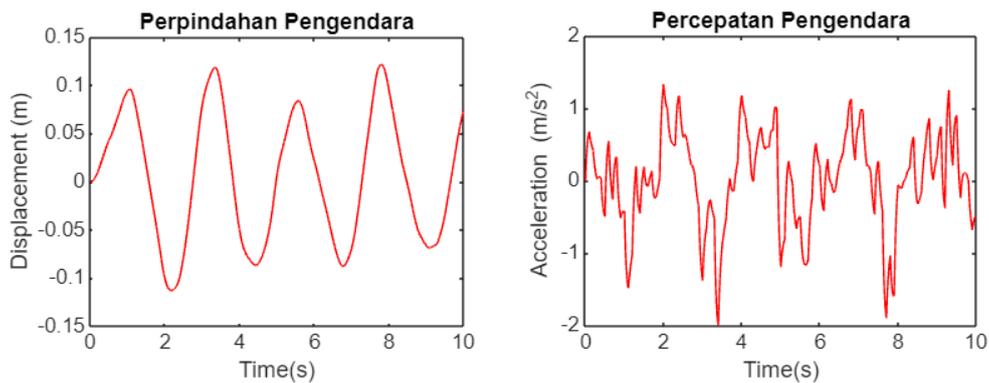


**Gambar 4. 5** Respon Dinamis Roda Belakang pada Amplitudo 0.1 meter

Respon dinamis roda depan dan belakang digambarkan dengan grafik pada gambar 4.4 dan 4.5. Pada gambar 4.4, dapat diamati bahwa pada roda depan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.0607 m serta percepatan maksimal sebesar 38.6684  $m/s^2$ . Sedangkan pada roda belakang mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.0466 m dengan percepatan maksimal sebesar 34.0756  $m/s^2$ .

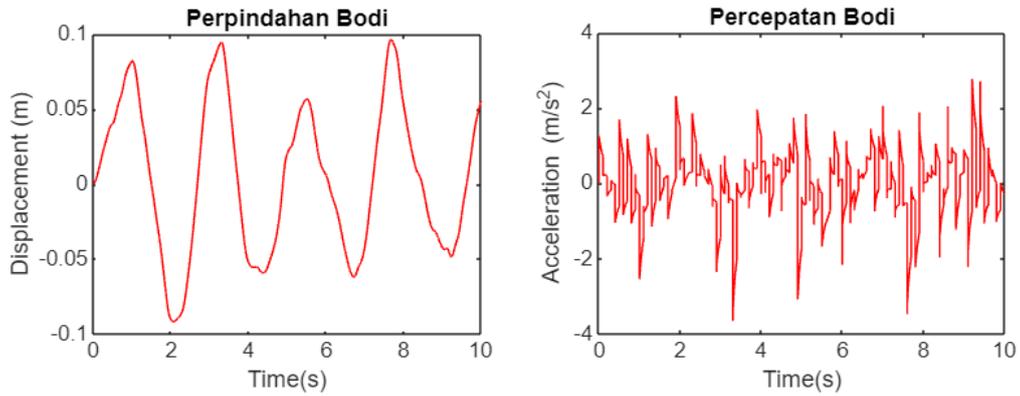
#### 4.1.2. Amplitudo 0.15 meter

Respon dinamis yang dihasilkan oleh simulasi pada amplitudo 0.15 m yaitu respon percepatan dan perpindahan vertikal yang terjadi pada pengendara, bodi kendaraan, *sprung*, serta percepatan dan perpindahan *pitch* yang terjadi pada bodi kendaraan.

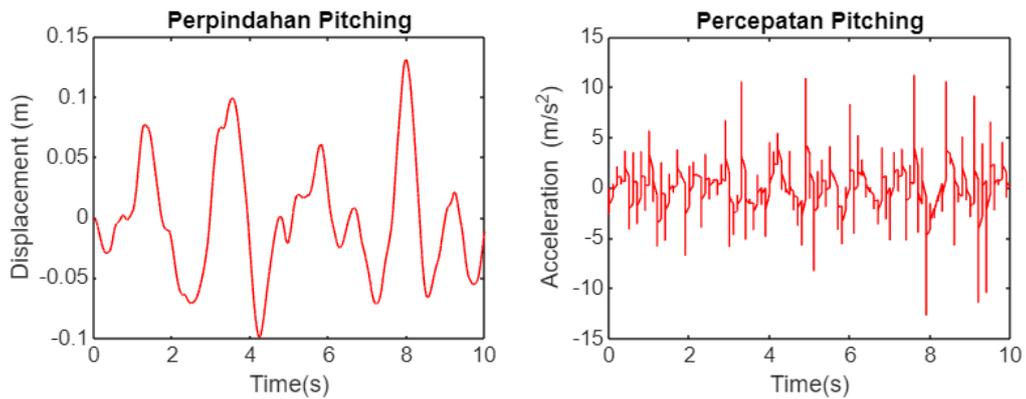


**Gambar 4. 6** Respon Dinamis Pengendara pada Amplitudo 0.15 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.6, dapat dilihat bahwa respon perpindahan maksimal yang terjadi pada pengendara sebesar 0.0660 m, sedangkan percepatan maksimal yang terjadi pada pengendara adalah sebesar 0.6637  $m/s^2$ .

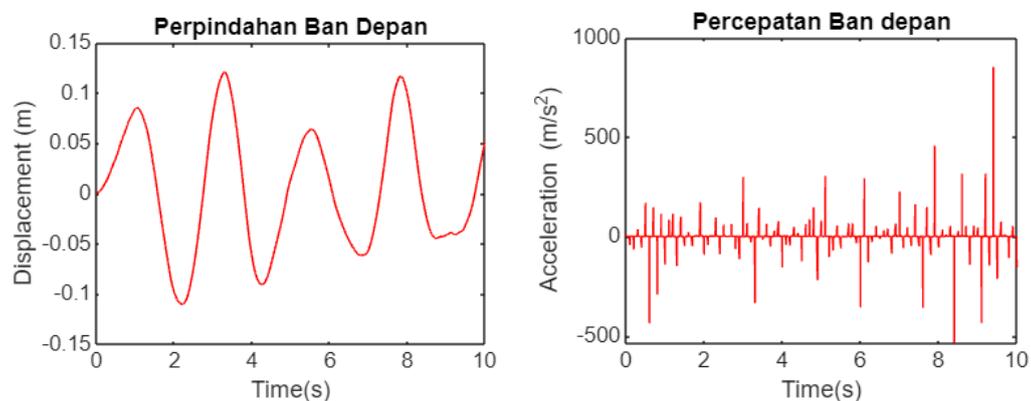


**Gambar 4. 7** Respon Dinamis Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.15 meter

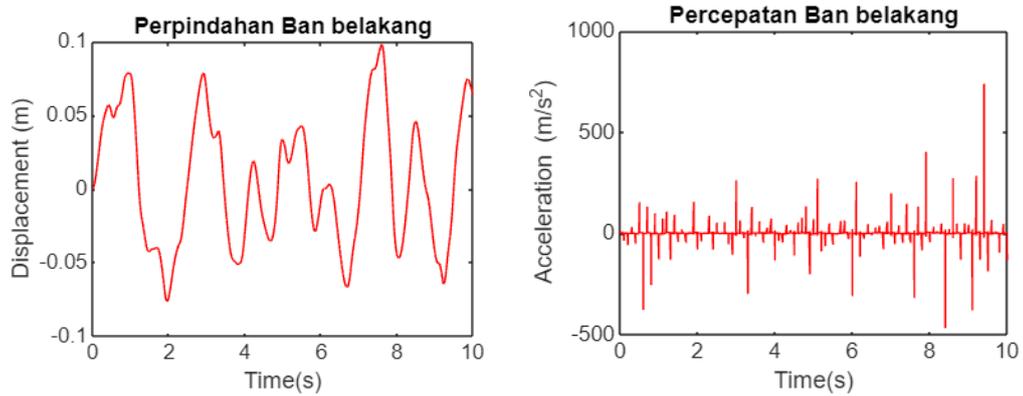


**Gambar 4. 8** Respon Dinamis *Pitching* Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.15 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.7 dan 4.8 di atas, dapat dilihat bahwa pada bodi kendaraan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.0675 m, serta percepatan maksimal sebesar 1.0057 m/s<sup>2</sup>. Perpindahan *pitch* maksimal yang dialami bodi kendaraan sebesar 0.0582 rad dan percepatan *pitch* maksimal sebesar 1.7813 rad/s<sup>2</sup>.



**Gambar 4. 9** Respon Dinamis Roda Depan pada Amplitudo 0.15 meter

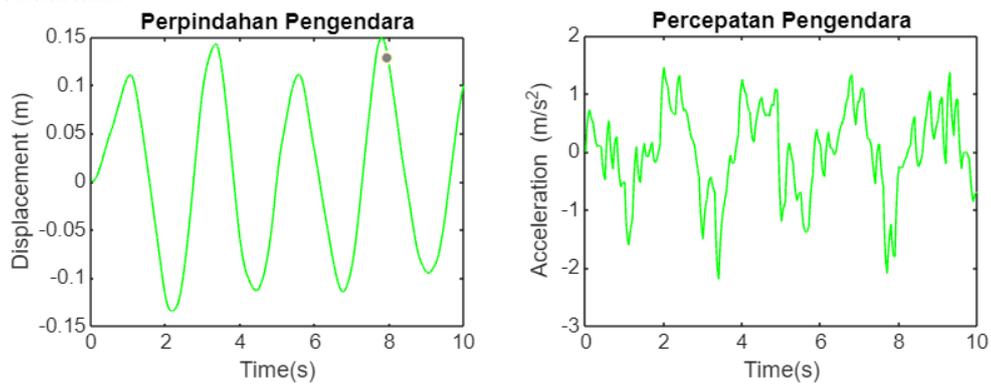


**Gambar 4. 10** Respon Dinamis Roda Belakang pada Amplitudo 0.15 meter

Respon dinamis roda depan dan belakang digambarkan dengan grafik pada gambar 4.9 dan 4.10. Pada gambar 4.7, dapat diamati bahwa pada roda depan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.0812 m serta percepatan maksimal sebesar  $41.6105 \text{ m/s}^2$ . Sedangkan pada gambar 4.8, roda belakang mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.0544 m dengan percepatan maksimal sebesar  $36.6564 \text{ m/s}^2$ .

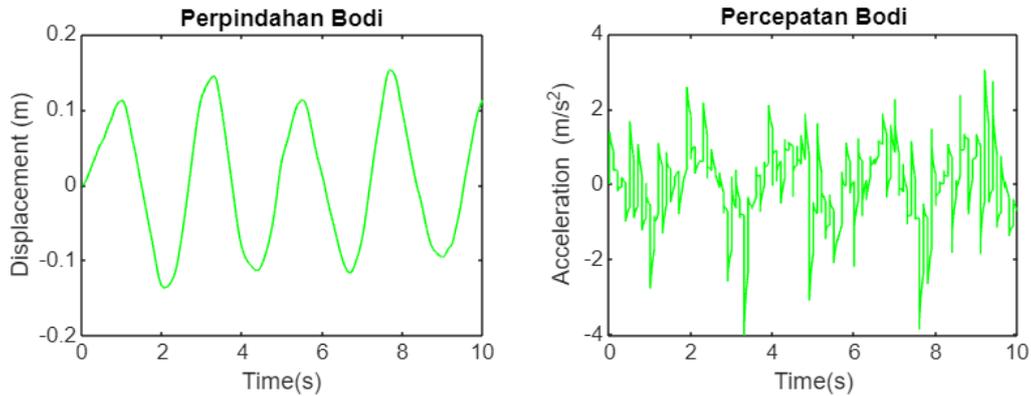
#### 4.1.3. Amplitudo 0.2 meter

Respon dinamis yang dihasilkan oleh simulasi pada amplitudo 0.2 m yaitu respon percepatan dan perpindahan vertikal yang terjadi pada pengendara, bodi kendaraan, *sprung*, serta percepatan dan perpindahan *pitch* yang terjadi pada bodi kendaraan.

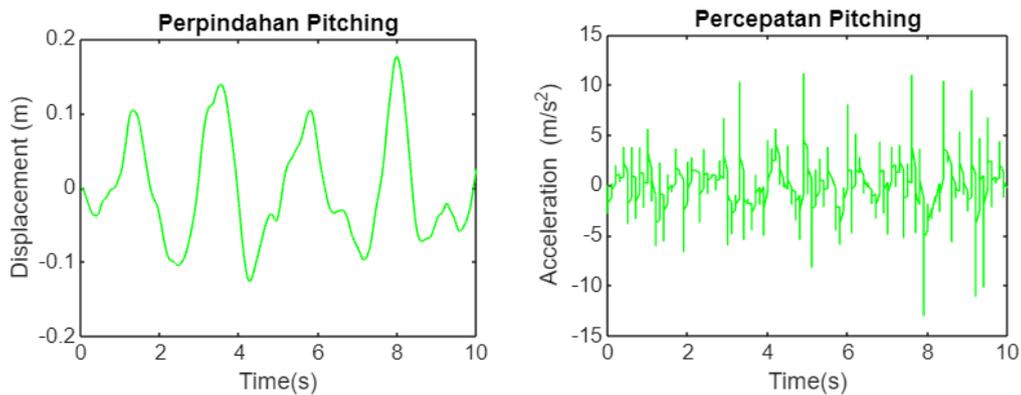


**Gambar 4. 11** Respon Dinamis Pengendara pada Amplitudo 0.2 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.11, dapat dilihat bahwa respon perpindahan maksimal yang terjadi pada pengendara sebesar 0.0824 m, sedangkan percepatan maksimal yang terjadi pada pengendara adalah sebesar  $0.7618 \text{ m/s}^2$ .

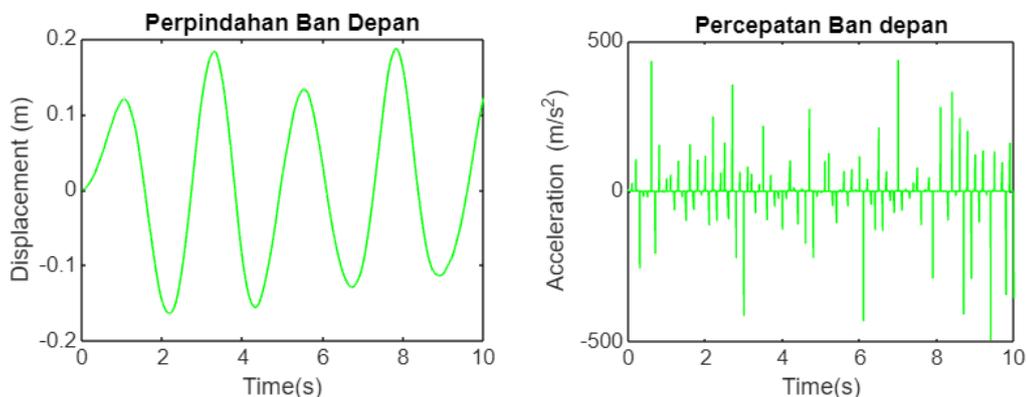


**Gambar 4. 12** Respon Dinamis Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.2 meter

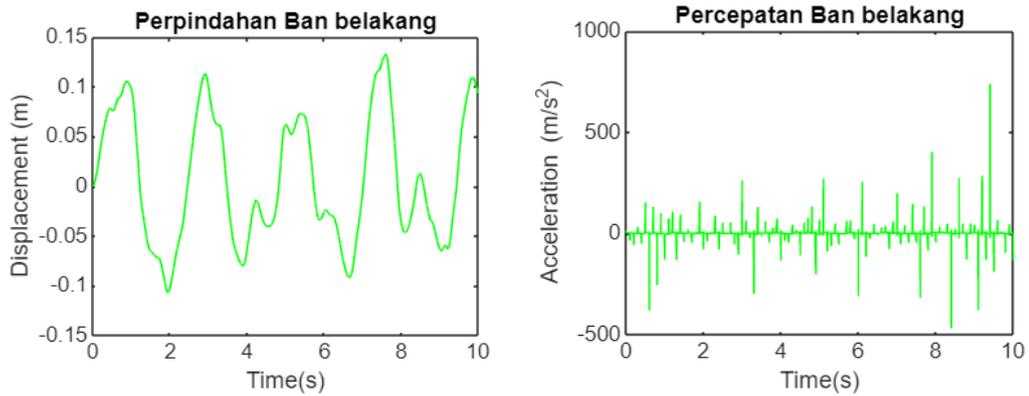


**Gambar 4. 13** Respon Dinamis *Pitching* Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.2 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.12 dan 4.13 di atas, dapat dilihat bahwa pada bodi kendaraan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.0842 m, serta percepatan maksimal sebesar  $1.0776 \text{ m/s}^2$ . Perpindahan *pitch* maksimal yang dialami bodi kendaraan sebesar 0.0696 rad dan percepatan *pitch* maksimal sebesar  $1.8056 \text{ rad/s}^2$ .



**Gambar 4. 14** Respon Dinamis Roda Depan pada Amplitudo 0.2 meter



**Gambar 4. 15** Respon Dinamis Roda Belakang pada Amplitudo 0.2 meter

Respon dinamis roda depan dan belakang digambarkan dengan grafik pada gambar 4.14 dan 4.15. Pada gambar 4.11, dapat diamati bahwa pada roda depan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.1015 m serta percepatan maksimal sebesar 41.6112 m/s<sup>2</sup>. Sedangkan pada gambar 4.12, roda belakang mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.0646 m dengan percepatan maksimal sebesar 36.6578 m/s<sup>2</sup>.

#### 4.2. Proses Perancangan dengan Metode *Genetic Algorithm*

Proses perancangan suspensi sepeda motor *trail* listrik 2x2 ini dilakukan menggunakan metode optimasi *genetic algorithm* dengan pemodelan satu kendaraan penuh. Metode tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai konstanta kekakuan dan konstanta redaman pegas suspensi yang paling optimal sesuai dengan penggunaannya di medan yang tidak rata dengan parameter awal sebagai acuan proses optimasi ini.

##### 4.2.1. Fungsi Objektif

Fungsi objektif merupakan fungsi yang digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik kualitas solusi yang dihasilkan oleh *genetic algorithm* sesuai dengan tujuan dan parameter yang telah ditentukan. Pada proses perancangan suspensi menggunakan metode *genetic algorithm*, dibutuhkan fungsi matematis sebagai sarana evaluasi pada setiap parameter yang dihasilkan. Fungsi objektif pada penelitian ini merupakan fungsi matematis dari gerak sistem suspensi. Dibutuhkan batasan nilai defleksi maksimum suspensi depan sepeda motor sebesar 0,135 m, dan suspensi belakang sepeda motor sebesar 0,15 m, juga batasan nilai percepatan dari bodi sepeda motor maksimum sebesar 9,8 m/s<sup>2</sup> dan *pitch* maksimum sepeda motor sebesar  $2\pi$  rad. Fungsi objektif yang digunakan pada proses perancangan suspensi ini adalah sebagai berikut :

$$F(k_s, c_s) = \max(|y_m| + |\dot{y}_m|) + \max(\ddot{y}_m - 9.8) + \max(\theta - 6.28) \\ + \max(|y_m - \dot{y}_{rw}| - 0.15) + \max(|y_m - \dot{y}_{fw}| - 0.135)$$

##### 4.2.2. Penentuan Parameter

Beberapa parameter genetik yang digunakan sebagai *tools* pada perancangan dengan metode *genetic algorithm* adalah sebagai berikut :

1. **Generasi**  
Jumlah generasi maksimal yang akan dicapai ketika algoritma genetik disimulasikan adalah 100 generasi.
2. **Jumlah Individu**  
Jumlah individu yang digunakan pada simulasi algoritma genetik ini adalah 250.
3. **Seleksi**  
Proses seleksi pada penelitian ini menggunakan metode *roulette-wheel selection*. Prinsip dari metode *roulette-wheel selection* ini menggunakan probabilitas, dimana setiap individu atau populasi diberikan bagian yang proporsional dengan kecocokan atau *fitness* mereka. Metode ini memilih individu berdasarkan peluang transformasi.
4. **Fungsi Crossover**  
Penelitian ini menggunakan fungsi *crossover* dengan tipe *crossoverheuristic*. Metode ini digunakan untuk menghasilkan individu baru dari dua individu dengan memanfaatkan informasi mengenai *fitness* mereka. Proses ini bertujuan menggabungkan sifat-sifat terbaik dari orang tua sehingga keturunan yang dihasilkan memiliki peluang lebih baik untuk menjadi solusi yang optimal.
5. **Fungsi Mutasi**  
Penelitian ini menggunakan fungsi mutasi dengan tipe *MutationAdaptFeasible*. Metode ini bertujuan menghasilkan solusi yang terbaik dengan mengadaptasi perubahan yang dilakukan selama proses mutasi agar solusi yang dihasilkan tetap berada dalam ruang solusi yang layak (*feasible*).

#### 4.2.3. Nilai Hasil Perancangan

Berikut hasil nilai kekakuan dan redaman suspensi depan dan belakang sepeda motor trail listrik 2x2 yang didapat dari hasil analisis dengan metode algoritma genetik dengan pemodelan sistem satu kendaraan penuh : (Lihat **Lampiran Bagian 4**)

**Tabel 4. 1** Hasil Perancangan dengan Metode Algoritma Genetik

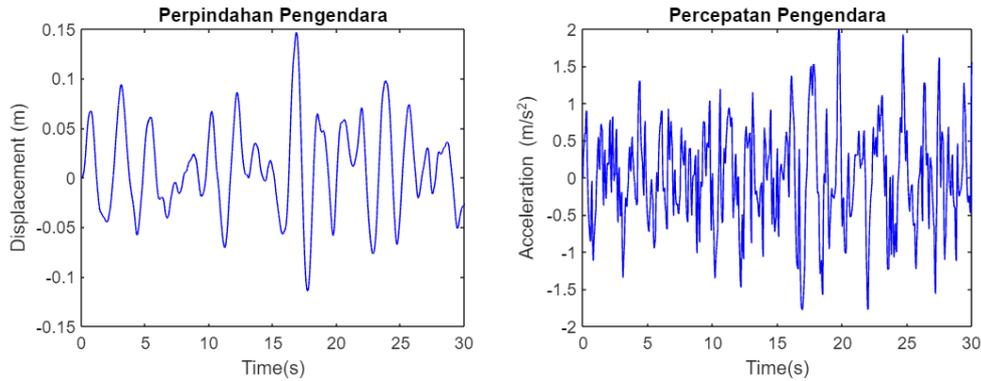
Parameter	Nilai
Kekakuan pegas suspensi depan <i>telescopic</i> (N/m)	41109
Kekakuan pegas suspensi belakang <i>dualshock</i> (N/m)	58389
Koefisien redaman suspensi depan <i>telescopic</i> (Ns/m)	1913
Koefisien redaman suspensi belakang <i>dualshock</i> (Ns/m)	3460

#### 4.3. Hasil Parameter Baru Suspensi Sepeda Motor Trail Listrik 2x2

Hasil dari perhitungan dengan metode algoritma genetik didapat nilai koefisien kekakuan dan redaman pegas dari suspensi sepeda motor trail listrik 2x2 yang baru. Hasil tersebut kemudian disimulasikan sehingga didapat respon perpindahan dan percepatan tiap derajat kebebasan yang baru dengan variasi amplitudo yang sudah ditentukan. Hasil simulasi tersebut antara lain sebagai berikut :

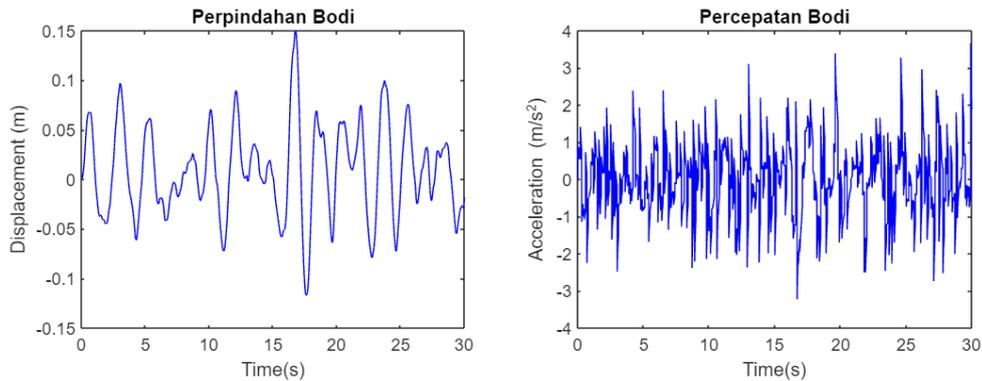
### 4.3.1. Amplitudo 0.1 Meter

Respon dinamis baru yang dihasilkan oleh simulasi pada amplitudo 0.1 m yaitu respon percepatan dan perpindahan vertikal yang terjadi pada pengendara, bodi kendaraan, *sprung*, serta percepatan dan perpindahan *pitch* yang terjadi pada bodi kendaraan.

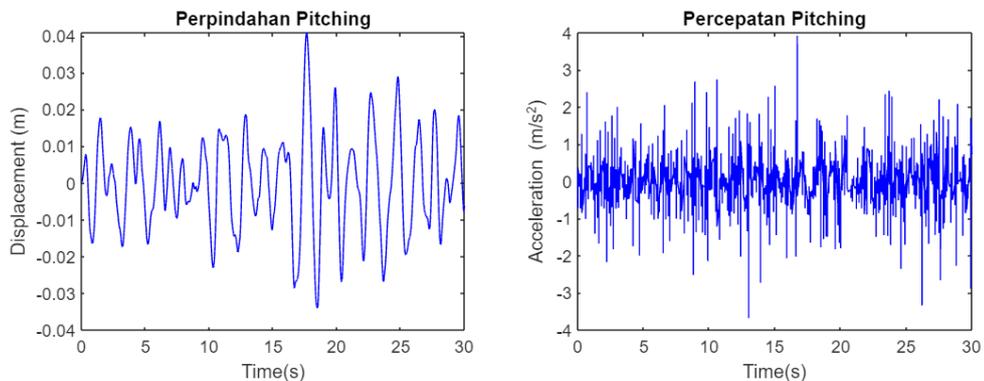


**Gambar 4. 16** Respon Dinamis Baru Pengendara pada Amplitudo 0.1 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.16, didapat hasil bahwa respon perpindahan maksimal yang terjadi pada pengendara sebesar 0.1463 m, sedangkan percepatan maksimal yang terjadi pada pengendara adalah sebesar  $1.9951 \text{ m/s}^2$ .

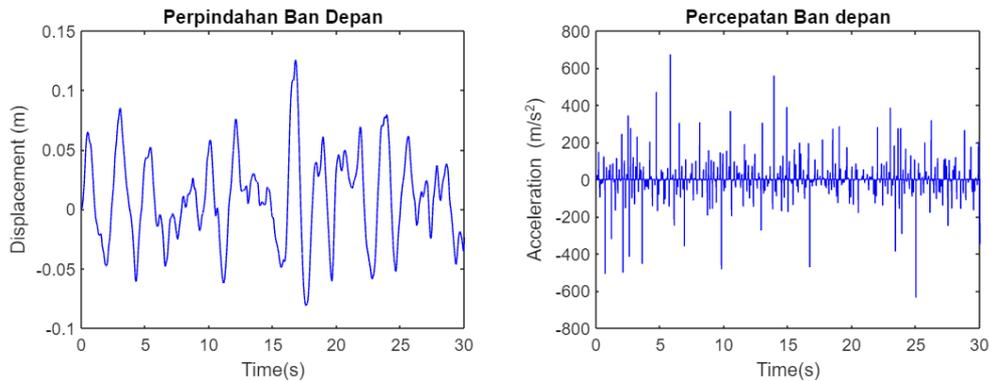


**Gambar 4. 17** Respon Dinamis Baru Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.1 meter

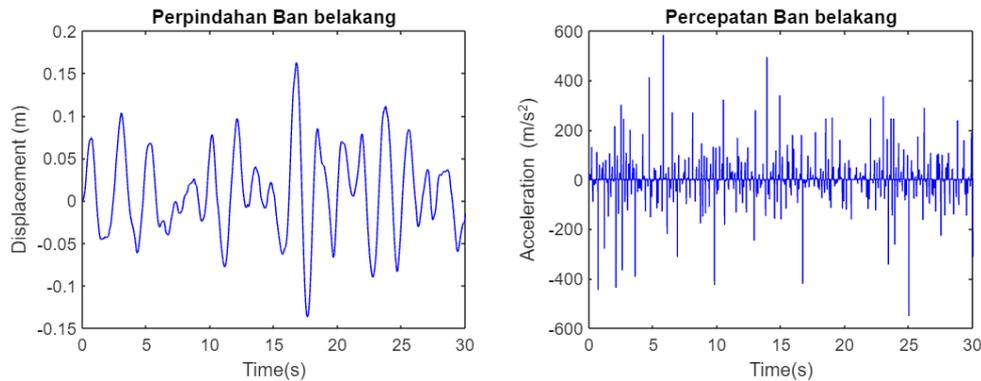


**Gambar 4. 18** Respon Dinamis Baru *Pitching* Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.1 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.17 dan 4.18 di atas, dapat dilihat bahwa pada bodi kendaraan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.1498 m, serta percepatan maksimal sebesar  $3.6672 \text{ m/s}^2$ . Perpindahan *pitch* maksimal yang dialami bodi kendaraan sebesar 0.0126 rad dan percepatan *pitch* maksimal sebesar  $3.9181 \text{ rad/s}^2$ . Berdasarkan fungsi objektif yang sudah ditentukan sebelumnya, dengan batasan percepatan bodi tidak lebih dari  $9.8 \text{ m/s}^2$  dan percepatan *pitch* tidak lebih dari  $6.28 \text{ rad/s}^2$ , maka nilai yang didapat memenuhi fungsi objektif.



**Gambar 4. 19** Respon Dinamis Baru Roda Depan pada Amplitudo 0.1 meter

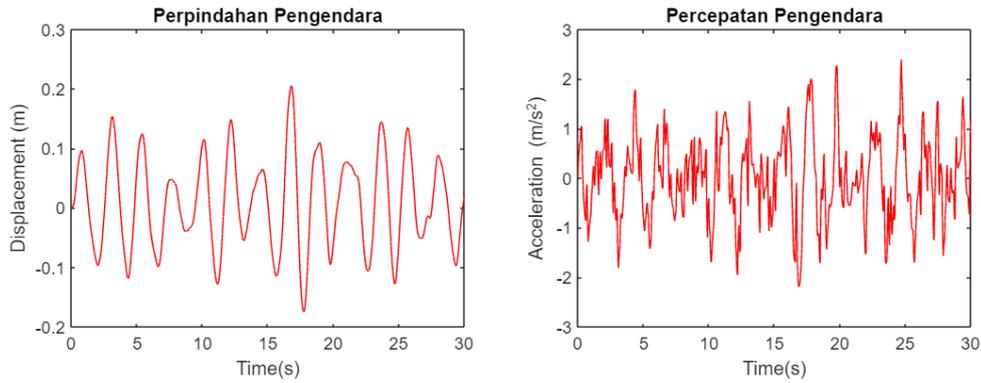


**Gambar 4. 20** Respon Dinamis Baru Roda Belakang pada Amplitudo 0.1 meter

Respon dinamis roda depan dan belakang digambarkan dengan grafik pada gambar 4.19 dan 4.20. Pada gambar 4.19, dapat diamati bahwa pada roda depan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.1256 m serta percepatan maksimal sebesar  $673.7868 \text{ m/s}^2$ . Sedangkan pada roda belakang mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.1628 m dengan percepatan maksimal sebesar  $582.8657 \text{ m/s}^2$ .

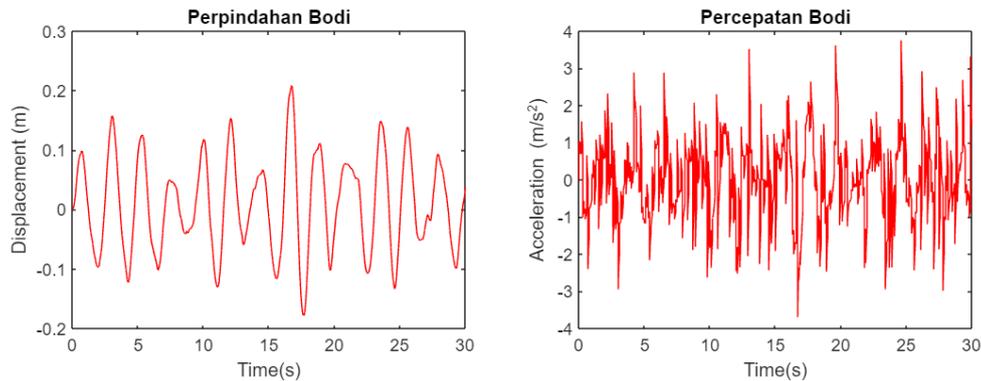
#### 4.3.2. Amplitudo 0.15 Meter

Respon dinamis baru yang dihasilkan oleh simulasi pada amplitudo 0.15 m yaitu respon percepatan dan perpindahan vertikal yang terjadi pada pengemudi, bodi kendaraan, *sprung*, serta percepatan dan perpindahan *pitch* yang terjadi pada bodi kendaraan.

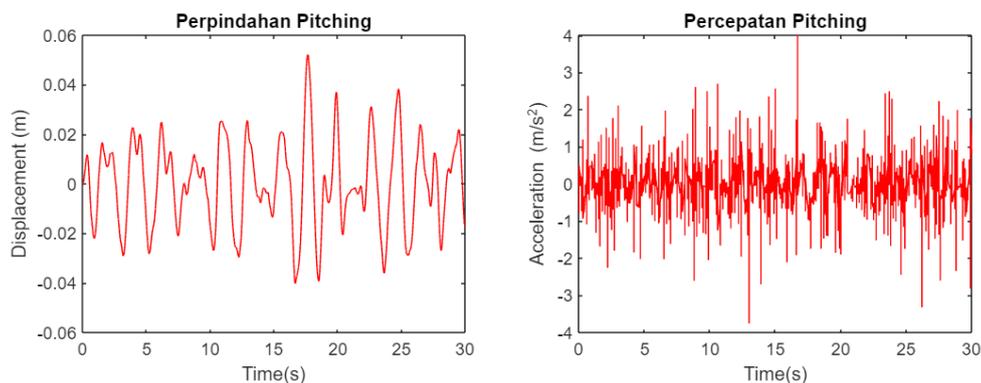


**Gambar 4. 21** Respon Dinamis Baru Pengendara pada Amplitudo 0.15 meter

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan dengan grafik pada gambar 4.21, didapatkan hasil bahwa respon perpindahan maksimal yang terjadi pada pengendara sebesar 0.2054 m, sedangkan percepatan maksimal yang terjadi pada pengendara adalah sebesar 2.3944  $m/s^2$ .



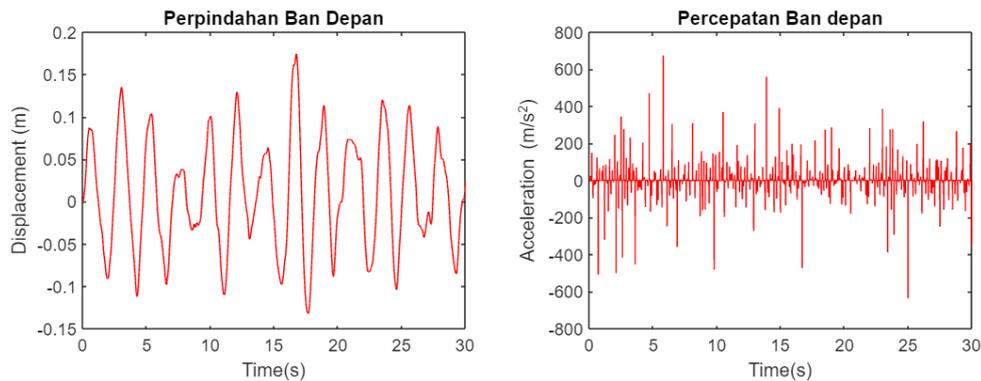
**Gambar 4. 22** Respon Dinamis Baru Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.15 meter



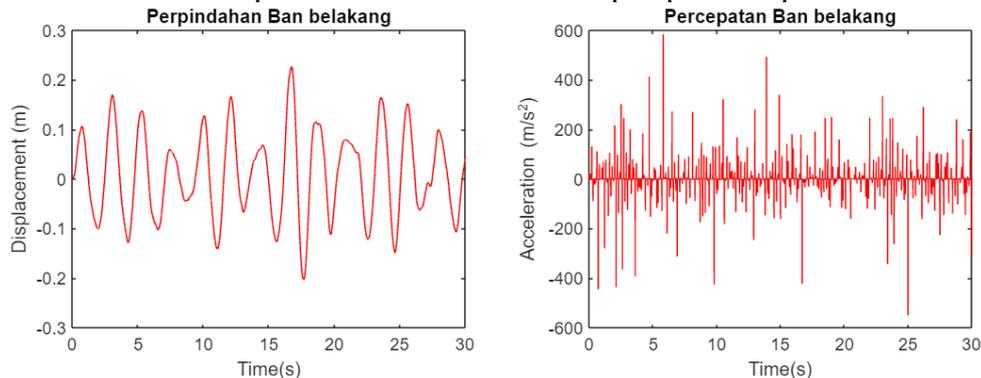
**Gambar 4. 23** Respon Dinamis Baru *Pitching* Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.15 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.22 dan 4.23 di atas, dapat dilihat bahwa pada bodi kendaraan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.2084 m, serta percepatan maksimal sebesar 3.7488  $m/s^2$ . Perpindahan *pitch* maksimal yang dialami bodi kendaraan sebesar 0.0521 rad dan percepatan *pitch* maksimal sebesar 4.0073  $rad/s^2$ . Dengan melihat batasan pada fungsi objektif yang menyatakan

bahwa percepatan bodi maksimal adalah  $9.8 \text{ m/s}^2$  dan percepatan *pitch* maksimal sebesar  $6.28 \text{ rad/s}^2$ , maka nilai yang didapat dari hasil simulasi sesuai dengan fungsi objektif yang sudah dirumuskan.



**Gambar 4. 24** Respon Dinamis Baru Roda Depan pada Amplitudo 0.15 meter

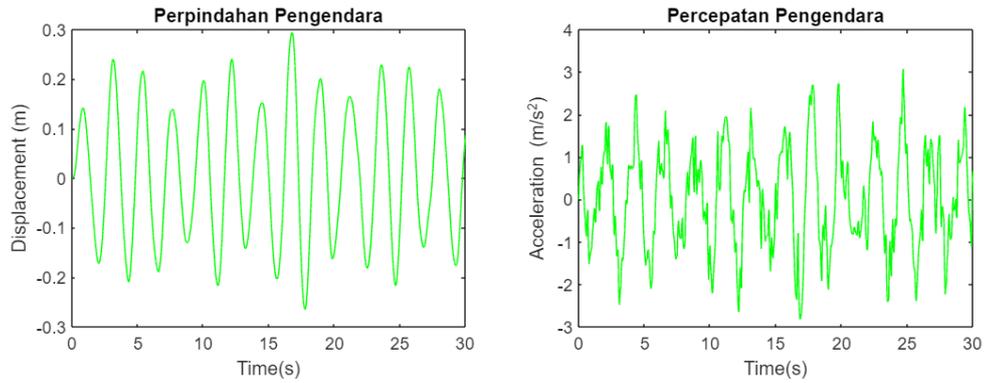


**Gambar 4. 25** Respon Dinamis Baru Roda Belakang pada Amplitudo 0.15 meter

Respon dinamis roda depan dan belakang digambarkan dengan grafik pada gambar 4.24 dan 4.25. Pada gambar 4.24, dapat diamati bahwa pada roda depan mengalami perpindahan maksimal sebesar  $0.1741 \text{ m}$  serta percepatan maksimal sebesar  $673.7067 \text{ m/s}^2$ . Sedangkan pada roda belakang mengalami perpindahan maksimal sebesar  $0.2269 \text{ m}$  dengan percepatan maksimal sebesar  $582.7499 \text{ m/s}^2$ .

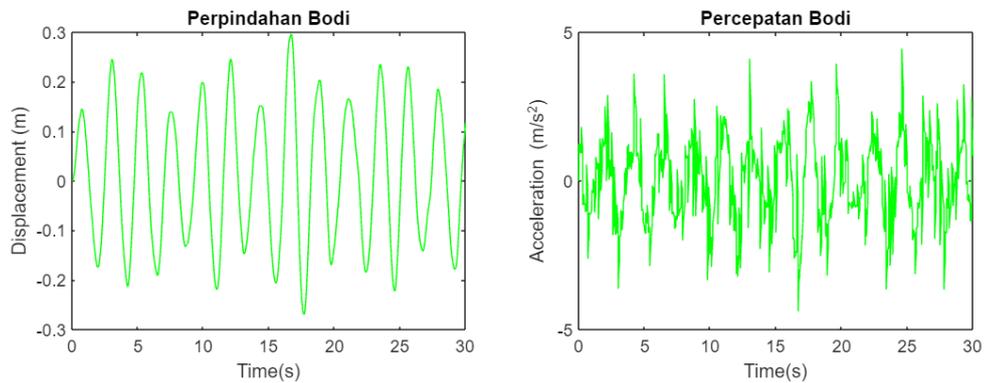
#### 4.3.3. Amplitudo 0.2 Meter

Respon dinamis baru yang dihasilkan oleh simulasi pada amplitudo 0.2 m yaitu respon percepatan dan perpindahan vertikal yang terjadi pada pengendara, bodi kendaraan, *sprung*, serta percepatan dan perpindahan *pitch* yang terjadi pada bodi kendaraan.

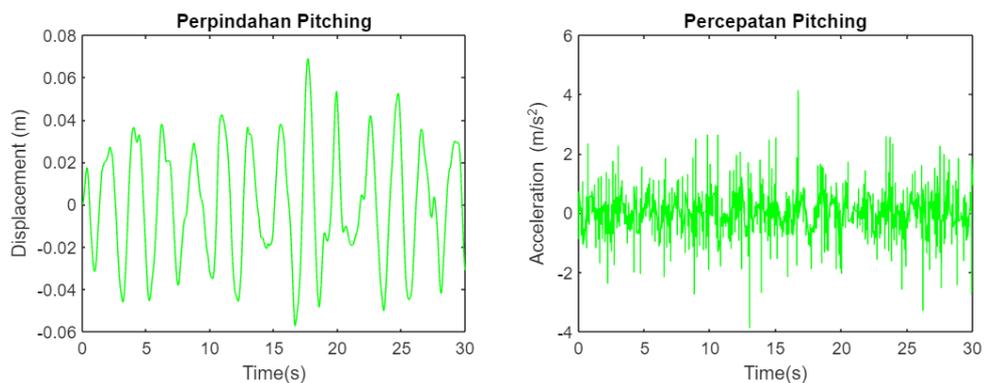


**Gambar 4. 26** Respon Dinamis Baru Pengendara pada Amplitudo 0.2 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.26, dapat dilihat bahwa respon perpindahan maksimal yang terjadi pada pengendara sebesar 0.2933 m, sedangkan percepatan maksimal yang terjadi pada pengendara adalah sebesar 3.0715 m/s<sup>2</sup>.



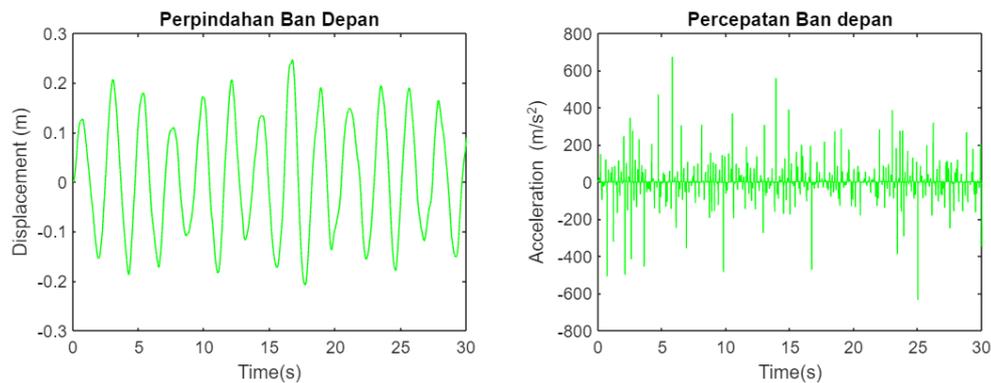
**Gambar 4. 27** Respon Dinamis Baru Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.2 meter



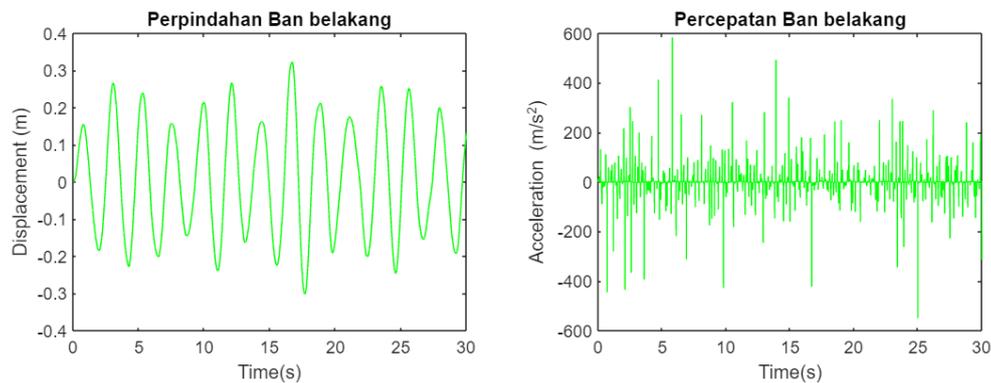
**Gambar 4. 28** Respon Dinamis Baru *Pitching* Bodi Kendaraan pada Amplitudo 0.2 meter

Berdasarkan grafik pada gambar 4.22 dan 4.23 di atas, didapatkan hasil bahwa pada bodi kendaraan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.2961 m, serta percepatan maksimal sebesar 4.4415 m/s<sup>2</sup>. Perpindahan *pitch* maksimal yang dialami bodi kendaraan sebesar 0.0688 rad dan percepatan *pitch* maksimal sebesar 4.1375 rad/s<sup>2</sup>. Berdasarkan fungsi objektif yang menyatakan percepatan bodi kendaraan maksimal adalah sebesar 1g atau 9.8 m/s<sup>2</sup>, dan percepatan *pitch*

maksimal adalah sebesar  $2\pi$  atau  $6.28 \text{ rad/s}^2$ , maka hasil simulasi parameter baru ini memenuhi fungsi objektif.



**Gambar 4. 29** Respon Dinamis Baru Roda Depan pada Amplitudo 0.2 meter



**Gambar 4. 30** Respon Dinamis Baru Roda Belakang pada Amplitudo 0.2 meter

Respon dinamis roda depan dan belakang digambarkan dengan grafik pada gambar 4.29 dan 4.30. Pada gambar 4.29, dapat diamati bahwa pada roda depan mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.2466 m serta percepatan maksimal sebesar  $673.5884 \text{ m/s}^2$ . Sedangkan pada roda belakang mengalami perpindahan maksimal sebesar 0.3229 m dengan percepatan maksimal sebesar  $582.5751 \text{ m/s}^2$ .

#### 4.4. Pembahasan

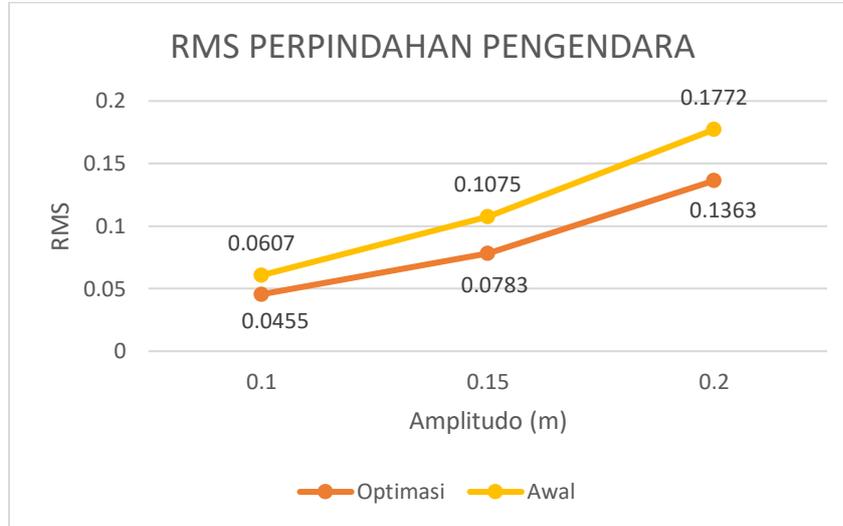
Setelah dilakukan simulasi dan perhitungan menggunakan parameter awal dan parameter baru hasil simulasi algoritma genetik, akan dilakukan perbandingan antara kedua hasil lalu dilakukan pembahasan mengenai hasil yang sudah didapat dengan variasi amplitudo dan pada kecepatan konstan :

##### 4.4.1. Respon Pengendara

Respon pengendara yang disimulasikan sedang mengendarai sepeda motor ditinjau dari nilai perpindahan dan percepatan pengendara ketika terkena guncangan akibat kontur jalan yang tidak rata. Di bawah ini merupakan tabel nilai RMS perpindahan pengendara awal dan RMS hasil optimasi dari algoritma genetik pada **tabel 4.2** yang divisualisasikan dengan grafik perbandingan respon perpindahan pengendara antara nilai awal dan nilai hasil optimasi pada tiap variasi amplitudo pada **gambar 4.31**.

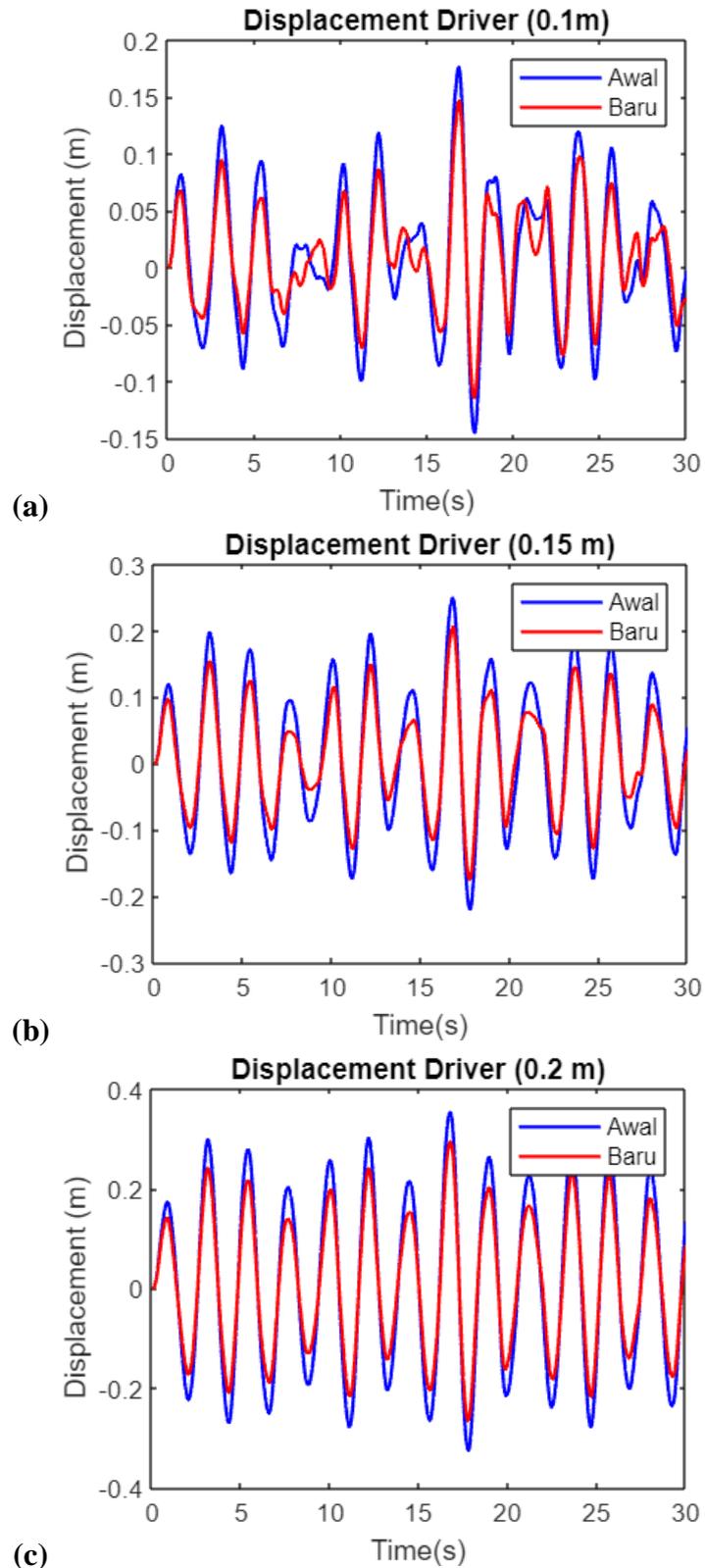
**Tabel 4. 2** Perbandingan Nilai RMS Perpindahan Pengendara

RMS PERPINDAHAN PENGENDARA		
Amplitudo (m)	RMS Awal	RMS Optimasi
0.1	0.0607	0.0455
0.15	0.1075	0.0783
0.2	0.1772	0.1363



**Gambar 4. 31** Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Perpindahan Pengendara

Berdasarkan grafik pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa grafik nilai RMS perpindahan pengendara hasil optimasi berada di bawah grafik RMS perpindahan pengendara dengan parameter awal. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai perpindahan yang dialami pengendara akibat guncangan yang ditimbulkan dari kontur jalan yang tidak rata dengan parameter suspensi hasil optimasi lebih kecil daripada parameter suspensi awal pada setiap variasi amplitudo. Ketika nilai perpindahan lebih kecil, maka amplitudo gerakan pengendara juga akan lebih kecil yang berimbas pada kenyamanan yang lebih baik pada pengendara. Perbandingan amplitudo gerakan pengendara tersebut divisualisasikan pada gambar perbandingan respon perpindahan pengendara antara parameter awal dan parameter hasil optimasi, sebagai berikut :



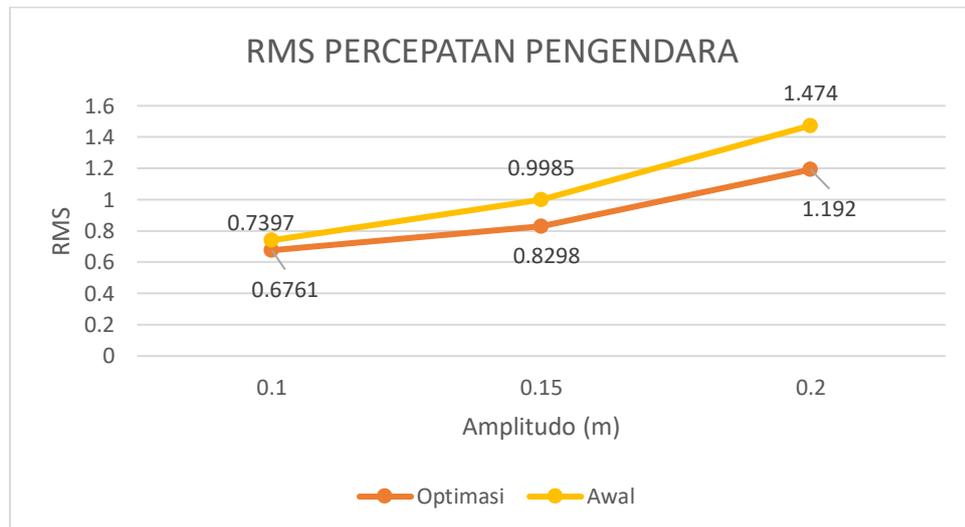
**Gambar 4. 32** Perbandingan Nilai Perpindahan Pengendara pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter

Berdasarkan grafik pada gambar di atas, terlihat bahwa grafik respon perpindahan pengendara dengan parameter nilai suspensi hasil optimasi (warna merah) berada di bawah grafik respon perpindahan pengendara dengan parameter nilai suspensi awal (warna biru). Tidak terdapat perbedaan yang begitu signifikan antara nilai parameter awal dan parameter hasil optimasi. Hal tersebut dikarenakan antara perbedaan nilai parameter awal dan parameter hasil optimasi tidak terpaut jauh, sehingga hasil responnya juga tidak berbeda jauh, tetapi parameter hasil optimasi tetap memberikan kenyamanan yang lebih baik dibandingkan dengan parameter awal.

Berikut merupakan perbandingan nilai RMS percepatan pengendara awal dan RMS hasil optimasi dari algoritma genetik yang dapat dilihat pada **tabel 4.3** yang divisualisasikan dengan grafik perbandingan respon percepatan pengendara antara nilai awal dan nilai hasil optimasi pada tiap variasi amplitudo pada **gambar 4.33**.

**Tabel 4. 3** Perbandingan Nilai RMS Percepatan Pengendara

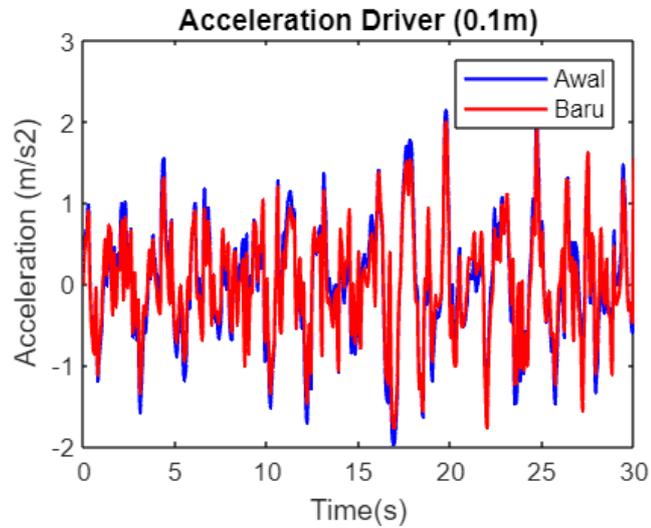
RMS PERCEPATAN PENGENDARA		
Amplitudo (m)	RMS Awal	RMS Optimasi
0.1	0.7397	0.6761
0.15	0.9985	0.8298
0.2	1.474	1.192



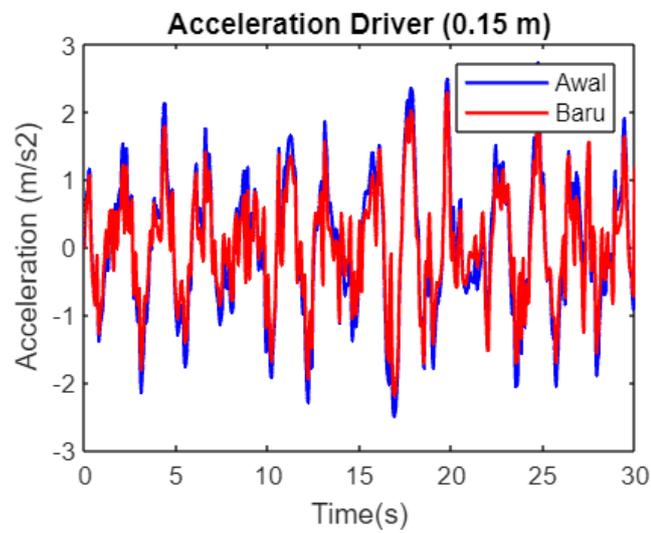
**Gambar 4. 33** Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Percepatan Pengendara

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa grafik nilai RMS percepatan pengendara hasil optimasi berada di bawah grafik RMS percepatan pengendara dengan parameter awal. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai percepatan yang dialami pengendara akibat guncangan yang ditimbulkan dari kontur jalan yang tidak rata dengan parameter suspensi hasil optimasi lebih kecil daripada parameter suspensi awal pada setiap variasi amplitudo. Ketika nilai percepatan lebih kecil, maka getaran maupun hentakan yang dirasakan tubuh pengendara akibat sepeda motor yang melewati jalanan yang tidak rata juga akan

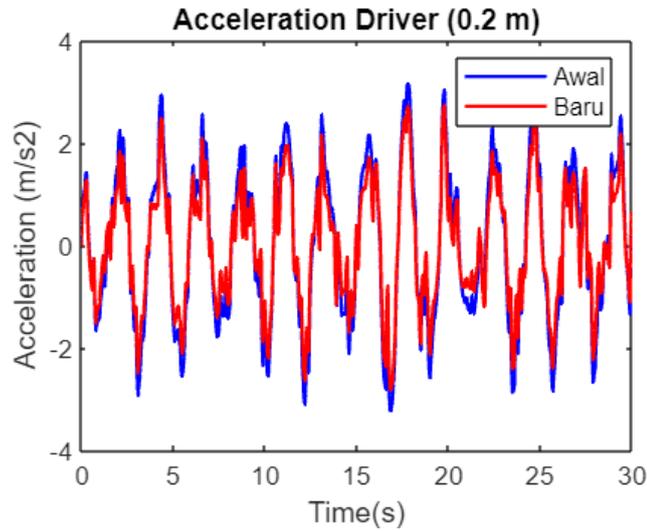
lebih kecil yang berimbas pada kenyamanan yang lebih baik pada pengendara. Perbandingan percepatan pengendara tersebut divisualisasikan pada gambar perbandingan respon percepatan pengendara antara parameter awal dan parameter hasil optimasi, sebagai berikut :



(a)



(b)



(c)  
**Gambar 4. 34** Perbandingan Nilai Percepatan Pengendara pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter

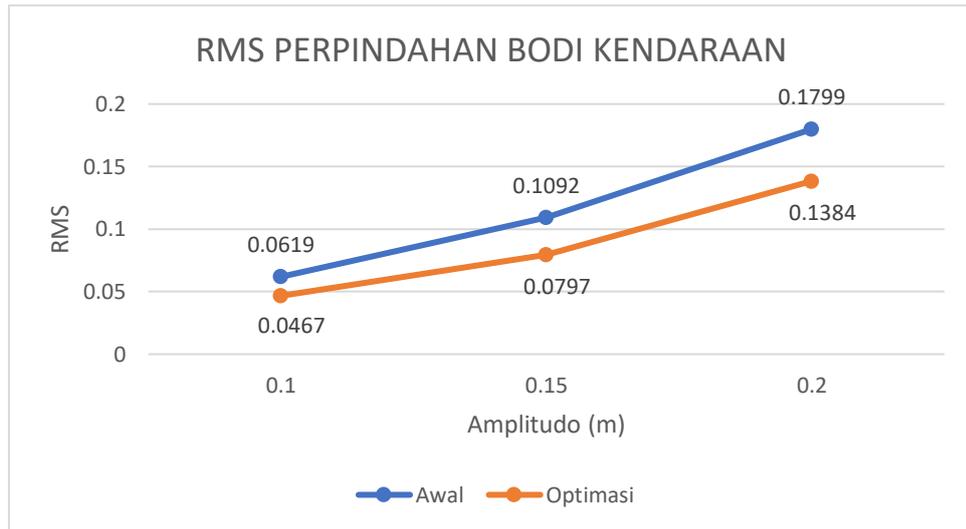
Berdasarkan grafik pada gambar di atas, pada tiap variasi amplitudo terlihat bahwa antara nilai parameter suspensi hasil optimasi (warna merah) berada di bawah nilai parameter suspensi awal (warna biru). Perbedaan yang terlihat antara kedua parameter tersebut tidak signifikan dikarenakan nilai parameter suspensi hasil optimasi tidak terpaut jauh dengan nilai parameter suspensi awal, sehingga pada visualisasi responnya pun tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok namun tetap memberikan kenyamanan yang lebih baik dengan hasil nilai parameter suspensi hasil optimasi.

#### 4.4.2. Respon Bodi Kendaraan

Respon bodi dari sepeda motor trail listrik 2x2 ini ditinjau dari nilai perpindahan dan percepatan dari bodi sepeda motor ketika mengalami guncangan akibat kontur jalan yang tidak rata. Di bawah ini merupakan tabel nilai RMS perpindahan bodi sepeda motor dengan parameter awal dan RMS hasil optimasi dari algoritma genetik pada **tabel 4.4** yang divisualisasikan dengan grafik perbandingan respon perpindahan bodi kendaraan antara nilai awal dan nilai hasil optimasi pada tiap variasi amplitudo pada **gambar 4.35**.

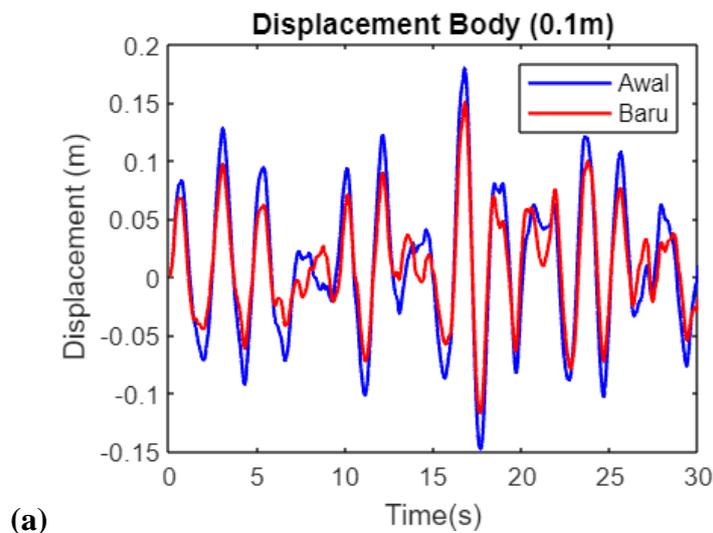
**Tabel 4. 4** Perbandingan Nilai RMS Perpindahan Bodi Kendaraan

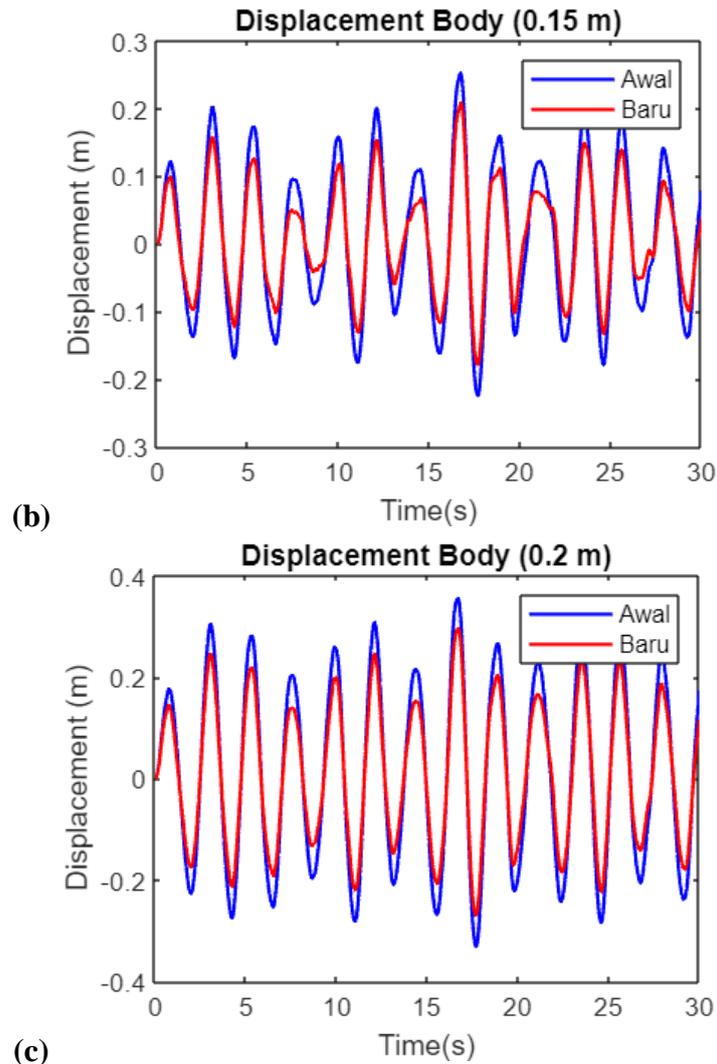
RMS PERPINDAHAN BODI KENDARAAN		
Amplitudo (m)	RMS Awal	RMS Optimasi
0.1	0.0619	0.0467
0.15	0.1092	0.0797
0.2	0.1799	0.1384



**Gambar 4. 35** Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Perpindahan Bodi Kendaraan

Berdasarkan grafik pada **gambar 4.35**, dapat dilihat bahwa grafik nilai RMS perpindahan bodi kendaraan hasil optimasi berada di bawah grafik RMS perpindahan bodi kendaraan dengan parameter awal. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai perpindahan vertikal yang terjadi pada bodi kendaraan dengan parameter suspensi hasil optimasi lebih kecil daripada parameter suspensi awal pada setiap variasi amplitudo. Ketika nilai perpindahan vertikal lebih kecil, maka amplitudo gerakan dari bodi kendaraan juga akan lebih kecil yang berimbas pada kenyamanan dan keamanan yang lebih baik pada pengendara. Perbandingan amplitudo gerakan bodi kendaraan tersebut digambarkan pada perbandingan respon perpindahan bodi kendaraan antara parameter awal dan parameter hasil optimasi, sebagai berikut :





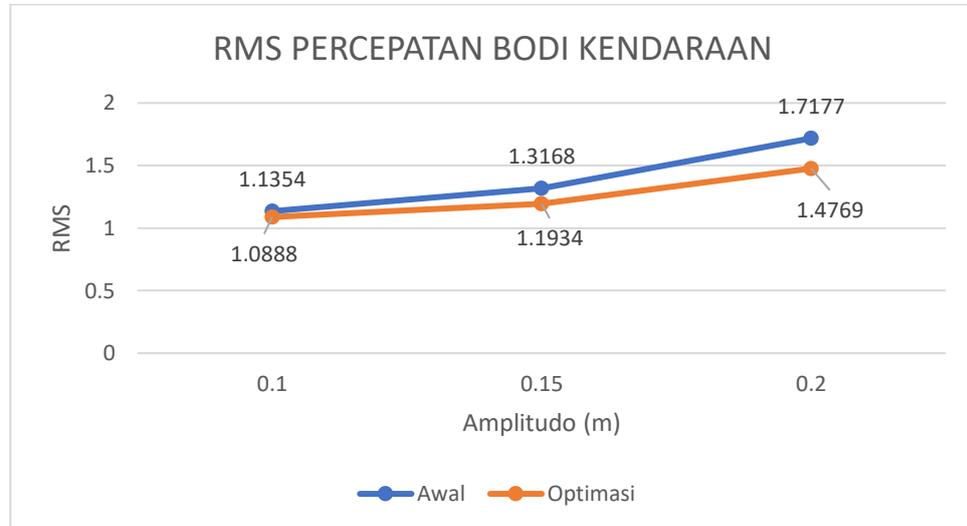
**Gambar 4. 36** Perbandingan Nilai Perpindahan Bodi Kendaraan pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter

Berdasarkan grafik pada **gambar 4.36**, terlihat bahwa grafik respon perpindahan bodi kendaraan dengan parameter nilai suspensi hasil optimasi yang ditunjukkan dengan warna merah berada di bawah grafik respon perpindahan pengendara dengan parameter nilai suspensi awal yang ditunjukkan dengan warna biru. Perbedaan yang terlihat tidak terlalu signifikan antara nilai parameter awal dan parameter hasil optimasi dikarenakan antara perbedaan nilai parameter awal dan parameter hasil optimasi tidak terpaut jauh, sehingga hasil responnya juga tidak berbeda jauh.

Di bawah ini merupakan perbandingan nilai RMS percepatan bodi kendaraan awal dan RMS hasil optimasi dengan metode algoritma genetik yang dapat dilihat pada **tabel 4.5** yang divisualisasikan dengan grafik perbandingan respon percepatan pengendara antara nilai awal dan nilai hasil optimasi pada tiap variasi amplitudo pada **gambar 4.37**.

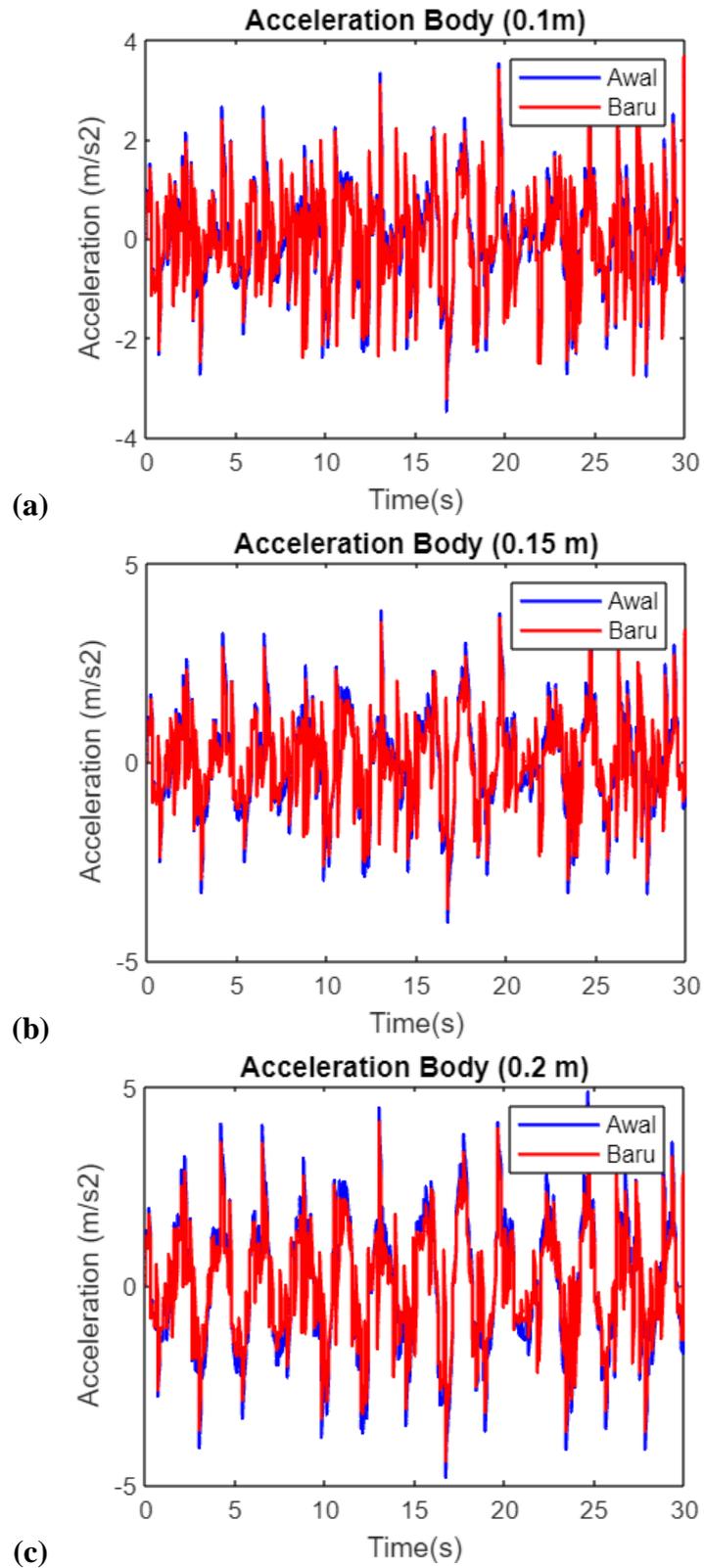
**Tabel 4. 5** Perbandingan Nilai RMS Percepatan Bodi Kendaraan

RMS PERCEPATAN BODI KENDARAAN		
Amplitudo (m)	RMS Awal	RMS Optimasi
0.1	1.1354	1.0888
0.15	1.3168	1.1934
0.2	1.7177	1.4769



**Gambar 4. 37** Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Percepatan Bodi Kendaraan

Berdasarkan grafik respon percepatan bodi kendaraan di atas, antara RMS dengan nilai input konstanta kekakuan dan redaman awal dan hasil analisis dengan metode algoritma genetik, didapat hasil bahwa antara nilai RMS awal dan RMS baru mengalami perbedaan dimana grafik nilai hasil optimasi menunjukkan hasil yang lebih rendah daripada grafik dengan nilai parameter awal. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai percepatan yang terjadi pada bodi sepeda motor lebih kecil daripada parameter suspensi awal pada setiap variasi amplitudo. Ketika nilai percepatan lebih kecil, maka hentakan yang terjadi pada bodi sepeda motor ketika melewati jalanan yang tidak rata juga akan lebih kecil yang akan membuat pengendara merasa lebih nyaman ketika mengendarai sepeda motor tersebut. Grafik perbandingan pada tiap variasi amplitudo dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 4. 38** Perbandingan Nilai Percepatan Bodi Kendaraan pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter

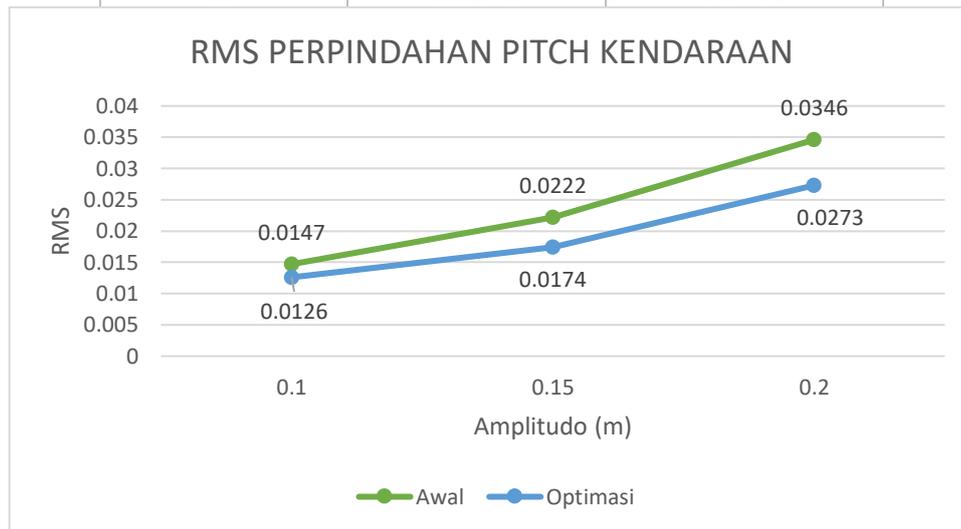
Berdasarkan grafik pada gambar di atas, pada tiap variasi amplitudo terlihat bahwa antara nilai percepatan bodi kendaraan dengan parameter suspensi hasil optimasi (warna merah) berada di bawah nilai dengan parameter suspensi awal (warna biru). Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai parameter nilai kekakuan dan redaman suspensi *telescopic* depan dan *dualshock* belakang sepeda motor *trail* listrik 2x2 hasil optimasi mampu memberikan nilai percepatan bodi kendaraan yang lebih kecil yang pada akhirnya akan memberikan kenyamanan yang lebih baik pada pengendara.

#### 4.4.3. Respon *Pitch* Kendaraan

Respon *pitch* dari bodi kendaraan sepeda motor *trail* listrik 2x2 ini ditinjau dari nilai perpindahan dan percepatan dari gerakan *pitch* sepeda motor ketika mengalami guncangan akibat kontur jalan yang tidak rata. Di bawah ini merupakan tabel nilai RMS perpindahan *pitch* bodi sepeda motor dengan parameter awal dan RMS hasil optimasi dari algoritma genetika pada **tabel 4.6** yang divisualisasikan dengan grafik perbandingan respon perpindahan *pitch* bodi kendaraan antara nilai awal dan nilai hasil optimasi pada tiap variasi amplitudo pada **gambar 4.39**.

**Tabel 4. 6** Perbandingan Nilai RMS Perpindahan *Pitch* Kendaraan

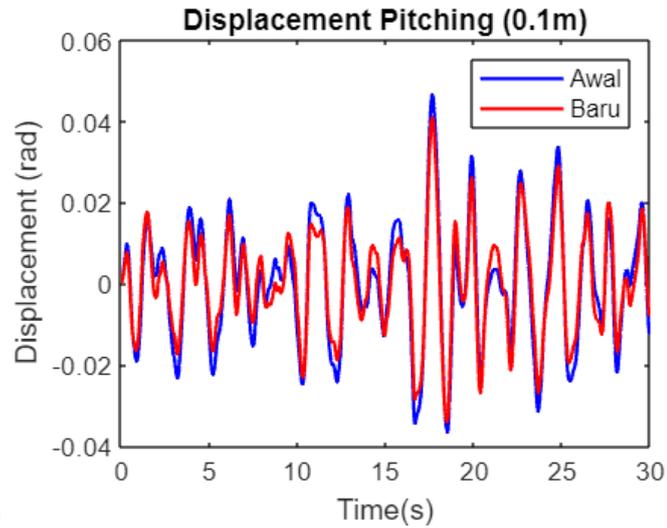
RMS PERPINDAHAN <i>PITCH</i> KENDARAAN		
Amplitudo (m)	RMS Awal	RMS Optimasi
0.1	0.0147	0.0126
0.15	0.0222	0.0174
0.2	0.0346	0.0273



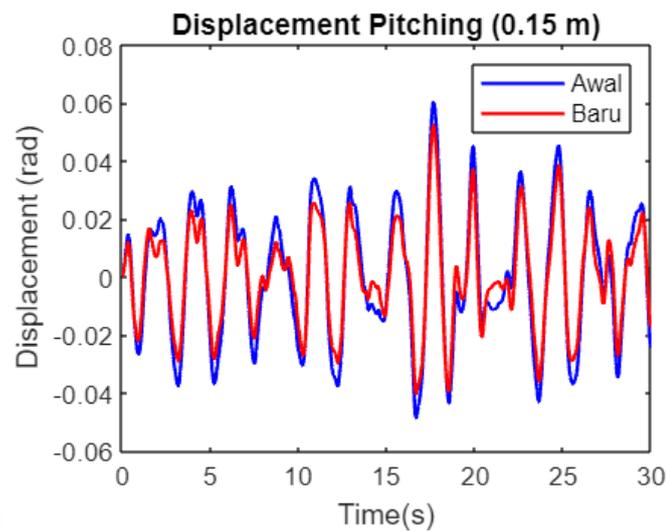
**Gambar 4. 39** Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Perpindahan *Pitch* Kendaraan

Berdasarkan grafik pada **gambar 4.39**, dapat dianalisis bahwa grafik nilai RMS perpindahan *pitch* bodi kendaraan hasil optimasi berada di bawah grafik RMS perpindahan bodi kendaraan dengan parameter awal. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai perpindahan *pitch* yang terjadi pada bodi kendaraan dengan parameter suspensi hasil optimasi lebih kecil daripada parameter suspensi

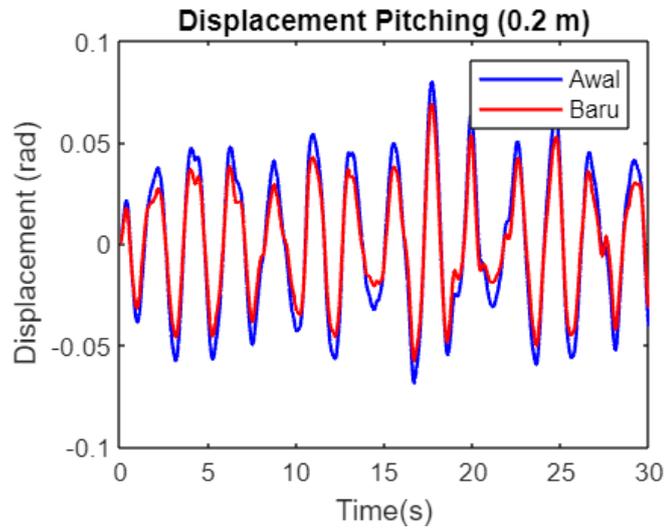
awal pada setiap variasi amplitudo. Ketika nilai perpindahan *pitch* lebih kecil, maka amplitudo gerakan *pitch* dari bodi kendaraan juga akan lebih kecil yang berimbas pada kenyamanan dan keamanan yang lebih baik pada pengendara, walaupun pada grafik terlihat bahwa perbedaan antara nilai parameter awal dengan nilai parameter hasil optimasi cukup kecil, namun semakin besar amplitudo, perbedaannya juga semakin besar, terlihat dari selisih grafik antara parameter awal dengan parameter hasil optimasi. Perbandingan amplitudo gerakan *pitch* bodi kendaraan tersebut digambarkan pada grafik pada gambar di bawah ini:



(a)



(b)



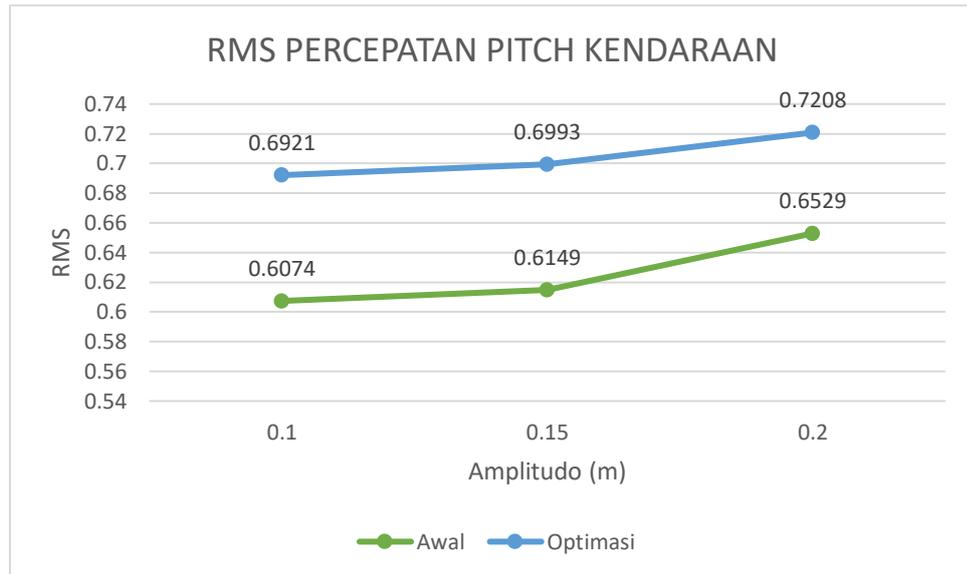
(c)  
**Gambar 4. 40** Perbandingan Nilai Perpindahan *Pitch* Kendaraan pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter

Berdasarkan grafik pada **gambar 4.36**, terlihat bahwa grafik respon perpindahan *pitch* bodi kendaraan dengan parameter nilai kekakuan dan redaman suspensi depan dan belakang sepeda motor hasil optimasi yang ditunjukkan dengan warna merah berada di bawah grafik respon perpindahan pengendara dengan parameter nilai suspensi awal yang ditunjukkan dengan warna biru. Perbedaan yang terlihat tidak terlalu signifikan antara nilai parameter awal dan parameter hasil optimasi dikarenakan antara perbedaan nilai parameter awal dan parameter hasil optimasi tidak terpaut jauh, sehingga hasil responnya juga tidak berbeda jauh. Grafik yang bentuknya tidak beraturan berasal dari input kontur jalan berupa *band-limited white noise*.

Berikut ini merupakan perbandingan nilai RMS percepatan *pitch* bodi kendaraan awal dan RMS hasil optimasi dengan metode algoritma genetik yang dapat dilihat pada **tabel 4.7** yang digambarkan dengan grafik perbandingan respon percepatan pengendara antara nilai awal dan nilai hasil optimasi pada tiap variasi amplitudo pada **gambar 4.41**, sebagai berikut :

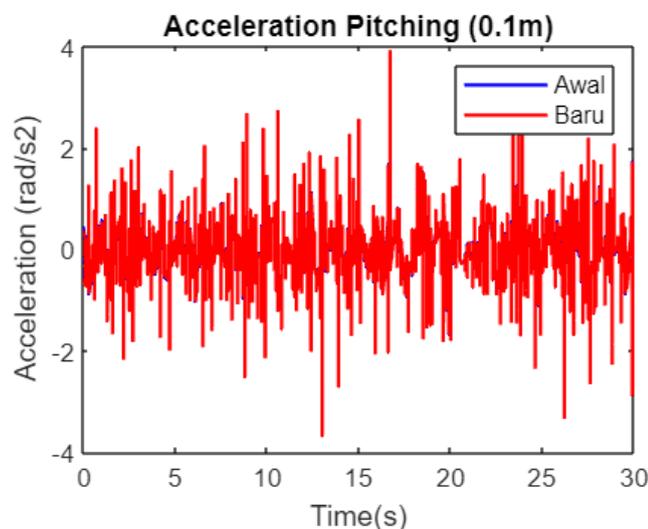
**Tabel 4. 7** Perbandingan Nilai RMS Percepatan *Pitch* Kendaraan

RMS PERCEPATAN <i>PITCH</i> KENDARAAN		
Amplitudo (m)	RMS Awal	RMS Optimasi
0.1	0.6074	0.6921
0.15	0.6149	0.6993
0.2	0.6529	0.7208

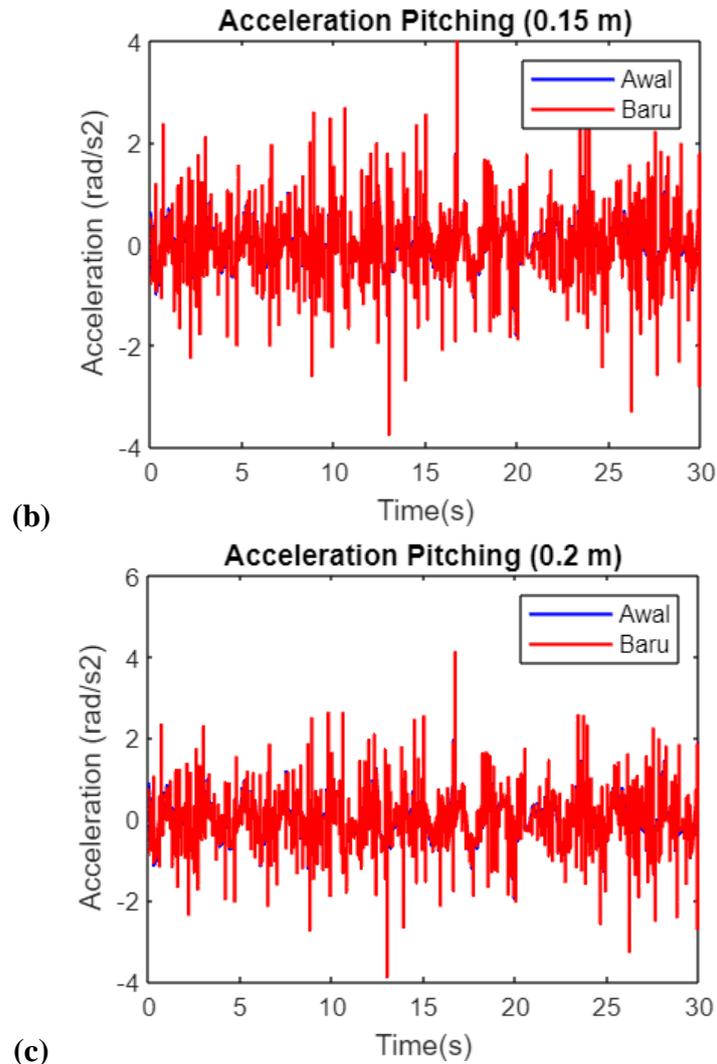


**Gambar 4. 41** Grafik Perbandingan Nilai RMS Awal dan Optimasi Percepatan *Pitch* Kendaraan

Berdasarkan grafik respon percepatan bodi kendaraan di atas, antara RMS dengan nilai input konstanta kekakuan dan redaman awal dan hasil analisis dengan metode algoritma genetik, didapat hasil bahwa antara nilai RMS awal dan RMS baru mengalami perbedaan dimana grafik nilai hasil optimasi menunjukkan hasil yang lebih tinggi daripada grafik dengan nilai parameter awal. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai percepatan hasil optimasi yang terjadi pada *pitch* bodi sepeda motor lebih tinggi daripada parameter suspensi awal pada setiap variasi amplitudo. Hal tersebut menyebabkan bodi sepeda motor akan terasa lebih berguncang ketika melewati jalan yang tidak rata, khususnya pada gerakan *pitch*. Grafik perbandingan pada tiap variasi amplitudo dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



(a)



**Gambar 4. 42** Perbandingan Nilai Percepatan *Pitch* Kendaraan pada Amplitudo (a) 0.1 Meter, (b) 0.15 Meter, (c) 0.2 Meter

Berdasarkan grafik pada gambar di atas, pada tiap variasi amplitudo terlihat bahwa antara nilai parameter suspensi hasil optimasi yang berwarna merah berada di atas nilai parameter suspensi awal yang berwarna biru, bahkan pada grafik hampir tidak terlihat adanya warna biru. Hal ini menunjukkan bahwa nilai RMS percepatan *pitch* bodi kendaraan hasil optimasi lebih tinggi daripada nilai RMS percepatan awal. Hal tersebut menyebabkan gerakan *pitch* pada sepeda motor ketika melewati kontur jalan yang tidak rata akan lebih terasa berguncang ketika menggunakan parameter suspensi baru hasil optimasi. Namun ketiga grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai percepatan *pitch* maksimum pada bodi sepeda motor masih dalam batas toleransi, yaitu di bawah  $6.28 \text{ rad/s}^2$ .

#### 4.4.4. Analisis Defleksi Statis Suspensi

Nilai kekakuan dan redaman suspensi depan dan belakang sepeda motor *trail* listrik 2x2 ini selanjutnya akan dianalisa besar defleksi pegas untuk mengetahui seberapa besar defleksi yang dialami oleh suspensi ketika diberikan beban maksimum.

Diketahui :

$$k_{fs} = 41109 \frac{N}{m}$$

$$k_{rs} = 58389 \frac{N}{m}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$m_{motor} = 160 \text{ kg}$$

$$m_{penumpang} = 100 \text{ kg}$$

$$m_{barang} = 300 \text{ kg}$$

Asumsikan massa depan = 1/3 massa total,  
massa belakang = 2/3 massa total

Defleksi suspensi *telescopic* depan

$$\Sigma F = k \cdot \Delta x$$

$$m \cdot g = k \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{m \cdot g}{k}$$

$$\Delta x = \frac{(100 + 64) \cdot 9,81}{41109}$$

$$\Delta x = 0.039 \text{ m} = 3.9 \text{ cm}$$

Defleksi suspensi *dualshock* belakang

$$\Sigma F = k \cdot \Delta x$$

$$m \cdot g = k \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{m \cdot g}{k}$$

$$\Delta x = \frac{(300 + 96) \cdot 9,81}{58389}$$

$$\Delta x = 0.067 \text{ m} = 6.7 \text{ cm}$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai defleksi suspensi *telescopic* bagian depan ketika diberikan beban maksimum sebesar 3.9 cm dan defleksi suspensi *dualshock* bagian belakang ketika dikenai beban maksimum adalah sebesar 6.7 cm, sehingga ketika diberikan beban maksimum, nilai defleksi suspensi masih di bawah nilai defleksi maksimum yang ditetapkan pada fungsi objektif, yaitu 13.5 cm untuk suspensi *telescopic* bagian depan, dan 15 cm untuk suspensi *dualshock* bagian belakang.

## BAB V KESIMPULAN & SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya, didapat beberapa kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah, sebagai berikut :

1. Telah disusun rancangan model matematis dan dinamis dengan pemodelan satu kendaraan penuh untuk sistem suspensi sepeda motor *trail* listrik 2x2.
2. Berdasarkan metode perancangan sistem suspensi sepeda motor *trail* listrik 2x2 menggunakan metode optimasi *genetic algorithm*, didapat nilai koefisien kekakuan untuk suspensi depan dengan tipe *telescopic* sebesar 41109 N/m, nilai koefisien kekakuan untuk suspensi belakang dengan tipe *dualshock* sebesar 58389 N/m, nilai koefisien redaman untuk suspensi depan dengan tipe *telescopic* sebesar 1913 Ns/m, dan nilai koefisien redaman untuk suspensi belakang dengan tipe *dualshock* sebesar 3460 Ns/m.
3. Berdasarkan analisis dan simulasi yang telah dilakukan, dengan fungsi objektif yang telah ditetapkan sebelumnya, didapat kesimpulan bahwa hasil respon perpindahan dan percepatan dari pengendara dan gerak vertikal maupun *pitching* dari bodi sepeda motor memenuhi rentang maksimal yang diatur dalam fungsi objektif, juga ketika dibandingkan antara parameter suspensi awal dan parameter hasil optimasi, hasilnya adalah parameter hasil optimasi mampu menghasilkan nilai RMS yang lebih rendah daripada parameter suspensi awal. Begitu juga pada analisis defleksi statis dari suspensi *telescopic* maupun *dualshock*, ketika diberikan beban maksimum antara pengendara dan barang, dengan menggunakan parameter suspensi hasil optimasi algoritma genetik, didapat hasil defleksi suspensi *telescopic* sebesar 3,9 cm dari batas maksimum yang diatur pada fungsi objektif sebesar 13,5 cm, dan defleksi suspensi *dualshock* sebesar 6,7 cm dari batas maksimum yang diatur pada fungsi objektif sebesar 15 cm.

### 5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan dalam penelitian selanjutnya terkait perancangan dan pengembangan sistem suspensi sepeda motor *trail* listrik 2x2 ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya kajian ulang mengenai besaran parameter yang digunakan pada setiap komponen sistem sehingga dapat meminimalisir terjadinya respon getaran yang tidak normal.
2. Pada penelitian selanjutnya akan lebih baik jika mendeskripsikan kontur jalan yang akan dilalui sepeda motor dengan lebih spesifik sesuai kegunaan di lapangan, sehingga akan memudahkan dalam penentuan parameter maupun analisis hasil simulasinya.

## DAFTAR PUSTAKA

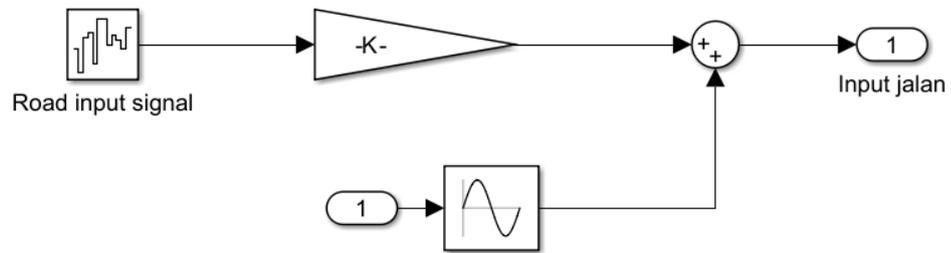
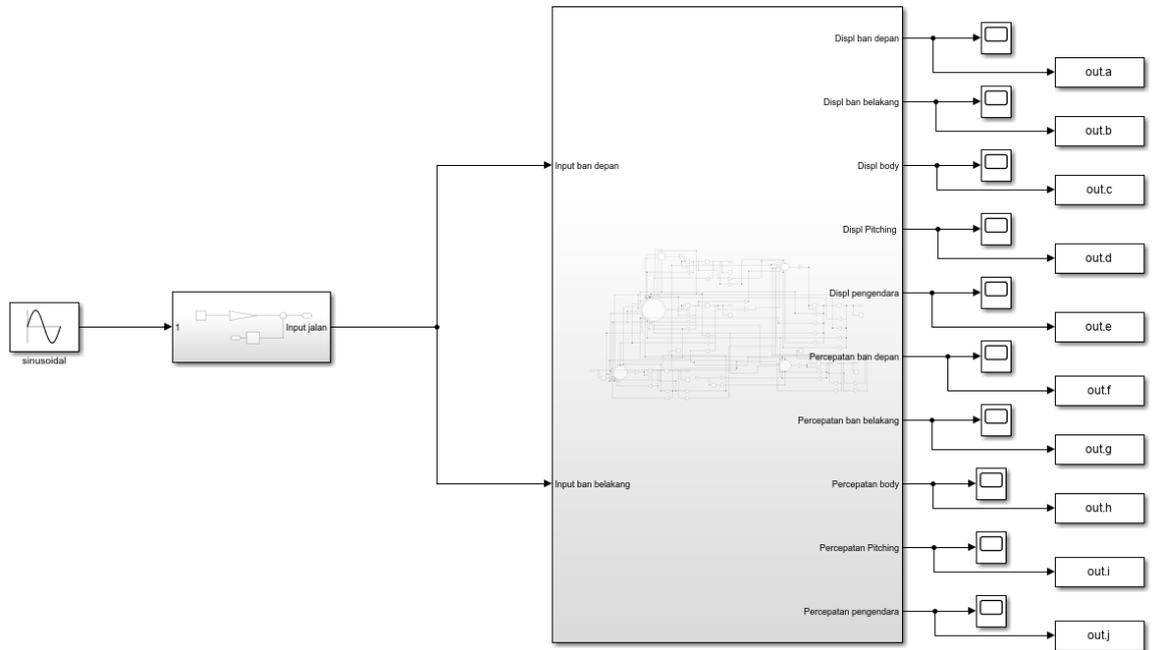
- Ariyanto, N. A. (2016). Analisa Jenis Pelumas Suspensi Depan Sepeda Motor Listrik Trail. *Jurnal Nozzle*, 123-126.
- Francis, B. V., Azizul, M. A., & Sulaiman, S. B. (2021). Study on Characteristic of Motorcycle Suspension. *JOURNAL OF AUTOMOTIVE POWERTRAIN AND TRANSPORTATION TECHNOLOGY*, 34-44.
- Jama, J. (2015). *Pemeliharaan Sasis Sepeda Motor 2*. Jakarta: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Laksana, N. A., Girawan, B. A., & Pribadi, J. S. (2022). Desain dan Analisis Karakteristik Pegas Koil Sistem Suspensi untuk Kendaraan Ringan Sepeda Motor Listrik. *Infotekmesin*, 59-66.
- Mulyo, H. (2018). Penerapan Algoritma Genetika Dalam Efisiensi Persediaan Bahan Baku Mebel Di UD. Mebel Jati. *JURNAL REKOGNISI AKUNTANSI*, 155-165.
- Nugraha, B. S. (2005). *Chasis Sepeda Motor*. Yogyakarta: Sistem Perencanaan Penyusunan Program dan Penganggaran Jurusan Pendidikan Teknik Otomotif.
- Nurlita, C. (2023). *OPTIMASI NILAI KEKAKUAN DAN KOEFISIEN REDAMAN DENGAN METODE ALGORITMA GENETIK PADA BUS LISTRIK DENGAN SISTEM SUPENSI UDARA*. Surabaya: Departemen Teknik Mesin ITS.
- Olviani, C., & Guntur, H. L. (2014). Analisa Kenyamanan Kendaraan Roda Dua dengan Pemodelan Pengendara sebagai Sistem Multi D.O.F. *Teknik POMITS*, 57-60.
- Rao, S. S. (2011). *Mechanical Vibrations*. New Jersey: Pearson Education Inc. .
- Sutantra, I. N. (2015). *Teknologi Otomotif Hybrid*. Surabaya: Guna Widya.
- Tentua, B. G. (2011). ANALISA RESPON DINAMIK SEPEDA MOTOR TERHADAP POSISI SUDUT SUSPENSI. *Jurnal TEKNOLOGI*, 859-866.
- Thede, P., & Parks, L. (2010). *Race Tech's Motorcycle Suspension*. Minneapolis: MBI Publishing Company.
- Wahyudi, A. (2013). *Pemeliharaan Sasis Sepeda Motor*. Malang: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Wirareswara, R. (2023). *OPTIMASI KINERJA SISTEM SUSPENSI SEMI AKTIF HIGH-SPEED TRAIN JAKARTA – SURABAYA DENGAN INTEGRASI SISTEM KONTROL PID*. Surabaya: Departemen Teknik Mesin ITS.
- Yu, H., & Yu, N. (2012). Application of Genetic Algorithms To Vehicle Suspension Design. 1-9.

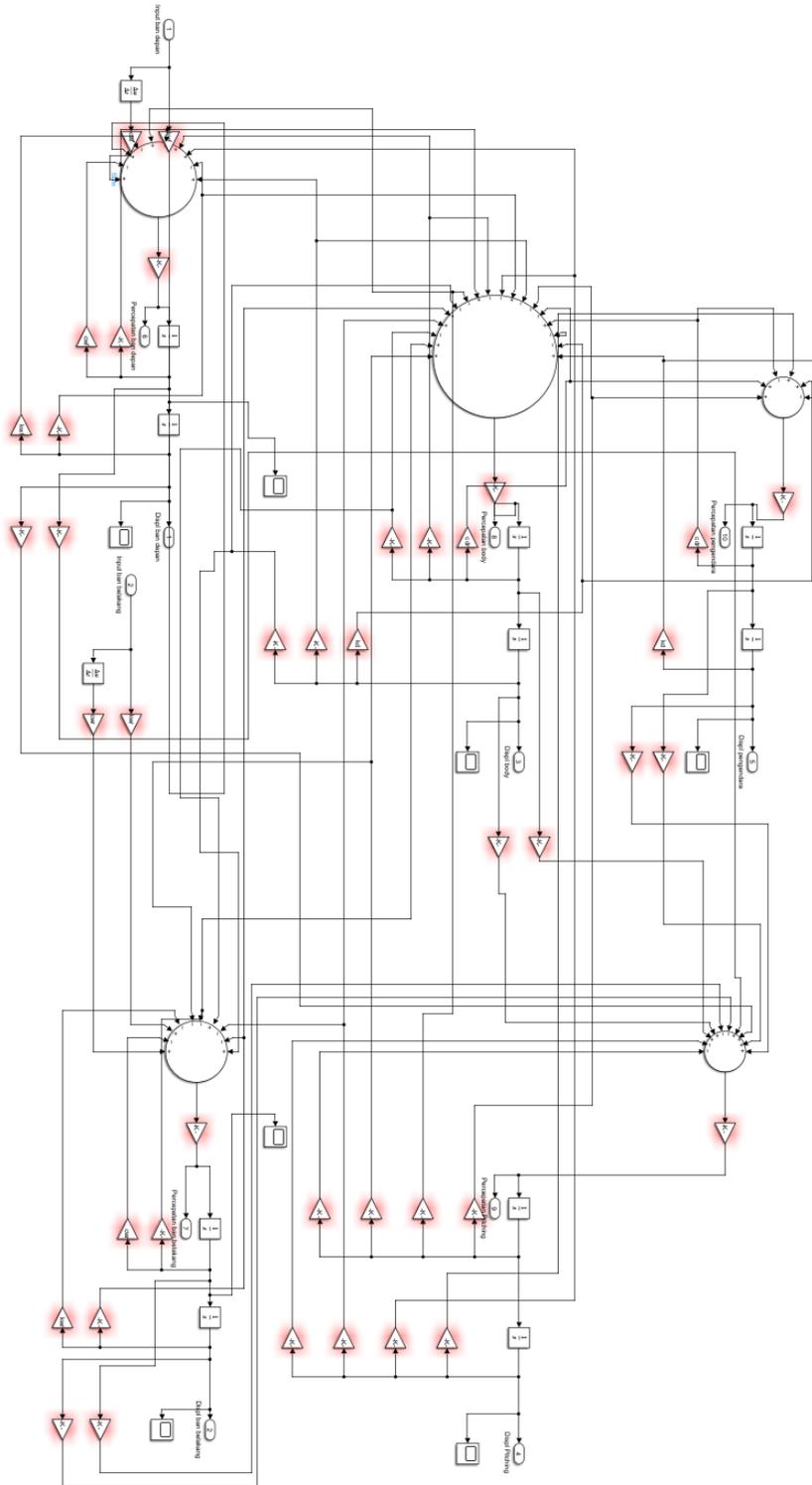
## LAMPIRAN

### Bagian 1 Objek Penelitian Sepeda Motor Trail Listrik 2x2

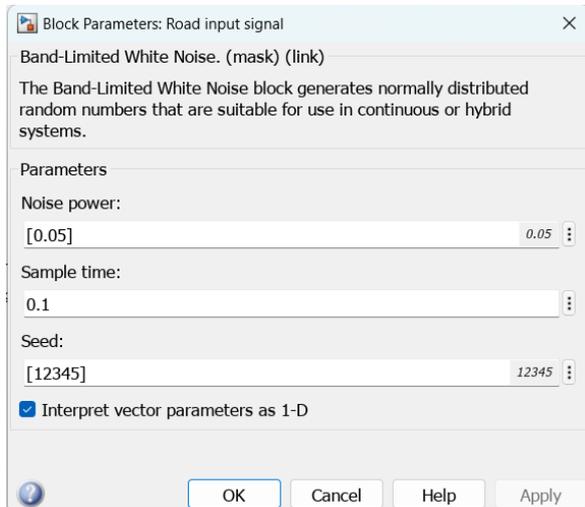
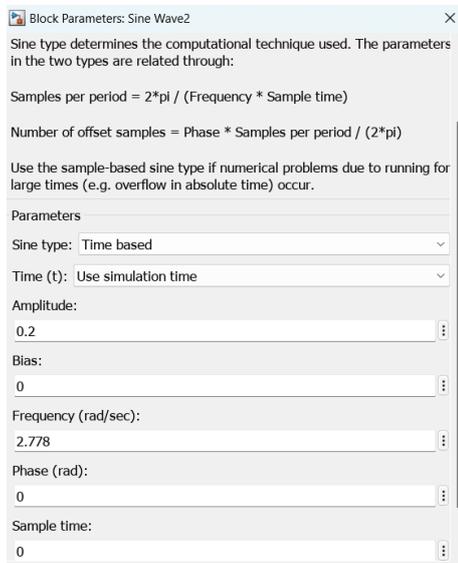
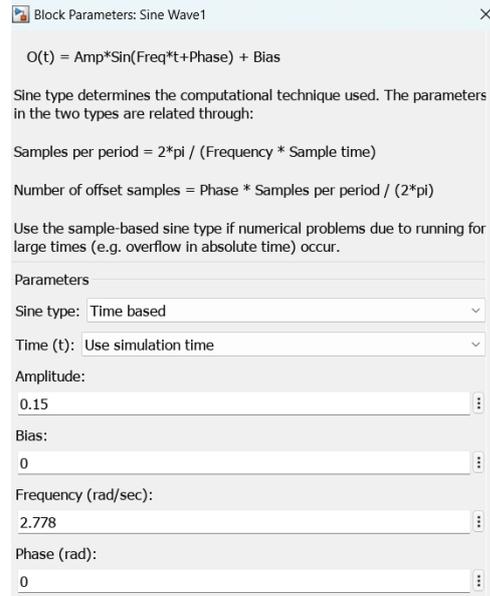
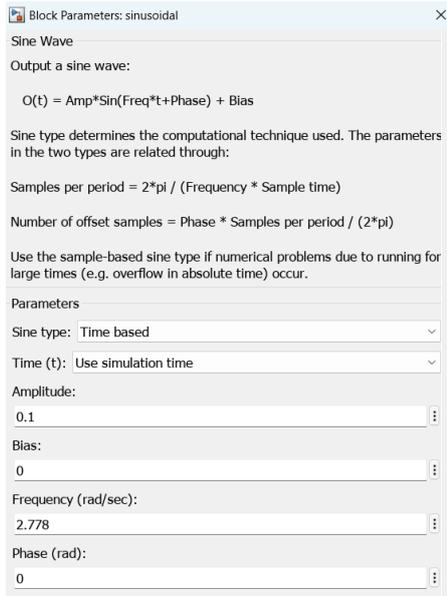


## Bagian 2 Pemodelan Sistem Dinamis pada Aplikasi Matlab Simulink

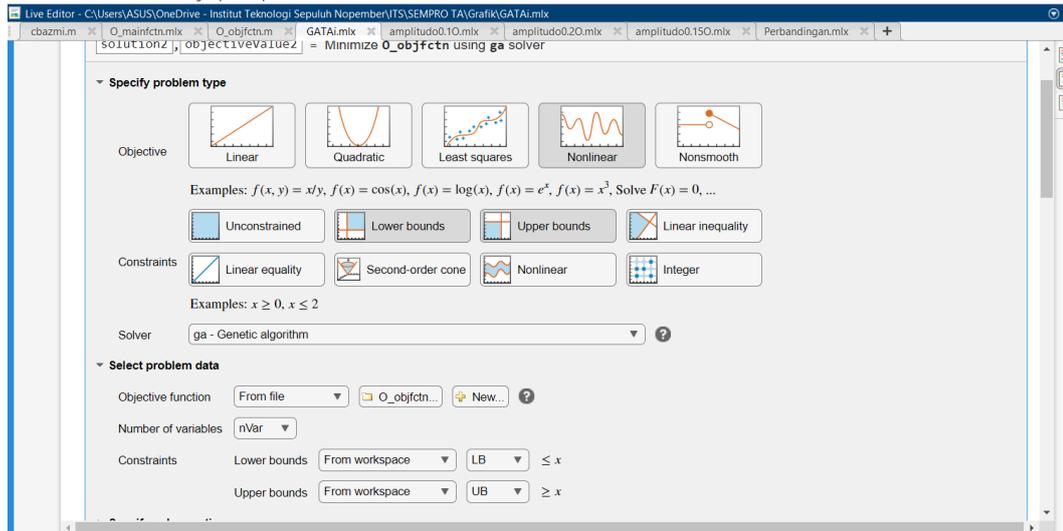




### Bagian 3 Input Nilai Sinusoidal dan Nilai *Band-Limited White Noise*



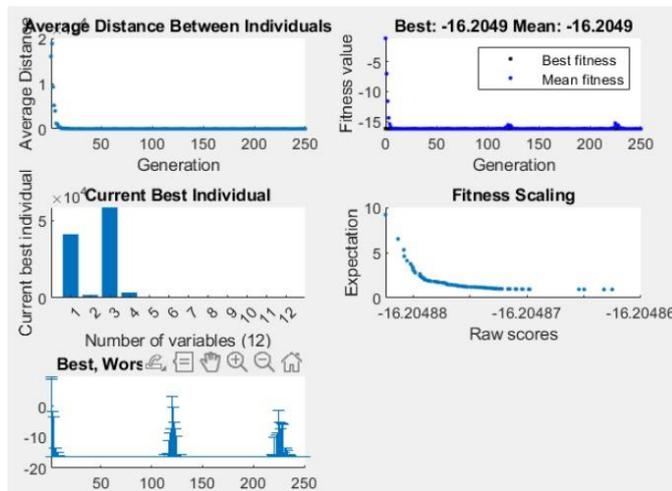
## Bagian 4 Simulasi Optimasi Algoritma Genetik



Single objective optimization:  
12 Variable(s)

Options:  
CreationFcn: @gacreationuniform  
CrossoverFcn: @crossoverheuristic  
SelectionFcn: @selectionroulette  
MutationFcn: @mutationadaptfeasible

Generation	Func-count	Best f(x)	Mean f(x)	Stall Generations
1	200	-16.18	-5.441	0
2	295	-16.19	-9.904	0
3	390	-16.19	-12.54	1
4	485	-16.2	-14.79	0
5	580	-16.2	-15.69	0
6	675	-16.2	-16.08	0
7	770	-16.2	-16.18	0



```
solution2
```

```

solution2 = 1×12
104 ×
    4.1109    0.1913    5.8389    0.3460    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000
    
```

```
objectiveValue2
```

```
objectiveValue2 = -16.2049
```

## BIODATA PENULIS



Alwyn Pramana Kartika Putra dilahirkan di Kota Denpasar, Bali pada 5 Januari 2001 dari pasangan I Nyoman Bhawa Kartika dan Haryanti Emirensiana. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis diawali di TK Katolik Tegaljaya, Badung pada tahun 2005-2007. Penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat sekolah dasar di SD Tegaljaya, Badung pada tahun 2007-2013, lalu melanjutkan pendidikannya ke SMP Tegaljaya, Badung pada tahun 2013-2016, dan melanjutkan pendidikan ke SMAK Kolese Santo Yusup Malang pada tahun 2016-2019. Setelah lulus pendidikan formal pada tahun 2019, penulis melanjutkan pendidikan ke Universitas Katolik Parahyangan, Bandung selama 2 semester pada tahun 2019-2020. Pada tahun 2020 penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Mesin FTIRS – ITS.

Selama menempuh pendidikan Sarjana S-1, penulis aktif dalam berbagai kegiatan keorganisasian, baik dalam lingkup internal departemen maupun eksternal. Pada lingkup internal, penulis aktif dalam organisasi Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM) sebagai staff pada tahun 2021-2022, lalu menjadi Kepala Divisi *Human Resource Development* (HRD) pada tahun 2022-2023. Dalam lingkup eksternal, penulis menjadi anggota aktif Paduan Suara Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2020-2022, dan aktif sebagai anggota di Keluarga Mahasiswa Katolik Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam bidang akademik, penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. PLN Nusantara Power UP Gresik dan PT. PLN Indonesia Power Bali PGU. Untuk informasi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email [alvinpramana17@gmail.com](mailto:alvinpramana17@gmail.com).