

# PEMODELAN DAN ANALISA DINAMIS SUSPENSI KENDARAAN BERBASIS STATE SPACE VARIABLE

*by Rafi Rizqi Ananda*

---

**Submission date:** 05-Jul-2023 09:45AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2126631965

**File name:** REV\_RAFI\_RIZQI\_ANANDA\_3331180076\_TUGAS\_AKHIR.pdf (1.73M)

**Word count:** 7982

**Character count:** 49283

**PEMODELAN DAN ANALISA DINAMIS**  
**SUSPENSI KENDARAAN BERBASIS**  
***STATE SPACE VARIABLE***



**4**  
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan**  
**Dalam Menyelesaikan Program Strata - 1 (S1)**  
**Pada Jurusan Teknik Mesin**  
**Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

**Disusun Oleh:**

**RAFI RIZQI ANANDA**  
**3331180076**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**  
**CILEGON - BANTEN**  
**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Pemodelan Dan Analisa Dinamis Suspensi Kendaraan  
Berbasis *State Space Variable*.  
Nama : Rafi Rizqi Ananda  
NIM : 3331180076  
Dosen Pembimbing 1 : Erny Listijorini, ST., MT  
Tanggal Seminar :

Disetujui Oleh,  
Koordinator Skripsi

**Miftahul Jannah S.T., M.T.**

NIP. 199103052020122017

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama: Rafi Rizqi Ananda

NPM: 3331180076

Judul: Permodelan Dan Analisa Dinamis Suspensi Kendaraan Berbasis *State  
Space Variable*

<sup>4</sup>  
Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

### **MENYATAKAN**

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 30 Juni 2023



Rafi Rizqi Ananda  
NPM.3331180076

## 6 KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wata'ala yang telah memberikan kami kemudahan sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu. Tanpa pertolongan-Nya, tentunya kami tidak akan sanggup untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga terlimpah curahkan kepada baginda tercinta kita yaitu Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam, karena berkat kegigihan dan kesabaran beliau kita dapat menuntut ilmu pengetahuan seperti sekarang ini.

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah Subhanahu Wata'ala atas limpahan nikmat sehat-Nya, baik itu berupa sehat fisik maupun akal fikiran, sehingga penulis mampu untuk menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "*Pemodelan Dan Analisa Dinamis Suspensi Kendaraan Berbasis State Space Variable*". Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Sehingga dalam kesempatan ini penulis juga bermaksud menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
2. Ibu Erny Listijorini, ST., MT Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membantu dan menuntun dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Sidik Susilo, S.T., M.Sc Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir 2 yang telah membantu dan menuntun saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Hamdan Akbar Notonegoro, S.Si., M.Si Selaku Dosen Pembimbing akademik yang telah membimbing saya selama perkuliahan.
5. Ibu Miftahul Jannah, S.T., M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis, sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Kedua orang tua serta seluruh keluarga yang selalu mendukung, memberikan do'a, dan semangat serta dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Serta pihak-pihak lain yang tidak mungkin penulis sebutkan satu - persatu. Semoga Allah SWT memberi balasan yang setimpal kepada semuanya.  
Akhirnya dengan satu harapan dari kami, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kami khususnya dan bagi rekan-rekan pembaca umumnya. Aamiin Yarabbal 'alamin.

Cilegon, Juni 2023

Penulis

## ABSTRAK

### PEMODELAN DAN ANALISA DINAMIS SUSPENSI KENDARAAN BERBASIS *STATE SPACE VARIABLE*

Disusun oleh:

**Rafi Rizqi Ananda**

**NIM.3331180076**

<sup>1</sup> Sistem suspensi merupakan salah satu komponen mekanik yang penting dalam suatu kendaraan, utamanya mobil, yang terletak di antara bodi kendaraan dengan roda. Sistem suspensi yang berfungsi untuk menahan getaran yang terjadi agar tidak berpindah pada bodi kendaraan. Agar getaran yang ditimbulkan oleh mesin dapat diserap sepenuhnya maka diperlukanlah perancangan sistem yang tepat dan optimal. Untuk memudahkan dalam proses analisa respon dinamis pada suspensi kendaraan,

Tujuan Penelitian kali ini adalah untuk mendapatkan model sistem dari sebuah suspensi kendaraan yang akan disimulasikan. Selanjutnya dapat mensimulasikan hasil permodelan sistem yang telah dibuat melalui MATLAB. Setelah simulasi dilakukan, dapat menanalisa respon dinamis yang dihasilkan dari simulasi yang telah dilakukan.

Hasil simulasi pada *road bump* setinggi  $0.2m$  dengan kecepatan yang bervariasi yaitu  $20km/h$ ,  $30km/h$ , dan  $40km/h$  memperlihatkan bahwa terjadinya *Overshoot* pada *Chassis* mobil berturut-turut sebesar  $0.044m$ ,  $0.032m$ , dan  $0,0248m$  dimana *Settling time* dari *Chassis* mobil tersebut terjadi berturut-turut selama  $1.53s$ ,  $1.38s$ . dan  $1.34s$ . Kendaraan cenderung kembali ke posisi tetap lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan yang lebih rendah. Sama halnya pada *settling time* nya semakin cepat ketika kecepatannya lebih tinggi. Parameter yang digunakan cenderung diaplikasikan ke mobil *sport* yang biasanya memiliki suspensi yang kaku dan kasar untuk meningkatkan ketahanan terhadap jalan, namun kenyamanan penumpang menjadi tidak optimal.

## 4 DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengertian Pemodelan Sistem.....	5
2.2 Sistem Suspensi Mobil .....	7
2.3 Model Sistem dan Dinamika Suspensi .....	11
2.3.1 Pemodelan Setengah Kendaraan .....	11
2.3.2 Pemodelan Seperempat Kendaraan .....	12
2.4 <i>Road Disturbance</i> .....	13
2.5 MATLAB .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Pemodelan Sistem.....	18
3.3 Simulasi dan Analisa .....	18



**BAB IV METODOLOGI PENELITIAN**

4.1 Pemodelan Sistem Setengah Kendaraan Mobil .....20  
4.2 Komponen Permodelan Sistem Suspensi Setengah Kendaraan .....22  
4.3 Diagram Blok MATLAB.....24  
4.4 *Road Disturbance Input*.....25  
4.5 Simulasi MATLAB .....27  
4.6 MATLAB *M-Files Input* .....27  
4.7 Analisa Data.....38

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....40  
5.2 Saran .....41

**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Klasifikasi Sistem .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Sistem Suspensi Mobil .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Bagian Suspensi Kendaraan .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Suspensi Poros Kaku dan Bebas .....	9
<b>Gambar 2.5</b> Komponen Sistem Suspensi .....	10
<b>Gambar 2.6</b> Model Setengah Kendaraan .....	12
<b>Gambar 2.7</b> Model Seperempat Kendaraan .....	13
<b>Gambar 2.8</b> Profil <i>Road Bump</i> Pada Jalan .....	14
<b>Gambar 2.9</b> Ikon <i>Matlab</i> .....	15
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	17
<b>Gambar 4.1</b> Model Sistem Suspensi Mobil Setengah Kendaraan .....	20
<b>Gambar 4.2</b> DBB Gaya Eksternal pada Model Sistem.....	20
<b>Gambar 4.3</b> Gaya dan Momen pada Model Sistem.....	21
<b>Gambar 4.4</b> Model Diagram Blok MATLAB .....	25
<b>Gambar 4.5</b> Ilustrasi Road Disturbance 0.2m.....	26
<b>Gambar 4.6</b> Input Road Disturbance 0.2m .....	26
<b>Gambar 4.7</b> <i>Front Wheel Vertical Displacement at 20 km/h</i> .....	31
<b>Gambar 4.8</b> <i>Rear Wheel Vertical Displacement at 20 km/h</i> .....	31
<b>Gambar 4.9</b> <i>Chassis Translational Displacement at 20 km/h</i> .....	32
<b>Gambar 4.10</b> <i>Chassis (Rotational) Displacement at 20 km/h</i> .....	33
<b>Gambar 4.11</b> <i>Front Wheel Vertical Displacement at 30km/h</i> .....	33
<b>Gambar 4.12</b> <i>Rear Wheel Vertical Displacement at 30km/h</i> .....	34
<b>Gambar 4.13</b> <i>Chassis Translational Displacement at 30km/h</i> .....	34
<b>Gambar 4.14</b> <i>Chassis (Rotational) Displacement at 30km/h</i> .....	35
<b>Gambar 4.15</b> <i>Front Wheel Vertical Displacement at 40km/h</i> .....	36
<b>Gambar 4.16</b> <i>Rear Wheel Vertical Displacement at 40km/h</i> .....	36
<b>Gambar 4.17</b> <i>Chassis Translational Displacement at 40km/h</i> .....	37

<b>Gambar 4.18</b> <i>Chassis (Rotational) Displacement at 40km/h</i> .....	38
<b>Gambar 5.1</b> Respon Pada Kecepatan 20km/h .....	40
<b>Gambar 5.2</b> Respon Pada Kecepatan 30km/h .....	40
<b>Gambar 5.3</b> Respon Pada Kecepatan 40km/h .....	41

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 4.1</b> Parameter pada Permodelan Sistem Suspensi Setengah Kendaraan ....	22
<b>Tabel 4.2</b> Kecepatan Yang Digunakan dan <i>Time delay</i> .....	27
<b>Tabel 4.3</b> Data Respon Pada Sistem Suspensi Kendaraan .....	38

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Masyarakat di era modern ini dapat berpindah dari satu tempat ke tempat yang lain dalam waktu yang cepat meskipun jarak yang ditempuh tersebut dekat maupun jauh karena menggunakan kendaraan yang mempunyai mobilitas tinggi. Salah satu kendaraan yang banyak digunakan adalah mobil. Kenyamanan penumpang kendaraan beserta kestabilan dalam mengendarainya adalah salah satu variabel penting yang selalu diinginkan oleh setiap orang yang menggunakan kendaraan. Kendaraan tersebut harus didesain nyaman dan se-efisien mungkin dalam memenuhi kebutuhan pengguna. Salah satunya mendesain sistem suspensi kendaraan yang sangat berfungsi dalam konstruksi mobil tersebut. Saat kendaraan digunakan, pengemudi maupun penumpang akan merasakan getaran yang disebabkan oleh profil jalan yang tidak rata, maupun getaran yang berasal dari mesin kendaraan. Getaran ini tentu saja akan mengganggu pengemudi dan penumpang dalam perjalanannya, karena itu diciptakan sistem suspensi untuk meredam getaran tersebut semaksimal mungkin.

Sistem suspensi merupakan salah satu komponen mekanik yang penting dalam suatu kendaraan, utamanya mobil, yang terletak di antara bodi kendaraan dengan roda. Sistem suspensi yang berfungsi untuk menahan getaran yang terjadi agar tidak berpindah pada bodi kendaraan. Sistem Suspensi terletak di antara bodi kendaraan dan roda-roda, yang dirancang untuk meredam getaran akibat gelombang permukaan jalan sehingga diperoleh kenyamanan dan kestabilan berkendara.

Sistem suspensi kendaraan umumnya digunakan untuk menopang beban yang ditimbulkan dari chasis, serta meredam getaran yang ditimbulkan. Agar getaran yang ditimbulkan oleh mesin dapat diserap sepenuhnya maka diperlukanlah perancangan sistem yang tepat dan optimal. Untuk memudahkan dalam proses analisa respon dinamis pada suspensi kendaraan,

maka diperlukanlah pemodelan sistem. Pemodelan suatu sistem bertujuan untuk mengoptimalkan hasil rancangan sebelum dilakukan proses produksi.

Pada penelitian sebelumnya, oleh Ayu Aulia Hakim dari Institut Teknologi Sepuluh November, yang melakukan pemodelan dan analisis pengaruh perubahan parameter *variable orifice* sistem suspensi hidrolis terhadap gaya redam yang dihasilkan dan respon dinamis penumpang pada sepeda motor *Honda Beat 2009*. Dalam pengujiannya dilakukan pemodelan dan simulasi dari sistem setengah kendaraan sepeda motor dengan perubahan parameter pada sistem suspensi hidrolisnya. Simulasi dilakukan untuk mencari gaya redam dan respon dinamis yang lebih baik dari sistem suspensi sebelum modifikasi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Isitina Rahmawati dari Institut Teknologi Sepuluh November, yang melakukan Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Perubahan Parameter Sistem Suspensi *Hydro-Pneumatic* Terhadap Gaya Redam Dan Gaya Pegas Serta Respon Dinamis Mobil. Dalam pengujiannya pemodelan dan simulasi dari perubahan parameter yang ada pada sistem suspensi *hydro-pneumatic* terhadap gaya redam, gaya pegas dan respon dinamis dari kendaraan dan penumpang, serta gaya tekan dari ban pada mobil. Setelah dilakukan pemodelan sistem tersebut lalu disimulasikan pada *Simulink*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Erny Listijorini Bersama dengan 4 anggota tim lainnya yang melakukan penelitian dengan judul *Design of half-car active suspension system for passenger riding comfort*. Dalam penelitian tersebut dirancang sistem suspensi aktif untuk meredam getaran pada kursi penumpang yang disebabkan oleh perubahan permukaan jalan atau gangguan yang terjadi di jalan. PID (*proportional–integral–derivative*) Controller digunakan dalam desain sistem suspensi aktif tersebut, dalam penelitian tersebut metode *Direct Synthesis* digunakan untuk mengoptimalkan parameter *tuning* PID untuk mencapai respons keluaran yang diinginkan di permukaan jalan yang berbeda. Simulasi untuk menganalisa sistem kontrol tersebut dilakukan pada *Simulink*.

Pada penelitian kali ini akan <sup>1</sup> dilakukan pemodelan dan simulasi dari respon dinamis yang ada pada sistem suspensi mobil. Simulasi akan dilakukan melalui MATLAB.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan permodelan sistem pada sistem suspensi mobil?
2. Bagaimana cara mensimulasikan permodelan sistem suspensi setengah kendaraan?
3. Bagaimana pengaruh *Road Disturbance* terhadap respon dinamis dari sistem suspensi mobil?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian dari penelitian tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut:

1. Didapatkan model sistem dari sistem suspensi mobil yang digunakan sebagai bahan simulasi.
2. Dapat mensimulasikan hasil permodelan sistem yang sudah didapatkan dengan MATLAB.
3. Dapat menganalisa respon dinamis yang dihasilkan oleh simulasi permodelan sistem suspensi mobil.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapat dari penelitian tugas akhir ini adalah didapatkannya permodelan sistem dari suspensi mobil yang dapat digunakan untuk menganalisa permasalahan yang dapat terjadi pada sistem tersebut sebelum akhirnya difabrikasi, agar mengurangi biaya yang dikeluarkan pada saat fabrikasi apabila nanti terjadi kegagalan. Hasil dari simulasi dapat memberikan informasi bagaimana respon dinamis pada sistem suspensi kendaraan tersebut.

## 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang didapat dari penelitian tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut;

1. Permodelan yang akan dilakukan yaitu permodelan suspensi mobil.
2. Parameter yang digunakan dalam simulasi berdasarkan jurnal.
3. Metode simulasi yang digunakan adalah *state variable*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini membahas tentang latar belakang topik penelitian, rumusan masalah, tujuan dari penelitian yang dilakukan, manfaat dari penelitian, batasan masalah ketika melakukan penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Pada bab ini membahas mengenai teori – teori pendukung tentang penelitian permodelan sistem untuk suspensi kendaraan.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, metode dalam pemodelan sistem yang akan digunakan, dan prosedur simulasi dan analisa respon dinamis sistem suspensi kendaraan.

### **BAB IV DATA DAN ANALISA**

Pada bab ini berisi tentang pemodelan sistem setengah kendaraan mobil, komponen permodelan sistem suspensi setengah kendaraan, diagram blok matlab, *road disturbance input*, simulasi matlab, matlab *m-files input* dan analisa data.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab terakhir ini berisikan tentang kesimpulan yang didapat dari simulasi yang sudah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

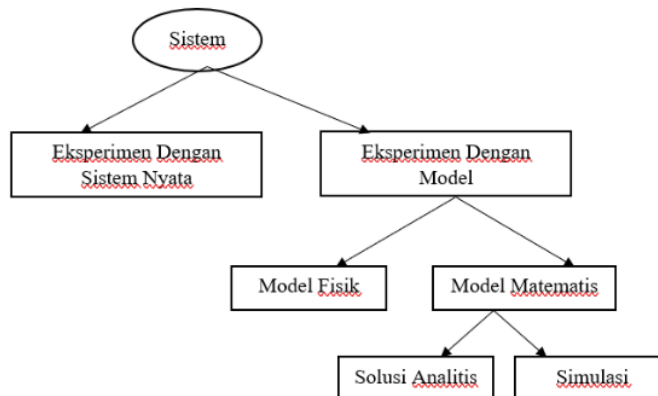


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Pemodelan Sistem

Model didefinisikan sebagai deskripsi logis tentang bagaimana suatu sistem bekerja atau bagaimana komponennya merespons. Dengan membuat model sistem, analisisnya akan lebih mudah. Sistem adalah suatu kesatuan yang tersusun dari komponen-komponen atau unsur-unsur yang saling berhubungan untuk memperlancar arus informasi, material atau energi. Jadi, permodelan sistem merupakan bentuk penyederhanaan dari elemen dan komponen yang sangat kompleks, sehingga memudahkan untuk memahami informasi yang diperlukan. Memahami sistem merupakan prasyarat jika ingin melakukan pemodelan simulasi atau menerapkan metode analitik, karena pendekatan yang dipakai untuk memecahkan masalah adalah pendekatan sistem (*system approach*), yaitu pendekatan holistik terhadap masalah. Pemodelan adalah cara mempelajari sistem dan pemodelan itu sendiri dan berbagai perbedaan dalam perilaku mereka. Di bawah ini adalah gambaran berbagai cara untuk mempelajari sistem. [1]



Gambar 2.1 Klasifikasi Sistem [1]

### 1. Eksperimen dengan Sistem Nyata dan Model

Eksperimen langsung dengan sistem nyata lebih relevan jika memungkinkan, murah dan penting untuk tujuan penelitian. Namun, kenyataan menunjukkan bahwa melakukan penelitian langsung sangatlah sulit. Ini karena biaya penelitian yang tinggi dan banyak waktu yang digunakan. Dengan membuat model yang representatif, melakukan eksperimen dengan biaya yang efektif dapat dilakukan.

### 2. Model Fisik dan Matematis.

Dalam beberapa kasus, model fisik sering digunakan untuk menyelesaikan masalah *engineering* dan sistem manajemen, seperti model miniatur penanganan material. Tetapi yang paling utama dalam persoalan *engineering* dan manajemen adalah model matematis yang menggambarkan sistem dalam hal hubungan logis dan kuantitatif yang kemudian dapat dimanipulasi dan diubah untuk menemukan bagaimana model merespons.

### 3. Model Simulasi dan Analitis

Model matematika digunakan untuk memecahkan aspek-aspek dari sistem sederhana. Sehingga dengan mudah kita memecahkan setiap persoalan dengan persamaan analitisnya. Namun dalam prakteknya, sebuah sistem bisa sangat kompleks dan penuh dengan ketidakpastian sehingga sulit untuk mendefinisikan model matematis, karena kondisi inilah simulasi diperlukan. [1]

Adapun kelebihan dan kekurangan model simulasi adalah sebagai berikut:

#### 1. Kelebihannya yaitu:

##### a. Konsep Random

Model simulasi dapat dengan mudah memodelkan peristiwa acak untuk memberikan wawasan tentang kemungkinan hasil yang dapat terjadi.

##### b. *Return on Investment*.

Dengan menggunakan simulasi komputer, faktor biaya mudah diimbangi karena dengan simulasi kita dapat meningkatkan efisiensi,

seperti menghemat biaya operasional, persediaan dan mengurangi jumlah orang.

c. Antisipasi

Dengan menggunakan simulasi, kita dapat menghindari risiko yang mungkin timbul dari penerapan sistem baru.

d. *Continous Improvement Program*.

Simulasi komputer memberikan evaluasi strategi pengembangan dan mengevaluasi alternatif strategi yang ada.

2. Kekurangannya yaitu:

a. Simulasi bukanlah proses presisi dan bukan proses optimisasi. Simulasi tidak menciptakan solusi, tetapi menciptakan cara mengevaluasi solusi, termasuk solusi optimal.

Tidak semua situasi dapat dievaluasi dengan simulasi, kecuali situasi yang mengandung ketidakpastian.

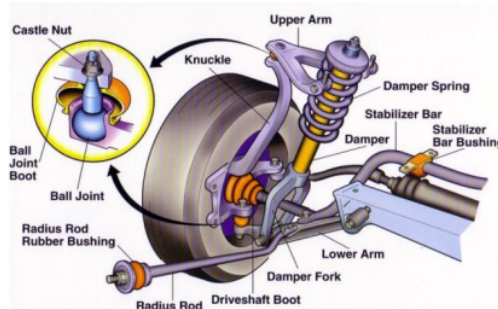
## 2.2 Sistem Suspensi Mobil

Sistem suspensi adalah suatu mekanisme *rigid* yang terletak di antara sasis (bodi) dengan roda yang memiliki fungsi meredam getaran atau guncangan (beban dinamis) yang terjadi akibat kondisi permukaan jalan yang tidak rata. Suspensi juga berfungsi sebagai penopang atau penahan beban kendaraan (beban statis). [2] Suspensi merupakan kumpulan komponen tertentu yang berfungsi meredam kejutan, getaran yang terjadi pada kendaraan akibat permukaan jalan yang tidak rata. Sistem suspensi kendaraan ini sangat berperan besar atas kenyamanan dan keamanan berkendara dikarenakan getaran yang terjadi dapat diredam sebelum diteruskannya ke bodi mobil. [8]



**Gambar 2.2** Sistem Suspensi Mobil [3]

Suspensi juga berfungsi sebagai penopang atau penahan beban kendaraan (beban statis). Sistem suspensi pada dasarnya merupakan bagian dari *chassis*, yang merupakan bagian rangka kendaraan. Suspensi sendiri dirancang untuk menambah kenyamanan dan kestabilan kendaraan serta meningkatkan cengkraman roda di jalan raya. Osilasi akibat gangguan (*disturbance*) permukaan jalan yang bergelombang sangat mempengaruhi kenyamanan berkendara, karena apabila banyak gangguan di jalan raya, suspensi mengalami guncangan yang lebih kuat. Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkan mekanisme yang akan mengurangi guncangan ke tingkat yang dapat diterima oleh penumpang dan badan kendaraan.



Gambar 2.3 Bagian Suspensi Kendaraan

Sumber: (*Fastnlow.net*)

Pada sistem suspensi, roda dihubungkan ke bodi kendaraan dengan berbagai sambungan. Suspensi terdiri dari beberapa bagian yang mendukung pengoperasian suspensi itu sendiri. Bagian utama tersebut diantaranya pegas dan *shock absorber* dan komponen lain seperti arm suspensi, *ball joint*, dan *stabilizer bar*. Pegas adalah elemen mesin fleksibel yang dapat menyimpan energi dari beban atau gaya tertentu dan mengembalikan jumlah yang sama saat beban dilepas. Pegas adalah bagian yang menopang bobot kendaraan, mempertahankan ketinggian kendaraan dan meredam guncangan yang disebabkan oleh permukaan jalan yang tidak rata. [2]

Peredam kejut (*Shock Absorber*) adalah bagian yang berfungsi meredam gerakan aksial pegas. Pada saat kendaraan mengenai *roadbump*, kendaraan akan mengalami pantulan selama beberapa kali pada frekuensi alaminya. Jika hal ini dibiarkan, maka *body* mobil akan terus bergerak naik turun. Oleh karena itu,

peredam kejut dirancang untuk mengurangi gaya getaran <sup>1</sup>pegas. Peredam kejut ini terdiri dari sebuah silinder yang berfungsi sebagai penutup dan tempat memasang batang piston. Di dalamnya ada katup yang berguna untuk aliran fluida. [2]

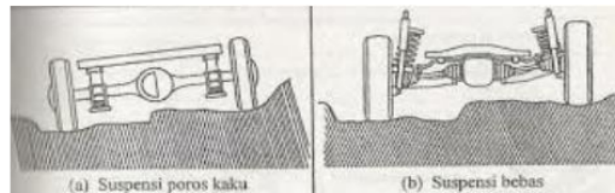
Terdapat dua jenis utama suspensi yaitu:

1. Sistem suspensi dependen atau sistem suspensi poros kaku (*rigid*)

Awalnya desain ini digunakan pada semua sistem suspensi mobil penumpang, bahkan hingga saat ini <sup>1</sup>masih banyak digunakan pada kendaraan berat. Poros kaku (yang tunggal) dihubungkan ke rangka melalui pegas (pegas daun atau pegas koil) dan peredam kejut, sehingga tidak ada lengan-lengan suspensi seperti pada suspensi independen.

2. Sistem suspensi independen atau sistem suspensi bebas.

Suspensi roda independen ini digunakan pada roda mobil penumpang atau truk kecil. Tetapi sekarang suspensi bebas banyak digunakan juga pada roda belakang mobil penumpang. Pada suspensi independen, roda kiri dan kanan tidak terhubung langsung ke poros. Kedua roda bergerak bebas tanpa saling mempengaruhi



**Gambar 2.4** Suspensi Poros Kaku dan Bebas [3]

Sistem suspensi mobil terdiri dari Komponen [3] sebagai berikut:

a. Pegas

Pegas berfungsi untuk menyerap kejutan dari jalan dan getaran roda-roda agar tidak diteruskan ke bodi secara langsung. Ada beberapa tipe pegas pada kendaraan diantaranya Coil Spring, Pegas daun, dan Pegas Batang Torsi.

b. *Shock Absorber*

Pada peredam kejut, <sup>1</sup>pegas harus bekerja sama dengan peredam kejut, tanpa peredam kejut, pegas akan bergerak naik turun lebih lama, dan peredam kejut

dapat meredam getaran sesaat pegas dan mengubahnya menjadi energi panas.

c. *Ball Joint*

*Ball joint* selain berfungsi sebagai sumbu putaran roda juga dapat menerima beban vertikal maupun lateral. Didalam ball joint terdapat gemuk untuk melumasi bagian yang bergesekan dan pada beberapa periode gemuk harus diganti.

d. *Stabilizer Bar*

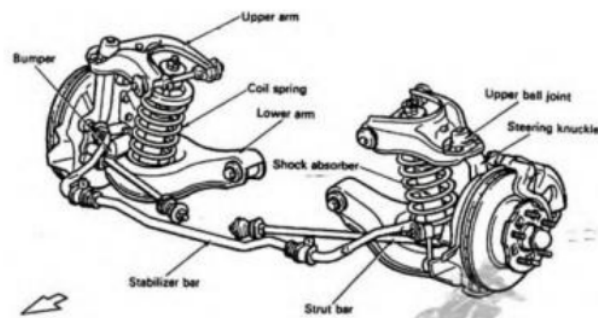
*Stabilizer bar* (batang penyetabil) berfungsi mengurangi kemiringan mobil akibat gaya sentrifugal pada saat mobil membelok dan juga untuk menambah daya jejak ban. Pada suspensi depan *Stabilizer bar* dipasang biasanya dipasang pada kedua *lower arm* melalui bantalan karet dan *linkage* dan bagian tengah diikat dengan rangka/bodi pada dua tempat melalui *bushing*.

e. *Strut Bar*

*Strut bar* berfungsi untuk menahan lower arm agar tidak bergerak mundur pada saat menerima kejutan dari permukaan jalan yang tidak rata atau dorongan akibat terjadi pengereman.

f. *Lateral Control Rod*

Komponen ini dipasang diantara gardan pendukung (*axle*) dengan bodi dan bertugas untuk selalu menahan gardan pada tempatnya terhadap beban lateral.



Gambar 2.5 Komponen Sistem Suspensi [3]

## 2.3 <sup>1</sup> Model Sistem dan Dinamika Suspensi

Dinamika kendaraan adalah studi yang mempelajari pergerakan seluruh kendaraan dan seluruh derajat kebebasan sistem kendaraan. Setiap gerakan memiliki kecepatan, akselerasi, dan frekuensinya sendiri. Sama halnya dengan sistem suspensi yang menghubungkan roda dengan bodi kendaraan memperhitungkan pergerakan relatif yang biasanya terjadi antara roda dan bodi kendaraan. Dinamika roda, profil jalan, dan interaksinya sangat penting untuk pengembangan sistem suspensi. Model roda yang sangat umum dan sangat sederhana menggambarkan getaran fundamental sebagai kontak paralel antara pegas dan peredam.

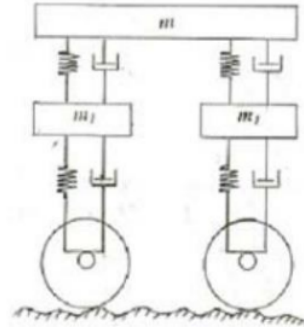
Studi analitis dinamika membutuhkan model suspensi dasar menggunakan derajat kebebasan yang berbeda. Model dinamis dapat memiliki satu, dua atau tiga dimensi dengan derajat kebebasan atau *Degree of Freedom* (DOF). 3 tipe model tersebut (7 DOF model full kendaraan, 4 DOF model setengah kendaraan, dan 2 DOF Model seperempat kendaraan).<sup>1</sup> [2] Dalam pemodelan suspensi kendaraan, perhatian ditujukan pada apa yang akan dicapai, misalnya dalam hal penanganan yang baik atau kenyamanan berkendara. Parameter yang digunakan untuk mengoptimalkan pemodelan sistem suspensi dapat berbeda untuk setiap kendaraan. Salah satu kesulitan dalam pemodelan adalah adanya beberapa *compliances* dan *penghubung/linkage* dalam sistem suspensi. Dalam hal ini, analisis suspensi setengah kendaraan dengan peredam dan pegas diperiksa. [2]

### 2.3.1 <sup>1</sup> Pemodelan Setengah Kendaraan

perumusan pemodelan sasis sebagai optimalisasi parameter model untuk memperbesar sudut *rolling* melalui variabel *displacement*. Solusi untuk masalah optimisasi adalah dengan menggunakan struktur setengah kendaraan. Untuk mengatasinya, dapat menggunakan model matematis dinamika kendaraan dalam model linier setengah kendaraan. Model kendaraan memiliki input



berupa gangguan (*disturbance*), dan output dari sistem berupa *rolling angle* ( $\varphi$ ) dan berupa *sprung mass displacement*. [2]



**Gambar 2.6** Model Setengah Kendaraan.[4]

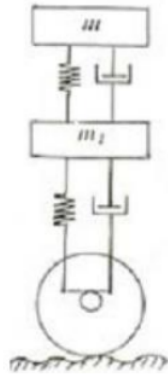
Sistem suspensi setengah kendaraan maupun full kendaraan memungkinkan kendaraan untuk dapat bergerak osilasi yang terjadi pada *sprung mass* maupun *unsprung mass*. [2]

### 2.3.2 <sup>1</sup> Pemodelan Seperempat Kendaraan

Pemodelan sederhana untuk mengevaluasi ketidaknyamanan kendaraan akibat getaran biasanya dengan menggunakan dua derajat kebebasan atau *Degree of Freedom* (DOF), biasanya dikenal dengan model *quarter car*. Gangguan hanya terlihat pada gerakan suspensi vertikal. Deskripsi model sangat sederhana dan mungkin tidak secara akurat menggambarkan respons dinamis. Gaya yang diterapkan membuat kombinasi pegas dan kekakuan redaman menjadi elemen yang kaku. Gaya vertikal pada roda harus dikontrol oleh sambungan lengan pegas untuk menjaga roda berada pada posisi yang benar dengan referensi permukaan tanah.

Secara teori, roda dapat mengisolasi bodi kendaraan dari gaya yang dihasilkan oleh permukaan jalan, tetapi fleksibilitas dan redaman roda tidak cukup sesuai untuk memenuhi tujuan getaran dan kenyamanan jalan kecuali pada kecepatan yang sangat rendah dan pada permukaan jalan yang mulus [2]





**Gambar 2.7** Model Seperempat Kendaraan. [4]

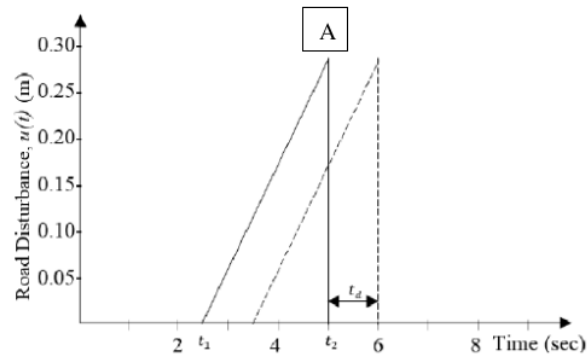
Dalam uraian berikut akan disimulasikan respon dinamik dari model setengah kendaraan. Menggunakan gaya yang diberikan melalui kekakuan, biasanya dapat ditulis dalam bentuk persamaan state space secara umum. Untuk harmonik input, bodi kendaraan dan penghubung roda dapat dikalkulasi. Parameter yang digunakan untuk perhitungan adalah kekakuan ban, kekakuan dari suspensi, peredam suspensi, massa dari roda/*unsprung mass*, *sprung mass*.

#### 2.4 Road Disturbance

*Road Disturbance* atau gangguan pada jalan merupakan satu hal yang sangat berkaitan dengan suspensi kendaraan. Gangguan pada jalan tersebut merupakan *input* terhadap sistem suspensi yang memberikan respon terhadap kendaraan. Banyak faktor yang dapat dikategorikan sebagai *road disturbance* seperti, [9]

- Hembusan angin dan aerodinamika kendaraan
- Getaran mesin dengan redaman yang buruk
- Manuver Kendaraan (Menikung atau berakselerasi)
- Kondisi Permukaan jalan (*road bump*, *pothole*, *repeating road bump*)

Faktor yang terakhir disebutkan diatas cenderung lebih mendistorsi stabilitas kendaraan daripada yang lain. Suspensi kendaraan akan mengalami respon ketika melewati *road bump* di jalan yang mulus, dan mengirimkan respon tersebut ke bagian mobil yang lainnya.



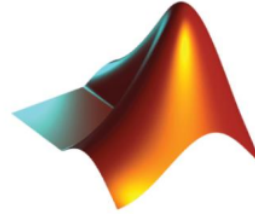
**Gambar 2.8** Profil *Road Bump* Pada Jalan [9]

Di ilustrasikan pada Gambar 2.7 dimana A merupakan Amplitudo dari *road bump* tersebut, dan terdapat  $t_d$  yang merupakan *time delay* antara roda depan dan roda belakang ketika mengenai *road bump* tersebut. Waktu yang dihasilkan dari *time delay* tersebut bergantung pada kecepatan kendaraan. Semakin cepat kendaraan melewati *road bump* maka *time delay* yang dihasilkan semakin cepat.

## 2.5 MATLAB

MATLAB atau yang adalah <sup>3</sup> program untuk menganalisis dan menghitung data numerik, dan MATLAB juga merupakan bahasa pemrograman matematika tingkat lanjut, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks. MATLAB yang merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory*, merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork Inc.* yang hadir

dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C++. [5]



**MATLAB**

Gambar 2.9 Ikon MATLAB

<sup>3</sup> Program aplikasi MATLAB pada awalnya merupakan suatu interface untuk koleksi rutin-rutin numerik dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan dengan menggunakan bahasa FORTRAN, namun sekarang ini MATLAB merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. Yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan dengan menggunakan bahasa C++ dan assemble, (utamanya untuk fungsi-fungsi dasar MATLAB). MATLAB telah berkembang menjadi sebuah environment pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi built-in untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga menyediakan berbagai fungsi untuk menampilkan data, baik dalam bentuk dua dimensi maupun dalam bentuk tiga dimensi.[5]

MATLAB juga bersifat *extensible*, karena pengguna dapat <sup>10</sup> menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada *library*, ketika fungsi bawaan yang sudah ada tidak dapat melakukan tugas tertentu. Kemampuan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit bila kita telah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C, PASCAL, atau FORTRAN. MATLAB (*Matrix Laboratory*) juga merupakan bahasa pemrograman canggih berbasis <sup>3</sup> matriks yang sering digunakan dalam teknik komputasi numerik untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan operasi matematika pada elemen, matriks, optimasi, aproksimasi, dan lain-lain.

Sehingga Matlab banyak digunakan pada:

1. Matematika dan Komputansi
2. Pengembangan dan Algoritma
3. Pemrograman Modelling, Simulasi, dan Pembuatan Prototipe,
4. Analisa data, Eksplorasi, dan Visualisasi,
5. Analisis Numerik dan Statistik,
6. Pengembangan aplikasi Teknik.

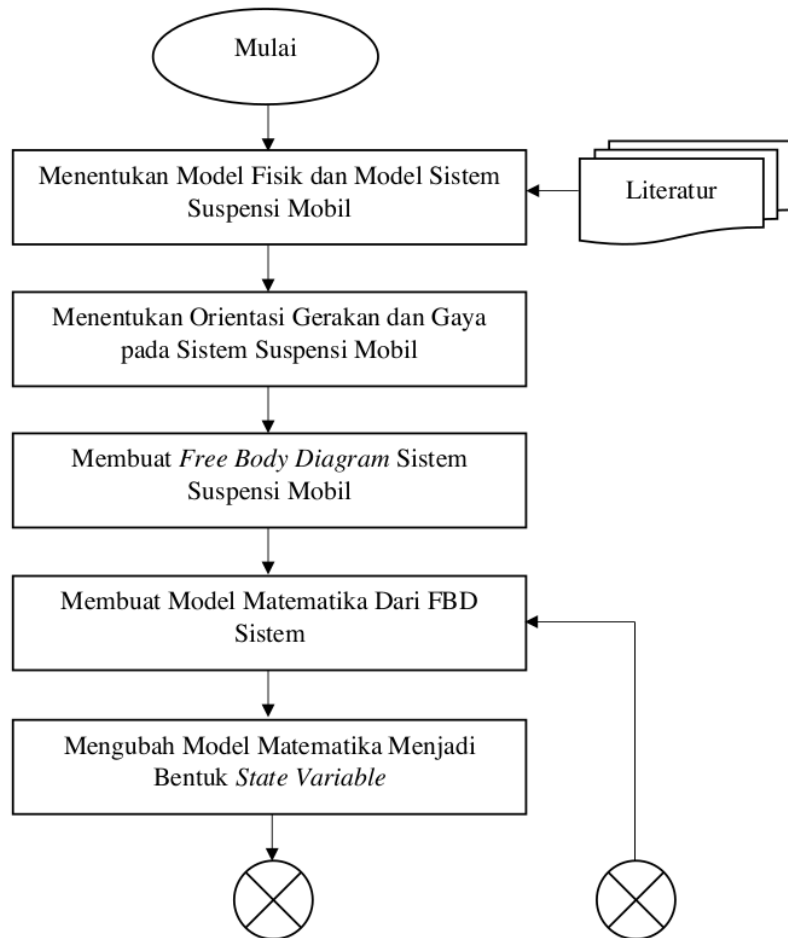
MATLAB juga merupakan bahasa pemrograman komputer berbasis *window* dengan orientasi dasarnya adalah matrik, namun pada program ini tidak menutup kemungkinan untuk pengerjaan permasalahan non matrik. Selain itu matlab juga merupakan bahasa pemrograman yang berbasis pada obyek (OOP), namun disisi lain karena matlab bukanlah type compiler, maka program yang dihasilkan pada matlab tidak dapat berdiri sendiri. Namun agar hasil program dapat berdiri sendiri maka harus dilakukan transfer pada bahasa pemrograman yang lain, misalnya C++. Pada matlab terdapat tiga *windows* yang digunakan dalam operasinya yaitu:

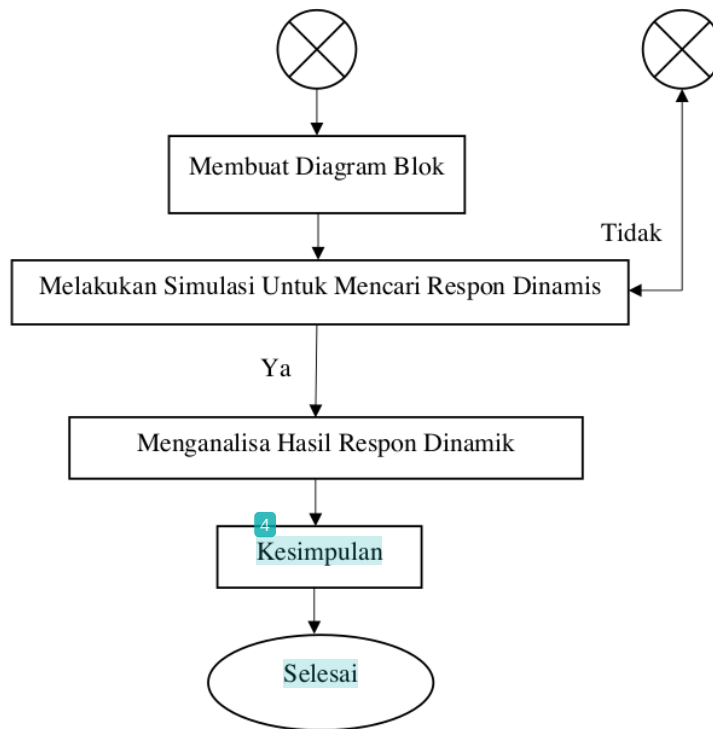
1. *Command Windows* (layer perintah)
2. *Figure Windows* (layer gambar)
3. *Note Pad* (sebagai editor program)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Pemodelan Sistem

Dalam melakukan pemodelan sistem suspensi mobil, akan dilakukan kajian dari beberapa literatur untuk mengetahui jenis-jenis suspensi mobil dan bagaimana model sistem dari suspensi mobil tersebut. Dari sistem suspensi yang didapatkan dapat ditentukan orientasi gaya dan gerakan dari suspensi tersebut. Setelah didapatkannya orientasi gaya dan gerakan dibuat *Free Body Diagram* dan menentukan model matematika yang nantinya akan diubah menjadi model *state variable*.

### 3.3 Simulasi dan Analisa

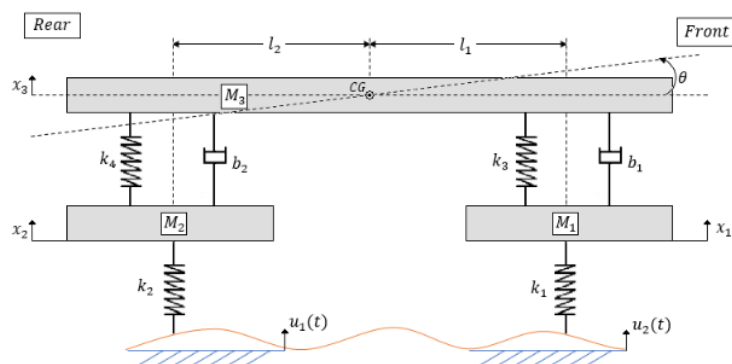
Untuk melakukan simulasi respon dinamik dilakukan pada aplikasi MATLAB yang nantinya akan dianalisa. Hal pertama yang dilakukan yakni studi literatur yang berhubungan dengan proses pelaksanaan tugas

akhir. Selanjutnya yaitu, Menentukan <sup>1</sup> parameter yang nantinya akan digunakan pada simulasi dan analisa, pada model sistem suspensi mobil yang digunakan.

## BAB IV DATA DAN ANALISA

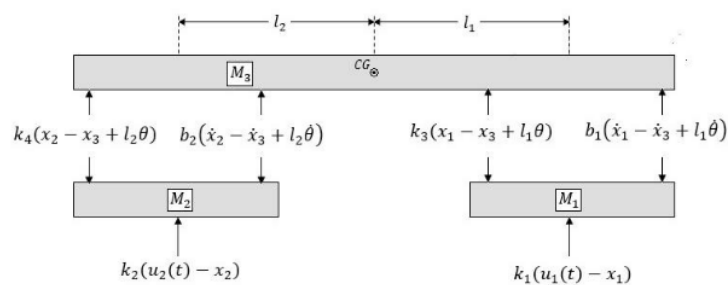
### 4.1 Pemodelan Sistem Setengah <sup>1</sup>Kendaraan Mobil

Setelah didapatkan model sistem mobil, selanjutnya dapat membuat persamaan gerak dari sistem kendaraan yang telah didapatkan. Seluruh massa dan komponen suspensi kendaraan dimodelkan pada Gambar 4.1 dibawah .



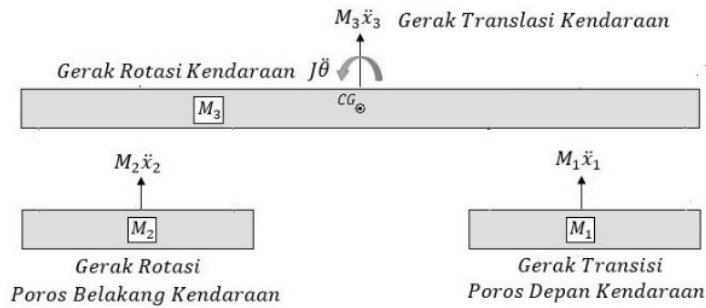
**Gambar 4.1** Model Sistem Suspensi Mobil Setengah Kendaraan

Dari model sistem didapatkan, dibawah ini ditunjukkan Diagram Benda Bebas (DBB) dari model sistem yang menggunakan hukum kedua Newton untuk mendapatkan model matematika yang menggunakan titik keseimbangan sebagai titik awal untuk perpindahan *Center of Gravity* (CG) dan sudut perpindahan badan kendaraan.



**Gambar 4.2** DBB Gaya Eksternal pada Model Sistem





**Gambar 4.3** Gaya dan Momen pada Model Sistem

Dari Diagram Benda Bebas (DBB) diatas didapatkan model matematika dan bentuk *State Space Variable* dari persamaan yang didapat dari Gaya Eksternal pada Model Sistem serta Gaya dan Momen dari *Front Axle*, *Rear Axle*, *Chasis Translation* dan *Rotational* adalah sebagai berikut:

$$\Sigma F = m . a \dots\dots\dots (1)$$

**Front Axle**

$$M_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + (k_1 + k_3)x_1 - b_1 \dot{x}_3 - k_3 x_3 - l_1 b_1 \dot{\theta} - l_1 k_3 \theta = k_1 u_1(t)$$

$$- b_1 \dot{x}_1 - (k_1 + k_3)x_1 + b_1 \dot{x}_3 + k_3 x_3 + l_1 b_1 \dot{\theta} + l_1 k_3 \theta + k_1 u_1(t) = M_1 \ddot{x}_1 (2)$$

Persamaan *State Space Variable* dari persamaan (2) yaitu:

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{M_1} [k_3(x_3 - x_1 - l_1 \theta) - b_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 - l_1 \dot{\theta}) - k_1(x_1 - u_1)]$$

**Rear Axle**

$$M_2 \ddot{x}_2 + b_2 \dot{x}_2 + (k_4 + k_2)x_2 - b_2 \dot{x}_3 - k_4 x_3 - l_2 b_2 \dot{\theta} - l_2 k_3 \theta = k_2 u_2(t)$$

$$- b_2 \dot{x}_2 - (k_4 + k_2)x_2 + b_2 \dot{x}_3 + k_4 x_3 + l_2 b_2 \dot{\theta} + l_2 k_3 \theta + k_2 u_2(t) = M_2 \ddot{x}_2 (3)$$

Persamaan *State Space Variable* dari persamaan (3) yaitu:

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{M_2} [k_4(x_3 - x_2 - l_2 \theta) - b_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 - l_2 \dot{\theta}) - k_2(x_2 - u_2)]$$

**Gerak Translasi Chasis**

$$M_3\ddot{x}_3 + (b_1 + b_2)\dot{x}_3 + (k_3 + k_4)x_2 - b_1\dot{x}_1 - k_3x_1 - b_2\dot{x}_2 - k_4x_2 - (l_2b_2 + l_1b_1)\ddot{\theta} - (l_2k_4 + l_1k_3)\theta = 0$$

$$-(b_1 + b_2)\dot{x}_3 - (k_3 + k_4)x_2 + b_1\dot{x}_1 + k_3x_1 + b_2\dot{x}_2 + k_4x_2 + (l_2b_2 + l_1b_1)\ddot{\theta} + (l_2k_4 + l_1k_3)\theta = M_3\ddot{x}_3 \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan *State Space Variable* dari persamaan (4) yaitu:

$$\ddot{x}_3 = \frac{1}{M_3} [-k_3(x_3 - x_1 - l_1\theta) - k_4(x_3 - x_2 - l_2\theta) - b_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 - l_1\dot{\theta}) - b_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 - l_2\dot{\theta})]$$

**Gerak Rotasi Chasis**

$$J\ddot{\theta} + (l_2^2b_2 + l_1^2b_1)\dot{\theta} + (l_1^2k_3 + l_2^2k_4)\theta - l_1b_1\dot{x}_1 - l_1k_1x_1 + l_2b_2\dot{x}_2 + l_2k_4x_2 - (l_2b_2 - l_1b_1)\dot{x}_3 - (l_2k_4 - l_1k_3)\dot{x}_3 = 0$$

$$-l_2^2b_2\dot{\theta} - l_1^2b_1\dot{\theta} - l_1^2k_3\theta - l_2^2k_4\theta + l_1b_1\dot{x}_1 + l_1k_1x_1 - l_2b_2\dot{x}_2 - l_2k_4x_2 + l_2b_2\dot{x}_3 - l_1b_1\dot{x}_3 + l_2k_4\dot{x}_3 - l_1k_3\dot{x}_3 = J\ddot{\theta} \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan *State Space Variable* dari persamaan (5) yaitu:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{J} [l_1k_3(x_3 - x_1 - l_1\theta) - l_2k_4(x_3 - x_2 + l_2\theta) + l_1b_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 - l_1\dot{\theta}) - l_2b_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 - l_2\dot{\theta})]$$

**4.2 Komponen Permodelan Sistem Suspensi Setengah Kendaraan**

Untuk melakukan simulasi pada sistem suspensi setengah kendaraan diperlukan parameter untuk model matematika sistem suspensi setengah kendaraan. Adapun parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Parameter pada Permodelan Sistem Suspensi Setengah Kendaraan

Parameter	Simbol	Nilai
<i>Constants</i>		
<i>Sprung mass of the vehicle Chassis</i>	$M_3$	505.1 Kg
<i>Moment of inertia of the vehicle</i>	$J$	651 Kg.m
<i>Unsprung mass of the front axle</i>	$M_1$	28.58 Kg

Unsprung mass of the rear axle	$M_2$	54.3 Kg
Stiffness of the front tire material	$k_1$	155900 N/M
Stiffness of the rear tire material	$k_2$	155900 N/M
Spring constant of the front axle	$k_3$	15000 N/M
Spring constant of the rear axle	$k_4$	15000 N/M
Damping coefficient of the front axle	$b_1$	1828 N.s/M
Damping coefficient of the rear axle	$b_2$	1828 N.s/M
Front body length from the CG	$l_1$	1.098 m
Rear body length from the CG	$l_2$	1.468 m
<b>State Variables</b>		
Vehicle vertical displacement (Chassis)	$x_3$	.....
Vehicle rotational movement	$\theta$	.....
Front axle vertical displacement	$x_1$	.....
Rear axle vertical displacement	$x_2$	.....
<b>Inputs</b>		
Road excitation at the front axle	$u(t)$	.....
Road excitation at the rear axle	$u(t + t_d)$	.....

Persamaan gerak dari model matematika diatas dapat disusun ulang kedalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$[M]\ddot{x} + [b]\dot{x} + [k]x = F(U)$$

dimana bentuk matriks:

$$[M] = \begin{bmatrix} M_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_3 \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} + \dots$$

$$[b] = \begin{bmatrix} b_1 + b_2 & l_2 b_2 - l_1 b_1 & -b_1 & -b_2 \\ l_2 b_2 - l_1 b_1 & b_1 l_1^2 + b_2 l_2^2 & l_1 b_1 & -l_2 b_2 \\ -b_1 & l_1 b_1 & b_1 & 0 \\ -b_2 & -l_2 b_2 & 0 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_3 \\ \dot{\theta} \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \dots$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_3 + k_4 & l_2 k_4 - l_1 k_3 & -k_3 & -k_4 \\ l_2 k_4 - l_1 k_3 & k_3 l_1^2 + k_4 l_2^2 & l_1 k_3 & -l_2 k_4 \\ -k_3 & l_1 k_3 & k_3 + k_1 & 0 \\ -k_4 & -l_2 k_4 & 0 & k_4 + k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ \theta \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \dots$$

$$[F(u)] \dots = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ k_1 & 0 \\ 0 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

### State Space Model

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

dimana:

$$x = [x_1 \quad \dot{x}_1 \quad x_2 \quad \dot{x}_2 \quad x_3 \quad \dot{x}_3 \quad \theta \quad \dot{\theta}]^T, U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

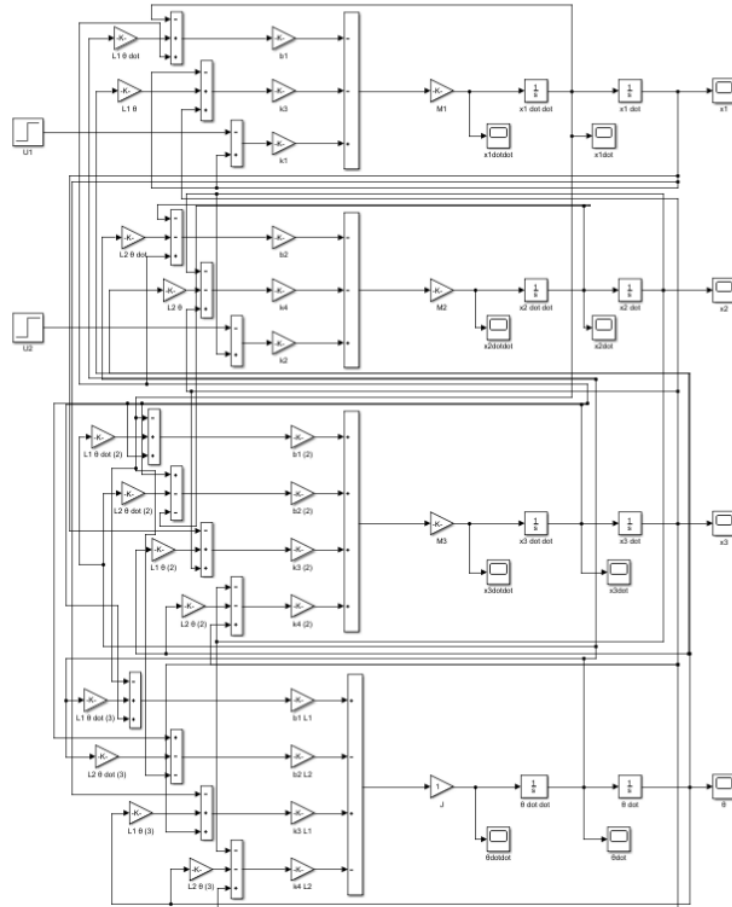
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{(k_1+k_3)}{M_1} & -\frac{b_1}{M_1} & 0 & 0 & \frac{k_3}{M_1} & \frac{b_1}{M_1} & \frac{l_1 k_3}{M_1} & \frac{l_1 b_1}{M_1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{(k_4+k_2)}{M_2} & -\frac{b_2}{M_2} & \frac{k_4}{M_2} & \frac{b_2}{M_2} & -\frac{l_2 k_4}{M_2} & -\frac{l_2 b_2}{M_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{k_3}{M_3} & \frac{b_1}{M_3} & \frac{k_4}{M_3} & \frac{b_2}{M_3} & -\frac{(k_3+k_4)}{M_3} & -\frac{(b_1+b_2)}{M_3} & \frac{(l_2 k_4 - l_1 k_3)}{M_3} & \frac{(l_2 b_2 - l_1 b_1)}{M_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{l_1 k_3}{J} & \frac{l_1 b_1}{J} & -\frac{l_2 k_4}{J} & -\frac{l_2 b_2}{J} & \frac{(l_2 k_4 - l_1 k_3)}{J} & \frac{(l_2 b_2 - l_1 b_1)}{J} & -\frac{(l_1^2 k_3 + l_1^2 k_4)}{J} & \frac{(l_2^2 b_2 - l_2^2 b_1)}{J} \end{bmatrix} x$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{k_1}{M_1} & \frac{0}{M_1} \\ 0 & 0 \\ \frac{0}{M_2} & \frac{k_2}{M_2} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} U$$

### 4.3 Diagram Blok MATLAB

Gambar dibawah ini merupakan bentuk model Diagram Blok dari MATLAB yang dikembangkan dari model matematika yang sudah didapat

dari diagram benda bebas Model suspensi setengah kendaraan. Adapun model Diagram Blok yang didapat adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.4** Model Diagram Blok MATLAB

#### 4.4 Road Disturbance Input

*Road Disturbance* atau gangguan pada jalan merupakan gangguan eksternal dari jalan yang menjadi input ( $u(t)$ ) pada suspensi kendaraan. Gangguan jalan dialami pada roda depan dan roda belakang terjadi dengan adanya waktu tunda (*time delay*). Adapun perhitungan *time delay* adalah sebagai berikut:

$$\text{Time Delay } (t_d) = \frac{l_1 + l_2}{v}$$

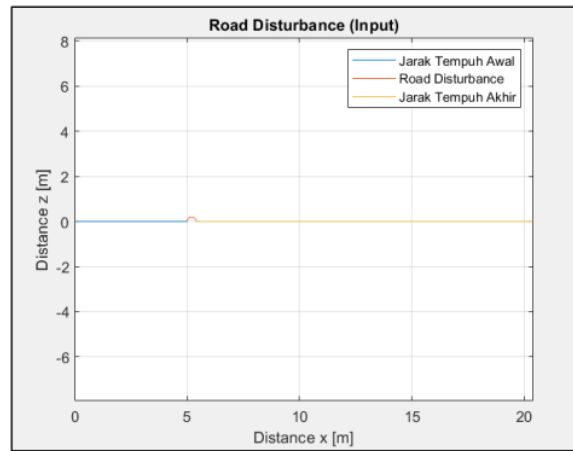
Dimana:

$l_1$  = Jarak dari roda depan ke CG (m)

$l_2$  = Jarak dari roda belakang ke CG (m)

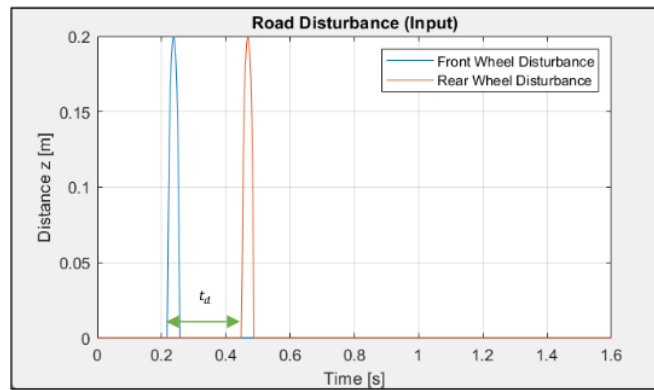
$v$  = kecepatan kendaraan (m/s)

Adapun input *road disturbance* adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.5** Ilustrasi *Road Disturbance* 0.2m

dari ilustrasi diatas, respon antara roda depan dan belakang didapatkan sebagai berikut:



**Gambar 4.6** Input *Road Disturbance* 0.2 m

#### 4.5 Simulasi MATLAB

Simulasi dilakukan di MATLAB dengan total waktu simulasi 20 detik. Kendaraan melaju dengan kecepatan tertentu melewati *road bump* dengan ketinggian 0.2 m dengan variasi kecepatan 20 km/h, 30 km/h, dan 40 km/h. Berbagai komponen perlu dihitung untuk setiap kecepatan. Saat kecepatan bertambah, waktu yang dibutuhkan untuk menempuh *road bump* berkurang sehingga waktu tunda antara bagian depan mobil dan bagian belakang mobil harus dihitung.

**Tabel 4.2** Kecepatan Yang Digunakan dan *Time Delay*

<i>Speed</i> (km/h)	<i>Speed</i> (m/s)	<i>Time delay</i> (s)
20	5.667	0.458
30	8.333	0.309
40	11.111	0.231

Simulasi pada MATLAB dilakukan dengan menggunakan 0.1 *playback speed* sehingga waktu simulasi menjadi 0 - 2.0 detik. Hal ini dilakukan karena *input* data yang ada harus merupakan matriks dengan nilai numerik tanpa NaN (*Not a Number*) atau Inf (*Infinity*).

Respon sistem suspensi setengah kendaraan dapat dianalisa melalui *Settling Time* dan *Maximum Overshoot* yang merupakan parameter dalam membangun efektivitas dan ketangguhan model suspensi.

#### 4.6. MATLAB M-Files Input

MATLAB memiliki fitur bernama M-Files yang dapat mempermudah penggunaan operasionalnya. *M-Files* adalah file yang berisi pernyataan matlab, yang dapat disimpan dan dijalankan kembali dengan satu perintah MATLAB. Adapun input yang digunakan pada simulasi kali ini adalah sebagai berikut:

```

%% Half car model
% Simulation and animation of a half car model.
%%
%%

clear ; close all ; clc

%% Parameters

% Vehicle
m = 505.1; % Half of body mass [kg]
m1 = 28.58; % Mass of a front unsprung mass [kg]
m2 = 54.3; % Mass of a front unsprung mass [kg]
J = 651; % Half of body moment of inertia [kg.m2]
l1 = 1.098; % Distance of CG from front axle [m]
l2 = 1.468; % Distance of CG from rear axle [m]
k3 = 15000; % Spring constant suspension front [N/m]
k4 = 15000; % Spring constant suspension rear [N/m]
k1 = 155900; % Spring constant tire front [N/m]
k2 = 155900; % Spring constant tire rear [N/m]
b1 = 1828; % Damping constant suspension front [N.s/m]
b2 = 1828; % Damping constant suspension rear [N.s/m]

% Video
playback_speed = 0.1; % Speed of playback
tF = 2; % Final time [s]
fR = 30/playback_speed; % Frame rate [fps]
dt = 1/fR; % Time resolution [s]
time = linspace(0, tF, tF*fR); % Time [s]

%% Road
% Stretch 1
x_r_1_total = 5; % Distance of the first stretch [m]
dx_r_1 = 0.1; % resolution [m]
x_r_1 = 0:dx_r_1:x_r_1_total;
z_r_1 = zeros(1, length(x_r_1));

% Stretch 2
R_r = 0.2; % Radius [m]
th_r = 0:0.01:pi;
x_r_2 = -R_r*cos(th_r) + x_r_1_total + R_r;
z_r_2 = R_r*sin(th_r);

% Stretch 3
x_r_3_total = 15; % Distance of the last stretch [m]
dx_r_2 = 0.1; % resolution [m]
x_r_3 =
x_r_1_total + 2*R_r : dx_r_2 : x_r_1_total + 2*R_r + x_r_3_total;
z_r_3 = zeros(1, length(x_r_3));

% Concatenating

```



```

X_r = [x_r_1 x_r_2(2:end) x_r_3(2:end)];
Z_r = [z_r_1 z_r_2(2:end) z_r_3(2:end)];

figure
hold on ; box on ; grid on ; axis equal
plot(x_r_1,z_r_1)
plot(x_r_2,z_r_2)
plot(x_r_3,z_r_3)
xlabel('Distance x [m]')
ylabel('Distance z [m]')
legend('Jarak Tempuh Awal','Road Disturbance','Jarak Tempuh Akhir')
title('Road Disturbance (Input)')

%% Simulation

% States
% x3 - Body vertical motion coordinate
% theta - Body pitch motion coordinate
% u1 - Front wheel vertical motion coordinate
% u2 - Rear wheel vertical motion coordinate

%  $M \ddot{x} + C \dot{x} + K x = F u$ 
M = [ m 0 0 0 ;
      0 J 0 0 ;
      0 0 m1 0 ;
      0 0 0 m2 ];

b = [ b1+b2 12*b2-11*b1 -b1 -b2 ;
      12*b2-11*b2 b1*11^2+b2*12^2 11*b1 -12*b2 ;
      -b1 11*b1 b1 0 ;
      -b2 12*b2 0 b2 ];

K = [ k3+k4 12*k4-11*k3 -k3 -k4 ;
      12*k4-11*k3 k3*11^2+k4*12^2 11*k3 -12*k4 ;
      -k3 11*k3 k3+k1 0 ;
      -k4 -12*k4 0 k4+k2 ];

F = [ 0 0 ;
      0 0 ;
      k1 0 ;
      0 k2 ];

% State space model
A = [ zeros(4,4) eye(4,4) ;
      -M\K -M\b ];
B = [ zeros(4,2) ;
      M\F ];
C = [ 1 0 0 0 0 0 0 ;
      0 1 0 0 0 0 0 ;
      0 0 1 0 0 0 0 ;
      0 0 0 1 0 0 0 ;
      0 0 0 0 0 0 0 ;
      0 0 0 0 0 0 0 ];

```

```

        0 0 0 0 0 0 0 0 ;
        0 0 0 0 0 0 0 0 ];
7 D = zeros(8,2);

sys = ss(A,B,C,D);

% Input
vel = 5.667 ; % Longitudinal speed of the car [m/s]
lon_pos_1 = vel*time + l1+l2;
% Longitudinal position of the front axle [m]
lon_pos_2 = vel*time;
% Longitudinal position of the rear axle [m]
%
u1 = interp1(X_r,Z_r,lon_pos_1);
u2 = interp1(X_r,Z_r,lon_pos_2);

figure
hold on ; grid on ; box on
plot(time,u1)
plot(time,u2)
xlabel('Time [s]')
ylabel('Distance z [m]')
title('Road Disturbance (Input)')
legend('Front Wheel Disturbance','Rear Wheel Disturbance')

2 u_vet = [u1' u2'];

[y,time,x] = lsim(sys,u_vet,time);

x3 = y(:,1); % Body vertical motion coordinate [m]
theta = y(:,2); % Body pitch motion coordinate [rad]
u1 = y(:,3); % Frontwheel vertical motion coordinate [m]
u2 = y(:,4); % Rearwheel vertical motion coordinate [m]

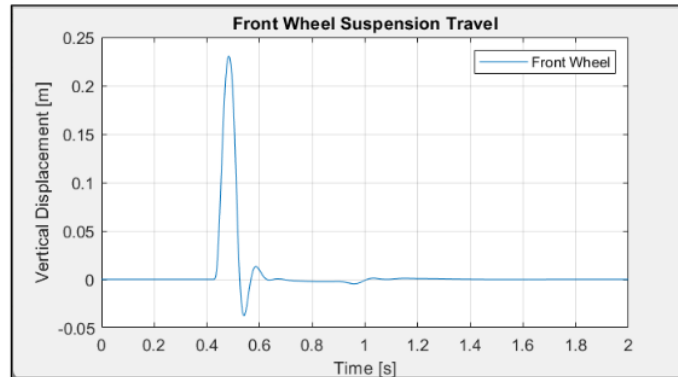
figure
hold on ; grid on ; box on
plot(time,x3)
plot(time,u1)
plot(time,u2)
plot(time,theta)
xlabel('Time [s]')
ylabel('Vertical Displacement [m]')
legend('Vehicle Chassis','Front Wheel','Rear Wheel','Chassis
(rotational)')

```

Dengan mensimulasikan input diatas dapat menghasilkan respon seperti berikut:

1. Respon Pada  $V = 20 \text{ km/h}$

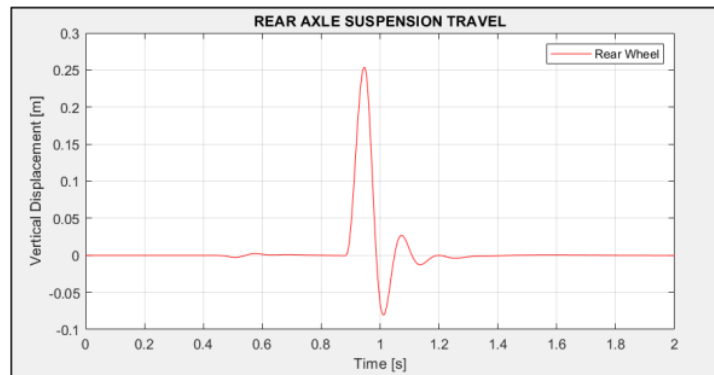
a. *Front Wheel Vertical Displacement*



**Gambar 4.7** *Front Wheel Vertical Displacement at 20 km/h*

Dari hasil respon dapat dilihat bahwa sistem suspensi pada bagian roda depan kendaraan mengalami titik maksimum (*maximum overshoot*) di  $0.231m$ . Suspensi mengalami respon pada  $0.427s$  dan mereda pada  $0.992s$ , suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama  $0.568s$ .

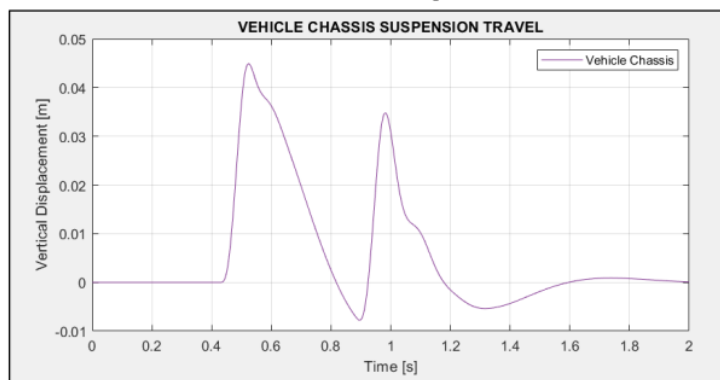
b. *Rear Wheel Vertical Displacement*



**Gambar 4.8** *Rear Wheel Vertical Displacement at 20 km/h*

Hasil respon pada bagian roda belakang kendaraan mengalami *maximum overshoot* di  $0.253m$ . Suspensi kendaraan mengalami respon pada  $0.884s$  dan mereda pada  $1.325s$ , mengalami respon  $0,45s$  lebih lama dari respon suspensi pada bagian roda depan kendaraan dikarenakan waktu tunda (*time delay*) yang terjadi pada bagian roda depan dan belakang kendaraan. Suspensi mengalami *settling time* selama  $0,521s$ .

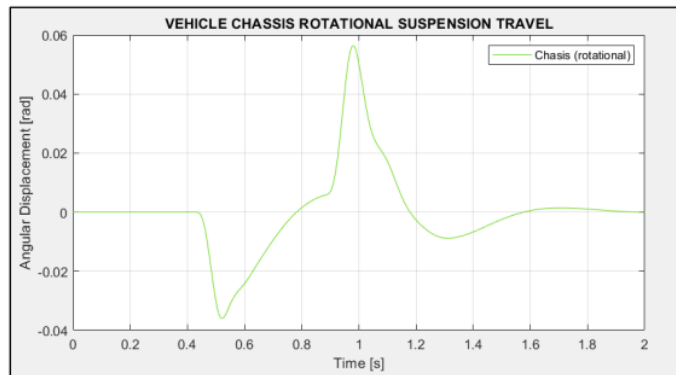
c. *Vehicle Chassis Translational Displacement*



**Gambar 4.9** *Chassis Translational Displacement at 20 km/h*

Pada *Chassis* Kendaraan, respon yang didapatkan dari simulasi sistem suspensi didapatkan *overshoot* yang diakibatkan oleh roda depan dan roda belakang kendaraan. Respon pertama pada  $0.44s$ , dengan *overshoot* setinggi  $0.044m$ . Selanjutnya *overshoot* terjadi pada  $0.89s$  dengan *overshoot* setinggi  $0.034m$ . Pada respon pertama dan respon kedua didapatkan *time delay* selama  $0.45s$  sesuai dengan yang sudah didapatkan pada Tabel 4.2 diatas. Antara respon awal dengan posisi ketika keadaan *chassis* sudah stabil didapatkan *settling time* selama  $1.53s$ .

d. *Vehicle Chassis (Rotational) Displacement*

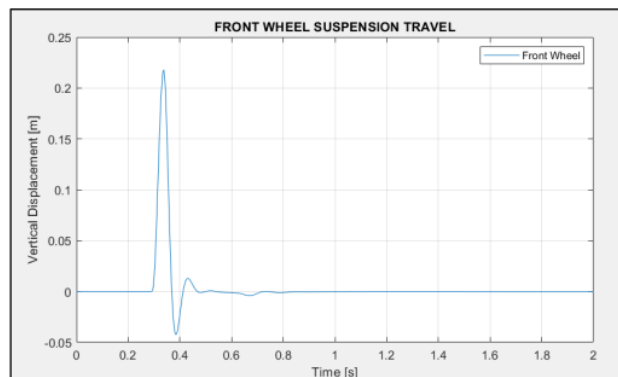


**Gambar 4.10** *Chassis (Rotational) Displacement at 20 km/h*

Respon pada *Rotational Displacement* dari *Chassis* kendaraan menunjukkan adanya *undershoot* yang menunjukkan keadaan ketika terjadinya respon dari *road disturbance* pada *chassis*. *Undershoot* pertama terjadi sebesar  $-0.03m$ . *Settling time chassis* didapatkan selama  $1.5s$ .

2. Respon Pada  $V = 30 \text{ km/h}$

a. *Front Wheel Vertical Displacement*

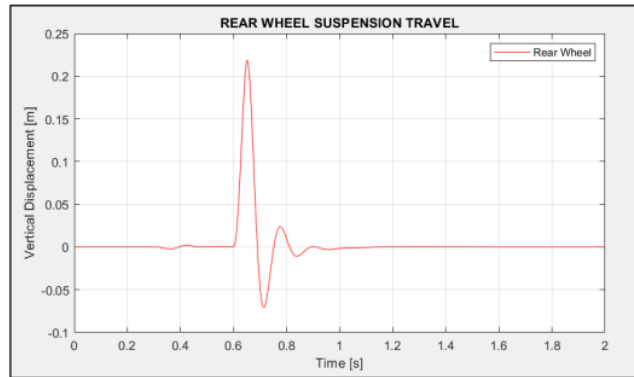


**Gambar 4.11** *Front Wheel Vertical Displacement at 30km/h*

Dari hasil respon pada bagian roda depan kendaraan mengalami titik maksimum (*maximum overshoot*) di  $0.218m$ . Suspensi mengalami respon pada  $0.29s$  dan mereda

pada 0.838s, suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama 0.548s.

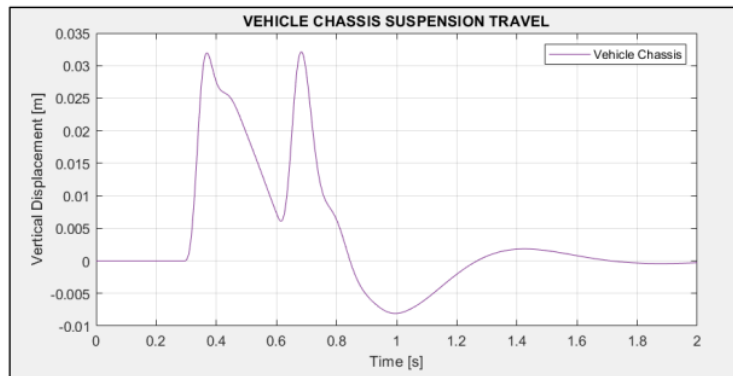
b. *Rear Wheel Vertical Displacement*



**Gambar 4.12** *Rear Wheel Vertical Displacement at 30km/h*

Dari hasil respon pada bagian roda belakang kendaraan mengalami titik maksimum (*maximum overshoot*) di 0.219m. Suspensi mengalami respon pada 0.601s dan mereda pada 1.115s, suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama 0.514s.

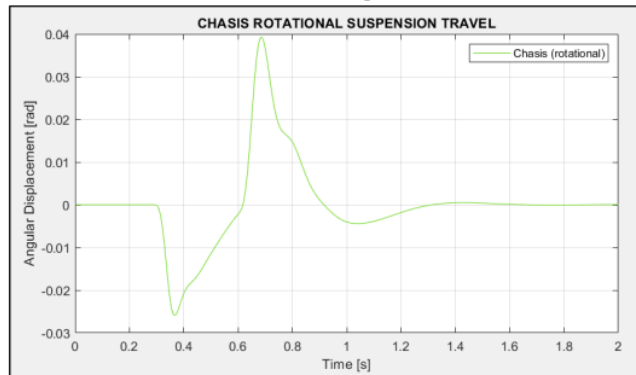
c. *Vehicle Chassis Translational Displacement*



**Gambar 4.13** *Chassis Translational Displacement at 30km/h*

Pada *Chassis* Kendaraan di kecepatan  $30\text{km/h}$ , respon yang didapatkan *overshoot* yang diakibatkan oleh roda depan dan roda belakang kendaraan. Respon pertama pada  $0.3\text{s}$ , dengan *overshoot* setinggi  $0.032\text{m}$ . Selanjutnya *overshoot* terjadi pada  $0.61\text{s}$  dengan *overshoot* setinggi  $0.032\text{m}$ . Pada respon pertama dan respon kedua didapatkan *time delay* selama  $0.31\text{s}$ . sesuai dengan yang sudah didapatkan pada Tabel 4.2 diatas. Antara respon awal dengan posisi ketika keadaan *chassis* sudah stabil didapatkan *settling time* selama  $1.38\text{s}$ .

d. *Vehicle Chassis (Rotational) Displacement*

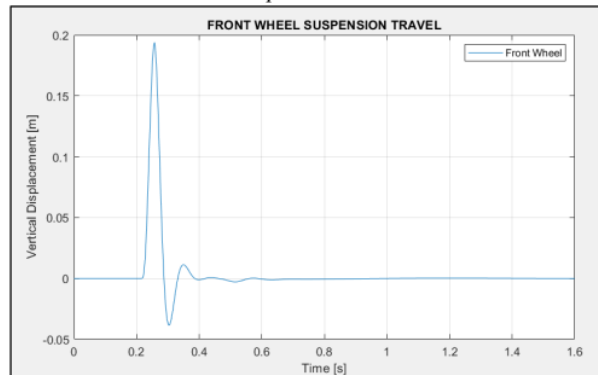


**Gambar 4.14** *Chassis (Rotational) Displacement at 30km/h*

Respon pada *Chassis (Rotational)* didapatkan *undershoot* pertama terjadi sebesar  $-0.025\text{m}$ . *Settling time* *chassis* didapatkan selama  $1.31\text{s}$

3. Respon Pada  $V = 40 \text{ km/h}$

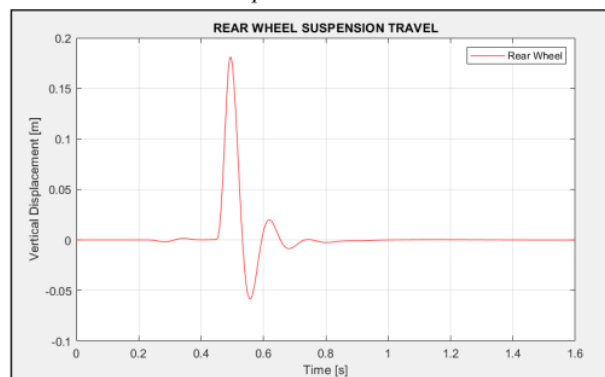
a. *Front Wheel Vertical Displacement*



**Gambar 4.15** *Front Wheel Vertical Displacement at 40km/h*

Dari hasil respon pada bagian roda depan kendaraan mengalami titik maksimum (*maximum overshoot*) di  $0.193\text{m}$ . Suspensi mengalami respon pada  $0.22\text{s}$  dan mereda pada  $0.71\text{s}$ , suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama  $0.49\text{s}$ .

b. *Rear Wheel Vertical Displacement*



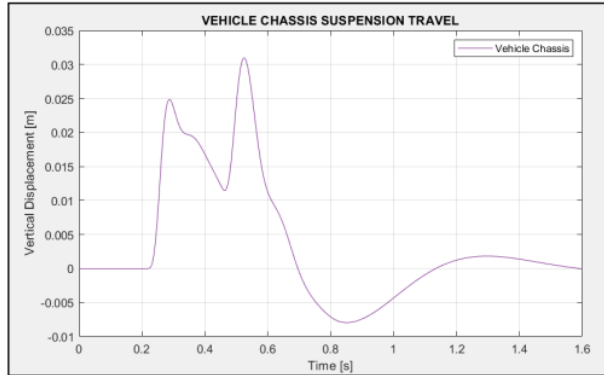
**Gambar 4.16** *Rear Wheel Vertical Displacement at 40km/h*

Dari hasil respon pada bagian roda belakang kendaraan mengalami titik maksimum (*maximum overshoot*) di  $0.18\text{m}$ . Suspensi mengalami respon pada



0.45s dan mereda pada 0.89s, suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama 0.44s.

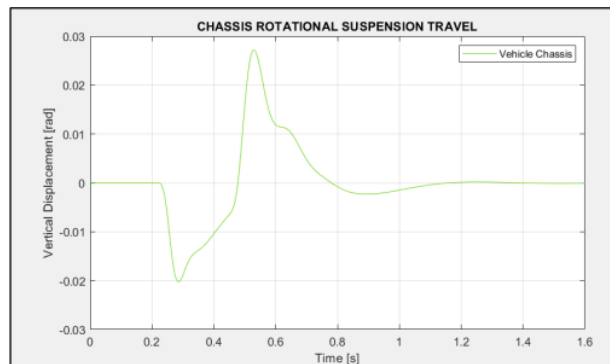
c. *Vehicle Chassis Translational Displacement*



**Gambar 4.17** *Chassis Translational Displacement at 40km/h*

Pada *Chassis* Kendaraan di kecepatan 40km/h, respon yang didapatkan *overshoot* yang diakibatkan oleh roda depan dan roda belakang kendaraan. Respon pertama pada 0.22s, dengan *overshoot* setinggi 0.0248m. Selanjutnya *overshoot* terjadi pada 0.46s dengan *overshoot* setinggi 0.03m. Pada respon pertama dan respon kedua didapatkan *time delay* selama 0.241s sesuai dengan yang sudah didapatkan pada Tabel 4.2 diatas. Antara respon awal dengan posisi ketika keadaan *chassis* sudah stabil didapatkan *settling time* selama 1.34s.

d. *Vehicle Chassis (Rotational) Displacement*



**Gambar 4.18** *Chassis (Rotational) Displacement at 40km/h*

Respon pada *Chassis (Rotational)* didapatkan *undershoot* pertama terjadi sebesar  $-0.02m$ . *Settling time* chassis didapatkan selama  $1.18s$ .

**4.7 Analisa Data**

Dari hasil simulasi yang sudah didapatkan dari 3 jenis kecepatan terhadap *road disturbance* setinggi  $0.2m$ , dihasilkan data data sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Data Respon Pada Sistem Suspensi Kendaraan

Displacement	Max. Overshoot (m)			Settling Time (s)		
	20km/h	30km/h	40km/h	20km/h	30km/h	40km/h
Front Wheel	0.231m	0.218m	0.193m	0.568s	0.548s	0.49s
Rear Wheel	0.253m	0.219m	0.18m	0.521s	0.514s	0.44s
Chassis	0.044m	0.032m	0.0248m	1.53s	1.38s	1.34s
Chassis (rot)	-0.03m	-0.025m	-0.02m	1.5s	1.31s	1.18s

Dari simulasi yang dilakukan di MATLAB pada model matematika Sistem Suspensi Setengah Kendaraan. Tujuan dilakukannya simulasi ini adalah untuk memperhitungkan parameter kendaraan yang bervariasi yang

digunakan dalam analisa dinamis kendaraan. Parameternya seperti massa, kekakuan pegas, nilai damper, dan lain lain.

Dapat dilihat dari *settling time* kendaraan pada ketiga kecepatan, dimana *settling time* ketika kecepatan kendaraan 40km/h, waktu *settling time* nya semakin cepat. Karena jika ban kendaraan gagal untuk menetap lebih cepat dapat mengakibatkan kendaraan tergelincir serta pengereman yang tidak efektif.

Sementara pada *Overshoot*, perpindahan kendaraan juga mengalami penurunan nilai ketika kecepatannya 40km/h. Kendaraan cenderung kembali ke posisi tetap lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan yang lebih rendah.

Parameter yang digunakan cenderung diaplikasikan ke mobil *sport* yang biasanya memiliki suspensi yang kaku dan kasar untuk meningkatkan ketahanan terhadap jalan, namun kenyamanan penumpang menjadi tidak optimal.

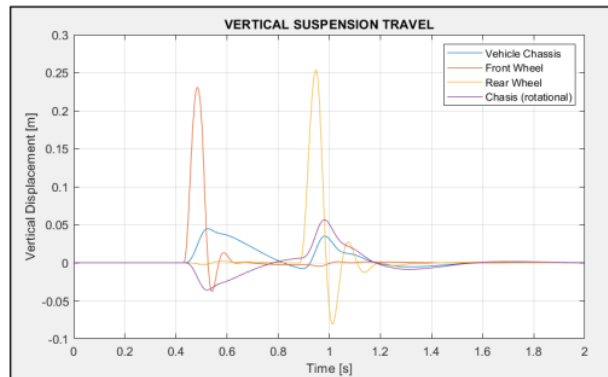
## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

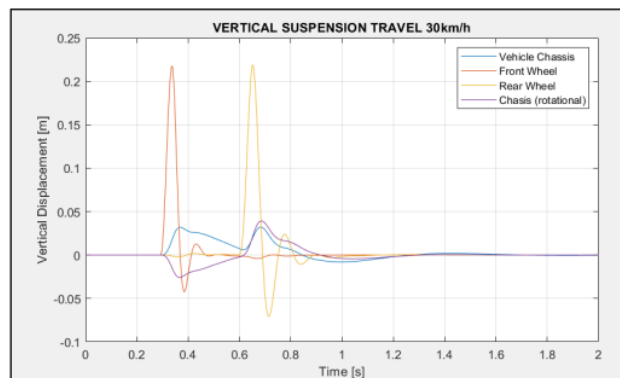
#### 5.1 Kesimpulan

Dari simulasi yang sudah dilakukan dan analisa hasil simulasi pada sistem suspensi setengah kendaraan roda empat, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

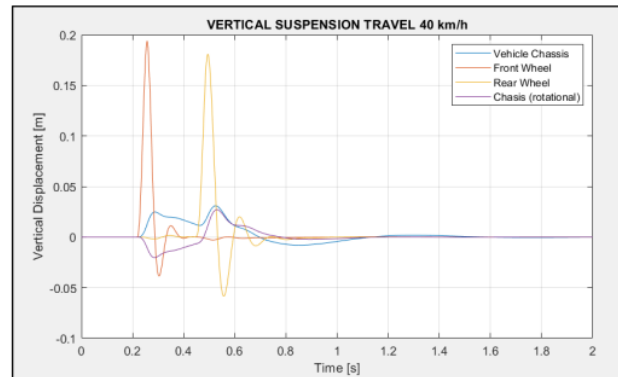
1. Pada simulasi, dilakukan dengan menggunakan 3 jenis kecepatan pada kendaraan yaitu  $20\text{km/h}$ ,  $30\text{km/h}$ , dan  $40\text{km/h}$  yang disimulasikan ke *Road Bump* setinggi  $0.2\text{m}$ .



Gambar 5.1 Respon Pada Kecepatan  $20\text{km/h}$



Gambar 5.2 Respon Pada Kecepatan  $30\text{km/h}$



**Gambar 5.3** Respon Pada Kecepatan 40km/h

2. Respon yang didapat dari simulasi berupa perpindahan (*displacement*) yang dialami pada sistem suspensi pada setiap jenis kecepatan yang disimulasikan.
3. Dari data yang didapatkan, *Maximum Overshoot* pada tiap titik kendaraan cenderung kembali ke posisi stabil lebih cepat ketika kecepatan kendaraan lebih tinggi.
4. Waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk kembali ke titik semula (*settling time*) juga semakin cepat ketika kecepatan kendaraan semakin tinggi ketika berinteraksi dengan *Road Disturbance*.
5. Dari hasil analisa yang didapatkan, parameter yang digunakan pada simulasi sistem suspensi setengah kendaraan ini cenderung diaplikasikan ke mobil *sport* yang biasanya memiliki suspensi yang kaku dan kasar untuk meningkatkan ketahanan terhadap jalan, namun kenyamanan penumpang menjadi tidak optimal.

## 5.2 <sup>1</sup>

### Saran

Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan, saran untuk pengembangan dalam pengerjaan simulasi selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk simulasi selanjutnya untuk melakukan pengujian pada sistem suspensi yang menggunakan *Controller* agar dapat meredam perpindahan yang terjadi pada sistem suspensi kendaraan yang disimulasikan.
2. Dapat melakukan simulasi melalui *Simulink* untuk memastikan hasil simulasi yang didapat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ekoanindiyo, F. A., (2011). *Pemodelan Sistem Antrian Dengan Menggunakan Simulasi*. Vol 5, No. 1, Hal, 72-85
- [2] Aisyiyah, N., *Pemodelan Sistem Suspensi Kendaraan Dengan Menggunakan Software Solidwork* in Teknik Mesin. 2016, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [3] Rahmawati, I., *Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Perubahan Parameter Sistem Suspensi Hydro-Pneumatic Terhadap Gaya Redam Dan Gaya Pegas Serta Respon Dinamis Mobil* in Teknik Mesin. 2016, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [4] Raju, A. B., and Venkatachalam, R., 2013, *Analysis of Vibration of Automobile Suspension System Using Full Car Model*. International Journal of Scientific & Engineering.
- [5] Vius, G. L. S. S., *Desain Pengendali Model Reference Adaptive Control (Mrac) - Pid Untuk Mengendalikan Sistem Suspensi Seperempat Kendaraan* in Teknik Elektro. 2019, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [6] Nugroho, P. W., dan Hadi, S., (2021). *Perancangan Alat Uji Getaran Suspensi Kendaraan Satu Roda*. In *Seminar Nasional Teknologi Terapan*. Vol 7.
- [7] Hakim, A. A., *Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Perubahan Parameter Variable Orifice Sistem Suspensi Hidrolik Terhadap Gaya Redam Yang Dihasilkan Dan Respon Dinamis Penumpang Pada Sepeda Motor Honda Beat 2009* in Teknik Mesin. 2017, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [8] Listijorini, E., Susatio, Y., et al. *Design of half-car active suspension system for passenger riding comfort*. In *Regional Conference on Acoustics and Vibration 2017 (RECAV 2017)*.
- [9] Kunya, B. A., et al. *Half Car Suspension System Integrated with PID Controller*. In *Proceedings 29th European Conference on Modelling and Simulation ©ECMS Valeri M. Mladenov, Petia Georgieva*

- [10] Gandhi, P., et al. *Performance Analysis of Half Car Suspension Model with 4 DOF using PID, LQR, FUZZY and ANFIS Controllers*. In *7th International Conference on Advances in Computing & Communications, (ICACC) 2017*
- [11] Shelke, G, D., *Analysis and Validation of Linear Half Car Passive Suspension System with Different Road Profiles*. In *7th National conference on Recent Developments In Mechanical Engineering (RDME) 2018*.



# PEMODELAN DAN ANALISA DINAMIS SUSPENSI KENDARAAN BERBASIS STATE SPACE VARIABLE

## ORIGINALITY REPORT

29%

SIMILARITY INDEX

24%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

17%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	13%
2	Submitted to American University of Beirut Student Paper	5%
3	<a href="https://repository.uin-suska.ac.id">repository.uin-suska.ac.id</a> Internet Source	4%
4	<a href="https://eprints.untirta.ac.id">eprints.untirta.ac.id</a> Internet Source	1%
5	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Internet Source	1%
6	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet Source	1%
7	Submitted to University of Huddersfield Student Paper	1%
8	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	1%
9	Submitted to Bilkent University Student Paper	1%

10

carano.pustaka.unand.ac.id

Internet Source

1 %

---

11

etheses.uin-malang.ac.id

Internet Source

1 %

---

12

repositori.uma.ac.id

Internet Source

1 %

---

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On



PERPUSTAKAAN JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA



Jl. Jendral Soedirman KM 03 Cilegon. Email : perpus\_mesin@untirta.ac.id

**SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT**

Nomor : 01.36/Perpus-JTM/VII/2023

Operator Turnitin Jurusan Teknik Mesin Untirta Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa menerangkan bahwa Mahasiswa/i dengan identitas berikut:

Nama : Rafi Rizqi Ananda  
NPM : 3331180076  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : PEMODELAN DAN ANALISA DINAMIS SUSPENSI KENDARAAN  
BERBASIS STATE SPACE VARIABLE

Menyatakan bahwa naskah Skripsi tersebut telah diperiksa *Index Similarity* dengan hasil sebesar **29%**. Sesuai dengan pedoman yang berlaku *Index Similarity*  $\leq 30\%$ . Surat keterangan bebas plagiasi ini ditujukan sebagai syarat administrasi Tugas Akhir (TA).

Cilegon, 5 Juli 2023

**Diketahui**

Koordinator Asisten Perpustakaan



**Muhamad Akbar Nugraha**  
NPM. 3331200040

**Disetujui**

Petugas Perpustakaan

**Fachrizal Ubaydillah**  
NPM. 3331200005

Note\*

Operator Turnitin : Fachrizal Ubaydillah