

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

Skripsi

**Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Derajat Sarjana 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

TUGAS AKHIR

PEMODELAN DAN ANALISIS DINAMIS SUSPENSI KENDARAAN BERBASIS STATE SPACE VARIABLE

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Rafi Rizqi Ananda

3331180076

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 26 Oktober 2023

Pembimbing Utama




Emy Listijorini, ST., MT.
NIP. 197011022005012001

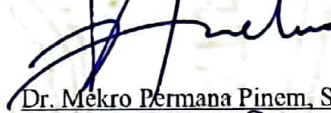


Sidik Susilo, ST., M.Sc.
NIP. 198806052019031006

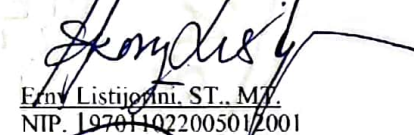
Anggota Dewan Penguji



Haryadi, ST., MT.
NIP. 198112042008121004



Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.
NIP. 198902262015041002



Emy Listijorini, ST., MT.
NIP. 197011022005012001



Sidik Susilo, ST., M.Sc.
NIP. 198806052019031006

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik



Janggal, 30 November 2023
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



Dhimas Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama: Rafi Rizqi Ananda

NPM : 3331180076

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

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, 26 Oktober 2023



Rafi Rizqi Ananda
NPM.3331180076

ABSTRAK

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

Disusun oleh:

Rafi Rizqi Ananda

NIM.3331180076

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. 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 0.2 m dengan kecepatan yang bervariasi yaitu 20 km/h, 30 km/jam, dan 40 km/jam memperlihatkan bahwa terjadinya *Overshoot* pada *Chassis* mobil berturut-turut sebesar 0.032 m, 0.022 m, dan 0,017 m dimana *Settling time* dari *Chassis* mobil tersebut terjadi berturut-turut selama 1.59 detik, 1.33 detik. dan 1.28 detik. 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.

Kata Kunci: Permodelan, *Road Bump*, Suspensi

ABSTRACT

MODELING AND DYNAMIC ANALYSIS OF VEHICLE SUSPENSION BASED ON STATE SPACE VARIABLE

Prepared by:

Rafi Rizqi Ananda

NIM.3331180076

The suspension system is a crucial mechanical component in a vehicle, particularly in cars, situated between the vehicle body and the wheels. The suspension system functions to dampen vibrations and prevent their transmission to the vehicle body. The objective of this research is to obtain a system model for a vehicle suspension, which will be subsequently simulated. The simulation results of the developed system model can then be analyzed using MATLAB. After conducting the simulation, the dynamic response generated from the simulation is analyzed. The simulation results for a road bump with a height of 0.2 m and varying speeds of 20 km/h, 30 km/h, and 40 km/h reveal the occurrence of overshoot in the vehicle chassis, measuring 0.032 m, 0.022 m, and 0.017 m, respectively. The settling time for the vehicle chassis occurs successively in 1.59 seconds, 1.33 seconds, and 1.28 seconds. The vehicle tends to return to a stable position more quickly at higher speeds compared to lower speeds. Similarly, the settling time decreases as the speed increases.

Keywords: Modeling, Road Bump, Suspension

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, Oktober 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	
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
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Pemodelan Sistem.....	6
2.2 Sistem Suspensi Mobil	8
2.3 Model Sistem dan Dinamika Suspensi	12
2.3.1 Pemodelan Setengah Kendaraan	12
2.3.2 Pemodelan Seperempat Kendaraan	13
2.4 <i>Road Disturbance</i>	14
2.5 <i>State Space Variable</i>	15
2.6 MATLAB	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Pemodelan Sistem.....	20

3.3 Simulasi dan Analisa	20
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	
4.1 Pemodelan Sistem Setengah Kendaraan Mobil.....	21
4.2 Model Sistem Setengah Kendaraan Mobil	21
4.3 Komponen Permodelan Sistem Suspensi Setengah Kendaraan	27
4.4 Diagram Blok MATLAB.....	29
4.5 <i>Road Disturbance Input</i>	30
4.6 Simulasi MATLAB	31
4.7 MATLAB <i>M-Files Input</i>	32
4.8 Analisa Data.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Klasifikasi Sistem	6
Gambar 2.2 Sistem Suspensi Mobil	8
Gambar 2.3 Bagian Suspensi Kendaraan	9
Gambar 2.4 Suspensi Poros Kaku dan Bebas.....	10
Gambar 2.5 Komponen Sistem Suspensi	11
Gambar 2.6 Model Setengah Kendaraan	13
Gambar 2.7 Model Seperempat Kendaraan.....	14
Gambar 2.8 Profil <i>Road Bump</i> Pada Jalan	15
Gambar 2.9 Ikon <i>Matlab</i>	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 4.1 Model Fisik Kendaraan <i>Avanza Veloz 2022</i>	22
Gambar 4.2 Model Sistem Setengah Kendaraan	22
Gambar 4.3 <i>Front Axle</i> FBD	23
Gambar 4.4 <i>Rear Axle</i> FBD.....	24
Gambar 4.5 <i>Chasis Translation</i> FBD	25
Gambar 4.6 <i>Chasis Rotational</i> FBD.....	26
Gambar 4.7 Model Diagram Blok MATLAB	30
Gambar 4.8 Ilustrasi Road Disturbance 0.2 m.....	31
Gambar 4.9 Input Road Disturbance 0.2 m.....	32
Gambar 4.10 <i>Front Wheel Vertical Displacement</i> pada 20 km/jam.....	33
Gambar 4.11 <i>Rear Wheel Vertical Displacement</i> pada 20 km/jam.....	34
Gambar 4.12 <i>Chassis Translational Displacement</i> pada 20 km/jam	34
Gambar 4.13 <i>Chassis (Rotational) Displacement</i> pada 20 km/jam.....	35
Gambar 4.14 <i>Front Wheel Vertical Displacement</i> pada 30 km/jam.....	36
Gambar 4.15 <i>Rear Wheel Vertical Displacement</i> pada 30 km/jam.....	36
Gambar 4.16 <i>Chassis Translational Displacement</i> pada 30 km/jam	37
Gambar 4.17 <i>Chassis (Rotational) Displacement</i> pada 30 km/jam.....	38

Gambar 4.18 *Front Wheel Vertical Displacement* pada 40 km/jam..... 38
Gambar 4.19 *Rear Wheel Vertical Displacement* pada 40 km/jam..... 39
Gambar 4.20 *Chassis Translational Displacement* pada 40 km/jam 39
Gambar 4.21 *Chassis (Rotational) Displacement* pada 40 km/jam..... 40

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Parameter pada Permodelan Sistem Suspensi Setengah Kendaraan	28
Tabel 4.2 Kecepatan Yang Digunakan dan <i>Time delay</i>	32
Tabel 4.3 Data Respon Pada Sistem Suspensi Kendaraan	40

BAB I

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 ini akan dilakukan permodelan sistem kendaraan serta simulasi pada kendaraan jenis *Avanza Veloz 2022*, menggunakan metode *state space variable* dengan aplikasi MATLAB untuk menganalisa respon dinamis yang dihasilkan oleh simulasi pemodelan sistem suspensi mobil terhadap road disturbance dengan variasi kecepatan yang berbeda.

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 pada *road bump* dengan variasi kecepatan yang berbeda.
2. Didapatkan hasil respon simulasi berupa perpindahan serta waktu penyesuaian kendaraan.
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 dari model kendaraan *Avanza Veloz 2022*.
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

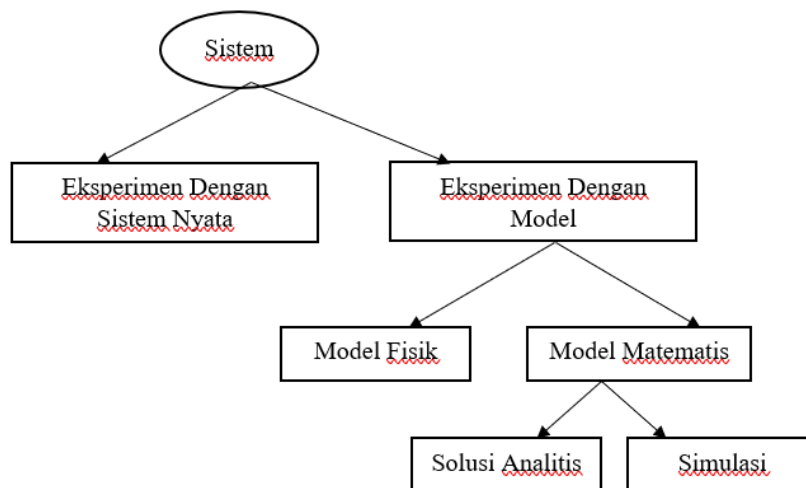
Pada bab terakhir ini berisikan tentang kesimpulan yang didapat dari simulasi yang sudah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

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.

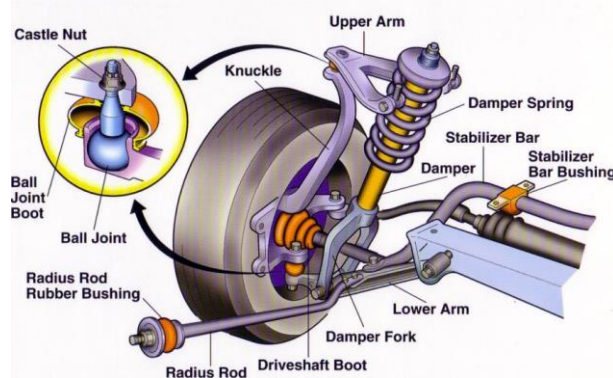
2.2 Sistem Suspensi Mobil

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 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]

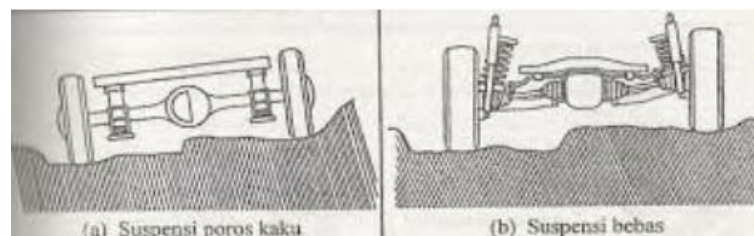
Terdapat dua jenis utama suspensi yaitu:

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

Awalnya desain ini digunakan pada semua sistem suspensi mobil penumpang, bahkan hingga saat ini 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, 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*

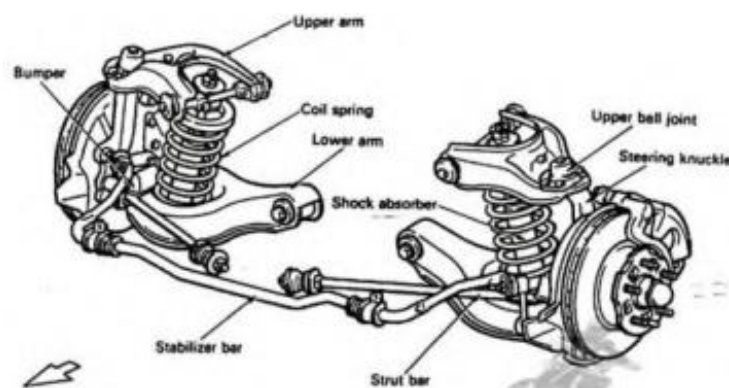
Stabilizer bar (batang penyetabil) berfungsi mengurangi kemiringan mobil akibat gaya sentrifugal pada saat mobil membelok dan juga untuk menambah daya jejak ban. Pada suspensi depan *Stabilizer bar* dipasang biasanya dipasang pada kedua *lower arm* melalui bantalan karet dan *linkage* dan bagian tengah 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 Model Sistem dan Dinamika Suspensi

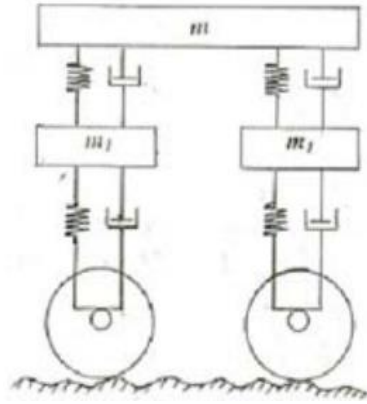
Dinamika kendaraan adalah studi yang mempelajari pergerakan seluruh kendaraan dan seluruh derajat kebebasan sistem kendaraan. Setiap gerakan memiliki kecepatan, akselerasi, dan frekuensinya sendiri. Sama halnya dengan sistem suspensi yang menghubungkan roda dengan bodi kendaraan memperhitungkan pergerakan 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). [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 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* (φ) dan berupa *sprung mass displacement*. [2]



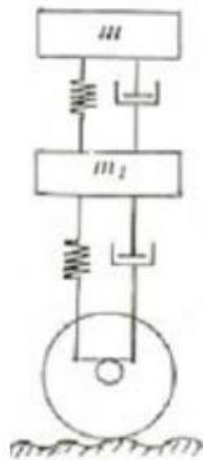
Gambar 2.6 Model Setengah Kendaraan.[4]

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 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]

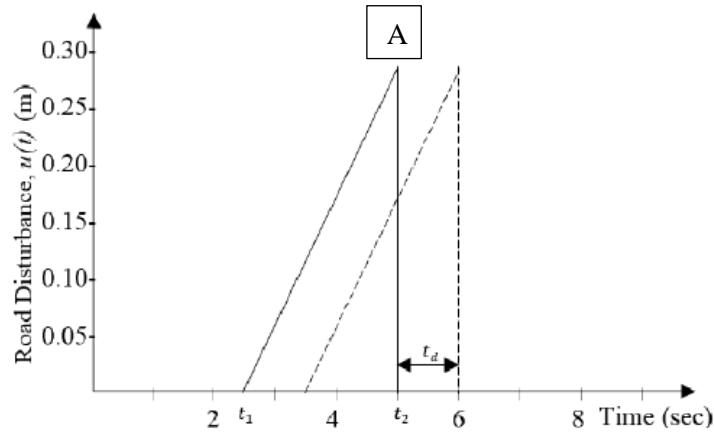
Dalam uraian berikut akan disimulasikan respon dinamik dari model setengah kendaraan. Menggunakan gaya yang diberikan melalui kekakuan, biasanya dapat ditulis dalam bentuk persamaan state space secara umum Untuk harmonik input, bodi kendaraan dan penghubung roda dapat dikalkulasi. Parameter yang digunakan 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 State Space Variable

Metode *state space variable* adalah suatu pendekatan matematis yang digunakan untuk merepresentasikan sistem dinamis dalam bentuk persamaan keadaan atau persamaan *state space*. Metode ini digunakan dalam berbagai bidang, termasuk ilmu kontrol, teknik otomatisasi, rekayasa sistem, dan simulasi. Dalam metode *state space variable*, sebuah sistem dinamis direpresentasikan menggunakan dua jenis variabel, yaitu:

1. Variabel Keadaan (*State Variables*): Variabel ini menggambarkan kondisi internal sistem yang relevan untuk menjelaskan perubahan sistem seiring waktu. Mereka memberikan gambaran lengkap tentang keadaan sistem pada suatu waktu tertentu. Contoh variabel

keadaan dalam konteks kendaraan mungkin mencakup posisi, kecepatan, akselerasi, sudut kemiringan, dan sebagainya.

2. Variabel Input (*Input Variables*): Variabel ini mewakili sinyal yang memasuki sistem dari luar, seperti sinyal kendali atau gangguan eksternal. Dalam konteks suspensi kendaraan, ini mungkin mencakup kecepatan kendaraan, pembebanan, atau perintah pengendalian suspensi.

Dengan menggunakan variabel keadaan dan input ini, kita dapat menyusun persamaan keadaan yang menggambarkan bagaimana variabel keadaan berkembang seiring waktu sebagai fungsi dari variabel input dan keadaan sebelumnya. Persamaan ini biasanya berbentuk matriks dan mengikuti format umum:

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

$$y = Cx + Du$$

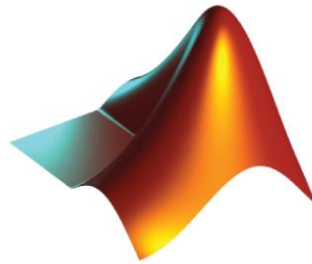
Dimana x adalah vektor variabel keadaan, \dot{x} adalah turunan variabel keadaan terhadap waktu, u adalah vektor variabel input, y adalah vektor variabel output, dan A , B , C , dan D adalah matriks yang menggambarkan hubungan antara variabel keadaan, input, dan output.

Metode *state space variable* adalah metode yang kuat dalam analisis, perancangan pengendali, dan permodelan sistem dinamis, memungkinkan untuk memahami, menganalisis, dan merancang sistem dalam berbagai bidang rekayasa dan ilmu pengetahuan.

2.6 MATLAB

MATLAB atau yang adalah 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



MATLAB

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

Gambar 2.9 Ikon MATLAB

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 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 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.

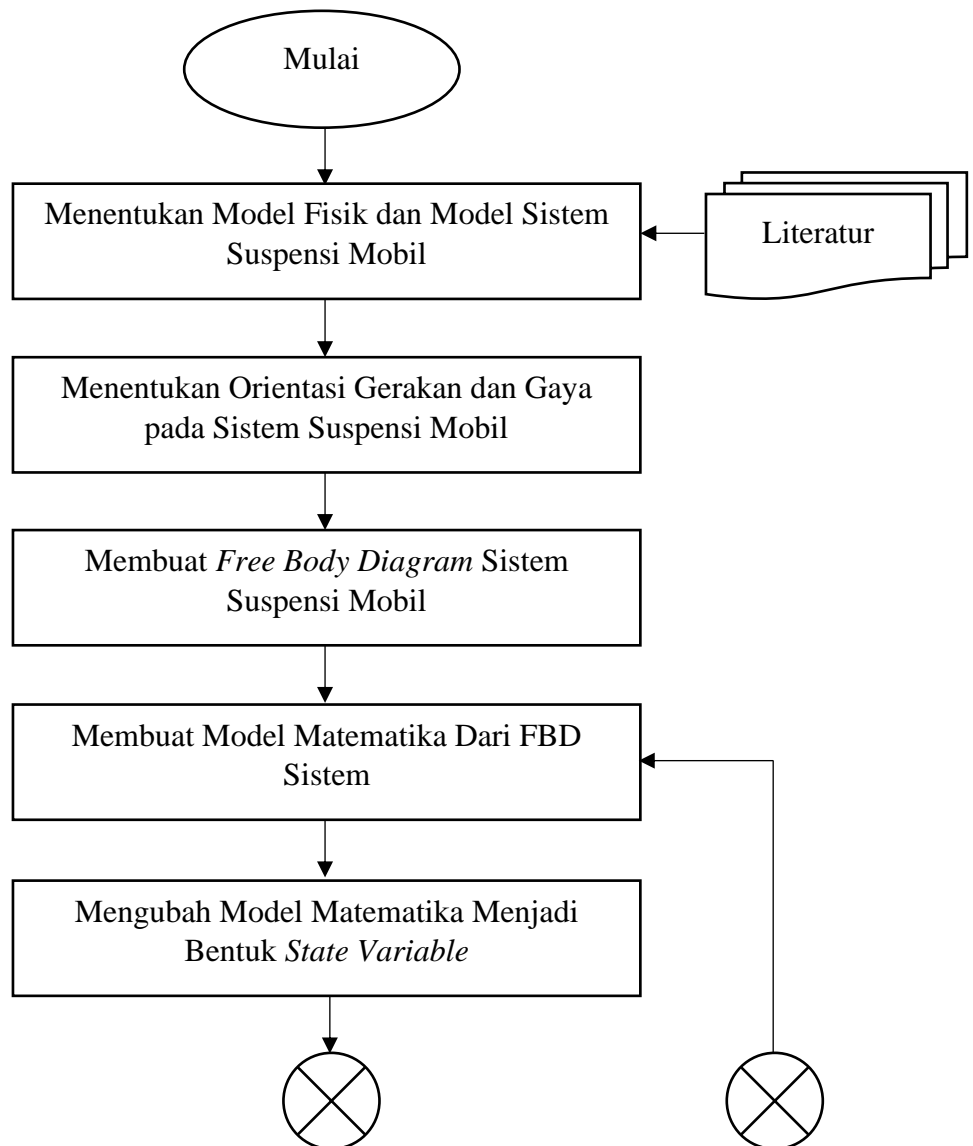
MATLAB juga merupakan bahasa pemrograman komputer berbasis *window* dengan orientasi dasarnya adalah matrik, namun pada program ini tidak menutup kemungkinan untuk pengerjaan permasalahan non matrik. Selain itu matlab juga merupakan bahasa pemrograman yang berbasis pada obyek (OOP), namun disisi lain 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:

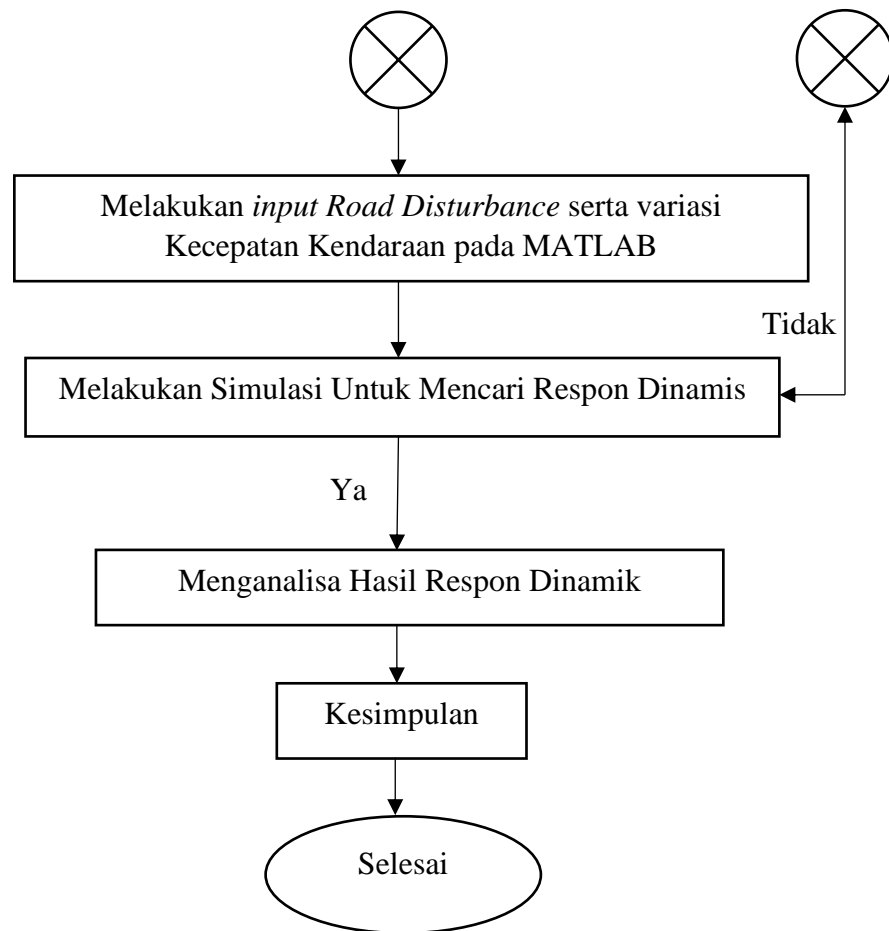
1. *Command Windows* (layer perintah)
2. *Figure Windows* (layer gambar)
3. *Note Pad* (sebagai editor program)

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 parameter yang nantinya akan digunakan pada simulasi dan analisa, pada model sistem suspensi mobil yang digunakan.

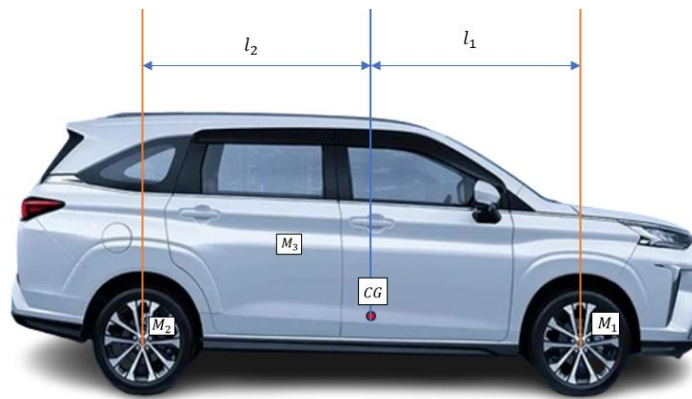
Pada penelitian kali ini diasumsikan kendaraan kosong tanpa penumpang serta jarak *wheelbase* antara roda depan dan belakang berbeda. Dengan jarak ke roda penggerak depan sepanjang 1.35m dan ke roda belakang 1.40m. konstanta pegas yang ada pada chasis kendaraan juga diabaikan.

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 Permodelan Sistem Setengah Kendaran Mobil

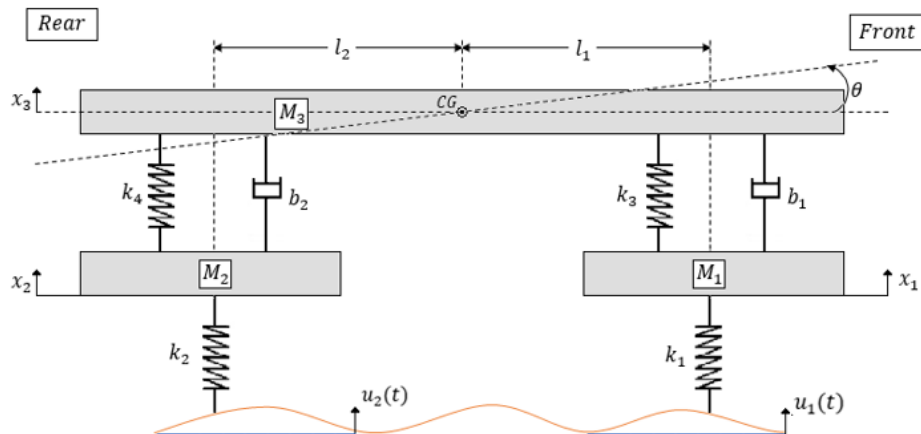
Pada penelitian ini digunakan model fisik mobil dari model *Avanza Veloz 2022*. Adapun model fisik kendaraan yang digunakan sebagai acuan penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Model Fisik Kendaraan *Avanza Veloz 2022*

4.2 Model Sistem Setengah Kendaran Mobil

Setelah didapatkan model fisik mobil, selanjutnya dapat membuat persamaan gerak dari sistem kendaraan yang telah didapatkan. Seluruh massa dan komponen pada model sistem setengah kendaraan dimodelkan pada Gambar 4.2 dibawah.



Gambar 4.2 Model Sistem Setengah Kendaran

Dimana:

M_3 = Massa total setengah kendaraan (kg)

M_1 = Massa total pada *Front Axle* (kg)

M_2 = Massa total pada *Rear Axle* (kg)

J = Momen Inersia Kendaraan ($Kg.m^2$)

x_1 = Perpindahan pada *Front Axle* (m)

x_2 = Perpindahan pada *Rear Axle* (m)

x_3 = Perpindahan translasi *chassis* kendaraan (m)

θ = Perpindahan rotasi kendaraan (rad)

k_1 = Kekakuan material ban depan (N/M)

k_2 = Kekakuan material ban belakang (N/M)

k_3 = Konstanta pegas pada *Front Axle* (N/M)

k_4 = Konstanta pegas bagian *Rear Axle* (N/M)

b_1 = Koefisien damper pada bagian *Front Axle* ($N.s/M$)

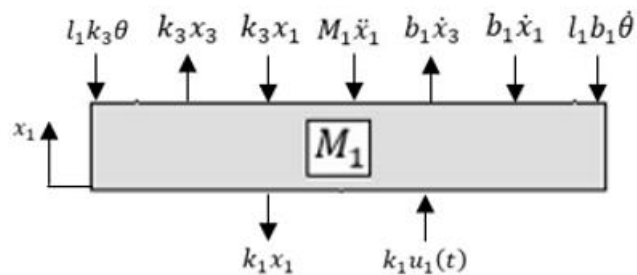
b_2 = Koefisien damper bagian *Rear Axle* ($N.s/M$)

l_1 = Jarak sumbu roda depan dari *Center of Gravity* (m)

l_2 = Jarak sumbu roda belakang dari *Center of Gravity* (m)

Setelah model sistem didapatkan, dapat membuat 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. Adapun DBB dari tiap derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

1. *Front Axle* FBD



Gambar 4.3 *Front Axle* FBD

Dimana:

x_1 = Perpindahan pada *Front Axle*.

$M_1\ddot{x}_1$ = Akselerasi massa pada *Front Axle*.

k_1x_1 = Perpindahan ban depan terhadap bagian *Front Axle*.

k_3x_1 = Perpindahan pegas terhadap *Front Axle*.

k_3x_3 = Perpindahan pegas terhadap *chassis* kendaraan.

$b_1\dot{x}_1$ = Kecepatan suspensi bagian depan terhadap *Front Axle*.

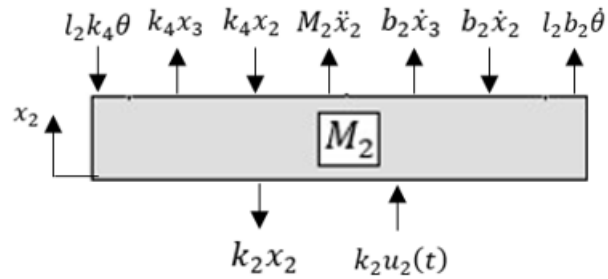
$b_1\dot{x}_3$ = Kecepatan suspensi bagian depan terhadap *chassis* kendaraan.

$l_1k_3\theta$ = Perpindahan rotasional suspensi bagian depan kendaraan terhadap CG

$l_1b_1\dot{\theta}$ = Kecepatan sudut pada suspensi bagian depan terhadap CG

$k_1u_1(t)$ = *Road Input* pada *Front Axle*.

2. Rear Axle FBD



Gambar 4.4 *Rear Axle FBD*

Dimana:

x_2 = Perpindahan pada *Rear Axle*.

$M_2\ddot{x}_2$ = Akselerasi massa pada *Rear Axle*.

k_2x_2 = Perpindahan ban belakang terhadap bagian *Rear Axle*.

k_4x_2 = Perpindahan pegas terhadap *Rear Axle*.

k_4x_3 = Perpindahan pegas terhadap *chassis* kendaraan.

$b_2\dot{x}_2$ = Kecepatan suspensi bagian belakang terhadap *Rear Axle*.

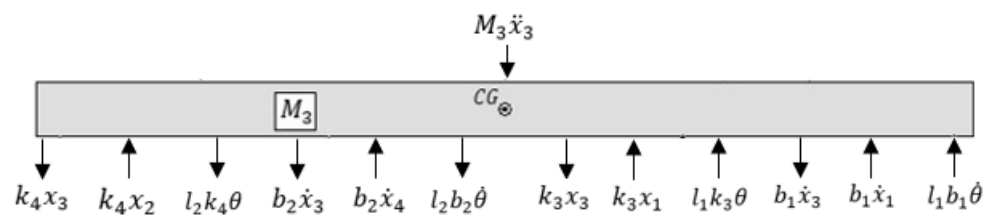
$b_2\dot{x}_3$ = Kecepatan suspensi bagian belakang terhadap *chassis* kendaraan.

$l_2k_4\theta$ = Perpindahan rotasional suspensi bagian belakang kendaraan terhadap CG

$l_2b_2\dot{\theta}$ = Kecepatan sudut pada suspensi bagian belakang terhadap CG

$k_2u_2(t)$ = *Road Input* pada *Rear Axle*.

3. Chasis Translation FBD



Gambar 4.5 *Chasis Translation FBD*

Dimana:

x_3 = Perpindahan pada *chassis* kendaraan.

$M_3\ddot{x}_3$ = Akselerasi massa *chassis* kendaraan.

k_3x_1 = Perpindahan pegas terhadap bagian *Front Axle*.

k_3x_3 = Perpindahan pegas bagian depan terhadap *chassis* kendaraan.

k_4x_2 = Perpindahan pegas terhadap *Rear Axle*

k_4x_3 = Perpindahan pegas bagian belakang terhadap *chassis* kendaraan

$b_1\dot{x}_1$ = Kecepatan suspensi bagian depan terhadap *Front Axle*.

$b_1\dot{x}_3$ = Kecepatan suspensi bagian depan terhadap *chassis* kendaraan.

$b_2\dot{x}_2$ = Kecepatan suspensi bagian belakang terhadap *Rear Axle*.

$b_2\dot{x}_3$ = Kecepatan suspensi bagian belakang terhadap *chassis* kendaraan.

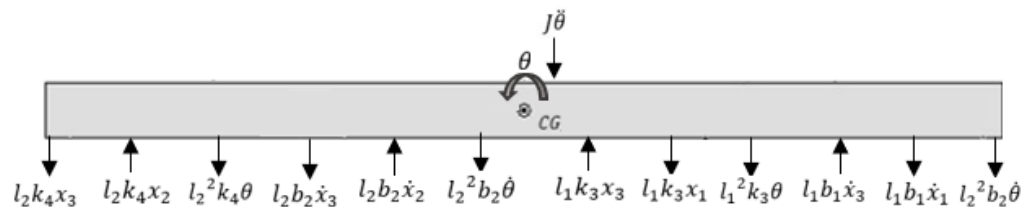
$l_1 k_3 \theta$ = Perpindahan rotasional suspensi bagian depan kendaraan terhadap CG

$l_2 k_4 \theta$ = Perpindahan rotasional suspensi bagian belakang kendaraan terhadap CG

$l_1 b_1 \dot{\theta}$ = Kecepatan sudut pada suspensi bagian depan terhadap CG

$l_2 b_2 \dot{\theta}$ = Kecepatan sudut pada suspensi bagian belakang terhadap CG

4. Chasis Rotational FBD



Gambar 4.6 Chasis Rotational FBD

Dimana:

θ = Sudut perputaran *chassis* pada CG.

$J\ddot{\theta}$ = Momen inersia pada percepatan sudut *chassis*

$l_1 k_3 x_1$ = Perpindahan pegas bagian *Front Axle* terhadap CG.

$l_1 k_3 x_3$ = Perpindahan pegas bagian depan *chassis* kendaraan terhadap CG.

$l_2 k_4 x_2$ = Perpindahan pegas bagian *Rear Axle* terhadap CG.

$l_2 k_4 x_3$ = Perpindahan pegas bagian belakang *chassis* kendaraan terhadap CG.

$l_1 b_1 \dot{x}_1$ = Kecepatan suspensi bagian *Front Axle* terhadap CG.

$l_1 b_1 \dot{x}_3$ = Kecepatan suspensi bagian depan *chassis* kendaraan terhadap CG.

$l_2 b_2 \dot{x}_2$ = Kecepatan suspensi bagian *Rear Axle* terhadap CG.

$l_2 b_2 \dot{x}_3$ = Kecepatan suspensi bagian belakang *chassis* kendaraan terhadap CG.

- $l_1^2 k_3 \theta$ = Perpindahan rotasional suspensi bagian depan kendaraan terhadap CG
- $l_2^2 k_4 \theta$ = Perpindahan rotasional suspensi bagian belakang kendaraan terhadap CG
- $l_1^2 b_1 \dot{\theta}$ = Kecepatan sudut pada suspensi bagian depan terhadap CG
- $l_2^2 b_2 \dot{\theta}$ = Kecepatan sudut pada suspensi bagian belakang terhadap CG

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:

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

Front Axle

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

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

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{M_1} [k_3(x_3 - x_1 - l_1 \theta) + b_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 - l_1 \dot{\theta}) - k_1(x_1 - u_1)] \dots\dots\dots (3)$$

Rear Axle

$$M_2 \ddot{x}_2 = k_4 x_3 - k_4 x_2 + l_2 k_4 \theta + b_2 \dot{x}_3 - b_2 \dot{x}_2 + l_2 b_2 \dot{\theta} - k_2 x_2 + k_2 u_2(t) \dots (4)$$

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

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{M_2} [k_4(x_3 - x_2 + l_2 \theta) + b_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 + l_2 \dot{\theta}) - k_2(x_2 - u_2)] \dots\dots\dots (5)$$

Gerak Translasi Chasis

$$M_3 \ddot{x}_3 = -k_3 x_3 + k_3 x_1 + l_1 k_3 \theta - k_4 x_3 + k_4 x_2 - l_2 k_4 \theta - b_1 \dot{x}_3 + b_1 \dot{x}_1 + l_1 b_1 \dot{\theta} - b_2 \dot{x}_3 + b_2 \dot{x}_2 + l_2 b_2 \dot{\theta} \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan *State Space Variable* dari persamaan (6) yaitu:

$$\ddot{x}_3 = \frac{1}{M_3} [-k_3(x_3 - x_1 - l_1\theta) - k_4(x_3 - x_2 + l_2\theta) - b_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 - l_1\dot{\theta}) - b_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 + l_2\dot{\theta})] \dots \dots \dots (7)$$

Gerak Rotasi Chasis

$$J\ddot{\theta} = l_1k_3x_3 - l_1k_3x_1 - l_1^2k_3\theta - l_2k_4x_3 + l_2k_4x_2 - l_2^2k_4\theta + l_1b_1\dot{x}_3 - l_1b_1\dot{x}_1 - l_1^2b_1\dot{\theta} - l_2b_2\dot{x}_3 + l_2b_2\dot{x}_2 - l_2^2b_2\dot{\theta} \dots \dots \dots (8)$$

Persamaan *State Space Variable* dari persamaan (8) yaitu:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{J} [l_1k_3(x_3 - x_1 - l_1\theta) - l_2k_4(x_3 - x_2 + l_2\theta) + l_1b_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 - l_1\dot{\theta}) - l_2b_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2 + l_2\dot{\theta})] \dots \dots \dots (9)$$

4.3 Komponen Permodelan Sistem Suspensi Setengah Kendaraan

Untuk melakukan simulasi pada sistem suspensi setengah kendaraan diperlukan parameter untuk model matematika sistem suspensi setengah kendaraan. Parameter kendaraan yang digunakan merupakan parameter dari *Avanza Veloz 2022*. Adapun parameter kendaraan 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 half vehicle Chassis</i>	M_3	835 Kg
<i>Moment of inertia of the vehicle</i>	J	418 Kg.m ²
<i>Unsprung mass of the front axle</i>	M_1	28 Kg
<i>Unsprung mass of the rear axle</i>	M_2	28 Kg
<i>Stiffness of the front tire material</i>	k_1	200000 N/M
<i>Stiffness of the rear tire material</i>	k_2	180000 N/M
<i>Spring constant of the front axle</i>	k_3	25000 N/M
<i>Spring constant of the rear axle</i>	k_4	20000 N/M
<i>Damping coefficient of the front axle</i>	b_1	1500 N.s/M

<i>Damping coefficient of the rear axle</i>	b_2	$1200 \text{ N}\cdot\text{s}/M$
<i>Front body length from the CG</i>	l_1	1.35 m
<i>Rear body length from the CG</i>	l_2	1.40 m
State Variables		
<i>Vehicle vertical displacement (Chassis)</i>	x_3
<i>Vehicle rotational movement</i>	θ
<i>Front axle vertical displacement</i>	x_1
<i>Rear axle vertical displacement</i>	x_2
Inputs		
<i>Road excitation at the front axle</i>	$u(t)$
<i>Road excitation at the rear axle</i>	$u(t + t_d)$

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

$$[M]\ddot{x} + [b]\dot{x} + [k]x = F(u).....(6)$$

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:

$$x = [x_1 \quad \dot{x}_1 \quad x_2 \quad \dot{x}_2 \quad x_3 \quad \dot{x}_3 \quad \theta \quad \dot{\theta}]^T, u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

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

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

4.4 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:

(TERLAMPIR)

Gambar 4.7 Model Diagram Blok MATLAB

Pada diagram blok terdapat 3 kotak dimana kotak biru mengindikasikan input yang terdapat pada sistem suspensi setengah kendaraan, lalu kotak merah merupakan sistem suspensi setengah kendaraan yang didapat, dan kotak kuning berisikan perhitungan terhadap setiap DOF yang terdapat pada sistem suspensi setengah kendaraan.

4.5 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:

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

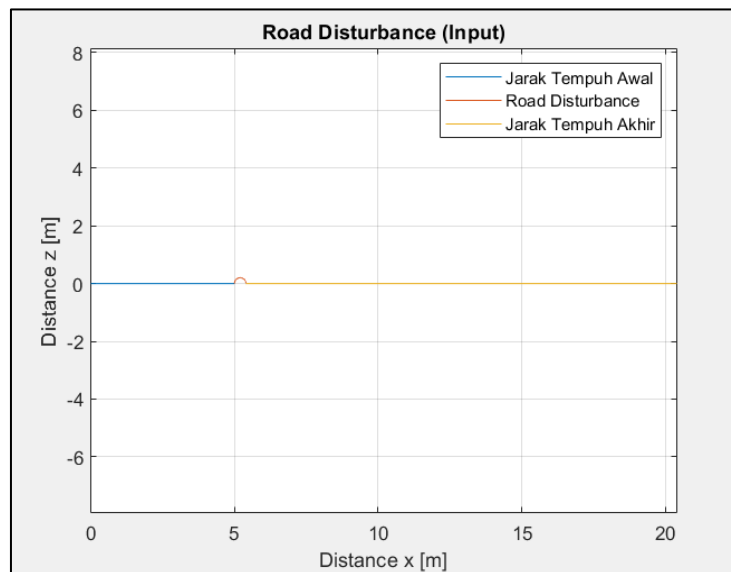
Dimana:

l_1 = Jarak dari roda depan ke CG (m)

l_2 = Jarak dari roda belakang ke CG (m)

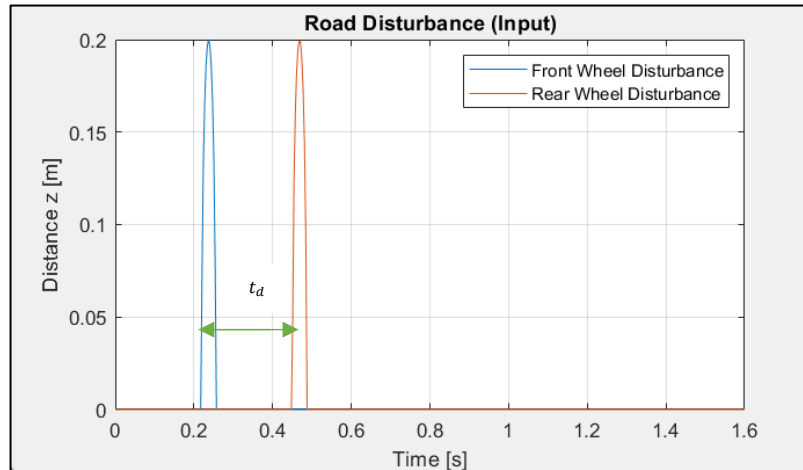
v = kecepatan kendaraan (m/s)

Adapun input *road disturbance* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.8 Ilustrasi *Road Disturbance* 0.2 m

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



Gambar 4.9 Input Road Disturbance 0.2 m

4.6 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> (detik)
20	5.667	0.485
30	8.333	0.330
40	11.111	0.247

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

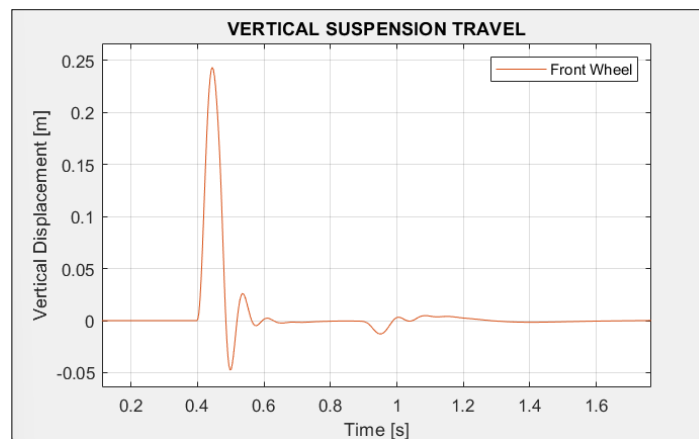
4.7 MATLAB M-Files Input

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:

(TERLAMPIR)

Dengan mensimulasikan input diatas dapat menghasilkan respon seperti berikut:

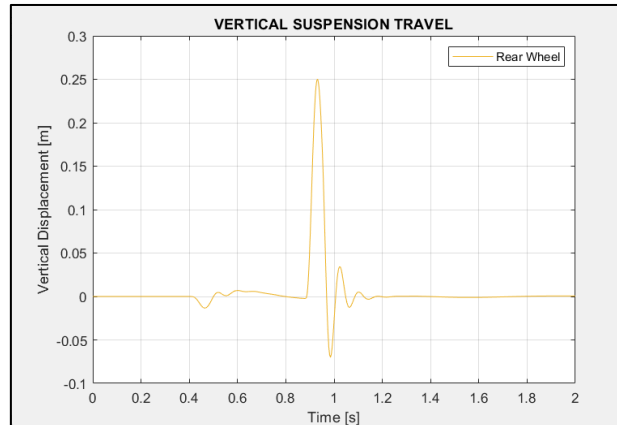
1. Respon Pada $V = 20$ km/h
 - a. *Front Wheel Vertical Displacement*



Gambar 4.10 *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 0.243 m. Suspensi mengalami respon pada 0.414 detik dan mereda pada 1.41 detik, suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama 1 detik, dikarenakan adanya respon getaran yang diakibatkan dari getaran yang ditimbulkan suspensi bagian belakang kendaraan.

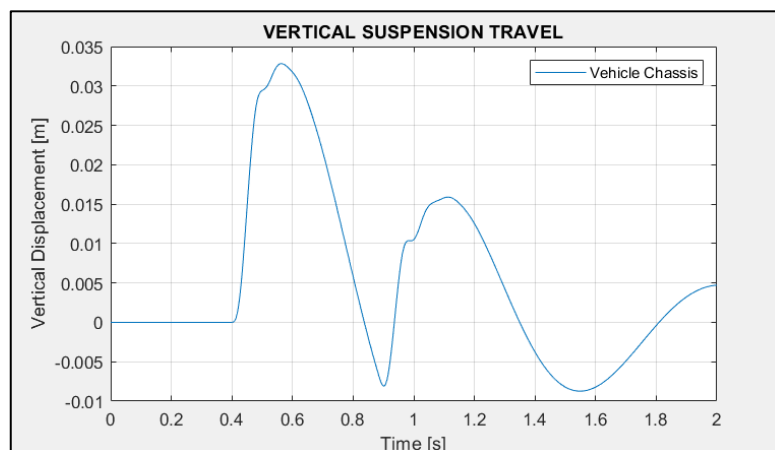
b. *Rear Wheel Vertical Displacement*



Gambar 4.11 *Rear Wheel Vertical Displacement at 20 km/h*

Hasil respon pada bagian roda belakang kendaraan mengalami *maximum overshoot* di 0.251 m. Suspensi kendaraan mengalami respon pada 0.414 detik dan mereda pada 1.41 detik, suspensi mengalami *settling time* selama 1 detik. Suspensi mengalami respon pada detik 0.4 dikarenakan getaran yang diakibatkan pada roda penggerak depan berpengaruh terhadap sistem suspensi ban belakang sehingga suspensi merespon getaran tersebut.

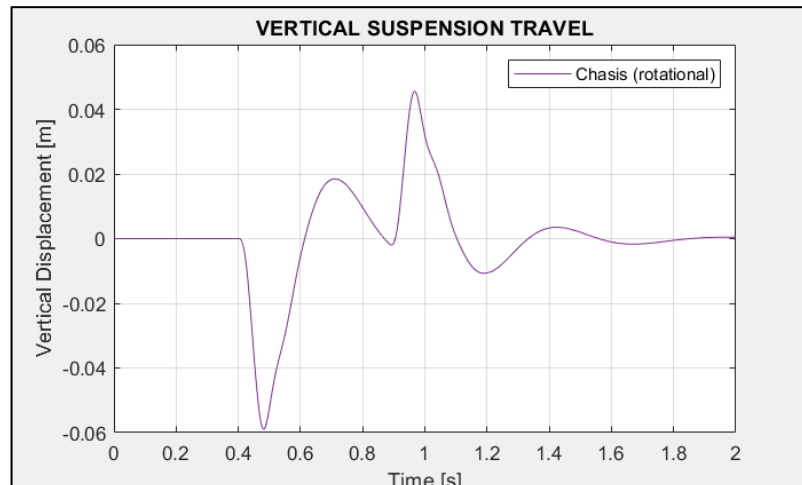
c. *Vehicle Chassis Translational Displacement*



Gambar 4.12 *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 0.41 detik, dengan *overshoot* setinggi 0.032 m. Selanjutnya *overshoot* terjadi pada 0.89 detik dengan *overshoot* setinggi 0.015 m. Pada respon pertama dan respon kedua didapatkan *time delay* selama 0.48 detik sesuai dengan yang sudah didapatkan pada Tabel 4.2 diatas. Antara respon awal dengan posisi ketika keadaan *chassis* sudah stabil didapatkan *settling time* selama 1.59 detik.

d. *Vehicle Chassis (Rotational) Displacement*

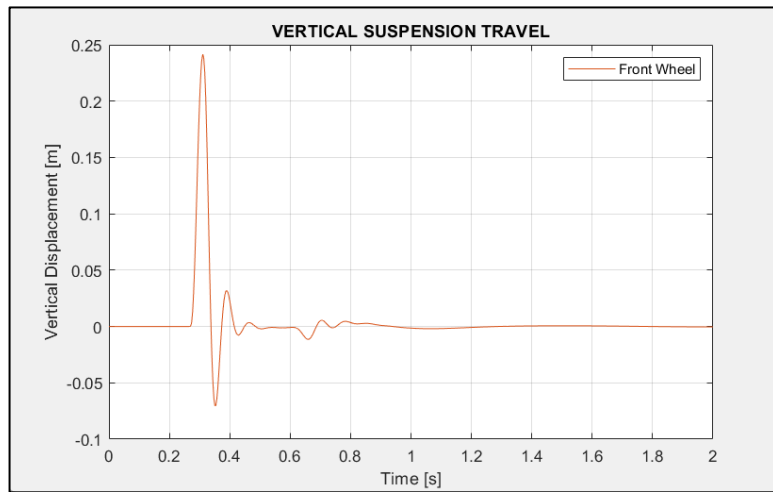


Gambar 4.13 *Chassis (Rotational) Displacement at 20 km/h*

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 -0.058 m. *Settling time chassis* didapatkan selama 1.59 detik.

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

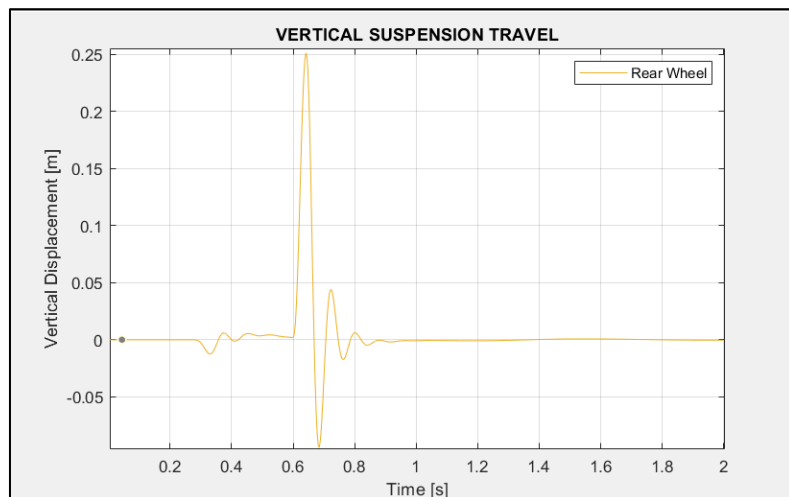
a. *Front Wheel Vertical Displacement*



Gambar 4.14 *Front Wheel Vertical Displacement at 30km/h*

Dari hasil respon pada bagian roda depan kendaraan mengalami *maximum overshoot* di 0.241 m. Suspensi mengalami respon pada 0.27 detik dan mereda pada 1.16 detik, suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama 0.89 detik.

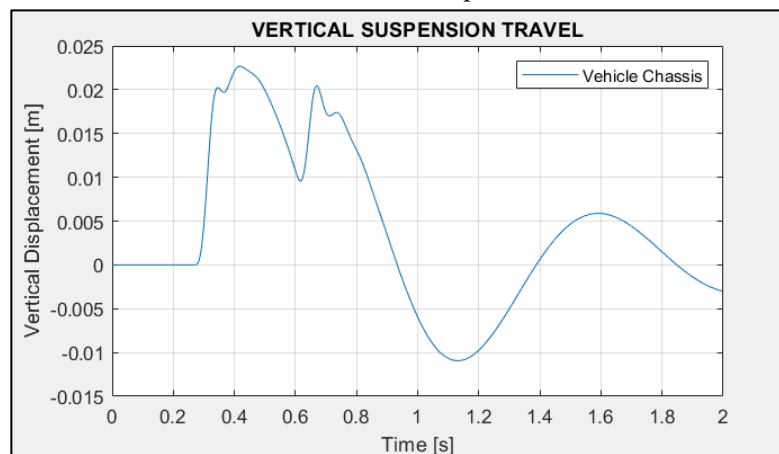
b. *Rear Wheel Vertical Displacement*



Gambar 4.15 *Rear Wheel Vertical Displacement at 30km/h*

Dari hasil respon pada bagian roda belakang kendaraan mengalami titik maksimum (*maximum overshoot*) di 0.251 m. Suspensi mengalami respon pada 0.27 detik dan mereda pada 1.16 detik, suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama 0.89 detik.

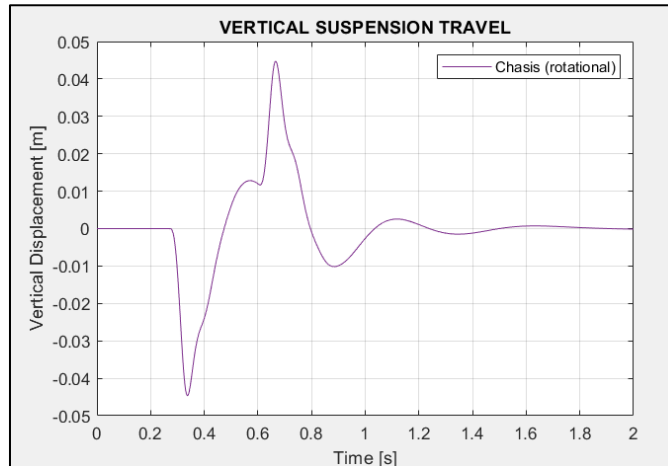
c. *Vehicle Chassis Translational Displacement*



Gambar 4.16 *Chassis Translational Displacement at 30 km/h*

Pada *Chassis* Kendaraan di kecepatan 30 km/h, respon yang didapatkan *overshoot* yang diakibatkan oleh roda depan dan roda belakang kendaraan. Respon pertama pada 0.27 detik, dengan *overshoot* setinggi 0.022 m. Selanjutnya *overshoot* terjadi pada 0.613 detik dengan *overshoot* setinggi 0.02 m. Pada respon pertama dan respon kedua didapatkan *time delay* selama 0.34 detik. hamper sesuai dengan yang sudah didapatkan pada Tabel 4.2 diatas. Antara respon awal dengan posisi ketika keadaan *chassis* sudah stabil didapatkan *settling time* selama 1.33 detik.

d. *Vehicle Chassis (Rotational) Displacement*

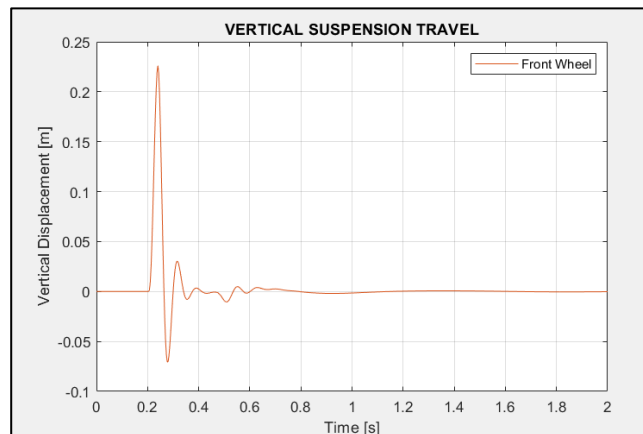


Gambar 4.17 *Chassis (Rotational) Displacement at 30 km/h*

Respon pada *Chassis (Rotational)* didapatkan *undershoot* pertama terjadi sebesar -0.034 m. *Settling time chassis* didapatkan selama 1.33 detik.

3. Respon Pada $V = 40$ km/h

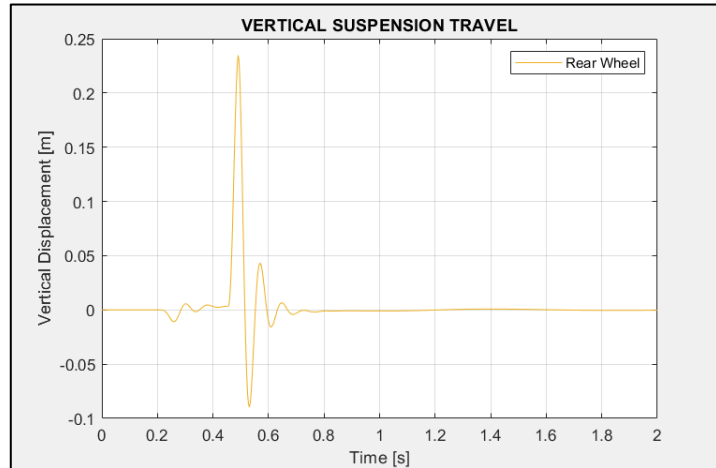
a. *Front Wheel Vertical Displacement*



Gambar 4.18 *Front Wheel Vertical Displacement at 40 km/h*

Dari hasil respon pada bagian roda depan kendaraan mengalami titik maksimum di 0.226 m. Suspensi mengalami respon pada 0.2 detik dan mereda pada 0.98 detik, suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama 0.78 detik.

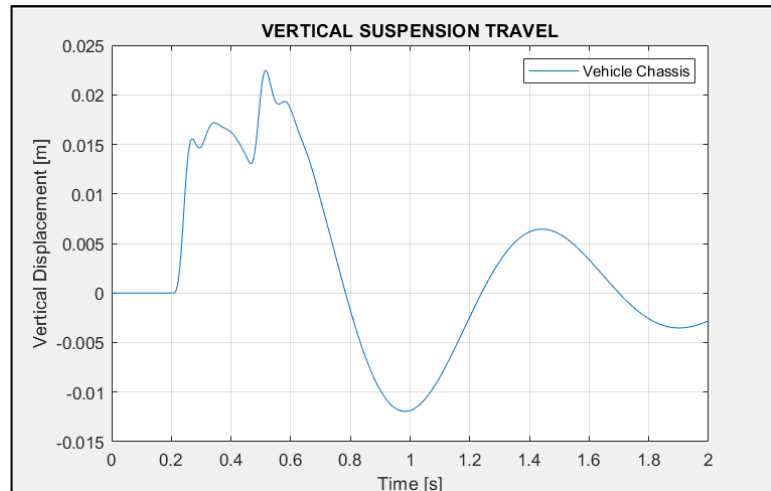
b. *Rear Wheel Vertical Displacement*



Gambar 4.19 *Rear Wheel Vertical Displacement at 40 km/h*

Dari hasil respon pada bagian roda belakang kendaraan mengalami titik maksimum (*maximum overshoot*) di 0.23 m. Suspensi mengalami respon pada 0.2 detik dan mereda pada 0.98 detik, suspensi mengalami waktu penyelesaian (*settling time*) respon selama 0.78 detik.

c. *Vehicle Chassis Translational Displacement*

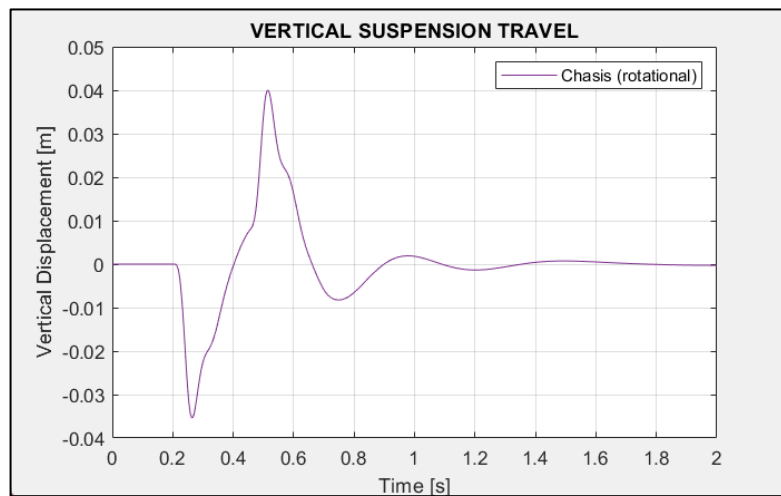


Gambar 4.20 *Chassis Translational Displacement at 40 km/h*

Pada *Chassis* Kendaraan di kecepatan 40km/h, respon yang didapatkan *overshoot* yang diakibatkan oleh roda depan dan roda belakang kendaraan. Respon pertama pada

0.2 detik, dengan *overshoot* setinggi 0.017 m. Selanjutnya *overshoot* terjadi pada 0.467 detik dengan *overshoot* setinggi 0.022 m. Pada respon pertama dan respon kedua didapatkan *time delay* selama 0.247 detik sesuai dengan yang sudah didapatkan pada Tabel 4.2 diatas. Antara respon awal dengan posisi ketika keadaan *chassis* sudah stabil didapatkan *settling time* selama 1.28 detik.

d. *Vehicle Chassis (Rotational) Displacement*



Gambar 4.21 *Chassis (Rotational) Displacement at 40 km/h*

Respon pada *Chassis (Rotational)* didapatkan *undershoot* pertama terjadi sebesar -0.035 m. *Settling time chassis* didapatkan selama 1.15 detik.

4.8 Analisa Data

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

Tabel 4.3 Data Respon Pada Sistem Suspensi Kendaraan

Displacement	Max. Overshoot (m)			Settling Time (s)		
	20 km/h	30 km/h	40 km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h
Front Wheel	0.243m	0.241m	0.226m	1s	0.89s	0.78s

Rear Wheel	0.253m	0.251m	0.23m	1s	0.89s	0.78s
Chassis	0.032m	0.022m	0.017m	1.59s	1.33s	1.28s
Chassis (rot)	-0.058m	-0.045m	-0.035m	1.59s	1.33s	1.28s

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.

Respon yang terjadi pada suspensi bagian depan dan belakang kendaraan pada tiap kecepatan saling mempengaruhi satu sama lain, ketika roda depan mengenai *Road Disturbance* getaran yang ditimbulkan mempengaruhi sistem suspensi bagian belakang kendaraan sehingga suspensi mengalami respon walaupun belum mengenai *Road Disturbance*. Perpindahan (*displacement*) yang dialami bagian belakang kendaraan juga mengalami perubahan yang membuat perpindahan lebih tinggi daripada perpindahan ban depan akibat getaran sistem suspensi ban depan yang mempengaruhi ban belakang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi yang sudah dilakukan dan analisa hasil simulasi pada sistem suspensi setengah kendaraan *Avanza Veloz 2022*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Melakukan simulasi pada sistem kendaraan *Avanza Veloz 2022* dengan menggunakan 3 jenis kecepatan pada kendaraan yaitu *20km/h*, *30km/h*, dan *40km/h* yang disimulasikan ke *Road Bump* setinggi 0.2m.
2. Respon yang didapat dari simulasi berupa perpindahan (*displacement*) serta waktu kendaraan untuk kembali ke posisi semula (*settling time*) yang dialami pada sistem suspensi kendaraan pada setiap jenis kecepatan yang disimulasikan.
3. Dari data simulasi yang dilakukan didapatkan:
 - *Maximum Overshoot* pada tiap titik kendaraan cenderung kembali ke posisi stabil lebih cepat ketika kecepatan kendaraan lebih tinggi.
 - Waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk kembali ke titik semula (*settling time*) juga semakin cepat ketika kecepatan kendaraan semakin tinggi ketika berinteraksi dengan *Road Disturbance*.
 - Respon yang terjadi pada suspensi bagian depan dan belakang kendaraan pada tiap kecepatan saling mempengaruhi satu sama lain. Perpindahan (*displacement*) yang dialami bagian belakang kendaraan juga mengalami perubahan yang membuat perpindahan lebih tinggi daripada perpindahan ban depan akibat getaran sistem suspensi ban depan yang mempengaruhi ban belakang.

5.2 Saran

Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan, saran untuk pengembangan dalam penelitian 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 agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.

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*.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

LAMPIRAN BAB IV

1. 4.6 MATLAB *M-files* Input

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

clear ; close all ; clc

%% Parameters

% Vehicle
m = 835;           % Half of body mass [kg]
m1 = 28;          % Mass of a front unsprung mass [kg]
m2 = 28;          % Mass of a front unsprung mass [kg]
J = 418;         % Half of body moment of inertia [kg.m2]
l1 = 1.35;       % Distance of CG from front axle [m]
l2 = 1.40;       % Distance of CG from rear axle [m]
k3 = 25000;      % Spring constant suspension front [N/m]
k4 = 20000;      % Spring constant suspension rear [N/m]
k1 = 200000;     % Spring constant tire front [N/m]
k2 = 180000;     % Spring constant tire rear [N/m]
b1 = 1500;      % Damping constant suspension front [N.s/m]
b2 = 1200;      % Damping constant suspension rear [N.s/m]

% Video
playback_speed = 1; % Speed of playback
tF = 2;           % Final time [s]
fR = 300/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 ;
      0 1 0 0 0 0 0 0 ;
      0 0 1 0 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 0 0 0 ];
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')

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)')

```

2. **Gambar 4.7** Model Diagram Blok MATLAB

