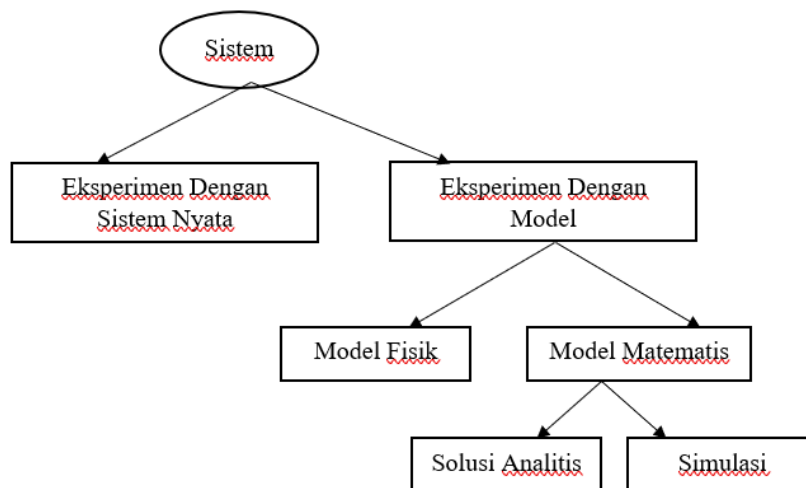


## BAB II

### 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.

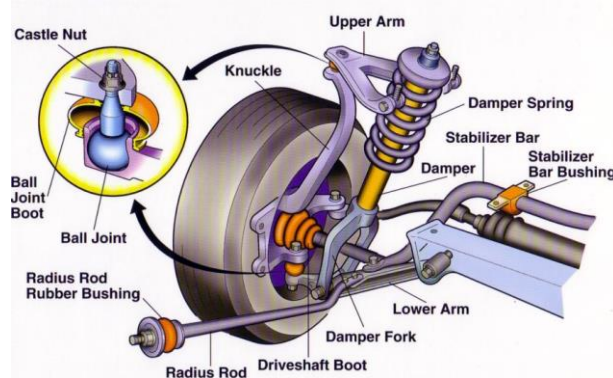
## 2.2 Sistem Suspensi Mobil

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]

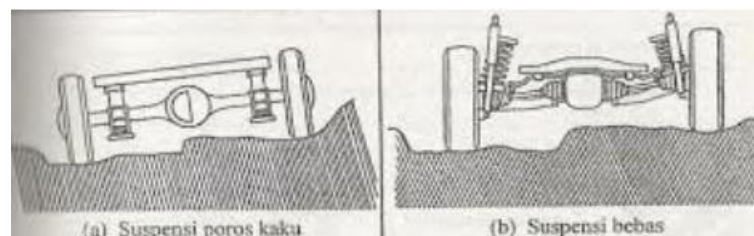
Terdapat dua jenis utama suspensi yaitu:

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*

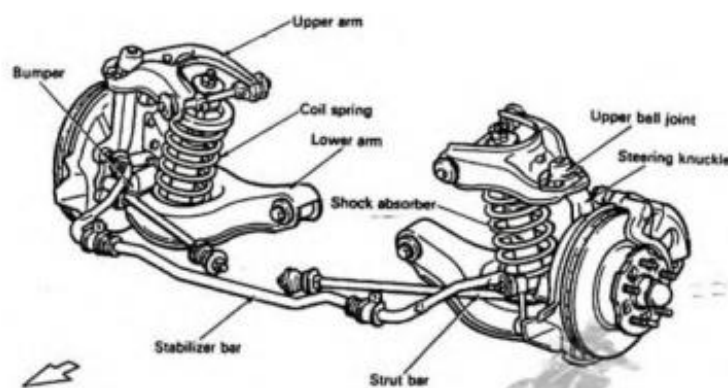
*Stabilizer bar* (batang penyetabil) berfungsi mengurangi kemiringan mobil akibat gaya sentrifugal pada saat mobil membelok dan juga untuk menambah daya jejak ban. Pada suspensi depan *Stabilizer bar* dipasang biasanya dipasang pada kedua *lower arm* melalui bantalan karet dan *linkage* dan bagian tengah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

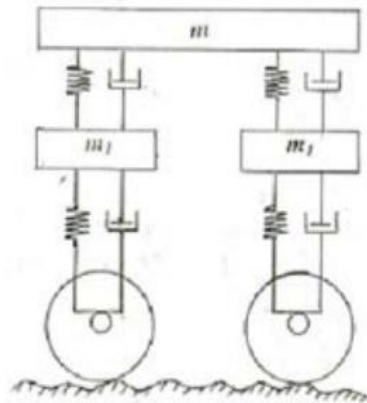
Dinamika kendaraan adalah studi yang mempelajari pergerakan seluruh kendaraan dan seluruh derajat kebebasan sistem kendaraan. Setiap gerakan memiliki kecepatan, akselerasi, dan frekuensinya sendiri. Sama halnya dengan sistem suspensi yang menghubungkan roda dengan bodi kendaraan memperhitungkan pergerakan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



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

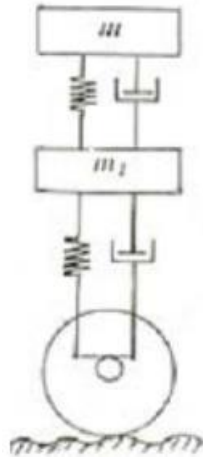
Sistem suspensi setengah kendaraan maupun full kendaraan memungkinkan kendaraan untuk dapat bergerak osilasi yang terjadi pada *sprung mass* maupun *unsprung mass*. [2]

### 2.3.2 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]

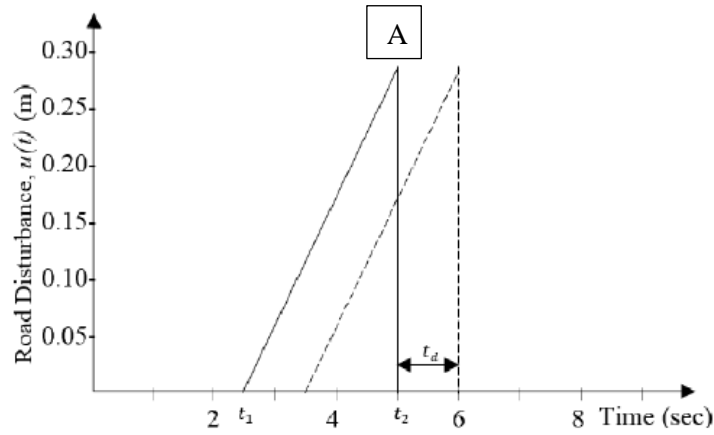
Dalam uraian berikut akan disimulasikan respon dinamik dari model setengah kendaraan. Menggunakan gaya yang diberikan melalui kekakuan, biasanya dapat ditulis dalam bentuk persamaan state space secara umum Untuk harmonik input, bodi kendaraan dan penghubung roda dapat dikalkulasi. Parameter yang digunakan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

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

$$y = Cx + Du$$

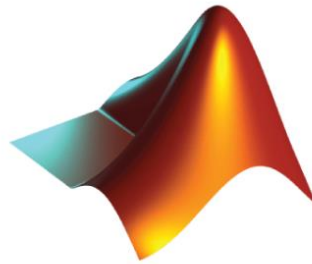
Dimana  $x$  adalah vektor variabel keadaan,  $\dot{x}$  adalah turunan variabel keadaan terhadap waktu,  $u$  adalah vektor variabel input,  $y$  adalah vektor variabel output, dan  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , dan  $D$  adalah matriks yang menggambarkan hubungan antara variabel keadaan, input, dan output.

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)