

## BAB II

### LANDASAN TEORI

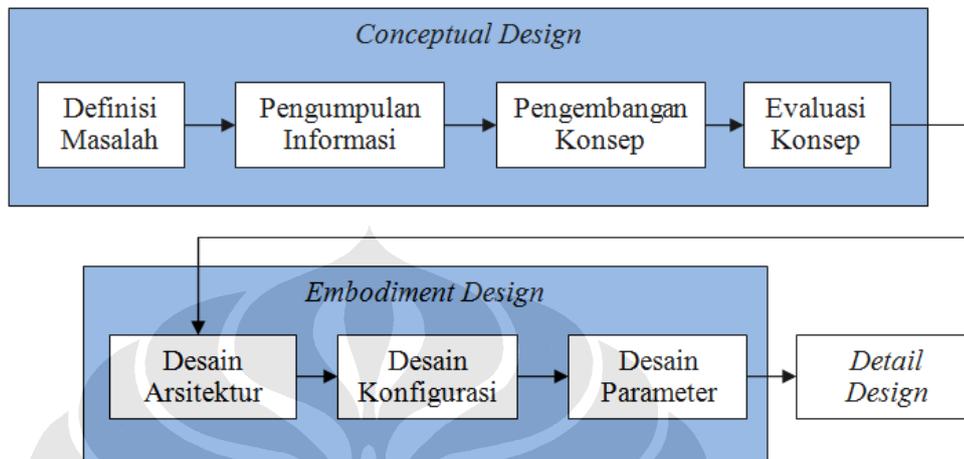
#### 2.1. *ENGINEERING DESIGN*

Definisi merancang adalah merumuskan suatu konsep dan ide yang baru atau merubah konsep dan ide yang sudah ada tersebut dengan cara yang baru dalam usaha memenuhi kebutuhan manusia. Dalam merancang terdapat beberapa aspek yang disebut dengan *The Four C's of Design* [1] yaitu

- *Creativity*  
Memerlukan kreasi dari sesuatu hal yang belum ada sebelumnya atau belum ada di dalam pikiran perancang sebelumnya
- *Complexity*  
Memerlukan pengambilan keputusan terhadap banyaknya variabel dan parameter
- *Choice*  
Memerlukan pilihan diantara berbagai macam kemungkinan solusi yang ada, dari konsep dasar sampai detail yang terkecil dari bentuk
- *Compromise*  
Memerlukan kompromi terhadap kebutuhan – kebutuhan desain yang saling konflik

Dalam perancangan terdapat beberapa tahap yang harus dilalui sebelum rancangan mulai dimanufaktur. Tahapan desain yang pertama menurut Morris Asimow adalah *Conceptual Design*. Pada tahapan ini memerlukan kreatifitas yang besar dan terdapat ketidakpastian yang luas. Tahapan yang kedua adalah *Embodiment Design* dimana pada tahap ini dimulai pemilihan material, dimensi ,

geometri, serta kemungkinan terjadinya kegagalan. Tahapan yang ketiga yaitu *Detail Design* yang di sini merupakan pemeriksaan dari perancangan sebelum proses manufaktur.



Gambar 2.1. Tahap desain

## 2.2. MATERIAL DAN SIFAT-SIFATNYA

Salah satu bagian penting dari proses perancangan adalah pemilihan material. Pemilihan material ini penting karena akan mempengaruhi apakah desain yang direncanakan dapat digunakan sesuai rencana dan tidak mengalami kegagalan (*failure*) setelah proses manufaktur.

Pemilihan material harus memperhatikan sifat dan karakteristik yang diperlukan, dibatasi dengan spesifikasi atau tuntutan rancangan. Perkembangan pesat material ditandai dengan banyaknya jenis atau tipe material yang ada saat ini, dan masing-masing memiliki karakteristik, kelebihan dan kekurangan, serta aplikasinya. Beberapa parameter dalam pemilihan material untuk perancangan produk yaitu sifat material dan kemampuan material tersebut. Metode pemilihan material antara lain<sup>[2]</sup> :

- *Cost vs performance indices*
- *Weighted property indices*
- *Value analysis*
- *Failure analysis*
- *Benefit-cost analysis*

Dalam perancangan tidaklah terlepas hubungan antara kekuatan suatu elemen rangka terhadap beban luar yang bekerja padanya. Beban luar ini menyebabkan adanya tegangan dalam pada elemen mesin tersebut. Suatu perancangan yang baik dan aman haruslah didapatkan bahwa tegangan ini tidak akan pernah melampaui batas maksimalnya. Teori yang digunakan dalam menganalisa kegagalan dalam perancangan ini adalah *Distorsion-Energy Theory* (DET).

Teori energi distorsi biasa dikenal sebagai *von mises criterion*, dalil kegagalan ini disebabkan oleh energi elastik yang bergabung dengan deformasi geser. Teori ini berlaku untuk *ductile material* dan memprediksi hasil pada beban kombinasi (statik dan dinamik) dengan akurasi yang lebih besar dibandingkan teori-teori lain ( walaupun perbedaan antara DET dengan MSST kecil ). Rumus yang digunakan untuk memprediksi kegagalan yaitu:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_1)^2 \}^{1/2} \quad (2.1)$$

$$\sigma_e = \frac{S_y}{n_s} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$$\sigma_e = \text{Von Misses stress.}$$

Beberapa sifat mekanik material lainnya seperti kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan lelah, keuletan, ketangguhan dan sebagainya perlu juga diketahui. Kekuatan tarik dapat diketahui dengan percobaan tarik yang menghasilkan diagram tegangan dan regangan. Hubungan tegangan regangan yang terjadi dapat digambarkan dalam hukum Hooke, yaitu :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Dimana : E = modulus elastisitas

$\sigma$  = tegangan yang terjadi

$\varepsilon$  = regangan yang timbul karena pembebanan

Kekerasan bahan didefinisikan sebagai ketahanan benda terhadap penetrasi gaya dari luar pada permukaannya. Keuletan dikaitkan dengan seberapa besar benda mengalami deformasi plastis sebelum putus. Ketangguhan erat

hubungannya dengan energi yang dibutuhkan untuk mematahkan material. Ketahanan lelah berhubungan dengan umur bahan terhadap pembebanan yang berulang. Untuk material yang menerima beban dinamis seperti suspensi, terutama beban yang bervariasi sangat cepat serta dengan lendutan besar, perlu adanya ketahanan lelah yang tinggi pada material pembentuknya.

Untuk menghitung *safety factor* dari material *ductile* terhadap ketahanan lelah terdapat empat hubungan empiris yaitu *Gerber line*, *Goodman line*, *Soderberg Line*, dan *Yield Line*. Pada perancangan suspensi depan ini menggunakan pendekatan *Goodman Line* [3].

$$\frac{K_f \sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n_s} \quad (2.4)$$

Dimana  $K_f$  = *fatigue stress concentration factor*

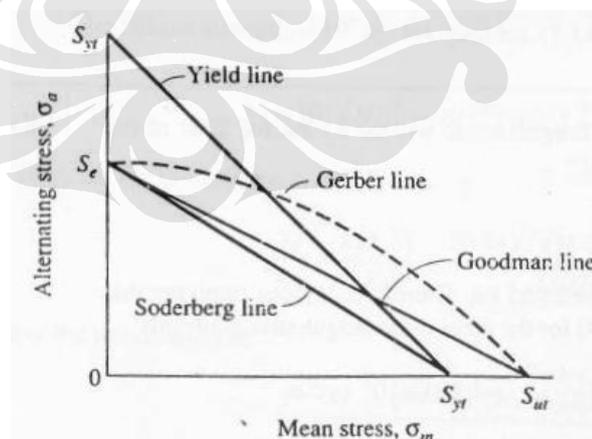
$\sigma_a$  = *alternating stress, Pa*

$S_e$  = *modified endurance limit*

$\sigma_m$  = *mean stress, Pa*

$S_{ut}$  = *ultimate strength in tension, Pa*

$n_s$  = *safety factor*

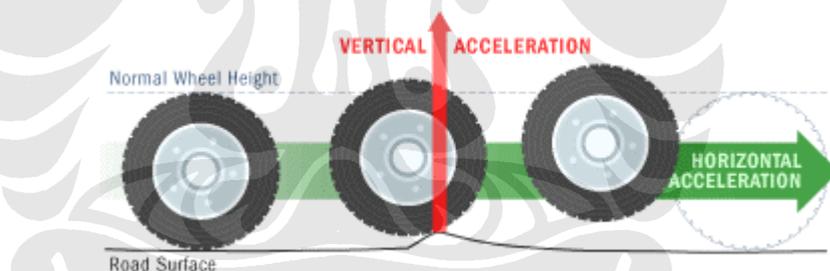


Gambar 2.2. *Gerber line*, *Goodman line*, *Soderberg Line*, dan *Yield Line*

## 2.3 SUSPENSI

Suspensi adalah suatu mekanisme dari sekumpulan benda kaku yang dipasangkan di antara body atau rangka dengan roda-roda yang berfungsi untuk meredam getaran-getaran atau kejutan-kejutan (beban dinamis) yang ditimbulkan oleh keadaan jalan dan juga berfungsi sebagai tumpuan atau penahan berat kendaraan (beban statis). Suspensi pada dasarnya merupakan bagian dari sasis. Sasis terdiri atas rangka kendaraan, sistem suspensi, sistem kemudi, dan roda atau ban. Sistem suspensi ditujukan untuk menciptakan keamanan dan kenyamanan bagi pengemudi maupun penumpang kendaraan.

Dalam sistem suspensi, roda-roda dihubungkan dengan badan kendaraan melalui berbagai macam sambungan yang membolehkan percepatan vertikal dari roda relatif terhadap badan kendaraan dapat diatasi oleh pegas dan peredam. Ketika sebuah beban tambahan ditempatkan pada pegas-pegas atau kendaraan bertemu dengan sebuah *bump* di jalan, pegas tersebut akan menyerap beban dengan melakukan kompresi.



Gambar 2.3. Percepatan vertikal roda

Kendaraan modern telah mensyaratkan aspek keamanan dan kenyamanan sebagai spesifikasi utama. Pegas merupakan komponen yang sangat penting dari sistem suspensi yang menyediakan kenyamanan dalam berkendara. Peredam kejut membantu mengontrol seberapa cepat pegas untuk melakukan peredaman serta menjaga ban tetap kontak dengan permukaan jalan.

Komponen utama dari sistem suspensi antara lain :

1. Pegas
2. Peredam kejut

### 3. Ban

#### 2.3.1 Pegas

Pegas (*spring*) adalah suatu elemen mesin fleksibel yang dapat menyimpan energi dari beban-beban atau gaya-gaya yang diberikan dan akan mengembalikan energi yang besarnya sama dengan beban jika beban dihilangkan. Gaya yang dihasilkan dapat berupa *linear push / pull* atau radial.

Pegas merupakan elemen penumpu utama dari suspensi karena berfungsi untuk menahan berat dari kendaraan, menjaga ketinggian berkendara, dan menyerap kejutan yang terjadi di jalan. Sesuai sifatnya, pegas akan berubah bentuk karena beban. Selain itu, pegas sangat baik dalam menyerap energi, tapi buruk sekali dalam disipasi. Defleksi pegas diukur dari pemendekan yang diperoleh dari panjang saat pegas belum dibebani dikurangi panjang sesudah dibebani.

Dalam formulasi dan penentuan kekakuan pegas, perlu dibedakan massa beban yang ditumpu pegas dan massa beban di bawahnya. Massa beban yang ditumpu biasa disebut *sprung mass*, sedangkan massa di bawah pegas (roda, batang-batang mekanisme, sambungan, dll.) disebut *unsprung mass*.

#### Tipe-tipe Pegas

Pegas terbagi menjadi beberapa tipe dilihat dari bentuk dan fungsinya.

1. Pegas spiral
2. Pegas daun
3. Batang torsi
4. Pegas udara

##### 2.3.1.1 Pegas Spiral

Pegas spiral adalah pegas yang paling banyak digunakan sampai saat ini. Dibentuk dari kawat yang dililit sehingga berbentuk spiral. Penampang dari kawat yang digunakan berupa lingkaran maupun persegi. Diameter dan panjang dari

kawat menentukan kekuatan dari pegas tersebut. Makin besar diameter dari kawat akan menghasilkan pegas yang lebih kuat, sementara makin panjang kawat akan membuatnya lebih fleksibel.

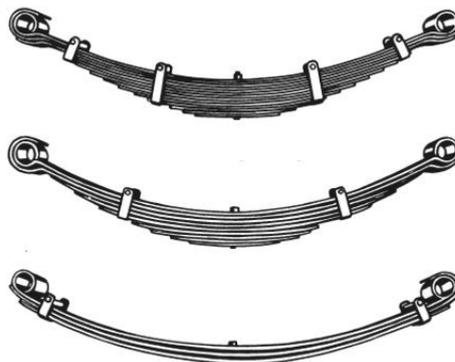


Gambar 2.4. Pegas spiral

Pegas spiral dapat berupa pegas tekan maupun pegas tarik. Aplikasinya pada bagian belakang kendaraan beroda dua dan pada bagian depan kebanyakan kendaraan beroda empat, jam, galvanometer, dan sebagainya.

#### 2.3.1.2 Pegas Daun

Dari bentuk lapisannya terdapat dua jenis dari pegas daun yaitu pegas daun tunggal dan pegas daun berlapis. Pada pegas daun tunggal, tegangan yang terjadi pada pegas selama diberi beban tidak rata. Bila dikehendaki tegangan pegas yang rata pada seluruh penampangnya, maka bentuknya tidak akan sama melainkan berubah beraturan dari besar mengecil. Jelas bentuk semacam ini tidak baik. Untuk mendapatkan tegangan yang rata dengan bentuk yang baik maka dibuat pegas daun berlapis. Pegas daun berlapis disusun dan disatukan dengan perantaraan klem atau mur-baut. Pegas jenis ini banyak digunakan pada bagian belakang kendaraan bermotor roda empat, khususnya untuk jenis truk dan jip.

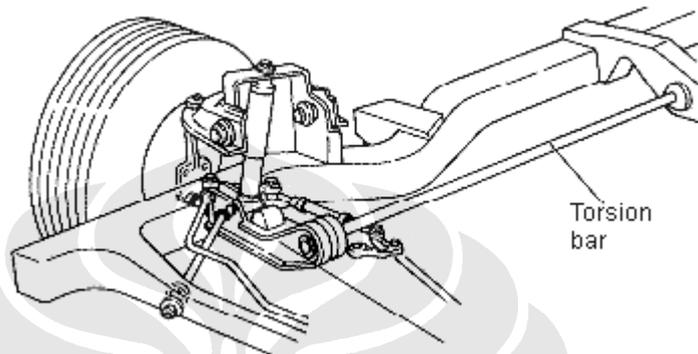


Gambar 2.5. Pegas daun

### 2.3.1.3 Batang Torsi

Batang torsi adalah pegas yang berbentuk sebuah batang yang lurus atau berbentuk L dari yang terbuat dari baja. Salah satu ujungnya diikat pada badan konstruksi, sedangkan ujung yang lain menjadi lengan untuk tumpuan beban. Beban akan menghasilkan momen torsi yang akan diredam oleh batang torsi.

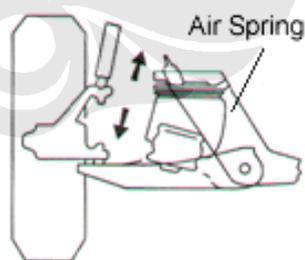
A longitudinal torsion bar mounted along the chassis



Gambar 2.6. Batang torsi

### 2.3.1.4 Pegas Udara

Pegas udara adalah jenis pegas yang unik karena menggunakan media udara untuk melakukan peredaman. Pegas jenis ini dapat kita temukan pada mobil penumpang, truk dengan kategori berat kendaraan yang ringan sampai berat.



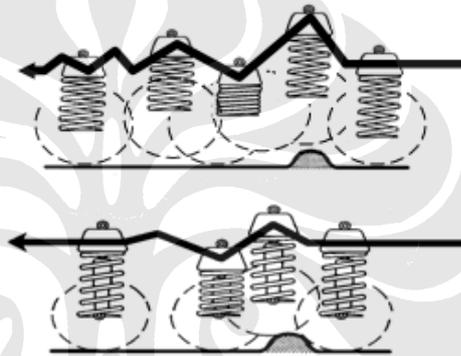
Gambar 2.7. Pegas udara

Pegas udara yang ditunjukkan pada gambar adalah sebuah silinder karet yang diisi dengan udara bertekanan. Sebuah piston yang diikatkan pada *lower control arm* bergerak ke atas dan ke bawah. Ini menyebabkan udara bertekanan berfungsi sebagai pegas. Jika beban kendaraan berubah, sebuah katup pada bagian

atas dari *airbag* akan terbuka untuk menambah atau melepaskan udara. Sebuah kompresor yang dipasang akan menyediakan udara.

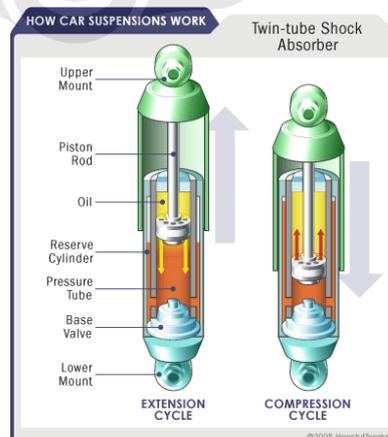
### 2.3.2 Peredam Kejut

Jika suspensi hanya dilengkapi dengan sebuah pegas saja, maka setiap kendaraan yang menghantam sebuah *bump* akan mengalami pantulan yang naik turun selama beberapa kali pada frekuensi natural pegasnya. Ketika tertekan oleh sebuah *bump*, sebuah sistem suspensi membutuhkan komponen untuk mendisipasi energi yang tersimpan pada pegas. Peredam kejut adalah alat yang mendisipasi energi tersebut dan menjaga kendaraan mengalami pantulan yang lepas kendali.



Gambar 2.8. Disipasi peredam kejut

Konstruksi umum dari peredam kejut adalah seperti terlihat pada gambar. Peredam kejut ini terdiri dari bagian silinder yang berfungsi sebagai penutup dan tempat pemasangan batang piston. Pada bagian dalam terdapat katup-katup yang berguna untuk mengalirkan fluida dari tabung atas ke tabung bawah.

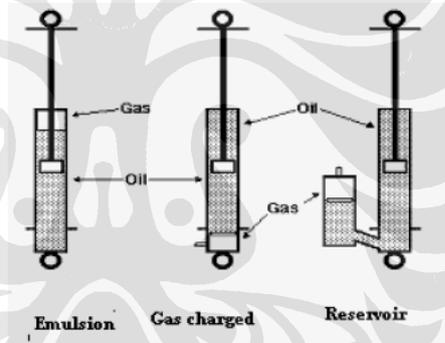


Gambar 2.9. Konstruksi umum peredam kejut

Untuk kendaraan, konstruksi peredam dibuat sedemikian rupa sehingga saat langkah tekan, gaya peredaman dibuat minimal sedangkan saat langkah tarik, gaya peredaman dibuat maksimal. Alasannya, pada saat langkah tekan, *massa sprung* menghantam bumi. Sesuai hukum Newton, gaya reaksi yang diterima badan kendaraan akan sepadan dengan aksi. Oleh sebab itu, diupayakan gaya peredaman minimal saat kendaraan bergerak ke bawah supaya gaya yang diterima penumpang juga minimal. Sebaliknya, saat langkah tarik, kendaraan hanya menghantam udara. Oleh karena itu, tak akan ada reaksi berlebihan yang diterima penumpang.

Jenis-jenis peredam kejut yang biasa ditemukan adalah :

1. *oil filled*
2. *gas charged*
3. *reservoir*



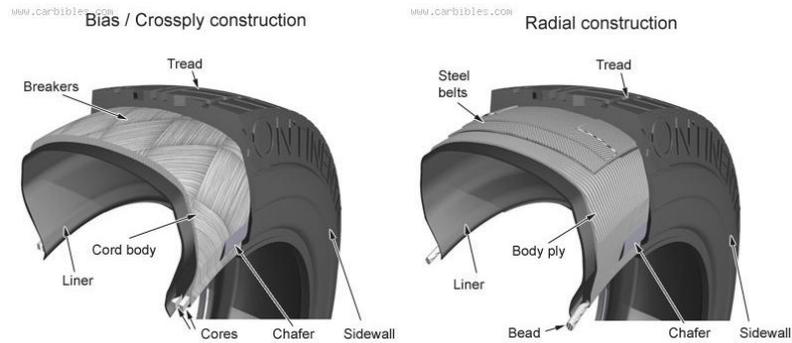
Gambar 2.10. Jenis peredam kejut

### 2.3.3 Ban

Ban adalah pegas udara yang menyangga berat keseluruhan dari kendaraan. Ukuran ban, konstruksi, penyusunan, dan tekanan udara yang diberikan adalah sangat penting untuk memenuhi standar keselamatan dan kualitas berkendara.

Ban kendaraan dapat dibagi menjadi dua yaitu ban dengan ban dalam (*bias ply, radial ply*) dan ban tanpa ban dalam (*tubeless*).

### 2.3.3.1. Dengan Ban Dalam



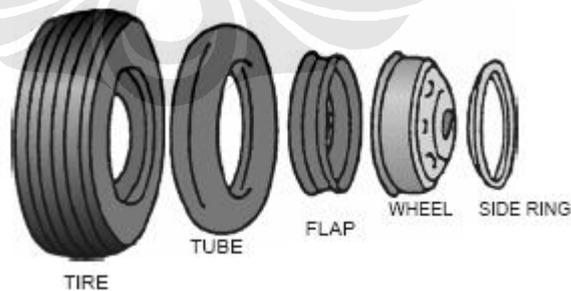
Gambar 2.11. Konstruksi *bias ply* dan *radial ply*

#### a) *Bias ply*

Ban ini dibuat dengan lapisan serat arah miring. Memiliki tapak (*tread*) dengan daya serap benturan yang baik sehingga memberikan kenyamanan berkendara. Adapun ketahanan terhadap keausan dan guncangan (*roll*) tidak sebaik ban radial.

#### b). *Radial ply*

Lapisan serat pada ban ini menyilang lingkaran ban, ditambah lapisan sabuk searah lingkaran ban. Tipe ban ini, sabuk terbuat dari serat baja. Ban ini disebut ban radial baja. Tapaknya lebih kaku, lebih tahan terhadap guncangan dan keausan daripada tipe bias, namun kurang nyaman pada jalan tidak rata.

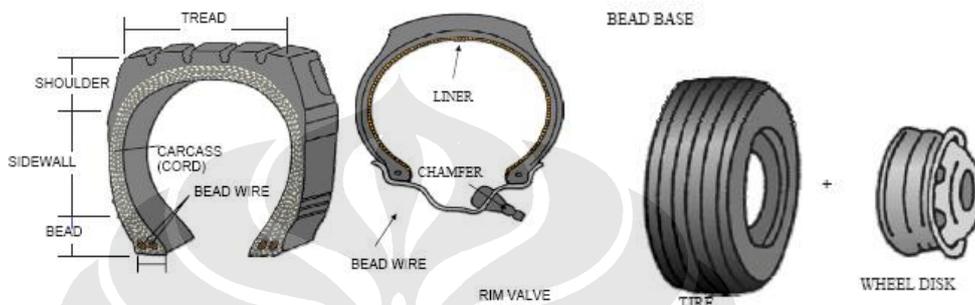


Gambar 2.12. Roda dengan ban dalam

### 2.3.3.2. Tanpa Ban Dalam (*Tubeless*)

Tipe ini dirancang untuk menahan udara langsung didalamnya tanpa menggunakan ban dalam. Dilengkapi dengan lapisan dalam untuk menghindari kebocoran udara serta berfungsi untuk menghambat udara bocor dengan cepat saat

ban tertusuk, sehingga tingkat keamanannya cukup baik. Keuntungan ban *tubeless* yaitu saat ban terkena paku atau benda tajam lainnya, *tread* dan *liner* mencengkeram kuat pada paku, sehingga dapat mencegah kebocoran udara sehingga ban tidak cepat kempis. Karena udara dalam ban berhubungan langsung dengan rim, transfer radiasi panas akan lebih baik. Dengan dihilangkannya ban dalam, *flap* dan *side ring* ban menjadi lebih ringan.



Gambar 2.13. Roda tanpa ban dalam

#### 2.3.4 Tipe Sistem Suspensi

Berkenaan dengan konfigurasi, ada dua jenis sistem suspensi, yakni *dependent* dan *independent*. Suspensi *dependent* dapat dicirikan dari poros penghubung roda kiri dan kanan yang merupakan satu kesatuan utuh serta kaku (*rigid*). Biasanya, suspensi *dependent* dipakai di kendaraan angkutan (truk). Pegas yang digunakan untuk menumpu *sprung mass* biasanya dari jenis pegas daun (*leaf spring*).

Suspensi *independent*, umumnya digunakan di roda depan sedan atau kendaraan penumpang (*mini bus*) keluaran terbaru. Dari konstruksinya, dapat dilihat bahwa suspensi *independent* memungkinkan roda kiri untuk bergerak bebas terhadap roda kanan, meski hanya untuk kisaran gerak yang terbatas. Adapun kombinasi dari keduanya yang disebut dengan *semi-dependent system*. Pada kasus ini sebuah *swing axle* digunakan tetapi roda juga dihubungkan dengan sebuah *solid tube*, contohnya adalah *de Dion axle*.



Gambar 2.14. de Dion axle

*Bose suspension* adalah inovasi terbaru dari sistem suspensi yang melibatkan Bose Corporation. Sistem ini menggunakan motor elektromagnetik yang dapat secara otomatis mengatur suspensi secara cepat ketika menghantam *bump* pada kecepatan tinggi, atau bahkan pada belokan yang tajam.

Berdasarkan letaknya pada kendaraan suspensi dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu suspensi depan dan suspensi belakang. Baik bagian depan maupun belakang kendaraan, sistem suspensi bekerja secara masing-masing atau dengan kata lain dalam kendaraan roda empat memiliki dua sistem yang bekerja secara bebas. Sehingga sebuah kendaraan dapat mempunyai sistem suspensi yang berbeda pada bagian depan dan belakangnya.

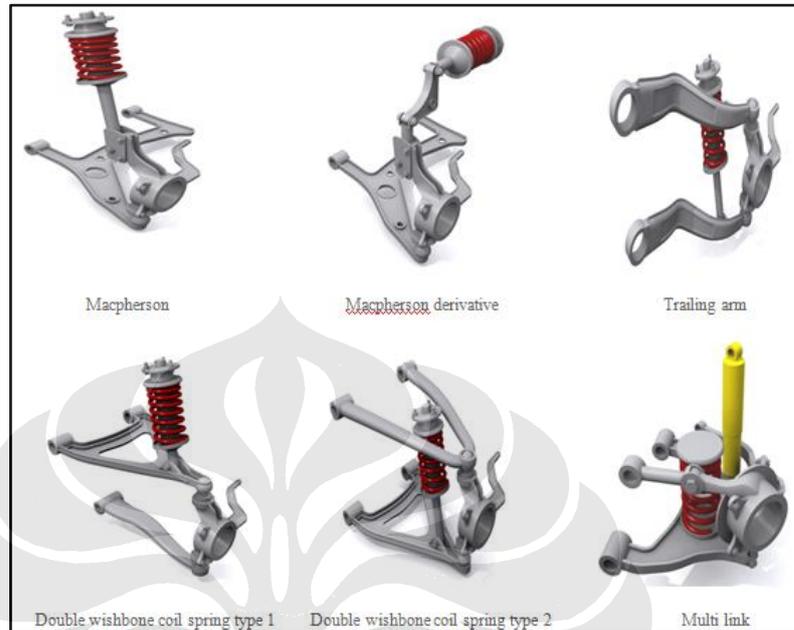


Gambar 2.15. *Bose suspension*

#### 2.3.4.1 Suspensi Depan

Suspensi depan adalah suatu mekanisme yang ditempatkan pada roda depan kendaraan. Sistem yang terdapat di sini terhubung dengan sistem *steering*, yang mempunyai peran penting dalam mengatur arah kendaraan.

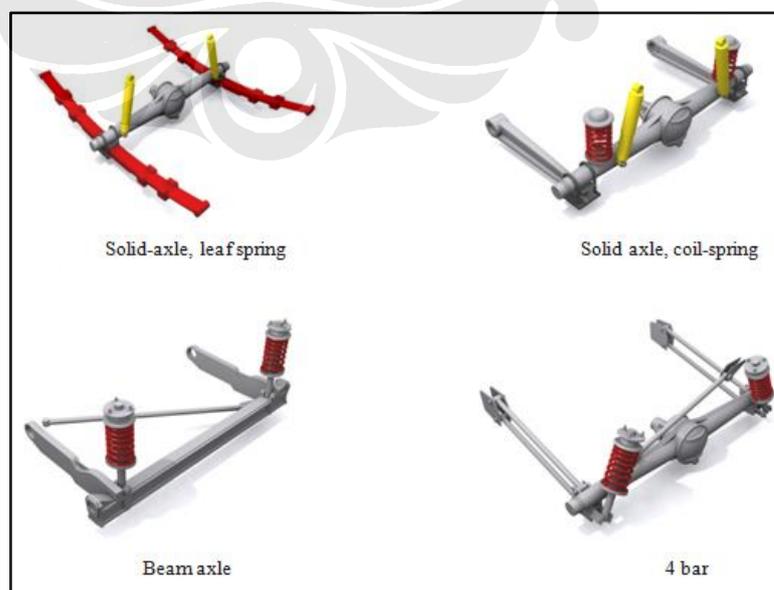
Terdapat berbagai macam model antara lain : model *macpherson*, *double wishbone*, *trailing arm*, dan *multi link*. Konstruksi dasar model-model tersebut pada gambar di bawah.



Gambar 2.16. Tipe suspensi depan

#### 2.3.4.2 Suspensi Belakang

Suspensi belakang adalah suatu mekanisme yang ditempatkan pada roda belakang kendaraan. Segala sistem yang dipakai pada suspensi depan dapat dipakai oleh suspensi belakang hanya saja tidak terhubung dengan sistem *steering*. Model-model tersebut antara lain *solid axle*, *beam axle*, dan *4 bar*.



Gambar 2.17. Tipe suspensi belakang

### 2.3.5 Mekanisme Kerja Sistem Suspensi

Suspensi bergerak naik turun saat mobil berpegas. Gerak turun peredam kejut (*shock absorber*) adalah langkah tekan dan gerak naik peredam kejut adalah langkah tarik. Pada langkah tekan piston bergerak turun sampai dasar langkah tekan.

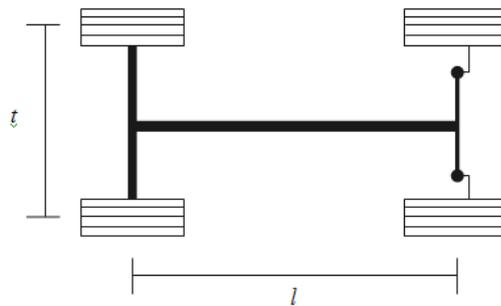
Pada langkah tarik piston bergerak ke atas dan memaksa minyak dari ruang tekan sebelah atas masuk ke dalam ruang tekan sebelah bawah. Minyak yang semula mengisi *reservoir* keluar lewat lubang pemasukan pada klep tekan menuju ke ruang kompresi. Adanya aliran minyak tersebut menghambat gerak naik turun piston. Dengan demikian gerak elastis daripada pegas diredam.

### 2.3.6 Geometri Suspensi

Dalam merancang suatu sistem suspensi terdapat beberapa parameter desain yang diperlukan, antara lain :

#### 2.3.6.1. *Wheelbase* dan *Track width*

*Wheelbase* ( $l$ ) adalah jarak antara sumbu roda bagian depan dan belakang yang harus menjadi penentuan utama dalam perancangan sasis. *Track width* ( $t$ ) adalah jarak antara garis pusat roda kiri dan kanan. Panjang track width pada bagian depan dapat berbeda dengan bagian belakang kendaraan. *Wheelbase* dan *track width* dari kendaraan harus ditentukan terlebih dahulu dalam desain sistem suspensi, karena mempengaruhi radius putaran dan perpindahan massa dari kendaraan tersebut.



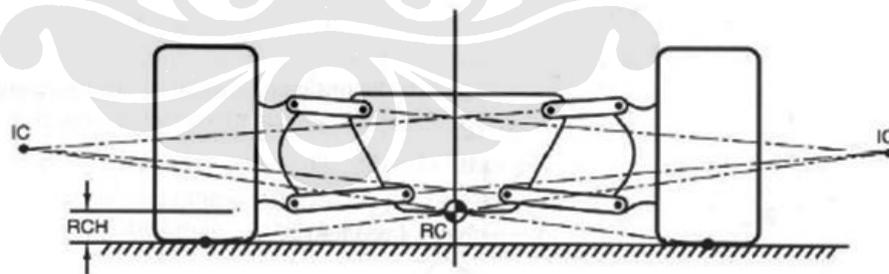
Gambar 2.18. *Wheelbase* dan *track width*

### 2.3.6.2. Instantaneous center

*Instantaneous center (IC)* dari sistem suspensi adalah titik pusat sesaat yang terbentuk ketika roda berputar dan juga merupakan titik lewat dari gaya-gaya yang bekerja pada roda terhadap massa sprung. *IC* dapat juga disebut sebagai 'swing center'. Letak titik ini dapat diketahui dengan memproyeksikan sebuah garis sepanjang *upper* dan *lower control arms* sampai mereka berpotongan pada suatu titik seperti ditunjukkan pada gambar 2.19. *IC* mengontrol gaya dan gerak dan juga mempengaruhi perubahan *camber* dari roda ketika terangkat sebagai akibat dari percepatan.

### 2.3.6.3. Roll center

*Roll centre* adalah titik sesaat yang menunjukkan titik relatif berputarnya sasis terhadap permukaan jalan. Lokasi *roll centre* dapat diketahui dengan menggambar sebuah garis dari masing-masing pusat garis roda terhadap permukaan jalan dan memanjangkannya pada *instant center* seperti ditunjukkan pada gambar di bawah. Lokasi *roll centre* dari bagian depan dan belakang biasanya berbeda. Jika dihubungkan dengan sebuah garis maka menunjukkan sumbu putaran dari sasis, garis tersebut adalah *roll axle*.



Gambar 2.19. *Instantaneous center* dan *roll center*

### 2.3.6.4 Camber Angle

*Camber angle* adalah sudut dari bidang roda terhadap vertikal. Sudut *camber* bernilai negatif jika bagian atas dari ban miring menuju ke arah garis pusat kendaraan dan bernilai positif jika menjauhi garis pusat. Nilai *camber* mengalami perubahan selama kendaraan berjalan.

### 2.3.6.5 Caster Angle

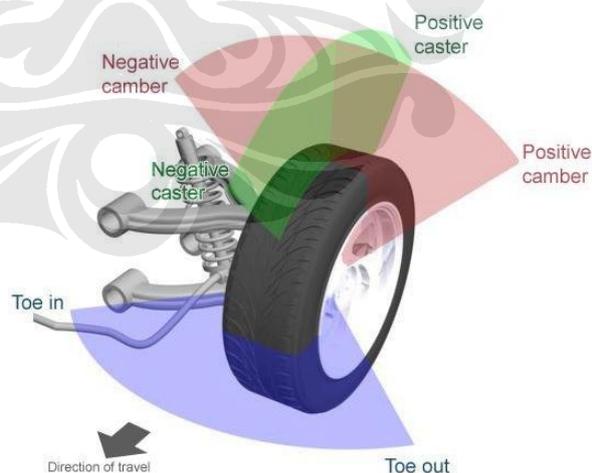
*Caster angle* adalah sudut yang terletak diantara sumbu *steering* dan vertikal. Bernilai positif jika sumbu *steering* cenderung ke belakang (pada arah *upright*) dan bernilai negatif ketika sumbu *steering* cenderung maju. Nilai *caster* yang bernilai positif ditujukan untuk meningkatkan *road feel* (dan *spin back*).

### 2.3.6.6 Static toe angle

*Static toe angle* merupakan sudut antara sebuah sumbu longitudinal dari kendaraan dan perpotongan garis dari bidang roda dan permukaan jalan. Roda dikatakan *toed-in* jika posisi depan dari roda menuju pusat dari sumbu longitudinal kendaraan, dan *toed-out* jika ke arah sebaliknya.

### 2.3.6.7 Static toe

*Static toe-in* atau *toe-out* dari sepasang roda diukur dalam satuan millimeter dan menggambarkan perbedaan jarak antara bidang roda yang diambil pada titik ekstrim bagian atas dan bawah dari permukaan ban. Ketika jarak bagian bawah lebih besar maka roda dikatakan *toed-in* dan jika jaraknya lebih kecil dikatakan *toed-out* seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 2.20. *Camber, caster, dan toe*