

ANALISIS KEBOLEHARAPAN DAN JANGKA HAYAT KOMPONEN  
AUTOMOTIF STEERING KNUCKLE MENGGUNAKAN CAE

ZAIDY BIN ZAINUDIN

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

Saya / Kami akui bahawa telah membaca  
karya ini dan pada pandangan saya / kami karya ini  
adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan  
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Automotif)

Tandatangan : -----  
Nama penyelia I : -----  
Tarikh : -----

Tandatangan : -----  
Nama penyelia II : -----  
Tarikh : -----

ANALISIS KEBOLEHARAPAN DAN JANGKA HAYAT KOMPONEN  
AUTOMOTIF STEERING KNUCKLE MENGGUNAKAN CAE

ZAIDY BIN ZAINUDIN

Laporan ini dikemukakan sebagai memenuhi sebahagian  
daripada syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal  
(Automotif)

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

APRIL 2009

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya telah jelaskan sumbernya”

Tandatangan : -----  
Nama Penulis : -----  
Tarikh : -----

Untuk ayah dan ibu tersayang

## **PENGHARGAAN**

Penulis ingin merakamkan syukur kehadiran Allah S.W.T berkat limpah kurnia dan rahmat-Nya dapat saya menyelesaikan Projek Sarjana Muda saya dalam tempoh yang ditetapkan. Penghargaan saya tujukan pada penyelia saya, En Mohd Asri berkat bimbingan serta tunjuk ajar beliau membantu saya sepanjang menjalani Projek Sarjana Muda ini. Juga terima kasih saya kepada rakan-rakan yang membantu saya secara langsung mahupun tidak langsung pertolongan anda amat saya hargai. Akhir sekali penghargaan saya tujukan kepada semua yang terlibat secara langsung mahupun tidak membantu saya dalam proses menyelesaikan laporan Projek Sarjana Muda ini. Semoga laporan ini dapat membantu sebagai rujukan kepada pelajar lain di masa kelak.

## ABSTRACT

Knuckle steering was an automotive component that undergoes to the time-varying loading during its service life. The cyclic loading onto it can lead to component fatigue and tendency to fail which means crack or crash. Therefore this research program aimed to recognise the reliability of the knuckle steering and its lifetime during its services by using a Computer Aided Engineering (CAE). By researching using a CAE, the study of steering knuckle can be done by computer stimulation and with that we are able to cut the operation cost for that studies. In order to find the reliability for its fatigue of knuckle steering the value of the loading cyclic had been searched before by taking a sample of the other researcher of the fatigue of knuckle steering and the result will be analyzed by using the Finite Analysis Element method. In this analysis we look at the changes that happened in the model after a load had been put on it. We also determine the area that experiences a high pressure compared to the other area by determining its code's colour. With this observation we can look at the critical area that has a high tendency to fatigue or fail which is the area that first cracks or crashes. Besides that this analysis will predict the reliability of the model by observing the period of the model after a repeated loading had been put on it before the model shows the tendency to fail or fatigue.

## ABSTRAK

Knuckle steering merupakan satu komponen automotif yang melibatkan keterusan daya yang dikenakan ke atasnya sepanjang tempoh penggunaannya. Penggunaan knuckle steering yang berterusan menyebabkan ianya lesu dan berkecenderungan untuk retak ataupun pecah. Kajian ini dilakukan bagi mengenalpasti tempoh keboleharapan sesuatu *knuckle steering* serta menilai jangka hayatnya menggunakan Kejuruteraan Berbantu Komputer (CAE). Melalui kajian menggunakan CAE, kajian terhadap knuckle steering boleh dilakukan secara simulasi sekaligus mampu untuk mengurangkan kos operasi terhadap kajian *steering knuckle* berkenaan. Dalam kajian ini kita melihat bagaimana perubahan yang berlaku termasuk perubahan bentuk plastik model setelah daya dikenakan ke atasnya. Analisis juga akan mengenalpasti kedudukan kawasan daya yang memiliki tindakan daya yang tinggi berbanding dengan kawasan-kawasan lain melalui kod-kod warna yang telah ditetapkan. Melalui penelitian ini kita akan melihat kawasan kritikal yang mempunyai kecenderungan yang lebih tinggi untuk lesu ataupun gagal iaitu kawasan yang mula-mula retak ataupun pecah. Disamping itu kajian akan meramal ketahanan model melalui tempoh berapa lama ianya mampu bertahan setelah daya dikenakan berulang kali sebelum ianya mencapai tahap lesu atau pun gagal.



## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>ABSTRAK</b>	<b>i</b>
	<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>ii</b>
	<b>KANDUNGAN</b>	<b>iii</b>
	<b>SENARAI JADUAL</b>	<b>vi</b>
	<b>SENARAI RAJAH</b>	<b>vii</b>
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I</b>	<b>Pengenalan</b>	<b>1</b>
	1.1 Latar Belakang Projek	1
	1.1.1 Aplikasi CAE Dalam Industri Automotif	2
	1.1.2 Tajuk Kajian - <i>Steering Knuckle</i>	2
	1.2 Kepentingan projek	3
	1.3 Objektif	4
	1.4 Skop Projek	4
	1.5 Ringkasan Laporan Projek	4
<b>BAB II</b>	<b>Kajian Ilmiah</b>	<b>6</b>
	2.1 <i>Steering Knuckle</i>	6
	2.2 Komponen Yang Bersambungan Dengan <i>Steering Knuckle</i>	9
	2.2.1 <i>Tie Rod</i>	9

2.2.2	<i>Lower Arm</i>	10
2.2.3	Brake Disk	11
2.2.4	Sistem Suspensi	11
2.3	<i>Fatigue</i>	12
2.3.1	Faktor yang Mempengaruhi Kelesuan	13
2.3.2	Lenkungan S-N (S-N Curve)	14
2.4	<i>Finite Element Analysis</i>	15
2.5	Sifat-sifat Mekanikal yang Terdapat Pada Steering Knuckle.	16
<b>BAB III</b>	<b>KAEDAH KAJIAN</b>	<b>18</b>
3.1	Proses Rekabentuk	19
3.1.1	<i>Pre-Processing</i>	19
3.1.2	<i>Processing (Solving the Model)</i>	21
3.1.3	<i>Post-processing</i>	21
<b>BAB IV</b>	<b>KEPUTUSAN</b>	<b>22</b>
<b>BAB V</b>	<b>PERBINCANGAN</b>	<b>23</b>
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>24</b>

**SENARAI JADUAL**

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
1.	Jadual 2.5.1: Jadual sifat-sifat mekanikal bagi <i>steering knuckle</i> . (Sumber daripada Zoroufi, M, Fatemi, A. 2003).	16
2.	Jadual 2.5.2: Data ujian komponen terhadap besi tempa dan juga besi tuang (Sumber daripada Zoroufi, M, Fatemi, A. 2003).	17
3.	Jadual 4.1 Bilangan Frekuensi yang terlibat ketika analisis dijalankan	34

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>BIL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
1.	LUKISAN PANDANGAN ISOMERIC	43
2.	LUKISAN PANDANGAN-PANDANGAN SISI	44
3.	LUKISAN PANDANGAN HADAPAN	45

## BAB 1

### PENGENALAN

#### 1.1 Latar Belakang Projek

Kejuruteraan Berbantu Komputer (CAE) adalah satu penggunaan teknologi berkomputer untuk membantu dan memudahkan kerja para jurutera melaksanakan kerja-kerja mereka seperti menganalisis data, simulasi, mereka bentuk sesuatu komponen, merancang sesuatu projek, diagnosis serta membaikpulih mesin-mesin ataupun jentera-jentera mekanikal. Perisian-perisian kejuruteraan yang menjalankan aktiviti-aktiviti di atas ataupun terlibat secara langsung dengan aktiviti-aktiviti berkaitan dengan kejuruteraan diklasifikasikan sebagai *CAE tools*. Pada masa akan datang penggunaan CAE akan meningkat kerana sumbangannya membantu para jurutera dalam aktiviti-aktiviti mereka bentuk ataupun dalam aktiviti membuat keputusan terhadap sesuatu ujian. Penggunaan CAE meliputi sebahagian besar bidang kejuruteraan termasuklah:

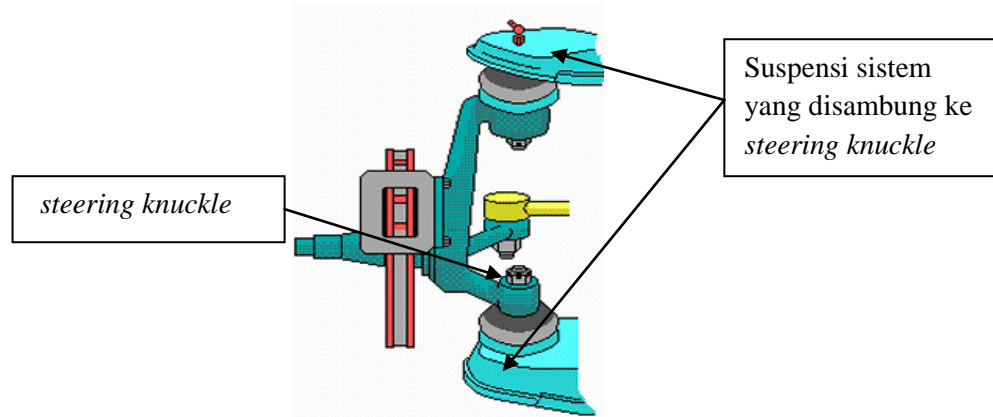
- (a) Analisis ketegangan terhadap sesuatu komponen ataupun sambungan menggunakan FEA (*Finite Element Analysis*);
- (b) Analisis terhadap aliran haba dan cecair, *Computational Fluid Dynamics* (CFD);
- (c) Kinematik;
- (d) *Mechanical Event Simulation* (MES);
- (e) Analisis terhadap sesuatu simulasi bagi sesetengah operasi seperti *casting*, *molding*, dan *die press forming*.

### 1.1.1 Aplikasi CAE di dalam industri automotif

CAE digunakan secara meluas di dalam industri automotif kerana pengusaha industri automotif dapat mengurangkan masa serta kos pembangunan penyelidikan dalam meningkatkan lagi keselamatan, keselesaan, serta ketahanan terhadap produk automotif mereka. Melalui CAE mereka boleh menjalankan kajian terhadap ciri-ciri tersebut secara simulasi komputer tanpa menggunakan ujian fizikal prototaip sekaligus dapat menjimatkan kos, masa serta ruang ujian. Terdapat tiga kaedah dalam penghasilan simulasi komputer CAE dan setiap langkah berkenaan menggunakan perisian yang berbeza. Antara perisian yang selalu digunakan dalam industri automotif adalah seperti CATIA ataupun AutoCAD yang digunakan semasa proses pre-prosesing di mana penggunaannya hanyalah melibatkan lakaran kepada reka bentuk. Peringkat kedua pula adalah prosesing di mana nilai-nilai daya yang berkaitan dimasukkan ke dalam software seperti MSC's PATRAN, ADAMS, serta I-DEAS manakala pada peringkat post-processing pula perisian yang sering terlibat adalah seperti MSC's NASTRAN, serta I-DEAS perisian-perisian yang lain pula seperti LSTC's LS-DYNA and ESI's PAM-CRASH digunakan untuk menjalankan ujian *Automotive crashworthiness* dan *Occupant safety*. Dalam tajuk berkaitan CAE digunakan untuk mengkaji keboleharapan steering knuckle apabila dikenakan sesuatu daya yang berulang sehingga ianya mencapai tahap gagal. Melalui CAE ia dapat menjimatkan kos eksperimen terhadap keboleharapan steering knuckle kerana keputusan ujian ini segera didapati tanpa melalui proses yang berulang-ulang untuk menentukan keputusannya.

### 1.1.2 Tajuk Kajian - *Steering Knuckle*

Steering knuckle adalah satu komponen automotif yg digunakan untuk menyambung bahagian suspensi ke roda kenderaan serta menjadi titik pivot antara roda serta suspensi sistem di mana tugasnya membenarkan roda berputar tanpa mengganggu fungsi suspensi sistem itu sendiri.



Rajah 1.1.1: Fungsi *steering knuckle* pada kenderaan

Sumber daripada [www.about.com/autorepair](http://www.about.com/autorepair)

*Steering knuckle* diletakkan di antara bahagian atas serta bahagian bawah *ball joints* pada suspensi *SLA*, serta antara *strut* dan bahagian bawah *ball joint* pada suspensi *MacPherson strut*. *Steering knuckle* ini berfungsi dengan cara menjadi titik pivot sistem steering, di mana tugasnya membenarkan roda berputar dengan lancar. Kenderaan yang menggunakan sistem suspensi konvensional masa kini meletakkan *spindle steering knuckle* serta membenarkan roda bearing sama ad bearing luar mahupun dalam. Kenderaan yang menggunakan sistem suspensi *strut MacPherson*, *knuckle steering*-nya memiliki sedikit bukaan ataupun ruang untuk membenarkan sambungan di antara *CV axle shaf* terus kepada hub roda serta penyambung bearing. *Steering knuckle* mesti diperiksa setahun sekali bagi memastikan keupayaan serta ketahanannya sebagai pusat sambungan kepada sistem suspensi serta roda kerana kegagalan sesuatu *steering knuckle* akan menyebabkan kenderaan tersebut kehilangan pusat sambungan sekaligus membahayakan pemilik kenderaan berkenaan. Kegagalan sesuatu *steering knuckle* adalah perkara yang sering terjadi kerana fungsi *steering knuckle* itu sendiri menerima daya daripada pelbagai arah terutama daya yang kuat daripada sambungan sistem suspensi serta roda bearing.

## 1.2 Kepentingan Projek

Penggunaan CAE di dalam bidang kejuruteraan pada masa kini amat penting dan kebanyakan industri di Malaysia sedar akan kepentingannya. Kepentingan projek ini adalah untuk menunjukkan secara lebih terperinci mengenai penggunaan CAE di

dalam kejuruteraan serta membuat perbandingan keputusan antara simulasi komputer dan experiment makmal. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji keupayaan steering knuckle serta meramalkan jangka hayat sesuatu komponen menggunakan CAE bertujuan memberi maklumat kepada pemilik kereta bagi memudahkan mereka menentukan masa untuk mereka melakukan penyelenggaraan serta mendapatkan alat ganti komponen steering knuckle pada masa yang sesuai.

### **1.3 Objektif**

- i. Menilai keboleharapan komponen automatif knuckle steering menggunakan CAE;
- ii. Mengenalpasti ketahanan tindakan daya ke atas knuckle steering dan ;
- iii. Menggunakan CAE dengan betul agar dapat mengenalpasti kegagalan sesuatu komponen automatif melalui simulasi komputer.

### **1.4 Skop Projek**

- i. Mengenalpasti data-data kegagalan bagi knuckle steering melalui kaedah kajian literatur seperti jurnal, artikel-artikel, buku rujukan serta carian internet;
- ii. Memproses data-data yang telah diperolehi menggunakan CAE.

### **1.5 Ringkasan Laporan Projek**

Laporan projek akan menceritakan serba sedikit mengenai pengenalan steering knuckle melalui memperkenalkan jenis-jenisnya mengikut jenis strut yang bersambungan dengannya. Selain itu saya akan menceritakan serba sedikit mengenai komponen-komponen yang bersambungan dengan steering knuckle berkenaan serta



menyatakan daya-daya yang bertindak ke atas knuckle steering hasil tindakan daripada aktiviti yang berlaku pada setiap komponen yang bersambung dengan steering knuckle. Analisis kemudian akan dilakukan menggunakan beberapa jenis software dan melihat kesan tindakan daya yang bertindak ke atas steering knuckle dan kemudiannya mengenalpasti kegagalan komponen dan akhir sekali membuat beberapa kesimpulan hasil daripada simulasi komputer yang telah dilakukan.

## BAB II

### KAJIAN ILMIAH

Dalam kajian ilmiah ini saya akan terangkan serba sedikit mengenai fungsi steering knuckle bersama-sama komponen yang bersambungan dengannya. Disamping itu saya akan menunjukkan hubungan daya yang berkait antara komponen kenderaan yang bersambung dengan knuckle steering dengan menunjukkan arah daya yang bertindak ke atasnya. Selain itu saya akan menunjukkan hasil kajian daripada pengkaji yang lain mengenai sifat-sifat mekanikal yang terdapat dalam bahan yang digunakan untuk membina steering knuckle berserta eksperimen ke atasnya .

#### 2.1 Steering Knuckle

Steering knuckle merupakan satu komponen automotif yang dicipta sebagai penyangga juga sebagai teras kepada beberapa komponen automotif lain iaitu komponen pada suspensi sistem serta sistem *braking*. Antara komponen yang terlibat bersambung kepada steering knuckle ini adalah seperti *antiroll bar*, *lower arm*, penyerap hentakan (shock absorber) dan spring kenderaan, serta strut sistem. Setiap bahagian yang bersambungan ini saling menghasilkan daya antara satu sama lain tambahan pula daya yang saling terhasil adalah tinggi bergantung kepada situasi kenderaan berkenaan. Terdapat beberapa jenis steering knuckle yang terdapat dalam sistem kenderaan konvensional masa kini bergantung kepada jenis strut yang

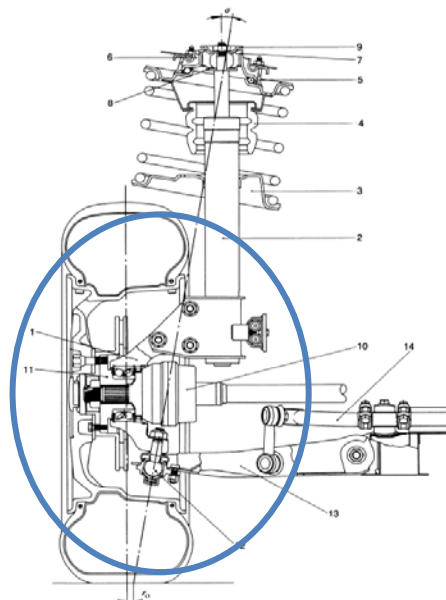
digunakannya dan jenis2 ini boleh di kenal pasti melalui kegunaannya serta bentuk rekaannya.



Rajah 2.1.1: *Steering knuckle* yang dipasang pada *strut McPherson*

Sumber daripada Mehrdad Zoroufi, Ali Fatemi. (2003). *Fatigue Life Comparisons of Competing Manufacturing*

*Processes: A Study of Steering Knuckle*. SAE Paper 2004-01-0628.

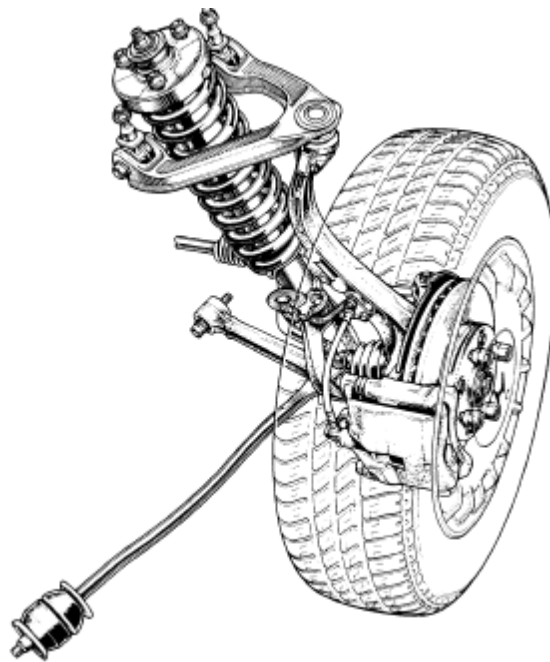


Rajah 2.1.2: *Steering knuckle* (dalam bulatan) yang dipasang pada *strut McPherson*.

Sumber daripada Prof. Dipl.-Ing. Jörnßen Reimpell, Dipl.-Ing. Helmut Stoll, Prof. Dr.-Ing. Jürgen W. Betzler. (2001) *The Automotive Chassis: Engineering Principles*.

2nd edition. German. Butterworth-Heinemann.

Gambarajah 2.1.2 menunjukkan contoh *steering knuckle* (dalam bulatan) yang digunakan pada *strut McPherson* bersambung dengan beberapa komponen lain termasuklah penyerap hentakan (*shock absorber*), sambungan CV terus ke paksi steering, *guiding joint* bersambungan terus kepada bahagian bawah *transverse control arm* yang akhirnya bersambung terus kepada *anti-roll bar*. Ke semua sambungan berkenaan menghasilkan daya mereka yang tersendiri dan setiap daya yang dihasilkan memberikan kesan kepada steering knuckle berkenaan. Antara contoh lain steering knuckle yang di gunakan pada kenderaan masa kini adalah knuckle steering yang dipasang pada *strut double wishbone* seperti yang ditunjukkan pada gambarajah 2.1.3.



Rajah 2.1.3: *Steering knuckle* pada *strut double wishbone* pada model Honda Prelude. Sumber daripada Prof. Dipl.-Ing. Jörnßen Reimpell, Dipl.-Ing. Helmut Stoll, Prof. Dr.-Ing. Jürgen W. Betzler. (2001) *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. 2nd edition. German. Butterworth-Heinemann.

Steering knuckle yang dipasang pada *strut double wishbone* mempunyai lengan yang lebih panjang pada bahagian atas kerana knuckle berkenaan memegang dua strut sekali di mana satu lengan memegang strut bawah dan satu lengan lagi memegang strut atas. Kedudukan strut yang tinggi ini memberinya sedikit kelebihan pada kinematik terhadap roda di mana sistem suspensinya menjadi padat sekaligus menjadikan bonet kenderaan boleh direndahkan lagi untuk memberi kelebihan bagi

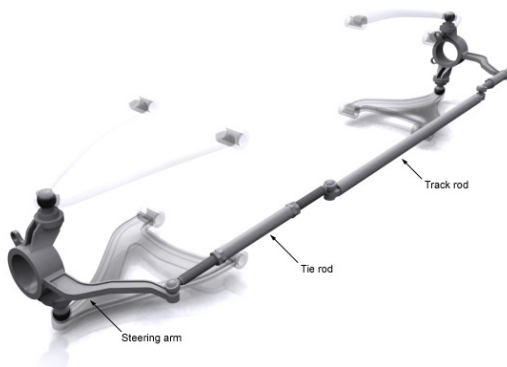
fungsi aerodinamik sesebuah kenderaan. Sistem strut ini juga menyebabkan perbezaan saiz yang besar antara lengan bawah serta lengan atas hub sambungan steering knuckle seperti yang ditunjukkan di dalam rajah 2.1.3. perbezaan ini mengakibatkan daya yang bertindak pada hub sambungan steering knuckle bagi ke semua sambungan menjadi kecil sekaligus mengurangkan tindakan pantulan elastik serta menjadikan roda atau kenderaan lebih mudah untuk di kawal.

## **2.2 Komponen yang bersambungan dengan steering knuckle**

Terdapat beberapa komponen utama yang bersambungan dengan *steering knuckle* antaranya *crossmember*, *lower arm*, *disk brake*, sistem suspensi atau pun strut suspensi yang terdiri daripada penyerap hentakan (shock absorber) serta *coil spring* dan juga strut yang terdiri daripada *strut McPherson*, serta *double wishbone*. Semua sambungan ini akan memberikan daya pada steering knuckle sekaligus mempengaruhi kadar kekuatan dan ketahanan serta jangka hayat bagi sesebuah knuckle steering sebelum ianya diklasifikasikan sebagai gagal.

### **2.2.1 Tie Rod**

*Tie Rod* merupakan sebahagian daripada komponen yang terdapat dalam mekanisme steering kenderaan di mana fungsinya sebagai pengikat dan membawa daya tarikan daripada tayar ke steering. Tie rod terdiri daripada bahagian yang dipanggil *inner* dan *outer end*. Ianya memindahkan daya yang terdapat daripada pusat steering ataupun rack gear terus kepada steering knuckle di mana membenarkan tayar untuk berpusing. Pada *outer tie rod end* bersambung dengan *adjusting sleeves* yang mana membenarkan panjang *tie rod* tersebut diubah suai bersesuaian dengan pengubahsuaian pada sudut alignment kenderaan.

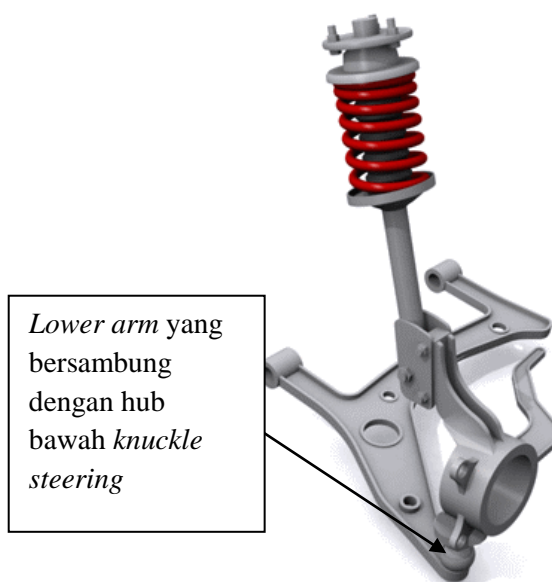


Rajah 2.2.1.1: Kedudukan *tie rod* yang bersambungan dengan *steering knuckle*

Sumber daripada [http://www.carbibles.com/steering\\_bible.html](http://www.carbibles.com/steering_bible.html)

### 2.2.2 Lower Arm

*Lower arm* tidak mempunyai fungsi yang ketara sangat melainkan fungsinya sebagai pemegang kepada chasis kereta terus kepada roda kereta. *Lower arm* menahan daya keberatan yang terdapat pada badan kereta itu sendiri dan memindahkan dayanya terus ke hub bawah *steering knuckle*. Daya yang bertindak di bahagian ini merupakan antara daya yang terbesar yang ditanggung oleh steering knuckle kerana ianya menanggung sejumlah besar berat kenderaan itu sendiri termasuklah enjin kereta, chasis, serta berat penumpang hadapan.

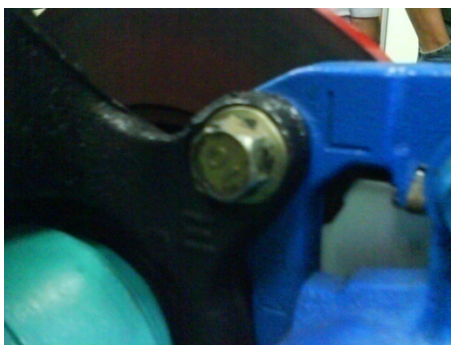


Rajah 2.2.3: Kedudukan *lower arm* yang bersambung pada *knuckle steering*.

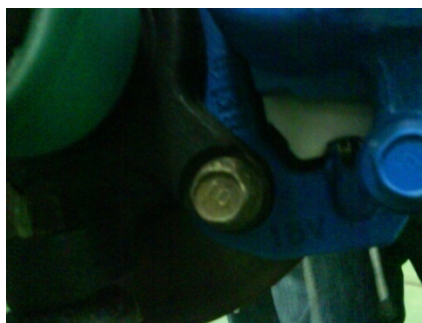
Gambarajah sumber daripada [http://www.carbibles.com/suspension\\_bible.html](http://www.carbibles.com/suspension_bible.html)

### 2.2.3 Brake Disk

Brake disk adalah satu komponen kenderaan yang terpenting dalam kenderaan yang berfungsi mengurangkan kelajuan sesebuah kenderaan dan menghentikannya daripada terus bergerak. Pada *steering knuckle* disk brake dipegang oleh dua hub *steering knuckle* iaitu pada bahagian atas hub dan di bawah hub. *Steering knuckle* memegang pencengkam (calliper) disk brake, oleh itu dapat dilihat disini daya yang bertindak padanya berbeza-beza bergantung kepada daya yang dikenakan oleh pencengkam kepada brake disk tersebut.



Rajah 2.2.3.1: Kedudukan atas atas hub *knuckle steering* yang bersambung kepada brake disk.



Rajah 2.2.3.2: kedudukan hub bawah *steering knuckle* yang bersambunagn dengan steering knuckle.

### 2.2.4 Sistem Suspensi

Sistem suspensi dicipta adalah bagi mengelakkan kenderaan daripada bergegar dengan kuat dan menyebabkan komponen di dalamnya juga rosak akibat tidak dapat menahan daya yang kuat akibat tidak memiliki sistem penyerap hentakan kerana bagaimana cantik pun jalan raya yang kita pandang sebenarnya ianya tidaklah secantik mana pun apabila kita melalui atasnya. Oleh itu sistem suspensi ini direka

bagi membolehkan kenderaan menyerap semua jenis halangan yang mengakibatkan kenderaan bergegar. Terdapat dua komponen asas dalam sistem suspensi iaitu *spring* dan *shock absorber*. Sistem suspensi yang bersambungan dengan steering knuckle menghasilkan kepelbagaian daya bergantung kepada jenis rintangan yang dilalui sesebuah kenderaan. Sebagai contoh sekiranya sesebuah kenderaan melalui jalan yang teruk memiliki banyak lopak-lopak air suspensi nya akan menerima daya yang lebih kuat berbanding sekiranya kereta itu melalui jalan yang rata dan cantik. Boleh disimpulkan bahawa daya yang bertindak ke atas steering knuckle ini juga bergantung kepada jumlah daya yang diterima oleh sistem suspensi sesuatu kenderaan tersebut.



Rajah 2.2.4.1: gambar menunjukkan kedudukan sistem suspensi yang bersambung pada *steering knuckle*. Gambarajah sumber daripada [http://www.carbibles.com/suspension\\_bible.html](http://www.carbibles.com/suspension_bible.html)

### 2.3 *Fatigue* (Kelesuan)

Kelesuan ataupun adalah gejala di mana sesuatu bahan yang dikenakan daya berulang-ulang mengalami kerosakan struktur sama ada retak mahupun pecah. Ciri-ciri sesuatu bahan itu dikenali sebagai kelesuan apabila:

- i. Apabila pergerakan yang perlahan-lahan dimulakan secara berterusan membentuk satu kumpulan retakan yang pendek.
- ii. Apabila semakin tinggi daya ulangan yang dikenakan semakin mudah untuk bahan berkenaan mengalami kelesuan.