

BAB III

KONSTRUKSI DOUBLE WISHBONE

Suspensi *double wishbone* merupakan sebuah mekanisme suspensi bebas yang terdiri dari lengan-lengan (dapat berbentuk silinder berlubang, pipa, maupun batang) yang memiliki dua posisi *mounting* pada sasis dan *knuckle*. Bentuk susunannya yang seperti huruf A menjadikan *wishbone* juga dikenal dengan sebutan *A-Arms*.

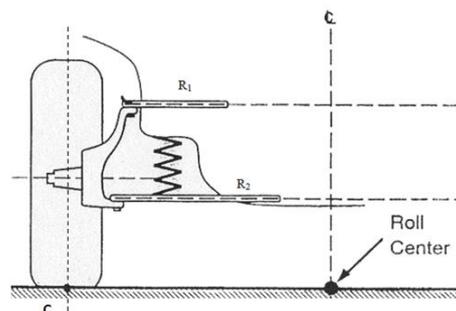


Gambar 3.1. *Double wishbone* pada mini baja

Double wishbone terdiri dari dua lengan yang masing-masing bertindak sebagai lengan bawah dan lengan atas. Panjang lengan atas biasanya lebih pendek untuk menghasilkan lebih banyak *camber* negatif pada bagian luar roda ketika badan kendaraan berbelok pada sebuah tikungan. Di antara lengan atas dan lengan bawah terdapat sebuah *knuckle* yang terdiri dari sebuah *spindle* atau *hub* yang membawa bearing dan terhubung dengan roda.

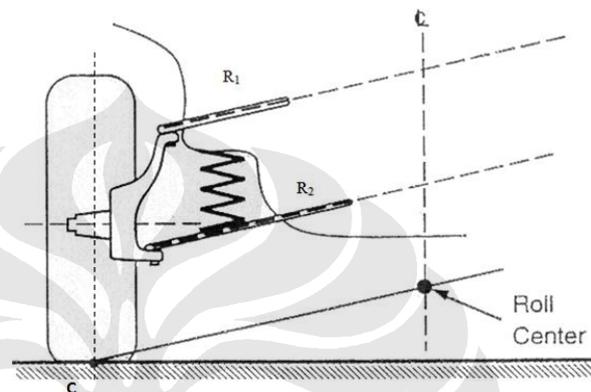
3.1 SUSUNAN LENGAN

3.1.1 Paralel



Gambar 3.2. Lengan paralel

Susunan ini disebut juga sebagai '*classical layout*'. Kelebihannya yaitu dapat memberikan eksitasi dari *wheelfight* yang sangat kecil. Titik kontak C bergerak pada garis lurus vertikal sementara letak IC berada pada titik tak terhingga. Posisi *roll center* dari susunan ini tetap pada permukaan pada semua posisi roda. Terdapat juga variasi yang lain dari susunan ini seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.

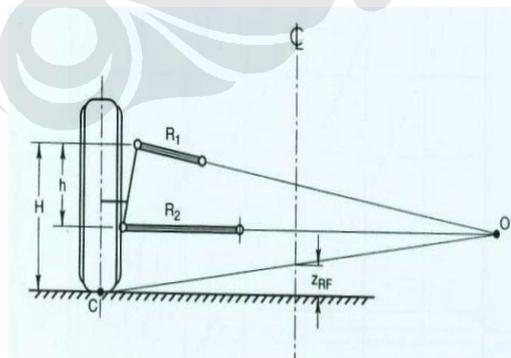


Gambar 3.3. Lengan paralel dengan kemiringan

3.1.2 Tidak paralel

Terdapat 3 variasi dari susunan lengan yang tidak paralel yaitu :

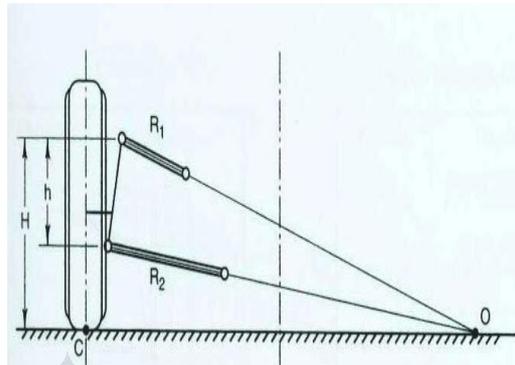
1. Variasi yang pertama adalah dengan merubah posisi dari lengan atas. Ujung luar dari lengan atas dinaikkan sementara lengan bawah tetap horizontal.



Gambar 3.4. Lengan tidak paralel variasi 1

Susunan ini akan menghasilkan *instant center* O yang terletak pada bagian dalam roda dan *roll center* (Z_{RF}) yang berada di atas permukaan.

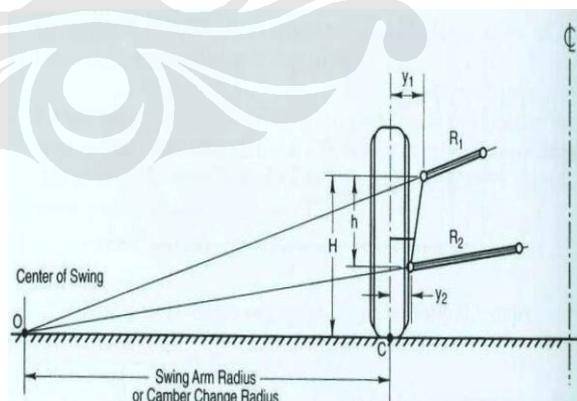
- Variasi yang kedua adalah dengan merubah posisi dari lengan bawah sementara posisi lengan atas seperti pada variasi pertama.



Gambar 3.5. Lengan tidak paralel variasi 2

Susunan ini menghasilkan letak *instant center* O turun ke permukaan jalan jika memenuhi persamaan $R_1H = R_2(H - h)$. Hal ini juga akan mengakibatkan *roll center* ke tanah dan tapak ban bergerak secara vertikal. Kelebihan dari susunan ini adalah dapat mengurangi keausan ban dan *squeal*. Sedangkan kekurangannya adalah *ground clearance* yang kecil dan terdapat masalah *wheelfight*.

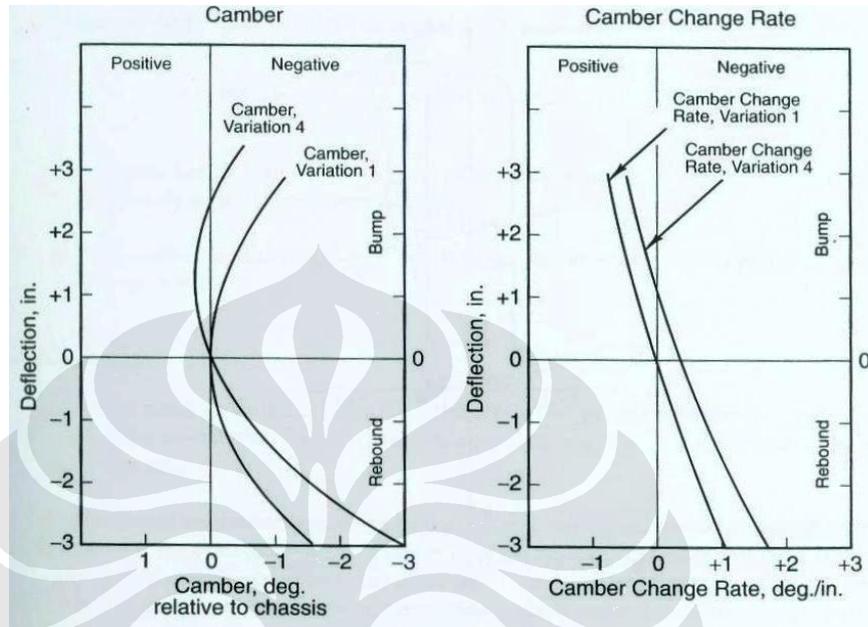
- Reversed Swing Arm*



Gambar 3.6. Lengan tidak paralel variasi 3

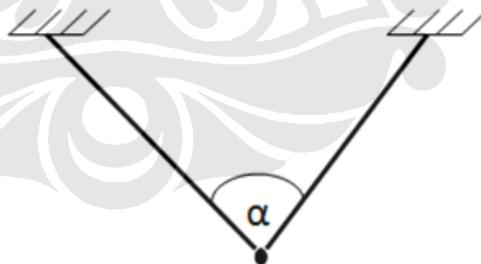
Dari susunan ini *roll center* tetap berada pada tanah jika memenuhi persamaan $R_1H = R_2(H - h)$. Kelebihan susunan ini yaitu berkurangnya

masalah *wheelight* dan *ground clearance*. Kekurangannya yaitu meningkatnya *understeer*, keausan ban, dan *squeal* dari bagian dalam ban.



Grafik 3.1. Grafik lengan paralel vs *reversed swing arm*

3.2 SUDUT LENGAN



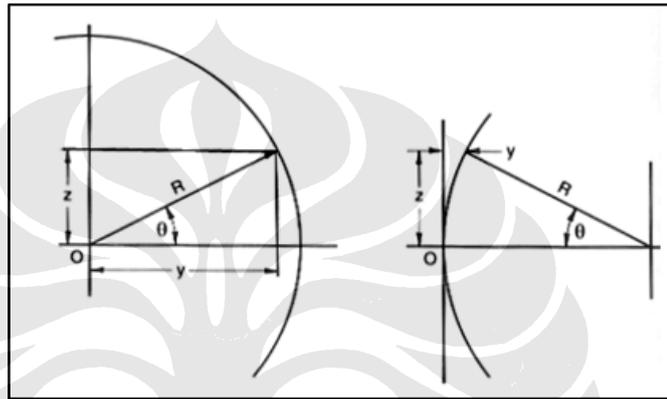
Gambar 3.7. Sudut lengan tampak atas

Besarnya sudut lengan tergantung dari ketersediaan tempat pada sasis dimana suspensi tersebut akan diletakkan sesuai dengan spesifikasi desain kendaraan. Makin besar α maka defleksi yang terjadi pada lengan *wishbone* ketika menerima gaya pun makin besar.

3.3 LINKAGE ANALYSIS [4]

Dalam desain sistem suspensi *double wishbone* menggunakan pendekatan *circular arc*. Dalam hal ini analisa *linkage* dilakukan pada sumbu y dan z, dimana sumbu x adalah sumbu longitudinal dari kendaraan.

3.3.1 Arm Linkage



Gambar 3.8. *Circular arc*

Pada gambar di atas terdapat sebuah *circular arc* yang memiliki persamaan :

$$y^2 + z^2 = R^2$$

$$(y - R)^2 + z^2 = R^2$$

$$y^2 - 2yR + R^2 + z^2 = R^2$$

$z^2 = 2Ry - y^2$, sehingga

$$y^2 - 2yR + z^2 = 0 \tag{3.1}$$

Persamaan di atas merupakan bentuk persamaan kuadrat $ay^2 + by + c = 0$, yang penyelesaiannya adalah,

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Pada persamaan 3.1, solusinya adalah yang bertanda negatif, lalu

$$y = \frac{2R - \sqrt{4R^2 - 4z^2}}{2}$$

$$y = R - \sqrt{R^2 - z^2}$$

$$\frac{y}{R} = 1 - \sqrt{1 - \frac{z^2}{R^2}} \quad (3.2)$$

Variabel yang terletak dalam akar kuadrat dapat diselesaikan dengan menggunakan *series binomial expansion* yang bentuk umumnya adalah

$$(a \pm b)^n = a^n \pm \frac{n}{1} a^{n-1} b \pm \frac{n(n-1)}{2!} a^{n-2} b^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} a^{n-3} b^3 \pm \dots$$

Sehingga dapat diketahui : $a = 1, b = -z^2/R^2, n = 0.5$

Maka,

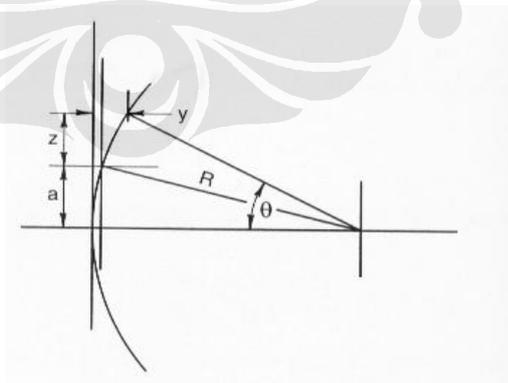
$$\sqrt{1 - \frac{z^2}{R^2}} = 1 - \frac{z^2}{2R^2} + \frac{z^4}{8R^4} - \frac{z^6}{16R^6} + \dots$$

dan

$$\begin{aligned} \frac{y}{R} &= 1 - \left(1 - \frac{z^2}{2R^2} + \frac{z^4}{8R^4} - \frac{z^6}{16R^6} + \dots \right) \\ y &= \frac{z^2}{2R^2} + \frac{z^4}{8R^4} - \frac{z^6}{16R^6} + \dots \\ y &= \frac{z^2}{2R} \left(1 + \frac{z^2}{4R^2} - \frac{z^4}{8R^4} + \dots \right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Ketika lengan *wishbone* tidak sepenuhnya horizontal tetapi mempunyai 'lift' seperti terlihat pada gambar di bawah ini, maka persamaan pada y menjadi

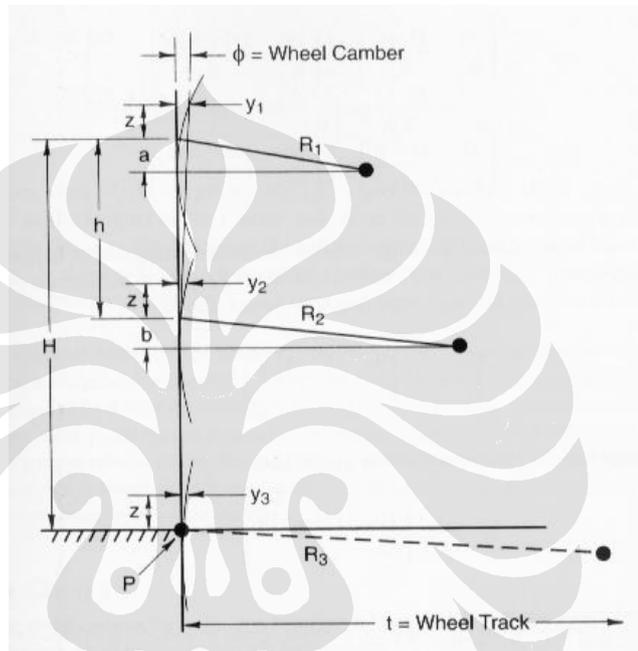
$$y \cong \frac{(z+a)^2 - a^2}{2R} = \frac{z^2}{2R} + \frac{za}{R} \quad (3.4)$$



Gambar 3.9. Lengan *wishbone* dengan lift

3.3.2 Tidak Ada Offset

Dalam geometri susunan lengan sistem suspensi *double wishbone* yang tidak menggunakan *offset*, ujung dari lengan atas dan lengan bawah ditempatkan pada garis pusat roda. Hal ini dilakukan untuk menunjukkan prinsip umum dari kinematika yang terjadi pada sistem suspensi.



Gambar 3.10. Konfigurasi lengan tanpa *offset*

Berdasarkan gambar 3.11

$$y_1 \cong \frac{z^2}{2R_1} + \frac{za}{R_1} \quad (3.5)$$

$$y_2 \cong \frac{z^2}{2R_2} + \frac{zb}{R_2} \quad (3.6)$$

R_3 adalah radius efektif dari titik kontak gerak ban. Asumsi pada kontak point dari ban P, bergerak vertikal sehingga $R_3 = \infty$ dan $y_3 = 0$. Tidak ada gerak lateral atau *scrub* pada kasus ini. Untuk gerak kecil, segitiga PHy_1 dan $P(H-h)y_2$ dapat diasumsikan sama dan gerak lateral y_1 dan y_2 adalah sebanding dengan ketinggian mereka di atas titik *ground* P.

$$\frac{y_2}{H-h} = \frac{y_1}{H} \quad \text{atau} \quad \frac{y_2}{H-h} - \frac{y_1}{H} = 0 \quad (3.7)$$

maka

$$\begin{aligned} \frac{Hy_2}{H-h} - y_1 &= 0 \\ Hy_2 - (H-h)y_1 &= 0 \\ \frac{H}{h}y_2 - \frac{(H-h)}{h}y_1 &= 0 \end{aligned}$$

Jika $R_3 \neq \infty$ seperti gambar .. maka

$$y_3 = \frac{H}{h}y_2 - \frac{(H-h)}{h}y_1 \quad (3.8)$$

Memasukkan solusi untuk y_1 dan y_2 dari persamaan 3.5 dan 3.6

$$\begin{aligned} y_3 &= \left(\frac{z^2}{2R_2} + \frac{zb}{R_2} \right) - \frac{H-h}{h} \left(\frac{z^2}{2R_1} + \frac{za}{R_1} \right) \\ y_3 &= \frac{z^2}{2h} \left(\frac{H}{R_2} - \frac{H-h}{R_1} \right) + \frac{z}{h} \left(\frac{Hb}{R_2} - \frac{(H-h)a}{R_1} \right) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Maka

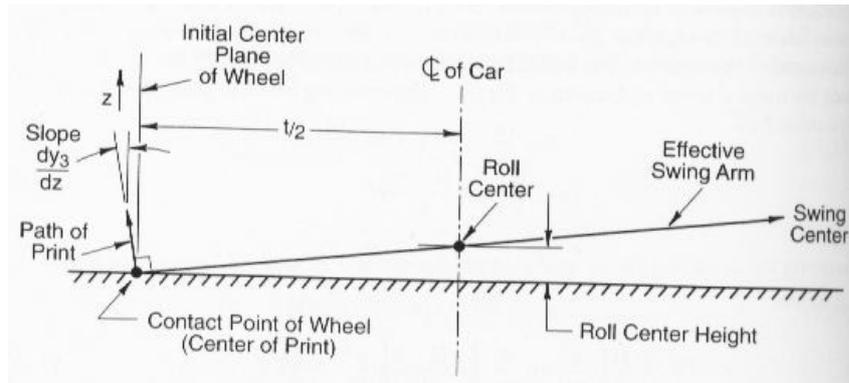
$$\frac{dy_3}{dz} = \frac{z}{h} \left(\frac{H}{R_2} - \frac{H-h}{R_1} \right) + \frac{1}{h} \left(\frac{Hb}{R_2} - \frac{(H-h)a}{R_1} \right) \quad (3.10)$$

Persamaan tersebut adalah *rate of tread (track) change* dan dapat digunakan untuk menghitung ketinggian dari *roll axis*. Ketika $z = 0$

$$\frac{dy_3}{dz} = \frac{1}{h} \left(\frac{Hb}{R_2} - \frac{(H-h)a}{R_1} \right) \quad (3.11)$$

Ketinggian *roll center* di atas tanah adalah

$$z_R = \frac{t}{2h} \left(\frac{Hb}{R_2} - \frac{(H-h)a}{R_1} \right) \quad (3.12)$$



Gambar 3.11. Konstruksi *roll center* suspensi depan

Dari dy_3/dz kita dapat

$$\frac{d^2 y_3}{dz^2} = \text{curvature} \cong \frac{1}{R_3} = \frac{1}{h} \left(\frac{H}{R_2} - \frac{H-h}{R_1} \right) \quad (3.13)$$

Persamaan di atas akan bernilai nol jika memenuhi persamaan $H/(H-h) = R_2/R_1$. Dan juga jika $a = b$, maka tidak ada *tread change* yang terjadi. *Roll axis* pada *ground* dan kontak ban bergerak vertikal.

Camber Change

$$\gamma = \frac{y_1 - y_2}{h} = \frac{z^2}{2h} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{z}{h} \left(\frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \right) \quad (3.14)$$

$$\frac{d\gamma}{dz} = \frac{z}{h} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{1}{h} \left(\frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \right) \quad (3.15)$$

Ketika $z = 0$,

$$\frac{d\gamma}{dz} = \frac{1}{h} \left(\frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \right) \quad (3.16)$$

The “*chamber (inclination) change radius*” at design height

$$\gamma \cong \frac{d\gamma}{dz} z = \frac{z}{h} \left(\frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \right) \quad (3.17)$$

Tetapi $\gamma \cong z/R$, dimana R adalah *inclination change radius*,

$$R = \frac{z}{\frac{z}{h} \left(\frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \right)} = \frac{h}{\left(\frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \right)} \quad (3.18)$$

The camber [inclination] change radius

$$R = \frac{h}{(\text{slope upper arm}) - (\text{slope lower arm})} \quad (3.19)$$

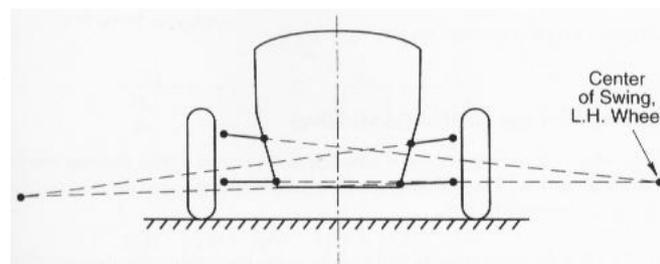
R adalah jarak ke *linkage instant center*. Ketinggian *linkage instant center* di atas tanah adalah $H - R(a/R_1)$. Sudut dari garis kontak ban ke *linkage instant center* adalah

$$\frac{H - R(a/R_1)}{R} = \frac{H}{R} - \frac{a}{R_1} \quad (3.20)$$

Substitusi untuk R :

$$\frac{H}{h} \left[\frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \right] - \frac{a}{R_1} = -\frac{1}{h} \left[\frac{Hb}{R_2} - \frac{(H-h)a}{R_1} \right] \quad (3.21)$$

Jika $a/R_1 > b/R_2$ maka *camber [inclination] change radius* bernilai positif, hal ini mengakibatkan pusat dari pergerakan *arms* terletak di dalam roda, seperti gambar 3.13. Jika $a/R_1 < b/R_2$ maka pusat pergerakan dari *arms* berada di sebelah luar roda. Ketika $a/R_1 = b/R_2$ pada *upper* dan *lower arms* adalah paralel, maka *chamber change radius* nilainya tak terhingga. Tidak ada *camber change* pada kasus ini.



Gambar 3.12. Lengan ayun positif

Untuk menyederhanakan persamaan maka ,

$$P_1 = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \dots\dots\dots (3.22) \quad P_2 = \frac{H}{R_2} - \frac{H-h}{R_1} \dots\dots\dots (3.23)$$

$$Q_1 = \frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \dots\dots\dots (3.24) \quad Q_2 = \frac{Hb}{R_2} - \frac{(H-h)a}{R_1} \dots\dots\dots (3.25)$$

Sehingga :

$$\text{Camber [inclination] angle} \quad : \quad \gamma = \frac{1}{h} \left(\frac{P_1 z^2}{2} + Q_1 z \right) \quad (3.26)$$

$$\text{Ride camber [inclination]} \quad : \quad \frac{d\gamma}{dz} = \frac{1}{h} (P_1 z + Q_1) \quad (3.27)$$

$$[\text{Ride}] \text{Camber change radius [at design height]}: \quad h/Q_1 \quad (3.28)$$

$$\text{Tread [track] change} \quad : \quad y_3 = \frac{1}{h} \left(\frac{P_2 z^2}{2} + Q_2 z \right) \quad (3.29)$$

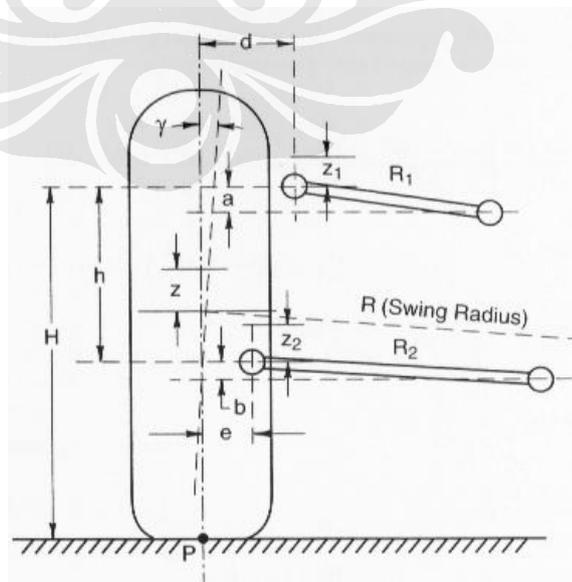
$$\text{Ride scrub} \quad : \quad \frac{dy_3}{dz} = \frac{1}{h} (P_2 z + Q_2) \quad (3.30)$$

$$[\text{Ride}] \text{Scrub radius [at design height]} \quad : \quad h/P_2 \quad (3.31)$$

$$\text{Roll center height [at design height]} \quad : \quad z_R = \frac{t}{2h} Q_2 \quad (3.32)$$

3.3.3 Dengan Offsets

Dalam sambungannya dengan sumbu roda belakang maka perlu adanya jarak (*offsets*) dari ban ke lengan suspensi. Hal ini juga dibutuhkan ketika menghitung *wheel rates* pada suspensi depan model *wishbone*.



Gambar 3.13. Konfigurasi lengan dengan *offset*

Ket : $d = \text{offset upper arm}$

$e = \text{offset lower arm}$

$z = \text{lift of wheel center}$

$z_1 = \text{lift of upper arm ball}$

$z_2 = \text{lift of lower arm ball}$

$y_1 = \text{lateral displacement, upper ball [gambar 3.11]}$

$y_2 = \text{lateral displacement, lower ball}$

$y_3 = \text{lateral displacement at tire contact (P)}$

$$y_1 \cong \frac{z_1^2}{2R_1} + \frac{z_1 a}{R_1} \quad (3.33)$$

$$y_2 \cong \frac{z_2^2}{2R_2} + \frac{z_2 a}{R_2} \quad (3.34)$$

Persamaan di atas menunjukkan

$$y \cong \frac{z^2}{2R} + \frac{za}{R} \quad (3.35)$$

Perubahan Camber (γ)

$$z_1 = z - d\gamma \text{ atau } z_1^2 = z^2 - 2dz\gamma + (d\gamma)^2 \quad (3.36)$$

$$z_2 = z - e\gamma \text{ atau } z_2^2 = z^2 - 2ez\gamma + (e\gamma)^2 \quad (3.37)$$

Dimana d bukan merupakan operator turunan

$$y_1 - y_2 \cong \frac{z_1^2}{2R_1} + \frac{z_1 a}{R_1} - \frac{z_2^2}{2R_2} - \frac{z_2 b}{R_2}$$

$$y_1 - y_2 \cong \frac{z^2 - 2dz\gamma}{2R_1} + \frac{az - ad\gamma}{R_1} - \frac{z^2 - 2ez\gamma}{2R_2} - \frac{bz - be\gamma}{R_2}$$

$$y_1 - y_2 \cong \frac{z^2}{2} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + z \left(\frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \right) - \gamma \left(\frac{ad}{R_1} - \frac{be}{R_2} \right) - z\gamma \left(\frac{d}{R_1} - \frac{e}{R_2} \right)$$

Untuk menyederhanakannya :

$$P_1 = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \dots\dots (3.38) \quad Q_1 = \frac{a}{R_1} - \frac{b}{R_2} \dots\dots\dots (3.39)$$

$$U_1 = \frac{d}{R_1} - \frac{e}{R_2} \dots\dots (3.40) \quad V_1 = \frac{ad}{R_1} - \frac{be}{R_2} \dots\dots\dots (3.41)$$

Sehingga :

$$y_1 - y_2 = \frac{P_1 z^2}{2} + Q_1 z - V_1 \gamma - U_1 z \gamma \quad (3.42)$$

$$\gamma = \frac{y_1 - y_2}{h} = \frac{1}{h} \left(\frac{P_1 z^2}{2} + Q_1 z - V_1 \gamma - U_1 z \gamma \right) \quad (3.43)$$

Maka *camber angle* (γ) dengan *offsets* adalah

$$\gamma = \frac{0.5P_1 z^2 + Q_1 z}{h + V_1 + U_1 z} \quad (3.44)$$

Ride camber dengan *offset* didapatkan dengan menurunkan persamaan 3.44 adalah

$$\frac{d\gamma}{dz} = \frac{P_1 z + Q_1 - U_1 \gamma}{h + V_1 + U_1 z} \quad (3.45)$$

Dari proporsional geometri tanpa menggunakan *offset*, *tread change* yang menggunakan *offset* dapat diketahui dengan,

$$y_3 = \frac{H}{h} y_2 - \frac{H-h}{h} y_1 \quad (3.46)$$

Substitusi dengan persamaan 3.33 dan 3.34 maka

$$y_3 = \frac{z^2}{2h} \left(\frac{H}{R_2} - \frac{H-h}{R_1} \right) + \frac{z}{h} \left(\frac{Hb}{R_2} - \frac{(H-h)a}{R_1} \right) - \frac{z\gamma}{h} \left(\frac{He}{R_2} - \frac{(H-h)d}{R_1} \right) - \frac{\gamma}{h} \left(\frac{Hbe}{R_2} - \frac{(H-h)ad}{R_1} \right) \quad (3.47)$$

Untuk menyederhanakan persamaan maka,

$$P_2 = \frac{H}{R_2} - \frac{H-h}{R_1} \dots\dots\dots(3.48) \quad Q_2 = \frac{Hb}{R_2} - \frac{(H-h)a}{R_1} \dots\dots\dots(3.49)$$

$$U_2 = \frac{He}{R_2} - \frac{(H-h)d}{R_1} \dots\dots\dots(3.50) \quad V_2 = \frac{Hbe}{R_2} - \frac{(H-h)ad}{R_1} \dots\dots\dots(3.51)$$

Sehingga *tread change* dengan offset adalah

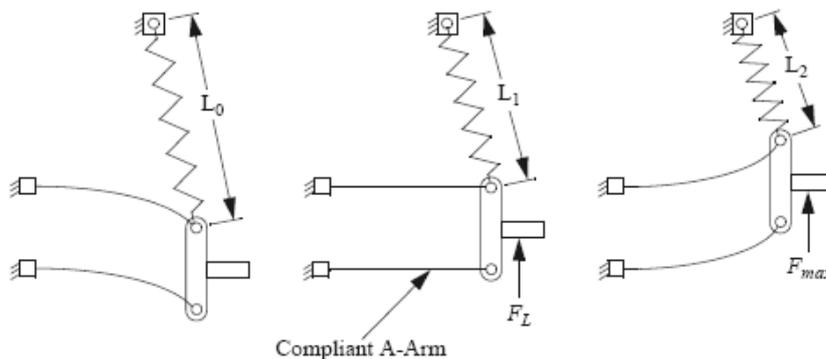
$$y_3 = \frac{1}{h} \left(\frac{1}{2} P_2 z^2 + Q_2 z - \gamma (U_2 z + V_2) \right) \quad (3.52)$$

Ketika $z = 0$ $\gamma = 0$, maka *ride scrub* dengan offset adalah

$$\frac{dy_3}{dz} = \frac{1}{h} \left(Q_2 - \frac{d\gamma}{dz} V_2 \right) \quad (3.53)$$

3.4 PEGAS DAN PEREDAM

Pegas dan peredam kejut terletak pada *lower A-arm* berfungsi untuk mengontrol pergerakan vertikal. Ketika roda menerima suatu beban atau gaya, panjang pegas mengalami perubahan. Perubahan panjang ($L_0 - L_2$) ini dapat juga disebut dengan *suspension travel*.



Gambar 3.14. Perubahan defleksi pegas

Ketika pegas dan peredam kejut tidak terbebani oleh berat kendaraan maka pegas akan meregang dan mendorong *lower A-arm* ke bawah. Hal ini dapat terjadi pada saat kendaraan melayang di udara seperti ditunjukkan pada gambar 3.16. Dalam kondisi diam maka terdapat F_L yang merupakan gaya reaksi yang diakibatkan oleh berat kendaraan. Sementara ketika kendaraan menghantam suatu *bump* atau menerima beban maksimum maka panjangnya menjadi L_2 . Pada kondisi ini *A-arm* akan terdefleksi sebagaimana roda bergerak naik dan turun sesuai dengan permukaan jalan yang dilalui.



Gambar 3.15. Pegas dan peredam tidak terbebani