

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Zuliantoni (2007), melakukan penelitian mengenai “*Prediksi Kegagalan Fatik Velg Bintang Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa desain *velg* bintang dan memprediksi kerusakan kumulatifnya (jumlah *cycle* yang dapat di tempuh) dengan metode elemen hingga sesuai dengan kondisi pengujian *Dynamics Radial Fatigue*. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa simulasi pengujian *Dynamics Radial Fatigue* telah dibahas dimana secara kualitatif dapat disimpulkan bahwa *velg* bintang yang dipilih untuk di uji telah memenuhi persyaratan walaupun disarankan untuk memperbaiki pada beberapa desain.

Agus Efendi (2010), melakukan penelitian mengenai “*Pengaruh Beban dan Tekanan Udara Pada Distribusi Tegangan Velg Jenis Lenso*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh beban dan tekanan udara pada distribusi tegangan pada *velg* mobil jenis *Lenso Version I* dan *Lenso LW*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *velg* yang baik dari kedua jenis *velg* yang di uji adalah *velg* jenis *lenso LW*.

2.2 Velg

Velg adalah komponen utama dalam sebuah kendaraan. Tanpa *velg*, kendaraan baik itu mobil ataupun motor tidak akan dapat berjalan. *velg* ada dua jenis yang dikenal di kalangan masyarakat yaitu *velg* standart pabrikan dan *velg* jenis racing. *Velg* standart atau *velg* dari pabrikan banyak yang tidak menyukai karena beberapa alasan salah satunya adalah model. Oleh karena itu banyak yang menggantinya dengan *velg* yang lebih gaya atau yang biasanya disebut *velg* racing.



Gambar 2.1 *Velg* Mobil

Sumber : <http://www.autobedrijfkruikamp.nl/Modules/DivImg/Velg%201.jpg>

(diakses November 2011)

Contoh dari spesifikasi *velg* adalah sebagai berikut :

“Antera114/16x7/Hole4x100/ET25”

Keterangan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

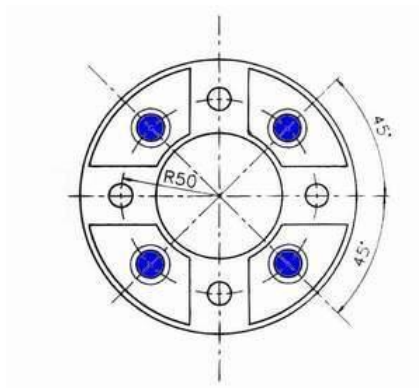
Antera 114 : Kode model *velg* dari Antera,

16x7 : dimensi *velg* (dalam *inch*)

Hole 4x100 : PCD *velg* tersebut ialah 100 mm dengan 4 lubang

ET25 : *Offset velg* tersebut ialah 25 mm.

PCD adalah jarak lubang baut pada *velg*. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada gambar di bawah ini :

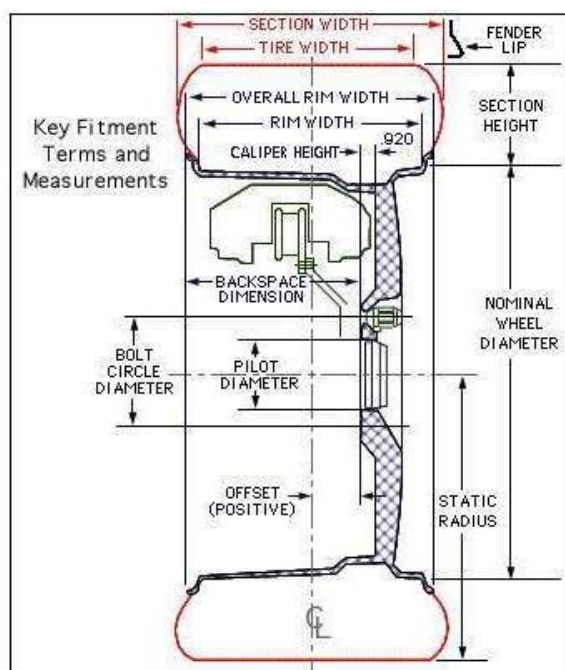


Gambar 2.2 PCD pada *Velg*

Sumber : <http://cikarangonline.com/wp-content/uploads/2010/03/PCD1-150x150.jpg>

(diakses November 2011)

Lingkaran biru melambangkan baut roda pada mobil. Terlihat bahwa ada 4 buah baut yang berada dalam lingkaran dengan diameter 100 mm (R 50 mm). Konfigurasi seperti ini dinamakan PCD 100 dengan 4 buah lubang baut roda.



Gambar 2.3 Offset pada Velg

Sumber : <http://cikarangonline.com/wp-content/uploads/2010/03/OFFSET.jpg>
(diakses November 2011)

Gambar diatas ialah penampang melintang sebuah *velg*. Contoh di atas memiliki dimensi 16x7 ET25 , jadi :

Diameter *velg* (*Nominal Wheel's Diameter*) : 16"

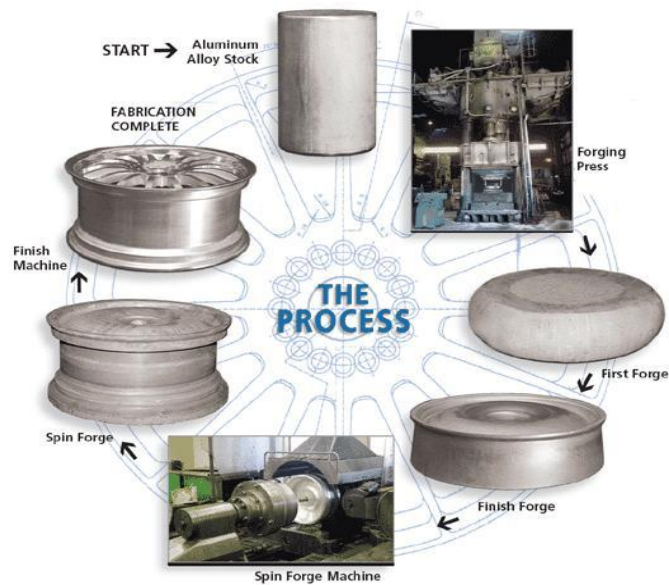
Lebar *velg* (*Rim Width*) : 7"

Offset : +25 cm

Semakin besar *offset*, maka bila di pasangkan *velg* akan semakin kedalam *fender* mobil

2.2.1 Proses Pembuatan *Velg*

Proses pembuatan *velg* umumnya dengan cara *forging*. Jika diartikan, *forge* berarti tempa / ditempa. Logam mentah yang di pakai bukan berasal dari logam cair yang di cetak sedemikian rupa, melainkan logam padat yang dicetak dengan tekanan yang luar biasa. Dalam proses *forging*, logam padat yang dipakai hanya bisa menggunakan logam-logam dengan karakter bahan yang kuat serta ringan.



Gambar 2.4 Proses Pembuatan *Velg*

Sumber : <http://dare4ever.files.wordpress.com/2010/11/proses.jpg>

(diakses November 2011)

Forging adalah sebuah proses metal/logam yang mengalami proses penempaan, bukan dicor (*casting*). Secara teknik, metal yang ditempa mempunyai penguatan struktur '*work hardening*' yaitu melalui efek penguatan material akibat dislokasi molekul dengan kata lain struktur urat mikronya dimampatkan agar lebih kuat.

2.2.2 *Velg* Lenso

Velg tipe lenso banyak dipakai oleh kendaraan-kendaraan yang tidak terlalu besar atau terlalu berat. *Velg* ini banyak dipakai kendaraan seperti Honda Jazz, Karimun, Estillo, Honda City dan kendaraan-kendaraan sejenisnya. Gambar berikut adalah gambar jenis *velg* lenso yang akan di bahas.



Gambar 2.5 *Velg* Lenso

Sumber: <http://www.autobursa.net/wpcontent/uploads/2011/01.jpg>

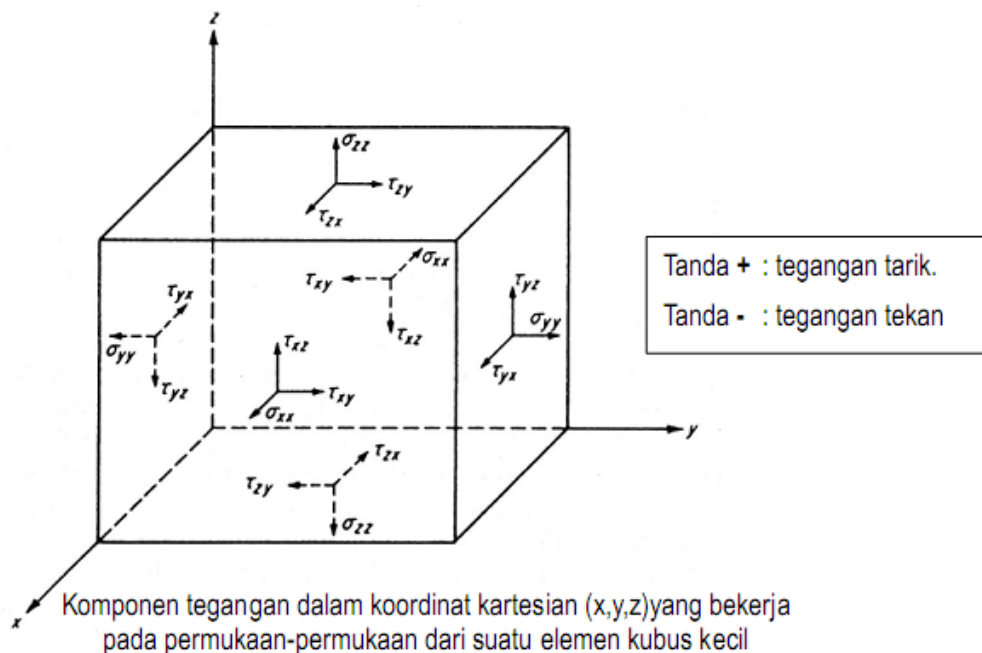
(diakses November 2011)

2.3 Tegangan

Apabila sebuah batang atau plat dibebani sebuah gaya maka akan terjadi reaksi yang sama dengan arah berlawanan. Gaya tersebut akan diterima sama rata oleh setiap molekul pada bidang penampang batang tersebut. Jadi tegangan adalah suatu ukuran intensitas pembebanan yang dinyatakan oleh gaya dan dibagi oleh luas penampang di tempat gaya tersebut bekerja. Tegangan ada bermacam-macam sesuai dengan pembebanan yang diberikan. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal, tegangan normal yang menghasilkan tarikan (*traction* atau *tension*) pada permukaan sebuah potongan biasa disebut tegangan tarik (*tensile stress*), tegangan normal yang mendorong potongan tersebut disebut tegangan tekan, dan intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas elementer disebut tegangan geser (*shearing stress*) (Popov,1996:4). Biasanya tegangan dinyatakan dalam unit gaya per unit luasan, misalnya lb/in², atau N/m²

Untuk komponen tegangan pada suatu elemen kubus umum dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{- (Keluar, tegak lurus (normal), sejajar) terhadap sumbu x.} \\ \text{- (Keluar, tegak lurus (normal), sejajar) terhadap sumbu y.} \\ \text{- (Keluar, tegak lurus (normal), sejajar) terhadap sumbu z.} \end{array}$$



Gambar 2.6 Komponen Tegangan pada Elemen Kubus
Sumber : Yudi Surya Irawan, Analisa Tegangan Eksperimental, 2009

2.4 Regangan

Regangan adalah suatu bentuk tanpa dimensi untuk menyatakan perubahan bentuk. Biasanya dinyatakan dalam bentuk prosentase. Besarnya regangan menunjukkan apakah bahan tersebut mampu menahan perubahan bentuk sebelum patah. Makin besar regangan suatu bahan maka bahan itu mudah dibentuk. Regangan juga bisa di artikan Perpanjangan per satuan panjang (Popov, 1996:38). Kadang-kadang regangan diberikan dalam bentuk prosentase (%). Besaran regangan (ϵ) sangat kecil, kecuali untuk beberapa bahan seperti karet. Bila regangan tersebut diketahui, maka deformasi total dari pembebanan aksial adalah ϵL . Perpanjangan per unit panjang yang biasa disebut regangan normal dan diberi simbol dengan ϵ , dapat diperoleh dengan membagi total pertambahan panjang Δl dengan panjang *gage* L , yaitu

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L} \quad (2-1)$$

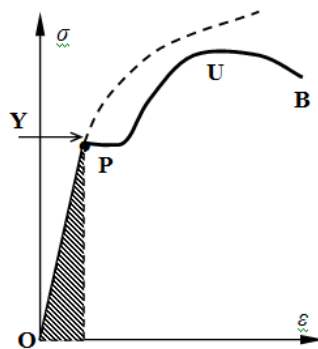
Regangan biasanya dinyatakan meter per-meter sehingga secara efektif tidak berdimensi.

2.5 Hubungan Tegangan dan Regangan

Tegangan serta regangan senantiasa berhubungan, walaupun hubungan ini dapat berubah karena suhu, laju pembebanan, dan sebagainya. Perubahan tegangan langsung dibagi oleh regangan merupakan suatu konstanta yang dinamakan modulus young (E atau modulus elastisitas). Tegangan merupakan parameter yang lebih berarti daripada gaya dalam mempelajari bahan, karena efek gaya terpakai (P) pada suatu bahan terutama tergantung pada luas penampang dari bagian struktur. Sebagai akibatnya didapatkan penggambaran diagram hubungan tegangan dan regangan dalam laporan pengujian tertentu. Dengan mengetahui luas penampang awal spesimen, maka tegangan normal, yang dinyatakan dengan σ , dapat diperoleh untuk setiap nilai beban aksial dengan menggunakan hubungan

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-2)$$

dimana P menyatakan beban aksial dalam Newton dan A menyatakan luas penampang awal (m^2).



Gambar 2.7 Diagram tegangan-regangan

Sumber : <http://bambangpurwantana.staff.ugm.ac.id/KekuatanBahan/BAB1.doc>

(diakses November 2011)

2.6 Hukum Hooke

Hukum Hooke menyatakan hubungan antara gaya yang meregangkan suatu zat elastis dan pertambahan panjang zat elastis. "Pada daerah elastisitas benda, gaya yang bekerja pada benda sebanding dengan pertambahan panjang benda". disebut **Hukum Hooke**. Hubungan antara tegangan dan regangan boleh dikatakan berbentuk linier untuk semua bahan. Hal ini menuju kepada idealisasi dan penyamarataan yang berlaku untuk semua bahan, yang dikenal sebagai *Hukum Hooke* (Popov,1996:40). Dalam bentuk lambang, hukum ini dinyatakan oleh persamaan :

$$\sigma = E\epsilon \quad (2-3)$$

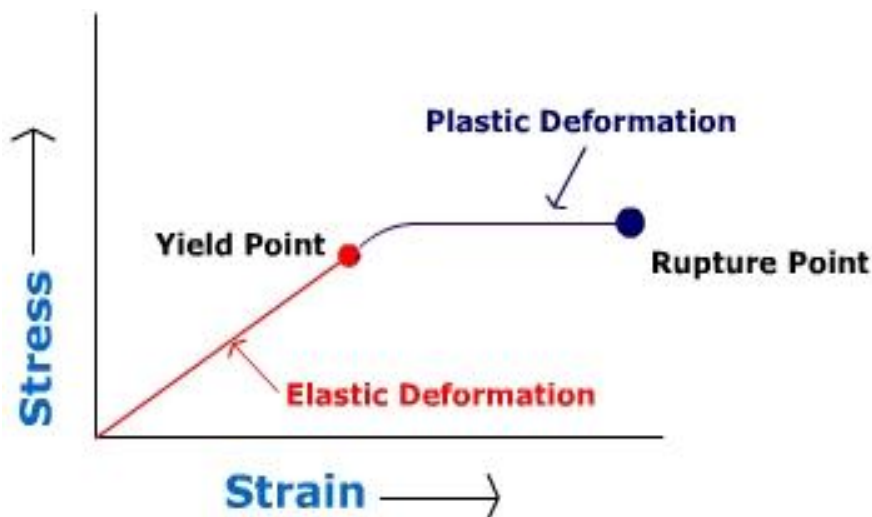
yang secara mudah berarti bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, dimana tetapan pembanding adalah E . Tetapan E ini disebut modulus elastis (*elastic modulus*), modulus elastisitas atau modulus Young. Berhubung ϵ adalah tidak berdimensi, maka persamaan di atas E mempunyai satuan tegangan. Dalam satuan SI, E diukur dalam Newton per meter kuadrat (atau pascal).

2.7 Deformasi

Semua struktur bila mendapat beban luar akan berubah sedikit dari bentuk awalnya, baik berupa bentuk maupun ukurannya atau deformasi. Bertambahnya ukuran dari sebuah struktur disebut perpanjangan atau elongasi, sedangkan sebaliknya disebut pemendekan atau kontraksi.

Pada suatu struktur yang mendapatkan deformasi yang normal dari masing-masing elemennya berada pada sifat elastis, maka kondisi tersebut disebut kondisi

kekakuan (*Condition of Rigidity*) Sebuah material akan tahan terhadap energi tarik atau tekan jika energi tersebut tidak melebihi energi karakteristik material tersebut. Deformasi pada material di bagi menjadi 2 yaitu: Deformasi Elastik (*Elastic Deformation*) dimana material yang mengalami deformasi ini akan terdeformasi tapi masih bisa kembali bentuk semula. Selain itu juga ada deformasi plastik (*Plastic Deformation*) dimana material yang mengalami deformasi ini sudah tidak bisa kembali ke bentuk semula.



Gambar 2.8 Deformasi pada Diagram Tegangan-Regangan

Sumber : <http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/images> (diakses November 2011)

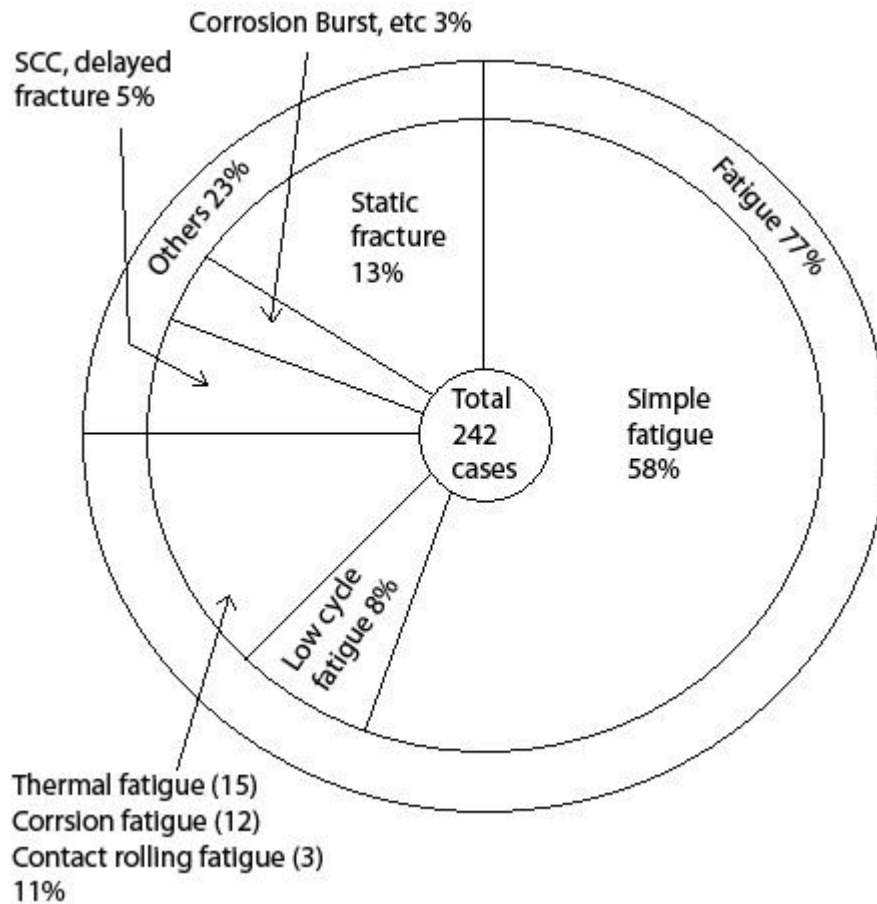
Seperti diperlihatkan dalam grafik tegangan-regangan terdapat yang namanya batas luluh (*Yield Strength*). Untuk deformasi elastik itu berada di bawah batas luluh sedangkan untuk deformasi plastik berada/melewati batas luluh suatu material, di mana untuk setiap material mempunyai karakteristik yang berbeda-beda.

Biasanya daerah elastik itu dibatasi oleh garis proporsioanal antara tegangan dan tegangan, ujung dari titik proporsional ini disebut sebagai *Yield Point*.

2.8 Kelelahan logam

2.8.1 Pengertian Kelelahan Logam

Kelelahan (*Fatigue*) adalah salah satu jenis kegagalan (patah) pada komponen akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah). Diperkirakan 50%-90% kegagalan mekanis adalah disebabkan oleh kelelahan.



Gambar 2.9 Distribusi Model Kegagalan

Sumber : Akuan, A. "Kelelahan Logam". Universitas Jendral Achmad Yani.

2007:1

Modus kegagalan komponen atau struktur dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Modus kegagalan quasistatik (modus kegagalan yang tidak tergantung pada waktu, dan ketahanan terhadap kegagalannya dinyatakan dengan kekuatan).

Jenis- jenis modus kegagalan quasistatik yaitu:

- Kegagalan karena beban tarik.
- Kegagalan karena beban tekan.
- Kegagalan karena beban geser.

Patahan yang termasuk jenis modus kegagalan ini adalah patah ulet dan patah getas

2. Modus kegagalan yang tergantung pada waktu (ketahanan terhadap kegagalannya dinyatakan dengan umur atau *Life Time*).

Sedangkan jenis modus kegagalan yang tergantung pada waktu yaitu:

- Kelelahan (patah lelah).
- Mulur.
- Keausan.
- Korosi.

2.8.2 Mekanisme Patah Lelah

Kelelahan logam diawali dengan pembentukan awal retak dan dilanjutkan dengan penjaralan retakan hingga komponen mengalami patah. Lokasi awal retak pada komponen atau logam yang mengalami pembebanan dinamis atau siklik adalah pada titik daerah dimana memiliki kekuatan yang paling minimum dan atau pada titik daerah dimana mengalami tegangan yang paling maksimum, Mekanisme patah lelah terdiri dari 3 tahap kejadian, yaitu:

1. Tahap awal terjadinya retakan (*Crack Inisiation*)
2. Tahap penjaralan retak (*Crack Propagation*)
3. Tahap akhir (*Final Fracture*)

2.8.3 Faktor yang Mempengaruhi Kelelahan Logam

Untuk memperkirakan umur lelah suatu komponen merupakan suatu hal yang cukup sulit, Hal ini disebabkan oleh banyaknya faktor-faktor yang mempengaruhi umur lelahnya. Faktor-faktor tersebut adalah:

1. Pembebanan.
2. Kondisi material.
3. Proses pengerjaan
4. Temperatur operasi
5. Kondisi lingkungan

2.8.4 Kriteria Kegagalan (*Failure Criteria*)

a) Teori Tegangan Normal Maksimum (Teori Rankine)

Merupakan teori kegagalan paling sederhana yang menjelaskan kegagalan terjadi bila tegangan tarik atau tegangan tekan maksimum melampaui kekuatan tarik atau tekan *uniaksial* dari material. Teori ini cocok untuk material getas. Misalnya, jika tegangan utama untuk setiap keadaan disusun dalam bentuk:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \quad (2-4)$$

maka kegagalan terjadi bila :

$$\sigma_1 = S_{yt} \text{ atau } \sigma_3 = -S_{yc} \quad (2-5)$$

atau

$$\sigma_1 = S_{ut} \text{ atau } \sigma_3 = -S_{uc} \quad (2-6)$$

dimana:

- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: ketiga tegangan utama untuk setiap keadaan
 S_{yt}, S_{yc} : kekuatan mengalah terhadap gaya tarik dan tekan
 S_{ut}, S_{uc} : kekuatan akhir terhadap gaya tarik dan tekan

b) Kriteria Tresca (Teori Tegangan Geser Maksimum)

Teori tegangan geser maksimum menyatakan bahwa kegagalan terjadi bila tegangan geser maksimum elemen sama dengan tegangan geser maksimum pada pengujian tarik dari bahan yang sama. Secara matematis ditulis:

$$\tau_{maks} = \sigma_1 / 2 \text{ atau } \tau_{maks} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \quad (2-7)$$

dimana: τ_{maks} : tegangan geser maksimum
 σ_1, σ_3 : tegangan tarik utama yang terbesar dan terkecil
 untuk kondisi beban *uniaksial* ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0$), kekuatan luluh geser diperoleh sama dengan setengah dari kekuatan tarik.

c) Kriteria Von Mises (Teori Energi Distorsi)

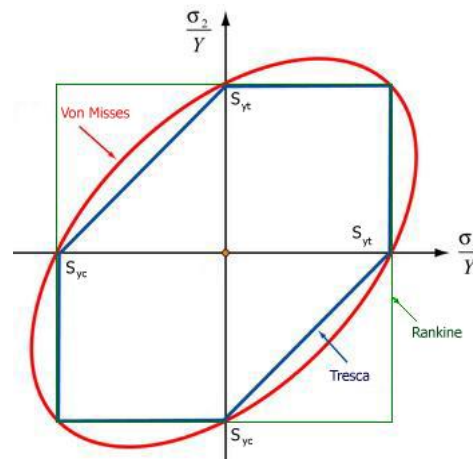
Dalam teori ini, kegagalan diasumsikan terjadi bila energi distorsi dalam elemen uji tarik yang berhubungan dengan perubahan bentuk sama dengan energi distorsi dalam komponen yang mengalami beban multiaksial. Secara matematis dirunjukkan

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_y^2 \quad (2-8)$$

Dimana:

- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: tegangan utama
 σ_y : tegangan luluh

Teori energi distorsi meramalkan kegagalan yang paling tepat, dan karena itu dipakai bila batas keamanan yang dipunyai sangat terbatas. Perbandingan ketepatan tiga teori kegagalan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Perbandingan dari 3 teori kegagalan

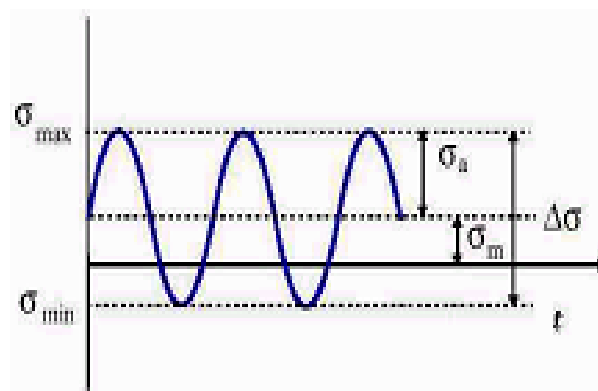
Sumber : http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/metal-forming-1/yield_criteria.php

(diakses Desember 2011)

Dari gambar dapat dilihat bahwa teori tegangan normal maksimum adalah sama dengan teori tegangan geser maksimum pada kuadran pertama dan kuadran ketiga. Begitupun grafik teori tegangan normal maksimum adalah diluar elips teori energi distorsi pada kuadran kedua dan kuadran keempat. Oleh karena itu, teori energi distorsi maksimum (von misses) lebih aman dan lebih sering digunakan.

2.8.5 Beban Siklik Pada Kelelahan Logam

Parameter pembebanan yang berpengaruh terhadap kelelahan logam adalah tegangan rata-rata, S_m dan tegangan amplitudo, S_a serta frekwensi pembebanan.



Gambar 2.11 Tegangan siklik

Sumber : Akuan, A. "Kelelahan Logam". Universitas Jendral Achmad Yani.

2007:12

$$\text{Tegangan amplitudo: } \sigma_a = \sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 \quad (2-9)$$

$$\text{Tegangan rata-rata: } \sigma_m = \sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 \quad (2-10)$$

$$\text{Rasio tegangan: } R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \quad (2-11)$$

Besarnya tegangan rata-rata yang bekerja akan menentukan terhadap besarnya tegangan amplitudo yang diijinkan untuk mencapai suatu umur lelah tertentu. Bila tegangan rata-rata sama dengan 0 atau rasio tegangan sama dengan -1, maka besarnya tegangan amplitudo yang diijinkan adalah nilai batas lelahnya (S_e).

2.8.6 Metode Estimasi Umur Material

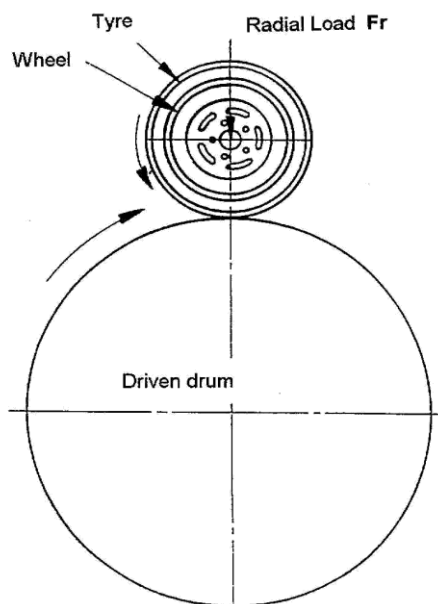
Didalam memprediksi umur Material, terdapat tiga pendekatan yaitu:

1. Pendekatan tegangan (*Stress Approach*) atau dengan istilah lain pendekatan grafik S-N atau metode umur-tegangan (*Stress Life Method*).
2. Pendekatan regangan (*Strain Approach*) atau istilah lain metode umur-regangan (*Strain-Life Method*).
3. Pendekatan mekanika patahan (*Fracture Mechanics*)

2.9 Pengujian *Dynamic Radial Fatigue*

2.9.1 Peralatan

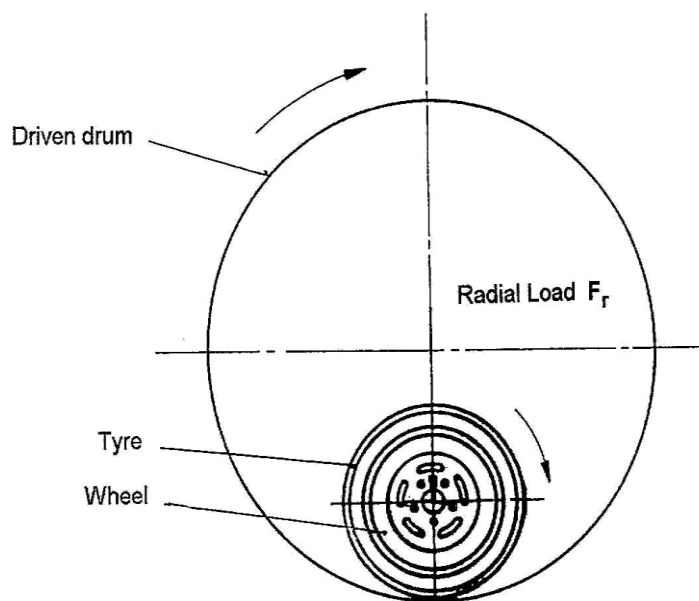
Pada pengujian ini, mesin uji harus dilengkapi dengan suatu sistem dengan putaran radial dan beban yang konstan saat roda berputar. Ada banyak cara untuk memberikan beban radial. Biasanya peralatan yang digunakan berupa penggabungan drum yang diberikan gaya rotasi dengan permukaan yang halus dengan lebar lebih besar daripada lebar ban pada *velg* yang di uji. Drum dengan permukaan kontak pada diameter bagian dalam juga dapat digunakan pada pengujian ini. Diameter minimum yang direkomendasikan untuk drum berputar adalah 1.700mm. Roda yang akan di uji harus diberikan gaya normal ke permukaan drum bagian luar dan secara radial dengan pusat pengujian roda dan drum. Sumbu dari drum dan roda yang akan di uji harus paralel untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.12 dan 2.13



Gambar 2.12 *Eksternal Drum pada Dynamic Radial Fatigue Test*

Sumber : http://www.euwa.org/images/auto/euwa_std_311.pdf

(diakses November 2011)



Gambar 2.13 *Internal Drum pada Dynamic Radial Fatigue Test*

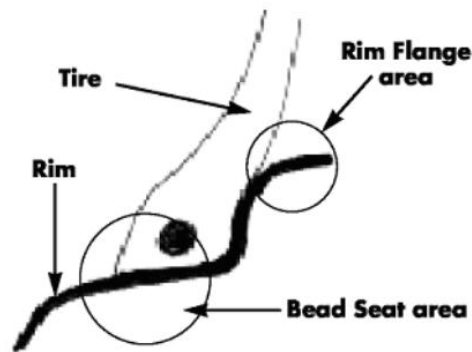
Sumber http://www.euwa.org/images/auto/euwa_std_311.pdf

(diakses November 2011)

2.9.2 Efek *Seating Pressure*

Efek *Seating Pressure* merupakan efek timbulnya gaya karena pengaruh tekanan ban pada rim. *Seating pressure* pada rim terjadi pada 2 bagian yaitu

pada daerah *Rim Flange Area* dan pada daerah *Bead Seat Area*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.14 Daerah Efek *Seating Pressure*

Sumber : Zuliantoni. “*Prediksi Kegagalan Fatik Velg Bintang Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. ITS Surabaya. (2007)

Besarnya gaya komprehensif pada *Bead Seat Area* :

$$F_2 = \pi \cdot P_s \cdot d \cdot t \quad (2-12)$$

Dimana F_2 = Gaya Komprehensif

P_s = Tekanan Terpasang

Besarnya gaya pada *Rim Flame Area* :

$$F_1 = \pi \cdot P_s (r_m^2 - r_b^2) \quad (2-13)$$

Dimana F_1 = Gaya pada *Flange*

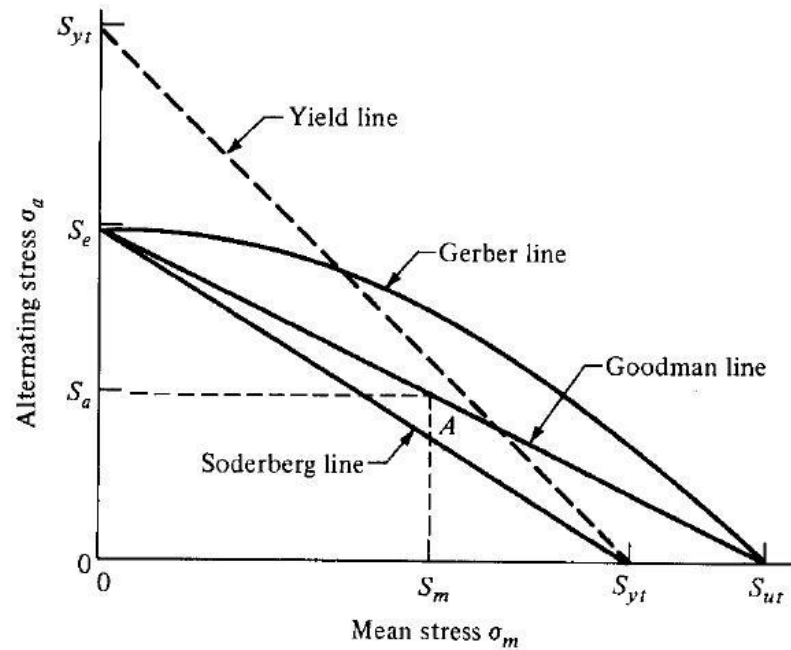
P_s = Tekanan terpasang

r_m = Radius dari sumbu putar ke lebar maksimum penampang ban

r_b = Jarak radius dari sumbu putar ke *Flange*

2.10 Konsep S-N

Konsep tegangan siklus (S-N) merupakan pendekatan pertama untuk memahami fenomena kelelahan logam. Konsep ini secara luas dipergunakan dalam aplikasi perancangan material dimana tegangan yang terjadi dalam daerah elastik dan umur lelah cukup panjang. Metode S-N ini tidak dapat dipakai dalam kondisi sebaliknya (tegangan dalam daerah plastis dan umur lelah relatif pendek).



Gambar 2.15 Diagram Batas Tegangan Terhadap Kelelahan Logam

Sumber : Akuan, A. "Kelelahan Logam". Universitas Jendral Achmad Yani.

2007:13

Dasar dari metoda S-N ini adalah diagram Wohler atau diagram S-N yang secara eksperimen didapat dari pengujian lelah lentur putar dengan tegangan yang bekerja berfluktuasi secara sinusoidal antara tegangan tarik dan tekan.

Persamaan-persamaan yang digunakan pada diagram batas tegangan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar diatas adalah sebagai berikut:

a. Soderberg (USA, 1930):

$$S_a/S_e + S_m/S_{yt} = 1 \quad (2-14)$$

b. Goodman (England, 1899):

$$S_a/S_e + S_m/S_{ut} = 1 \quad (2-15)$$

c. Gerber (Germany, 1874):

$$S_a/S_e + (S_m/S_{ut})^2 = 1 \quad (2-16)$$

d. Morrow (USA, 1960s):

$$S_a/S_e + S_m/S_f = 1 \quad (2-17)$$

Dimana, S_e adalah batas lelah (*Endurance Limit*) yang merupakan tegangan yang memberikan umur tak berhingga. Tegangan dibawah batas lelah akan menyebabkan logam aman terhadap kelelahan. S_u adalah kekuatan tarik dan S_f adalah tegangan patah sebenarnya (*True Fracture Stress*).

2.11 Metode Elemen Hingga

2.11.1 Pengertian Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan penyelesaian permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis dengan ketelitian yang dapat diterima oleh rekayasawan. Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi :

1. Analisa tegangan / *stress*, meliputi *truss* dan *frame* serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan tegangan yang terkonsentrasi.
2. *Buckling* (keadaan dimana suatu benda mengalami penekukan atau pembengkokan akibat adanya gaya dari luar)
3. Analisa Getaran.

Masalah non struktur yang dapat diselesaikan dengan metode ini meliputi:

1. Perpindahan panas dan massa.
2. Mekanika fluida, termasuk aliran fluida lewat media poros.
3. Distribusi dari potensial listrik dan potensial magnet.

2.11.2 Prosedur Perhitungan dengan Metode Elemen Hingga (MEH)

1. Diskretisasi dan pemilihan elemen

Proses ini dalah proses pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil yang lebih sederhana yang dihubungkan pada titik simpul (*node*), kemudian dilakukan pemilihan elemen seperti model awal dari struktur. Hal ini dilakukan untuk mempermudah analisa.

2. Memilih fungsi pendekatan

Variasi perpindahan pada suatu elemen didekati dengan fungsi interpolasi yang didasarkan pada harga simpul yang mengitari. Fungsi yang paling umum digunakan adalah polinomial. Pendekatan dengan fungsi interpolasi ini disebabkan karena sulitnya mencari jawaban tertutup sehingga dipilih suatu bentuk jawaban, yaitu distribusi perpindahan yang merupakan besaran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi yang harus memenuhi hukum, prinsip dan syarat batas yang menjadi sifat persoalan yang ada.

3. Menurunkan persamaan matrik kekakuan [k]

Dengan prinsip usaha virtual akan dihasilkan persamaan matrik

kekakuan elemen yang dinyatakan sebagai berikut :

$$[k] = \int [B]^T [C] [B] dV \quad (2-18)$$

dimana:

[k] : matrik kekakuan elemen

[B] : matrik konstitutive hubungan regangan dan perpindahan

[C] : matrik konstitutive hubungan tegangan dan regangan material

Adapun matrik B untuk elemen tetrahedral adalah sebagai berikut :

$$B_1 = \begin{bmatrix} f_{ix} & 0 & 0 \\ 0 & f_{iy} & 0 \\ 0 & 0 & f_{iz} \\ f_{iy} & f_{ix} & 0 \\ 0 & f_{iz} & f_{iy} \\ f_{iz} & 0 & f_{ix} \end{bmatrix}$$

4. Menghitung matrik beban total

Beban yang bekerja didefinisikan menjadi 3 macam, sehingga beban total adalah :

$$R = Q_{NF} + Q_{BF} + Q_T \quad (2-19)$$

dimana:

Q_{NF} : beban pada konsentrasi nodal

Q_{BF} : beban *body force* (akibat beban sendiri)

Q_T : beban traksi (*surface traction*)

5. Merakit elemen menjadi struktur

Perakitan persamaan elemen akan dibawa ke bentuk persamaan global, yang prosesnya harus memenuhi sifat konvergen dan sifat sinambung. Salah satunya antara lain : titik-titik yang semula bersebelahan harus tetap bersebelahan satu sama lain setelah elemen dikenai beban.

Bentuk persamaan global elemen yaitu :

$$[K] \{q\} = \{R\} \quad (2-20)$$

dimana:

[K] : matrik kekakuan elemen.

{q} : vektor perpindahan simpul.

{R} : matrik beban total.

Setelah matrik kekakuan global diperoleh dan syarat-syarat batasnya dimasukkan maka perpindahan simpul (q) dapat dicari. Suatu syarat batas memberikan informasi bagaimana struktur ditopang dalam ruang, dengan

memasukkan nilai perpindahan yang telah ditetapkan sesuai kondisi pada struktur.

6. Mendapatkan perpindahan global

Persamaan global yang telah mendapatkan syarat batas, merupakan sekumpulan persamaan linier yang secara umum dapat ditulis sebagai berikut :

$$k_{1,1} q_1 + k_{1,2} q_2 + \dots + k_{1,n} q_n = R_1 \quad (2-21)$$

$$k_{2,1} q_1 + k_{2,2} q_2 + \dots + k_{2,n} q_n = R_2$$

.....

$$k_{n,1} q_1 + k_{n,2} q_2 + \dots + k_{n,n} q_n = R_n$$

Persamaan di atas akan diselesaikan dengan cara eliminasi Gauss untuk mendapatkan besaran-besaran primer yaitu $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$.

7. Mendapatkan besaran sekunder dan interpretasi hasil

Dari besaran pertamanya yang berupa perpindahan, dapat dicari besaran sekunder yang dapat berupa tegangan maupun regangan, dengan menggunakan hubungan antara keduanya. Hubungan tegangan-regangan pada kondisi 3D dapat dinyatakan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (2-22)$$

Hubungan tersebut dapat ditulis dalam bentuk simbol berikut :

$$\{\sigma\} = [C] \{\epsilon\}$$

Hubungan regangan dengan perpindahan adalah :

$$\{\epsilon\} = [B] \{d\}$$

Sehingga tegangan dapat dirumuskan sebagai :

$$\{\sigma\} = [C] [B] \{d\}$$

Hasil akhir dari perhitungan dengan metode elemen hingga ini berupa harga distribusi tegangan yang akan diplot di sepanjang struktur untuk dianalisis sesuai dengan rumusan masalah yang ada.

2.11.3 Konvergensi

Suatu vector tak hingga (*infinite*) dikatakan konvergen apabila memenuhi:

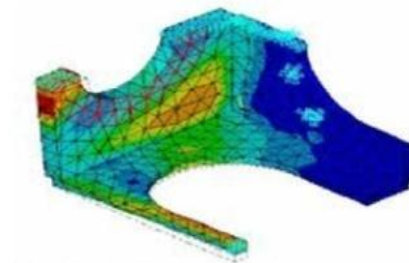
$$\lim_{n \rightarrow \infty} |a_n - a| = \epsilon ; n = 1, 2, \dots \quad (2-23)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = a$$

Mengingat MEH pada prinsipnya adalah metode komputasi numerikal yang bersifat pendekatan, maka hasil akhir komputasinya akan mengalami perbedaan numerikal dengan sistem yang sebenarnya. Oleh karena itu secara umum persamaan di atas menyatakan bahwa konvergensi akan terjadi bila kesalahan atau penyimpangan (*error*) yang terjadi mendekati nol.

2.12 Software ANSYS

Software yang berbasis elemen hingga ini mempunyai kelebihan lain dari penggunaan *software* ini adalah kemampuan untuk mendiskritisasi model dengan sangat halus, mampu bekerja elemen lebih banyak dan menghasilkan output dengan ketelitian tinggi. ANSYS dapat digunakan untuk menganalisis antara lain : analisis struktural, analisis thermal, analisis listrik, analisis magnetis dan analisis fluida.



Gambar 2.16 Contoh Hasil Pengujian Menggunakan ANSYS

Sumber : <http://www.sv.vt.edu> (diakses November 2011)

Secara umum langkah-langkah analisis dengan menggunakan ANSYS dibagi menjadi tiga, yaitu *Preprocessing* (proses awal), *Solution* (proses solusi) dan *Postprocessing* (proses pembacaan hasil).

1. *Preprocessing* (Proses Awal)

Tahap-tahap penting dalam preprocessing :

- Pemodelan Geometri: disini dilakukan proses modeling geometri baik 1D, 2D maupun 3D
- Pemilihan tipe elemen: digunakan untuk mendiskritisasikan model yang dibuat.

- Material properties (input data material yang digunakan)
- Meshing (pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil/ elemen diskrit)

Pembuatan model geometri dari benda kerja dapat juga dilakukan dengan *software CAD* yang nantinya diekspor ke dalam ANSYS.

2. **Solution (Proses Solusi)**

Tahap-tahap penting dalam Solution :

- Mendefinisikan analisis solusi yang dipakai (*analysis type*)
- Memasukkan kondisi batas (*constrain*)
- Menerapkan pembebanan
- Penyelesaian (*solving*)

3. **General Postprocessing (Proses Pembacaan Hasil)**

Hasil analisis dari proses solusi dapat ditampilkan dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk *plot result* dan *list result*.

- *Plot result*

Dengan menggunakan (*contour plot*) akan tampak distribusi tegangan atau variable lain pada model sehingga mudah dalam menginterpretasikan informasi yang disajikan. Di sini model digambarkan dengan sebaran warna yang menunjukkan besarnya tegangan yang terjadi.

- *List result*

Hasil analisis dalam bentuk *list result* berupa tabel yang memberikan informasi secara detil nilai perpindahan, tegangan dan regangan yang terjadi pada tiap node maupun elemennya.

- *Animasi*

Hasil analisa yang diperoleh juga ditampilkan dalam bentuk simulasi (animasi).

2.13 Hipotesa

Gaya radial dengan besar yang konstan yang bekerja pada *velg* yang berputar akan mengakibatkan tegangan siklik sehingga akan mempengaruhi umur pada *velg* mobil jenis *Lenso*.