

## BAB II LANDASAN TEORI

Landasan teori memuat teori mengenai kanopi pada sepeda motor listrik dengan perangkat tambahan *solar cell*, teknologi motor listrik, material komposit serta metoda dan teknik yang digunakan dalam pembuatan produk berbahan komposit.

### 2.1 Kanopi

Pada dasarnya kanopi dapat dikatakan sebagai suatu pelindung diatas kepala yang dapat menjadi naungan atau tempat berteduh. Kanopi juga menjadi alat proteksi guna menahan berbagai elemen yang mengganggu, pada sepeda motor listrik, kanopi selain berfungsi sebagai penahan angin sekaligus pelindung dari panas ataupun hujan, karena dilengkapi dengan sel surya, maka dapat berfungsi sebagai pengisi batrei pada sepeda motor listrik tersebut.

### 2.2. Teknologi Sepeda Motor Listrik

Sepeda motor listrik adalah kendaraan tanpa bahan bakar minyak yang digerakkan oleh dinamo dan *akumulator*. Seiring dengan adanya masalah pemanasan global dan kelangkaan BBM maka kini produsen kendaraan berlomba-lomba menciptakan kendaraan *hibrida*, dan sepeda motor listrik termasuk salah satu di dalamnya. Sampai sekarang di Indonesia telah tersedia tipe dengan kecepatan 60 km/jam, dilengkapi rem cakram, lampu penerangan dekat dan jauh, lampu sein, lampu rem serta klakson.

Sepeda motor listrik adalah kendaraan tanpa bahan bakar minyak yang digerakkan oleh dinamo dan akumulator, yang terbagi dalam dua jenis arus, yaitu DC maupun AC. Namun di dalam penggunaan secara massal di Indonesia, motor listrik yang beredar bertipe arus DC. Untuk dinamo di pasaran Indonesia, sudah menggunakan tipe *brushless* (tanpa sikat/kawat) seperti di luar negeri.

Cara kerja sepeda motor listrik adalah motor listrik digerakkan oleh seperangkat batere. Batere tersebut dari jenis batere yang dapat diisi ulang. Pengisian batere ini dapat langsung diisi dengan jaringan listrik rumah melalui *battery charger*. Batere charger ini merubah tegangan listrik 220 V AC menjadi menjadi 12 Volts atau 24 Volts DC dengan arus listrik (ampere) yang disesuaikan dengan kesanggupan batere untuk menyerap aliran listrik dan menampungnya. Waktu pengisian berlangsung antara dua jam sampai enam jam, sampai batere terisi penuh dengan tenaga listrik.



Gambar 2.1 Sepeda motor listrik (Emoto Co., 2005)

Sepeda motor listrik memberi keterangan perkiraan biaya perjalanan dengan jarak 40 km hanya Rp.639. Perhitungan ini didapatkan dari pemakaian energi sebanyak 533 watt jam (Wh) untuk menempuh jarak 20 kilometer pada jalan datar. Saat ini tarif dasar listrik untuk 1 kWh mencapai Rp 600, sehingga beban biaya listrik untuk jarak 40 kilometer itu hanya Rp 639. Sedangkan untuk menempuh jarak 40 kilometer, sepeda motor konvensional diperkirakan membutuhkan bahan bakar bensin hingga 1 liter. Dengan demikian, sepeda motor itu terbebani biaya pembelian bensin Rp 4.500 untuk jarak yang sama. (baskoro,2009)

### 2.3. Pengertian Komposit

Bahan komposit merupakan suatu sistem bahan yang digabungkan dari campuran atau kombinasi dua atau lebih bahan penyusun yang pada skala makro berbeda dalam bentuk atau komposisi bahan yang masing-masing tidak larut satu sama lain. Skala makro berarti bahwa komponen awal setelah dicampur masih terlihat.

Penggabungan material ini dimaksudkan untuk menemukan atau mendapatkan material baru yang mempunyai sifat antara (*intermediate*) material penyusunnya. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan saling memperbaiki kelemahan dan kekurangan bahan-bahan penyusunnya. Adapun beberapa sifat-sifat yang dapat diperbaiki antara lain : kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan lelah, ketahanan pemakaian, berat jenis, pengaruh terhadap temperatur.

Dalam hal ini gabungan bahan ada dua macam :

a. Gabungan makro :

1. Bisa dibedakan dengan cara melihat (dengan mata).
2. Penggabungan lebih secara fisis dan mekanis.
3. Bisa dipisahkan lagi secara fisis dan mekanis.

b. Gabungan mikro :

1. Tidak bisa dibedakan dengan cara melihat (dengan mata).
2. Penggabungan ini lebih secara khemis
3. Sulit dipisahkan, tetapi dapat dilakukan secara khemis.

Karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda, dan mempunyai batas antara material penyusun yang tetap dapat dikenali (ASTM D 3878-01, 1998).

## **2.4. Teori Kekuatan Komposit**

### **2.4.1 Panjang Kritis Serat**

Campuran komposit terdiri dari gabungan antara serat dan matrik. Serat sendiri tidak asal digunakan harus diketahui berapa panjang serat yang akan digunakan. Maka harus diketahui panjangnya. Panjang serat yang digunakan harus sesuai penggunaannya agar dapat bekerja secara maksimal, panjang ini disebut juga panjang kritis. Panjang kritis adalah panjang efektif serat yang bekerja pada ikatan matrik, panjang kritis ini berhubungan dengan pengujian *pull out fiber tests*. Panjang kritis serat ( $l_c$ ), yaitu suatu kondisi batas minimum dari serat saat

mengalami patah karena tegangan tarik dengan tanpa mengalami tegangan geser terlebih dahulu. Pada intinya panjang kritis adalah panjang terendah serat pada matrik yang dapat lepas dari ikatan antara serat dan resinnya.

Untuk mencari panjang kritis harus diketahui regangan maksimum atau *elongation* ( $\epsilon_m$ ). Tegangan maksimum yang diterima serat sesaat sebelum patah ini disebut dengan tegangan patah serat ( $\sigma_{Tf}$ ). Panjang kritis serat didapatkan dari kesetimbangan gaya pada serat ketika terkena tegangan.

Tegangan tarik pada serat  $F_{\max} = \sigma_{Tf} \cdot \pi \cdot D^2 / 4$

Dengan  $F_{\max}$  adalah gaya berat, D adalah diameter serat dan tegangan patah serat ( $\sigma_{Tf}$ ).

Dengan rumus diatas panjang kritis  $l_c$  dirumuskan:

Panjang kritis  $l_c = \sigma_{Tf} \cdot D / 2 \tau$

Dengan  $\tau$  merupakan tegangan geser dari ikatan *interfacial* matrik-serat.

#### 2.4.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mencari tegangan dan regangan (*stress strain test*). Dari pengujian ini dapat kita ketahui beberapa sifat mekanik material yang sangat dibutuhkan dalam desain rekayasa. Hasil dari pengujian ini adalah grafik beban versus perpanjangan (*elongasi*). Beban dan *elongasi* dapat dirumuskan:

*Engineering Stress* ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: F = Beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap penampang spesimen (N)

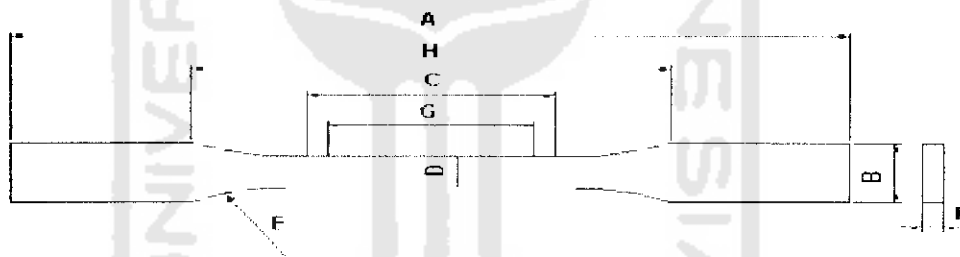
$A_0$  = Luas penampang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = *Engineering Stress* (MPa)

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta L}{l_0} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:  $\epsilon$  = *Engineering Strain*  
 $l_0$  = Panjang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan  
 $\Delta L$  = Pertambahan panjang

Pengujian dilakukan dengan pengujian tarik *matrik* (jenis *plastik resin*) dan komposisinya, dapat menggunakan standar pengujian JIS K 7113 (1981) (Annual Book of JIS Standards, K 7113, 396-407).



Gambar 2.2. Bentuk spesimen uji tarik berdasar standar JIS K 7113 (1981)

Keterangan gambar :

A. Overall length	175 mm
B. Width at ends	$20 \pm 0,5$ mm
C. Length of narrow parallel portion	$60 \pm 0,5$ mm
D. Width of narrow parallel portion	$10 \pm 0,5$ mm
E. Radius of fillets	60 mm
F. Thickness	1-10 mm
G. Gauge length	$50 \pm 0,5$ mm
H. Distance between grips	$115 \pm 5$ mm

### 2.4.3 Kekuatan Bending

Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material, dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material tersebut. Material komposit pada umumnya mempunyai nilai modulus elastisitas bending yang berbeda dengan nilai modulus elastisitas tariknya.

Akibat pengujian bending, pada bagian atas spesimen akan mengalami tekanan, dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi daripada kekuatan tariknya. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian bending, komposit akan mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima. Pada komposit GFRP kekuatan bendingnya dapat dirumuskan (ASTM D 790) :

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{\frac{PL}{4} \times \frac{1}{2} d}{bx \frac{d^3}{12}} \\ \sigma_b &= \frac{12PLd}{8bd^3} \\ \sigma_b &= \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.3)\end{aligned}$$

dengan catatan P = beban (N), L = panjang span (mm), b = lebar (mm), d = tebal (mm). Nilai Momen bending dicari dengan menggunakan rumus :

$$M = \frac{PL}{4} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan catatan M = momen (N.mm).

Sedangkan untuk mencari modulus elastisitas bending menggunakan rumus

$$E_b = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

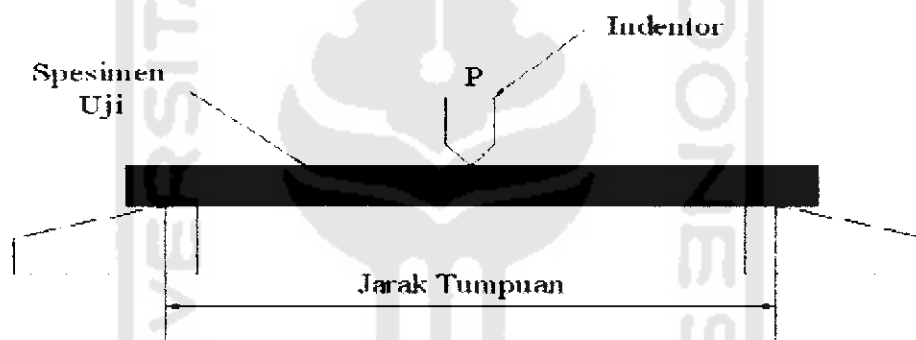
$E_b$  = Modulus Elastisitas Bending (MPa)

$L$  = Panjang Span / Support span(mm)

$b$  = Lebar/ Width (mm)

$d$  = Tebal / Depth (mm)

$m$  = Slope Tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)



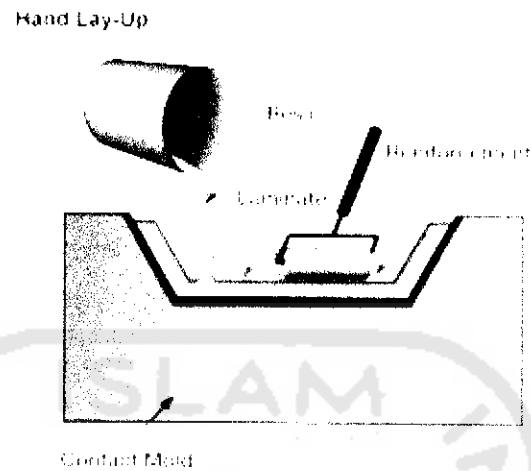
Gambar 2.3 Pemasangan benda uji

## 2.5. Proses Manufaktur Komposit

Ada beberapa cara pembuatan komposit di dunia industri, diantaranya adalah *hand lay-up*, *vacum bag molding*, *autoclave*, dan *filament winding*.

### a. *Hand lay-up*

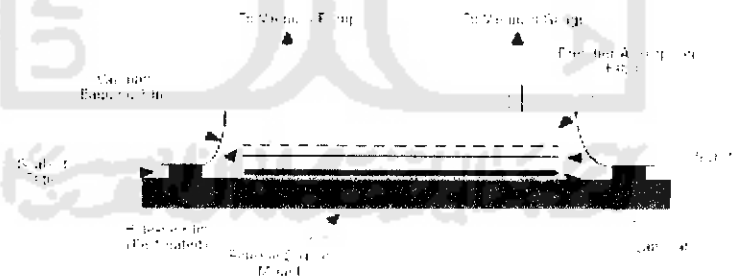
Proses *hand lay-up* dilakukan dengan cara serat dan resin ditempatkan pada cetakan, kemudian disapu atau dirol. Proses penyapuan ini fungsinya untuk menghilangkan / mengeluarkan rongga udara yang terjebak dalam resin. Proses ini biasanya dilakukan pada temperatur ruang.



Gambar 2.4. Proses *hand lay up* ([www.flexidynamic.com/method.htm](http://www.flexidynamic.com/method.htm))

b. *Vacum bag molding*

Proses ini dilakukan dengan menggunakan ruang hampa udara yang dihubungkan cetakan untuk menarik gelembung udara dan resin yang berlebihan. Pencetakan dengan *vacum bag molding* biasanya digunakan untuk mencetak benda – benda yang berukuran besar dimana proses hand lay up tidak dapat dilakukan.



Gambar 2.5. Proses *Vacuum bag molding*

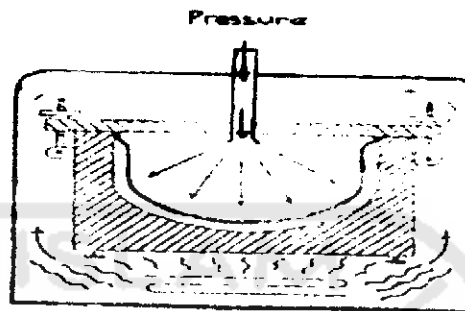
([www.precisioneering.com/glossary\\_laminating\\_methods.htm](http://www.precisioneering.com/glossary_laminating_methods.htm))

c. *Autoclave*

Proses ini dilakukan dengan cara serat dan resin di *lay-up* dan *curing* untuk mendapatkan bentuk awal, kemudian disusun menjadi susunan laminat atau bentuk lain yang diinginkan. Selanjutnya susunan tersebut dimasukkan dalam *autoclave* dan dibuat hampa udara serta dipanaskan.



Pemenuhan ini harus dikontrol dengan baik agar tidak terjadi pengerasan yang permanen dari bentuk awal.

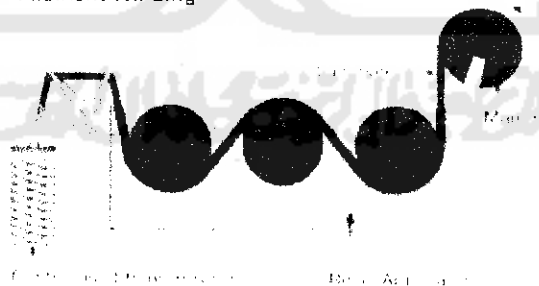


Gambar 2.6. Proses *Autoclave*

d. *Filament winding*

Proses ini dilakukan dengan cara serat dilewatkan pada cairan resin, kemudian digulung pada suatu mandrel yang berputar. Tarikan serat dapat dilakukan untuk menyempurnakan proses *lay-up*. Tebal lapisan diatur dengan mengatur jumlah gulungan dalam mandrel, cara tersebut disebut dengan "*wet winding*".

Filament Winding



Gambar 2.7. Proses *Filament winding* ([www.flexidynamic.com/method.htm](http://www.flexidynamic.com/method.htm))

## 2.6. Serat gelas (*Fiber Glass*)

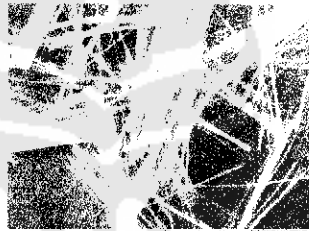
Ialah salah satu jenis material komposit yang termasuk didalam kategori *Fibrous Composite* (komposit serat) GRP (*glass reinforced polymer*). Serat kaca (*fiber glass*) terbuat dari serabut kaca/gelas yang digunakan sebagai penguat

(*reinforce*). Serat kaca adalah kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis dengan garis tengah sekitar 0,005 mm – 0,01 m

*Fiber Glass* mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik tinggi
2. Modulus elastisitasnya tinggi
3. Merupakan bahan isolator yang cukup baik
4. Mempunyai resistansi thermal cukup baik
5. Harga relatif murah

Serat gelas banyak digunakan sebagai material penyusun produk, baik dalam bidang transportasi, peralatan rumah tangga hingga produk-produk kesehatan.



Gambar 2.8. Serat kaca (*fiberglass*)

## 2.7. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala *physis*. Tipe masalah teknis dan matematis *physis* yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah – masalah non struktur.

Permasalahan struktur yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga meliputi :

1. Analisa tegangan/*stress*, meliputi analisa *truss* dan *frame* serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan yang terkonsentrasi.
2. Analisa getaran.
3. *Buckling*.

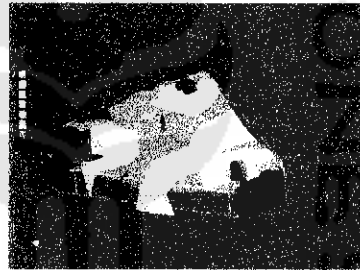
Permasalahan non struktur yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga meliputi :

1. Mekanika fluida.
2. Perpindahan panas dan massa.
3. Distribusi dari potensial listrik dan potensial magnet.

Tipe permasalahan struktur analisa tegangan meliputi:

a. *Equivalent stress*

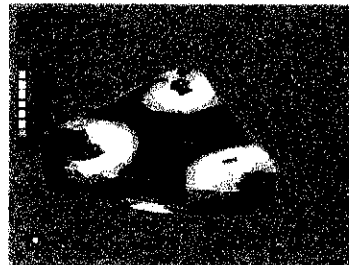
*Equivalent stress* digunakan untuk mengestimasi kegagalan lelah (*fatigue failure*) akibat tegangan berulang (*repeated tensile*) dan beban tarik yang berpotongan (*tensile – shear loading*).



Gambar 2.9 *Equivalent stress*

b. *Maximum Principal Stress*

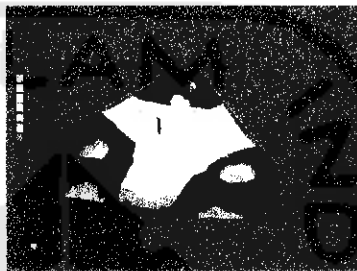
*Maximum Principal Stress* memberikan nilai maksimum dari tekanan utama. *Maximum Principal Stress* membantu untuk memahami gaya tarik maksimum yang terjadi di *part*, pada saat adanya beban.



Gambar 2.10 *Maximum Principal Stress*

c. *Minimum Principal Stress*

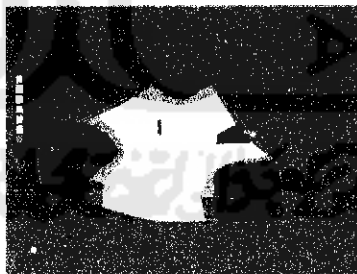
*Minimum Principal Stress* memberikan nilai minimum dari tekanan utama. *Minimum Principal Stress* membantu untuk memahami gaya tekan yang terjadi di *part*, pada saat adanya beban.



Gambar 2.11 *Minimum Principal Stress*

d. *Deformation*

*Deformation* merupakan pergerakan / pergeseran pada bagian benda / permukaan benda yang terkena gaya. Adapun persamaan dari *deformasi* (D) :



Gambar 2.12 *Deformation*

$$D = d1 - d0 \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

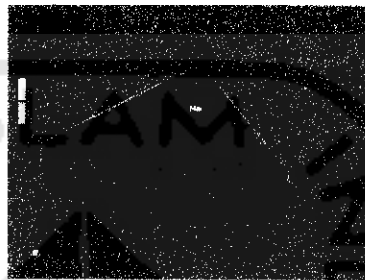
Ket : D = *Deformasi* (mm)

d1= Posisi akhir benda setelah terkena gaya (mm)

d0= Posisi awal benda sebelum terkena gaya (mm)

e. *Safety Factor (SF)*

*Safety Factor (SF)* merupakan factor keamanan yang menunjukkan area atau daerah pada model atau part yang rawan pada saat diberi beban.



Gambar 2.13 *Safety Factor*

Dalam persoalan – persoalan yang menyangkut geometri yang rumit, seperti persoalan pembebanan terhadap setruktur yang kompleks, pada umumnya sulit untuk dipecahkan dengan matematika analisis. Hal ini disebabkan karena matematika analisis memerlukan besaran dan harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang akan dikaji.

Penyelesaian analisis dari suatu persamaan diferensial suatu geometri yang kompleks, pembebanan yang rumit, tidak mudah diperoleh. Formulasi metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. Metode ini menggunakan pendekatan terhadap nilai – nilai yang tidak diketahui pada setiap titik secara diskrit. Dimulai dengan membagi – bagi dalam bagian yang kecil yang secara keseluruhan masih mempunyai sifat yang sama dengan benda yang utuh sebelum terbagi dalam bagian yang kecil (*diskritisasi*).

Beberapa kelebihan dalam penggunaan metode elemen hingga adalah:

1. Benda dengan bentuk yang tidak teratur dapat dengan mudah dianalisa.
2. Tidak terdapat kesulitan dalam menganalisa beban pada suatu struktur.
3. Permodelan dari suatu benda dengan komposisi materi yang berlainan dapat dilakukan karena tinjauan yang dilakukan secara individual untuk setiap elemen.

4. Dapat menangani berbagai macam syarat batas dalam jumlah yang terbatas.
5. Variasi dalam ukuran elemen memungkinkan untuk memperoleh detail analisa yang diinginkan.
6. Dapat menyelesaikan masalah – masalah dinamik (*time dependent*).

Kekurangan yang terdapat dalam penggunaa metode ini adalah diperlukan komputer sebagai sarana hitung yang lebih cepat dan akurat. (*Susatio, 2004*)

## 2.8. Lingkaran Mohr

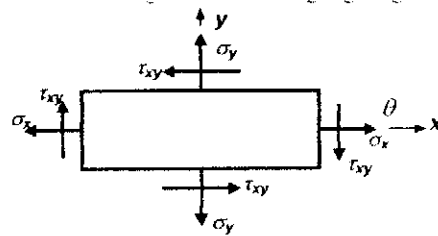
Adanya tegangan-tegangan yang terjadi pada suatu batang oleh pembebanan aksial, poros yang dikenai torsi, batang yang dikenai momen dan lain-lain. Misalnya pada suatu batang, hanya dikenai satu pembebanan pada suatu saat. Sering dalam kenyataan, batang tersebut menerima berbagai bentuk pembebanan dalam satu waktu yang bersamaan dan untuk itu diperlukan penjabaran mengenai tegangan dibawah kondisi-kondisi tersebut. Karena tegangan normal dan tegangan geser merupakan suatu vektor, maka penjabarannya merupakan gabungan dengan penjabaran pembebanan tunggal seperti yang telah didiskusikan dimuka. Tujuan pokok dari bahasan ini adalah untuk investigasi kondisi tegangan-tegangan pada suatu bidang bahan melalui elemen bahan yang dikenai pembebanan gabungan.

### 2.8.1 Kasus umum tegangan dua dimensi

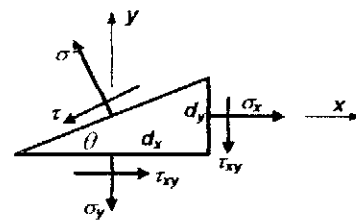
Pada umumnya jika satu elemen bidang dipindahkan dari induk (*body*) maka akan terkenai tegangan normal  $\sigma_x$  dan  $\sigma_y$  bersama dengan tegangan geser  $\tau_{xy}$  seperti gambar 2.14.

### 2.8.2 Konversi tanda

Untuk tegangan normal, tegangan tarik diberi tanda positif dan tegangan tekan diberi tanda negatif. Untuk tegangan geser, arah positif adalah seperti ditunjukkan gambar 2.14.



Gambar 2.14 Tegangan



Gambar 2.15 Tegangan bidang miring

**2.8.3 Tegangan pada bidang miring**

Diasumsikan bahwa  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  dan  $\tau_{xy}$  diketahui. Untuk keperluan penjabaran, suatu bidang miring dengan sudut  $\theta$  terhadap sumbu x berada pada suatu balok seperti diperlihatkan pada gambar 2.14. Tegangan normal dan tegangan geser untuk bidang tersebut dinyatakan dengan  $\sigma$  dan  $\tau$  seperti ditunjukkan pada gambar 2.15. Dari gambar tersebut diperoleh :

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \dots\dots\dots(2.8)$$

**2.8.4 Tegangan pokok**

Terdapat beberapa nilai sudut  $\theta$  yang memberikan nilai tegangan maksimum untuk suatu kumpulan tegangan  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  dan  $\tau_{xy}$ . Nilai maksimum dan minimum tegangan ini disebut dengan tegangan pokok dan dinyatakan dengan :

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

### 2.8.5 Arah tegangan pokok

Suatu sudut dilambangkan dengan  $\theta_p$ , yang terletak diantara sumbu x dan suatu bidang dimana terjadi tegangan pokok dinyatakan dengan :

$$\tan 2\theta_p = \frac{-\tau_{xy}}{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)} \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.8.6 Tegangan geser maksimum

Terdapat beberapa nilai sudut  $\theta$  yang memberikan nilai tegangan geser maksimum untuk suatu kumpulan tegangan  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  dan  $\tau_{xy}$ . Nilai maksimum dan nilai minimum tegangan geser ini dinyatakan dengan :

$$\tau_{\max \min} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

### 2.8.7 Arah tegangan geser maksimum

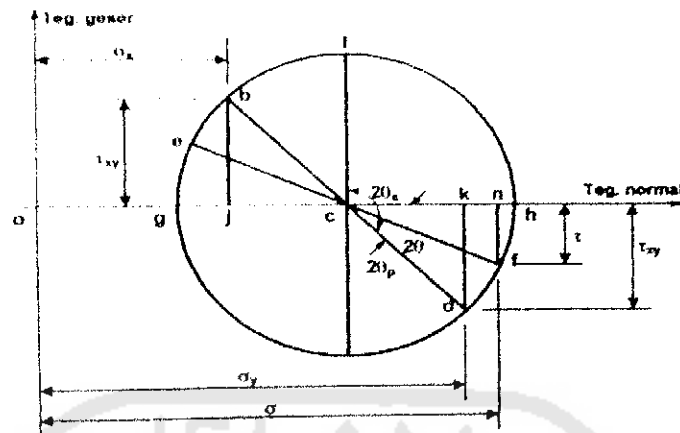
Suatu sudut dilambangkan dengan  $\theta_s$ , yang terletak diantara sumbu x dan suatu bidang dimana terjadi tegangan geser maksimum dinyatakan dengan :

$$\tan 2\theta_s = \frac{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)}{\tau_{xy}} \dots\dots\dots(2.13)$$

### 2.8.8 Lingkaran Mohr

Informasi yang terkandung dalam persamaan-persamaan diatas dapat dinyatakan dalam bentuk grafis yang dikenal dengan *Lingkaran Mohr*. Tegangan normal digambarkan disepanjang sumbu vertikal. Tegangan-tegangan  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  dan  $\tau_{xy}$  diplot dalam skala dan suatu lingkaran digambarkan melalui titik-titik dimana pusatnya terletak pada sumbu horizontal. Gambar 2.16 menunjukkan lingkaran mohr untuk suatu elemen yang dikenai berbagai bentuk tegangan.





Gambar 2.16 Lingkaran Mohr

### 2.8.9 Konversi tanda pada Lingkaran Mohr

Tegangan tarik adalah positif dan tegangan tekan adalah negatif. Tegangan tarik diplotkan disebelah kanan titik pusat dan tegangan tekan disebelah kiri titik pusat. Untuk tegangan geser terdapat perbedaan dengan tanda yang digunakan pada persamaan-persamaan diatas. Tegangan geser adalah positif jika cenderung memutar elemen searah jarum jam, dan negatif jika memutar elemen berlawanan jarum jam. Untuk elemen tersebut tegangan geser pada permukaan vertikal adalah positif, dan pada permukaan horizontal adalah negative. (Purwantana, 2007)