

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Berbagai penelitian untuk analisa retakan sudah dilakukan. Simulasi – simulasi yang dilakukan sudah banyak dengan variasi – variasi penelitian yang berbeda – beda.

Nak-Hyun Kim *et at.* pada tahun 2011 melakukan analisa mengenai beban dan parameter retakan pada pipa dinding tebal. Beban yang diberikan berupa tekanan dari dalam pipa, beban tarik dan *bending*. Hasil dari penenlitan ini menunjukkan bahwa pembebanan normal yang diberikan pada pipa dengan bentuk retak tertentu tidak telalu berpengaruh terhadap rasio dari radius dan ketebalan pipa.

Liu Yonggang *et al.* pada tahun 2011 melakukan simulasi mengenai analisa kegagalan pada *drill pipe*. Penelitian ini difokuskan pada tegangan yang terjadi pada zona transisi pada pipa bor dengan Miu (bentuk daerah transisi) dan R (radius pipa daerah transisi) yang berbeda. Hasil dari penelitian ini adalah dengan akibat adanya pembebanan tarik pada pipa, zona transisi merupakan zona yang memiliki konsentrasi tegangan yang terbesar dibandingkan dengan bagian lain dari pipa. Selanjutnya, dengan Miu = 160 mm dan R = 300 mm, konsentrasi tegangan menurun menjadi minimum dan merupakan ukuran terbaik yang dapat diperoleh untuk mengurangi *failure* yang terjadi.

#### 2.2 Pembebanan pada Material

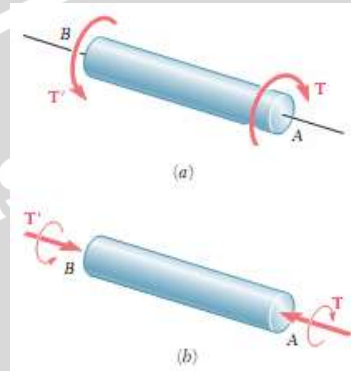
Terjadinya retakan pada material diakibatkan adanya pengaruh beban yang diberikan, beban ini menyebabkan adanya konsentrasi tegangan pada titik tertentu dan apabila material tersebut tidak dapat menahannya maka akan terjadi retakan yang bisa berlanjut pada patahnya material. Beban yang diberikan bisa berupa beban statis atau pun beban *fatigue*.

Beban statis adalah beban yang diberikan secara perlahan, diberikan sekali dan tanpa dihilangkan (Mott, 164:2004). Sedangkan beban *fatigue* adalah beban dengan besar yang sama berupa beban tarik dan diikuti dengan beban tekan yang diberikan secara berulang – ulang. (Mott, 167, 2004).

Beban yang diberikan ada beberapa macam yaitu *torsion* (puntir) , *tension* (tarik), *bending* (tekuk), *shearing* (geser).

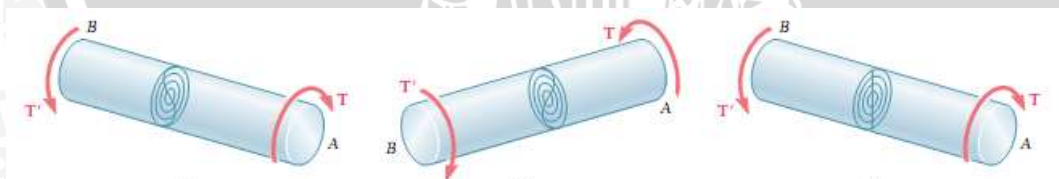
### 2.2.1 Torsion Load (Beban Puntir)

*Torsion loading* (beban puntir) banyak dijumpai pada benda – benda yang berbentuk lingkaran dan dikenai putaran. Dalam aplikasinya, beban torsi ini terdapat pada poros transmisi yang berfungsi untuk mentransmisikan daya. Dapat dilihat pada Gambar 2.1 beban puntir ini memberikan nilai yang sama pada ujungnya namun arahnya berlawanan

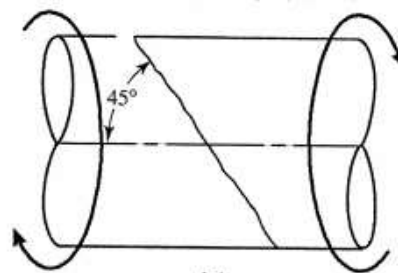


Gambar 2.1 Beban Puntir pada Poros.  
Sumber : Beer, et al. (2012 : 142)

Deformasi akan terbentuk dengan adanya beban torsi yang dikenai pada poros. Poros akan berputar pada lintasannya dan akan membentuk pola konsentrasi tegangan yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Apabila terdapat retakan pada material dengan beban puntir, maka retakan ideal yang terbentuk akan membentuk sudut  $45^\circ$  seperti pada Gambar 2.3.

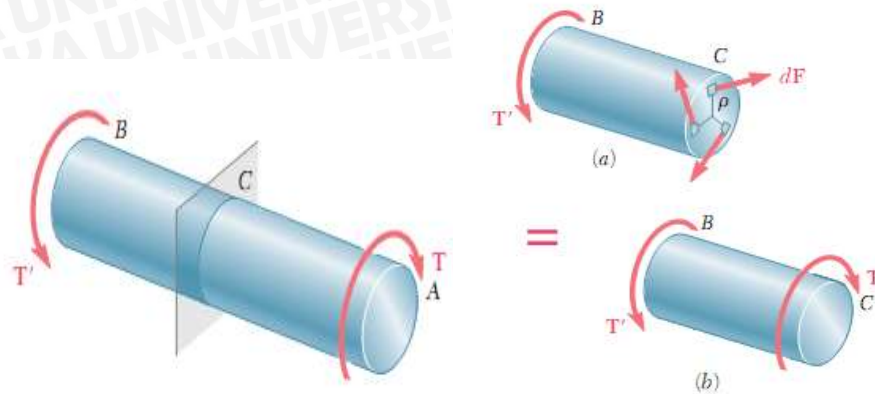


Gambar 2.2 Potensial konsentrasi tegangan yang terbentuk akibat beban puntir  
Sumber : Beer, et al. (2012 : 146)



Gambar 2.3 Pola retak ideal akibat beban puntir  
Sumber : Stephen et al. (2001,39)

Beberapa persamaan dalam pembebanan torsi :



Gambar 2.4 Contoh analisa *torsion loading*  
 Sumber : Beer, et al. (2012 : 144)

Untuk perhitungan tegangan geser yang dihasilkan akibat beban torsi dapat dilihat pada persamaan (2-1).

$$\int \rho dF = T \tag{2-1}$$

Karena  $dF = \tau dA$ , dimana  $\tau$  adalah tegangan geser pada area  $dA$  dan  $\rho$  adalah jarak tegak lurus dari beban dari pusat poros maka dapat disubstitusikan menjadi

$$\int \rho(\tau dA) = T \tag{2-2}$$

Untuk perhitungan regangan geser dapat dilihat pada persamaan (2-3) dimana  $c$  adalah radius poros dan  $\gamma$  adalah regangan geser,

$$\gamma = \frac{\rho}{c} \gamma_{\max} \tag{2-3}$$

Menurut persamaan hukum Hooke mengenai tegangan-regangan maka dapat dituliskan persamaan (2-4) tentang hubungan tegangan-regangan suatu material,

$$\tau = G\gamma \tag{2-4}$$

Dimana  $G$  adalah modulus elastisitas dari material maka dengan mensubstitusikan persamaan (2-3) kedalam persamaan (2-4) maka dapat dituliskan

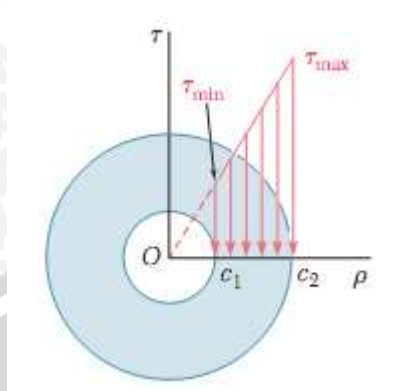
$$G\gamma = \frac{\rho}{c} G\gamma_{\max} \tag{2-5}$$

Atau bisa juga dengan,

$$\tau = \frac{\rho}{c} \tau_{\max} \tag{2-6}$$



Persamaan diatas digunakan untuk silinder pejal, namun apabila hendak menghitung silinder berlubang seperti Gambar 2.5 maka dapat menggunakan persamaan (2-7)



Gambar 2.5 Analisa dalam poros berlubang  
Sumber : Beer, et al. (2012 : 149)

$$\tau_{\min} = \frac{c_1}{c_2} \tau_{\max} \quad (2-7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-6) kedalam persamaan (2-2) maka akan didapatkan,

$$T = \int \rho \tau dA = \frac{\tau_{\max}}{c} \int \rho^2 dA \quad (2-8)$$

Karena  $\int \rho^2 dA$  merupakan momen inersia  $J$  dengan pusat  $O$ , maka kita dapat menuliskan

$$T = \frac{\tau_{\max} J}{c} \quad (2-9)$$

$$\tau_{\max} = \frac{Tc}{J} \quad (2-10)$$

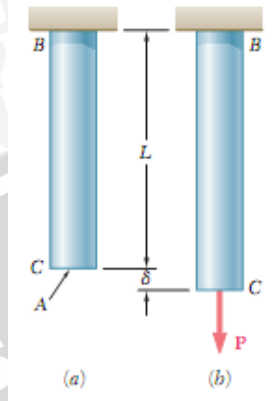
Atau apabila hendak menghitung tegangan geser pada jarak  $\rho$  dari pusat maka dapat dituliskan

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \quad (2-11)$$

### 2.2.2 Tension Load(Beban Tarik)

Salah satu aspek penting dalam analisa struktur dan desain adalah mengenai deformasi yang diakibatkan oleh adanya beban yang diberikan kepada struktur tersebut.

Salah satu penyebabnya adalah beban tarik yaitu beban yang diberikan searah terhadap sumbu.



Gambar 2.6 Deformasi akibat beban aksial. (a) sebelum dikenai beban. (b) setelah dikenai beban.

Sumber : Beer, et al. (2012 : 55)

Beberapa perhitungan dalam pembebanan aksial. Dalam hukum Hooke seperti yang ditunjukkan persamaan (2-12) hubungan tegangan regangan dimana  $\sigma$  adalah tegangan,  $E$  adalah modulus elastisitas dan  $\varepsilon$  adalah regangan maka dapat diperoleh persamaan

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2-12)$$

Untuk mencari regangan dapat dilakukan dengan melihat persamaan (2-13)

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2-13)$$

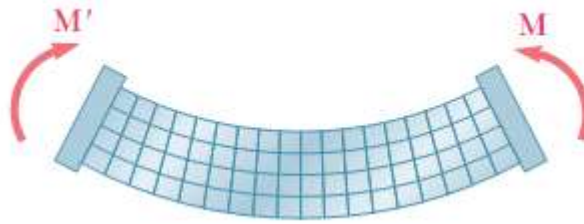
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE} \quad (2-14)$$

Substitusikan persamaan (2-13) kedalam persamaan (2-14) maka akan diperoleh besarnya deformasi  $\delta$  yang terjadi

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2-15)$$

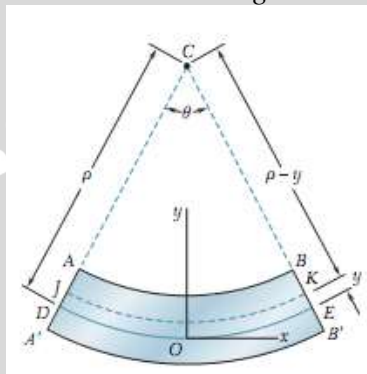
### 2.2.3 Bending Load (Beban Tekuk)

Dalam membuat desain berupa batang ataupun balok, beban bending haruslah selalu diperhitungkan. Penelitian mengenai bending sering dikaitkan dengan penelitian tentang batang, contohnya adalah penelitian tentang bentuk prismatic dengan pembebanan transversal.



Gambar 2.7 Beban bending pada balok  
Sumber : Beer, et al. (2012 : 227)

Beberapa persamaan dalam beban *bending*:



Gambar 2.8 Analisa beban *bending*  
Sumber : Beer, et al. (2012 : 227)

Dapat dilihat pada persamaan (2-16) untuk mencari regangan dengan jari – jari kelengkungan  $\rho$  dan jarak titik beban dari permukaan mula – mula adalah  $y$  dan cadalah pusat kelengkungan bending maka

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{\rho} \quad (2-16)$$

$$\varepsilon_m = \frac{c}{\rho} \quad (2-17)$$

Dengan  $\varepsilon_m$  adalah regangan maksimum yang dimiliki maka suubstitusikan persamaan (2-17) ke (2-16) akan didapatkan

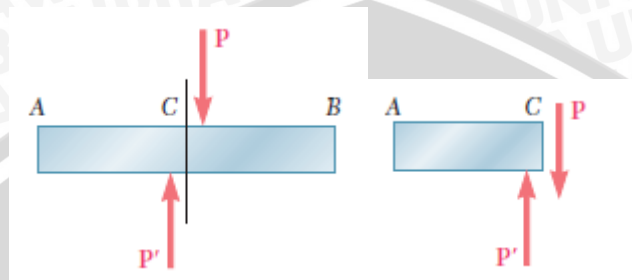
$$\varepsilon_x = -\frac{y}{c} \varepsilon_m \quad (2-18)$$

Untuk menghitung tegangan  $\sigma_x$  dapat dituliskan sebagai

$$\sigma_x = -\frac{y}{c} \sigma_m \quad (2-19)$$

### 2.2.4 Shearing Load (Beban Geser)

Apabila sebuah benda terkena beban aksial, maka beban tersebut akan menimbulkan tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal ini disebabkan oleh beban *bending* sedangkan tegangan geser disebabkan oleh beban geser. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.9 apabila ada beban  $P$  dan  $P'$  diberikan, maka akan menimbulkan tegangan geser sebesar nilai resultan dari  $P$  dan  $P'$ .

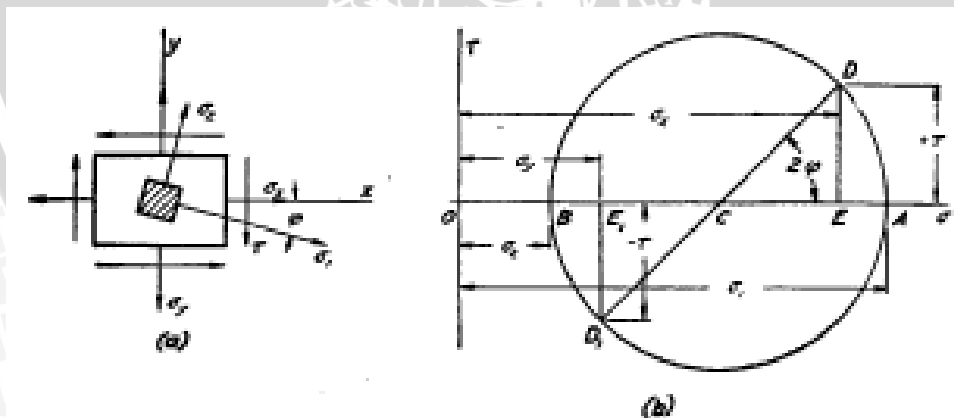


Gambar 2.9 Diagram beban geser  
Sumber : Beer, et al. (2012 : 11)

### 2.3 Principle Stress

*Principle stress* adalah nilai tegangan yang muncul pada bidang yang ada dan tegak lurus terhadapnya ketika tegangan geser hilang (Boresi,2003). Bidang – bidang yang tegak lurus dengan *principle stress* disebut bidang *principle stress*.

#### 2.3.1 Principle Stress 2D



Gambar 2.10 Diagram *principle stress* dan lingkaran Mohr  
Sumber : Timoshenko. (1948 : 47)

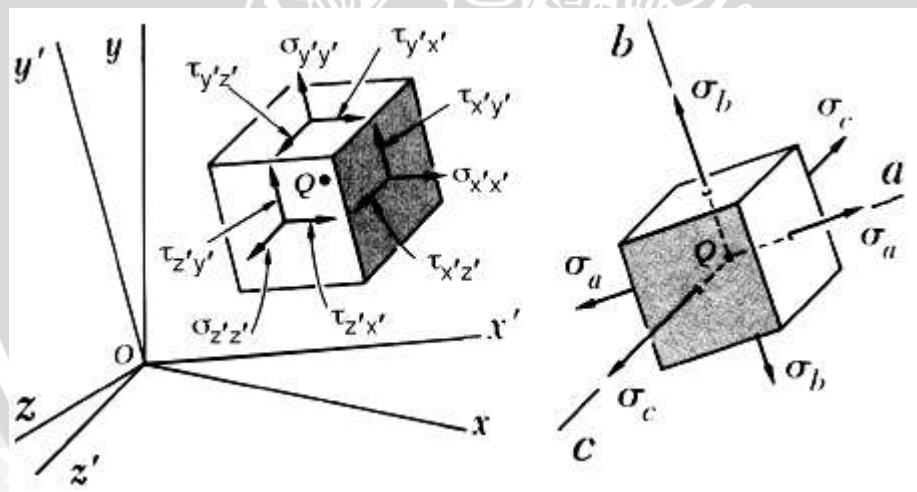
Apabila sebuah benda dikenai beban  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  dan  $\tau$  maka akan menimbulkan suatu tegangan normal terhadap bidang yang dikenai beban yang akan menghasilkan tegangan yang dikenal dengan *principle stress*. Untuk mengetahui nilai  $\sigma_1$  dan  $\sigma_2$  sebelumnya

harus menghitung nilai dari titik D dan D1 menggunakan  $\sigma_x$  dan  $\sigma_y$ . Dari titik D dan titik D<sub>1</sub> dapat diketahui sebagai diameter dari lingkaran. Perpotongan antara diameter lingkaran dengan garis yang dibentuk dari titik A dan titik B adalah C sebagai pusat dari lingkaran. Titik A dan B selanjutnya disebut dengan *principle stress* maksimum dan minimum yang biasanya dituliskan dengan  $\sigma_1$  dan  $\sigma_2$  (Timoshenko, 1948). Secara analitis, untuk mencari nilai *principle stress* sebagai berikut :

$$\sigma_1 = OC + CD = \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_x}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad ((2-20))$$

$$\sigma_2 = OC - CD = \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_x}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

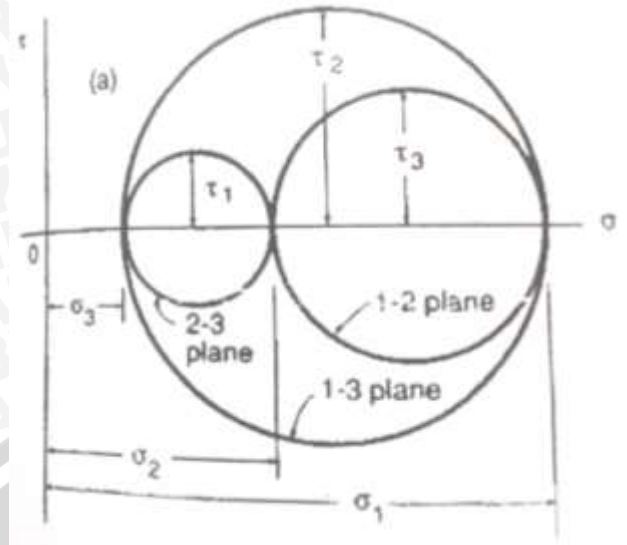
### 2.3.2 Principle Stress 3D



Gambar 2.11 Transformasi tegangan normal menjadi *Principle Stress*  
Sumber : Kriz, 1995

Dalam kenyataannya, benda yang dikenai beban adalah benda 3D dan beban yang dikenai adalah beban dengan komponen x, y dan z. Pada penerapan untuk model 3D, untuk mencari nilai *principle stress* menggunakan prinsip yang menyerupai 2D. Nilai yang muncul adalah  $\sigma_1$  adalah maksimum *principle stress*,  $\sigma_2$  adalah *middle principle stress* dan  $\sigma_3$  adalah minimum *principle stress*.





Gambar 2.12 Diagram Mohr *Principle Stress 3D*  
 Sumber : Dowling, 1999

Komponen tegangan yang bekerja pada 3D di sumbu x,y, dan z adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \tag{2-21}$$

Apabila benda tersebut dikenai beban P dan apabila  $P = N$  dimana N adalah unit normal principle stress maka

$$N = li + mj + nk \tag{2-22}$$

Dimana i,j,k adalah unit vektor. Maka akan didapatkan :

$$\begin{aligned}
 l(\sigma_{xx} - \sigma) + m\sigma_{xy} + n\sigma_{xz} &= 0 \\
 l\sigma_{xy} + m(\sigma_{yy} - \sigma) + n\sigma_{yz} &= 0 \\
 l\sigma_{xz} + m\sigma_{yz} + n(\sigma_{zz} - \sigma) &= 0
 \end{aligned} \tag{2-23}$$

Karena persamaan (2-23) adalah linear homogen dan nilai l,m,n tidak sama dengan 0 maka determinan vektor akan menjadi :

$$\begin{vmatrix} \sigma_{xx} - \sigma & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} - \sigma & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_{zz} - \sigma \end{vmatrix} = 0 \tag{2-24}$$

$$\sigma^3 - I_1\sigma^2 + I_2\sigma - I_3 = 0 \tag{2-25}$$



dimana,

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz} \\
 I_2 &= \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{zz} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{yz} & \sigma_{zz} \end{vmatrix} \\
 &= \sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{xx}\sigma_{zz} + \sigma_{yy}\sigma_{zz} - \sigma_{xy}^2 - \sigma_{xz}^2 - \sigma_{yz}^2 \\
 I_3 &= \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_{zz} \end{vmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{2-26}$$

Maka dapat dituliskan

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\
 I_2 &= \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3 \\
 I_3 &= \sigma_1\sigma_2\sigma_3
 \end{aligned}
 \tag{2-27}$$

Dimana  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , dan  $\sigma_3$  adalah determinannya, maka untuk mendapatkan nilai ketiganya perhitungan menggunakan persamaan harus diulang sampai nilai ketiganya ditemukan.

#### 2.4 Finite Element Method

Metode elemen hingga (*finite element method*) banyak digunakan dalam melahirkan penemuan-penemuan, hal ini dikarenakan FEM dapat berperan sebagai *research tool* pada eksperimen numerik. Aplikasi ini banyak digunakan pada problem kompleks. Analisa elemen hingga memakai metode matriks untuk analisa struktur ketika kemampuan komputer digital yang ada memungkinkan untuk menyelesaikan suatu sistem dengan ratusan persamaan berganda (George E. Dieter, 1988).

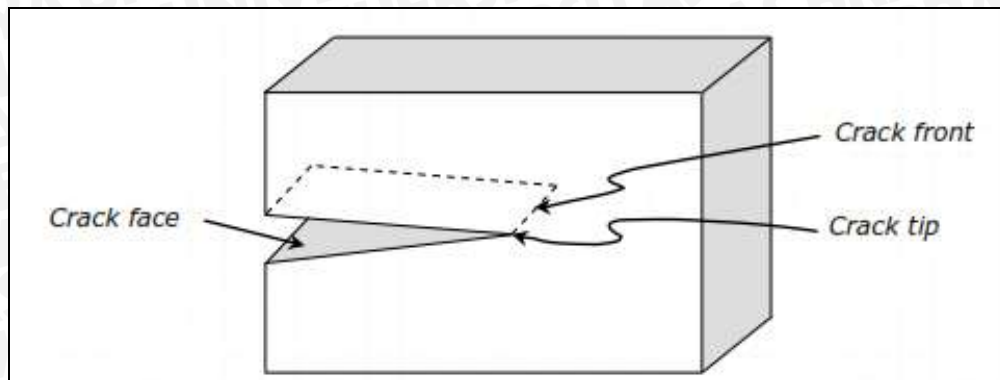
Secara umum langkah-langkah FEM bisa diringkas sebagai berikut :

1. Diskretisasi dan pemilihan elemen
2. Memilih fungsi pendekatan
3. Mendefinisikan regangan-*displacement*, tegangan-regangan
4. Mendefinisikan matriks kekuatan dan *equation*
5. Menggabungkan persamaan elemen dan *boundary condition*

##### 2.4.1 Pemodelan Ujung Retak

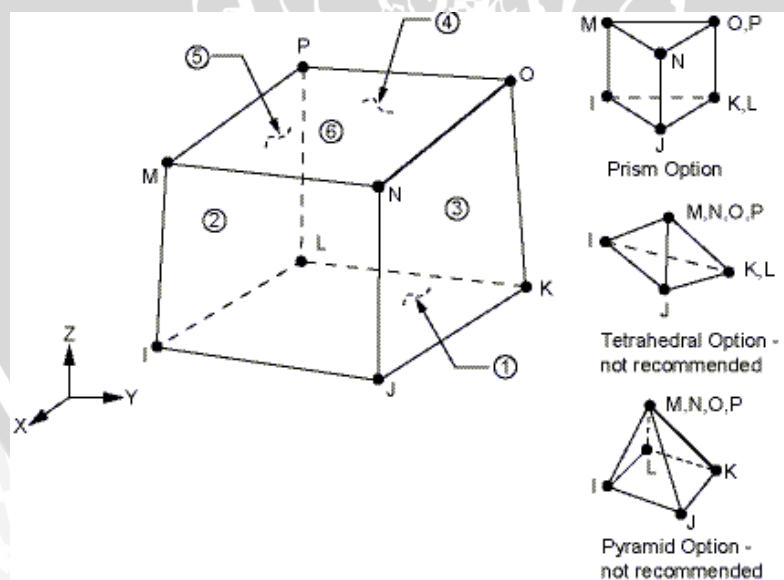
Bagian terpenting dari permodel patahan adalah daerah di sekitar tepi dari retak. Tepi dari retak ini selanjutnya disebut sebagai *crack tip* (ujung retak) pada model 2D

dan *crack front* (depan retak) pada model 3D. Permodelan ini dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 *Crack tip* dan *crack front*  
Sumber : ANSYS Help

Pada ujung daerah ujung retakan, pemodelan harus singular. Salah satu elemen 3D Solid yang direkomendasikan oleh ANSYS v.14.5 adalah SOLID185. SOLID185 terdiri dari 8 node yang mempunyai 3 DOF yaitu translasi sumbu arah X,Y dan Z. Selain itu SOLID185 mempunyai kemampuan plastisitas, hyperelastisitas, creep, serta defleksi dan regangan yang besar sehingga cocok digunakan dalam pemodelan 3D. Geometry dari SOLID185 bisa dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 *Geometry SOLID185*  
Sumber : ANSYS Help

#### 2.4.2 Analisa dalam ANSYS

Secara umum solusi metode elemen hingga dalam ANSYS dapat dibagi menjadi tiga bagian utama yang meliputi tahapan-tahapan penyelesaian yaitu sebagai berikut :

### 1. Preprocessor

Merupakan tahap awal untuk membuat model yang meliputi

- Penentuan *keypoint*, *line*, *area* atau *volume*
- Penentuan jenis elemen dan material yang digunakan beserta *properties*-nya
- Pembuatan *meshing* pada *line*, *area* atau *volume* sesuai kebutuhan.

### 2. Solution

Tahap pemberian beban (*load*) dan mendapatkan hasilnya (*solving*). Pada tahap ini ditentukan bagaimana beban diaplikasikan dan berapa besarnya. Selanjutnya dipilih jenis *constraint* (kondisi batas) yang digunakan (translasi dan, atau rotasi) dan yang terakhir adalah tahap *solving* (*running program*).

### 3. Postprocessing

Merupakan tahap untuk mengevaluasi hasil dari *solving* (*running program*). Pada tahap ini ada beberapa hal yang bisa kita amati atau ditampilkan, yaitu :

- List perpindahan (*displacement*) nodal, tegangan, regangan
- Plot kontur diagram

## 2.5 Hipotesis

Berdasarkan landasan teori maka dapat ditarik hipotesis yaitu pemberian beban tarik dan puntir akan mempengaruhi nilai *principle stress* yang ada karena nilai *principle stress* dipengaruhi oleh nilai tegangan yang bekerja pada suatu komponen. Semakin besar beban tarik semakin besar pula nilai *principle stress* yang dihasilkan. Semakin besar beban puntir maka nilai *principle stress* yang dihasilkan juga semakin besar. Bentuk retak juga mempengaruhi nilai *principle stress* yaitu semakin besar bentuk retak maka nilai *principle stress* juga akan semakin besar.