

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1. Struktur Rangka Ruang (SPACE TRUSS)**

Tidak seperti struktur dua dimensi, dimana semua batang dan gaya-gaya terjadi pada bidang yang sama, pada struktur tiga dimensi, batang dan gaya-gaya yang terjadi pada sebuah ruang. Batang Truss pada struktur tiga dimensi tidak perlu disambung dengan hinge (sendi) tapi disambung dengan di-las ataupun dengan baut.

##### **3.1.1 Komponen Gaya pada Keseimbangan Global dari Space Truss**

Gaya yang terjadi pada rangka kaku dari struktur ruang terjadi pada beberapa arah dan momen yang terjadi pada beberapa sumbunya. Sebuah gaya pada ruang dapat diperinci berapa besarnya, arah dan garis aksinya, atau dengan 3 sumbu koordinat yang saling tegak lurus. Seperti diperlihatkan gambar 3.1, garis aksi gaya yang berubah-ubah membuat 3 bidang dengan sumbu X, Y dan Z. Sedangkan sudutnya  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  dan  $\theta_z$  pada bidang antara gaya P dan  $P_x$ ,  $P_y$  dan  $P_z$  disebut *sudut arah (direction angles)*. Sudut arah adalah sudut pada sumbu batang dengan sumbu koordinat. Cosinus arah adalah perbandingan dari panjang proyeksi dan panjang batangnya. Cosinus arah (*direction cosines*) digunakan untuk menghitung komponen gaya. Cosinus arah didapat dari koordinat joint-jointnya,

titik-titik ujung batangnya. Untuk sebuah batang disambungkan pada joint 1 dan 2, cosinus arah koordinat joint-jointnya adalah :

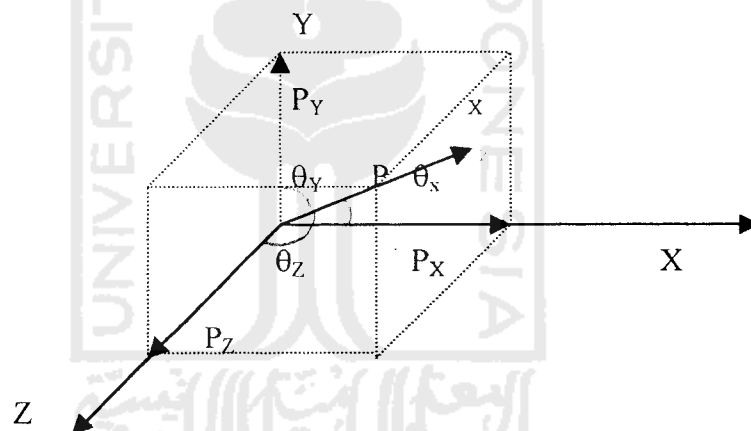
$$\cos \theta_x = \frac{X_2 - X_1}{l} = \frac{l_x}{l} \quad (3.1a)$$

$$\cos \theta_y = \frac{Y_2 - Y_1}{l} = \frac{l_y}{l} \quad (3.1b)$$

$$\cos \theta_z = \frac{Z_2 - Z_1}{l} = \frac{l_z}{l} \quad (3.1c)$$

dan panjang batangnya adalah

$$l = \left[ (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3.1d)$$



Gambar 3.1 Batang-batang pada struktur rangka ruang

Komponen gaya aksial pada cosinus arah adalah

$$P_x = P \cos \theta_x = P \frac{l_x}{l} \quad (3.2a)$$

$$P_y = P \cos \theta_y = P \frac{l_y}{l} \quad (3.2b)$$

$$P_z = P \cos \theta_z = P \frac{l_z}{l} \quad (3.2c)$$

$$\text{dan } P = [P_x^2 + P_y^2 + P_z^2]^{1/2} \quad (3.2d)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat apakah komponen gaya sebanding dengan panjang proyeksinya

$$\frac{P_x}{l_x} = \frac{P_y}{l_y} = \frac{P_z}{l_z} = \frac{P}{l} \quad (3.3)$$

Persamaan keseimbangan dari struktur rangka dinyatakan dengan sebuah nomor dari bentuk yang berbeda bergantung bagaimana kondisi keseimbangan yang dipakai. Jika kita tahu salah satu komponen gaya, maka dua komponen gaya yang lainnya dapat dicari dengan geometri (diukur). Aksi momen hampir berubah-ubah pada sumbu dapat diuraikan kedalam 3 komponen pada 3 sumbu ortogonal. Komponen ini akan mempunyai bentuk yang sama seperti gaya-gaya pada persamaan (3.2). Untuk struktur tiga dimensi persamaan keseimbangannya terdiri dari gaya-gaya yang seimbang pada tiga arah yang saling tegak lurus, dan momen yang seimbang pada tiga sumbu yang saling tegak lurus. Jika koordinat sumbu itu adalah X, Y dan Z, persamaan keseimbangan yang didapat adalah :

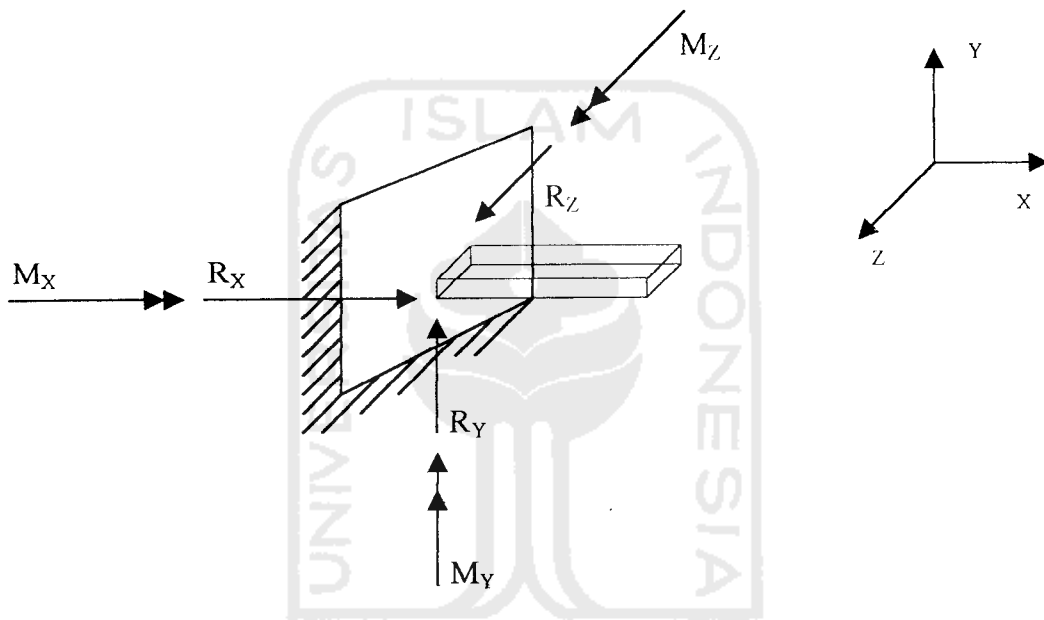
$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0 \quad (3.4a,b,c)$$

$$\text{dan } \sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \quad (3.4d,e,f)$$

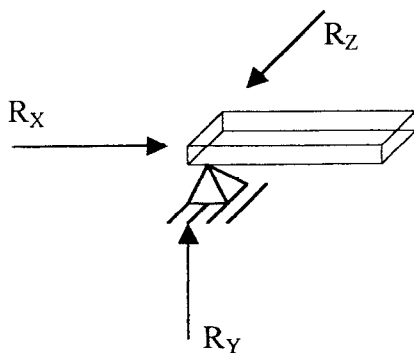
Persamaan ini dapat digunakan untuk mencari reaksi yang sama baik pada gaya-gaya batangnya pada statik tertentu dan gaya aksial, geser, momen dan torsi pada balok tiga dimensi.

### 3.1.2 Struktur Dukungan pada Space Truss

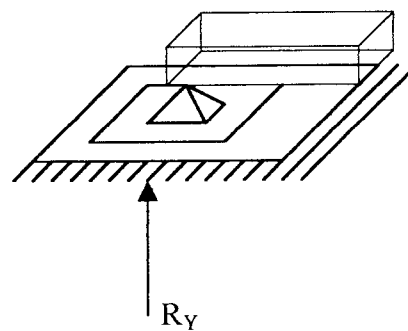
Dukungan pada struktur ruang mempunyai bermacam bentuk, tergantung dari jenis kekangan yang dipakai pada struktur dukungan tersebut. (seperti pada gambar 3.2). Kekangan akan melawan displasmen pada semua arah yang saling tegak lurus atau melawan rotasi pada semua sumbunya. Reaksi beban dapat berupa kombinasi dari gaya  $R_X$ ,  $R_Y$  dan  $R_Z$  dan momen  $M_X$ ,  $M_Y$  dan  $M_Z$ .



(a) Fixed Support (dukungan tetap)



(b) Pinned Support



(c) Roller Support (dukungan rol)

Gambar 3.2 Dukungan pada struktur ruang.

**Fixed Support** (dukungan tetap). Dukungan tetap pada struktur ruang mencegah translasi dan rotasi pada semua arah dan semua sumbu dari dukungan jointnya. Reaksi beban pada dukungan ditunjukkan dengan gaya  $R_x$ ,  $R_y$  dan  $R_z$  dan momen  $M_x$ ,  $M_y$  dan  $M_z$  yang terjadi pada dukungan joint seperti diperlihatkan gambar 3.2a. Letak momen  $M_x$ ,  $M_y$  dan  $M_z$  ditunjukkan dengan vektor sebagai simbol standar panah berkepala ganda.

**Pinned Support.** Pinned support untuk struktur ruang mencegah translasi pada semua arah dari dukungan joint dan membolehkan terjadi rotasi pada joint dari beberapa sumbunya. Reaksi beban pada dukungan joint ditunjukkan dengan gaya  $R_x$ ,  $R_y$  dan  $R_z$ , seperti pada gambar 3.2b.

**Roller Support** (dukungan rol). Pada struktur ruang menyediakan sebuah kekangan translasi pada dukungan joint dan rotasi pada beberapa sumbunya. Reaksi beban terdiri dari sebuah reaksi komponen gaya tunggal yang terjadi pada dukungan joint tegak lurus rol, seperti pada gambar 3.2c.

### 3.1.3 Model Matematika untuk Struktur Rangka Ruang

Model matematika untuk rangka ruang terdiri dari kumpulan joint-joint yang mana disambungkan dengan batang lurus. Perbedaan antara rangka ruang dan rangka bidang adalah pada joint-joint, dalam rangka ruang ditempatkan pada banyak posisi dalam ruang tiga dimensi, demikian juga dibutuhkan batang untuk dimiringkan pada banyak hadapan. Sifat model matematika dari kedua jenis *truss* adalah sama:

1. Semua batang harus mengikat pada joint ujungnya, tidak ada momen antara joint dan batangnya. Penyambungan pada setiap joint ujung sama dengan

sebuah bola dan sendi yang dibolehkan terjadi rotasi pada setiap akhir dari batang pada semua sumbu saat pengekangan translasi pada ujung dengan pengaruh dari jointnya.

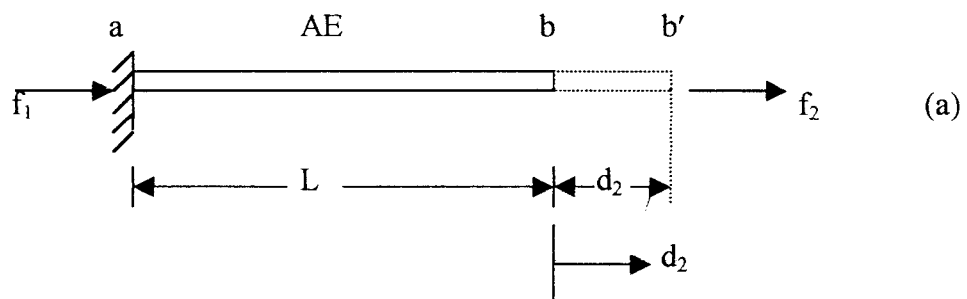
2. Semua beban yang terjadi pada struktur terdiri dari gaya-gaya, yang terpusat yang terjadi pada joint-jointnya. Gaya terjadi pada beberapa arah dalam ruang tiga dimensi.
3. Semua dukungan joint-joint hanya dikekang melawan translasi. Joint-joint tersebut bebas untuk terjadi rotasi pada semua sumbunya.

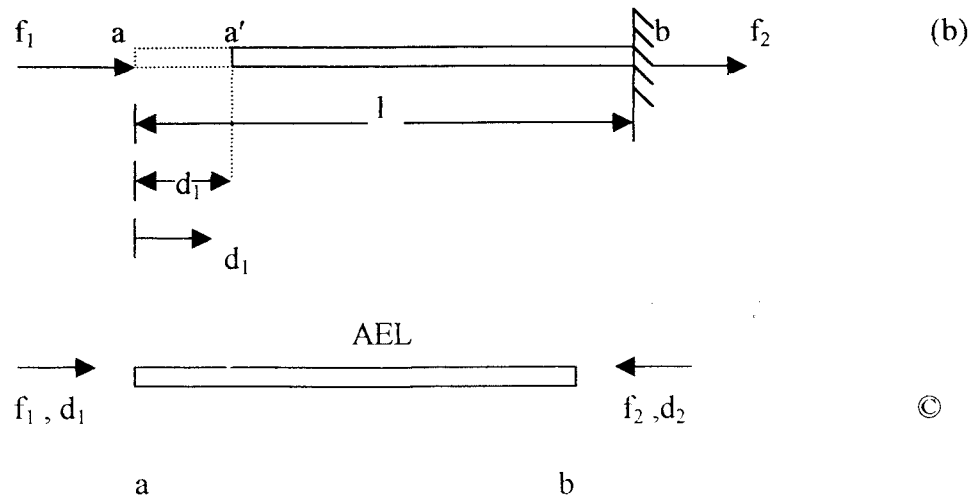
### 3.1.4 Metoda Kekakuan Rangka (Trusses) Tiga Dimensi

Analisis dari rangka tiga dimensi dengan metoda kekakuan adalah sama dengan pengaplikasian dari metode ini pada struktur-struktur lainnya yang bisa dibahas dengan metode ini. Langkah pertama yaitu menentukan matriks kekakuan elemen dalam koordinat lokal dan transformasi serta hubungan displasmen gaya pada koordinat global.

#### Matriks Kekakuan untuk Elemen Rangka Tiga Dimensi

Gaya-gaya batang dan displasmen-displasmen pada koordinat elemen lokal seperti pada gambar 3.3. Matriks kekakuan didapat dengan mencari hubungan antara gaya-gaya pada ujungnya dan displasmennya.





Gambar 3.3 Koordinat elemen lokal

Jika titik b diberi deformasi atau batang a b diperpanjang sebesar  $d_2$  sehingga b menjadi b'. (lihat gambar 3.3.a). Syarat kesetimbangan :

$$f_1 = -\frac{AE}{l}d_2 \quad (3.5a)$$

$$f_2 = \frac{AE}{l}d_2 \quad (3.5b)$$

a menjadi a' (lihat gambar 3.3.b), syarat kesetimbangan :

$$f_1 = \frac{AE}{l}d_1 \quad (3.6a)$$

$$f_2 = -\frac{AE}{l}d_1 \quad (3.6b)$$

Persamaan (3.5) dan (3.6) digabungkan menjadi :

$$f_1 = \frac{AE}{l}d_1 - \frac{AE}{l}d_2 \quad (3.7a)$$

$$f_2 = -\frac{AE}{l}d_1 + \frac{AE}{l}d_2 \quad (3.7b)$$

Persamaan (3.7) diatas dapat dituliskan dalam bentuk matriks

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{l} & -\frac{AE}{l} \\ -\frac{AE}{l} & \frac{AE}{l} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

Persamaan (3.8) diatas dapat dituliskan menjadi

$$\{f\} = [k] \{d\}$$

$\{f\}$  = matriks beban

$[k]$  = matriks kekakuan

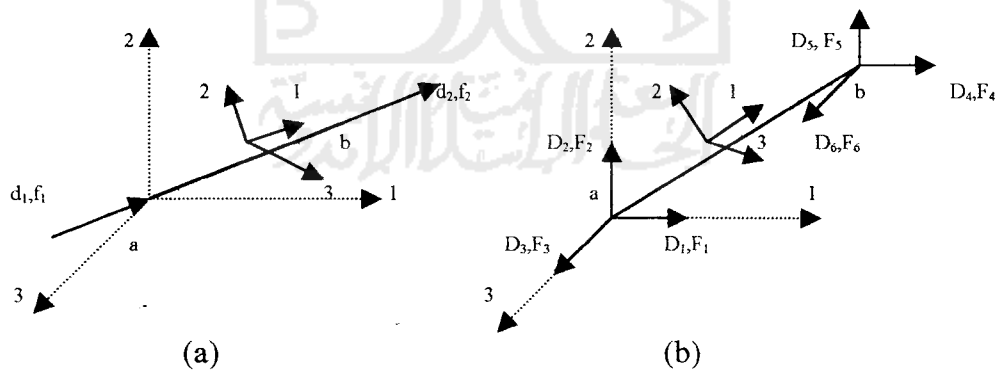
$\{d\}$  = matriks displasmen

### Matriks Transformasi

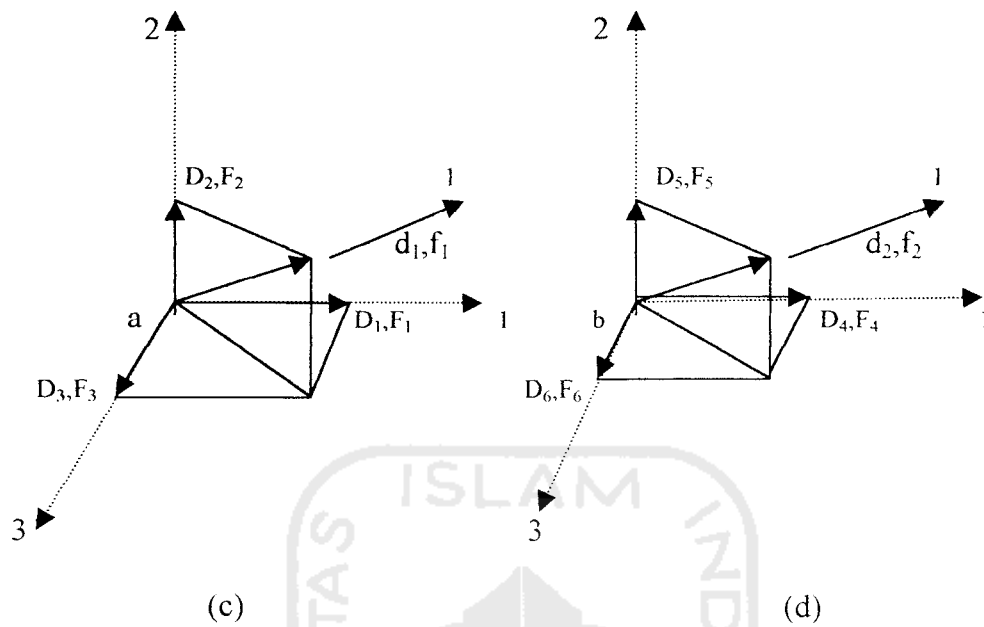
Persamaan dasar dari matriks transformasi adalah

$$f = k \cdot d$$

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \gamma \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{Bmatrix}, \quad \gamma = \frac{AE}{l}$$







Gambar 3.4 Elemen Rangka Ruang (a) Kondisi lokal ; (b) Kondisi global ; (c) ujung a ; (d) ujung b

Deformasi  $d_1$  disini mempunyai komponen-komponen  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  pada koordinat global seperti pada gambar 3.4.

$$d_1 = D_1 \cos \theta_x + D_2 \cos \theta_y + D_3 \cos \theta_z \quad (3.9a)$$

$$d_2 = D_4 \cos \theta_x + D_5 \cos \theta_y + D_6 \cos \theta_z \quad (3.9b)$$

$$d_1 = [\cos \theta_x \quad \cos \theta_y \quad \cos \theta_z] \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{Bmatrix} \quad (3.10a)$$

$$d_2 = [\cos \theta_x \quad \cos \theta_y \quad \cos \theta_z] \begin{Bmatrix} D_4 \\ D_5 \\ D_6 \end{Bmatrix} \quad (3.10b)$$

jika dipakai :

$d_1 = d_a =$  deformasi lokal ujung a

$d_2 = d_b =$  deformasi lokal ujung b

$$\begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{Bmatrix} = D_a = \text{deformasi global ujung a}$$

$$\begin{Bmatrix} D_4 \\ D_5 \\ D_6 \end{Bmatrix} = D_b = \text{deformasi global ujung b}$$

dimana  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , dan  $\theta_z$  adalah sudut-sudut antara sumbu batang x, dan X, Y dan Z adalah sebagai sumbunya. Cosinus dari sudut-sudut tersebut adalah cosinus arah dari sumbu x dengan pengaruh dari koordinat sumbu global. Dengan

$$c_1 = \cos \theta_x \quad c_2 = \cos \theta_y \quad c_3 = \cos \theta_z \quad (3.11a,b,c)$$

maka :

$$d_a = [c_1 \quad c_2 \quad c_3] D_a$$

$$d_b = [c_1 \quad c_2 \quad c_3] D_b$$

jika diambil  $\lambda = [c_1 \quad c_2 \quad c_3]$

$$\begin{Bmatrix} d_a \\ d_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_a \\ D_b \end{Bmatrix}$$

$\lambda = \text{matriks transformasi}$

$$\begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \end{Bmatrix}$$

$$\{d\} = [\Lambda] \{D\}$$

$$\text{Analog: } \begin{Bmatrix} f_a \\ f_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_a \\ F_b \end{Bmatrix}$$

$$\{f\} = [\Lambda] \{F\}$$

$$\{d_a\} = [\lambda] \{D_a\} \rightarrow \{D_a\} = [\lambda]^T \{d_a\}$$

$$\{d_b\} = [\lambda] \{D_b\} \rightarrow \{D_b\} = [\lambda]^T \{d_b\}$$

$$\{D\} = [\Lambda]^T \{d\} \text{ dan } \{F\} = [\Lambda]^T \{f\}$$

$$\{F\} = [\Lambda]^T \{f\}$$

$$\rangle \{F\} = [\Lambda]^T [k] \{d\}$$

$$\{f\} = [\Lambda]^T \{d\}$$

$$\{F\} = [\Lambda]^T [k] \{d\}$$

$$\rangle \{F\} = [\Lambda]^T [k] [\Lambda] \{D\}$$

$$\{d\} = [\Lambda] \{D\}$$

$$\{F\} = [\Lambda]^T [k] [\Lambda] \{D\}$$

$$\rangle [K] = [\Lambda]^T [k] [\Lambda]$$

$$\{F\} = [K] \{D\}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} \lambda^T & 0 \\ 0 & \lambda^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ab} \\ k_{ba} & k_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix}$$

$$K_{aa} = \lambda^T k_{aa} \lambda$$

$$K_{aa} = \lambda^T k_{aa} \lambda$$

$$K_{ab} = \lambda^T k_{ab} \lambda$$

$$K_{ba} = \lambda^T k_{ba} \lambda$$

$$K_{bb} = \lambda^T k_{bb} \lambda$$

$$[K_{aa}] = \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{Bmatrix} \gamma [1] [c_1 \ c_2 \ c_3] = \gamma \begin{bmatrix} c_1^2 & c_1 c_2 & c_1 c_3 \\ c_1 c_2 & c_2^2 & c_2 c_3 \\ c_1 c_3 & c_2 c_3 & c_3^2 \end{bmatrix}$$

dengan cara yang sama dapat dihitung :  $K_{ab}$  ,  $K_{ba}$  dan  $K_{bb}$  sehingga diperoleh :

$$[K] = \frac{EA}{l} \begin{bmatrix} c_1^2 & c_1 c_2 & c_1 c_3 & -c_1^2 & -c_1 c_2 & -c_1 c_3 \\ c_1 c_2 & c_2^2 & c_2 c_3 & -c_1 c_2 & -c_2^2 & -c_2 c_3 \\ c_1 c_3 & c_2 c_3 & c_3^2 & -c_1 c_3 & -c_2 c_3 & -c_3^2 \\ -c_1^2 & -c_1 c_2 & -c_1 c_3 & c_1^2 & c_1 c_2 & c_1 c_3 \\ -c_1 c_2 & -c_2^2 & -c_2 c_3 & c_1 c_2 & c_2^2 & c_2 c_3 \\ -c_1 c_3 & -c_2 c_3 & -c_3^2 & c_1 c_3 & c_2 c_3 & c_3^2 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

### Cosinus Arah

Cosinus arah, adalah cosinus dari sudut-sudut pada sumbu batang dengan koordinat sumbu global. Joint-joint a dan b dari batang a b (gambar 3.3) mempunyai koordinat  $(X_a, Y_a, Z_a)$  dan  $(X_b, Y_b, Z_b)$  pada sistem koordinat global X, Y, Z. Panjang batang a b adalah

$$l = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2 + (Z_b - Z_a)^2} \quad (3.13)$$

dan cosinus arahnya adalah

$$c_1 = \frac{X_b - X_a}{l} \quad c_2 = \frac{Y_b - Y_a}{l} \quad c_3 = \frac{Z_b - Z_a}{l} \quad (3.14a,b,c)$$

### Proses Penyelesaian

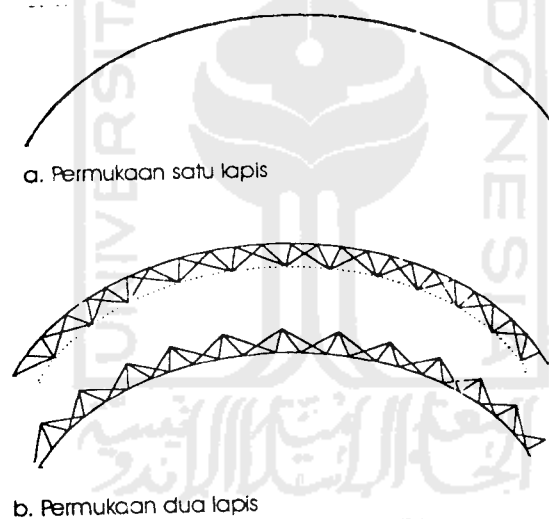
Langkah-langkah dari proses penyelesaian dapat kita lihat berikut ini :

1. Nomor elemen, joint dan derajat kebebasan pada koordinat global.
2. Perhitungan matriks kekakuan global untuk semua elemen dan menunjukkan hubungan derajat kebebasan pada setiap tempat.
3. Memasang matriks kekakuan global dalam matriks kekakuan struktur.
4. Membuat vektor beban.
5. Memecahkan persamaan keseimbangan untuk mendapatkan displasmen joint.

### 3.2. Struktur Ruang Kubah

Struktur ruang adalah rangka tiga dimensi yang terdiri dari batang-batang yang berhubungan satu sama lain secara kaku sehingga menjadi stabil dan dapat menahan gaya-gaya yang bekerja dari segala arah (Gillespie , 1961)

Struktur ruang kubah satu lapis adalah struktur ruang dimana joint-jointnya terletak pada bidang kubah. Struktur ruang kubah dua lapis adalah struktur ruang dimana joint-jointnya terdapat pada dua bidang sepusat. Kubah ini dipakai untuk menutup permukaan yang luas. (lihat gambar 3.5)



Gambar 3.5 (a) Kubah permukaan satu lapis, (b) Kubah permukaan dua lapis

### 3.3 Jenis-jenis Kubah

Kubah diklasifikasikan berdasarkan cara perakitan batang-batangnya. Banyak pola perakitan yang digunakan , tetapi secara garis besar dibagi atas (dapat dilihat pada gambar 3.6)

### 1. Kubah Schwedler

Kubah terdiri dari batang-batang meridian yang bertemu pada puncak kubah dan ring paralel yang terletak secara horisontal dan memiliki pembagian panjang yang sama. Batang-batang tersebut dijepit oleh batang diagonal. Kubah ini juga dibuat dengan joint yang kaku

### 2. Kubah Lamella

Bagian utama dari kubah ini adalah batang-batang yang membentuk lingkaran paralel yang memiliki panjang yang sama. Lingkaran tersebut kemudian dihubungkan dengan berbagai macam pola penyambungan. Kubah Houston di Amerika Serikat adalah kubah jenis Lamella dengan diameter 200m. Penyebaran tegangan pada kubah tipe ini sangat seragam, apapun macam bebannya, beban titik atau beban terbagi merata. Tambahan pula Lamella ini dibebani secara langsung yang sangat mengurangi pemakaian bahan. Perakitan kubah Lamella sangat cepat dan membutuhkan perancah sedikit saja. Harga perakitannya tidak mahal merupakan keuntungan yang besar lainnya dari kubah Lamella.

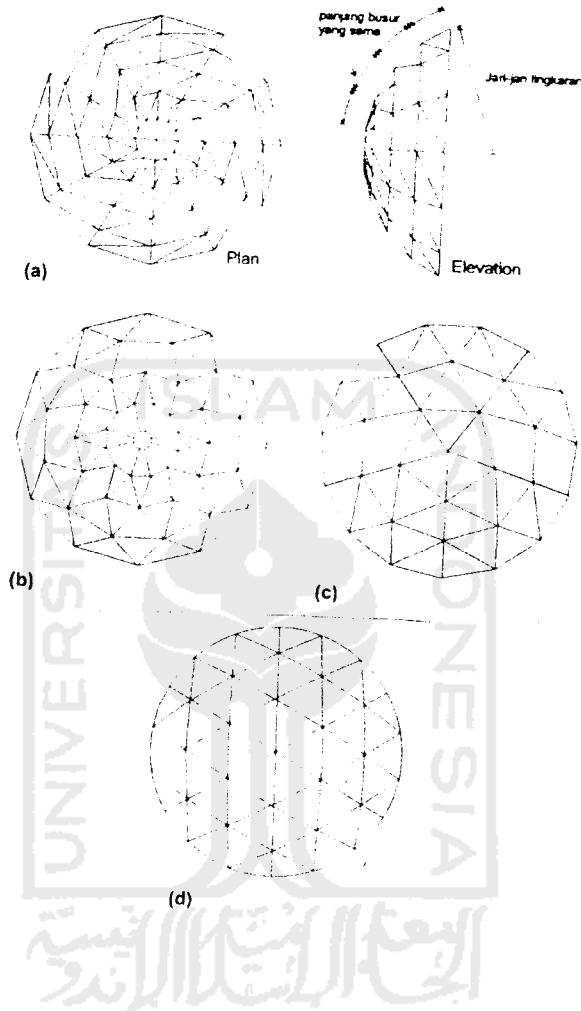
### 3. Kubah Grid

Kubah ini dibentuk oleh busur yang bersilangan dua atau tiga arah. Busur ini biasanya bagian dari suatu lingkaran yang besar.

### 4. Kubah Geodesik

Sistem konstruksi kubah ini dikembangkan dan dipatenkan oleh Buckminster Fuller. Kubah ini berdasarkan pada isokahedron dengan 20 bidang yang merupakan suatu segitiga sama sisi lengkung. Segitiga-segitiga ini

selanjutnya ditutup dengan suatu busur. Kubah ini terbentuk dari bagian-bagian busur tersebut.



Gambar 3.6 (a) Kubah Schwedler (b) Kubah Lamella (c) Kubah Lamella tipe jaring (d) Kubah Geodesik

### 3.4 Beban-beban yang Bekerja

- Beban mati , yaitu berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap termasuk segala unsur tambahan , serta peralatan tetap yang



merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan itu. Beban mati terdiri dari berat penutup , berat struktur , dan berat alat sambung.

- b. Beban hidup , adalah semua beban yang terjadi akibat penggunaan atap tersebut.
- c. Beban angin , adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

Beban gempa dalam disain struktur ruang ini tidak diperhitungkan , karena tugas akhir ini hanya mendisain atap yang merupakan bagian dari suatu bangunan. Sedangkan beban gempa diperhitungkan pada perencanaan balok dan kolom bangunan. Selain itu karena *fiber glass* yang digunakan sebagai penutup atap memiliki berat yang sangat ringan sehingga berat struktur keseluruhan menjadi ringan dan memperkecil pengaruh beban gempa.

### **3.5 Gambaran Program SAP 90**

Program SAP 90 digunakan untuk mencari gaya-gaya batang dan momen yang terjadi. Pengolahan data untuk program analisis struktur pada dasarnya meliputi : (1) penggambaran struktur geometri , dan (2) mendefinisikan kondisi beban statis dan atau dinamik yang diperlukan untuk analisis. Penggambaran struktur geometri dilakukan dengan memasukkan data joint dan elemen struktur ke dalam input data. Data joint meliputi koordinat joint dengan sistem sumbu x , y dan z, perletakan struktur dan berat joint. Sedangkan data elemen meliputi penomoran elemen , jenis material dan beban elemen. Beban struktur diberikan

dalam bentuk beban statis dan atau dinamik ke dalam *Loads Data* dan *Response Spectrum Data* serta *Time History Data*.

Untuk memproses data digunakan file SAP 90 , untuk melihat gambar geometri digunakan file SAPLOT dan gaya-gaya batang beserta momen dapat dilihat melalui file F3F.

### 3.6 Perhitungan kekuatan batang

Perhitungan kekuatan batang pada perencanaan ini menggunakan ketentuan dari AISC. Gaya-gaya yang diperhitungkan adalah gaya-gaya batang yang diperoleh dari perhitungan program komputer. Gaya batang yang dihasilkan dari program komputer adalah gaya tarik dan desak aksial. Rumus tegangan langsung adalah dasar untuk analisis (dan desain) elemen struktur tarik. Rumus tersebut dapat ditulis :

$$f_t = \frac{P}{A} \quad (3.15)$$

untuk tegangan, atau kapasitas tarik :

$$P_t = F_t A \quad (3.16)$$

dimana :  $f_t$  = tegangan tarik yang dihitung

$P$  = gaya aksial yang dialami

$P_t$  = kapasitas gaya tarik aksial (atau gaya tarik aksial ijin maksimum)

$F_t$  = tegangan tarik aksial ijin

$A$  = luas penampang melintang elemen struktur yang dibebani aksial

Jadi tegangan ijin yang digunakan untuk batang tarik aksialnya adalah sesuai dengan AISC

$$f_a < F_a \quad (3.17)$$

$$P_a = 0,60F_y A_g \quad (3.18)$$

$$P_a = 0,50F_u A_{ef} \quad (3.19)$$

dimana :  $f_a$  = tegangan akibat beban aksial yang terjadi

$F_a$  = tegangan ijin akibat gaya tarik aksial

$P_a$  = kapasitas gaya akibat gaya tarik aksial

$A_g$  = luasan total

$A_{ef}$  = luas efektif

Sedang untuk tegangan ijin pada batang desak aksial juga sama untuk  $f_a < F_a$ , persamaannya adalah sebagai berikut :

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \frac{755}{\sqrt{F_y}}$$

dikontrol dengan rumus sebagai berikut untuk tekuk kolomnya yang dalam desain ini bentuk K adalah sendi-sendi sehingga  $K=1$

bila  $\frac{Kl}{r} \leq C_c$ , maka

$$F_a = \frac{F_y}{FS} \left[ 1 - \frac{\left( \frac{Kl}{r} \right)^2}{2C_c^2} \right] \quad (3.20)$$

= tegangan ijin desak aksial pada luas brutto pada kondisi beban kerja

FS = faktor keamanan

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{\left(\frac{Kl}{r}\right)}{C_c} - \frac{1}{8} \frac{\left(\frac{Kl}{r}\right)^3}{C_c^3}$$

bila  $\frac{Kl}{r} > C_c$ , maka

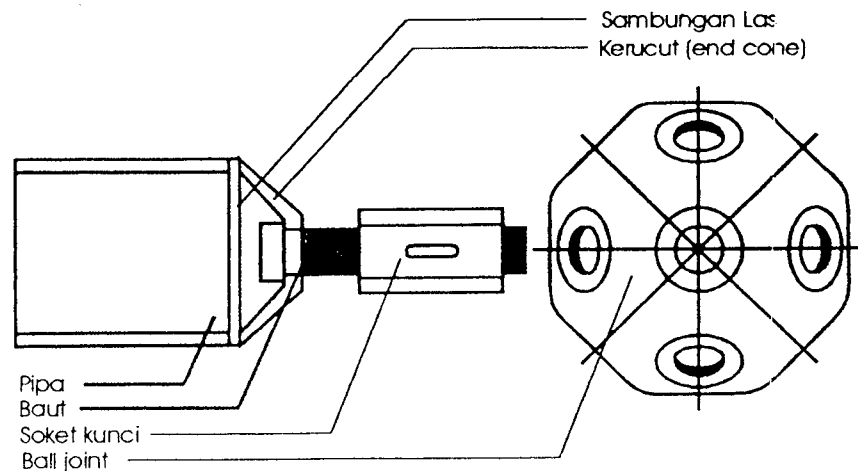
$$F_a = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{23}{12}\right) \left(\frac{Kl}{r}\right)^2} \quad (3.21)$$

Untuk persamaan diatas berlaku untuk semua kondisi pembebanan baik beban tetap maupun beban sementara.

### 3.7 Sistem Penyambungan

Sistem penyambungan yang umum digunakan pada struktur ruang adalah sambungan sistem Mero. Sambungan ini terdiri sebuah bola baja berulir dimana ujung batang rangka disekrup kedalam bola baja tersebut dengan sebuah konektor ujung yang khusus. Batangnya biasanya berupa pipa (circular hollow section). Sebuah titik simpul dapat menerima ujung dari 18 batang tanpa kesukaran.

Sistem Mero sangat luwes dan mengetengahkan prefabrikasi secara maksimum. Pemasangan batang dapat dilaksanakan oleh pekerja bukan ahli tanpa kesukaran apapun, di bawah pengawasan seorang teknisi, sehingga menghemat waktu dan biaya.



Gambar 3.7 Sistem Sambungan Mero (Ball Joint)

Sebagai alat sambung dari sistem Mero ini adalah bola-bola baja. Untuk menghubungkan batang-batang dengan bola baja tersebut, dipakai baut yang mana baut ini menyatu pada kedua ujung tiap batang. Dalam hal ini baut menderita gaya aksial, sehingga dalam perencanaan ukuran baut diperlukan rumus-rumus yang berbeda jika baut direncanakan menderita gaya geser.

Kekuatan baut dan mur terletak pada ulirannya. Dengan demikian tinggi mur dapat dicari dari jumlah uliran yang mampu menahan gaya aksial yang terjadi. Tinggi mur inilah yang merupakan tebal dari bola baja. Tinggi baut =  $(0,8-1)D$ .

Tegangan izin untuk batang berulir diambil sebesar  $0,33F_u$  dan ini berlaku untuk luas nominal tak berulir batang tersebut (luas dihitung dari diameter  $D$ ). Batang bulat tersedia untuk berbagai jenis baja yang umum digunakan dalam konstruksi. Untuk memperoleh data mengenai ulir didapat dari data alat penyambung berulir pada AISC. Dalam memilih batang berulir perlu diingat bahwa tidak ada rekomendasi angka kelangsingan dari AISC. Ada pedoman

sederhana yang dapat digunakan yaitu diameter batang tidak dapat lebih kecil daripada 1/500 dari panjang batang. Diameter minimum batang itu dibatasi pada 3/8 in, karena batang tarik dengan diameter lebih kecil akan mudah rusak pada saat pelaksanaan. Selain itu, beban desain minimum untuk alat penyambung berulir (dan juga untuk batang berulir) adalah 6 kips menurut AISC, Bab 1.15.1. Luas badan nominal tak berulir yang diperlukan ( $A_D$  bruto) adalah :

$$A_{perlu} = \frac{P}{0,33 F_u} \quad (3.22)$$

Untuk mencari kekuatan las dapat dicari dengan tegangan-tegangan yang diijinkan untuk geser pada luas efektif semua las adalah sama dengan 0,30 kali kekuatan tarik elektroda. Namun tegangan logam dasar yang berdekatan tidak boleh melampaui  $0,60F_y$  atau  $0,40F_y$  untuk geser.

Kapasitas las = kapasitas las dari tabel AISC x panjang total las.

$$F_t = 0,30F_u \quad (3.23)$$

Kekuatan tarik (dengan menggunakan  $F_t = 0,30F_u$ ) adalah

$$P_t = A_{perlu} F_t \quad (3.24)$$