

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. GAMBARAN UMUM

Karakteristik khusus dari struktur bangunan kapal adalah tidak sama dengan bangunan *onshore*, dimana bangunan kapal tidak dapat di bangun ditempat pengoperasiannya. Konstruksi kapal harus dibangun di galangan (di darat) kemudian mengalami proses *loadout*, transportasi ke tempat instalasi dan perakitan terakhir. Konstruksi kapal mempunyai pengaruh yang sangat besar pada desainnya, dimana diperlukan metode pembangunan, kondisi lingkungan dan keadaan geografis tempat pembangunan.

Perhatian utama selama proses pembangunan adalah mengenai keselamatan bangunan tersebut, sehingga yang harus dihindari adalah :

a. Kerugian total

Dimana kemungkinan kerugian tersebut terjadi saat *block* terbalik.

b. Kerugian bangunan

Terjadi akibat memaksakan peralatan melebihi kapasitas maksimumnya dan akibat kerugian dari bangunan itu sendiri.

c. Kerugian akibat Pemakaian Komponen material yang berlebihan

d. Penurunan kemampuan fatik.

Walaupun proses *lifting* dan *loadout* telah dianggap sukses karena kerusakan pada bangunan tidak terjadi, tapi bagian-bagian dari struktur dapat menderita tegangan

Struktur *block midship* yang didesain, kekuatan strukturnya sering didikte oleh beban-beban yang ada di atasnya, dimana beban-beban itu diperkirakan dialami selama proses *lifting*, transportasi dan pemasangan instalasi. Beban tersebut antara lain beban statik, beban *equipment*, penopang struktur yang tidak rata, dan pergeseran yang dialami oleh struktur selama proses *lifting*.

Secara umum tujuan dari perhitungan defleksi ini adalah untuk memeriksa keadaan-keadaan struktur setelah melewati proses pengangkatan dengan prinsip metode elemen hingga. Pada dasarnya metode elemen hingga terdiri atas aplikasi untuk tiga keadaan dasar, yaitu keseimbangan gaya, perpindahan kompatibilitas, dan hubungan antara tegangan dan regangan.

pada kasus-kasus perancangan sesungguhnya, biasanya suatu sistem struktur terdiri dari sekumpulan besar berbagai macam elemen-elemen struktur seperti balok, batang, pelat atau sebuah kombinasi dari struktur tersebut. Geometri dari struktur tersebut secara keseluruhan menjadi sangat kompleks dan tidak dapat diwakili oleh sebuah tanda matematika tunggal. Jadi untuk struktur yang kompleks dalam hal mencari distribusi perpindahan atau deformasi dan tegangan secara umum harus memakai metode elemen hingga, karena sangat rumit atau bahkan tidak mungkin bila menggunakan metode konvensional.

II.1.1. Teori Defleksi

Pada analisa struktur, displasemen dipengaruhi oleh pembebanan dan hal ini seringkali disebut dengan defleksi. Total defleksi pada suatu titik bisa disebabkan oleh gaya aksial atau transverse yang langsung berhubungan dengan bending, shear, atau tegangan torsi atau gabungan dari ketiganya. Oleh karena itu bila dikatakan defleksi itu adalah merupakan sebuah indikasi dari tegangan tetap

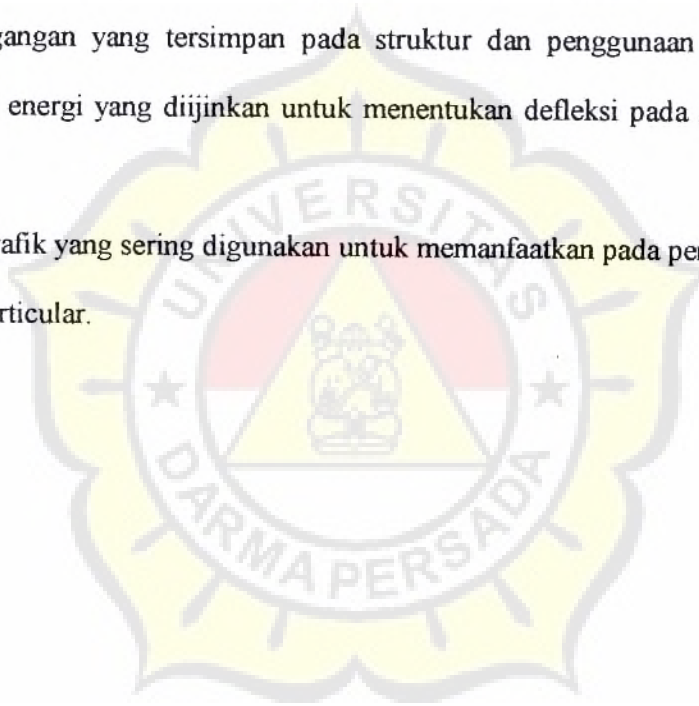
dengan material yang diberikan dan permukaan yang berhubungan dengan tegangan dan regangan secara teori ataupun prakteknya.¹

Untuk berbagai macam tujuan bisa dikatakan bahwa secara umum ada tiga perbedaan prosedur untuk menentukan defleksi pada struktur²

1. Integrasi dari pembagian defleksi diferensial pada beam

Hal ini bisa diselesaikan dengan integrasi secara langsung ataupun integrasi berdasarkan analogi (*moment area* dan *conjugate beam method*)

2. Energi regangan yang tersimpan pada struktur dan penggunaan hukum konservasi energi yang diijinkan untuk menentukan defleksi pada struktur umum
3. Metode Grafik yang sering digunakan untuk memanfaatkan pada penentuan defleksi particular.



¹ Sidney F. Borg, DR Eng and Joseph J Gennaro, M.S, Advanced Structural Analysis, 1959, hal 1

² IBID, Hal 1

Berbagai macam metode digunakan untuk menghitung defleksi. Masing-masing metode tersebut ada kelebihan dan keterbatasannya. Metode yang lazim digunakan untuk perhitungan defleksi pada beam adalah³

- *Strain Energy*

Menurut Panjang pendek dari beam δx , terhadap aksi bending momen M . Jika σ adalah bending stress pada elemen *cross section area* δ_A pada jarak Y dari netral axis, maka *strain energy* pada panjang δx adalah :

$$\delta u = \int (\sigma^2 / 2E) \times \text{Volume}$$

$$= \delta x \int \sigma^2 \cdot \delta_A / 2E$$

$$= (\delta x / 2E) \int M^2 Y^2 \delta_A / I^2$$

$$I = \int Y^2 \delta_A$$

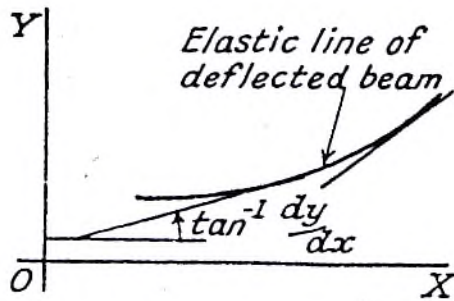
$$\delta u = (M^2 / 2EI) \delta x$$

Untuk keseluruhan beam adalah

$$U = \int M^2 \delta x / 2EI$$

- *Deflection by Calculus*

Pada saat diagram bending moment tidak dapat tergambarkan dengan ringkas pada daerah daerah tertentu, maka akan lebih cepat jika menggunakan calculus method sehingga defleksi maksimum dapat diketahui lebih cepat.



Gambar. 2.1 Defleksi Kalkulus

$$M/EI = d^2 Y/\delta x^2$$

$$EI \cdot d^2 Y/\delta x^2 = M$$

- Deflection Coefficients

Pada tipe-tipe pembebanan dan dukungan material harga koefisien (k) adalah relatif. Bagaimanapun juga defleksi maksimum berdasarkan koefisien defleksi terjadi adalah $= k \cdot w l^3 / EI$
 Harga Koefisien (k) bisa dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 2.1. Harga Koefisien Defleksi

Beam and Loading	k_1	k_2
	1/2	1/3
	1/6	1/8
	1/16	1/48
	1/24	5/384

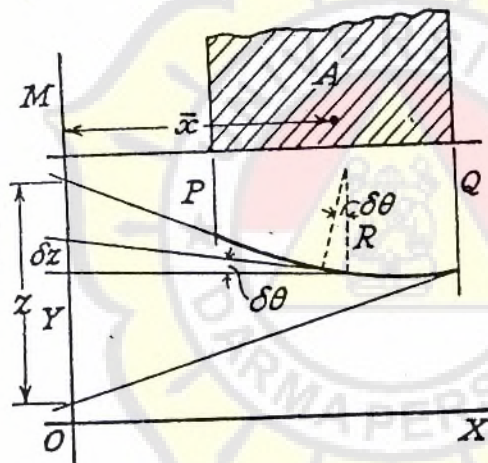
Sumber : Strength of Materials, G.H. Ryder

- *Moment Area Method*

Metode momen area seringkali digunakan untuk solusi masalah defleksi pada beam, hal ini digambarkan dengan dua teori.⁴

Teori I : Perbedaan dalam slope antara dua poin pada kurva elastik sama dengan area dari diagram M/EI antara dua titik tersebut.

Teori II : Jarak dari titik P pada kurva elastisitas, diukur normal pada posisi alaminya pada beam dari sudut tangen ke titik lain Q adalah sama pada momen area dari diagram M/EI antara dua titik di tengah-tengah titik P.



Gambar 2.2. Bending Momen Diagram dan bentuk terdefleksi dari dua titik.

$$Z = \sum AX/EI$$

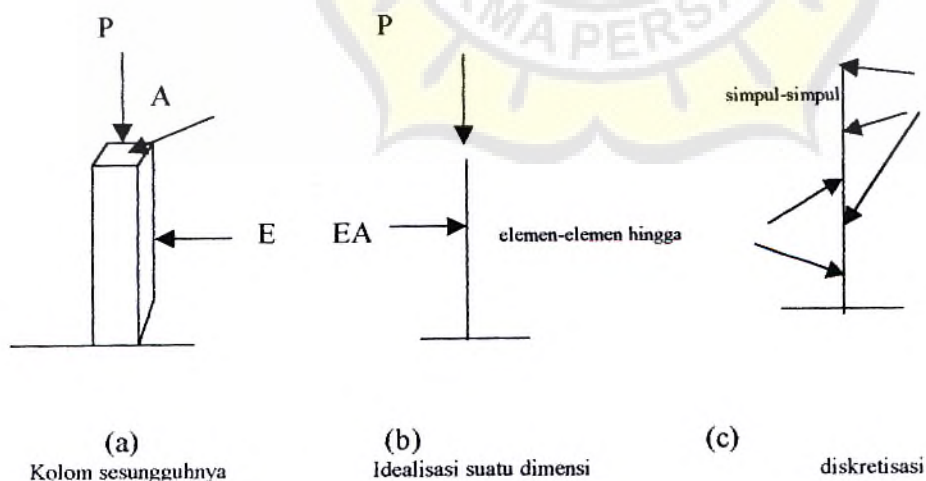
⁴ Sidney F. Borg, DR Eng and Joseph J Gennaro, M.S., Advanced Structural Analysis, 1959, hal 1

II.1.2. Prinsip Dasar Metode Elemen Hingga

prinsip dasar yang melandasi metode elemen hingga adalah prinsip diskretisasi, yaitu pembagian suatu benda atau struktur menjadi elemen-elemen yang berukuran lebih kecil yang berjumlah tertentu (terhingga) supaya lebih mudah dalam menganalisa besarnya gaya-gaya, perpindahan, tegangan regangan yang dialami struktur tersebut.

Langkah diskretisasi elemen ini menyangkut pembagian benda menjadi sejumlah elemen-elemen kecil yang sesuai dinamakan elemen hingga. Perpotongan antara sisi elemen dinamakan simpul atau joint.

hubungan matematis yang berpengaruh pada perilaku elemen struktur berasal dari cara mengidealisasikan model elemen. Contohnya sesudah bentuk elemen diseleksi, elemen tersebut didiskretisasi dengan cara menempatkan suatu jumlah berhingga dari titik simpul pada berbagai lokasi permukaan elemen, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. kolom yang dibebani secara aksial

II.1.3.Konsep Metode Kekakuan

Metode kekakuan ialah suatu cara analisa struktur, dimana dalam proses perumusan dari analisisnya, diambil lendutan di titik-titik distrik sebagai besaran “tertentu” yang hendak dicari. Metode kekakuan (*stiffness method*) dikenal sebagai metode perpindahan dimana analisa strukturnya menggunakan matriks⁵

Metode kekakuan ini bukan cara yang baru, karena sebenarnya metode ini sudah dikenal sejak tahun 1880. Tapi metode ini baru menjadi berkembang pesat dan disukai orang pada waktu akhir-akhir ini yaitu seiring dengan kemajuan pesat dari penggunaan komputer elektronik otomatis yang ternyata sangat memudahkan operasi-operasi matematikanya⁶

Dengan metode kekakuan ini sebenarnya dicari hubungan gaya dengan lendutan, atau dinyatakan secara matematis :

$$\{Q\} = [K] \cdot \{D\} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

- $\{Q\}$ menyatakan gaya-gaya yang timbul pada titik-titik distrik akibat diberikannya lendutan pada titik-titik tersebut.
- $[K]$ menyatakan kekakuan dari struktur
- $\{D\}$ adalah perpindahan atau lendutan yang terjadi

5. Weaver & Geere, Structural Analysis, 1956, hal 123

6. IBID, hal 124

Metode kekakuan ini juga disebut metode lendutan (*displacement method*) karena analisisnya dimulai dengan “lendutan”, sehingga urutan kerjanya secara garis besar adalah sebagai berikut :

1. *Kompatibility* ; yaitu mencari hubungan antara deformasi dengan lendutan, atau secara tegasnya mencari deformasi apa yang terjadi pada elemen-elemen di titik-titik diskrit akibat diberikannya lendutan pada struktur di titik-titik tersebut.
2. Persamaan hubungan *stress* dan *strain*, yaitu mencari hubungan mengenai gaya-gaya dalam yang timbul sebagai akibat adanya deformasi pada elemen struktur tersebut.
3. Keseimbangan ; langkah terakhir yang menyatakan hubungan gaya luar titik diskrit dengan gaya-gaya dalam, atau mencari berapa besar gaya luar di ujung elemen yang tepat diimbangi oleh gaya-gaya dalam elemen di titik-titik diskrit tersebut.

Karena metode kekakuan ini analisisnya dimulai dengan lendutan, kemudian dicari hubungan pada gaya-gaya yang timbul di titik-titik diskrit, maka akan sangat menguntungkan untuk memakai metode ini dalam menganalisa suatu konstruksi dimana ketidaktentuan kinematisnya (yang berhubungan erat dengan derajat kebebasan atau *degree of freedom*) lebih kecil bila dibandingkan dengan ketidaktentuan statisnya. Dengan demikian, konstruksi-konstruksi statis tak tentu yang sering dijumpai pada umumnya, akan lebih menguntungkan bila dianalisa dengan metode kekakuan ini, karena umumnya konstruksi-konstruksi ini mempunyai derajat ketidaktentuan statis yang besar.

Program komputer untuk analisa struktur dengan metode kekakuan langsung dibagi menjadi beberapa tahap. Tahapan ini tidak sama seperti untuk perhitungan *manual*. Salah satu perbedaannya ialah memakai komputer, data mengenai struktur diolah pada awal tahap program. Termasuk dalam bagian program ini ialah formasi matriks kekakuan yang menyatakan sifat struktur. Selanjutnya, data beban dimanipulasi dan hasil akhir analisa kemudian dihitung. Urutan ini terutama efisien jika lebih dari satu sistem pembebanan ditinjau, karena tahap awal perhitungan tidak perlu diulang⁷.

Langkah-langkah pembahasan selanjutnya adalah sebagai berikut :

- a. *Identifikasi Data Structural*. Informasi mengenai struktur harus dirangkai dan disimpan. Informasi ini terdiri atas jumlah batang, jumlah titik kumpul, jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom*), dan sifat elastis bahan. Letak titik kumpul struktur ditentukan oleh koordinat geometris. Selain itu, sifat penampang setiap batang pada struktur harus diberikan. Akhirnya, kondisi pengekang (*restraint*) di tumpuan struktur harus ditunjukkan.

7. Soekrisno, DR., Ir., MSME, Pengantar pemecahan masalah struktur dengan SAP 90, 1997

- b. *Pembentukan Matriks Kekakuan*. Matriks kekakuan adalah sifat bawaan (*inherent*) struktur didasarkan hanya pada data *structural*. Dalam program, matriks kekakuan titik diperoleh dengan menjumlahkan kontribusi dari setiap matriks kekakuan batang. Matriks kekakuan titik yang ditinjau memiliki hubungan dengan semua perpindahan titik kumpul yang mungkin, termasuk perpindahan tumpuan. *Array* ini akan disebut matriks kekakuan titik keseluruhan (*over-all joint stiffness*).
- c. *Identifikasi Data Beban*. Semua beban yang bekerja pada struktur harus ditentukan, baik beban titik kumpul maupun beban batang harus ditetapkan. Beban titik kumpul bisa ditangani secara langsung, tetapi beban batang diperlakukan secara tidak langsung dengan memasukkannya sebagai data gaya jepit ujung akibat beban pada batang.
- d. *Pembentukan Vektor Beban*. Gaya ujung akibat beban pada batang dapat diubah ke beban titik kumpul ekuivalen (*equivalent joint load*). Beban titik kumpul ekuivalen ini kemudian dijumlahkan dengan beban titik kumpul sebenarnya untuk memperoleh keadaan struktur yang hanya dibebani di titik kumpul.
- e. *Perhitungan Hasil*. Pada tahap akhir analisa, semua perpindahan titik kumpul, reaksi, dan gaya ujung batang dihitung. Perhitungan gaya ujung batang dilakukan batang demi batang sebagai ganti pada struktur keseluruhan. Gaya ini dihitung dengan menggunakan matriks kekakuan batang yang lengkap dalam arah batang.

Tahapan analisa ini merupakan pendekatan teratur yang memiliki beberapa segi menguntungkan bila berhadapan dengan masalah yang besar dan rumit.

II.1.3.1. Identifikasi Data Struktur

Untuk mengidentifikasi data struktur perlu diberikan penomoran terhadap batang dan titik-titik kumpul agar mudah dalam menghitung gaya tiap batang.

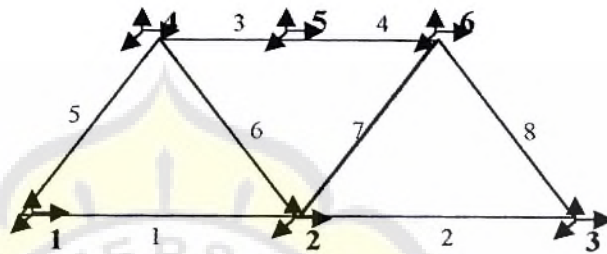
contoh :

Titik kumpul = 6

Batang = 8

Pengekangan = 6

Derajat kebebasan = 12



Gambar 2.4. Model pengekangan rangka struktur

Tabel 2.2 Informasi titik kumpul rangka.

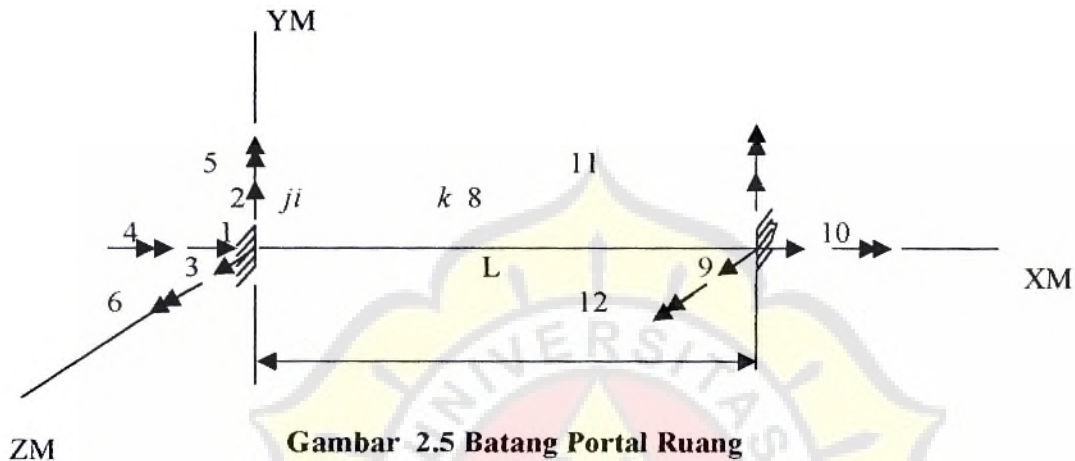
Titik kumpul	Koordinat		Daftar pengegang		
	X	Y	X	Y	Z
1	1	1	1	1	1
2	1	1	0	0	0
3	1	1	1	1	1
4	1	1	0	0	0
5	1	1	0	0	0
6	1	1	0	0	0

II.1.3.2. Matriks Kekakuan Batang

Untuk membentuk matriks kekakuan titik maka perlu matriks kekakuan batang yang lengkap dalam arah sumbu lokal perlu diturunkan dahulu.

$$(K_{M_i})_{balok} = (K_{MS_i})_{balok} \dots\dots\dots (2 - 2)$$

Seperti pada Gambar 2.5 di bawah ini yang memperlihatkan batang prismatis i pada portal ruang, yaitu dikekang sempurna di kedua ujung yang bernotasi j dan k .



Gambar 2.5 Batang Portal Ruang

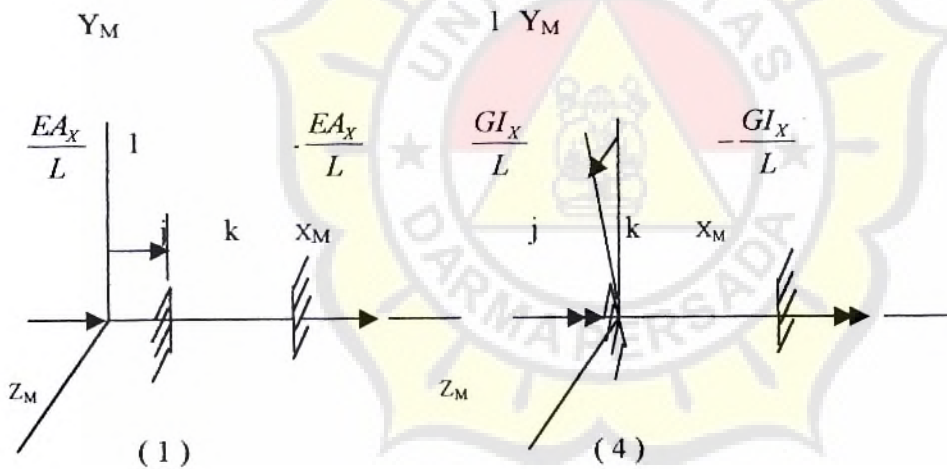
Sumbu arah batang ditunjukkan pada gambar, dengan titik awal yang terletak di j . Sumbu x_M berimpit dengan sumbu pusat batang dan positif dalam arah j dan k . Sumbu y_M dan z_M adalah sumbu utama (principal batang). Jadi, bidang $x_M - y_M$ dan $x_M - z_M$ adalah bidang lentur utama. Panjang batang adalah L dan A_x adalah luas penampang lintang. Subskrip x diperlukan karena simbol A tanpa subskrip dipakai sebagai notasi untuk aksi/gaya. Momen inersia utama penampang lintang batang terhadap sumbu y_M dan z_M masing-masing dinyatakan sebagai I_y dan I_z . Sedang I_x menyatakan konstanta puntir batang.

Kekakuan batang untuk batang terkekang seperti pada Gambar 2.5 adalah aksi gaya yang ditimbulkan pada batang oleh pengekang bila perpindahan (*translasi* dan *rotasi*) satuan diberikan di setiap ujung batang. Perpindahan satuan dianggap diberikan satu per satu sementara semua perpindahan ujung lainnya

dibuat tetap nol, juga perpindahan ini dianggap positif dalam arah x_M , y_M dan z_M . Panah bermata tunggal dalam gambar menyatakan *translasi*, dan panah bermata ganda menyatakan *rotasi*.

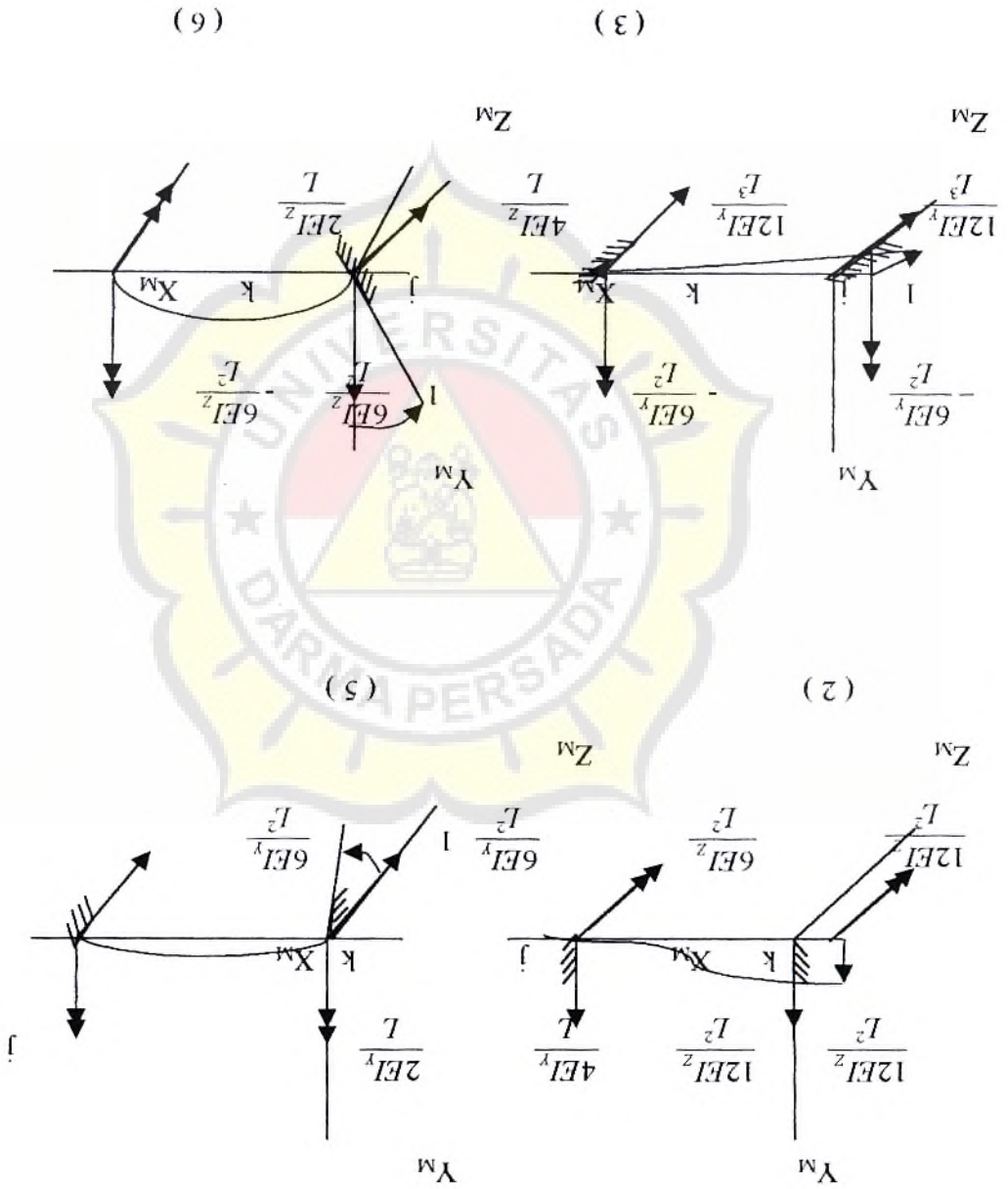
Di titik kumpul j , *translasi* diberi nomor 1,2 dan 3 serta *rotasi* diberi nomor 4,5 dan 6. Demikian juga di ujung k , *translasi* diberi nomor 7, 8, 9 dan *rotasi* diberi nomor 10, 11 dan 12.

Kekakuan batang untuk kedua belas jenis perpindahan ujung yang mungkin (pada Gambar 2.6) dapat dilihat pada Gambar 2.6 Aksi pengekang (kekakuan batang) diperlihatkan sebagai vektor. Tanda panah bermata tunggal menyatakan vektor gaya, dan panah bermata ganda menyatakan vektor momen.



- (1) translasi satuan arah x_M di f (4) rotasi satuan arah x_M di f
- (2) translasi satuan arah y_M di f (5) rotasi satuan arah y_M di f
- (3) translasi satuan arah z_M di f (6) rotasi satuan arah z_M di f

Gambar 2.6 Kekakuan batang



Pada kasus (1) Gambar 2.6 aksi pengegang pada batang dalam gambar timbul karena satu satuan translasi ujung j dalam arah x_M positif, sedang semua perpindahan lainnya sama dengan nol. Perpindahan ini mengakibatkan gaya tekan murni EA_y/L pada batang. Di ujung j , gaya ini diimbangi oleh aksi pengegang EA_x/L dalam arah x_M positif, dan di ujung k besarnya aksi pengegang sama tetapi dalam arah x_M negatif. Semua aksi pengegang lainnya adalah nol.

Pada kasus (2) Gambar 2.6 menunjukkan satu satuan translasi ujung batang j dalam arah y_M positif, sementara semua perpindahan lainnya adalah nol. Perpindahan ini menimbulkan momen dan gaya geser pada batang. Di ujung j aksi pengegang yang diperlukan untuk mempertahankan keseimbangan batang adalah gaya lateral $12EI_z/L^3$ dalam arah y_M positif dan momen $6EI_z/L^2$ dalam arah z_M positif. Di ujung k , aksi pengegangnya sama tetapi gaya lateral bekerja dalam arah y_M negatif.

II.1.3.3. Formasi Matriks Kekakuan Titik

Kunci penyederhanaan proses perakitan matriks kekakuan titik K_j adalah pemakaian matriks kekakuan batang untuk aksi dan perpindahan di kedua ujung setiap batang. Jika perpindahan batang didasarkan pada koordinat struktur global, maka ia akan berimpit dengan perpindahan titik kumpul. Dalam hal ini semua komplikasi geometris harus ditangani secara setempat, dan transfer informasi batang ke struktural bersifat langsung, yaitu matriks kekakuan dan vektor beban ekuivalen dapat dirakit dengan penjumlahan langsung sebagai ganti perkalian matriks.

Perakitan matriks kekakuan titik untuk m batang dapat dituliskan sebagai :

$$K_J = \sum_{i=1}^m K_{MS_i} \dots \dots \dots (2 - 3)$$

K_{MS_i} menyatakan matriks kekakuan batang ke- i dengan gaya ujung dan perpindahan (untuk kedua ujung) yang diambil dalam arah sumbu struktur.

II.1.3.4. Formasi Vektor Beban Titik Kumpul

Setelah matriks kekakuan titik diperoleh, langkah berikutnya dalam analisa adalah meninjau beban pada struktur. Beban di titik kumpul dan beban pada batang mula-mula ditangani secara terpisah agar lebih mudah. Alasannya ialah beban titik kumpul dan beban batang akan diperlakukan dengan cara yang berbeda. Beban titik kumpul bisa langsung diletakkan dalam vektor aksi (gaya) yang dipakai dalam penyelesaiannya, sedang beban batang diperhitungkan dengan menentukan gaya ujung yang ditimbulkannya. Gaya jepit ini kemudian ditransformasikan ke beban titik kumpul ekuivalen dan digabungkan dengan beban titik kumpul sebenarnya pada struktur.

II.1.3.5. Proses Perhitungan Hasil

1. Perpindahan Titik Kumpul

Penyelesaian dasar untuk perpindahan titik kumpul bebas akibat beban adalah :

$$D_F = K_{FF}^{-1} \cdot A_{FC} \dots \dots \dots (2 - 4)$$

Dimana :

D_F = perpindahan titik kumpul bebas

S_{FF}^{-1} = invers matriks K_{FF} dari matriks kekakuan yang telah disekat dan ditata ulang.

A_{FC} = vektor beban titik kumpul gabungan (sebenarnya dan ekuivalen)

2. Vektor Perpindahan Titik Kumpul (D_J)

Setelah vektor perpindahan titik D_F diperoleh, maka dapat digunakan untuk mencari vektor semua perpindahan titik kumpul yang mungkin D_J . Bentuk umum vektor D_J adalah :

$$D_J = \{ (D_J)_1, (D_J)_2, \dots, (D_J)_{2J-1}, (D_J)_{2k} \dots (D_J)_{2m+2} \} \quad \dots \dots \quad (2 - 5)$$

3. Vektor Perpindahan Arah Sumbu Batang

Untuk menghitung gaya ujung batang , sebelumnya harus diketahui vektor perpindahan batang i dalam arah sumbu batang D_{Mi} ($i = 1, 2, \dots, m$). Karena vektor perpindahan titik kumpul telah diketahui, maka ini dapat digunakan untuk mengisi setiap vektor D_{Mi} secara sistematis. Untuk struktur dua dan tiga dimensi, perpindahan ini harus ditransformasikan dari arah struktur ke sumbu batang.

Untuk balok berlaku :

$$(D_{Mi})_{\text{balok}} = (D_{MSi})_{\text{balok}} \quad \dots \dots \dots \quad (2 - 6)$$

D_{MSi} adalah vektor perpindahan di kedua ujung batang i dalam arah sumbu struktur.

4. Vektor Reaksi Tumpuan (A_R)

Bagian lain yang dicari adalah reaksi tumpuan dan gaya jepit ujung. Bila hanya pengaruh beban yang diperhitungkan, persamaan reaksi menjadi

$$A_R = - A_{RC} + S_{RF} \cdot D_F \quad \dots \dots \dots \quad (2 - 7)$$

5. Gaya Ujung Batang (A_{Mi})

Gaya ujung batang bisa dituliskan kembali sehingga hanya berkaitan dengan satu batang pada suatu saat, sebagai berikut :

$$A_{Mi} = A_{MLi} + S_{Mi} \cdot D_{Mi} \quad \dots \dots \dots \quad (2 - 11)$$

Semua matriks dalam persamaan ini didasarkan pada sumbu batang. Vektor gaya A_{MLi} terdiri gaya jepit ujung (dalam arah sumbu batang) akibat beban yang ada pada batang tersebut. Selain itu, matriks kekakuan batang S_{Mi} memiliki suku-suku (dalam arah batang) untuk kedua ujung batang. Konsekuensinya, vektor D_{Mi} harus mengandung perpindahan (dalam arah batang) di kedua ujung batang. Perpindahan ini dapat diperoleh dengan menyatakan perpindahan titik kumpul diujung j dan k sebagai komponen arah batang.

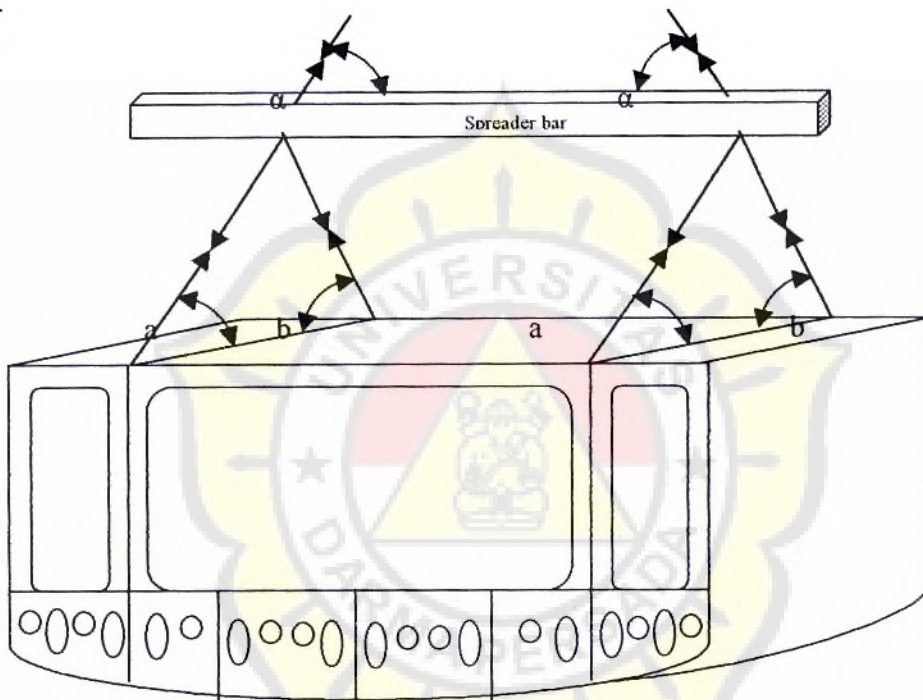
II.2. TEORI PENGANGKATAN

Pembuatan kapal mengalami beberapa proses antara lain proses desain. Proses ini adalah merencanakan gambar rancangan kapal sesuai dengan keinginan pemesan. Gambar-gambar yang dihasilkan pada proses desain diwujudkan menjadi struktur yang sebenarnya pada proses fabrikasi. Proses fabrikasi meliputi pemotongan (*cutting*), penyambungan (*fitting*), pengelasan (*welding*), perakitan (*assembly*), sandblasting, dan pengecatan (*painting*). Setelah proses fabrikasi selesai, proses selanjutnya adalah pengangkatan (*lifting*)

Pada proses pengangkatan dengan menggunakan *sling*, dapat mengakibatkan terjadinya perubahan pada bentuk struktur (defleksi) sehingga dibutuhkan ketelitian yang tinggi supaya tidak menimbulkan *bending moment* yang besar terhadap konstruksi. Penentuan titik angkat dilakukan dengan cara menentukan koordinat X dan Y dari titik pusat gravitasi modul (*Center of gravity*), sehingga didapatkan keseimbangan statis yang terbaik. Penggunaan alat bantu (*lifting support*) seperti *spreader bar*, *sling*, dan *pad eye* akan

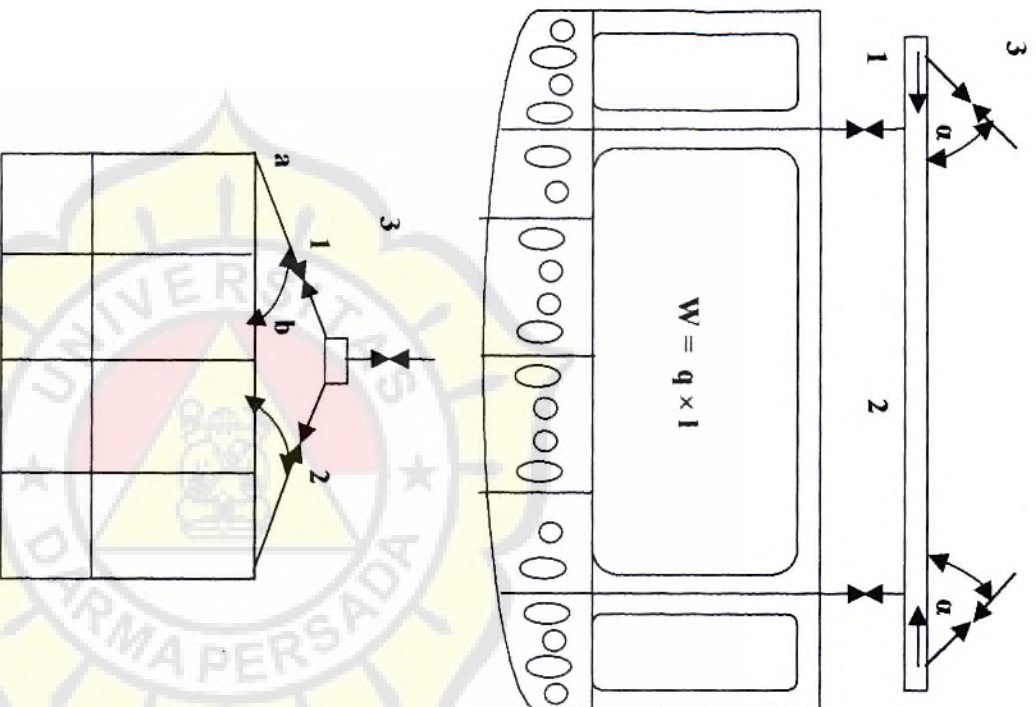
mempersatukan gaya –gaya yang terjadi sehingga dapat memperkecil terjadinya defleksi.

Gambar 2.7. memperlihatkan, dimana gaya-gaya yang terjadi saat proses pengangkatan dengan menggunakan *sling* akan berpusat pada *spreader bar* sehingga modul yang diangkat menjadi lebih aman



Gambar 2.7. Arah Gaya yang terjadi pada saat pengangkatan

Adapun sudut minimum yang sering dan aman digunakan pada pengangkatan yang menggunakan *sling* adalah sebesar 60° sehingga pembagian gaya yang terjadi adalah seperti yang terlihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8. Point terjadinya tegangan

maka tegangan yang terjadi pada sling 1 = sling 2 = $\frac{1}{2} q \cdot l$ dan pada sling 3 = $(1/2 \cdot q \cdot l) \cdot \sin \alpha$

II.2.1. Penggunaan *Lifting Support*

Untuk memindahkan modul dari tempat fabrikasi ke tempat perakitan blok (*block assembly*), selain menggunakan *crane* sebagai alat angkat, juga menggunakan beberapa alat angkat bantu lainnya yang memudahkan dalam mengangkat, misalnya ; *spreader bar* yang berfungsi untuk meredam sebagian dari beban modul yang diterima oleh *sling, shackel* yang digunakan untuk mengkait modul dengan perantara *sling* sebagai tali pengangkat dan *pad eye* sebagai pengait yang ditempatkan pada modul dan *spreader bar*. Adapun peralatan-peralatan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 *Lifting Support*

II.3 TEORI PEMBEBANAN

Beban fungsional adalah beban yang bekerja pada struktur *block midship* tersebut, misalnya beban rangka struktur *Web Frames, Ordinary Frames*, perlengkapan-perengkapan yang ada pada struktur, seperti pipa-pipa, dll. Beban fungsional tersebut terdiri dari :

1. Beban Struktur

Beban struktur yang diperoleh berasal dari model yang dibuat oleh aplikasi komputer, dimana berat dari struktur ini belum termasuk berat pelat dinding dan alas, beban tangga dan lain-lain. Untuk berat-berat tersebut dihitung secara manual dengan menggunakan rumus-rumus mekanika sederhana.

2. Beban Peralatan

Beban peralatan ini berupa instalasi perpipaan, dimana pipa-pipa tersebut berfungsi sebagai jalan keluar masuknya muatan dari dan kedalam tangki muatan (*cargo pipe*), *stripping pipe*, *ballast pipe*, pipa bahan bakar, pipa pemadam kebakaran, dan lain sebagainya yang fungsinya sangat penting.

3. Beban Angin

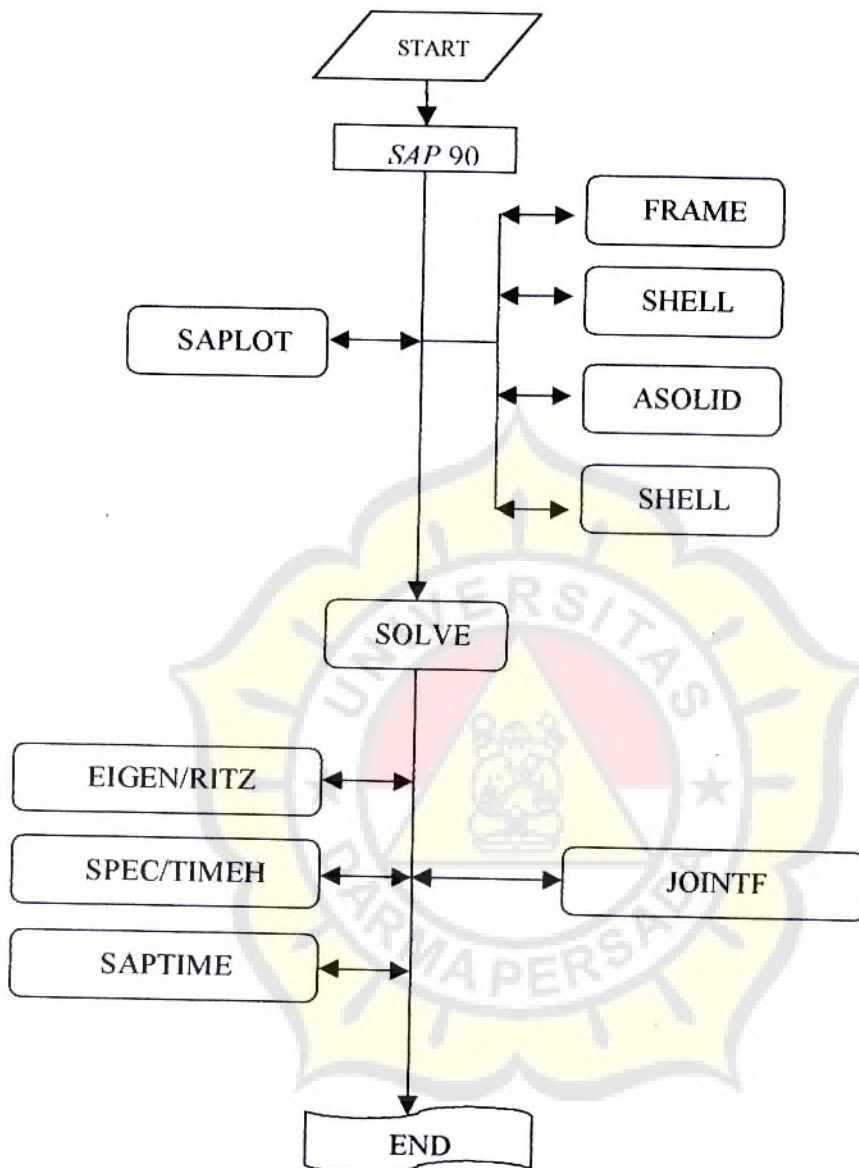
Beban angin adalah beban yang diterima struktur pada saat proses pengangkatan struktur berlangsung. Dalam perhitungan tugas akhir ini beban angin diabaikan, karena dianggap kondisi angin galangan tidak terlalu besar dan masih dalam batasan yang normal dan aman untuk proses pengangkatan berlangsung.

II.4. PENGANTAR SAP 90

SAP90 merupakan program komputer untuk menganalisa dan mendesain struktur bangunan, baik yang berupa struktur bidang (2-D) maupun struktur ruang (3-D). Modul-modul yang ada dalam program SAP 90 antara lain analisis statis maupun analisis dinamis, dengan berbagai macam kondisi pembebanan. Dimana analisis statis digunakan untuk menghitung perpindahan dan atau tegangan dari struktur, sedangkan analisis dinamis digunakan untuk menghitung parameter dinamis dari struktur seperti frekuensi natural dan modus getar.

Selain modul-modul tersebut, SAP 90 juga menayangkan hasil-hasil distribusi perpindahan dan atau tegangan serta bentuk modus getaran dari struktur pada layar monitor computer.

Dalam pelaksanaannya, SAP 90 ini dijalankan secara bertahap dengan memanggil modul-modul yang diperlukan untuk kepentingan analisis tersebut. Fungsi perintah modul-modul SAP 90 dan prosedur urutan kerjanya dapat dilihat pada diagram alur (*flow chart*) dibawah ini :



Gambar 2.10. *flow chart* struktur program SAP 90

II.4.1. Pemodelan Struktur

Langkah awal dalam menganalisa struktur *midship* dengan menggunakan *SAP 90* ini adalah penyusunan model struktur yang terdiri dari kumpulan elemen hingga. Model struktur ini diusahakan mendekati kondisi struktur yang akan dianalisa atau jika struktur tidak terlalu rumit bias disamakan dengan struktur yang dianalisa tersebut sehingga hasil perhitungan lebih akurat.

Adapun pemodelan dari struktur *Midship* kapal ini adalah meliputi :

1. Penentuan koordinat joint sebagai batas Element

- Penomoran joint harus menentukan geometri struktur.
- Joint harus diletakkan pada titik dan garis dimana terdapat diskontinuitas, misalnya perubahan sifat-sifat potongan, sifat-sifat material dan lain-lain.
- Joint harus diletakkan pada titik dimana gaya-gaya dan perpindahan akan dievaluasi.
- Joint harus diletakkan pada semua titik tumpuan.

2. Penentuan orientasi Elemen dalam koordinat struktur.

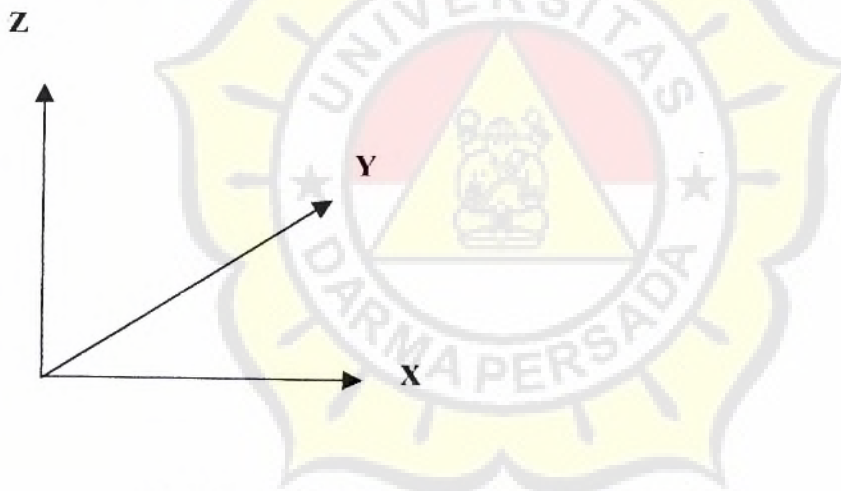
Pada *SAP 90* untuk koordinat local dinyatakan dengan sumbu 1-2-3, sedang koordinat global dinyatakan dengan sumbu X-Y-Z. Semua koordinat baik local maupun global dinyatakan dengan Cartesian dengan aturan tangan kanan.

Koordinat lokal digunakan untuk menyatakan :

- Material dan properties elemen, misalnya luas potongan dan sebagainya
- Arah beban yang bekerja pada elemen
- Arah gaya dan tegangan pada elemen

Sedangkan koordinat global digunakan untuk menyatakan :

- koordinat joint
- Kondisi dukungan atau *Restraints Joints*
- Arah beban pada joint
- arah displacement pada joint



Gambar 2.11. Sistem koordinat Global

II.4.2. File-File SAP 90

SAP 90 mempunyai 18 (delapan belas) file dengan fungsi yang berbeda-beda :

- SAP90.EXE : Berfungsi membaca, memeriksa, mentabulasi dan mencetak data.
- FRAME.EXE : Berfungsi membentuk kekakuan-kekakuan pada frame
- SHELL.EXE : Berfungsi membentuk kekakuan-kekakuan pada element plat.
- ASOLID.EXE : Berfungsi menghitung tegangan dan regangan pada struktur ruang
- SOLID.EXE : Berfungsi untuk menghitung tegangan dan regangan pada bidang
- SOLVE.EXE : Berfungsi untuk membentuk persamaan-persamaan (matriks)
- EIGEN.EXE : Berfungsi untuk menghitung harga-harga simpangan
- RITZ.EXE : Berfungsi untuk menganalisis struktur yang bergerak (mobil)
- SPEC.EXE : Berfungsi untuk membentuk getaran-getaran tanah yang disebabkan oleh gempa
- TIMEH.EXE : Berfungsi untuk menghitung gempa dengan riwayat waktu

- JOINTF.EXE : Berfungsi untuk membentuk gaya-gaya pada reaksi joint.
- ELEM.F.EXE : Berfungsi untuk membentuk gaya - gaya yang terjadi pada elemen
- FRAMEF.EXE : Berfungsi untuk membentuk gaya-gaya pada reaksi frame
- SHELLF.EXE : Berfungsi untuk membentuk gaya-gaya reaksi pada plat
- ASOLIDF.EXE : Berfungsi untuk membentuk gaya-gaya yang terjadi (tegangan dan regangan) yang terjadi pada struktur ruang.
- SOLIDF.EXE : Berfungsi untuk membentuk gaya-gaya pada tegangan/regangan yang ada pada bidang.
- SAPLOT.EXE : Berfungsi untuk melihat dalam tampilan layar.
- SAPTIME.EXE : Berfungsi untuk menganalisa waktu pada gempa.

II.4.3. Blok-Blok Data SAP 90

Blok-blok data SAP 90 adalah suatu blok data yang berfungsi mendefinisikan penganalisaan suatu masalah tertentu. Misalnya untuk mendefinisikan titik-titik kumpul yang ada dalam suatu struktur, maka pada input data digunakan blok data joint. Dalam SAP 90 terdapat 19 blok data, ada beberapa blok data yang bersifat mandatori (harus ada) namun ada pula yang tidak harus selalu digunakan. Pemilihan blok data yang akan digunakan tergantung dari jenis penganalisaan.

Blok – blok data pada SAP 90 yang digunakan dalam menganalisa beban statis dari struktur *offshore* adalah :

- *BD.The Title line* : Merupakan label output dari hasil program dan akan dicetak pada setiap halaman output file program SAP90. (mandatori)
- *BD. System* : Berfungsi sebagai informasi pengontrol dari struktur yang akan dianalisa
- *BD. Joints* : Berfungsi untuk mendefinisikan kedudukan joint-joint dari struktur sesuai dengan koordinatnya
- *BD. Restraints* : Berfungsi mendefinisikan jenis pengekangan dari *joint*. Setiap joint dari suatu model struktur yang memiliki enam komponen perpindahan, tiga pergeseran global X, Y, Z dan tiga rotasi global RX, RY, RZ. Keenam komponen perpindahan ini disebut *degree of freedom* dari suatu *joint*, nilainya = 0 jika *joint* bebas dan = 1 jika *joint* terkekang.
- *BD Frame* : Berfungsi untuk mendefinisikan sifat-sifat elemen , struktur, lokasi serta pembebanannya dalam model frame tiga dimensi.

berisi kontrol interaksi tegangan rasio informasi untuk cek tegangan elastis atau plastis.

- *File* FILENAME.SHR

File keluaran ini berisi kontrol rasio-rasio tegangan geser untuk cek tegangan elastis atau plastis.



- *CONTROL*

Blok data ini mendefinisikan penetapan informasi kontrol cek tegangan baja. Jika blok data ini tidak dilengkapi maka nilai-nilai defaultnya untuk semua variabel akan diasumsi.

- *COMBO*

Blok data ini untuk mendefinisikan variasi beban kombinasi untuk struktur yang akan dicek tegangannya. Kombinasi beban didefinisikan seperti kombinasi linier dari kondisi beban dasar SAP90 dan kombinasi beban dinamik.

- *SECTIONS*

Blok data *sections* untuk menunjukkan informasi data *section property* desain baja yang sebelumnya didefinisikan dalam data masukan *frame* SAP90.

- *FRAME*

Blok data *frame* ini mendefinisikan desain properties secara detail untuk tiap-tiap elemen.

II.4.6. File Keluaran SAPSTL

Dari data masukan SAPSTL akan menghasilkan dua jenis *file* keluaran SAPSTL, yaitu :

- *File* FILENAME.STL

File keluaran ini berisi hasil semua data masukan SAPSTL dan informasi tepat lainnya pemulihan dari data base SAP90. Beberapa program pengkalkulasian nilai-nilai K-factor juga tertabulasikan. Ditambahkan, *file*