

BAB II

LANDASAN TEORI

II. 1 METODE ELEMEN HINGGA

Metode elemen hingga merupakan suatu metode yang dipakai untuk menganalisa bagian-bagian dari suatu struktur. Pada dasarnya metode elemen hingga terdiri atas aplikasi untuk tiga keadaan dasar, yaitu keseimbangan gaya-gaya, perpindahan kompatibilitas dan hubungan antara tegangan-regangan.

Pada kasus-kasus perancangan yang 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 tegangannya secara umum harus memakai metode elemen hingga karena sangat rumit atau bahkan tidak mungkin bila menggunakan metode konvensional.

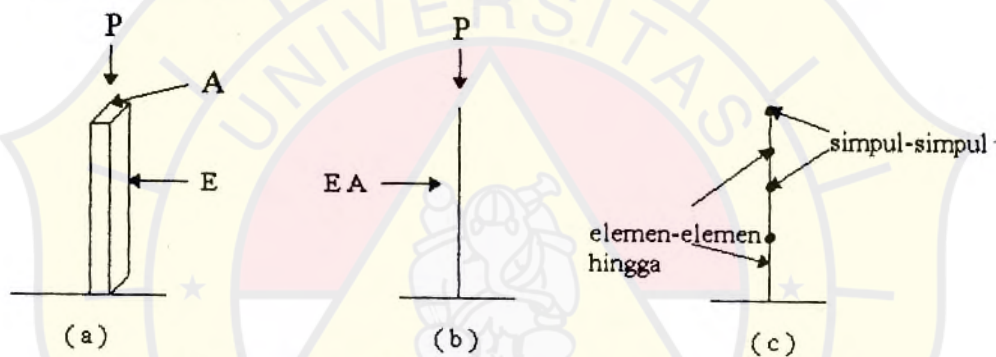
II. 1. 1 Prinsip Dasar Metode Elemen Hingga

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 yang dinamakan elemen hingga. Perpotongan antara sisi-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 pada permukaan elemen, seperti ditunjukkan pada gambar 2. 1.

Biasanya, penambahan akurasi melalui suatu pertimbangan dengan penambahan titik-titik simpul pada elemen struktur. Demikian juga pada sistem struktural yang mempunyai elemen yang lebih kecil, maka hasil analisisnya lebih akurat. Seberapa kecil elemen-elemen yang harus dipilih, hal ini tergantung pada karakteristik rangkaian kesatuan dan idealisasi yang dipilih untuk digunakan.



Gambar 2. 1 Kolom yang Dibebeani Secara Aksial

(a) kolom sesungguhnya (b) Idealisasi suatu dimensi (c) Diskretisasi

II. 1. 2 Konsep Metode Kekakuan

Metode kekakuan atau yang biasanya menunjukkan sebagai metode perpindahan berdasarkan pada prinsip superposisi dari perpindahan. Mempertimbangkan mengenai masalah tegangan bidang seperti yang ditunjukkan gambar 2. 2. Pada setiap titik simpul bidang padat seperti i, j dan k di sini ada 2 (dua) kemungkinan perpindahan translasi pada arah x dan y . Kesesuaian bagi tiap-tiap perpindahan karena ada pengaturan yang menyebabkan gaya-gaya pada tiap-tiap titik simpul. Metode superposisi untuk keadaan struktur linear yang menyebabkan gaya total pada pemberian titik simpul di dalam pemberian arah melalui semua kemungkinan perpindahan-perpindahan titik simpul pada

elemen padat yang berdasarkan pengalaman diperoleh melalui penjumlahan persamaan aljabar sederhana seperti dirumuskan sebagai berikut:

$$f_1 = f_1^1 + f_1^2 + f_1^3 + f_1^4 + f_1^5 + f_1^6$$

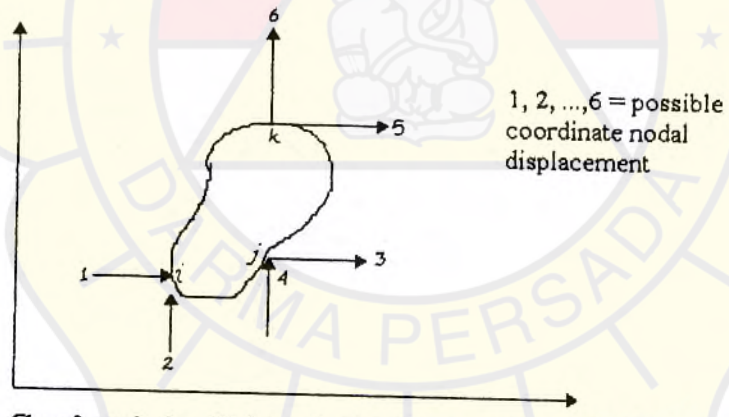
$$f_2 = f_2^1 + f_2^2 + f_2^3 + f_2^4 + f_2^5 + f_2^6$$

.....

$$f_6 = f_6^1 + f_6^2 + f_6^3 + f_6^4 + f_6^5 + f_6^6 \quad \text{atau}$$

$$f_m = \sum_{n=1}^6 f_m^n = \sum_{n=1}^6 f_{mn} \quad (m = 1, 2, \dots, 6) \dots\dots\dots [1]$$

Diketahui $f_{mn} = f_m^n =$ gaya yang menyebabkan arah pada koordinat gaya m sebagai hasil dari perpindahan koordinat simpul n dan f_m yang merupakan total koordinat gaya m hasil dari semua kemungkinan perpindahan koordinat δ_n ($n = 1, 2, \dots$) seperti ditunjukkan gambar 2. 1



Gambar 2. 2 Bidang Padat Dengan Tiga Titik Simpul

Untuk struktur elastis linear, gaya secara langsung sebanding dengan perpindahan yang dirumuskan sebagai berikut:

$$f = k \cdot \delta \dots\dots\dots [2]$$

dimana : f = gaya

k = konstanta pembeding δ = perpindahan

Dengan menggunakan hubungan dasar yang ada pada persamaan [1] dan [2] maka dapat dirumuskan persamaan sebagai berikut:

$$f_m = \sum_{n=1}^6 k_{mn} \delta_n \quad (m = 1, 2, \dots, 6) \dots\dots\dots [3]$$

Diketahui k_{mn} adalah menunjukkan sebuah konstanta koefisien kekakuan dengan dimensi gaya persatuan perpindahan dan didefinisikan sebagai gaya yang menyebabkan arah pada koordinat m tepat pada satuan gaya perpindahan yang diterapkan pada arah simpul koordinat n.

Dalam bentuk matriksnya, persamaan [3] dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & & & & & \\ k_{21} & k_{22} & & & & \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \text{simetris} & & \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & & \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{bmatrix} \dots\dots\dots [4]$$

atau jika dituliskan dalam bentuk matriks kompaknya adalah sebagai berikut:

$$[f] = [k] [\delta] \dots\dots\dots [5]$$

diketahui:

[f] dan [δ] adalah kolom-kolom dari vektor-vektor gaya dan perpindahan.

[k] adalah matriks segitiga dari koefisien kekakuan.

Bentuk persamaan [5] berbasis pada metode kekakuan dan memperlihatkan kondisi-kondisi keseimbangan statis. Untuk hubungan-hubungan elemen, persamaan [5] dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$[f_m] = [k_m] [\delta_m] \dots\dots\dots [6]$$

diketahui:

[f_m] = gaya simpul pada bagian m.

[k_m] = matriks kekakuan pada bagian m.

[δ_m] = struktur perpindahan simpul pada titik simpul bagian m.

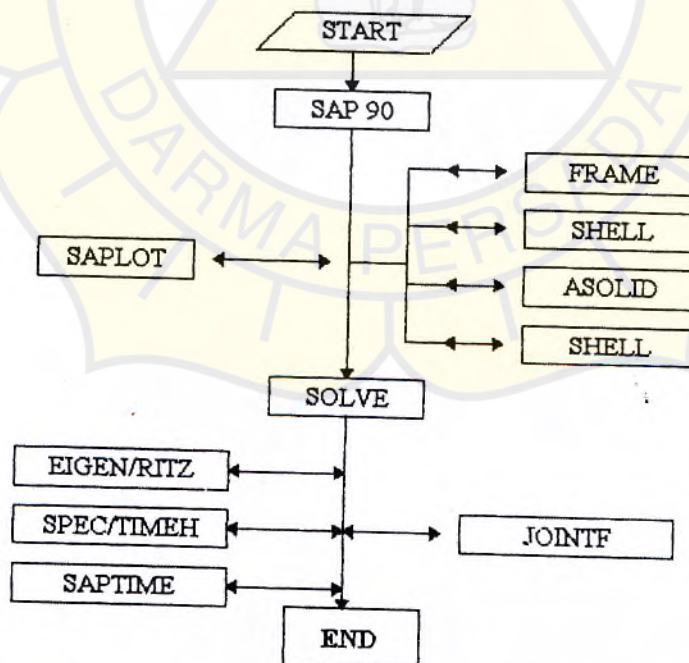
II. 2 PENGANTAR SAP-90

SAP-90 (*Structural Analysis Program 90*) merupakan suatu program komputer yang digunakan untuk menganalisa suatu struktur, dimana cara analisisnya berdasarkan pada metode elemen hingga.

Modul-modul analisis yang ada dalam SAP-90 antara lain yaitu analisis statis dan analisis dinamis. 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 menyediakan suatu modul *post-processor graphic* untuk menayangkan hasil-hasil distribusi perpindahan dan/atau tegangan serta bentuk modus getaran dari struktur pada layar monitor komputer.

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*) berikut ini:



Gambar 2. 3 Flow Chart Struktur Program SAP-90

Keterangan Flow Chart Struktur Program SAP-90:**SAP-90**

Berfungsi untuk inialisasi data masukan, pemrosesan data masukan (joint, model, dan sebagainya), optimasi matriks kekakuan struktur untuk analisis lanjut.

OPTIMIZE

Untuk optimasi jumlah atau penomoran persamaan.

FRAME

Untuk menentukan letak kekakuan elemen/struktur model FRAME (beam).

SHELL

Untuk mendefinisikan formulasi model SHELL dan kekakuan elemen SHELL.

ASOLID

Untuk mendefinisikan struktur sebagai model ASOLID, kekakuan elemen ASOLID.

SOLID

Untuk mendefinisikan struktur sebagai model SOLID, sifat elemen, dan kekakuan elemen SOLID.

SOLVE

Untuk penyusunan matriks kekakuan dan pembebanan serta penentuan suatu jawaban persamaan.

EIGEN

Untuk analisis frekuensi natural Eigenvalue.

RITZ

Untuk analisis vektor Ritz.

SPEC

Untuk analisis respon-spektrum terhadap sinyal dinamis yang bekerja pada struktur.

TIMEH

Analisis Time History.

JOINTF

Keluaran hasil analisis, bentuk mode, perpindahan titik joint dan reaksi tumpuan.

ELEMF

Keluaran hasil analisis suatu tipe elemen.

FRAMEF

Keluaran gaya internal pada elemen frame.

SHELLF

Keluaran gaya internal pada elemen shell.

ASOLIDF

Keluaran tegangan pada elemen asolid.

SOLIDF

Keluaran tegangan pada elemen solid.

SAPLOT

Adalah display grafik.

SAPTIME

Adalah display grafik dan hasil keluaran untuk analisis time history.

II. 2. 1 File Keluaran SAP 90

Setiap modul melakukan analisa yang spesifik terhadap file yang telah berisikan susunan blok data tertentu dan setelah proses analisa masing-masing modul selesai maka akan dihasilkan data file keluaran, baik yang disajikan pada layar monitor maupun yang disimpan dalam file tertentu. Data yang terekam dalam file tersebut langsung disimpan dalam media hard disk atau langsung dicetak melalui printer sesuai dengan pilihan perintah yang dicantumkan pada blok data.

Kandungan file keluaran ini meliputi:

1. File (nama file). SAP
File keluaran ini berisi tiruan tabel informasi dari blok-blok data yang ada dalam file masukan. File ini dibuat oleh pre-processor SAP-90 dan berisi keterangan-keterangan tentang kesalahan apapun yang terdeteksi selama tahap pra proses.
2. File (nama file). EIG

File keluaran ini berisi daftar eigenvalue dan frekuensi yang bertalian dan periode waktu.

3. File (nama file). RIT

File ini berisi daftar frekuensi dan parameter mode lain (menggunakan ritz vektor).

4. File (nama file). SPC

File ini berisi faktor mode analisa spektral.

5. File (nama file). SOL

File keluaran ini berisi:

- a. Bentuk modus.
- b. Pergantian sambungan.
- c. Reaksi sambungan dan beban terapan.

6. File (nama file). F3F

File ini berisi file keluaran gaya elemen untuk elemen frame.

7. File (nama file). F4F

File ini berisi file keluaran gaya elemen untuk elemen SHELL.

8. File (nama file). F8F

File ini berisi file keluaran tegangan elemen untuk elemen SOLID.

9. File (nama file). FEF

File ini berisi gaya joint elemen untuk semua tipe elemen. Gaya joint elemen diperoleh dengan mengalikan pergantian elemen dan matriks gaya elemen.

10. File (nama file). ERR

File ini berisi kesalahan dan peringatan yang disebabkan oleh program selama eksekusi fase penyelesaian program.

II. 2. 2 Pemodelan Struktur

Langkah awal dalam menganalisa struktur bangunan atas kapal ini dengan pemakaian SAP-90 adalah penyusunan model struktur yang tersusun dari kumpulan

elemen hingga. Model struktur ini diusahakan mendekati kondisi struktur yang akan dianalisa sehingga hasil perhitungan cukup akurat dan fleksibel.

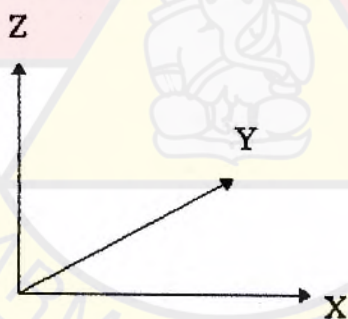
Adapun pemodelan dari struktur bangunan atas kapal ini meliputi:

1. Penentuan koordinat joint sebagai batas elemen.

- Penomoran joint harus cukup 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 di mana gaya-gaya dan perpindahan akan dievaluasi.
- Joint harus diletakkan pada semua titik tumpuan.

2. Penentuan orientasi elemen dalam koordinat struktur.

Penentuan posisi/letak joint dilakukan dengan menggunakan sistem koordinat global tiga dimensi Cartesien dengan aksis-aksis x , y , z (mengikuti kaidah tangan kanan). Sistem koordinat ini dikenal dengan sistem koordinat global.



Gambar 2.4 Sistem Koordinat Global

3. Penentuan sifat penampang dan elastisitas.

Pada SAP-90 terdapat empat tipe elemen dasar untuk pemodelan struktur, yaitu:

a. Elemen FRAME

Elemen dasar frame adalah balok tiga dimensi yang dipengaruhi deformasi lentur biaksial, torsi, aksial dan geser biaksial.

b. Elemen SHELL

Elemen shell dipakai untuk memodelkan struktur pelat lentur. Pelat lentur memiliki kekakuan rotasi sejajar aksis bidang dan kekakuan translasinya tegak lurus bidang elemen, tetapi tidak mempengaruhi deformasi geser.

c. Elemen ASOLID

Elemen Asolid adalah elemen planar dua dimensi, dua variabel terdiri dari 3 ~ 9 model berdasarkan pemusatan isoparametris dan harus sejajar dengan aksis bidang utama ($x-y$; $y-z$) dan ($-x$).

d. Elemen SOLID

Untuk memodelkan struktur solid tiga dimensi yang terdiri dari 8 joint isoparametrik. Semua tegangan model solid dihitung pada model elemen dalam orientasi koordinat global.

Untuk pemakaian masing-masing tipe elemen tersebut, dalam hal informasi kekakuannya, sesuai dengan yang berorientasi dalam ruang dan dihubungkan dengan derajat kebebasan joint yang terdapat pada elemen tersebut.