

Analisis Perhitungan Gaya Internal Rangka Ruang dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Oktaviany Widyawaty¹⁾

Hasti Riakara Husni²⁾

Suyadi³⁾

Abstract

The finite element method is a method of modelling of an object to divide into smaller parts as a whole still has the same properties as the whole thing before it was divided into smaller sections (discretization). The finite element method can be used to analyse various types of structures, such as plane truss, space truss, plane frame, space frame, beam, and grid.

The main difference space truss and space truss are the number of degrees of freedom at each node. Each bar in order to space has six degrees of freedom. A space truss structure formed by the combination of elements order in XYZ space. Variations of incorporation requires the transformation of the characteristic elements of the local coordinate system to the global coordinate system.

In this study, analysis of space truss using the finite element method will be assisted with the software Matlab. Where the result of Matlab will be compared with result from the SAP2000. The results of this analysis are joint displacement, joint reaction, and element forces.

Keywords : *Finite Element Method, Space Truss, Matlab*

Abstrak

Metode elemen hingga adalah metode pemodelan dari suatu benda dengan membagi-bagi dalam bagian yang kecil yang secara keseluruhan masih mempunyai sifat yang sama dengan benda utuh sebelum terbagi menjadi bagian yang kecil (diskritisasi). Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis berbagai tipe struktur, yaitu rangka batang, rangka ruang, portal bidang, portal bidang, portal ruang, balok, dan balok silang.

Perbedaan utama rangka ruang dan rangka batang adalah jumlah derajat kebebasan di tiap nodal. Tiap batang pada rangka ruang memiliki 6 derajat kebebasan. Suatu struktur rangka ruang terbentuk dari gabungan elemen rangka dalam ruang XYZ. Variasi penggabungan membutuhkan transformasi karakteristik elemen dari sistem koordinat lokal ke sistem koordinat global.

Dalam penelitian ini, analisis rangka ruang dengan menggunakan metode elemen hingga akan dibantu dengan perangkat lunak Matlab. Dimana hasil dari Matlab akan dibandingkan dengan hasil dari SAP2000. Hasil dari analisis ini akan mendapatkan perpindahan titik, reaksi tumpuan, serta gaya batang pada setiap elemen.

Kata kunci : Metode Elemen Hingga, Rangka Ruang, Matlab

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel : oktavianywidyawaty@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi yang ada, bangunan sipil tidak hanya berupa bangunan gedung, terdapat juga bangunan sipil bukan gedung, seperti jembatan, menara, ataupun rangka bangunan baja lain. Bangunan-bangunan bukan gedung tersebut tentunya memerlukan perhitungan dan perencanaan yang lebih matang. Sama halnya seperti menara yang merupakan salah satu contoh bangunan sipil yang termasuk kategori *space truss* (rangka ruang) memerlukan waktu yang cukup lama serta ketelitian yang cukup besar untuk perhitungan gaya internal aksialnya.

Dalam bidang teknik sipil, perhitungan gaya internal aksial pada rangka ruang dapat dilakukan dengan berbagai cara. Salah satu cara untuk perhitungan gaya internal aksial rangka ruang yaitu dengan menggunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan metode pemodelan dari suatu benda dengan membagi-bagi dalam bagian kecil yang secara keseluruhan masih mempunyai sifat yang sama dengan benda utuh sebelum terbagi dalam bagian yang kecil (diskritisasi).

Berdasarkan permasalahan di atas, maka rumusan masalahnya adalah bagaimana melakukan perhitungan gaya-gaya internal yang terjadi pada rangka ruang dengan menggunakan metode elemen hingga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan gaya aksial dari elemen rangka ruang (*space truss*), perpindahan titik, dan reaksi tumpuan dengan menggunakan Program Matlab, lalu dibandingkan dengan analisis menggunakan Program SAP2000.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis. Tipe masalah teknis dan matematika yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah non-struktur (Susatio, 2004).

Struktur diskrit terbentuk dari gabungan elemen yang perilakunya diharapkan mewakili perilaku struktur kontinu. Perilaku masing-masing elemen digambarkan dengan fungsi pendekatan yang mewakili peralihan dan tegangan yang akhirnya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matrik (Katili, 2008).

Konsep yang mendasari metode elemen hingga adalah prinsip *discretization*. *Discretization* atau diskritisasi adalah membagi sesuatu menjadi bentuk yang lebih kecil dan penyatuan secara keseluruhan yang dapat menstimulir keadaan tersebut secara menyeluruh (Bargess, 2009).

Beberapa istilah-istilah yang digunakan dalam analisis struktur yang digunakan dalam metode elemen hingga adalah sebagai berikut.

1. Beban

Beban adalah semua gaya yang menimbulkan tegangan dan regangan dalam suatu struktur. Beban nodal (BN) adalah beban terpusat yang langsung bekerja pada nodal. Beban nodal ekuivalen (BNE) adalah beban terpusat atau beban merata yang bekerja di antara nodal dan ditransmisikan menjadi beban nodal.

2. Gaya Nodal Struktur

Gaya ini menimbulkan gaya internal geser, aksial, momen torsi, dan momen lentur sampai akhirnya disalurkan ke perletakan. Gaya nodal struktur juga berperan dalam menjaga keseimbangan struktur bebas (*free-body structure*) bila perletakan dilepas.

3. Gaya Nodal Elemen

Gaya nodal elemen adalah gaya yang muncul pada nodal elemen dengan peran untuk menjaga keseimbangan elemen bila elemen dilepas dari struktur sebagai *free-body*. Gaya nodal elemen ini akan menghilang bila elemen-elemen dirangkai menjadi satu kesatuan dengan struktur dan bergabung menjadi gaya nodal struktur.

4. Peralihan Nodal

Peralihan nodal adalah terjadinya perpindahan derajat kebebasan nodal pada elemen struktur yang dapat berupa rotasi atau translasi dalam arah horisontal maupun vertikal akibat pembebanan.

5. Nodal Struktur

Nodal struktur adalah titik pertemuan elemen-elemen yang merupakan acuan dalam merangkai elemen-elemen pembentuk struktur. Pada nodal struktur gaya nodal struktur dan derajat kebebasan struktur didefinisikan untuk kemudian dibentuk relasi persamaan kekakuan struktur.

6. Nodal Elemen

Nodal elemen adalah titik-titik pada elemen dimana gaya nodal elemen dan derajat kebebasan elemen didefinisikan untuk kemudian dibentuk suatu persamaan kekakuan elemen.

7. Elemen Struktur

Elemen struktur adalah komponen-komponen pembentuk struktur yang dibatasi oleh minimal dua nodal.

2.2. Metode Analisis dengan Matlab

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah suatu paket perangkat lunak yang mampu untuk melakukan komputasi, menganalisis data, mengembangkan algoritma, melakukan simulasi dan pemodelan, dan menghasilkan tampilan grafik dan antarmuka grafikal. Matlab merupakan bahasa pemrograman yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain seperti Delphi, Basic, maupun C++ (Sianipar, 2013).

Beberapa Bagian dari Window Matlab

1. *Current Directory*

Window ini menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan Matlab. Kita dapat mengganti direktori ini sesuai dengan tempat direktori kerja yang diinginkan. *Default* dari alamat direktori berada dalam folder works tempat program files Matlab berada.

2. *Command History*

Window ini berfungsi untuk menyimpan perintah-perintah apa saja yang sebelumnya dilakukan oleh pengguna terhadap Matlab.

3. *Command Window*

Window ini adalah window utama dari Matlab. Disini adalah tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variabel, menjalankan proses-proses, serta melihat isi variabel.

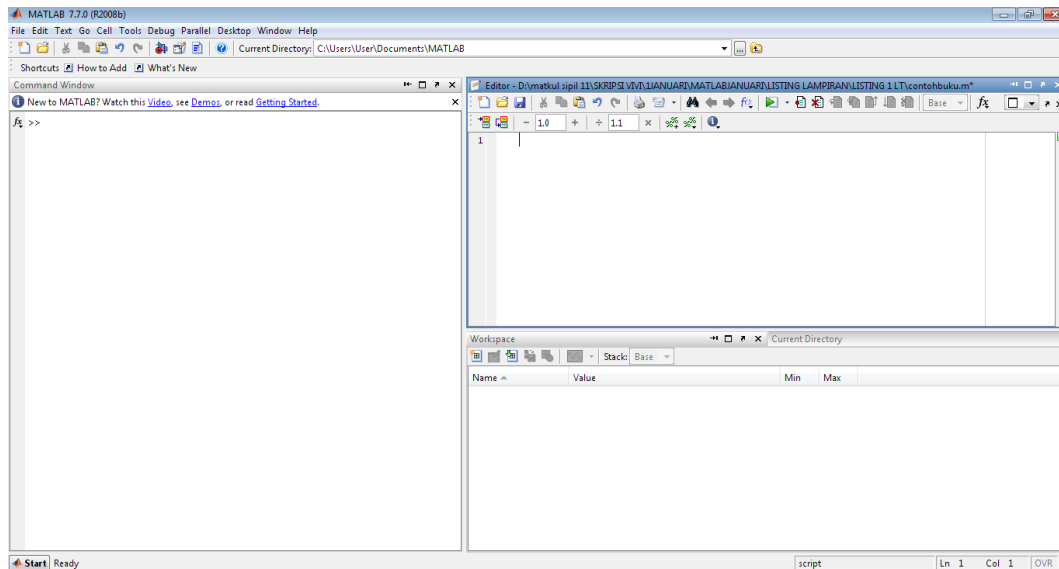
4. *Workspace*

Workspace berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian Matlab. Apabila variabel berupa data matriks berukuran besar maka *user* dapat melihat isi dari seluruh data dengan melakukan *double click* pada variabel

tersebut. Matlab secara otomatis akan menampilkan window “array editor” yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih user.

5. Getting Help

Matlab menyediakan fungsi *help* yang tidak berisikan tutorial lengkap mengenai Matlab dan segala keunggulannya. User dapat menjalankan fungsi ini dengan menekan tombol pada *toolbar* atau menulis perintah ‘*helpwin*’ pada *command window*. Matlab juga menyediakan fungsi *demos* yang berisikan video tutorial Matlab serta contoh-contoh program yang bisa dibuat dengan Matlab.



Gambar 1. Tampilan Utama Matlab.

Metode analisis dengan *script programming* yang dipakai dalam analisis ini adalah dengan menggunakan Matlab (Matrix Laboratory), dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menentukan matriks kekakuan lokal dari struktur = $[K]_{\text{lokal}}$
2. Mentransformasikan matriks untuk global ke sistem sumbu lokal = $[T]$
3. Mengkonversi matriks untuk sumbu lokal ke sistem sumbu global
4. Membentuk matriks kekakuan sumbu global setiap elemen = $[K]_{\text{global}}$
5. Membentuk matriks kekakuan sistem sumbu global dengan superposisi = $[K]_{\text{sis}}$
6. Membentuk matriks vektor beban dengan superposisi $[Q]_{\text{sis}}$ & $[P]_{\text{sis}}$
7. Membentuk persamaan keseimbangan $[K](d) + (f) = (P)$
8. Mengitung reaksi dan perpindahan nodal per sistem sumbu global $[P]_{\text{global}}$
9. Menghitung reaksi dan perpindahan nodal per sistem sumbu lokal $[P]_{\text{lokal}} = [T]$
 $(P)_{\text{global}}$
10. Menghitung gaya-gaya dalam struktur per elemen

File utama pada Matlab membutuhkan file pendukung lain agar *file* utama dapat menganalisis data input yang telah dimasukkan (Alkaff, 2004). *File-file* Matlab yang dibentuk pada waktu pemrograman antara lain adalah:

1. *File* fungsi *extract* (*extract.m*), *file* ini berfungsi untuk mengekstrak matriks dengan indeks informasi baris dan kolom

2. *File* fungsi *assembly* (*assembly.m*), *file* ini berfungsi untuk merangkai berdasarkan informasi baris dan kolom pada bahasa mesin (*assembly*) sehingga dapat mempercepat proses analisis matriks
3. *File* fungsi *sdata* (*sdata.m*), *file* ini berfungsi untuk membaca masukan data berupa jenis portal, koordinat, batang elastisitas, luas penampang, dan inersia penampang
4. *File* fungsi *ldata* (*ldata.m*), *file* ini berfungsi untuk membaca masukan data berupa beban terpusat dan beban batang, serta kekangan dari perletakan.
5. *File* fungsi *t3d_stiff* (*t3d_stiff.m*), *file* ini berfungsi untuk membentuk matriks kekakuan sumbu lokal, matriks transformasi dan matriks kekakuan sumbu global.
6. *File* fungsi *analysis_result* (*analysis_result.m*), *file* ini berfungsi untuk menganalisis matriks kekakuan sumbu lokal dan kekakuan sumbu global, serta matriks vektor beban dan dengan syarat batas dihitung reaksi perletakan dari struktur serta perpindahan nodal serta gaya-gaya dalam pada setiap elemen.
7. *File* fungsi *print_result* (*print_result.m*), *file* ini berfungsi untuk menampilkan hasil berupa reaksi perletakan, perpindahan nodal, dan gaya batang pada monitor dalam bentuk *text*.

2.3. Metode Analisis dengan SAP2000

Secara garis besar, perhitungan analisis struktur rangka dengan SAP2000 akan melalui beberapa tahap, yaitu:

1. Menentukan geometri model struktur
2. Mendefinisikan data-data, seperti jenis dan kekuatan bahan, dimensi penampang elemen struktur, macam beban, dan pembebanan
3. Menempatkan data-data yang telah didefinisikan ke model struktur, seperti data beban dan data penampang
4. Memeriksa input data
5. Analisis mekanika teknik

3. METODE PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Model rangka ruang yang dipakai pada penelitian ini adalah menara air yang terletak di depan Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer, dimana data primer didapatkan dari hasil pengukuran model rangka ruang sesuai dengan model lapangan. Data yang dibutuhkan berupa jumlah titik kumpul, jumlah elemen, jenis profil, beban yang bekerja, dan dimensi tower.

3.3. Metode Penelitian

Analisis dengan menggunakan metode elemen hingga yang bertujuan mendapatkan perpindahan titik, reaksi tumpuan, serta gaya batang tiap elemen dilakukan dengan *script programming* pada Matlab, kemudian akan dibandingkan hasilnya dengan hasil dari SAP2000.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis dengan Menggunakan Matlab

Pada analisis dengan menggunakan program Matlab, dilakukan *script programming* dengan menginput jenis profil, luas profil, modulus elastisitas, koordinat tiap titik, elemen

pada rangka ruang, jenis tumpuan dan beban yang bekerja pada struktur, lalu dilanjutkan dengan *script* seperti di bawah ini.

```
%Call function for analysis truss 3 d
[dof,index,coord,element]=sdata(prop,element,coord,type);
[S,Sm,SmS,Cx,Cy,Cxz,RT,L,A,Joint,Xj,Xk,Yj,Yk,Zj,Zk]=...
t3d_stiff(prop,element,coord,index);
[IR,IF,Support]=Idata(Support,dof);
[DF,AR,AM]=analysis_result(element,dof,index,IF,IR,...
S,SmS,JL,AML,RT,Support,type);
[joint_disp,support_reaction,beam_endforces]=...
print_result(dof,Support,element,IF,IR,DF,AR,AM,type);
```

Dari analisis dengan menggunakan program Matlab didapatkan nilai perpindahan titik terbesar sebesar -0,073 cm di arah Z dan untuk gaya batang terbesar sebesar -1253,121 Kgf. Untuk reaksi tumpuan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Reaksi Tumpuan dengan Matlab

Joint text	Rx Kgf	Ry Kgf	Rz Kgf
1	62,5	62,5	1250
2	-62,5	62,5	1250
3	-62,5	-62,5	1250
4	62,5	-62,5	1250

4.2. Hasil Analisis dengan Menggunakan SAP2000

Analisis rangka ruang dengan menggunakan program SAP2000 menggunakan metode grafis atau pemodelan. Dengan memodelkan rangka ruang yang akan dianalisis, mendefinisikan material, jenis profil, beban serta tumpuan yang bekerja, lalu menjalankan program analisis (*running*), maka akan didapatkan hasil perpindahan titik terbesar sebesar -0,073 cm dan gaya batang maksimum sebesar -1253,120 Kgf, sedangkan reaksi tumpuan yang didapatkan seperti di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Reaksi Tumpuan dengan SAP2000

Joint text	Rx Kgf	Ry Kgf	Rz Kgf
1	62,5	62,5	1250
2	-62,5	62,5	1250
3	-62,5	-62,5	1250
4	62,5	-62,5	1250

4.3. Perbandingan Hasil Matlab dan SAP2000

Berdasarkan tujuan dari skripsi ini yaitu mendapatkan gaya aksial dari elemen rangka ruang (*space truss*), perpindahan titik (*joint displacement*), dan reaksi tumpuan (*joint reaction*) dengan menggunakan Program Matlab, lalu akan dibandingkan hasil yang diperoleh dengan menggunakan SAP2000. Maka, dibutuhkan perbandingan dari hasil MATLAB dan SAP2000 yang telah didapatkan.

Formula yang dipakai untuk membandingkan hasil adalah:

$$\Delta = ((Hasil_{SAP} - Hasil_{MATLAB}) / Hasil_{MATLAB}) \times 100 \text{ (dalam \%)}.$$

Didapatkan perbandingan hasil analisis dengan menggunakan Matlab dan SAP2000 terbesar sebesar 3,445%.

5. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain, dengan dibuatnya program MATLAB untuk menganalisis rangka ruang, perhitungan perpindahan titik, reaksi tumpuan serta gaya batang elemen lebih mudah dan efisien, perhitungan dengan program ini dapat dilakukan dengan sangat cepat, dibandingkan dengan perhitungan manual, selisih hasil perhitungan dengan menggunakan program MATLAB dan program SAP2000 kurang dari 5% yang diakibatkan adanya pembulatan koma, serta program MATLAB yang dibuat harus sesuai dengan ketentuan input program yang ada, sehingga program dapat berjalan sesuai dengan fungsi-fungsi yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkaff, M. Firdaus, 2004, *MATLAB 6 untuk Teknik Sipil*. Maxikom. Palembang.
- Bargess, M. F., C. Lesmana, dan R. Y. Tallar, 2009, *Analisis struktur bendung dengan metode elemen hingga. Jurnal Teknik Sipil*. Volume 5 Nomor 1.
- Katili, I. 2008, *Metode Elemen Hingga untuk Skeletal*. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Sianipar, R. H., 2013, *Pemrograman MATLAB dalam Contoh dan Penerapan*. INFORMATIKA. Bandung.
- Susatio, Yerri, 2004, *Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*. ANDI. Yogyakarta.

