

ELASTICS ANALYSIS OF SLAB MULTILAYERED PROGRAMMING (EAoSM)

Fachriza Noor Abdi

Dosen pada Fakultas Teknik Universitas Mulawarman

Abstract

Development of layered finite elements model of reinforced concrete slab structures which is implemented in a program EAoSM (Elastics Analysis of Slab Multilayered) is outlined. The program is based on a layering formulation in which the cross section is divided into steel and concrete layers. Concrete layers are simulated with 8-nodes isoparametric quadratic quadrilateral plane stress and Mindlin plate elements; steel layers are modeled with plane stress elements. Interlayer compatibility is satisfied by constraining in-plane displacements along common interfaces to be the same for adjacent layers which the central layer is assumed to be the reference layer. An efficient algorithm is used for assembly of the stiffness matrix, constraints matrix and solution of the equilibrium equations.

Key words : *reinforced concrete slab – layering formulation – compatibility – central layer - reference layer*

PENDAHULUAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah program aplikasi komputer untuk menganalisis suatu struktur beton bertulang yang diidealisasi sebagai struktur multilapis (lapisan beton dan lapisan baja tulangan), yang berdasarkan pada analisis metode elemen hingga dengan model elemen hingga multilapis kuadrilateral 8 nodal. Ditulis dalam bahasa pemrograman FORTRAN dengan compiler Microsoft Developer Studio Fortran PowerStation Versi 4.0. Program ini dapat digunakan pada komputer pribadi dengan kapasitas memori dasar 640 KB.

Subroutine-subroutine standar yang dibuat oleh Hinton dan Owen (1984, 1989), seperti *subroutine* integrasi numerik Gauss, *subroutine shape-function*, *subroutine elastic rigidity*, *subroutine strain displacement*, dan lain-lain setelah dimodifikasi sesuai teknik pemodelan multilapis dengan lapisan referensi di tengah ketebalan struktur diadopsi pada program aplikasi ini. *Subroutine* lainnya dibuat sendiri, yaitu *subroutine constraint*, *subroutine* merakit matrik kekakuan, *subroutine* kekakuan lapisan, *subroutine plot undeformed* dan *deformed* struktur, dan lain-lain.

ALGORITMA PROGRAM

Perumusan dan penerapan metode elemen hingga terdiri dari beberapa langkah dasar yaitu :

- (1) diskretisasi dan pemilihan konfigurasi elemen,
- (2) mengevaluasi matrik kekakuan dan vektor beban masing-masing elemen,

- (3) merakit matrik kekakuan dan matrik beban elemen kedalam matrik kekakuan dan vektor beban global,
- (4) menggabungkan persamaan-persamaan elemen untuk memperoleh persamaan global dan memasukkan syarat-syarat batas,
- (5) menyelesaikan persamaan global untuk memperoleh variabel-variabel *displacement* yang belum diketahui (*primary unknown*),
- (6) mengevaluasi nilai-nilai tegangan dengan metode *displacement*,
- (7) interpretasi hasil.

Program komputer pada penelitian ini dibuat mengacu pada langkah-langkah dasar di atas dengan modifikasi sesuai model elemen hingga multilapis dengan lapisan referensi di tengah ketebalan struktur. Program komputer tersebut terdiri dari beberapa *subroutine* primer: *subroutine* input data, *subroutine* kekakuan, *subroutine* pembebanan, *subroutine* penyelesaian persamaan, *subroutine displacement*, *subroutine* tegangan dan output hasil, serta *subroutine* plot gambar, yang kesemuanya dikontrol dengan *subroutine* menu.

SUBROUTINE INPUT DATA

Data yang dimasukkan terdiri dari tiga klasifikasi data. Pertama adalah data elemen dan hubungan nodal elemen serta data geometri struktur. Kedua adalah informasi mengenai material elemen dan lapisan. Ketiga adalah data pembebanan. Detail parameter input untuk *subroutine* ini dijelaskan pada sub bab 6.3 (halaman 36-41) dan output *subroutine* ini berupa

data-data input yang akan digunakan oleh semua *subroutine* lain.

SUBROUTINE KEKAKUAN

Subroutine ini melakukan proses penyusunan matrik kekakuan lapisan, kemudian dirakit menjadi matrik kekakuan elemen multilapis. Parameter-parameter yang diinputkan pada *subroutine* ini adalah data jumlah elemen, jumlah lapisan, koordinat titik nodal, jenis lapisan, properti material lapisan tiap elemen yang diperoleh dari output *subroutine* input data. Reduksi derajat kebebasan yang digunakan dalam perhitungan persamaan global, dilakukan dengan matrik kendala yang disusun sesuai persamaan-persamaan kendala yang digunakan. Output *subroutine* ini berupa matrik kekakuan elemen yang telah tereduksi.

SUBROUTINE PEMBEBANAN

Parameter-parameter yang diinputkan pada *subroutine* ini adalah jumlah titik nodal, jumlah elemen, intensitas beban elemen, beban vertikal terpusat, beban momen (output dari *subroutine* input data) dan output dari *subroutine* ini adalah vektor beban titik nodal ekuivalen.

SUBROUTINE PENYELESAIAN PERSAMAAN

Penyelesaian persamaan menggunakan metode *frontal* yang diperkenalkan oleh Irons. Teknik penyelesaian persamaan dengan metode ini termasuk mudah untuk digunakan dan telah dirancang untuk meminimalkan penggunaan memori komputer akibat besar matrik kekakuan struktur.

Parameter-parameter yang diinputkan pada *subroutine* ini yaitu matriks kekakuan tereduksi (output *subroutine* kekakuan) dan vektor beban titik nodal ekuivalen (output *subroutine* pembebanan) dan output *subroutine* ini berupa *displacement* titik nodal pada lapisan referensi.

SUBROUTINE DISPLACEMENT

Parameter-parameter yang diinputkan pada *subroutine* ini adalah *displacement translasi* titik nodal dan rotasi pada lapisan referensi yang diperoleh dari output *subroutine* penyelesaian persamaan. Output *subroutine* ini berupa *displacement* yang terjadi pada masing-masing lapisan setiap elemen, di-*recovery* menggunakan matrik kendala dan matrik transformasi kekakuan yang dihasilkan pada proses reduksi dan kondensasi matrik kekakuan.

SUBROUTINE TEGANGAN DAN OUTPUT HASIL

Parameter-parameter input pada *subroutine* ini adalah *displacement* yang terjadi pada masing-masing lapisan setiap elemen (output *subroutine displacement*). Output *subroutine* ini berupa tegangan-tegangan yang muncul sesuai dengan titik nodal yang ditinjau, kemudian dicetak dengan format yang informatif dari masing-masing lapisan tiap elemen.

SUBROUTINE PLOT GAMBAR

Subroutine struktur, input pada *subroutine* ini adalah jumlah titik nodal, jumlah elemen, koordinat-koordinat titik nodal dan hubungan titik nodal elemen hasil output *subroutine* input data. Outputnya berupa plot gambar geometri struktur sebelum terjadi deformasi akibat beban yang dikerjakan maupun *body forces* pada struktur.

Subroutine deformasi dan *subroutine* gambar, input pada *subroutine* ini adalah jumlah titik nodal, jumlah elemen, koordinat-koordinat titik nodal, hubungan titik nodal elemen (output *subroutine* input data) dan *displacement* vertikal yang terjadi pada setiap titik nodal (output *subroutine displacement*). Output *subroutine* ini berupa plot gambar geometri struktur sebelum dan setelah terjadi deformasi.

Disamping *subroutine-subroutine* primer tersebut, juga digunakan beberapa *subroutine* sekunder, yaitu :

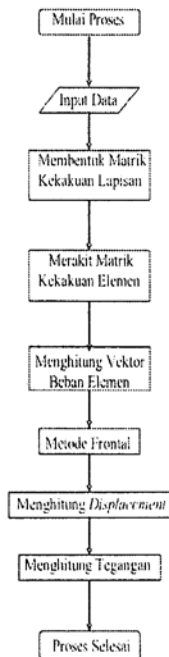
- (a). *subroutine* NODEXY untuk menginterpolasi nodal-nodal tengah elemen,
- (b). *subroutine* CHECK untuk memeriksa parameter-parameter input data,
- (c). *subroutine* GAUSSQ untuk mengatur konstanta integrasi Gauss-Legendre dan Lobatto,
- (d). *subroutine* MODPS untuk mengevaluasi matrik D *plane stress*,
- (e). *subroutine* MODPB untuk mengevaluasi matrik D pelat Mindlin,
- (f). *subroutine* SFR2 untuk mengevaluasi *shape function* dan derivatifnya,
- (g). *subroutine* JACOB2 untuk mengevaluasi matrik Jacobian dan *derivative cartesian shape function*,
- (h). *subroutine* BMATPS untuk mengevaluasi matrik *strain-displacement* elemen *plane stress*,
- (i). *Subroutine* BMATPB untuk mengevaluasi matrik *strain-displacement* elemen pelat Mindlin,

- (j). *Subroutine* ASSEMB untuk merakit matrik kekakuan lapisan pada matrik kekakuan elemen multilapis,
- (k). *Subroutine* DBE untuk mengalikan matrik D dengan matrik B,
- (l). *Subroutine* CHANGE dan *subroutine* CHNGE3 untuk merelokasi matrik kekakuan sesuai *degree of freedom* yang ditentukan,
- (m). *Subroutine* CONSTR untuk membentuk matrik kendala sesuai persamaan kendala yang digunakan, dengan lapisan referensi pada lapisan tengah,
- (n). *Subroutine* STATIC untuk mengkonsdensasi matrik kekakuan dan vektor beban elemen.

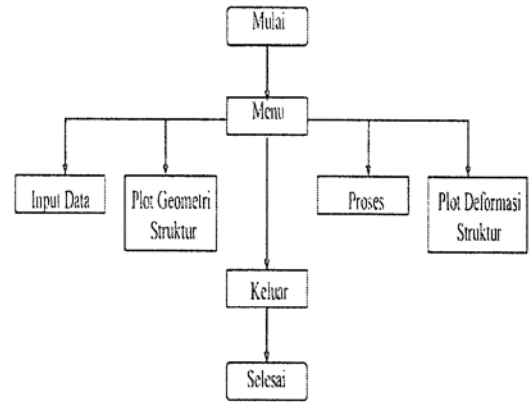
Subroutine-subroutine tersebut dibuat dan dimodifikasi sesuai dengan prosedur elemen hingga multilapis yang menggunakan lapisan tengah sebagai lapisan referensi/patokan (*master-degree of freedom*).

FLOWCHART PROGRAM

Flowchart program komputer aplikasi prosedur elemen hingga multilapis dengan lapisan referensi pada lapisan tengah dapat dilihat pada gambar 2 dan *flowchart* proses perhitungan hingga mendapat hasil-hasil yang diinginkan yaitu *displacement*, gaya-gaya dalam dan tegangan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Proses Perhitungan



Gambar 2. Flowchart Program Utama

DATA INPUT

Program aplikasi yang dibuat pada penelitian ini memerlukan data input sebagai berikut:

- (a) data kontrol, (b) data kompatibilitas dan intensitas beban elemen, (c) data koordinat titik nodal, (d) data kekangan, (e) data jenis lapisan, (f) data properti material dan (g) data beban.

Baris pertama data input harus diberi judul atau komentar sebanyak maksimum 70 karakter.

Data input ditulis dalam format bebas, dalam satu baris dapat dipisahkan dengan tanda baca koma (,) atau spasi (karakter kosong).

DATA KONTROL

Data kontrol diperlukan untuk pembacaan data-data selanjutnya dan dapat dipergunakan pada seluruh *subroutine*. Data kontrol ini terdiri dari: jumlah titik nodal, jumlah elemen, jumlah titik nodal terkekang, jumlah kasus pembebanan, jumlah jenis material, jumlah lapisan, jumlah lapisan baja tulangan dan tipe integrasi numerik yang akan dipergunakan. Data kontrol terdiri dari satu baris data dalam bentuk:

NPOIN, NELEM, NVFIX, NCASE, NMATS, NLAYR, NSTEL, NGAUS

- dengan,
- NPOIN = jumlah titik nodal
- NELEM = jumlah elemen
- NVFIX = jumlah titik nodal terkekang
- NCASE = jumlah kasus pembebanan
- NMATS = jumlah jenis material
- NLAYR = jumlah lapisan
- NSTEL = jumlah lapisan baja tulangan
- NGAUS = tipe integrasi numerik

DATA KOMPATIBILITAS DAN INTENSITAS ELEMEN

Data ini menunjukkan hubungan antara titik nodal suatu elemen struktur dalam koordinat sumbu lokal dengan koordinat sumbu global struktur. Elemen kuadrilateral isoparametrik yang digunakan pada program aplikasi komputer dalam penelitian ini mempunyai 8 titik nodal. Urutan pembacaan nomor titik nodal berlawanan arah jarum jam.

Dalam data ini juga diberikan data intensitas beban merata atau berat sendiri struktur persatuan luas untuk setiap elemen. Data kompatibilitas dan intensitas beban ini terdiri dari NELEM baris data dalam bentuk:

NUMEL, LNODS(NUMEL,1),
LNODS(NUMEL,2),...,LNODS(NUMEL,7),
LNODS(NUMEL,8), ULOAD(NUMEL)

dengan,
NUMEL = nomor elemen
LNODS(NUMEL,INODE) = nomor hubungan INODE dari elemen NUMEL, INODE dari 1 sampai dengan NNODE
NELEM = jumlah elemen struktur
NNODE = jumlah titik nodal tiap elemen
ULOAD(NUMEL) = intensitas beban merata atau berat sendiri tiap elemen

DATA KOORDINAT TITIK NODAL

Data koordinat titik nodal menyatakan koordinat suatu nomor titik nodal pada tata sumbu global. Data koordinat titik nodal terdiri dari NPOIN baris atau setengah NPOIN baris data bila titik nodal tengah elemen tidak diberikan (titik nodal tengah elemen akan dinterpolasi oleh *subroutine* NODEXY), dalam bentuk:

IPOIN, COORD(IPOIN,1), COORD(IPOIN,2)
dengan,
IPOIN = nomor titik nodal
COORD(IPOIN,1) = koordinat arah-X titik nodal IPOIN
COORD(IPOIN,2) = koordinat arah-Y titik nodal IPOIN
NPOIN = jumlah titik nodal struktur

DATA KEKANGAN

Data kekangan menyatakan lokasi dan sifat dari perletakan struktur. Data ini terdiri dari NVFIX baris data dalam bentuk:

NOFIX(IVFIX), IFPRE(IVFIX,1), ...,
IFPRE(IVFIX,NDOFN), PRESC(IVFIX,1),
..., PRESC(IVFIX,NDOFN)

dengan,
NOFIX(IVFIX) = nomor titik nodal terkekang pada posisi IVFIX, IVFIX dari 1 sampai dengan NVFIX
IFPRE(IVFIX,IDOFN) = kode kekangan (0 atau 1) searah *degree of freedom* IDOFN pada titik nodal terkekang IVFIX, IDOFN dari 1 sampai dengan NDOFN.

DATA JENIS LAPISAN

Data lapisan menyatakan jenis lapisan dan tipe material tiap lapisan. Data ini terdiri dari NLAYR baris data dalam bentuk:

NUMLY, MATNO(NUMLY), MATLY(NUMLY)
dengan,
NUMLY = Nomor lapisan
MATNO(NUMLY) = Nomor tipe material pada lapisan NUMLY
MATLY(NUMLY) = Kode lapisan NUMLY, Kode 1 = lapisan baja dan kode 2 = lapisan beton
NLAYR = Jumlah lapisan elemen

DATA PROPERTI MATERIAL

Data sifat material menyatakan modulus elastisitas, angka Poisson dan ketebalan tiap jenis material lapisan. Data ini terdiri dari NMATS baris data dalam bentuk:

NUMAT, PROPS(NUMAT,1),
PROPS(NUMAT,2), PROPS(NUMAT,3)
dengan,
NUMAT = Nomor jenis material
PROPS(NUMAT,1) = Modulus elastisitas material jenis NUMAT
PROPS(NUMAT,2) = Angka Poisson material jenis NUMAT
PROPS(NUMAT,3) = Ketebalan material jenis NUMAT
NMATS = Jumlah jenis material tiap elemen

DATA BEBAN

Data beban menyatakan lokasi dan besar beban sesuai arah pembebanan. Beban-beban yang tidak bekerja pada titik nodal akan dipresentasikan dalam beban-beban nodal ekuivalen. Data ini terdiri dari NCASE set data dan untuk set data terdiri dari NLOAD+1 baris data dalam bentuk:

IPLOD

LODPT, POINT(1), POINT(2), POINT(3) dengan,

IPLOD = Kode pembebanan,
Kode 0 = tidak ada beban titik nodal dan kode 1 = ada beban titik nodal

LODPT = Nomor titik nodal yang dibebani

POINT(1) = Besar beban vertikal terpusat pada titik nodal LODPT

POINT(2) = Besar beban momen arah-x pada titik nodal LODPT

POINT(3) = Besar beban momen arah-y pada titik nodal LODPT

NCASE = Jumlah kasus pembebanan

NLOAD = Jumlah titik nodal yang dibebani

Polak, M.A., 1998, "Modeling Punching Shear of Reinforced Concrete Slabs Using Layered Finite Elements", ACI Structural Journal, V. 95, No. 1, January-February.

Suhendro, B., 1992, "Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya".

Triwiyono, A., 1995, "Aplikasi Metode Elemen Hingga pada Struktur Beton", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

FILE OUTPUT PROGRAM

Program aplikasi komputer pada penelitian ini setelah dilakukan eksekusi proses perhitungan akan menghasilkan dua buah file output. File output yang pertama merupakan file hasil analisis yang lengkap, berisi setiap data input, beban ekuivalen yang bekerja, *displacement*, reaksi dan tegangan dalam yang terjadi dengan nama file sesuai dengan nama file input dengan ekstension OUT. File output yang kedua berisi data-data untuk memplot gambar struktur setelah terjadi deformasi dengan nama file sama dengan file input akan tetapi dengan ekstension GBR. Sebagai contoh misalnya diberikan nama file input "PELAT.TXT" maka nama file output pertama "PELAT.OUT" dan file output kedua "PELAT.GBR".

DAFTAR PUSTAKA

- Hinton, E. dan Owen, D.R.J., 1989, "Finite Element Programming", 5th ed., Academic Press, Inc., San Diego.
- Irons, B. dan Ahmad, S., 1984, "Techniques of Finite Elements", Ellis Horwood Limited, Chichester, England.
- Owen, D.R.J. dan Hinton, E., 1980, "Finite Element in Plasticity : Theory and Practice", Pineridge Press, Swansea, U.K.