

PENGEMBANGAN PROGRAM BERBASIS *OPEN SOURCE* REALIN UNTUK ANALISIS STRUKTUR (046S)

Yoyong Arfiadi¹

¹*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
Email: yoyong@mail.uajy.ac.id*

ABSTRAK

Dengan perkembangan yang ada dalam dunia komputer saat ini menyebabkan analisis struktur dengan metode kekakuan menjadi populer dan merupakan pilihan utama dalam melakukan analisis. Saat ini banyak program komputer komersial seperti ETABS, SAP, STAAD, MIDAS dan lain-lain, yang menggunakan metode kekakuan sebagai dasar analisis. Dengan tersedianya program komputer komersial, memudahkan seorang untuk melakukan analisis struktur dengan ribuan derajat kebebasan dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini kadang-kadang menyebabkan pengguna menjadi kurang memahami proses dalam metode kekakuan, karena seluruh hitungan dilakukan oleh program. Dalam hal ini program komersial tersebut berlaku sebagai *black box* yang menerima masukan, memproses dan menghasilkan keluaran. Agar langkah-langkah dalam metode kekakuan dapat ditentukan sendiri oleh pengguna, dalam tulisan ini dikembangkan program komputer REALIN, yang berbasis *open source*. Program REALIN dapat dianggap sebagai jembatan antara hitungan manual dan hitungan dengan menggunakan program komersial. Subprogram-subprogram yang dikembangkan ditulis dengan program *open source* FreeMat. Dengan dipilihnya FreeMat, menyebabkan program ini menjadi sangat cocok jika digunakan sebagai alat pembelajaran metode kekakuan di perguruan tinggi, karena tidak diperlukan biaya untuk membeli program. Dengan subprogram yang dikembangkan, pengguna harus memahami dan menentukan langkah-langkah analisis struktur, tetapi operasi matriks dilakukan oleh program. Program yang dikembangkan dapat menganalisis struktur rangka bidang (*plane truss*) dan portal bidang (*plane frame*). Dalam analisis portal bidang, program REALIN dilengkapi dengan kemampuan untuk memperhitungkan deformasi geser (balok Timoshenko) dan daerah kaku ujung batang. Dengan dikembangkannya program REALIN akan membantu pengguna untuk memahami analisis struktur dengan metode kekakuan. Selain itu, dalam batas-batas tertentu, program ini mempunyai kemampuan yang hampir sama dengan program komersial yang ada.

Kata kunci: program komputer, metode kekakuan, *open source*, FreeMat, deformasi geser, balok Timoshenko

1. PENDAHULUAN

Penggunaan komputer dewasa ini telah menjadi bagian utama dalam kehidupan modern. Dalam bidang mekanika struktur, sudah menjadi tidak masalah lagi untuk melakukan analisis struktur dengan ribuan derajat kebebasan. Hal ini terjadi karena kemajuan yang sangat pesat, baik dalam bidang perangkat lunak maupun perangkat keras. Beberapa program analisis struktur yang banyak digunakan saat ini di antaranya adalah ETABS Nonlinear, SAP 2000, dan STAAD III. Program-program tersebut sangat mudah digunakan dengan menu yang interaktif. Untuk menggunakan program-program tersebut pengguna tinggal mengikuti petunjuk dari buku manual yang disediakan oleh setiap program tersebut. Setelah semua data isian disiapkan pengguna hanya tinggal meng'klik' tombol 'analisis' untuk mendapatkan hasilnya. Tampak bahwa program tersebut bertindak sebagai *black box* dan tentunya prinsip GIGO (*garbage in garbage out*) berlaku di sini. Dari pengalaman, tampak bahwa walaupun pengguna telah memperoleh keluaran dari program yang canggih tersebut, sejumlah pengguna tidak mengetahui 'harus diapakan dengan *output* tersebut'. Hal ini terjadi karena pengguna tersebut kurang memahami langkah-langkah yang dilakukan oleh program yang mereka gunakan.

Hal yang telah diungkapkan di atas merupakan suatu permasalahan dalam pembelajaran analisis struktur dengan metode matriks kekakuan di perguruan tinggi. Di satu sisi, dengan pesatnya arus perkembangan dalam bidang teknologi informasi, penggunaan komputer harus menjadi kebiasaan dalam segala aspek kehidupan; termasuk untuk melakukan analisis struktur. Namun penggunaan komputer yang tidak pada tempatnya akan merupakan suatu bencana. Masalah ini lebih dipertegas lagi karena metode kekakuan saat ini telah diterima sebagai metode standar

untuk menganalisis struktur (Arfiadi, 2011, Balfour, 1986, Kassimali, 2012). Karena dalam proses hitungan dengan metode matriks kekakuan melibatkan operasi matriks yang cukup banyak, maka tidaklah bijaksana apabila kita mengharuskan mahasiswa melakukan perkalian atau penambahan elemen matriks yang berulang-ulang. Selain hal ini akan membosankan, sehingga metode matriks kekakuan menjadi topik yang tidak menarik, hal ini juga akan menghilangkan esensi dari pemahaman langkah-langkah yang harus dikerjakan.

Beberapa peneliti telah mengembangkan program analisis struktur untuk tujuan pembelajaran di lingkungan perguruan tinggi. Program ini memang tidak secanggih program komersial yang ada, namun dengan program ini pengguna terlibat langsung dengan langkah yang harus dilakukan. Wilson (1979, 1986) mengembangkan program CAL yang banyak digunakan di banyak perguruan tinggi terkemuka. Serupa dengan Wilson, Shim (1980), dan Kanok-Nukulchai (1993) telah melakukan pengembangan program bantu AIT (*Analysis Interpretive Treatise*) untuk analisis struktur. Namun demikian masih terdapat kelemahan pada program-program tersebut, terutama karena kurang nyaman dipakai dan keharusan menggunakan format tertentu pada masukan datanya.

Menyadari kekurangan yang ada pada program-program terdahulu, Arfiadi (1997) telah mengembangkan program bantu analisis struktur dalam Matlab, yang mudah digunakan tetapi tetap memperhatikan tujuan agar pengguna memahami langkah-langkah dalam metode matriks kekakuan. Dengan menggunakan subprogram yang telah dikembangkan, pengguna dapat dengan mudah melakukan analisis struktur dengan metode matriks kekakuan. Namun, langkah-langkah yang dilakukan harus ditentukan oleh pengguna. Dengan demikian program ini sangat cocok untuk digunakan dalam pembelajaran di kelas, karena dapat menghindari operasi matriks dalam ukuran besar, serta masih dapat menggambarkan proses analisis struktur secara keseluruhan.

Mengingat Matlab (Mathworks, 1996) merupakan program komersial dan berharga cukup mahal, dirasa ada kendala dalam penggunaannya di kalangan perguruan tinggi, terutama bagi kalangan mahasiswa. Saat ini terdapat beberapa *open source* yang mempunyai kemampuan yang sama dengan Matlab di antaranya adalah FreeMat (www.freemat.org), Octave (www.octave.org) dan Scilab (www.scilab.org). Dalam tulisan ini program FreeMat (Basu, 2011) digunakan karena lebih *user friendly* dan hampir menyerupai Matlab. Dengan digunakannya program ini, maka kalangan perguruan tinggi tidak perlu lagi mengeluarkan biaya yang banyak untuk pembelajaran metode kekakuan di lingkungan kampus mereka.

Dalam tulisan ini dibahas program REALIN (REAction of LINEar Struktur) untuk analisis struktur rangka bidang dan struktur portal bidang (Arfiadi, 2013). Pada struktur portal bidang dikembangkan pula hal-hal khusus seperti batang dengan ujung sendi, pengaruh deformasi geser dan pengaruh daerah kaku pada ujung batang. Hal khusus ini merupakan pengembangan dari program yang telah dikembangkan sebelumnya dalam Matlab (Arfiadi, 1997). Dengan dikembangkannya program bantu dalam tulisan ini maka terdapat beberapa keuntungan sebagai berikut:

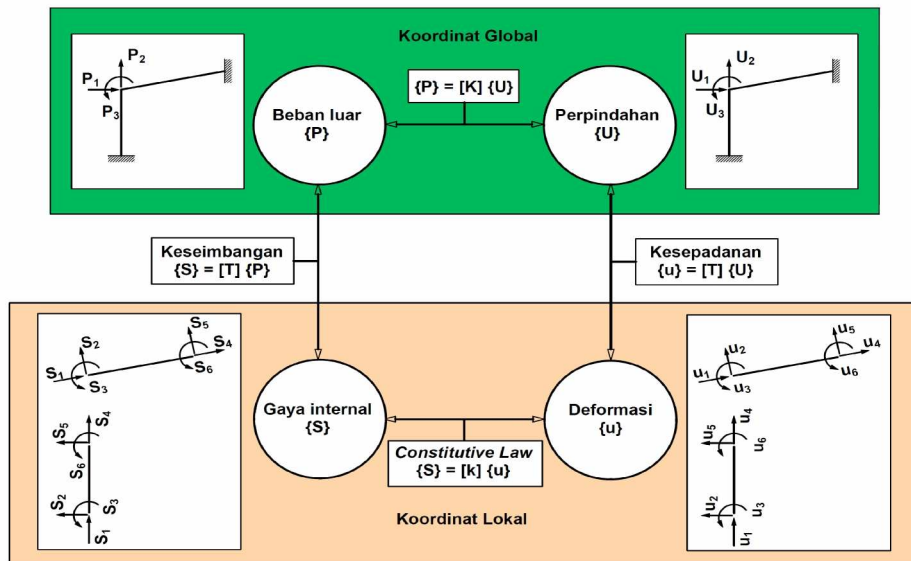
- a) pembelajaran metode matriks kekakuan menjadi lebih menarik,
- b) persoalan yang dibahas tidak terlalu dibatasi dengan jumlah derajat kebebasan seperti pada hitungan secara manual (dengan kalkulator),
- c) tersedia program analisis struktur dengan metode kekakuan tanpa mengeluarkan biaya, dan
- d) mahasiswa dapat memahami langkah dalam analisis struktur dengan metode kekakuan dibandingkan jika menggunakan program *black box* seperti program SAP dan ETABS.

2. PENGEMBANGAN PROGRAM

Program REALIN dikembangkan sesuai dengan bagan dalam Gambar 1. Dasar teori dan langkah analisis dapat dilihat pada buku-buku mengenai analisis struktur (Arfiadi, 2011, Kassimali, 2012). Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

- (a) bentuk matriks kekakuan batang dalam koordinat lokal dan matriks transformasi,
- (b) bentuk matriks kekakuan batang dalam koordinat global,
- (c) rakit matriks kekakuan batang dalam koordinat global menjadi matriks kekakuan struktur sesuai dengan vektor tujuan,
- (d) bentuk vektor beban,
- (e) hitung perpindahan global,
- (f) hitung deformasi dan gaya-gaya batang.

Subprogram yang dikembangkan dalam REALIN dapat digunakan untuk analisis struktur rangka bidang dan portal bidang. Subprogram yang telah dikembangkan secara lengkap ada dalam Arfiadi (2013). *Sample* program untuk merakit matriks kekakuan global suatu portal bidang menjadi matriks kekakuan struktur dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Variabel dalam analisis struktur metode kekakuan

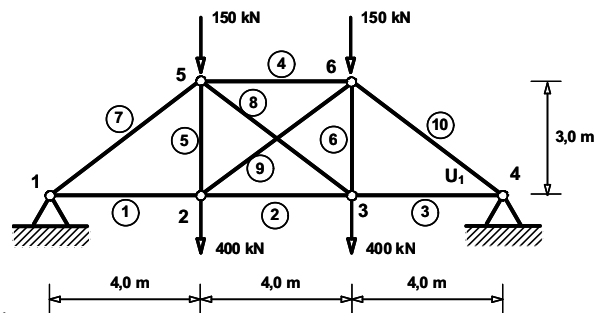
```
function ka=assf(kgf,id,tdf)
% KA = ASSF(KGF,ID,TDF)
% assembly stiffness matrix KGF according to ID vector and
% Total degree of freedom of the structure,
% with the possibility to have a constraint (the same id number)
% KA = the contribution of KGF to the structure stiffness matrix
% KGF = stiffness matrix to be assembled
% ID = ID vector
% TDF = total degree of freedom of the structure

ka=zeros(tdf,tdf);
idt=id';
for i=1:6
    ii=id(1,i);
    for j = 1:6
        ij=idt(j,1);
        if (ii~=0 & ij ~=0)
            ka(ii,ij)=ka(ii,ij)+kgf(i,j);
        end
    end
end
end
```

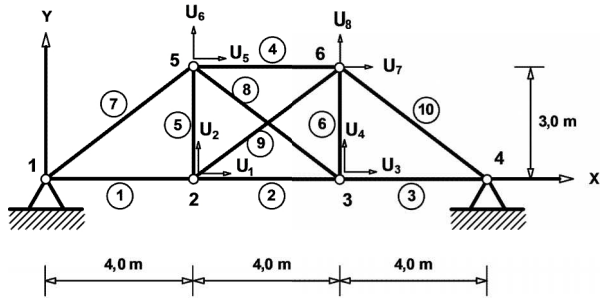
Gambar 2. Sample program perakitan matriks kekakuan untuk portal bidang

3. APLIKASI PADA STRUKTUR RANGKA BIDANG

Sebagai contoh diambil struktur seperti terlihat pada Gambar 3, dengan modulus elastik $E = 200000 \text{ MPa}$, luas tampang $A = 7392 \text{ mm}^2$ untuk semua batang. Derajat kebebasan struktur = 8 seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Hubungan antar batang ditetapkan seperti pada Gambar 4. Input data program REALIN dapat dilihat pada Gambar 5. Dari Gambar 5, tampak bahwa langkah analisis harus ditetapkan oleh pengguna. Subprogram yang dikembangkan selanjutnya melakukan operasi dan hitungan sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 3. Contoh struktur rangka bidang



Batang	Ujung-i	Ujung-j
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	5	6
5	2	5
6	3	6
7	1	5
8	5	3
9	2	6
10	6	4

Gambar 4. Derajat kebebasan dan hubungan antar batang contoh struktur rangka bidang

```

n1=coor(0,0);          %-- data koordinat
n2=coor(4000,0);
n3=coor(8000,0);
n4=coor(12000,0);
n5=coor(4000,3000);
n6=coor(8000,3000);

E=200;                %-- kN/mm^2
A=7392;               %-- m^2

[L1,T1]=memt(n1,n2) % menghitung L dan T
k1=klt(E,A,L1)       %-- k lokal
K1=kg(k1,T1)         %-- K global
id1=[0 0 1 2];      %-- vektor tujuan

[L2,T2]=memt(n2,n3)
k2=klt(E,A,L2)
K2=kg(k2,T2)
id2=[1 2 3 4];

[L3,T3]=memt(n3,n4)
k3=klt(E,A,L3)
K3=kg(k3,T3)
id3=[3 4 0 0];

[L4,T4]=memt(n5,n6)
k4=klt(E,A,L4)
K4=kg(k4,T4)
id4=[5 6 7 8];

[L5,T5]=memt(n2,n5)
k5=klt(E,A,L5)
K5=kg(k5,T5)
id5=[1 2 5 6];

[L6,T6]=memt(n3,n6)
k6=klt(E,A,L6)
K6=kg(k6,T6)
id6=[3 4 7 8];

[L7,T7]=memt(n1,n5)
k7=klt(E,A,L7)
K7=kg(k7,T7)
id7=[0 0 5 6];

[L8,T8]=memt(n5,n3)
k8=klt(E,A,L8)
K8=kg(k8,T8)
id8=[5 6 3 4];

[L9,T9]=memt(n2,n6)
k9=klt(E,A,L9)
K9=kg(k9,T9)
id9=[1 2 7 8];

[L10,T10]=memt(n6,n4)
k10=klt(E,A,L10)
K10=kg(k10,T10)
id10=[7 8 0 0];

tdf=8                %-- jmlh derajat kebebasan

K=asst(K1,id1,tdf); %-kontribusi batang 1
K=K+asst(K2,id2,tdf);
K=K+asst(K3,id3,tdf);
K=K+asst(K4,id4,tdf);
K=K+asst(K5,id5,tdf);
K=K+asst(K6,id6,tdf);
K=K+asst(K7,id7,tdf);
K=K+asst(K8,id8,tdf);
K=K+asst(K9,id9,tdf);
K=K+asst(K10,id10,tdf) %--K struktur

P=[0;-400;0;-400;0;-150;0;-150] %beban luar

U=solv(K,P)          %-- perpindahan global

u1=disst(U,id1,T1) %-- deformasi batang
S1=stret(k1,u1)     %-- gaya batang

u2=disst(U,id2,T2)
S2=stret(k2,u2)

u3=disst(U,id3,T3)
S3=stret(k3,u3)

u4=disst(U,id4,T4)
S4=stret(k4,u4)

u5=disst(U,id5,T5)
S5=stret(k5,u5)

u6=disst(U,id6,T6)
S6=stret(k6,u6)

u7=disst(U,id7,T7)
S7=stret(k7,u7)

u8=disst(U,id8,T8)
S8=stret(k8,u8)

u9=disst(U,id9,T9)
S9=stret(k9,u9)

u10=disst(U,id10,T10)
S10=stret(k10,u10)
    
```

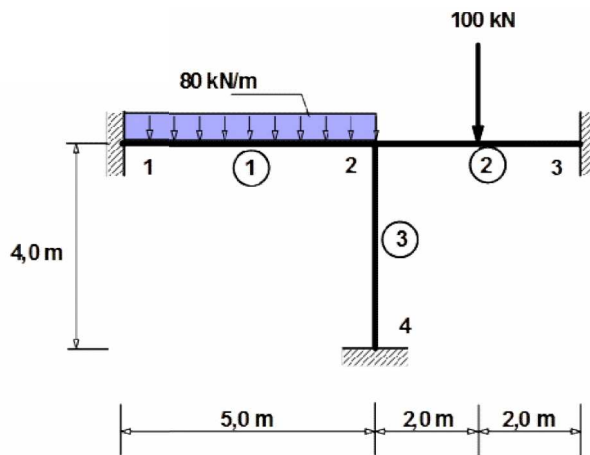
Gambar 5. Input data pada program REALIN untuk contoh struktur rangka bidang

4. APLIKASI PADA STRUKTUR PORTAL BIDANG

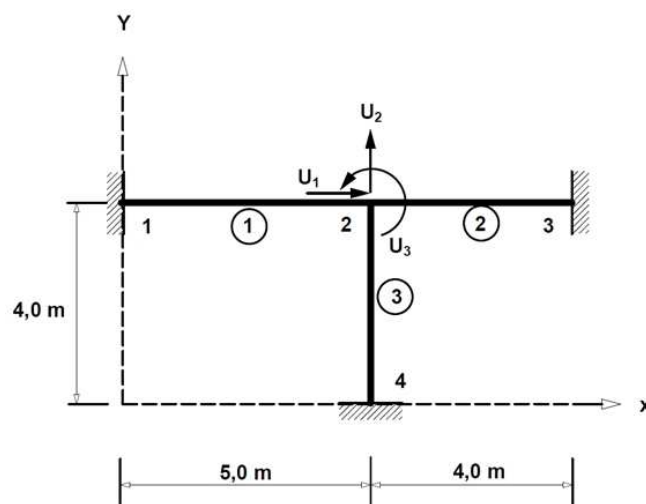
Contoh 1 portal bidang

Sebagai contoh pertama untuk struktur portal bidang ditinjau struktur seperti pada Gambar 6. Ukuran batang: $b = 0,20 \text{ m}$, $h = 0,45 \text{ m}$. Modulus elastik bahan: $E = 2,52 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$. Derajat kebebasan struktur = 3, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Hubungan antar batang ditentukan seperti pada Tabel 1.

Jika dikerjakan dengan REALIN, input data dapat dilihat pada Gambar 8. Dari Gambar 8, tampak bahwa langkah analisis harus ditetapkan oleh pengguna. Subprogram yang dikembangkan selanjutnya melakukan operasi dan hitungan sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 6. Contoh 1 portal bidang



Gambar 7. Derajat kebebasan contoh 1 portal bidang

Tabel 1. Hubungan antar batang contoh 1 portal bidang

Batang	Titik-i	Titik-j
1	1	2
2	2	3
3	4	2

```

% contoh 1 portal bidang
n1 =coor(0,4);
n2=coor(5,4);
n3=coor(9,4);
n4=coor(5,0);

E=2.52e7;          %Data material

I1=1/12*0.20*0.45^3
A1= 0.20*0.45
[L1,T1]=memf(n1,n2) %menghitung L dan T
k1=k1f(E,A1,I1,L1) %k koordinat lokal
K1=kg(k1,T1)       %K koordinat global
ID1=[0 0 0 1 2 3] %vektor tujuan

I2=I1
A2=A1
[L2,T2]=memf(n2,n3)
k2=k1f(E,A2,I2,L2)
K2=kg(k2,T2)
ID2=[1 2 3 0 0 0]

I3=I1
A3=A1
[L3,T3]=memf(n4,n2)
k3=k1f(E,A3,I3,L3)
K3=kg(k3,T3)

ID3=[0 0 0 1 2 3]

dof=3
K=assf(K1,ID1,dof); %Perakitan K:
K=K+assf(K2,ID2,dof); %+kontribusi batang 2
K=K+assf(K3,ID3,dof) %+kontribusi batang 3

So1=feq(-80,0,5,5) % Jepit feq(q,a1,a2,L)
So2=fep(-100,2,4) % fep(F,a1,L)
So3=zeros(6,1) % Gaya jepit=0 So=[0]

Pe1=peqj(So1,T1,ID1,dof) %beban titik
ekivalen peqj dari batang 1
Pe2=peqj(So2,T2,ID2,dof)
P=Pe1+Pe2

U=solv(K,P) %Perpindahan

u1=dissf(U,ID1,T1) %Deformasi batang 1
S1=stref(k1,u1,So1) %Gaya batang 1

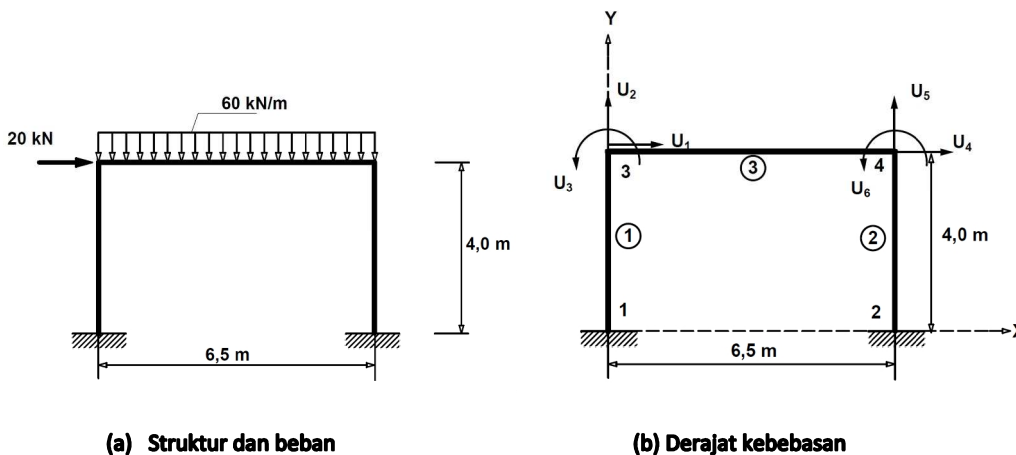
u2=dissf(U,ID2,T2)
S2=stref(k2,u2,So2)

u3=dissf(U,ID3,T3)
S3=stref(k3,u3,So3)
    
```

Gambar 8. Input data program REALIN contoh 1 portal bidang

Contoh 2 portal bidang

Suatu portal seperti terlihat pada Gambar 9(a). Ukuran balok: 0,25 × 0,50 (m), kolom: 0,40 × 0,40 (m). Modulus elastik $E = 2,35 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, angka Poisson $\nu = 0,20$, dan $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$. Derajat kebebasan = 6 dan ditunjukkan pada Gambar 9(b). Hubungan antar batang seperti pada Tabel 2. Dalam contoh ini batang-batang ditinjau sebagai balok Timoshenko, yaitu deformasi geser ikut diperhitungkan dengan faktor bentuk untuk geser $f_s = 1,2$ untukampang empat persegi panjang.



Gambar 9. Contoh 2 portal bidang

Tabel 2. Hubungan antar batang contoh 2 portal bidang

Batang	Ujung-i	Ujung-j
1	1	3
2	2	4
3	3	4

Program REALIN untuk menganalisis struktur ini dapat dilihat pada Gambar 10. Dari Gambar 10, tampak bahwa langkah analisis harus ditetapkan oleh pengguna. Subprogram yang dikembangkan selanjutnya melakukan operasi dan hitungan sesuai dengan yang diinginkan. Hasil analisis disajikan pada Tabel 3.

```

n1=coor(0,0);
n2=coor(6.5,0);
n3=coor(0,4);
n4=coor(6.5,4);

E=2.35e7;          % modulus elastik
v=0.2;            % angka Poisson

A1=0.4*0.4;
I1=1/12*0.4*0.4^3;
f1=6/5;
[L1,T1]=memf(n1,n3)
k1=k1fs(E,A1,I1,L1,f1,v) % k lokal
K1=kg(k1,T1)
ID1=[0 0 0 1 2 3]

A2=A1;
I2=I1;
f2=f1;
[L2,T2]=memf(n2,n4)
k2=k1fs(E,A2,I2,L2,f2,v)
K2=kg(k2,T2)
ID2=[0 0 0 4 5 6]

A3=0.25*0.5;
I3=1/12*0.2*0.45^3;
f3=f1;
[L3,T3]=memf(n3,n4)

k3=k1fs(E,A3,I3,L3,f3,v)
K3=kg(k3,T3)
ID3=[1 2 3 4 5 6]

dof=6

K=assf(K1,ID1,dof); % penggabungan
K=K+assf(K2,ID2,dof);
K=K+assf(K3,ID3,dof) % K struktur

So1=zeros(6,1) % gaya jepit
So2=zeros(6,1)
So3=feq(-60,0,6.5,6.5)

Po3=peqj(So3,T3,ID3,dof) %beban ttk ekuivalen
Pj=[20;0;0;0;0;0] %beban pd titik simpul
P=Po3+Pj

U=solv(K,P)

u1=dissf(U, ID1, T1)
S1=stref(k1,u1,So1)

u2=dissf(U, ID2, T2)
S2=stref(k2,u2,So2)

u3=dissf(U, ID3, T3)
S3=stref(k3,u3,So3)

```

Gambar 10. Input data program REALIN contoh 2 portal bidang

Tabel 3. Hasil hitungan contoh 2 portal bidang

Batang	Titik simpul	Gaya normal (kN)	Gaya geser (kN)	Momen (kNm)
1	1	190.5583	-53.9790	-57.9995
	3	-190.5583	53.9790	-157.9164
2	2	199.4417	73.9790	109.1285
	4	-199.4417	-73.9790	186.7874
3	3	73.9790	190.5583	157.9164
	4	-73.9790	199.4417	-186.7874

5. KESIMPULAN

Dalam tulisan ini telah dibahas pengembangan program REALIN dengan menggunakan FreeMat. FreeMat merupakan program *open source* yang menyerupai Matlab, sehingga cocok digunakan untuk pengembangan program. Berbeda dengan program analisis struktur komersial yang ada, langkah hitungan dalam REALIN harus ditetapkan oleh pengguna. Dengan demikian, untuk menggunakan program REALIN, pengguna harus memahami langkah-langkah dalam metode kekakuan. Program REALIN cocok digunakan untuk pembelajaran metode kekakuan di perguruan tinggi. Selain itu dengan digunakannya FreeMat sebagai basis pengembangan, maka tidak diperlukan biaya untuk pembelian perangkat lunak.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfiadi, Y. (1997). "Pengembangan program bantu simbolik untuk analisis struktur dengan menggunakan Matlab", *Laporan Penelitian*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Arfiadi, Y. (2011). *Analisis struktur dengan metode matriks kekakuan*. Cahaya Atma Pustaka, Yogyakarta.
- Arfiadi, Y. (2013). "Pengembangan program bantu REALIN untuk pembelajaran metode matriks kekakuan dengan FreeMat". *Laporan Penelitian*, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Balfour, J.A.D. (1986). *Computer Analysis of Structural Frameworks*. Collin, London.
- Basu, S. (2011). *FreeMat v4.1 documentation*. <http://freemat.sf.net/FreeMat-4.1.pdf> , diakses 3 April 2013
- Freemat (2013). www.freemat.org, diakses 3 April 2013
- Kanok-Nukulchai, W. (1993). "AIT1993". Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Kassimali, A. (2012). *Matrix analysis of structures*. Cengage Learning, Stamford, USA.
- Mathworks Inc.(1996). *Matlab the Language of Technical Programming*. Natick, MA.
- Octave (2013). www.octave.org, diakses 3 April 2013
- Scilab (2013). www.scilab.org, diakses 3 April 2013
- Shim, J.S. (1980). "Development of a symbolic manipulation program." *M.Eng. thesis*. Asian Institute of Technology. Bangkok.
- Wilson, E.L. (1979). "CAL Computer Analysis Language for teaching structural analysis". *Computers and Structures*, Vol.10, 127-132.
- Wilson, E.L. (1986). "CAL86: Computer Assisted Learning of Structural Analysis and the CAL/SAP Development System." *Report no. UCB/SESM-86/05*. Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, California.