

## PENGEMBANGAN PROGRAM ANALISIS GEDUNG TIGA DIMENSI DENGAN PROGRAM SUMBER TERBUKA FREEMAT

Yoyong Arfiadi<sup>1</sup>

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

### ABSTRAK

Saat ini analisis struktur tiga dimensi merupakan suatu hal yang harus dilakukan. Banyak perangkat lunak yang dapat melakukan analisis gedung tiga dimensi, seperti ETABS, SAP, dan STAAD. Namun demikian program-program tersebut merupakan program komersial dengan harga yang cukup mahal. Di samping itu program-program tersebut sudah demikian canggih sehingga sangat memudahkan pengguna. Sebagai akibatnya pengguna hanya bertindak sebagai operator, yang memasukkan data kemudian mendapatkan hasilnya. Langkah-langkah hitungan dikerjakan oleh program. Untuk keperluan pengajaran analisis gedung tiga dimensi di perguruan tinggi, hal ini dianggap kurang menguntungkan karena mahasiswa tidak tahu proses hitungan yang dikerjakan. Mengingat hal tersebut, tulisan ini membahas pengembangan program analisis struktur gedung dimensi REALIN3D dengan program sumber terbuka (*open source*) FreeMat. Selain dapat digunakan untuk keperluan analisis struktur, program ini dapat digunakan juga sebagai alat bantu untuk pengajaran analisis struktur gedung tiga dimensi di perguruan tinggi. Seperti kita ketahui, untuk analisis gedung tiga dimensi melibatkan jumlah derajat kebebasan yang tidak sedikit, sehingga menyulitkan untuk dikerjakan secara manual dengan kalkulator. Program REALIN3D yang dikembangkan memudahkan tenaga pendidik untuk melakukan pengajaran metode kekakuan untuk gedung tiga dimensi, karena operasi matriks dikerjakan oleh program. Namun demikian, langkah hitungan ditentukan oleh pengguna. Dalam analisis gedung tiga dimensi model diafragma kaku digunakan. Untuk itu matriks kekakuan dibentuk dulu terhadap sistem koordinat rangka global. Selanjutnya karena lantai-lantai dianggap kaku, maka sistem koordinat global gedung ditentukan dan diletakkan pada pusat massa gedung. Dengan teknik kondensasi statik, matriks kekakuan dapat dibentuk. Langkah-langkah lain mengikuti metode standar yang ada dalam literatur. Pada bagian akhir contoh hitungan disajikan untuk menunjukkan kemampuan program yang dikembangkan. Verifikasi dengan program ETABS menunjukkan kesesuaian hasil yang dicapai.

Kata kunci: program sumber terbuka, FreeMat, REALIN3D, analisis gedung tiga dimensi, diafragma kaku

### 1. PENDAHULUAN

Bangunan gedung pada prinsipnya merupakan struktur tiga dimensi, sehingga harus dianalisis secara tiga dimensi pula. Saat ini telah banyak program komputer yang dapat melakukan analisis tiga dimensi, di antaranya adalah ETABS, SAP, dan MIDAS. Program-program tersebut telah dikembangkan untuk memudahkan pengguna melakukan analisis struktur. Karena program tersebut dikembangkan untuk memudahkan pengguna, maka langkah hitungan mulai dari input, proses, dan hasil secara otomatis disiapkan oleh program. Dalam hal ini, untuk mendapatkan hasil analisis, pengguna hanya menyiapkan input, sedangkan proses hitungan dikerjakan oleh program. Metode yang digunakan untuk analisis struktur umumnya didasarkan pada metode kekakuan.

Di perguruan tinggi, pembelajaran metode kekakuan telah menjadi bagian yang harus diberikan dan harus dipahami oleh mahasiswa. Metode kekakuan didasarkan pada jumlah derajat kebebasan yang dimiliki oleh struktur. Pada gedung tiga dimensi, setiap titik simpul mempunyai 6 derajat kebebasan, sehingga setiap batang mempunyai 12 derajat kebebasan. Dengan demikian matriks kekakuan batang berukuran  $12 \times 12$ . Mengingat ukuran derajat kebebasan yang cukup banyak, maka agak sulit untuk membahas metode kekakuan gedung 3 dimensi dalam proses pembelajaran. Kesulitannya adalah jika digunakan program komersial yang ada, maka mahasiswa kurang memahami proses yang ada, sedangkan jika digunakan kalkulator (hitungan manual), maka penyelesaian menjadi tidak mudah. Untuk itu diperlukan suatu program komputer untuk menjembatani hitungan yang menggunakan program komersial dan hitungan secara manual.

Beberapa peneliti telah mengembangkan program analisis struktur untuk tujuan pengajaran di lingkungan perguruan tinggi. Beberapa program yang telah dikembangkan adalah CAL (Wilson 1979, 1986), AIT (Shim, 1980, Kanok-

Nukulchai, 1993). Umumnya program-program tersebut ditulis dengan bahasa FORTRAN dengan penulisan format yang ketat dalam penulisan input datanya.

Untuk mengatasi penulisan data yang ketat yang ada pada program FORTRAN, Arfiadi (1997) telah mengembangkan program yang ditulis dalam Matlab. Program tersebut kemudian ditulis juga dalam FreeMat (Arfiadi, 2013) dengan penambahan tinjauan deformasi geser pada struktur portal bidang. Walaupun demikian, program yang dikembangkan dalam Arfiadi (1997, 2013), struktur yang ditinjau terbatas hanya struktur 2 dimensi (rangka bidang dan portal bidang).

Untuk proses pembelajaran analisis struktur gedung tiga dimensi di kelas, pengajar menghadapi kesulitan, mengingat ukuran derajat kebebasan yang ada pada struktur gedung tiga dimensi umumnya cukup besar. Hal ini tidak mungkin dikerjakan secara manual (dengan kalkulator). Sedangkan jika digunakan program komersial yang ada, maka proses hitungan tidak dipahami oleh mahasiswa. Untuk mengatasi hal ini, maka perlu dibuat suatu program analisis gedung tiga dimensi yang dapat digunakan untuk proses pembelajaran metode kekakuan. Program ditulis dalam suatu program FreeMat (Basu, 2011). FreeMat dipilih karena merupakan program sumber terbuka (*open source*), sehingga tidak diperlukan biaya untuk menggunakannya. Walaupun demikian, kemampuan FreeMat hampir menyamai Matlab.

Analisis gedung tiga dimensi telah banyak dibahas oleh para peneliti. Weaver dan Nelson (1966), Weaver dkk.(1968) dan Weaver dan Johnston (1987) mengajukan prosedur untuk menganalisis gedung tiga dimensi. Dalam tinjauan Weaver dan Nelson (1966) gedung tiga dimensi khusus dengan balok-balok yang saling tegak lurus. Lantai gedung dianggap sebagai elemen yang kaku dalam arah horisontal. Derajat kebebasan pada balok dianggap sebagai elemen grid, sedangkan derajat kebebasan pada kolom dianggap sebagai balok-kolom. Wilson (1975) mengembangkan cara untuk melakukan analisis gedung tiga dimensi. Lantai dianggap sebagai struktur yang kaku dalam arah horizontal. Dalam proses analisis gedung dianggap regular, yang terdiri dari balok dan kolom. Dengan model ini maka pembentukan matriks kekakuan struktur dari gabungan balok dan kolom dengan mudah dapat diperoleh.

Kan dan Chopra (1977) juga telah melakukan studi analisis gedung tiga dimensi dengan memperhitungkan torsi. Model struktur dianggap sebagai bangunan geser, dengan kekakuan lateral dan kekakuan torsi diperlukan untuk formulasi persamaan. Beberapa peneliti lain yang mengembangkan metode dan program adalah Humar dan Khandoker (1980) dan Wilson dkk. (1980) yang menganggap gedung umumnya berbentuk empat persegi panjang secara geometri. Dalam pemodelan umumnya diambil sama dengan formulasi kekakuan portal bidang hanya saja pengaruh gaya aksial pada balok tidak diperhitungkan. Karena model dibangun dari portal-portal bidang kemudian digabung menjadi gedung tiga dimensi maka kompatibilitas gaya aksial pada kolom yang menghubungkan portal-portal tidak dijamin. Arfiadi (2000) telah mengembangkan program analisis gedung tiga dimensi yang ditulis dalam Matlab. Namun dalam penurunan matriks kekakuan pengaruh deformasi geser tidak diperhitungkan dalam Arfiadi (2000). Karena secara umum pengaruh deformasi geser terjadi, maka dalam tulisan ini pengaruh deformasi geser perlu diperhitungkan dalam formulasi matriks kekakuan (Arfiadi, 2015).

Saat ini juga telah dikembangkan program-program komersial seperti ETABS, SAP dan MIDAS yang dapat memodelkan struktur gedung tiga dimensi. Namun demikian, proses hitungan tidak dikendalikan oleh pengguna karena proses hitungan dilakukan secara internal dalam program. Dalam hal ini yang dikeluarkan oleh program komersial sebagai keluaran adalah hasil hitungan. Mengingat hal itu perlu dikembangkan program yang ditulis dalam program berbasis program sumber terbuka untuk analisis gedung tiga dimensi (Arfiadi, 2015).

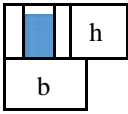



## **2. MODEL DIAFRAGMA KAKU**

Dalam tulisan ini, gedung tiga dimensi dimodelkan seperti pada Wilson et al. (1975), tetapi formulasi matriks kekakuan dilakukan dengan menganggap balok dan kolom pada struktur portal ruang dengan 6 derajat kebebasan pada setiap titik simpul. Kolom-kolom terhubung dengan suatu lantai yang dianggap kaku dalam arah horizontal, sehingga dalam suatu lantai terdapat 3 derajat kebebasan, yaitu dua translasi dalam arah yang saling tegak lurus dan rotasi terhadap suatu sumbu vertikal (lihat Gambar 1).

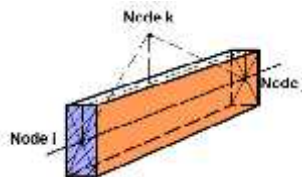
Untuk memudahkan dua sistem koordinat global ditetapkan, yaitu sistem koordinat global rangka (SKGR) dan sistem koordinat global gedung (SKGG) seperti ditunjukkan ada Gambar 1. Pada Gambar 1  $X_F$ ,  $Y_F$ , dan  $Z_F$  adalah SKGR. Sedangkan  $X_B$ ,  $Y_B$ , dan  $Z_B$  adalah SKGG.



Tabel 1. Nilai  $f_s$  dan  $J$  untuk berbagai bentuk tampang

Tampang	$f_s$	$J$
 Empat persegi panjang	$f_s = 1.2$	$J = k hb^3$ $k = \frac{1}{3} \left( 1 = 0,63 \frac{b}{h} \left( 1 - \frac{b^4}{12h^4} \right) \right)$ (Ghali dan Neville, 1978) $J = cd^3 \left( \frac{16}{3} - 3,36 \frac{d}{c} \left( 1 - \frac{d^4}{12c^4} \right) \right)$ (STRU DL) $c = 0,5 b, d = 0,5 h$
 Lingkaran masif	$f_s = 1.11$	$J = \frac{\pi r^4}{2}$
 WF lentur terhadap sumbu utama	$f_s = A/A_w$ $A =$ luas total $A_w =$ luas badan	$J = \frac{b_1 t_{f1}^3 + b_2 t_{f2}^3 + h t_3^3}{3}$
 WF lentur terhadap sumbu minor	$f_s = 1,2 A/A_f$ $A =$ luas total $A_f =$ luas sayap	$J = \frac{b_1 t_{f1}^3 + b_2 t_{f2}^3 + h t_3^3}{3}$

Untuk memudahkan dalam pembentukan matriks kekakuan gedung, urutan derajat kebebasan dalam koordinat global rangka ditetapkan sedemikian sehingga memudahkan untuk mempertahankan derajat kebebasan terkait dengan perpindahan lantai gedung. Untuk itu perpindahan pada setiap titik ujung batang dibedakan menjadi 2 bagian yaitu (lihat Gambar 3): (a) perpindahan dalam arah  $Z_B$ , rotasi terhadap sumbu  $X_B$  dan rotasi terhadap sumbu  $Y_B$  sesuai dengan koordinat global gedung sebagai perpindahan kelompok-a; (b) perpindahan dalam arah  $X_B$ , perpindahan dalam arah  $Y_B$  dan rotasi terhadap sumbu  $Z_B$  sesuai dengan koordinat global gedung sebagai perpindahan kelompok-b.



Gambar 2. Notasi node i, node j, dan node k

Perpindahan kelompok-a nantinya akan dikondensasi, sedangkan perpindahan kelompok-b akan dipertahankan. Perpindahan kelompok-b ini berkaitan dengan perpindahan lantai-lantai gedung. Untuk itu matriks kekakuan struktur dirakit sedemikian sehingga perpindahan kelompok-a diurutkan terlebih dahulu untuk semua titik, dilanjutkan dengan perpindahan kelompok-b.

### Matriks kekakuan struktur dalam SKGG

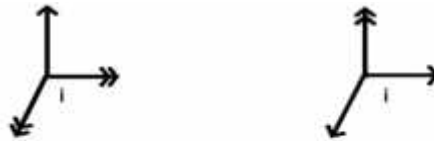
Matriks kekakuan dalam koordinat gedung diperoleh dengan menggunakan matriks transformasi dari perpindahan titik yang terkait dengan perpindahan lantai kaku. Transformasi perpindahan suatu titik-i pada lantai-n menurut Gambar 4(a) dapat dilakukan dengan persamaan:

$$\begin{Bmatrix} U_{FR1,n}^i \\ U_{FR2,n}^i \\ U_{FR3,n}^i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & d_x \\ -\sin \theta & -\cos \theta & d_z \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{x,n} \\ U_{y,n} \\ U_{\theta,n} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Sedangkan menurut Gambar 4(b):

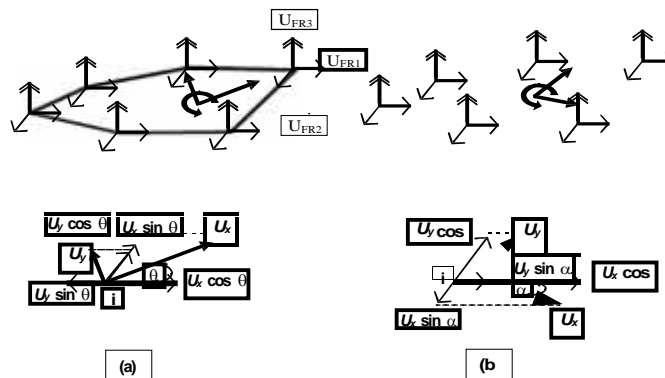
$$\begin{Bmatrix} U_{FR1,n}^i \\ U_{FR2,n}^i \\ U_{FR4,n}^i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & d_x \\ \sin \alpha & -\cos \alpha & d_z \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{x,n} \\ U_{y,n} \\ U_{\theta,n} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

dengan  $U_{FR1,n}^i$  dan  $U_{FR2,n}^i$  adalah perpindahan pada titik-I dalam arah sumbu  $X_F$  dan  $Z_F$ ,  $U_{FR3,n}^i$  adalah rotasi terhadap sumbu  $Y_F$ ;  $U_{x,n}$  dan  $U_{y,n}$  adalah perpindahan lantai dalam arah  $X_B$  dan  $Y_B$ ,  $U_{\theta,n}$  adalah rotasi lantai terhadap sumbu  $Z_B$ ,  $d_x$  adalah jarak dari pusat koordinat gedung terhadap garis kerja  $U_{FR1}$ ,  $d_z$  adalah jarak dari pusat koordinat gedung terhadap garis kerja  $U_{FR2}$ ,  $\theta$  adalah sudut rotasi (kebalikan putaran jarum jam) dari garis kerja  $U_{FR1}$  terhadap sumbu  $X_B$ , dan  $\alpha$  adalah sudut rotasi (kebalikan putaran jarum jam) dari sumbu  $X_B$  terhadap garis kerja  $U_{FR1}$ .



Gambar 3. Perpindahan kelompok a dan b pada system koordinat global rangka

Jarak  $d_x$  dan  $d_z$  dapat bertanda positif atau negatif, tergantung apakah rotasi gedung menyebabkan perpindahan titik simpul dalam arah positif atau negatif. Jika rotasi gedung menyebabkan perpindahan titik simpul positif maka tanda positif yang harus dipilih.



Gambar 4. Transformasi perpindahan kelompok-b dalam SKGR ke perpindahan gedung

Jika sumbu X dalam koordinat global gedung sejajar dengan sumbu X dalam koordinat global rangka maka  $\theta = 0$  dan  $\alpha = 0$ . Dalam hal ini:

$$\begin{Bmatrix} U_{FR1,n}^i \\ U_{FR2,n}^i \\ U_{FR3,n}^i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & d_x \\ 0 & -1 & d_z \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{x,n} \\ U_{y,n} \\ U_{\theta,n} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Atau secara sederhana dapat ditulis

$$U_{FR,n}^i = \mathbf{a}_n^i U_{3D,n} \quad (5)$$

dengan  $\mathbf{a}_n^i$  = matriks transformasi titik-i pada lantai-n,  $U_{FR,n}^i$  = perpindahan kelompok-b untuk titik-i pada lantai-n, dan  $U_{3D,n}$  = perpindahan gedung pada lantai-n.

Dengan mengikutsertakan seluruh titik simpul, perpindahan-perpindahan pada lantai n dapat ditulis sebagai:

$$U_{FR,n} = a_n U_{3D,n} \quad (6)$$

dengan  $U_{FR,n}$  = perpindahan kelompok-b untuk semua titik pada lantai-n,  $a_n$  = matriks transformasi perpindahan titik-titik pada lantai-n, dan  $U_{3D,n}$  = perpindahan gedung pada lantai-n. Dalam persamaan (6),  $U_{FR,n}$ ,  $a_n$  and  $U_{3D,n}$  terdiri dari elemen-elemen sebagai berikut:

$$U_{FR,n} = \begin{Bmatrix} U_{FR,n}^1 \\ U_{FR,n}^2 \\ \vdots \\ U_{FR,n}^{NJn} \end{Bmatrix}_{3NJn \times 1}, \quad a_n = \begin{bmatrix} a_n^1 \\ a_n^2 \\ \vdots \\ a_n^{NJn} \end{bmatrix}_{3NJn \times 3}, \quad U_{3D,n} = \begin{Bmatrix} U_{x,n} \\ U_{y,n} \\ U_{\theta,n} \end{Bmatrix}_{3 \times 1} \quad (7)$$

dengan  $NJn$  = jumlah titik pada lantai-n. Dengan memperhatikan transformasi perpindahan titik-titik pada lantai-n dalam persamaan (6) dan (7), hubungan antara perpindahan kelompok-b terhadap perpindahan gedung dapat ditulis:

$$U_{FR} = a U_{3D} \quad (8)$$

dengan:

$$U_{FR} = \begin{Bmatrix} U_{FR,1} \\ U_{FR,2} \\ \vdots \\ U_{FR,NF} \end{Bmatrix}_{3NTF \times 1}, \quad a = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & a_{NF} \end{bmatrix}_{3NTF \times 3NF}, \quad U_{3D} = \begin{Bmatrix} U_{3D,1} \\ U_{3D,2} \\ \vdots \\ U_{3D,NF} \end{Bmatrix}_{3NF \times 1} \quad \dots \dots \quad (9a-c)$$

dengan  $NTF$  = jumlah titik simpul pada lantai-lantai dan  $NF$  = jumlah lantai.

Dengan memperhatikan transformasi perpindahan pada persamaan (8), keseimbangan statik dapat diperoleh menjadi

$$K_{3D} U_{3D} = P_{3D} \quad (10)$$

dengan

$$K_{3D} = a^T K_{RR}^* a \quad \text{dan} \quad P_{3D} = a^T P_{FR}^* \quad (11-12)$$

dengan  $K_{RR}^*$  = matriks kekakuan yang berkaitan dengan perpindahan kelompok-b, yang diperoleh dari kondensasi statik, dan  $P_{FR}^*$  = vektor beban luar dari hasil teknik kondensasi yang terkait dengan perpindahan  $U_{FR}$ .

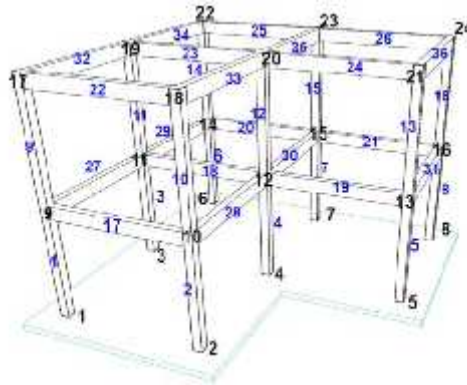
Perlu dicatat bahwa ukuran  $K_{3D}$  dalam persamaan (11) adalah  $3NF \times 3NF$ , dengan  $NF$  = jumlah lantai, dan  $U_{3D}$  adalah derajat kebebasan yang berkaitan dengan perpindahan lantai gedung. Penyelesaian hitungan gaya-gaya batang selanjutnya dapat dilakukan sesuai dengan metode kekakuan standar. Subprogram-subprogram telah dikembangkan (Arfiadi, 2015) untuk melakukan analisis.

#### 4. APLIKASI

Ditinjau struktur gedung tiga dimensi seperti terlihat pada Gambar 5, dengan  $E = 2.35 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>, angka Poisson = 0,2, ukuran balok: 0,25 x 0,45 (m), ukuran kolom: 0,30 x 0,30 (m), beban yang bekerja pada pusat massa arah X: lantai 1 = 75 kN, dan lantai 2 = 100 kN. Tinggi antar lantai = 5 m, dan lebar bentangan = 5 m.

Program REALIN3D (Arfiadi, 2015) yang dikembangkan digunakan untuk melakukan analisis struktur.

Hasil analisis struktur selanjutnya telah diverifikasi dengan program ETABS Nonlinear. Sebagian hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Dari hasil yang diperoleh, tampak bahwa ada kesesuaian yang sangat baik antara program REALIN3D yang dikembangkan dengan program ETABS.



Gambar 5. Aplikasi program REALIN3D.

Tabel 2. Perbandingan hasil analisis untuk balok

Balok	Lokasi	V2 (kN)			T (kNm)			M3 (kNm)			
		REALIN3D	ETABS	Selis ih (%)	REALIN3D	ETABS	Selis ih (%)	REALIN3D	ETABS	Selis ih (%)	
B1	25	0	10.4058	10.4101	-0.041	-0.0279	0.029	-3.793	30.3122	30.325	-0.042
	5		-10.4058	10.4101	-0.041	0.0279	0.029	#REF!	21.7168	-21.726	-0.042
B2	26	0	10.4062	10.4105	-0.041	-0.0426	0.044	-3.182	21.7157	21.725	-0.043
	5		-10.4062	10.4105	-0.041	0.0426	0.044	-3.182	30.3154	-30.328	-0.042
B3	23	0	10.279	10.2783	0.007	-0.056	0.056	0.000	29.7709	29.769	0.006
	5		-10.279	10.2783	0.007	0.056	0.056	0.000	21.6369	21.6241	0.059
B4	24	0	10.3134	10.3127	0.007	-0.0084	0.009	-6.667	21.680	21.678	0.011
	5		-10.3134	10.3127	0.007	0.0084	0.009	-6.667	29.8869	-29.885	0.006
B5	22	0	12.5138	12.5066	0.058	-0.1065	0.107	-0.467	31.5418	31.524	0.056
	5		-12.5138	12.5066	0.058	0.1065	0.107	-0.467	31.0273	-31.009	0.059

Tabel 3. Perbandingan hasil analisis untuk kolom

Kolom	Lokasi	P (kN)			T (kNm)			M2 (kNm)			M3 (kNm)			
		REALIN3D	ETABS	Selis ih (%)	REALIN3D	ETABS	Selis ih (%)	REALIN3D	ETABS	Selis ih (%)	REALIN3D	ETABS	Selis ih (%)	
C1	14	0	-10.2465	10.2465	0.000	-0.8598	10.8987	-0.3795	0.5825	-3.691	-24.1079	24.119	-0.046	
	5		10.2465	10.2465	0.000	-0.8598	10.8987	-0.3795	0.5825	-3.691	-30.3661	-30.38	-0.046	
C2	15	0	-0.1209	0.1217	-0.657	0.9594	16.9266	-0.3795	0.0634	-0.0648	-1.295	41.1857	41.203	-0.042
	5		0.1209	0.1217	-0.657	0.9594	16.9266	-0.3795	0.0634	-0.0648	-1.236	43.4111	-43.43	-0.044
C3	16	0	10.1191	-10.1162	0.029	0.10592	10.8989	-0.3795	0.5685	-0.07607	-2.505	24.1001	24.111	-0.045
	5		-10.1191	-10.1162	0.029	-0.10592	10.8989	-0.3795	0.5685	-0.2057	-2.505	30.36	-30.373	-0.043
C4	11	0	-10.3434	10.3426	0.008	-0.17211	10.7782	-0.3795	0.5685	0.0684	-3.983	-23.9074	23.906	0.006
	5		10.3434	10.3426	0.008	-0.17211	10.7782	-0.3795	0.5685	0.0684	-2.983	-29.9479	-29.946	0.006
C5	12	0	0.2416	-0.2416	0.000	0.4529	16.4388	-0.3795	-0.0075	0.0083	20.889	40.0195	40.017	0.006
	5		-0.2416	-0.2416	0.000	-0.4529	16.4388	-0.3795	-0.0075	0.0083	13.560	42.2752	-42.272	0.008

## 5. KESIMPULAN

Dalam tulisan ini telah dikembangkan program analisis struktur gedung 3 dimensi REALIN3D dengan menggunakan proram sumber terbuka FreeMat. Dalam analisis, lantai-lantai gedung dianggap sebagai diafragma yang kaku dalam arah horizontal. Pembentukan matriks kekakuan elemen memperhitungkan juga deformasi geser yang terjadi. Matriks kekakuan struktur dalam sistem koordinat global gedung diperoleh dari matriks kekakuan struktur 3 dimensi dalam sistem koordinat global rangka. Perpindahan yang tidak terkait dengan perpindahan lantai pada sistem koordinat global gedung dikondensasi dengan teknik kondensasi statik. Selanjutnya dengan

transformasi perpindahan yang sesuai matriks kekakuan gedung dapat diperoleh. Hasil analisis berdasarkan program REALIN3D yang dikembangkan dibandingkan dengan program komersial ETABS. Hasil perbandingan menunjukkan kesesuaian yang sangat baik.

## 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. (2000). *Passive and active control mechanisms for seismically excited buildings*. Disertasi S3, University of Wollongong
- Arfiadi, Y. (2013). "Pengembangan program bantu realin untuk pembelajaran metode matriks kekakuan dengan FreeMat". *Laporan Penelitian*, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Arfiadi, Y. (2015). "Pengembangan program bantu analisis struktur gedung tiga dimensi REALIN3D dengan FreeMat". *Laporan Penelitian*, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Basu, S. (2011). *FreeMat v4.1 documentation*. <http://freemat.sf.net/FreeMat-4.1.pdf>, diakses 3 April 2013.
- Beaufait, F. W., Rowan, W. H., Hoadley, P. G. and Hacket, R. M. (1970). *Computer methods of structural analysis*. Prentice-Hall Inc., NY.
- Cheung, Y.K. (1983). "Tall buidings 2" dalam Kong, F.K., Evans, R.H., Cohen, E. dan Roll, F. *Handbook of Structural Concrete*, Pitman Advance Publishing Program, London.
- Ghali, A. dan Neville, A.M. (1978). *Structural analysis: a unified classical and matrix approach*. Chapman and Hall, London.
- Humar, J. L. and Khandoker, J. U. (1980). "A computer program for three dimensional analysis of buildings." *Computer and Structures*, Vol. 11, 369-387.
- Kan, C. L. dan Chopra, A. K. (1977). "Elastic earthquake analysis of torsionally coupled multistorey buildings." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 5, 395-412.
- Kanok-Nukulchai, W. (1993). "AIT1993". Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Shim, J.S. (1980). "Development of a Symbolic Manipulation Program." *M.Eng. thesis*. Asian Institute of Technology. Bangkok.
- Weaver, W., Jr. dan Gere, J. M. (1980). *Matrix analysis of frame structures*. Van Nostrand Reinhold, N. Y.
- Weaver, W., Jr. dan Johnston, P. L. (1987). *Structural dynamics by finite elements*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- Weaver, W., Jr. dan Nelson, M. F. (1966). "Three-dimensional analysis of tier buildings." *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol. 92, No. ST6, 382-404.
- Weaver, W., Jr., Nelson, M. F. and Maning, T. A. (1968). "Dynamics of tier buildings." *Journal of Engineering Mechanics Division*, ASCE, Vol. 94, No. EM6, 1455-1474.
- Wilson, E. L., Dovey, H. H. and Habibullah, A. (1980). *Three-dimensional analysis of building systems TABS 80 volume 1 theoretical manual*. Computer/Structures International.
- Wilson, E. L., Holling, J. P. and Dovey, H., H (1975). *Three dimensional analysis of building system (extended version)*. Report no EERC 75-12, EarthquakeEngineeringResearchCenter, College of Engineering, University of California, Berkeley, California.