

PENGARUH JUMLAH SIKLUS TERHADAP KEAKURATAN HASIL PERHITUNGAN STRUKTUR MENGGUNAKAN METODE CROSS (DISTRIBUSI MOMEN)

Munawir^{1*}, Rismaliza¹

¹⁾ Universitas Muhammadiyah Aceh, Jl. Muhammadiyah No. 91, Banda Aceh,
23123, Indonesia

*Email: munawir@unmuha.ac.id

Abstrak

Desain struktur merupakan faktor yang sangat menentukan untuk menjamin kekuatan dan keamanan suatu struktur bangunan. Gaya-gaya dalam dari sebuah struktur harus mampu ditahan oleh elemen struktur yang direncanakan. Metode yang digunakan adalah metode distribusi momen (*Cross*) dan dianalisis dengan menggunakan *software* SAP2000. Metode *Cross*, selain dibandingkan keakuratannya terhadap hasil SAP2000 juga ditinjau keakuratan hasil perhitungan antar siklus, dalam hal ini gaya dalam yang timbul pada portal. Beban yang bekerja pada portal dibatasi untuk beban mati dan beban hidup berdasarkan SNI 1727-2013 dan kombinasi bebannya disesuaikan dengan SNI 03-2847-2013. Metode penelitian yang dilakukan adalah perhitungan tabel distribusi momen yang akan menghasilkan momen ujung. Hasil momen ujung digunakan untuk perhitungan gaya dalam dan dibandingkan dengan hasil SAP2000. Adapun hasil selisih perbandingan antara metode *Cross* dan SAP2000 terkait gaya dalam berkisar: 3,70% - 27,73% untuk momen maksimum, 0,00% - 8,17% untuk gaya geser dan 0,42% - 9,23% untuk gaya normal. Sedangkan tingkat keakuratan perbandingan hasil perhitungan antara jumlah siklus dengan SAP2000 dimisalkan momen akhir pada elemen BF balok lantai 2, pada siklus 1 persentase keakuratan sebesar 92,80%, kemudian pada siklus ke-2 terjadi penurunan dengan nilai 91,28%, pada siklus ke-3 kembali mengalami kenaikan dengan nilai 91,90%, pada siklus ke-4 terjadi penurunan dengan nilai 91,67%, pada siklus ke-5 terjadi kenaikan dengan nilai 98,26%. Penurunan dan kenaikan keakuratan siklus terus berlangsung sampai siklus ke-10 dan mencapai keseimbangan muali dari siklus ke-11 dan 12 dengan tingkat keakuratan sebesar 91,75%. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa metode *Cross* dapat dijadikan acuan untuk analisis struktur sebagaimana SAP2000, terutama untuk struktur portal yang sederhana.

Kata kunci : Gaya dalam, metode distribusi momen, pembebanan, SAP2000.

1. PENDAHULUAN

Sebuah struktur bangunan harus mampu menahan beban yang diberikan pada struktur tersebut secara aman dan ekonomis. Elemen-elemen struktural seperti balok, kolom dan rangka batang harus disusun menjadi bentuk struktural yang aman dalam menahan semua beban yang bekerja pada struktur gedung. Pada desain struktur bangunan gedung, gaya-gaya dalam (*internal force*) memiliki pengaruh terhadap keakuratan desain kekuatan/kapasitas elemen struktur secara aman dan ekonomis. Momen terjadi apabila sebuah gaya yang bekerja mempunyai jarak tertentu dari titik yang akan menahan momen tersebut dan besarnya momen tersebut merupakan besarnya gaya dikalikan dengan jaraknya.

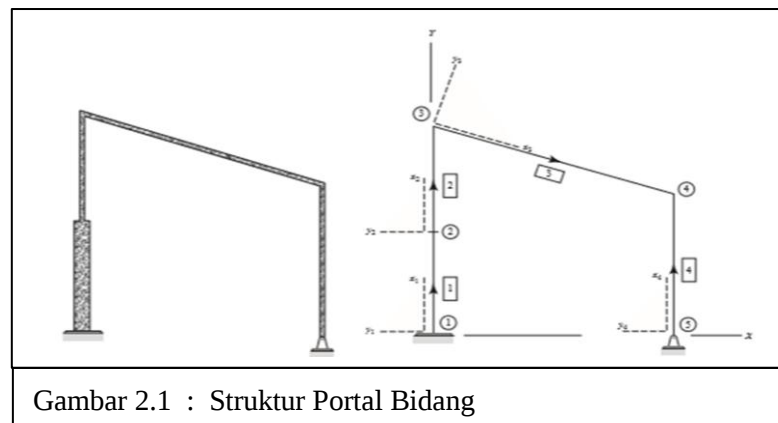
Metode perhitungan gaya-gaya dalam secara manual diantaranya dapat dilakukan dengan metode Hardy Cross (distribusi momen), metode Matriks dan metode Takabeya, sedangkan perhitungan menggunakan program komputer salah satunya adalah *software*

SAP2000. Dari berbagai metode tersebut, maka mencoba untuk membandingkan metode distribusi momen dengan SAP2000. Hal ini dikarenakan metode distribusi momen adalah metode perhitungan secara manual yang dianggap mudah diselesaikan dan banyak digunakan dalam perhitungan struktur, sedangkan SAP2000 merupakan *software* yang juga banyak digunakan oleh *engineer* di Indonesia karena fiturnya mudah dipahami dan selalu diperbaharui sesuai dengan peraturan bangunan gedung. Sebagai objek penelitian yang dijadikan sebagai pembanding kedua metode perhitungan adalah bangunan Rumah Susun 3 Universitas Muhammadiyah Aceh.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Portal Bidang (*Plane Frames*)

Kassimali (1999), menjelaskan bahwa struktur portal bidang merupakan suatu sistem struktur yang merupakan gabungan dari sejumlah elemen (batang) dimana pada setiap titik simpulnya dianggap berperilaku sebagai jepit dan setiap elemennya dapat menerima gaya berupa gaya aksial, gaya geser, dan momen lentur. Pemodelan strukturnya dilihat Gambar 2.1.



Gambar 2.1 : Struktur Portal Bidang

2.2 Metode Cross (Distribusi Momen)

Zacoeb (2014), menjelaskan metode distribusi momen atau sering disebut dengan metode *Cross* pertama kali diperkenalkan oleh Hardy Cross (1993) dalam bukunya yang berjudul “*Analysis of Continuous Frames by Distributing Fixed End Moments*”. Metode distribusi momen didasarkan pada asumsi sebagai berikut :

1. Perubahan bentuk (deformasi) akibat gaya normal dan gaya geser diabaikan, sehingga panjang batang-batangnya tidak berubah (konstan).
2. Semua titik simpul (buhul) dianggap kaku sempurna.
3. Proses analisis dilakukan dengan distribusi momen dan induksi (*carry over*) terhadap momen primer (*fixed end moment*) sebanyak beberapa siklus sehingga diperoleh keseimbangan terhadap titik simpul dan sama dengan nol.

4. Proses distribusi dan induksi secara manual sehingga semua simpul dianggap sudah dalam keadaan seimbang atau mendekati nol.

2.3 Konsep Dasar Metode Distribusi Momen

Mulyati (2015), menjelaskan apabila suatu balok menerus memikul beban-beban yang bekerja, tanggapan deformasinya tidak akan mengandung rotasi sumbu batang yang tak diketahui, sedangkan titik hubung pada suatu kerangka kaku dapat mempunyai atau tak mempunyai kebebasan untuk menjalani translasi yang tak diketahui besarnya.

2.3.1 Momen Primer

Zacoeb (2014), menjelaskan momen primer adalah momen yang terjadi pada ujung batang sebagai akibat dari beban-beban yang bekerja disepanjang batang. Besarnya momen primer sama dengan momen jepit (momen reaksi) dengan tanda atau arah yang berlawanan. Dengan kata lain, momen jepit atau momen reaksi merupakan kebalikan dari momen primer dan disebut juga dengan momen perlawanan. Momen primer biasanya digambarkan melengkung keluar pada bagian dalam ujung batang dengan arah tertentu sesuai dengan pembebanan.

2.3.2 Faktor Kekakuan dan Momen Induksi

Zacoeb (2014), menjelaskan bahwa untuk mengetahui faktor kekakuan dan momen induksi dapat diuraikan berdasarkan persamaan *slope deflection* (sudut kemiringan lendutan) pada masing-masing jenis batang untuk kondisi jepit-jepit dan untuk kondisi jepit-sendiri. Untuk mencari nilai kekakuan batang dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$K = \frac{4EI}{L} \text{ untuk kondisi jepit-jepit} \quad (2.1)$$

$$K = \frac{3EI}{L} \text{ untuk kondisi jepit-sendiri} \quad (2.2)$$

Dimana :

K = Kekakuan batang
E = Modulus elastisitas (Mpa)
I = Momen inersia (kg/m^2)
L = Panjang batang (m)

2.3.3 Faktor Distribusi

Zacoeb (2014), mengatakan bahwa untuk mencari besarnya faktor distribusi dan momen distribusi. Untuk mencari nilai faktor distribusi adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$FD = \frac{K}{\sum K} \quad (2.3)$$

Dimana :

FD = Faktor distribusi

K = Nilai kekakuan batang
 $\sum K$ = Nilai kekakuan batang total

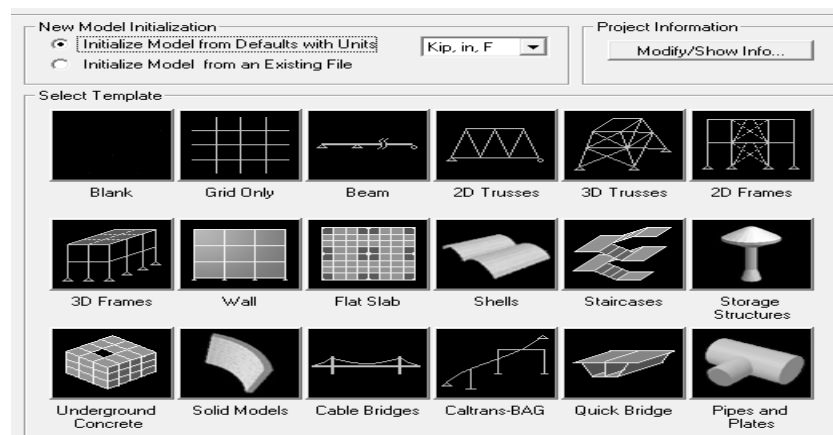
2.4. Gaya-gaya Dalam (*Internal Force*)

Nasution (2009), menjelaskan bahwa gaya-gaya yang bekerja didalam struktur atau gaya yang merambat dari muatan kepada reaksi perletakan disebut gaya dalam meliputi momen lentur, gaya geser/lintang dan gaya normal.

2.5 *Software SAP2000 (Structural Analysis Program)*

Wahyudi (2015), berpendapat bahwa SAP2000 merupakan salah satu program aplikasi teknik sipil untuk analisis dan desain struktur pada berbagai macam bangunan (umumnya gedung, jembatan, tower dan lain-lain). Analisis struktur yang dimaksud adalah mencari respon struktur terhadap pembebanan yang diberikan, yaitu berupa gaya-gaya dalam elemen struktur atau gaya-gaya reaksi perletakan, maupun deformasi (lendutan) struktur itu sendiri. Gambar SAP2000 pada Gambar 2.2.

Gambar 2.2 Pemodelan SAP 2000



3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan secara langsung menghitung pengaruh jumlah siklus terhadap keakuratan hasil perhitungan struktur dengan menggunakan metode *Cross* (distribusi momen). Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sumber lainnya. Data tersebut meliputi data-data yang dimasukkan kedalam perhitungan berupa data bangunan, pendimensian awal, model struktur, pembebanan, elemen-elemen struktur.

1. Data bangunan

Bangunan yang diteliti adalah bangunan Rumah Susun 3 yang berlokasi dilingkungan Universitas Muhammadiyah Aceh. Bangunan tersebut mempunyai luas bangunan di atas tanah 578 m². Tinggi bangunan keseluruhan adalah 9,8 meter dengan tiga lantai yaitu lantai satu, dua dan tiga berturut-turut adalah 3,4 meter; 3,2 meter dan 3,2 meter.

2. Mutu Bahan

- Kuat tekan beton (f_c) = 25 Mpa
- Tegangan leleh tulangan utama (f_y) = 390 Mpa
- Tegangan leleh tulangan geser (f_{ys}) = 240 Mpa
- Modulus elastisitas beton (E_c) = 23500 Mpa
- Modulus elastisitas tulangan baja (E_s) = 200000 Mpa
- Berat jenis beton bertulang = 2400 k g/cm³

3. Pendimensian balok dan kolom

Untuk pendimensian balok dan kolom dapat dilihat pada Tabel 3.1.

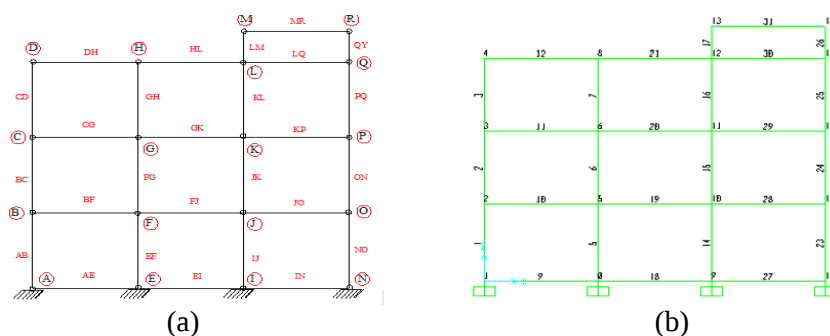
Tabel 3.1. Dimensi Elemen Struktur

Elemen	Tipe	Dimensi (mm)	
		B	H
Sloof	SL	300	400
Kolom	K	300	400
Balok	BL	250	450
Ring Balk	RB	200	350

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perbandingan Pemodelan Struktur Portal

Untuk pemodelan struktur portal antara metode *Cross* dan *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.1



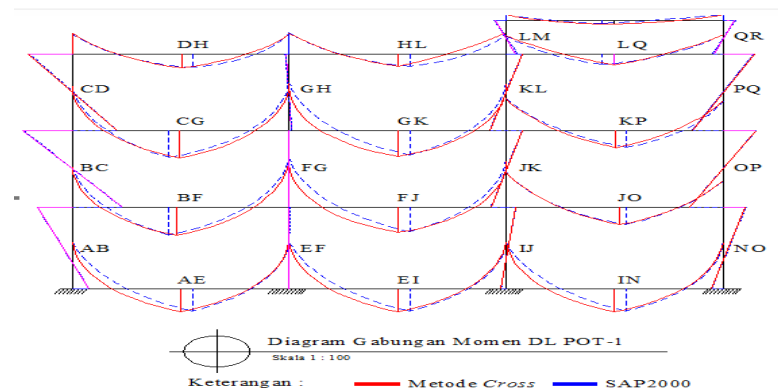
Gambar 4.1 : Perbandingan pemodelan (a) metode *Cross* dan (b) SAP2000

4.2 Momen Maksimum

Elemen struktur dibedakan berdasarkan elevasinya menjadi sloof, balok dan ring balok serta dikategorikan sebagai kolom untuk elemen vertikalnya. Dapat dilihat Tabel Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Perbandingan momen maksimum metode *Cross* dan SAP2000

Elemen	Batang	Mmax		Selisih Persentase (%)
		Metode Cross	SAP2000	Mmax
Sloof	AE	973,33	937,29	3,70
	EI	973,33	937,29	3,70
	IN	973,33	937,29	3,70
Balok	BF	1521,40	1166,58	23,32
	FJ	916,10	1023,52	10,50
	JO	390,00	725,70	46,26
	CG	1466,50	1126,83	23,16
	GK	931,30	1035,83	10,09
	KP	405,70	697,96	41,87
	DH	765,90	553,53	27,73
	HL	411,50	518,25	20,60
	LQ	329,10	438,40	24,93
Ringbalk	MR	122,80	139,93	12,24



Gambar 4.2 : Perbandingan diagram momen maksimum metode *Cross* dan SAP2000

Gambar 4.2 perbandingan diagram momen awal, momen akhir, dan momen maksimum menggunakan metode *Cross* dan *software* SAP2000. Jarak selisih antara kedua metode mulai dari 3,70% sampai dengan 27%. Selisih persentase yang jauh terdapat pada batang JO dan KP dengan nilai 46% dan 41%, ini menunjukkan bahwa pada batang tersebut pendistribusian beban tidak terjadi secara merata.

4.3 Gaya Geser

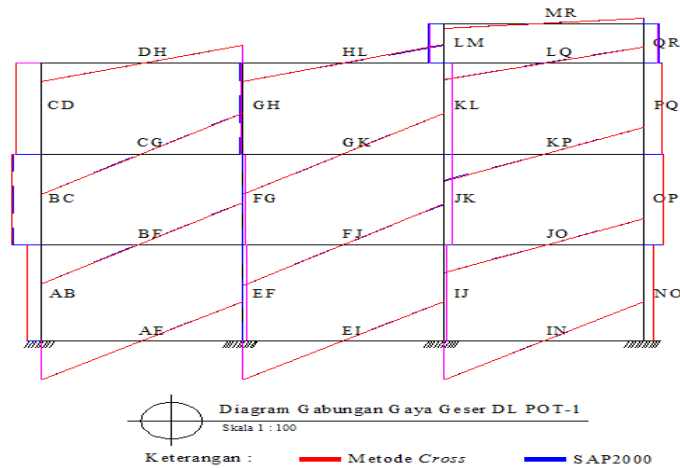
Pebandingan gaya geser pada portal as 1 metode *Cross* dan SAP2000 dapat dilihat

pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Perbandingan gaya geser metode *Cross* dan SAP2000

Kategori	Batang	Metode <i>Cross</i>		SAP2000		Selisih Perbandingan (%)	
		Db	De	Db	De	Db	De
Sloof	AE	-2748,26	2748,26	-2748,26	2748,26	0,00	0,00
	EI	-2748,26	2748,26	-2748,26	2748,26	0,00	0,00
	IN	-2748,26	2748,26	-2748,26	2748,26	0,00	0,00
Balok	BF	-2695,3	3036,24	-2765,91	2965,51	2,55	2,33
	FJ	-2918,93	2812,61	-2890,92	2840,63	0,96	0,99
	JO	-2051,02	1730,62	-1972,11	1809,54	3,85	4,36
	CG	-2711,8	3019,74	-2839,87	2891,68	4,51	4,24
	GK	-2914,09	2817,45	-2876,61	2854,94	1,29	1,31
	KP	-2039,48	1742,16	-1986,55	1875,1	2,60	7,09
	DH	-1209,58	1407,56	-1317,23	1299,92	8,17	7,65
	HL	-1329,68	1287,46	-1317,59	1299,56	0,91	0,93
Ringbalk	LQ	-1200,13	1099,96	-1135,15	1164,95	5,41	5,58
	MR	-349,27	364,72	-351,4	360,6	0,61	1,13
Kolom	AB	-246,31		-292,5		0,16	
	BC	-574,83		-603,46		0,05	
	CD	-415,15		-536,29		0,23	
	EF	21,84		8,17		1,67	
	FG	2,89		5,27		0,45	
	GH	-39,08		-40,41		0,03	
	IJ	48,16		85,39		0,44	
	JK	110,21		190,53		0,42	
	KL	64,13		199,49		0,68	
	LM	-276,41		-324,88		0,15	
	NO	162,50		198,94		0,18	
	OP	348,95		407,66		0,14	
	PQ	231,32		377,21		0,39	
	QR	432,78		324,88		0,33	

Pada kategori sloof perbandingan geser di titik awal dan akhir bernilai 0,00%. Untuk kategori balok perbandingan geser yang terkecil bernilai 0,96% dan 0,99% pada batang FJ. Elemen ringbalk memiliki nilai selisih berturut-turut 0,61% dan 1,13%. Sementara untuk elemen kolom perbandingan selisih persentase gaya geser yang paling kecil adalah 0,03% pada batang QR. Gambar 4.3 perbandingan diagram geser menggunakan metode *Cross* dan *software* SAP2000. Jarak selisih antara kedua metode mulai dari 0,00% sampai dengan 8,17%. Dari selisih jarak tersebut dapat disimpulkan bahwa perbandingan gaya geser antara kedua metode sangat mendekati.



Gambar 4.3 : Perbandingan diagram gaya geser metode Cross dan SAP2000

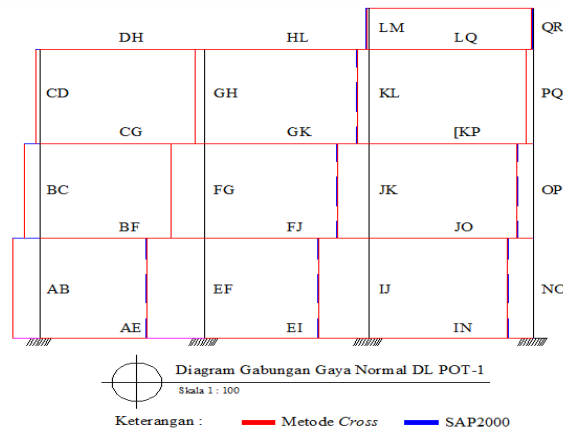
4.4 Gaya Normal

Untuk Perbandingan gaya normal portal as 1 metode Cross dan SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Perbandingan gaya normal metode Cross dan SAP2000

Member	Gaya Normal		Perbandingan (%)
	Metode Cross	SAP2000	
DC	-2150,68	-2258,33	4,77
CB	-8162,38	-8398,10	2,81
BA	-14186,39	-14492,71	2,11
HG	-5354,30	-5234,51	2,24
GF	-17941,13	-17655,80	1,59
FE	-30578,11	-30194,16	1,26
ML	-874,95	-1549,01	43,52
LK	-6115,60	-6737,22	9,23
KJ	-16163,43	-16689,51	3,15
JI	-26246,65	-26721,86	1,78
RQ	-1074,90	-743,58	30,82
QP	-3987,67	-3720,93	6,69
PO	-8542,26	-8408,53	1,57
ON	-13114,20	-13059,37	0,42

Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan gambar diagram normal menggunakan metode Cross dan software SAP2000. Jarak selisih antara kedua metode mulai dari 0,42% sampai 9,23%. Selisih persentase yang jauh terdapat pada batang ML dan RQ dengan nilai 43,52% dan 30,82%, ini menunjukkan bahwa pada batang tersebut pendistribusian beban tidak terjadi secara merata.



Gambar 4.4 : Perbandingan diagram gaya normal metode Cross dan SAP2000

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dari penelitian Pengaruh Jumlah Siklus terhadap Keakuratan Perhitungan Struktur Menggunakan Metode Cross (Distribusi Momen) sebagai berikut :

1. Pemodelan struktur antara metode Cross dan *software* SAP2000 berbeda. Untuk pemodelan metode Cross penomoran joint dan member menggunakan huruf abjad, sementara penomoran joint dan member *software* SAP2000 menggunakan angka. Namun demikian, anantara kedua metode hasil perhitungannya tetap dapat dibandingkan dengan meninjau elemen struktur pada posisi yang sama dalam bentuk aslinya.
2. Faktor utama yang menentukan keakuratan dalam menghitung tabel Cross adalah keseimbangan nilai momen pada titik simpul akibat dari momen yang timbul di ujung batang yang terhubung pada titik simpul. Apabila suatu titik sudah seimbang maka jumlah perhitungan siklus dari tabel Cross dapat dihentikan.
3. Berdasarkan hasil perhitungan struktur dengan menggunakan metode Cross atau metode distribusi momen, yang dibandingkan terhadap SAP2000 diperoleh kesimpulan bahwa keakuratannya berkisar antara 84,83-88,44%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perhitungan dengan menggunakan metode manual berdasarkan pendekatan elastisitas material, tidak terlalu jauh selisihnya jika dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan *software*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Dalam analisis struktur dengan SAP2000 diperlukan kehati-hatian baik *input* maupun *output* dan diusahakan agar model dibuat serupa mungkin dengan struktur di lapangan, terutama untuk model 3D agar memberikan hasil yang mendekati keadaan sebenarnya.

2. Analisis perbandingan lebih lanjut perlu dilakukan terkait metode-metode lain dalam analisa struktur baik manual ataupun program komputer dengan model-model portal yang sama ataupun model portal yang lebih sederhana menggunakan metode yang serupa dengan analisis ini.

Daftar Kepustakaan

- Kassimali, A, 1999, *Matrix Analysis of Structure*, Southern Illinois University, Carbondale.
- Mulyati, 2011, *Bahan Ajar Analisa Struktur II*, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Padang.
- Nasution, A, 2009, *Metode Matriks Kekakuan Analisis Struktur*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wahyudi, 2015, *Analisis Struktur Portal Statis Tak Tentu dengan SAP2000*, Universitas Muhammadiyah Palangkaraya.
- Zacoeb, A, 2014, *Analisa Struktur I*, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.