

## Studi Perbandingan Metode Perhitungan Struktur Statis Tak Tentu pada Portal Bangunan Gedung

Dewi Tumewu<sup>1</sup>, Enteng J. Saerang<sup>2</sup>, John Th. Harahap<sup>3</sup>

Program Studi D-IV Konstruksi Bangunan Gedung

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado

e-mail: <sup>1</sup>dewitumewu@gmail.com, <sup>2</sup>entengsaerang777@yahoo.com

### **Abstrak**

Dalam perencanaan struktur, perlu adanya analisis struktur untuk mengetahui besarnya gaya dan momen yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja. Didalam ilmu Statika, konstruksi yang paling sederhana adalah konstruksi statis tertentu. Namun pada kebanyakan perencanaan teknis yang nyata, konstruksi yang dijumpai adalah struktur yang cukup kompleks (struktur statis tak tentu). Banyak cara untuk menghitung suatu struktur statis tak tentu, baik secara manual ataupun menggunakan alat bantu program. Hal tersebut menyebabkan timbulnya permasalahan mengenai metode mana yang dianggap paling baik dan tepat. Pokok pembahasan dari penulisan artikel ini adalah untuk melakukan perhitungan struktur statis tak tentu menggunakan beberapa metode perhitungan yaitu metode Putaran Sudut, metode Matriks, dan program SAP2000 serta membandingkan hasil ketiga metode tersebut dalam menghitung dua model struktur portal. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, perhitungan struktur statis tak tentu yang diterapkan pada model struktur portal menggunakan metode Putaran Sudut, metode Matriks, dan program SAP2000 memberikan hasil perhitungan (momen ujung) yang sama.

**Kata kunci**—Perhitungan Struktur, Metode Putaran Sudut, Metode Matriks, SAP2000

## **1. PENDAHULUAN**

### *1.1 Latar Belakang*

Dalam merencanakan struktur bangunan gedung, perlu adanya analisis struktur untuk mengetahui besarnya gaya dan momen (gaya-gaya dalam) yang terjadi pada portal akibat beban-beban yang bekerja. Pada kebanyakan perencanaan teknis yang nyata, konstruksi yang dijumpai adalah struktur yang cukup kompleks (struktur statis tak tentu). Perhitungan suatu struktur statis tertentu dapat diselesaikan cukup dengan menggunakan persyaratan keseimbangan yaitu  $\Sigma H = 0$ ,  $\Sigma V = 0$ , dan  $\Sigma M = 0$ . Untuk struktur statis tak tentu, tidak dapat diselesaikan hanya dengan memakai syarat keseimbangan, tetapi harus ditambah dengan syarat kompatibilitas dengan persamaan-persamaan geometri. Tingkah laku struktur berhubungan dengan perubahan stress dan strain yang terjadi. Resultante stress ini yaitu momen lentur, gaya lintang, gaya normal dan momen torsi. Sedangkan strain menyatakan deformasi yang terjadi pada struktur yaitu lendutan linear dan putaran sudut. Ada 3 hal yang mendasari perhitungan struktur (Supartono dan Boen,

1980) yaitu: keseimbangan, hubungan stress dan strain atau gaya dalam dan deformasi, serta kompatibilitas [1]. Ada banyak cara untuk menghitung suatu struktur statis tak tentu, baik secara manual ataupun menggunakan alat bantu program, antara lain : Persamaan Putaran Sudut (PPS), Slope Deflection, Distribusi Momen (*Cross*), *Consistent Deformation*, Matriks, Kani, Takabeya, program SAP 2000, dan lain-lain. Tiap cara tentunya mempunyai kelebihan ataupun kekurangannya masing-masing tergantung dari pada model struktur dan pembebanannya. Pemilihan metode mana yang baik untuk digunakan dalam menghitung suatu struktur seringkali, bahkan selalu menjadi masalah, sehingga hal ini dijadikan pokok pembahasan dalam penelitian ini. Karena beberapa keterbatasan, hanya 3 metode perhitungan struktur yang akan dibahas yaitu menggunakan metode Putaran Sudut, Matriks, dan Program SAP2000. Pembahasan ini mencakup teori dasar dari metode-metode tersebut disertai contoh-contoh penggunaannya dan perbandingan dari ketiga metode ini dengan mengaplikasikannya terhadap model stuktur yang sama yaitu struktur portal.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan perhitungan struktur statis tak tentu menggunakan metode Putaran Sudut, metode Matriks, dan program SAP2000 serta membandingkan hasil perhitungan struktur statis tak tentu dengan ketiga metode tersebut, mana yang paling efektif serta efisien dalam menghitung suatu model struktur dalam hal ini yaitu model struktur portal.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai pedoman bagi pihak-pihak yang terkait langsung dengan pekerjaan konstruksi, terutama bagi pihak perencana sebagai referensi dalam perencanaan struktur portal pada bangunan.

### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini mengadopsi beberapa pembatasan masalah sebagai berikut.

1. Perbandingan hasil perhitungan struktur portal menggunakan metode Putaran Sudut, Matriks dan program SAP2000 dibatasi pada perbandingan hasil perhitungan berupa momen ujung batang.
2. Karena tujuan pembahasan ini terletak pada perbandingan 3 metode, maka dalam perhitungan struktur portal ini tidak akan membahas masalah puntir, gempa, ataupun penulangan pada struktur.
3. Jenis pembebanan adalah pembebanan statis yaitu pembebanan akibat beban mati dan beban hidup yang sifatnya statis, yang nilai pembebanannya sudah ditetapkan.
4. Beban yang bekerja adalah beban terbagi rata yang bekerja penuh terhadap struktur.
5. Penampang adalah seragam atau EI tetap.
6. Selama proses deformasi, struktur masih dalam batas elastis linear, material dari struktur mengikuti hipotesa Hooke.
7. Untuk analisa struktur metode matriks menggunakan alat bantu *Microsoft Excel*.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Pengertian Struktur Portal

Struktur portal bangunan memiliki peran yang sangat penting. Mengingat fungsi portal sebagai struktur rangka utama dari sebuah bangunan. Struktur portal terdiri dari elemen-elemen bangunan berupa balok dan kolom yang bertemu pada titik simpul (Sanusi, 2013) [2]. Fungsi utama dari portal adalah sebagai penahan dan penyalur beban gedung. Perencanaan struktur adalah bertujuan untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, kuat, awet dan memenuhi tujuan-tujuan seperti ekonomis dan kemudahan pelaksanaan. Suatu Struktur disebut stabil bila ia tidak mudah terguling, miring atau tergeser selama umur bangunan yang direncanakan. Pada struktur bangunan atas, portal merupakan komponen struktur yang paling penting untuk diperhatikan, karena apabila mengalami kegagalan, maka dapat berakibat keruntuhan struktur bangunan atas dari gedung secara keseluruhan mengingat fungsi dari suatu struktur sebagai sarana untuk menyalurkan beban bangunan kedalam tanah (Malik, 2014) [3].

### 2.2 Konsep Dasar Analisis Struktur

Menurut Ghali dan Neville (1985) dalam bukunya yang berjudul *Structural Analysis*, tujuan dari sebuah analisis struktur adalah mencari reaksi tumpuan dan resultante gaya dalam [4]. Pada analisis struktur berlaku ketentuan bahwa jika keduanya bisa ditentukan hanya dengan persamaan statika, maka struktur bersifat statis tertentu. Sedangkan jika struktur memiliki jumlah gaya yang tak diketahui lebih besar dari jumlah persamaan keseimbangan, maka struktur bersifat statis tak tentu. Menurut Liong (1984), suatu sistem gaya dalam sebuah struktur berada dalam kondisi seimbang jika resultan semua gaya dan resultan semua momen terhadap suatu titik sama dengan nol [5]. Analisis struktur dilakukan untuk mengetahui reaksi perletakan serta gaya-gaya dalam berupa momen lentur, momen torsi, gaya normal dan gaya lintang yang terjadi sebagai pengaruh dari gaya luar yang bekerja. Kondisi keseimbangan statis yang kita kenal yaitu  $\Sigma V = 0$ ,  $\Sigma H = 0$ , dan  $\Sigma M = 0$ . Dalam melakukan analisis struktur diperlukan analisis pembebanan yang dipikul oleh struktur. Untuk bangunan gedung, beberapa beban yang dipikul antara lain beban mati, beban hidup, dan beban angin (PPIUG 1983) [6].

### 2.3 Metode Putaran Sudut

Metode Persamaan Putaran Sudut (PPS) adalah salah satu metode untuk menghitung struktur statis tak tentu. Suatu struktur balok yang statis tak tentu (STT) misalnya jepit-rol dapat dibuat menjadi statis tertentu (ST) dan stabil dengan melepas pegangan (kekangan) tambahan yang dinamakan gaya-gaya kelebihan (*redundant force*). Struktur stabil dan statis tertentu (ST) yang tertinggal (sendi-rol) setelah pelepasan kekangan tambahan dinamakan struktur dasar (primer). Untuk mendapat hasil perhitungan berupa momen ujung, struktur awal yang telah dijadikan struktur statis tertentu selanjutnya dapat diselesaikan dengan menguraikan satu persatu nilai besaran putaran sudut ujungnya (Mamahani, 2016) [7] Untuk mencari besarnya putaran sudut ujung (rotasi) bisa digunakan beberapa metode, seperti metode integrasi ganda (*double integral method*) dengan melakukan integrasi ganda dari persamaan dan metode *conjugate beam* dengan menjadikan beban diagram momen berupa diagram M/EI yang diperoleh dari hasil analisis balok nyata (Dipohusodo, 2001) [8]. Dasar dari metode Persamaan Putaran Sudut (PPS) terletak dalam persamaan-persamaan putaran sudut, yang menyatakan putaran sudut ujung dari masing-masing batang dalam besaran-besaran, momen ujung, defleksi relative, dan beban dari batang atau elemen struktur tersebut.

#### 2.4 *Analisa Struktur Metode Matriks*

Analisa struktur metode matriks adalah suatu pemikiran baru dalam melakukan analisa struktur, seiring dengan kemajuan teknologi komputer untuk pengoperasian perhitungan aritmatika. Konstruksi statis tak tentu tidak mungkin lagi diselesaikan hanya dengan memakai persamaan-persamaan kesetimbangan, tapi perlu analisa sifat dan tingkah laku elemen struktur yang dibebani gaya (karakteristik hubungan gaya dan deformasi), yang digabungkan menjadi suatu model matematik dari konstruksi, dimana syarat kompatibiliti dan syarat kesetimbangannya harus terpenuhi yang disederhanakan dan diselesaikan berdasarkan analisa matematik yang sederhana, yaitu sedapat mungkin dalam hubungan persamaan-persamaan yang linier. Analisa struktur dengan metode matriks telah memberikan kemungkinan-kemungkinan bagi proses idealisasi ini. Bila proses ini sudah diselesaikan, maka tingkah laku dari konstruksi keseluruhan yang disebabkan oleh bekerjanya gaya-gaya luar akan bisa ditentukan (Supartono dan Boen, 1980) [1]. Untuk melakukan analisis struktur terdapat 2 metode utama yaitu metode Kekakuan dan Metode Fleksibilitas. Karena formulasi dan prosedur hitungan yang dihasilkan relatif jauh lebih sistematis sehingga sangat sesuai untuk diprogramkan dalam bahasa komputer, maka metode kekakuan lebih populer untuk dipelajari dan dikembangkan (Suhendro, 2000) [9]. Hal tersebut dilakukan oleh Harahap (2016) [10] yang mengembangkan sebuah analisa/perhitungan struktur metode matriks untuk struktur portal bidang yang penyelesaiannya menggunakan program Microsoft Excel untuk mendapatkan output berupa perpindahan, gaya ujung batang dan reaksi perletakkan.

#### 2.5 *Program SAP2000*

Akibat perkembangan teknologi, analisa perhitungan struktur kini semakin dimudahkan dengan adanya program SAP2000. Garis besar langkah-langkah analisa struktur portal dengan menggunakan program SAP2000 adalah sebagai berikut: Pemodelan struktur pada program SAP2000 sesuai dengan portal yang akan dihitung, memasukkan data *material property* sesuai dengan data material beton bertulang pada struktur portal, penentuan dimensi elemen struktur portal (kolom dan balok), pemasangan beban pada struktur portal, serta melakukan analisa perhitungan struktur portal dan menampilkan data gaya dalam dan bidang momen struktur (Wahana, 2010) [11]. Tapi dengan kemunculan software untuk perhitungan struktur, sering muncul pertanyaan, manakah yang lebih teliti antara penggunaan software atau manual. Memecahkan hal tersebut, Dewobroto (2007) memberikan penyelesaian dari beberapa metode input data pada program SAP yang telah dilakukannya. Kesimpulannya dalam penginputan data penampang, asumsi analisa pada Program SAP 2000 harus sama dengan perhitungan secara manual yaitu deformasi aksial dan geser diabaikan. Parameter A (yang hanya dipakai pada kekakuan aksial saja) dimanipulasi dengan memberikan suatu nilai yang besar sekali sehingga nilai deformasi aksialnya mendekati angka nol (akibat nilai pembagi A yang sangat besar) [12].

### **3. METODE PENELITIAN**

#### 3.1 *Metode Pengumpulan Data*

Metode pengumpulan data menggunakan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori perhitungan struktur dari berbagai sumber pustaka untuk metode Putaran Sudut, metode Matriks dan Program SAP 2000.

### 3.2 Metode Analisis Data

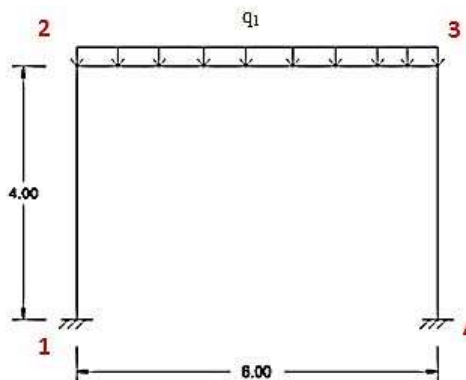
Analisis/perhitungan struktur portal, metode-metode perhitungan yang digunakan adalah metode Putaran Sudut, metode Matriks dan program SAP2000. Tahapan perhitungan struktur portal untuk metode Putaran Sudut dimulai dari pembuatan *freebody* pemisalan momen ujung struktur portal, menghitung besaran rotasi (putaran sudut) dari Tabel Persamaan Putaran Sudut akibat momen (*redundant force*), perpindahan relative ( $\Delta$ ) dan akibat beban, selanjutnya menyusun persamaan kompatibilitas dan persamaan keseimbangan struktur portal dan melakukan perhitungan momen ujung elemen struktur portal.

Tahapan pengoperasian analisa struktur portal metode matriks menggunakan Program Microsoft Excel (Harahap, 2016) yaitu tahap data masukan dan pemodelan struktur (persiapan data struktur), tahap perakitan matriks kekakuan dan vektor gaya luar struktur dalam tingkat elemen, tahap perakitan matriks kekakuan dan matriks beban keseluruhan struktur, tahap penghitungan gaya dalam elemen dan pencatatan data dan tahap keluaran (*output*). Sedangkan untuk Program SAP2000 langkah-langkah pengoperasiannya yaitu pemodelan struktur pada program SAP2000 sesuai dengan portal yang akan dihitung (*File > New model*), mendefinisikan data material yang akan digunakan (*Define > Material > Add new material*), mendefinisikan data penampang yang akan digunakan (*Define > Section Property > Frame Sections > Add New Material*), gambar elemen struktur portal (*Quick Draw Frame/Cable Element*), memasang perletakkan pada portal (*Assign > Joint > Restraints*), input data beban yang akan dianalisa pada struktur portal (*Assign > Frame Load > Distributed*), dan analisa perhitungan struktur portal (*Analyze > Run Analysis*).

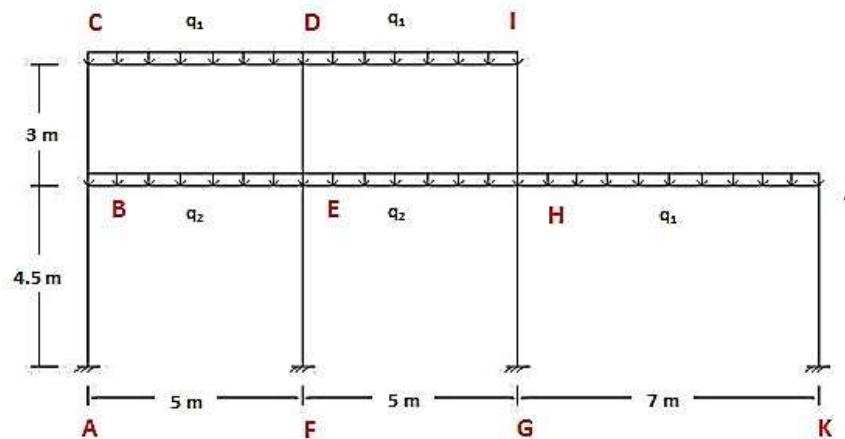
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Perencanaan

Pembahasan mencakup perhitungan struktur menggunakan metode Putaran Sudut, Matriks dan Program SAP 2000 dan perbandingan hasil dari ketiga metode ini dengan mengaplikasikannya terhadap dua model struktur pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut ini.



**Gambar 1.** Data perencanaan portal 1



**Gambar 2.** Data perencanaan portal 2

Data-data perencanaan dari kedua portal diatas yaitu:

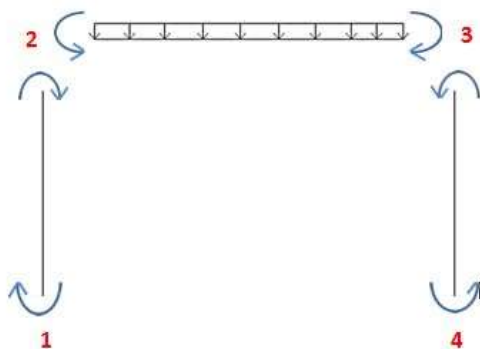
1. Beban yang bekerja adalah beban terbagi rata yang bekerja penuh terhadap struktur, dengan pembagian beban sebagai berikut.

- $q_1$ (atap) = 100 kg/m
- $q_2$ (lantai) = 250 kg/m

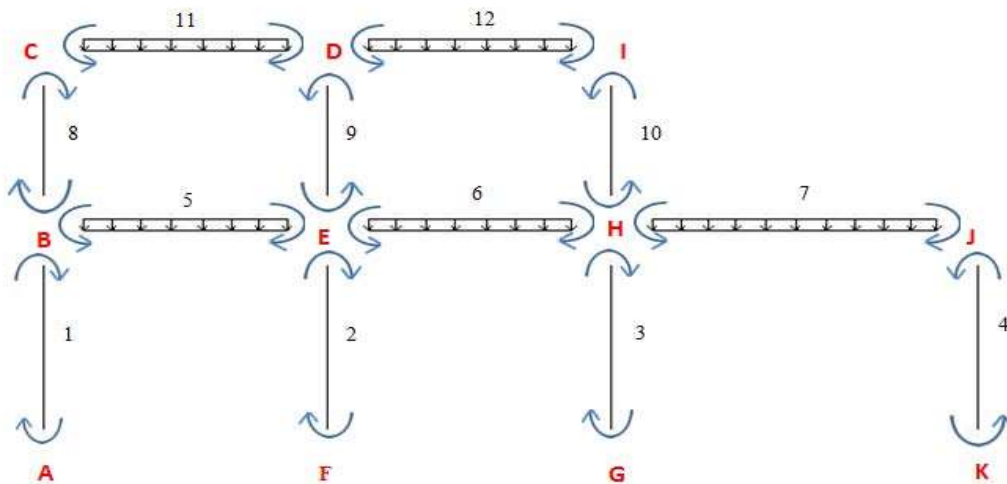
2. Penampang adalah seragam atau EI tetap.

#### 4.2 Perbandingan Hasil Perhitungan Struktur

Portal 1 dan 2 dihitung dengan menggunakan metode Putaran Sudut, metode Matriks, dan Program SAP2000. Masing-masing metode dihitung berdasarkan cara perhitungan dan pengoperasian yang telah dijelaskan sebelumnya untuk ketiga metode yang ada untuk mendapat hasil perhitungan berupa momen ujung tiap elemen batang. Dari analisa/perhitungan struktur yang dilakukan, didapatkan momen ujung seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4 sebagai berikut.



**Gambar 3.** Momen ujung elemen struktur portal 1



**Gambar 4.** Momen ujung elemen struktur portal 2

Dengan perbandingan hasil perhitungan momen ujung untuk masing-masing metode yang disajikan dalam bentuk Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

**Tabel 1.** Perbandingan Hasil Perhitungan Struktur Portal 1

NO. BATANG	MOMEN UJUNG	HASIL PERHITUNGAN (kg m)			Perbandingan
		PPS	MATRIKS	SAP2000	
1	M12	112.5	112.5	112.5	0%
	M21	225	225	225	0%
2	M23	-225	-225	-225	0%
	M32	225	225	225	0%
3	M43	-225	-225	-225	0%
	M34	-112.5	-112.5	-112.5	0%

**Tabel 2.** Perbandingan Hasil Perhitungan Struktur Portal 2

NO. BATANG	MOMEN UJUNG	HASIL PERHITUNGAN (kg m)			Perbandingan
		PPS	MATRIKS	SAP2000	
1	$M_{AB}$	96.4707	96.4707	96.47	0%
	$M_{BA}$	174.1478	174.1478	174.15	0%
2	$M_{FE}$	13.2392	13.2392	13.24	0%
	$M_{EF}$	7.6846	7.6846	7.68	0%
3	$M_{GH}$	28.4365	28.4365	28.44	0%
	$M_{HG}$	38.0793	38.0793	38.08	0%
4	$M_{KJ}$	-113.0881	-113.0881	-113.09	0%
	$M_{JK}$	-244.9699	-244.9699	-244.97	0%
5	$M_{BE}$	-386.0138	-386.0138	-386.01	0%
	$M_{EB}$	580.7445	580.7445	580.74	0%
6	$M_{EH}$	-522.1530	-522.1530	-522.15	0%
	$M_{HE}$	533.1913	533.1913	533.19	0%
7	$M_{HJ}$	-480.7166	-480.7166	-480.72	0%
	$M_{JH}$	244.9699	244.9699	244.97	0%
8	$M_{BC}$	211.866	211.866	211.87	0%
	$M_{CB}$	141.7974	141.7974	141.80	0%
9	$M_{ED}$	-66.2761	-66.2761	-66.28	0%
	$M_{DE}$	-39.9447	-39.9447	-39.94	0%
10	$M_{HI}$	-90.554	-90.554	-90.55	0%
	$M_{IH}$	-156.8886	-156.8886	-156.89	0%
11	$M_{CD}$	-141.7974	-141.7974	-141.80	0%
	$M_{DC}$	257.8561	257.8561	257.86	0%
12	$M_{DI}$	-217.8561	-217.8561	-217.86	0%
	$M_{ID}$	156.8886	156.8886	156.89	0%

Dari perbandingan hasil perhitungan kedua struktur portal diatas didapat bahwa ketiga metode perhitungan, baik metode Putaran Sudut, metode Matriks, dan program SAP2000 memberikan hasil perhitungan berupa momen ujung yang sama. Walaupun memberikan hasil perhitungan yang sama, masing-masing metode tentu memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam pengoperasiannya. Berikut ini adalah hasil perbandingan kelebihan dan kekurangan dari metode Putaran Sudut, Matriks dan Program SAP 2000.



**Tabel 3.** Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Metode Putaran Sudut, Matriks dan Program SAP2000

No.	Metode Perhitungan	Kelebihan	Kekurangan
1	Metode Putaran Sudut	Hasil perhitungan yang lebih terkontrol karena dijalankan dengan perhitungan manual untuk masing-masing persamaan sehingga lebih menjamin keakuratannya Susunan persamaan bisa diselesaikan dengan matriks sehingga penyelesaian perhitungan sekali jalan dan tidak perlu berulang-ulang untuk masing-masing goyangan	Dibutuhkan ketelitian yang tinggi dalam perhitungannya terutama dalam pengoperasian matematika
2	Metode Matriks	Keakuratannya tidak diragukan lagi karena transparansi perhitungan dimana tahapan analisisnya tampil pada setiap <i>sheet</i> yang dapat diperiksa kesesuaiannya dengan teori sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan	Penginputan data yang panjang dan berulang-ulang untuk matriks masing-masing elemen batang sehingga berpotensi kesalahan data, terlebih untuk struktur yang lebih kompleks
3	Program SAP2000	Proses input data yang mudah dan cepat sehingga sangat mempercepat waktu perencanaan	Output program kurang terkontrol apakah hasil yang diberikan betul atau salah jika kurang pemahaman dasar perhitungan struktur secara manual Perlu menjamin keaslian program agar hasil yang diberikan tepat

## 5. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang ada, didapat kesimpulan bahwa perbandingan hasil perhitungan berupa momen ujung dengan menggunakan metode Putaran Sudut, metode Matriks, dan program SAP2000 yang diterapkan pada dua model struktur portal 2D yaitu struktur portal 1 dan struktur portal 2 memberikan hasil perhitungan yang sama dengan beberapa kelebihan dan kekurangan masing-masing metode dalam perhitungan atau pengoperasiannya.

## 6. SARAN

Dari penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Untuk penelitian lebih lanjut diharapkan metode-metode perhitungan struktur dapat diaplikasikan pada model struktur/portal yang lebih kompleks dan beragam, dengan penyesuaian pembebanan, sehingga hasil perbandingan lebih mendekati kebanyakan perencanaan teknis yang nyata.
2. Pada dasarnya, semua metode perhitungan struktur, baik menggunakan metode Putaran Sudut, metode Matriks, program SAP200, dan lain-lain, manual ataupun menggunakan

program, memiliki konsep yang sama, hanya saja dibutuhkan ketelitian yang tinggi dalam perhitungan dan pengoperasiannya agar didapatkan hasil yang tepat.

3. Program hanyalah *tool*, dibutuhkan pemahaman dan pengetahuan teori mengenai perhitungan struktur secara manual yang merupakan dasar dari pengoperasian program, sebagai kontrol ketepatan hasil/*output* program. Karena resiko kesalahan dapat dihindari apabila pengguna memahami apa yang dilakukannya, terlebih mengenai perilaku struktur (gaya dan deformasi) sehingga sepenuhnya tidak tergantung dengan program komputer.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supartono dan Boen, Teddy. 1980. *Analisa Struktur Dengan Metode Matrix*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- [2] Sanusi, H. 2013. *Jurnal Perencanaan Struktur Portal Beton Bertulang*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta. <[http://eprints.ums.ac.id/23952/2/02\\_BAB\\_I.pdf](http://eprints.ums.ac.id/23952/2/02_BAB_I.pdf)> Dilihat : 15 Maret 2018.
- [3] Malik . 2014. Tugas Akhir Perencanaan Struktur Atas. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta. <<http://eprints.ums.ac.id/32185/4/04.BAB%201%20PENDAHULUAN.pdf>> Dilihat : 15 Maret 2018.
- [4] Ghali, A. dan Neville, A.M. 1985. *Structural Analysis (Analisa Struktur Gabungan Metode Klasik dan Metode Matriks)* Edisi Kedua, diterjemahkan oleh MSCE, Wira. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [5] Liong, The Houw. 1984. *Teori dan Analisis Struktur Edisi Kedua*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [6] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. “Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)”. Bandung.
- [7] Mamahani, Andika. 2016. Perhitungan Struktur Portal Menggunakan Metode Putaran Sudut, Distribusi Momen (Cross) Dan Dibandingkan Dengan Program Sap2000 V.14 Serta Metode Pelaksanaan Pekerjaan Pada Pembangunan Pasar Ratahan, Tugas Akhir, Program Studi D-IV Konstruksi Bangunan Gedung Jurusan Teknik Sipil. Manado : Politeknik Negeri Manado.
- [8] Dipohusodo, Istimawan. 2001. *Analisis Struktur Jilid 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [9] Suhendro, Bambang. 2000. *Analisis Struktur Metode Matrix*. Yogyakarta : Beta Offset 2005.
- [10] Harahap, John. 2016. *Analisis Struktur Rangka Cara Kekakuan Sebagai Alat Bantu Alternatif Dalam Perhitungan Struktur*, Tesis Magister Teknik, Program Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi. Manado : Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [11] Wahana. 2010. *Analisis Struktur Bangunan dan Gedung dengan SAP 2000 versi 14*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- [12] Dewobroto, Wiryanto. 2007. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.