

ANALISIS PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN METODE *CROSS* DAN METODE KEKAKUAN PADA PORTAL EKUIVALEN

Umar SUNA^{1*}, Kasmah Saleh NUR¹, Rahmani KADARNINGSIH¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

*Email korespondensi: umarsuna1@gmail.com

[diterima: 23 Mei 2022, disetujui: 04 Juli 2022]

ABSTRACT

The calculation method in planning the structure of a building has the same concept. As an engineer in planning a building structure, he is faced with the problem of determining the method to be used, resulting in an effective, efficient, and safe structural calculation. Comparative analysis between the Cross method and the stiffness method was carried out in order to provide an overview of the differences in the results of the two methods on symmetrical and asymmetrical structures. This research was conducted on an equivalent portal with 3 variations of the span with the load used is the gravity load. The analysis was carried out using the stiffness method and the Cross method on each portal. The results of the two methods on each portal are compared. In the results of the analysis carried out, the results of the symmetrical equivalent portal stiffness method are greater than the Cross method on the exterior structure and the Cross method the results are greater than the stiffness method on the interior structure. in the asymmetrical equivalent portal, the comparison is almost the same as the symmetrical equivalent portal, but there are differences in the interior column, namely in the CG and GK elements where in the second portal the Cross method moment is much greater up to 152.9% in the CG element and 75.1% in the GK element. The GK element is compared to the stiffness method, while on the 3rd frame, the moment of the stiffness method is much greater up to 332.76% for the CG element and 247.79% for the GK element compared to the Cross method.

Key words: Stiffness Method, Cross Method, Moment Force, Comparison.

INTISARI

Metode perhitungan dalam perencanaan struktur sebuah bangunan memiliki konsep yang sama. Sebagai *engineer* dalam merencanakan struktur bangunan dihadapkan pada permasalahan dalam menentukan metode yang akan digunakan, sehingga menghasilkan perhitungan struktur yang efektif, efisien, dan aman. Analisis perbandingan antara metode *Cross* dan metode kekakuan dilakukan agar dapat memberikan gambaran perbedaan hasil kedua metode pada struktur simetris dan tidak simetris. Penelitian ini dilakukan pada portal ekuivalen dengan 3 variasi bentang dengan beban yang digunakan adalah beban gravitasi. Analisis dilakukan menggunakan metode kekakuan dan metode *Cross* pada setiap portal. Hasil dari kedua metode pada masing-masing portal dilihat perbandingannya. Dalam hasil analisis yang dilakukan, pada portal ekuivalen yang simetris metode kekakuan hasilnya lebih besar dari metode *Cross* pada struktur eksterior dan metode *Cross* hasilnya lebih besar dari metode kekakuan pada struktur interior. pada portal ekuivalen yang tidak simetris perbandingannya hampir sama dengan portal ekuivalen yang simetris tetapi terdapat perbedaan pada kolom interior yaitu pada elemen CG dan GK dimana pada portal 2 momen metode *Cross* jauh lebih besar hingga 152,9% pada elemen CG dan 75,1% pada elemen GK dibanding metode kekakuan sedangkan pada portal 3 momen dari metode kekakuan jauh lebih besar hingga 332,76% pada elemen CG dan 247,79% pada elemen GK dibanding metode *Cross*.

Kata kunci: Metode Kekakuan, Metode *Cross*, Gaya Momen, Perbandingan.

PENDAHULUAN

Sebuah bangunan harus memiliki struktur yang mampu menahan beban yang diberikan pada struktur tersebut secara aman dan efisien. Elemen-elemen struktur yang terdapat dalam bangunan seperti kolom, balok, dan rangka batang harus direncanakan menjadi struktur yang aman untuk menahan semua beban rencana.

Dalam perencanaan struktur bangunan memiliki banyak metode seperti metode kekakuan, slope deflection, metode Cross, dan lain-lain. Beberapa metode tersebut ada yang digunakan pada program komputer yang diharapkan akan lebih memudahkan dalam menganalisis struktur. Beberapa contoh program komputer yang digunakan dalam perencanaan struktur yaitu aplikasi SAP 2000, Etabs, dan aplikasi lainnya yang saat ini banyak digunakan.

Metode perhitungan dalam perencanaan struktur sebuah bangunan memiliki konsep yang sama, baik perhitungan yang dilakukan secara manual maupun dengan program komputer. Cara manual sangat diperlukan sebagai dasar berpikir dalam menyelesaikan masalah perhitungan sebuah rancangan, karena pada cara manual dapat dengan mudah dikontrol setiap tahap perhitungannya tetapi jika digunakan dalam merencanakan suatu struktur yang rumit memerlukan waktu yang lama sedangkan menggunakan program komputer sangat mudah dalam menghitung struktur yang rumit karena semuanya sudah dihitung otomatis oleh program tetapi perhitungannya sulit untuk dikontrol. Sebagai engineer dalam merencanakan struktur bangunan dihadapkan pada permasalahan dalam menentukan metode yang akan digunakan, sehingga menghasilkan perhitungan struktur yang efektif, efisien, dan aman.

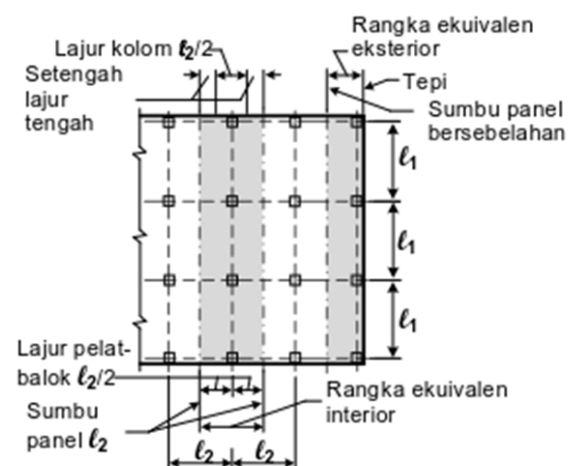
Berdasarkan permasalahan tersebut dilakukan analisis perbandingan antara metode Cross dan metode kekakuan. Analisis ini dilakukan untuk membandingkan hasil

momen metode *Cross* dan metode kekakuan pada portal yang simetris serta portal yang tidak simetris.

Beberapa penelitian terdahulu yang ada kaitannya dengan judul penelitian ini yaitu Desharyanto, (2015), Wijaya & Itang, (2013), Ramdhan et al, (2015), Harahap et al, (2016), Palallo et al, (2019), Frapanti, (2018), Manubulu et al, (2022), Wijaya & Itang, (2014), Munawir & Rismaliza, (2019), Ardiansyah et al, (2018), Virgin (2015), Mardiana & Darma, (2013), Rahmani et al, (2020),

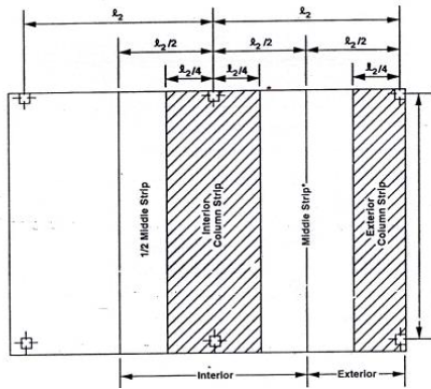
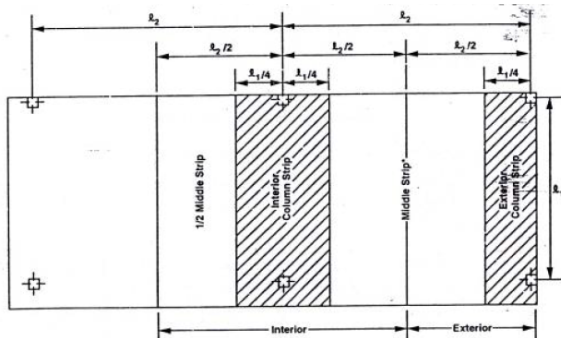
Rangka Ekuivalen

Bangunan tiga dimensi dibagi menjadi serangkaian rangka ekuivalen dua dimensi berpusat pada kolom atau tengah tumpuan dengan setiap rangka yang diteruskan sepanjang ketinggian bangunan. Lebar setiap rangka ekuivalen dibatasi oleh garis tengah dari panel yang bersebelahan. Analisis lengkap dari sistem pelat untuk suatu bangunan terdiri dari menganalisis serangkaian rangka (interior dan eksterior) yang mencakup longitudinal dan transversal bangunan, (SNI 2847:2019). Penerapan rangka ekuivalen pada suatu struktur seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Definisi Rangka Ekuivalen (SNI 2847:2019)

Untuk lebar lajur kolom dan lajur tengah berdasarkan panjang L_1 dan L_2 seperti ditunjukkan pada gambar 2 dan 3.

Gambar 2. Lajur Kolom untuk $L2 \leq L1$ Gambar 3. Lajur Kolom untuk $L2 > L1$

Analisis Kekakuan Rangka Ekuivalen

1. Kekakuan Kolom

Dalam menghitung kekakuan kolom dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$K_C = \frac{K_{AB} E_C I_C}{H} \quad (1)$$

dengan:

- K_C : kekakuan kolom,
- K_{AB} : faktor kekakuan untuk kolom,
- E_C : modulus elastisitas beton,
- I_C : inersia kolom,
- H : tinggi kolom,
- nilai K_{AB} diperoleh dari tabel 1.

Tabel 1. Stiffnes and Carry-Over Factors for Columns (ACI 318-02)

ta/tb	H/HC	1,05	1,10	1,15	1,20
0,00	k_{AB}	4,20	4,40	4,60	4,80
	C_{AB}	0,57	0,65	0,73	0,80
0,2	k_{AB}	4,31	4,62	4,95	5,30
	C_{AB}	0,56	0,62	0,68	0,74
0,4	k_{AB}	4,38	4,79	5,22	5,67
	C_{AB}	0,55	0,60	0,65	0,70
0,6	k_{AB}	4,44	4,91	5,42	5,96

ta/tb	H/HC	1,05	1,10	1,15	1,20
0,8	C_{AB}	0,55	0,59	0,63	0,67
	k_{AB}	4,49	5,01	5,58	6,19
1,0	C_{AB}	0,54	0,58	0,61	0,64
	k_{AB}	4,52	5,09	5,71	6,38
1,2	C_{AB}	0,54	0,57	0,60	0,62
	k_{AB}	4,55	5,16	5,82	6,54
1,4	C_{AB}	0,53	0,56	0,59	0,61
	k_{AB}	4,58	5,21	5,91	6,68
1,6	C_{AB}	0,53	0,55	0,58	0,60
	k_{AB}	4,60	5,26	5,99	6,79
	C_{AB}	0,53	0,55	0,57	0,59

2. Kekakuan Balok-Pelat

Dalam menghitung kekakuan balok pelat dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$K_{sb} = \frac{K_{NF} E_C I_{sb}}{L_1} \quad (2)$$

dengan:

- K_{sb} : kekakuan balok pelat,
- K_{NF} : faktor kekakuan untuk balok pelat,
- E_C : modulus elastisitas beton,
- I_{sb} : inersia balok pelat,
- L_1 : panjang balok pelat arah tinjauan,
- nilai K_{NF} diperoleh dari tabel 2.

Tabel 2. Moment Distribution Contants for Slab-Beam Members (ACI 318-02)

C_{N1}/L_1	C_{N2}/L_2	Stiffnes Factors K_{NF}	Carry Over Factors C_{NF}	Unit Load Fixed end M Coef. (M_{NF})
$C_{F1} = C_{N1} ; C_{F2} = C_{N2}$				
0,00	-	4,00	0,50	0,0833
0,10	0,00	4,00	0,50	0,0833
	0,10	4,18	0,51	0,0847
	0,20	4,36	0,52	0,0860
	0,30	4,53	0,54	0,0872
	0,40	4,70	0,55	0,0882
0,20	0,00	4,00	0,50	0,0833
	0,10	4,35	0,52	0,0857
	0,20	4,72	0,54	0,0880
	0,30	5,11	0,56	0,0901
	0,40	5,51	0,58	0,921

C_{N1}/L_1	C_{N2}/L_2	Stiffness Factors K_{NF}	Carry Over Factors C_{NF}	Unit Load Fixed end M Coef. (M_{NF})
	0,00	4,00	0,50	0,0833
	0,10	4,49	0,53	0,0863
0,30	0,20	5,05	0,56	0,0893
	0,30	5,69	0,59	0,0923
	0,40	6,41	0,61	0,0951

3. Kekakuan Torsi dan Kolom Ekuivalen

a. Komponen torsi

Perhitungan kekakuan elemen torsi memerlukan beberapa asumsi penyederhanaan. Jika tidak ada balok merangka ke kolom, proporsi dari pelat sama dengan lebar kolom atau kapital diasumsikan menjadi elemen torsi. Jika sebuah balok merangka ke kolom, diasumsikan sebagai balok-L atau balok-T, dengan flens membentang dari muka balok dengan jarak yang sama dengan balok di atas atau di bawah pelat tetapi tidak lebih dari empat kali ketebalan pelat (SNI 2847:2019).

Kekakuan torsi dari komponen struktur puntir dihitung dengan persamaan:

$$K_t = \Sigma \frac{9EC}{L_2 \left(1 - \frac{c_2}{L_2}\right)^3} \quad (3)$$

dengan:

K_t : kekakuan torsi,

E : modulus elastisitas beton,

c_2 : lebar kolom yang tegak lurus dengan arah tinjauan

L_2 : lebar pelat yang tegak lurus dengan arah tinjauan

C : momen inersia puntir balok penahan puntir

Nilai C diperoleh dari persamaan:

$$C = \Sigma \left(1 - 0,63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} \quad (4)$$

dengan:

x : dimensi yang lebih pendek dari bagian persegi suatu penampang,

y : dimensi yang lebih panjang dari bagian persegi suatu penampang.

Bila terdapat balok yang merangka kepada kolom dalam arah bentang yang sedang ditinjau momennya, harga K_t yang dihitung dengan persamaan di atas harus dikalikan dengan rasio momen inersia pelat dengan balok terhadap momen inersia plat tanpa balok tersebut

$$K_t^* = K_t \frac{I_{bp}}{I_p} \quad (5)$$

dengan:

I_{bp} : inersia balok pelat,

I_p : inersia pelat.

b. Kolom ekuivalen

kolom ekuivalen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_C \Sigma K_t^*}{\Sigma K_C + \Sigma K_t^*} \quad (6)$$

dengan:

K_{ec} : kolom ekuivalen,

K_C : kekakuan kolom,

K_t^* : kekakuan torsi.

Metode Cross

Dalam bidang rekayasa teknik sipil banyak ragam cara yang digunakan untuk penyelesaian mekanika teknik, salah satunya adalah metode *Cross* yang dikemukakan oleh Prof. Hardy Cross pada tahun 1930-an dan dipandang sebagai salah satu sumbangsih terpenting yang pernah diberikan kepada analisa struktur balok kontinu dan kerangka kaku. Pada hakekatnya metode ini merupakan suatu cara untuk menyelesaikan persamaan-persamaan simultan di dalam metode ubahan sudut dengan pendekatan berturut-turut, dengan derajat ketelitian berapapun (Deshariyanto, 2015).

Dalam metode *Cross* (*distribusi moment*) terdapat beberapa pengertian sebagai berikut:

1. Faktor pemindah/koefisien induksi (*carry over factor*)
2. Suatu faktor pemindah terhadap perataan momen pada satu titik untuk mendapatkan momen pada ujung titik lainnya.

3. Faktor distribusi (*distribution factor*)
4. Perbandingan besaran momen yang terdistribusi pada batang-batang yang bertemu di satu titik atau koefisien distribusi untuk besaran momen-momen yang diterima batang-batang yang bertemu pada satu titik percabangan.
5. Faktor kekakuan (*stiffness factor*)
6. suatu faktor pengali yang didapat dari kekakuan balok untuk menentukan besarnya momen di satu titik yang diperlukan untuk berputar sudut dititik tersebut sebesar satu radial.
7. Momen primer (*fixed end moment*)
8. Besaran momen pada ujung balok akibat beban luar dan akibat pergoyangan.

Metode Kekakuan

Metode kekakuan ini sebenarnya bukan merupakan cara analisa yang baru karena sebenarnya metode ini sudah dikenal sejak tahun 1880. Tapi memang metode ini baru menjadi berkembang pesat dan disukai orang seiring dengan kemajuan pesat dari penggunaan komputer elektronik otomatis. yang ternyata sangat memudahkan operasi-operasi matematikanya (Supartono dan Boen, 1980).

Sebelum melakukan analisis menggunakan metode kekakuan terlebih dahulu dilakukan perhitungan dimensi penampang struktur berdasarkan inersia akibat kekakuan dengan persamaan:

$$I = \frac{b h^3}{12} \quad (7)$$

Untuk kolom $b = h$, maka:

$$b = h = \sqrt[4]{I 12} \quad (8)$$

Untuk balok $b = 0,35$, maka:

$$h = \sqrt[3]{\frac{I 12}{0,35}} \quad (9)$$

untuk luasan penampang yang digunakan pada saat analisis adalah luas penampang ekuivalen yang didapatkan dari perhitungan inersia ekuivalen.

Analisis kekakuan dilakukan dengan mencari beberapa nilai matriks terlebih dahulu kemudian dilakukan analisis

1. Matriks Kekakuan Elemen
2. Transformasi Matriks Perpindahan dan Gaya
3. Matriks Kekakuan Global

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah untuk mencari teori-teori, konsep-konsep, dan hasil penelitian terdahulu atau yang terkait yang relevan dengan permasalahan penelitian, berupa buku, jurnal, artikel, dan situs-situs internet yang bertujuan untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam penelitian.

2. Data Teknis

Dalam penelitian ini beban yang digunakan adalah beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) yang terbagi rata di sepanjang balok, pada balok dan kolom menggunakan mutu beton yang sama yaitu $f'_c = 30$ MPa dengan ukuran balok adalah lebar 35 cm dan tinggi 50 cm, ukuran kolom yaitu 40 cm x 40 cm dan untuk dimensi portal ekuivalen yang akan digunakan.

3. Analisis Portal Ekuivalen pada *Microsoft Excel*

Sebelum melakukan analisis struktur menggunakan metode kekakuan dan metode *Cross* maka perlu dilakukan perhitungan berikut untuk mendefinisikan portal yang akan di analisis:

- a. Menghitung kekakuan kolom
- b. Menghitung kekakuan balok pelat
- c. Menghitung kekakuan torsi
- d. Menghitung kolom ekuivalen
- e. Menghitung inersia akibat kekakuan

Setelah Melakukan analisis portal ekuivalen kemudian dilakukan analisis menggunakan kedua metode

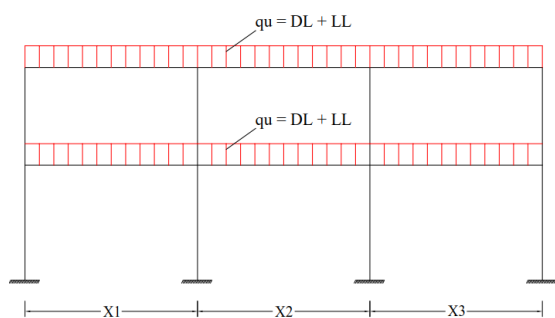
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Portal Ekuivalen

Struktur yang ditinjau dalam penelitian adalah portal ekuivalen dengan variasi ukuran bentang untuk arah memanjang (L1), data struktur bangunan yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, bentuk portal yang dianalisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, dan variasi bentangan pada Tabel 4.

Tabel 3. Data Struktur Bangunan

Data	Simbol	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c'	30	Mpa
Kuat leleh baja	F_y	420	Mpa
Modulus Elastisitas Beton	E	25743	Mpa
Beban Hidup	LL	2,5	kN/m ²
Dimensi Balok Arah X	B	0,35	M
	H	0,5	M
Dimensi Balok Arah Y	B	0,35	M
	H	0,5	M
Dimensi Kolom	B	0,4	M
	H	0,4	M
Tinggi tingkat 1	H_1	4	M
Tinggi tingkat 2	H_2	3,4	M
Tebal Plat	T_f	0,15	M



Gambar 5. Bentuk Portal

Tabel 4. Variasi Bentangan

Portal	Bentang			Arah Y (m)
	Arah X (m)			
	X ₁	X ₂	X ₃	
1	6	6	6	6
2	6	5,5	5,5	6
3	6	5,5	5	6

Hasil Perbandingan Metode *Cross* Dan Metode Kekakuan

Setelah perhitungan semua portal dilakukan dengan menggunakan kedua metode selanjutnya membuat perbandingan yaitu membandingkan hasil perhitungan gaya-gaya dalam menggunakan metode *Cross* terhadap metode kekakuan, dalam perbandingan hanya membandingkan hasil yang langsung didapat dari ke-dua metode yaitu gaya momen.

1. Portal 1

Tabel 5. Perbandingan Gaya Momen Portal 1

Elemen	Gaya Dalam	Metode <i>Cross</i>	Metode Kekakuan
AE	qNz'	-22,48	-24,74
	qFz'	-43,84	-48,25
EI	qNz'	-82,23	-84,78
	qFz'	-79,05	-83,44
IJ	qNz'	79,05	83,44
	qFz'	-187,97	-179,66
EF	qNz'	126,07	133,03
	qFz'	-254,93	-246,20
BF	qNz'	4,16	2,59
	qFz'	8,11	5,56
FJ	qNz'	16,16	12,48
	qFz'	16,46	12,03
JK	qNz'	171,51	167,63
	qFz'	-171,51	-167,63
FG	qNz'	230,65	228,16
	qFz'	-230,65	-228,16
CG	qNz'	-4,16	-2,59
	qFz'	-8,11	-5,56

Elemen	Gaya Dalam	Metode Cross	Metode Kekakuan
GK	qNz'	-16,16	-12,48
	qFz'	-16,46	-12,03
KL	qNz'	187,97	179,66
	qFz'	-79,05	-83,44
GH	qNz'	254,93	246,20
	qFz'	-126,07	-133,03
DH	qNz'	22,48	24,74
	qFz'	43,84	48,25
HL	qNz'	82,23	84,78
	qFz'	79,05	83,44

2. Portal 2

Tabel 6. Perbandingan Gaya Momen Portal 2

Elemen	Gaya Dalam	Metode Cross	Metode Kekakuan
AE	qNz'	-22,17	-24,05
	qFz'	-44,37	-48,34
EI	qNz'	-82,51	-84,88
	qFz'	-79,23	-83,32
IJ	qNz'	79,23	83,32
	qFz'	-	-
EF	qNz'	126,89	133,22
	qFz'	-	-
BF	qNz'	7,52	6,25
	qFz'	13,50	11,37
FJ	qNz'	26,75	23,18
	qFz'	26,52	22,33
JK	qNz'	155,56	151,64
	qFz'	-	-
FG	qNz'	206,94	204,52
	qFz'	-	-
CG	qNz'	-2,99	-1,18
	qFz'	-6,98	-4,05
GK	qNz'	-13,07	-8,34
	qFz'	-13,17	-7,53
KL	qNz'	154,97	146,28
	qFz'	-66,03	-68,75
GH	qNz'	211,17	202,28

Elemen	Gaya Dalam	Metode Cross	Metode Kekakuan
DH	qFz'	-	-
	qNz'	104,98	109,04
HL	qNz'	19,20	20,77
	qFz'	36,29	39,23
HL	qNz'	68,69	69,81
	qFz'	66,03	68,75

3. Portal 3

Tabel 7. Perbandingan Gaya Momen Portal 3

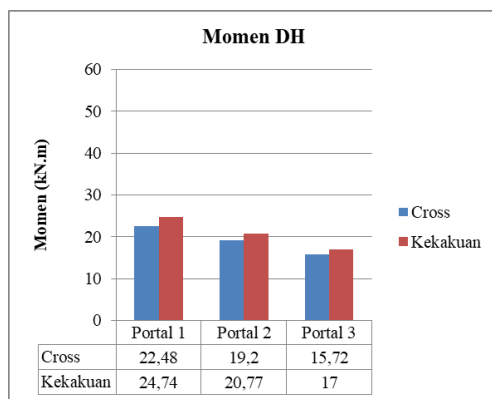
Elemen	Gaya Dalam	Metode Cross	Metode Kekakuan
AE	qNz'	-21,34	-23,16
	qFz'	-43,75	-47,68
EI	qNz'	-80,64	-83,46
	qFz'	-77,24	-81,82
IJ	qNz'	77,24	81,82
	qFz'	-185,08	-
EF	qNz'	124,39	131,14
	qFz'	-250,58	-
BF	qNz'	7,97	6,86
	qFz'	13,36	11,46
FJ	qNz'	27,09	23,60
	qFz'	26,89	22,86
JK	qNz'	158,19	153,25
	qFz'	-132,24	-
FG	qNz'	210,13	206,74
	qFz'	-180,19	-
CG	qNz'	0,58	2,51
	qFz'	-1,05	2,22
GK	qNz'	-1,31	3,93
	qFz'	-1,76	4,61
KL	qNz'	134,00	124,32
	qFz'	-52,42	-54,88
GH	qNz'	182,54	172,83
	qFz'	-83,07	-86,20
DH	qNz'	15,72	17,00
	qFz'	28,50	30,79
HL	qN/z'	54,56	55,40
	qFz'	52,42	54,88

Berdasarkan hasil perbandingan di atas diperoleh bahwa perhitungan kedua metode memiliki perbedaan dimana hasil tersebut dipengaruhi oleh cara kerja kedua metode dimana metode *Cross* menggunakan keseimbangan titik simpul sedangkan metode kekakuan menggunakan keseimbangan titik simpul dan keseimbangan struktur.

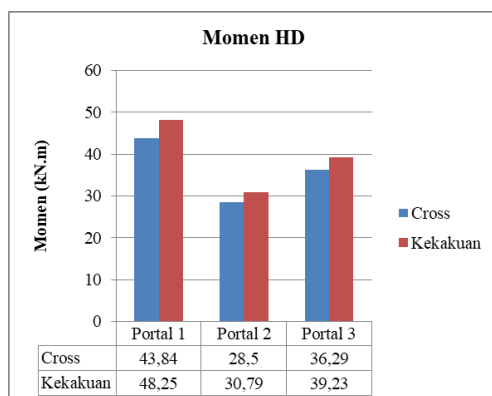
Grafik Perbandingan Momen

Untuk perbandingan gaya momen pada ke tiga portal dapat dengan jelas dilihat pada grafik dibawah ini tetapi yang dimasukan kedalam grafik adalah elemen-elemen yang memiliki perbedaan yang besar dan dapat mewakili elemen yang lain yang hasilnya hampir sama.

1. Elemen DH

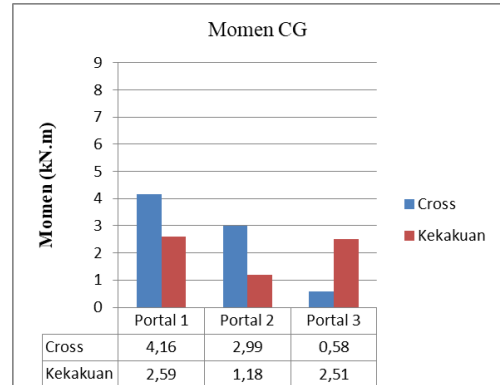


Gambar 6. Grafik Perbandingan Momen DH

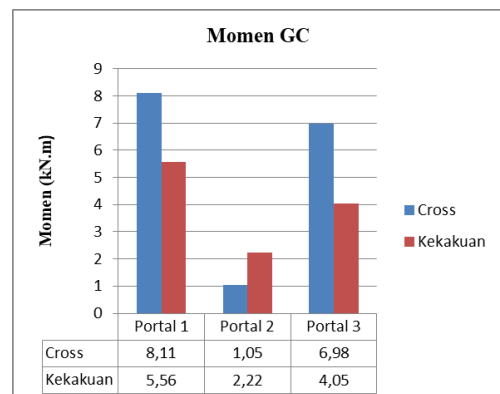


Gambar 7. Grafik Perbandingan Momen HD

2. Elemen CG

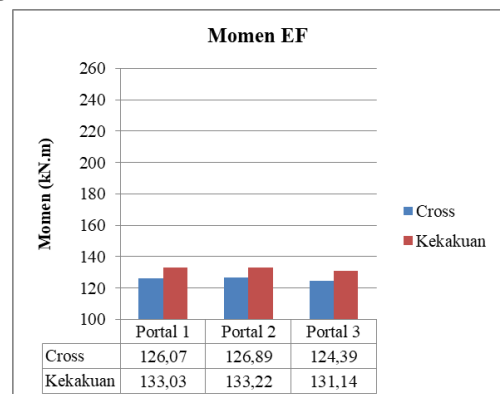


Gambar 8. Grafik Perbandingan Momen CG

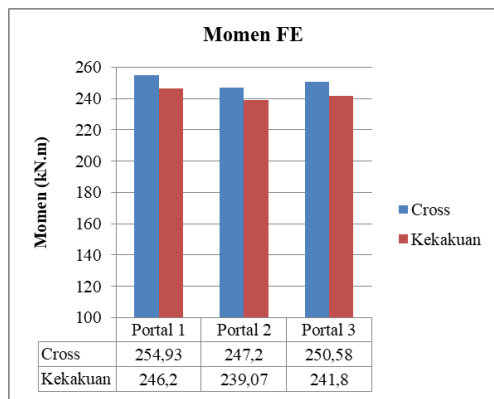


Gambar 9. Grafik Perbandingan Momen GC

3. Elemen EF

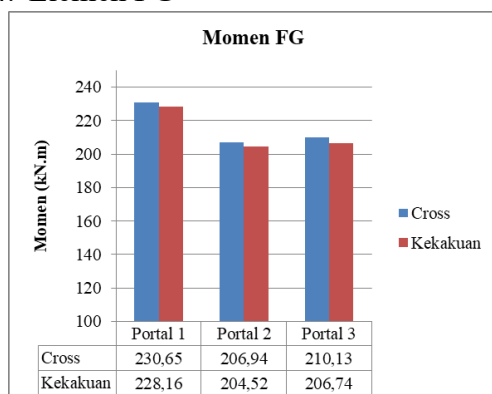


Gambar10. Grafik Perbandingan Momen EF

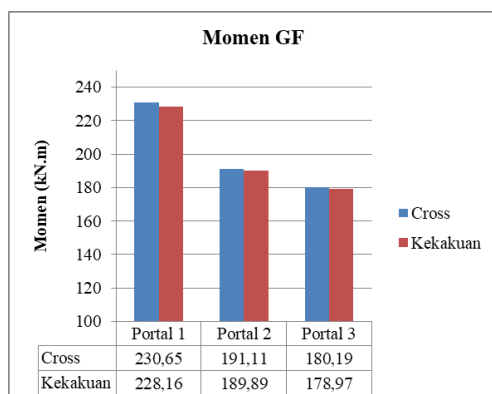


Gambar 11. Grafik Perbandingan Momen FE

4. Elemen FG

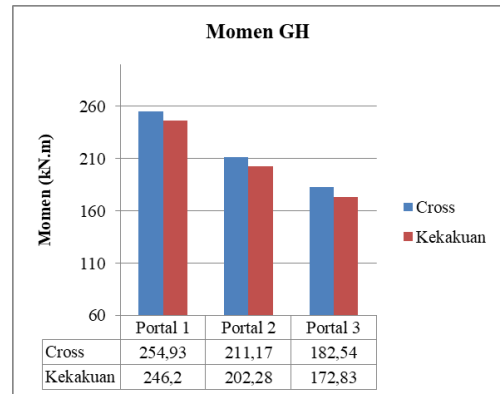


Gambar 12. Grafik Perbandingan Momen FG

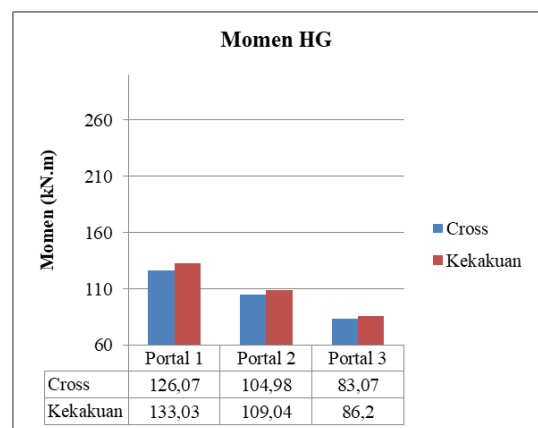


Gambar 13. Grafik Perbandingan Momen GF

5. Elemen GH



Gambar 14. Grafik Perbandingan Momen GH



Gambar 15. Grafik Perbandingan Momen HG

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis metode Cross dan metode kekakuan serta referensi yang mendukung penyusunan penelitian, variasi bentangan pada portal ekuivalen memberikan pengaruh pada perbandingan gaya-gaya dalam ke-dua metode tersebut. Beberapa kesimpulan dari hasil analisis pada penelitian ini sebagai berikut:

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada portal 1 (Simetris) didapat hasil yang berbeda yaitu metode kekakuan pada kolom eksterior lebih besar 10,05% dari metode Cross, untuk kolom interior metode Cross memiliki hasil yang lebih besar 60,72% dari metode kekakuan. Pada balok perbedaannya tidak sebesar yang terjadi pada kolom dimana metode kekakuan yang lebih besar 5,55% dibanding metode Cross pada

elemen IJ dan elemen KL sedangkan pada elemen JK metode Cross lebih besar 2,31%.

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada portal ekuivalen yang tidak simetris yaitu pada portal 2 dan portal 3 memiliki hasil yang berbeda, secara keseluruhan perbedaannya hampir sama dengan yang terjadi pada struktur yang simetris hanya terdapat beberapa elemen yang perbedaannya besar yaitu pada elemen CG dan elemen GK dimana pada portal 2 hasil momen dari metode Cross jauh lebih besar 152,90% terdapat pada elemen CG dan 75,10% pada elemen GK dibanding metode kekakuan, sedangkan pada portal 3 hasil momen dari metode kekakuan jauh lebih besar 332,76% pada elemen CG dan 247,79% pada elemen GK dibanding metode Cross, selisih yang terjadi juga dipengaruhi oleh prinsip kedua metode yang berbeda tetapi persentase perbandingan yang besar hanya terjadi pada gaya momen yang nilainya kecil.

Pemahaman yang baik untuk menggunakan metode *Cross* dan metode kekakuan pada struktur portal ekuivalen sangat diperlukan, sehingga akan didapatkan perbandingan yang lebih akurat. Beberapa saran dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Perhitungan perlu dilakukan variasi pada tinggi kolom.
2. Perlu dilakukan peninjauan pada bentuk portal yang berbeda.

REFERENSI

- ACI 318-02. (n.d.). *Requirements For Struktural Concrete And Commentary*.
- Ardiyansyah, Nurmiati, & Setiawan, A. M. (2018). Analisis Struktur Metode Cross Menggunakan Microsoft Visual Basic. *Journal Of Civil Engineering*.
- Deshariyanto, D. (2015). Perbandingan Gaya Dalam Metode Manual dan Program. *Media Informasi Teknik Sipil UNIJA*, 3(1), 39 - 44.
- Frapanti, S. (2018). Studi Perhitungan Kekakuan Portal Dinding Bata Pada Bangunan Bertingkat Dari Beberapa Negara Dengan Pushover. *Jurnal Education Building*, 1-10.
- Harahap, J. T., Sumajouw, M. D., & Wallah, S. E. (2016). Analisis Struktur Rangka Cara Kekakuan Sebagai Alat Bantu Alternatif Dalam Perhitungan Struktur. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 529-534.
- Manubulu, C. C., Mooy, M., & Serra, I. S. (2022). Analisis Rangka Batang 2D Menggunakan Metode Matriks Kekakuan Struktur Dan SAP 2000. *ETERNITAS Jurnal Teknik Sipil*.
- Mardiana, M., & Darma, E. (2013). Analisis Deformasi Balok Induk Mesjid Kampus Universitas Islam 45 Bekasi Dengan Metode Matriks Kekakuan. *BENTANG*.
- Munawir, & Rismaliza. (2019). Pengaruh Jumlah Siklus Terhadap Keakuratan Hasil Perhitungan Struktur Menggunakan Metode Cross. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Palallo, F., Sumajouw, M. D., & Windah, R. s. (2019). Perhitungan Nilai Koefisien Momen Lentur Dengan Metode Kekakuan Pada Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*, 1107-1116.
- Rahmani, T., Wibowo, H., & Sofia, D. (2020). *Perhitungan Momen Maksimum Dan Kekakuan Batang Pada Gedung Kelurahan Cisarua Kota Sukabumi Menggunakan Metode Takabeya*. Politeknik Sukabumi.
- Ramadhan, R., Djauhari, Z., & Kurniawandy, A. (2015). Analisis Perbandingan Metode Westergrand Terhadap Metode Desain Langsung dan Metode Portal Ekuivalen Pada Flat-Plate. *JOM FTEKNIK*.
- Virgin, S., Soekresno, F., Tjong, W. F., & Liliana. (n.d.). *Pengembangan Website Untuk Pembelajaran Analisis Struktur Rangka Dengan Metode KekakuanLangsung*.
- Wijaya, J., & Itang, F. (2013). Penggunaan Metode Cross Pada Balok Dengan

- Kekakuan Tidak Merata. *Kajian Teknologi*, 9(3), 167 - 178.
- Wijaya, J., & Itang, F. (2014). Penggunaan Metode Slope Deflection Pada Struktur Tak Tentu Dengan Kekakuan Yang Tidak Merata Dalam Satu Balok. *Jurnal Kajian Teknologi*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2019. *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan penjelasan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.