

ANALISA PERBANDINGAN PERHITUNGAN METODE CROSS DENGAN METODE TAKABEYA

Johan Oberlyn Simanjuntak¹, Luki Hariando Purba², Jesaya Laswin Nababan³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan
email : johan.simanjuntak@uhn.ac.id¹, luki.purba@uhn.ac.id²,
jesaya.nababan@student.uhn.ac.id³

ABSTRAK

Pesatnya pembangunan yang meningkatkan kebutuhan lahan mendorong perkembangan bangunan vertikal, seperti gedung perkantoran dan rumah susun. Dalam konteks ini, analisis struktur menjadi sangat penting untuk memastikan keamanan dan stabilitas bangunan bertingkat. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode Cross dan Takabeya dalam menganalisis struktur portal bertingkat dengan beban yang sama. Fokus utama dalam penelitian ini adalah mengevaluasi perbedaan hasil perhitungan momen, gaya lintang dan gaya aksial yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil perhitungan yang diperoleh dari metode Cross dan metode Takabeya yang keduanya memberikan hasil yang konsisten. Metode Takabeya menunjukkan konvergensi yang lebih cepat mencapai konvergensi pada distribusi ke-10 sementara metode cross pada distribusi ke-16.

Kata Kunci : metode cross, metode takabeya, momen, gaya lintang, gaya aksial

ABSTRACT

The rapid development driven by increasing land demand has led to the growth of vertical buildings, such as office towers and apartment buildings. In this context, structural analysis becomes crucial to ensure the safety and stability of multi story building. This study aims to compare the Cross method and the Takabeya method in analyzing multi story portal structures under the same loading conditions. The main focus of the research is to evaluate the difference in the results of moment, shear force and axial force calculations produced by the two methods. The findings indicate that there are no significant differences between the results obtained from the Cross method and the Takabeya method, with both providing consistent outcomes. The Takabeya method shows faster convergence, achieving convergence at distribution 10 while the Cross method reaches convergence at distribution 16.

Keywords : cross method, takabeya method, moment, shear forces, axial forces

PENDAHULUAN

Bangunan bertingkat terdiri dari beberapa struktur yang harus mampu menahan beban baik beban struktural maupun lateral. Oleh karena itu, perencana dan konsultan perlu melakukan analisis gaya pada struktur bangunan terlebih dahulu untuk merencanakan pembesian secara tepat, sehingga bangunan mampu menahan beban yang bekerja dan terhindar dari retakan atau keruntuhan.

Metode distribusi momen (Hardy Cross) adalah cara untuk menyelesaikan persamaan-persamaan simultan dalam ubahan sudut dengan pendekatan bertahap dan dapat mencapai tingkat ketelitian yang diinginkan. Sedangkan metode Takabeya adalah metode perhitungan struktur

portal bertingkat yang mengabaikan deformasi akibat gaya tekan/tarik dan geser dalam, serta menganggap hubungan antara balok dan kolom sebagai hubungan kaku sempurna (monolit).

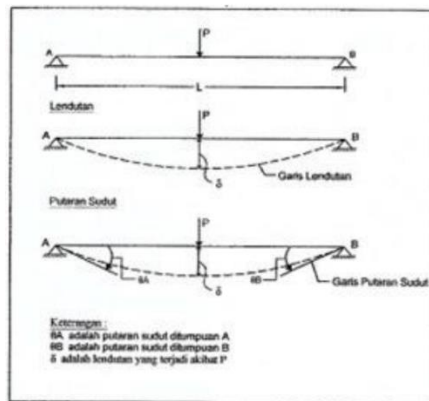
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui selisih besaran nilai momen, gaya lintang, gaya aksial pada suatu portal yang dibebani oleh beban terbagi rata dan beban terpusat menggunakan metode Cross dan metode Takabeya.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Metode Distribusi Momen (Cross)

Metode distribusi momen diperkenalkan pertama kali oleh Prof. Hardy Cross pada tahun 1930-an yang mana merupakan sumbangan penting yang pernah diberikan dalam analisis struktur balok menerus (*continous beam*) dan portal (*rigid frame*). Dalam analisis permulaan (*preliminary analyzes*) dan perancangan suatu struktur sederhana atau bagian dari suatu struktur yang besar. Metode ini merupakan metode yang sangat memuaskan untuk memudahkan dalam memberikan gambaran tentang respons struktur berupa gaya dan perubahan bentuk (*deformation*).

Metode Cross cukup efektif digunakan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan statis tak tentu, baik untuk gelagar menerus, portal, portal bertingkat banyak/gedung bertingkat (*multi frame*). Dalam hal menghitung momen pada perencanaan gedung bertingkat, metode Cross cukup banyak digunakan khususnya untuk menghitung beban-beban hidup/beban bergerak (*live loads*).

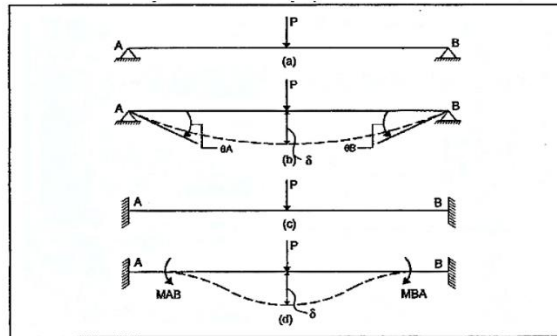


Gambar 1. Putaran sudut pada tumpuan akibat pembebanan

Sumber : *Mekanika Struktur III Metode Distribusi Momen*

Berdasarkan Gambar 1, akibat beban luar yang bekerja pada gelagar terjadi putaran sudut pada tumpuan A dan tumpuan B. Jika pada tumpuan A dan tumpuan B dipekerjakan momen pelawan (*restraint moment*) maka rotasi yang terjadi dapat dicegah atau dengan kata lain bahwa putaran sudut di tumpuan A dan tumpuan B akan menjadi lebih kecil dari rotasi yang diperkirakan semula. Momen pelawan di tumpuan A disebut M_{AB} dan momen pelawan di tumpuan B disebut M_{BA} .

Momen di tumpuan A dan di tumpuan B dipekerjakan sedemikian rupa sehingga putaran sudut di tumpuan A dan θ_A dan di tumpuan B adalah $\theta_B = 0$. Harga-harga momen ini disebut momen primer atau *fixed moment*.



Gambar 2. Putaran sudut menjadi nol akibat bekerjanya momen pelawan pada tumpuan
 Sumber : *Mekanika Struktur III Metode Distribusi Momen*

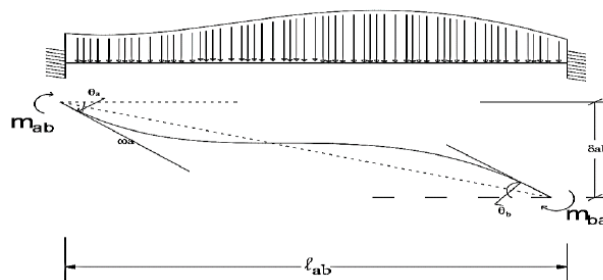
2. Metode Takabeya

Metode Takabeya merupakan metode yang paling sederhana dalam penggunaannya dalam perhitungan portal bertingkat dibandingkan dengan metode Cross dan Kani. Karena metode Takabey ini pada tiap-tiap kumpulnya hanya memerlukan satu momen persiil untuk pembesaran momen.

Pada dasarnya di dalam perhitungan konstruksi portal, perhitungan didasarkan atas anggapan-anggapan bahwa :

- Deformasi yang diakibatkan oleh gaya tekan atau tarik dan gaya geser dalam diabaikan
- Hubungan antara balok dan kolom adalah kaku sempurna

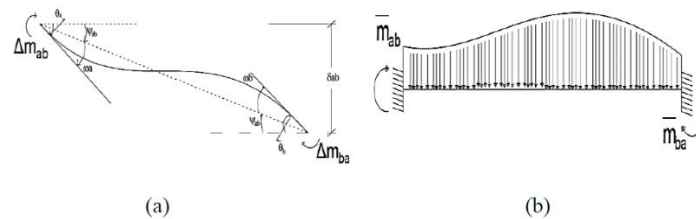
Sesuai dengan anggapan tersebut, pada titik kumpul dimana balok dan kolom berpotongan, batang-batang (balok dan kolom) ini dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan perputaran dan pergeseran sudut, dimana momen-momen lentur dari ujung-ujung batang dinyatakan sebagai fungsi dari perputaran sudut dan pergeseran sudut relatif dari satu ujung batang terhadap ujung batang yang lain.



Gambar 3. Batang a – b dengan pembebanan
 Sumber : *Soetomo HM (1981)*

Keadaan pada Gambar 3 di atas dapat diuraikan dari super posisi pada dua keadaan berikut :

$$Y_{ab} = \frac{\delta_{ab}}{t_{ab}}$$



Gambar 4. Penguraian dari batang a – b dengan pembebanan
 Sumber : Soetomo HM (1981)

Dari superposisi di atas maka dapat dituliskan sebagai berikut :

$$M_{ab} = \Delta M_{ab} + \bar{M}_{ab} \quad (1)$$

$$M_{ba} = \Delta M_{ba} + \bar{M}_{ba} \quad (2)$$

Dimana :

M_{ab} dan M_{ba} = besarnya momen akhir (*design moment*)

\bar{M}_{ab} dan \bar{M}_{ba} = besarnya momen primer (*fixed end moment*) dari keadaan ujung balok terjepit

ΔM_{ab} dan ΔM_{ba} = momen koreksi akibat adanya pergeseran titik b sejauh δ_{ab}

Catatan : perjanjian tanda untuk momen-momen adalah ditinjau terhadap ujung batang dinyatakan positif apabila searah dengan perputaran arah jarum jam dan sebaliknya

3. Analisa *Free Body*, Bidang Momen, Bidang Lintang dan Bidang Aksial

a. Analisa *Free Body*

Analisa *free body* dilakukan untuk menghitung reaksi perletakan akibat beban luar dan momen ujung pada setiap balok dan kolom. Langkah-langkahnya adalah :

- 1) Nyatakan struktur dalam bentuk batang-batang yang bebas
- 2) Hitung besarnya perletakan setiap ujung balok maupun kolom akibat beban luar dan momen ujung yang telah diperoleh
- 3) Jumlahkan semua hasil perhitungan untuk memperoleh besarnya reaksi perletakan total
- 4) Dengan langkah-langkah tersebut, hitung momen maksimum yang terjadi pada setiap balok dan kolom

b. Bidang Momen

Momen merupakan gaya dikali jarak. Momen terjadi akibat bekerjanya gaya-gaya pada suatu balok yang mengakibatkan balok tersebut akan melentur dengan demikian serat bagian terluar akan mengalami tarikan dan serat bagian dalam akan mengalami perpenehan (tekanan). Momen (M) merupakan Gaya (P) dengan satuan Kilonewton (kN) dan Jarak (L) dengan satuan meter (m), dari perkalian ini akan didapatkan satuan momen yaitu kilonewton meter (kNm).

c. Bidang Lintang

Gaya lintang (D) merupakan gaya-gaya yang akan menahan geser yang terjadi pada balok. Dalam proses penggambarannya gaya lintang ini perlu diperhatikan persyaratannya, dimana gaya lintang tersebut bernilai positif untuk gaya-gaya yang bekerja ke arah dan sebaliknya negatif apabila bekerja ke arah bawah. Gaya-gaya tersebut hanya bekerja pada satu arah yaitu vertikal.

d. Bidang Aksial

Gaya aksial adalah gaya-gaya yang bekerja searah sumbu balok atau sejajar sumbu balok. Untuk menentukan apakah suatu gaya aksial positif atau negatif dapat diambil patokan : bila gaya aksial meninggalkan titik yang ditinjau maka gaya aksial adalah positif dan sebaliknya bila menuju titik yang ditinjau maka akan bernilai negatif.

METODE PENELITIAN

1. Analisis Struktur Metode Cross

- a. Menentukan momen ujung terjepit : hitung momen-momen pada ujung-ujung setiap bentangan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang sesuai untuk beban terbagi rata dan beban terpusat pada elemen-elemen struktur
- b. Menghitung momen primer : tentukan momen primer yang dihasilkan oleh beban-beban yang bekerja pada struktur
- c. Menghitung kekakuan lentur : hitung nilai kekakuan lentur (faktor kekakuan) untuk setiap balok dan kolom pada struktur
- d. Menghitung koefisien distribusi : tentukan koefisien distribusi untuk balok dan kolom pada setiap titik simpul, serta hitung faktor pemindahan momen (*carry over factor*) untuk balok dan kolom tersebut
- e. Menyusun tabel Cross dan distribusi momen : buat tabel Cross untuk melakukan distribusi momen akibat beban luar. Lakukan distribusi momen hingga diperoleh momen-momen ujung pada setiap elemen struktur
- f. Menghitung reaksi dan gaya dalam : setelah momen ujung diperoleh, lakukan analisis gaya bebas (*free body analysis*) untuk menghitung reaksi dan gaya-gaya dalam lainnya, termasuk gaya lintang dan gaya aksial. Akhirnya gambarkan diagram momen, lintang dan gaya aksial untuk struktur yang dianalisis

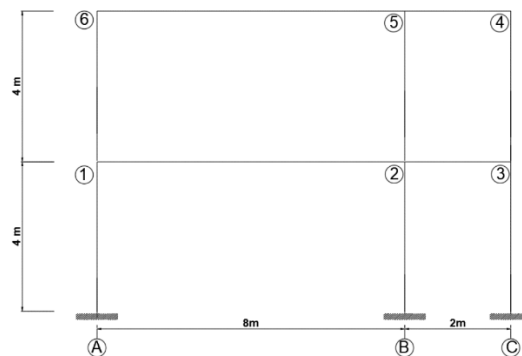
2. Metode Struktur Metode Takabeya

- a. Menentukan inersia kolom dan balok : tentukan nilai inersia untuk setiap kolom dan balok dalam struktur yang dianalisis
- b. Menghitung momen primer : hitung momen primer yang terjadi akibat beban yang bekerja pada struktur

- c. Menghitung jumlah momen primer pada simpul : jumlahkan semua momen primer yang terjadi pada setiap simpul dalam struktur
- d. Menentukan ρ (jumlah kekakuan) : hitung jumlah kekakuan (ρ) untuk seluruh batang dalam struktur, baik untuk balok maupun kolom
- e. Menghitung koefisien rotasi : tentukan koefisien rotasi untuk setiap simpul berdasarkan jumlah kekakuan dan momen primer
- f. Menghitung momen rotasi awal : hitung momen rotasi awal untuk setiap batang berdasarkan koefisien rotasi yang telah ditentukan
- g. Menghitung koefisien perpindahan : hitung koefisien pergoyangan berdasarkan kekakuan total dan distribusi beban pada struktur
- h. Melakukan siklus Takabeya (pencarian momen pembesaran) : lakukan iterasi siklus Takabeya untuk menghitung momen pembesaran pada setiap batang hingga konvergensi tercapai
- i. Menentukan momen desain : setelah iterasi selesai, tentukan momen desain akhir untuk setiap batang yang akan digunakan dalam desain struktur
- j. Menghitung reaksi dan gaya dalam : setelah momen desain ditentukan, lakukan analisis gaya bebas (*free body analysis*) untuk menghitung reaksi dan gaya-gaya dalam lainnya, termasuk gaya lintang dan gaya aksial.
- k. Gambar diagram momen, lintang dan gaya aksial untuk struktur yang dianalisis

3. Model Struktur

Model struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah struktur portal 2 lain seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Model struktur portal

Sumber : data penelitian (2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perencanaan Estimasi Dimensi Struktur

Data struktur bangunan yang digunakan dalam penelitian ini dijabarkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data struktur bangunan

Data	Simbol	Nilai	Satuan
Data Perencanaan			
Fungsi bangunan : Sekolah			
Tinggi bangunan	H ₁	4	m
	H ₂	4	m
Lebar bangunan	L ₁	8	m
	L ₂	2	m
Panjang bangunan		20	m
Mutu beton	f _c	25	MPa
Mutu baja (ulir)	f _y	420	MPa
Mutu baja (polos)	f _y	240	MPa
Estimasi dimensi balok			
Tinggi balok	h	50	cm
Lebar balok	b	35	cm
Estimasi dimensi kolom			
Tinggi kolom	h	45	cm
Lebar kolom	b	30	cm
Estimasi Dimensi Pelat			
Tebal plat lantai	hf	150	mm
Tebal plat atap	hf	120	mm

2. Perhitungan Metode Cross

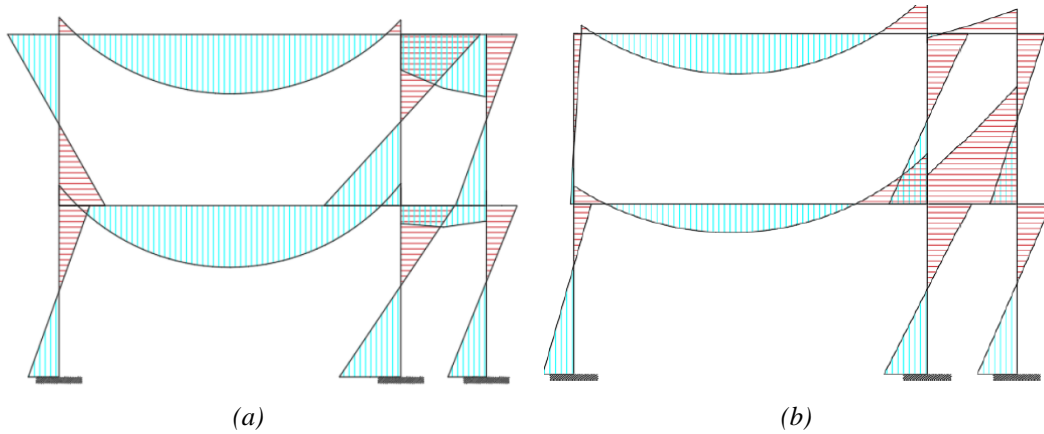
Berikut merupakan rekapitulasi bidang momen, gaya geser dan gaya aksial dengan menggunakan metode Cross.

Tabel 2. Rekapitulasi Metode Cross Kombinasi Beban 1

Nama	Metode Cross					
	Kombinasi Beban 1			Kombinasi Beban 2		
	Momen (kNm)	Lintang (kN)	Aksial (kN)	Momen (kNm)	Lintang (kN)	Aksial (kN)
1-2	-24,308	40,468	-3,379	42,928	43,676	15,957
2-1	-76,457	-25,100	3,379	-118,033	-21,892	-15,957
2-3	21,926	8,436	0,860	-67,395	-93,715	11,153
3-2	18,586	-11,776	-0,860	-275,037	-113,927	-11,153
6-5	20,007	41,200	2,787	-10,831	42,697	82,628
5-6	-74,905	-24,368	-2,787	-93,768	-22,871	-82,628
5-4	43,054	25,315	-12,796	3,524	-20,203	38,266
4-5	73,471	5,103	12,796	-57,093	-40,415	-38,266
6-1	-18,126	-9,533	-67,360	3,440	3,568	-68,857
1-6	20,007	-9,533	67,360	-10,831	3,568	68,857
1-A	6,204	0,006	-133,988	69,074	27,141	-138,693
A-1	6,182	0,006	133,988	-39,488	27,141	138,693
5-2	30,479	15,582	-68,865	87,203	44,362	-86,232
2-5	-31,850	15,582	68,865	-90,245	44,362	86,232
2-B	21,321	11,344	-178,121	98,441	49,166	-90,129

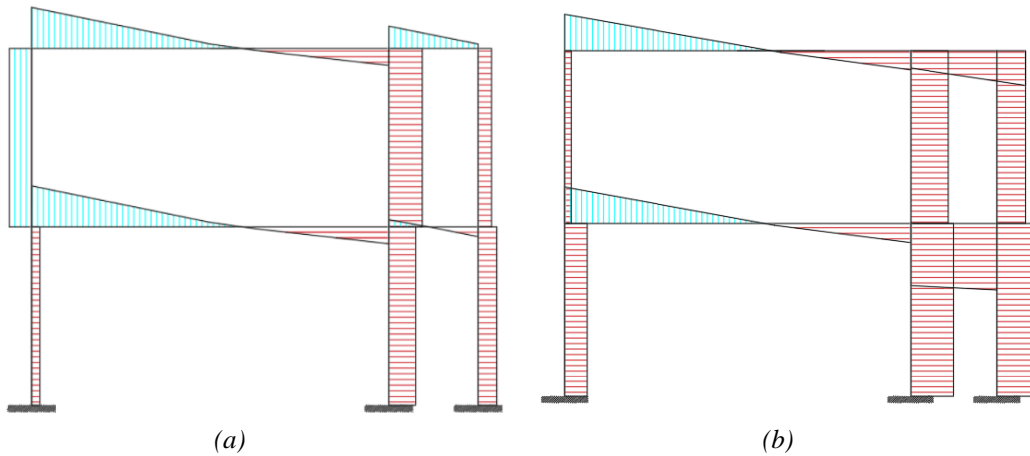
Nama	Metode Cross					
	Kombinasi Beban 1			Kombinasi Beban 2		
	Momen (kNm)	Lintang (kN)	Aksial (kN)	Momen (kNm)	Lintang (kN)	Aksial (kN)
B-2	-24,053	11,344	178,121	-98,225	49,166	90,129
4-3	12,446	6,271	-33,397	60,380	31,130	-84,901
3-4	-12,637	6,271	33,397	-64,141	31,130	84,901
3-C	15,705	7,131	-65,933	89,264	42,283	-219,588
C-3	-12,819	7,131	65,933	-79,867	42,283	219,588

Sumber : hasil analisis (2024)



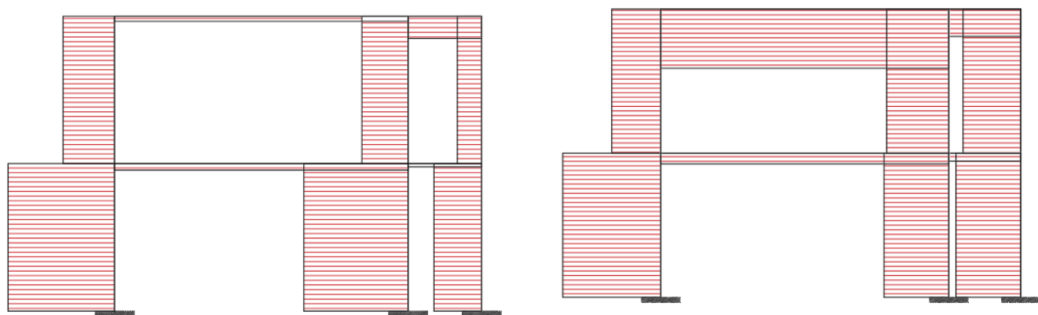
Gambar 6. (a) Bidang momen kombinasi beban 1 (b) Bidang momen kombinasi beban 2
Metode Cross

Sumber : hasil penelitian (2024)



Gambar 7. (a) Gaya lintang kombinasi beban 1 (b) Gaya lintang kombinasi beban 2
Metode Cross

Sumber : hasil penelitian (2024)



(a) (b)
Gambar 8. (a) Gaya aksial kombinasi beban 1 (b) Gaya aksial kombinasi beban 2
 Metode Cross

Sumber : hasil penelitian (2024)

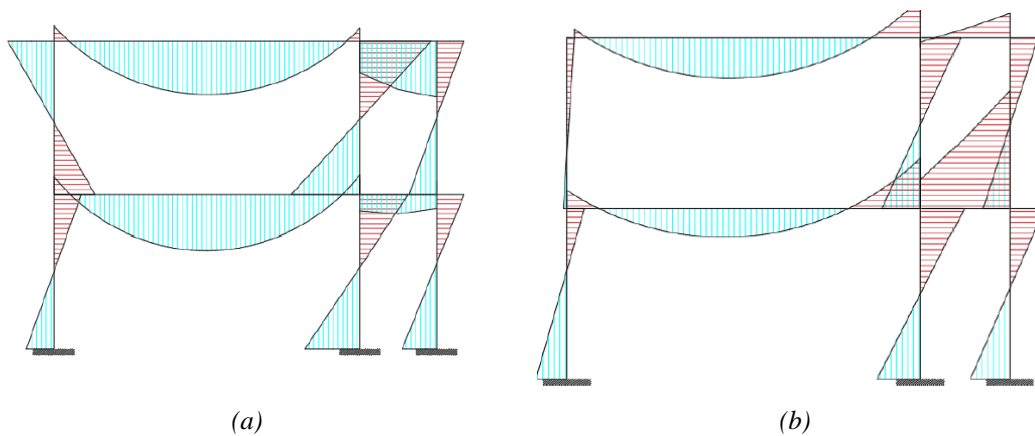
3. Perhitungan Metode Takabeya

Berikut merupakan rekapitulasi bidang momen, gaya geser dan gaya aksial dengan menggunakan metode Takabeya.

Tabel 3. Rekapitulasi Metode Takabeya

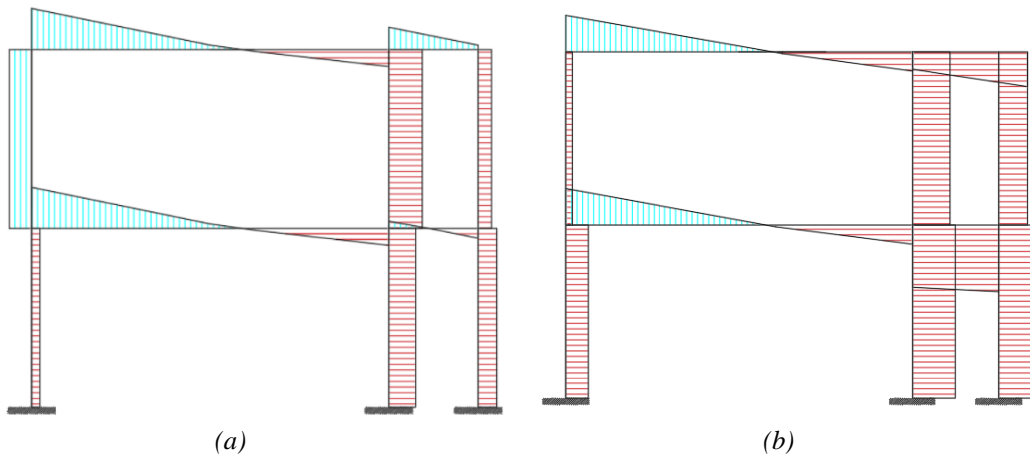
Nama	Metode Takabeya					
	Kombinasi Beban 1			Kombinasi Beban 2		
	Momen (kNm)	Lintang (kN)	Aksial (kN)	Momen (kNm)	Lintang (kN)	Aksial (kN)
1-2	-24,308	40,468	-3,379	42,928	43,676	15,957
2-1	-76,457	-25,100	3,379	-118,033	-21,892	-15,957
2-3	21,926	8,436	0,860	-67,395	-93,715	11,153
3-2	18,586	-11,776	-0,860	-275,037	-113,927	-11,153
6-5	20,007	41,200	2,787	-10,831	42,697	82,628
5-6	-74,905	-24,368	-2,787	-93,768	-22,871	-82,628
5-4	43,054	25,315	-12,796	3,524	-20,203	38,266
4-5	73,471	5,103	12,796	-57,093	-40,415	-38,266
6-1	-18,126	-9,533	-67,360	3,440	3,568	-68,857
1-6	20,007	-9,533	67,360	-10,831	3,568	68,857
1-A	6,204	0,006	-133,988	69,074	27,141	-138,693
A-1	6,182	0,006	133,988	-39,488	27,141	138,693
5-2	30,479	15,582	-68,865	87,203	44,362	-86,232
2-5	-31,850	15,582	68,865	-90,245	44,362	86,232
2-B	21,321	11,344	-178,121	98,441	49,166	-90,129
B-2	-24,053	11,344	178,121	-98,225	49,166	90,129
4-3	12,446	6,271	-33,397	60,380	31,130	-84,901
3-4	-12,637	6,271	33,397	-64,141	31,130	84,901
3-C	15,705	7,131	-65,933	89,264	42,283	-219,588
C-3	-12,819	7,131	65,933	-79,867	42,283	219,588

Sumber : hasil analisis (2024)

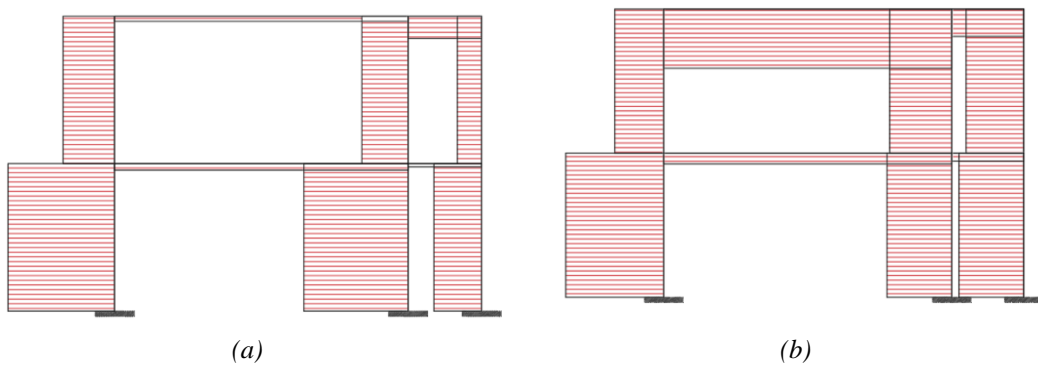


(a) (b)
Gambar 9. (a) Bidang momen kombinasi beban 1 (b) Bidang momen kombinasi beban 2
 Metode Takabeya

Sumber : hasil penelitian (2024)



Gambar 10. (a) Gaya lintang kombinasi beban 1 (b) Gaya lintang kombinasi beban 2
Metode Takabeya
Sumber : hasil penelitian (2024)



Gambar 11. (a) Gaya aksial kombinasi beban 1 (b) Gaya aksial kombinasi beban 2
Metode Takabeya
Sumber : hasil penelitian (2024)

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terlihat bahwa nilai momen akhir yang dihasilkan oleh metode Cross dan metode Takabeya untuk setiap batang struktur menunjukkan hasil yang hampir identik. Perbedaan nilai momen akhir antara kedua metode ini sangat kecil, dengan selisih yang hampir selalu mendekati nol (0) baik dalam nilai absolut maupun persentase.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan metode Cross dan Takabeya, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil perhitungan momen, gaya lintang dan gaya aksial yang diperoleh menggunakan metode Cross dan metode Takabeya. Kedua metode ini memberikan hasil yang konsisten dalam analisis struktur yang sama.

2. Metode Takabeya mencapai konvergensi pada distribusi ke-10 sedangkan metode Cross mencapai konvergensi pada distribusi ke-16. Hal ini menunjukkan bahwa metode Takabeya lebih efisien dalam hal konvergensi dibandingkan dengan metode Cross.

DAFTAR PUSTAKA

- HM. Soetomo. 1981. *Perhitungan Portal Bertingkat dengan Cara Takabeya*. Bagian Satu. Jakarta.
- HM. Soetomo. 1981. *Perhitungan Portal Bertingkat dengan Cara Takabeya*. Bagian Dua. Jakarta.
- Sutarman. 2009. *Analisa Struktur*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Setiawan, A. 2023. *Analisa Struktur*. Penerbit Erlangga. Jakarta.