

**ANALISA PERBANDINGAN PERHITUNGAN
METODE CROSS DENGAN METODE TAKABEYA**

TUGAS AKHIR

*Diajukan untuk melengkapi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata Satu
(S-1) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas HKBP Nommensen Medan*

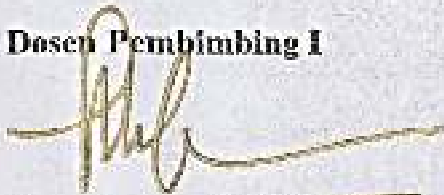
Disusun oleh:

JESAYA LASWIN NABABAN

(19310112)

Telah diuji dihadapan tim penguji Tugas akhir pada tanggal 13 September 2024
dan dinyatakan telah lulus sidang sarjana

Dosen Pembimbing I



(Ir. Johan O. Simanjuntak, S.T., M.T., ASEAN Eng)

Dosen Pembimbing II



(Luki Hariando Furba, S.T., M.Eng)

Dosen Pembanding I



(Surta Ria Nurliana Panjaitan, S.T., M.T)

Dosen Pembanding II



(Bartholomeus, S.T., M.T)



Dekan Fakultas Teknik



(Bambang Pangaribuan, M.T)

Ketua Program Studi



(Ir. Yetty Riris Saragi, S.T., M.T., IPU.ACPE)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pesatnya perkembangan pembangunan, kebutuhan akan ruang dan lahan semakin meningkat. Hal ini menyebabkan keterbatasan lahan, kenaikan harga tanah, dan berkurangnya ruang terbuka. Untuk mengatasi tantangan ini, perancang di bidang teknik sipil mengembangkan bangunan vertikal atau bangunan bertingkat, seperti gedung perkantoran, rumah susun, rumah sakit, rumah toko, dan lain sebagainya.

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.

Dalam analisis struktur, terdapat berbagai metode yang digunakan, seperti metode distribusi momen (Hardy Cross), metode Kani, metode Takabeya, metode matriks, dan metode-metode lain yang umum digunakan. 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. 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).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: “Bagaimana perbandingan besaran momen, gaya lintang, dan gaya Aksial pada struktur portal menggunakan metode Cross dan metode Takabeya dengan model struktur yang sama?”

1.3 Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini terfokus pada permasalahan yang ada, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan model struktur yang sama untuk kedua metode.
2. Tidak dilakukan perencanaan struktur secara menyeluruh.
3. Perhitungan portal yang dilakukan dengan metode Cross dan metode Takabeya hanya diterapkan pada portal melintang.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

Untuk mengetahui selisih besaran nilai momen, gaya lintang, dan gaya Aksial pada suatu portal yang dibebani oleh beban terbagi rata dan beban terpusat, menggunakan metode Cross dan metode Takabeya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini adalah memberikan pengetahuan tentang perhitungan struktur portal dengan metode Cross dan metode Takabeya, serta membandingkan hasil yang diperoleh dari kedua metode tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

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, takabeya 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.

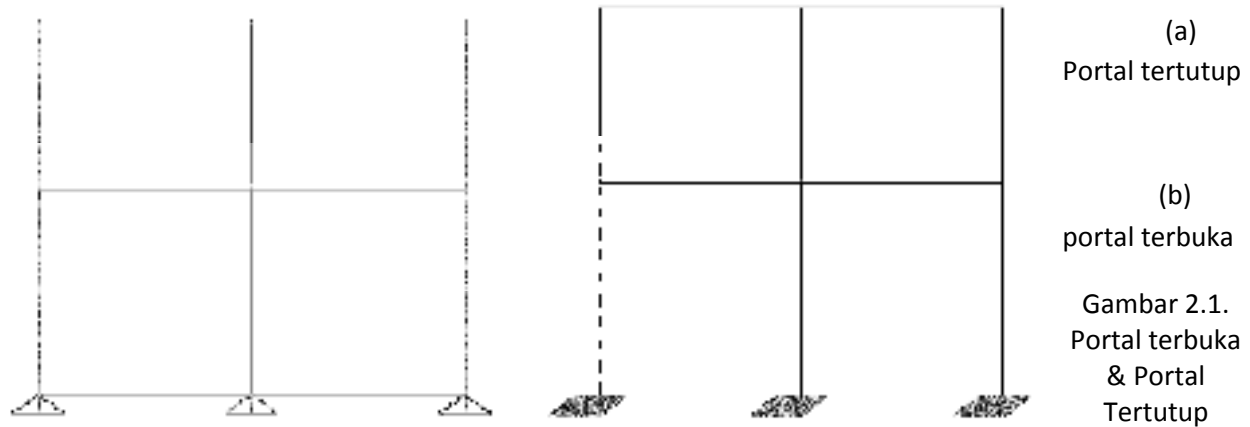
Berdasarkan permasalahan tersebut dilakukan analisis perbandingan antara metode Cross dan metode takabeya. Analisis ini dilakukan untuk membandingkan hasil Nilai momen, lintang & aksial metode Cross Dengan metode takabeya pada portal.

Portal adalah suatu sistem yang terdiri dari bagian- bagian struktur yang saling berhubungan yang berfungsi menahan beban sebagai suatu kesatuan lengkap yang berdiri sendiri dengan atau tanpa di bantu diafragma-diafragma horizontal atau sistem lantai. pada dasarnya sistem struktur bangunan terdiri dari dua bagian yaitu:

1. Portal terbuka, dimana semua momen-momen dan gaya yang bekerja pada konstruksi di tahan sepenuhnya oleh pondasi, sedangkan sloof hanya berfungsi sebagai penahan dinding di atasnya saja. Kekuatan dan kekakuan portal dalam menahan beban lateral dan kestabilan tergantung pada kekuatan elemen-elemen strukturnya.
2. Portal tertutup, dimana momen-momen dan gaya yang bekerja pada konstruksi ditahan terlebih dahulu oleh sloof dan kemudian diratakan, kemudian sebagian kecil beban

dilimpahkan kepondasi. Sloof berfungsi sebagai pengikat kolom yang satu dengan yang lain untuk mencegah terjadinya Differential settlement .

Berikut adalah gambar portal tertutup dan portal terbuka .



(Sumber : Haryadi Rangkuti , Skripsi)

2.2 Pembebanan

Perancangan struktur beton bertulang gedung bertingkat diperlukan memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Beban yang bekerja pada struktur dapat digolongkan menjadi beban gravitasi yang meliputi beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*), serta beban lateral yang meliputi beban gempa (*Eartquake*) dan beban angin (*Wind*). Beban-beban tersebut digunakan untuk menentukan dimensi dan bentuk dari struktur bangunan yang dirancang. Pada bagian ini dijelaskan jenis-jenis beban yang digunakan dalam perancangan.

2.2.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang harus ada pada struktur bangunan, karena beban mati merupakan beban yang dihasilkan oleh bahan konstruksi struktur tersebut. Berat bahan bangunan akan dikalikan dengan volume dari struktur bangunan agar menjadi beban terpusat atau dikalikan dengan luas dari penampang struktur agar menjadi beban merata. Pada perancangan ini beban mati yang didapat adalah beban mati luasan dan dikonversikan menjadi beban equivalen dan beban terpusat. Berat dari komponen bangunan yang digunakan untuk menentukan beban mati diperlihatkan pada tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 Berat Bahan Bangunan

No	Material	Berat isi (Kg/m ³)
1	Beton	2200

2	Beton bertulang	2400
3	Baja	7850
4	Batu alam	2600
5	Batu pecah	1450
6	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650
7	Pasangan batu merah	1700
8	Pasangan batu cetak	2200
9	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
10	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600

Tabel 2.2 Berat sendiri komponen gedung

No	Material	Berat (Kg/m ²)
1	Adukan, per cm tebal	
	– Dari semen	21
	– Dari kapur, semen merah atau tras	17
2	Dinding pasangan bata merah	
	– Satu bata	450
	– Setengah bata	250
3	Dinding pasangan batako berlubang	
	– Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
	– Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
	Tanpa lubang	
	– Tebal dinding 15 cm	300
	– Tebal dinding 10 cm	200
4	Langit-langit dan dinding(termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
	– Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
	– Kaca, dengan tebal 3-5 mm	10
5	Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² atap	40
6	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
7	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m	7

Rumus yang digunakan dalam menentukan nilai dari beban mati adalah sebagai berikut:

$$q = \text{Luas} \times \text{Berat isi} \quad (2.1)$$

$$P = \text{Volume} \times \text{Berat isi} \quad (2.2)$$

Dengan :

q = beban merata (kg/m)

P = beban terpusat (kg)

2.2.2 Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020, beban hidup ialah beban yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material dan selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak. Pengaplikasian dan penentuan beban hidup pada penelitian ini disesuaikan dengan fungsi tiap ruangan yang tertera dalam SNI 1727:2020. Perhitungan beban hidup memiliki perhitungan yang sama dengan perhitungan beban mati. Beban hidup yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.3.

No	Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
1	Sekolah		
	Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,45)
	Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
	Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)

Tabel 2.3
Nilai
beban
hidup
merata
minimum,

L_0 dan beban hidup terpusat minimum

2.2.3 Beban Angin

Beban angin adalah hembusan angin yang mengarah ke bangunan sehingga mengenai bagian bangunan meliputi atap, dinding, dan kolom. Beban angin dapat dihitung menggunakan metode Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU). Faktor-faktor yang digunakan dalam metode SPGAU adalah sebagai berikut.

a. Kecepatan angin

Nilai kecepatan angin dapat ditentukan berdasarkan Buku Peta Angin Indonesia, kecepatan angin juga dapat ditentukan menggunakan data dari pihak yang berwenang dan data iklim regional.

b. Arah angin

Nilai faktor arah angin dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor arah angin, K_d

Tipe Struktur Bangunan Gedung	K_d
----------------------------------	-------

SPGAU	0,85
K&K	0,85

c. Eksposur

Kekerasan permukaan tanah, vegetasi, dan fasilitas yang sudah dibangun akan melawan arah angin dan mengakibatkan eksposur melawan angin. Dalam penentuan eksposure, perlu diketahui data mengenai kategori kekerasan permukaan yang dapat dilihat pada Pasal 26.7.2 SNI 1727:2020. Berikut kategori kekerasan permukaan :

- Kekasaran Permukaan B : Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga tunggal atau lebih besar dalam jumlah banyak
- Kekasaran Permukaan C : Dataran terbuka dengan penghalang terbesar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1 m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput
- Kekasaran Permukaan D : Permukaan datar, area tanpa halangan dan permukaan air. Kategori ini termasuk hamparan lumpur halus.

Berikut kategori eksposur :

- Eksposur B : Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah melawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur, pilih yang terbesar.
- Eksposur C : Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau Eksposur D tidak berlaku.
- Eksposur D : Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524m) atau 20 kali tinggi

bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah dekat dari situs dalam arah melawan angin adalah B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

d. Efek Topografi

Topografi pada sekitar bangunan dapat mempengaruhi kecepatan angin yang terjadi, oleh sebab itu maka diperlukan diperiksa keberadaan dari bukit, bukit memanjang, dan tebing curam terisolasi. Efek peningkatan kecepatan angin yang diakibatkan faktor topografi dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.3)$$

dengan :

K_{zt} = koefisien faktor topografi

K_1 = faktor untuk memperhitungkan bentuk fitur topografis dan pengaruh peningkatan kecepatan maksimum

K_2 = faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan jarak ke sisi angin datang atau ke sisi angin pergi dari puncak.

K_3 = faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan ketinggian di atas elevasi kawasan setempat.

Nilai K_1, K_2, K_3 ditentukan melalui pasal 26.8.1 pada SNI 1727-2020 dan apabila lokasi bangunan tidak memenuhi persyaratan diatas maka $K_{zt} = 1,0$.

e. Elevasi permukaan tanah

Berdasarkan elevasi tanah diatas permukaan laut maka faktor elevasi permukaan tanah dapat ditentukan. Nilai faktor elevasi permukaan tanah dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Faktor elevasi permukaan tanah, K_e

Elevasi tanah di atas permukaan laut (m)	K_e
< 0	Lihat catatan 2
0	1,00
305	0,96
610	0,93
914	0,90
1219	0,86
1524	0,83
1829	0,80
>1829	Lihat catatan 2

f. Tekanan kecepatan

Kategori eksposur dan ketinggian bangunan dari atas permukaan tanah dapat menentukan nilai dari koefisien eksposur tekanan kecepatan. Berdasarkan kategori tekanan kecepatan, K_z telah ditentukan pada SNI 1727: 2020 Pasal 26.10.1. Untuk lokasi yang berada di zona transisi antara kategori-kategori eksposur yang mendekati perubahan kekasaran permukaan tanah, boleh diambil nilai menengah pada tabel 2.6. Nilai koefisien eksposur tekanan kecepatan dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Koefisien eksposur tekanan kecepatan K_z

Ketinggian di atas permukaan tanah	Eksposur		
	B	C	D
0-4,6	0,57 (0,70) ^a	0,85	1,03
6,1	0,62 (0,70) ^a	0,90	1,08
7,6	0,66 (0,70) ^a	0,94	1,12
9,1	0,70	0,98	1,16
12,2	0,76	1,04	1,22
15,2	0,81	1,09	1,27
18,0	0,85	1,13	1,31

Ketinggian di atas permukaan tanah	Eksposur		
	B	C	D
21,3	0,89	1,17	1,34
24,4	0,93	1,21	1,38
27,4	0,96	1,24	1,40
30,5	0,99	1,26	1,43
36,6	1,04	1,31	1,48
42,7	1,09	1,36	1,52
48,8	1,13	1,39	1,55

^aGunakan 0,70 pada metode SPGAU, Eksposur B, apabila $z < 9,1\text{m}$

Nilai koefisien eksposur tekanan kecepatan K_z dapat ditentukan dari persamaan yang sama seperti berikut.

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^\alpha, \text{ untuk } 4,6 \leq z \leq z_g \quad (2.4)$$

$$K_z = 2,01 \left(\frac{15}{z_g} \right)^\alpha, \text{ untuk } z < 4,6 \text{ m} \quad (2.5)$$

dengan :

K_z = koefisien eksposur tekanan kecepatan pada ketinggian z

z_g = elevasi tanah diatas permukaan laut (m) (Tabel 2.6)

α = sudut dari arah angin terhadap suatu titik ($^\circ$) (Tabel 2.7)

z = ketinggian bangunan di atas permukaan tanah (m)

Tabel 2.7 Konstanta eksposur dataran (SNI 1727:2020)

Eksposure	α	Z_g (m)	a^\wedge	b^\wedge	$a^\bar{}$	$b^\bar{}$	c	e (m)	$e^\bar{}$	Z_{\min} (m)
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

Interpolasi linier untuk nilai z menengah dari tinggi z boleh dilakukan. Tekanan kecepatan, q_z , dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dK_eV^2 \quad (2.6)$$

dengan :

q_z = tekanan kecepatan pada kemiringan z (N/mm^2)

K_z = koefisien eksposur tekanan kecepatan pada ketinggian z

K_{zt} = koefisien faktor topografi

K_d = koefisien faktor arah angin

K_e = koefisien faktor elevasi permukaan tanah

V = kecepatan angin dasar (m/s)

g. Efek hembusan angin

Pengaruh hembusan angin pada suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku dapat digunakan nilai sebesar 0,85. Bangunan bertingkat rendah adalah bangunan yang memiliki tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 18 m atau tidak melebihi dimensi horizontal yang terkecil. Bangunan bertingkat rendah dapat dikategorikan sebagai bangunan kaku.

h. Klasifikasi ketertutupan

Bangunan memiliki 4 kategori ketertutupan, kategori ketertutupan mempengaruhi tekanan internal yang terjadi pada bangunan tersebut. Pada Tabel 2.8 dapat dilihat klasifikasi ketertutupan.

Tabel 2.8 Sistem penahan gaya angin utama dan komponen dan klading: koefisien tekanan internal, (GC_{pi}) untuk bangunan tertutup, tertutup sebagian, terbuka sebagian, dan bangunan terbuka (dinding dan atap) (SNI 1727:2020)

Klasifikasi ketertutupan	Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan	Tekanan Internal	Koefisien tekanan internal, (GC_{pi})
Bangunan tertutup	A_o kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau $0,37m^2$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	-0,18
Bangunan	$A_o > 1,1A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01A_g$	Tinggi	-0,55

tertutup sebagian	atau $0,37m^2$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$		-0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	-0,18 -0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	Diabaikan	0,00

Catatan

1. Tanda plus dan minus menandakan tekanan yang bekerja ke arah dan menjauh dari permukaan dalam.
2. Dua kasus harus diperhitungkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
 - a. Nilai negatif (GC_{pi}) diterapkan pada semua permukaan dalam, atau
 - b. Nilai positif (GC_{pi}) diterapkan pada semua permukaan dalam.
3. Nilai (GC_{pi}) harus digunakan dengan q_z atau q_h seperti yang disyaratkan.

Tekanan angin menggunakan metode SPGAU dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.7.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (2.7)$$

dengan :

- q = q_z pada dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z di atas permukaan tanah (kN/m^2)
- q_i = q_h pada mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian (kN/m^2)
- q_i = q_h pada dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi, dan atap bangunan gedung tertutup, dan untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian (kN/m^2)
- G = faktor efek hembusan angin. Untuk bangunan kaku digunakan nilai 0,85
- C_p = koefisien tekanan eksternal (Tabel 2.8 dan Tabel 2.9)
- GC_{pi} = koefisien tekanan internal (Tabel 2.7)

Tabel 2.9 Koefisien tekan dinding, C_p (SNI 1727:2020)

Permukaan	L/B	C_p
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8
Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0,5
	2	-0,3
	≥ 4	-0,2
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7

Tabel 2.10 Koefisien tekan atap, C_p (SNI 1727:2020)

Arah angin	h/L	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang	C_p
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\Theta < 10^\circ$ sejajar bubungan untuk semua Θ	$\leq 0,5$	0 - h/2	-0,9
		h/2 - h	-0,9
		h - 2h	-0,5
		$> 2h$	-0,3
	$\geq 1,0$	0 - h/2	-1,3
		$> h/2$	-0,7

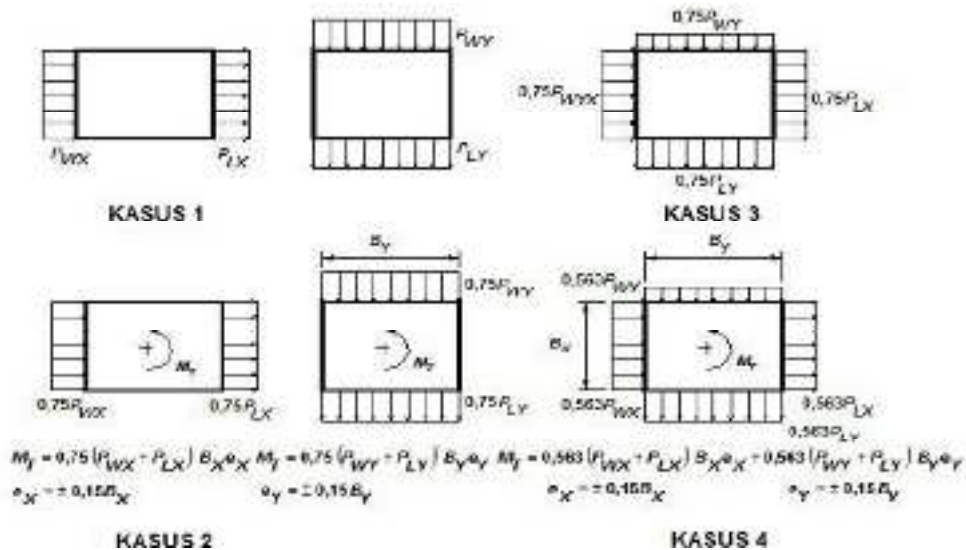
Dalam perhitungan beban angin untuk kanopi digunakan persamaan berikut.

$$p = q_h(GC_p) \quad (2.8)$$

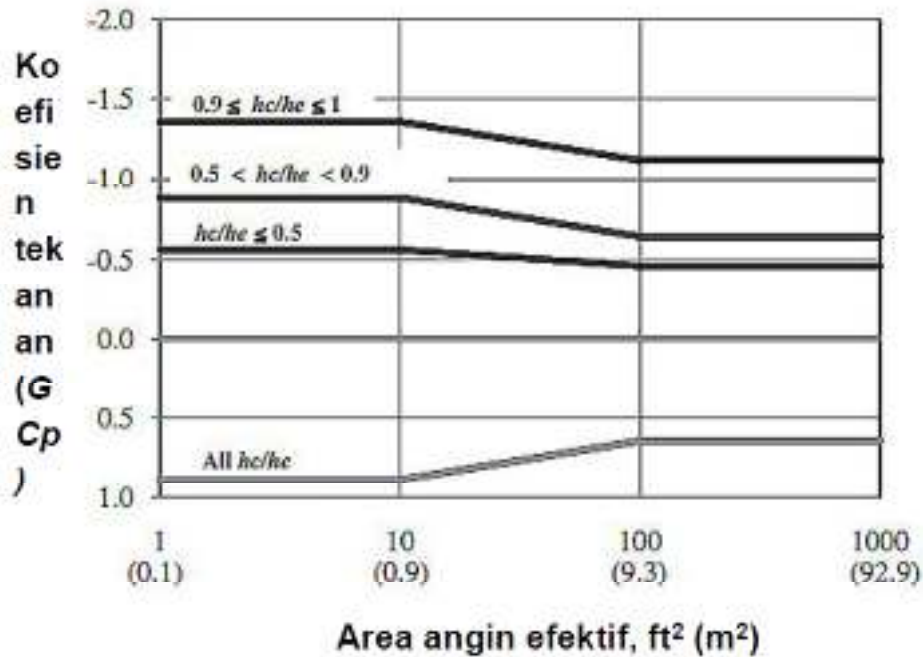
dengan:

q_h = tekanan velositas pada ketinggian atap rerata h (kN/m^2)

GC_p = koefisien tekanan neto untuk kanopi terhubung



Gambar 2.2 Sistem Penahan Gaya Angin Utama (semua ketinggian): kasus beban angin desain



Gambar 2.3 Koefisien tekanan neto untuk kanopi, $G C_p$

2.2.4 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban horizontal yang berasal dari gerakan tanah akibat gempa bumi. Beban gempa harus dipertimbangkan dalam merancang suatu bangunan pada daerah yang telah direncanakan, sehingga bangunan dapat didesain dengan baik dan memenuhi standar perencanaan ketahanan gempa yang menggunakan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Hal pertama yang harus diketahui untuk mendesain beban gempa adalah kategori risiko dari Tabel 2.11 dapat dilihat pemanfaatan bangunan dan kategori risiko.

Tabel 2.11 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (SNI 1726:2019)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan 	II

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Bangunan perkantoran - Apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mal - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massa terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap 	IV

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Tabel 2.12 Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Pada perancangan beban gempa perlu diketahui klasifikasi situs dari daerah bangunan yang dibangun. Pada Tabel 2.13 dapat dilihat klasifikasi situs berdasarkan beberapa parameter.

Tabel 2.13 Klasifikasi situs (SNI 1726:2019)

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350-750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50

Penentuan kelas situs menggunakan nilai dari tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) atau tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah nonkohesif (N_{ch}). Nilai N dan N_{ch} dihitung menggunakan Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10.

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (2.9)$$

Persamaan 2.9 berlaku untuk tanah nonkohesif, tanah kohesif, dan lapisan batuan.

$$N = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (2.10)$$

Persamaan 2.10 berlaku untuk tanah nonkohesif, dengan:

d_i = tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30m paling atas

d_s = tebal total lapisan tanah nonkohesif di dalam lapisan 30m paling atas

n_i = jumlah lapisan

Kemudian setelah didapat klasifikasi tanah, maka dicari nilai koefisien parameter respons spektral percepatan gempa. Nilai parameter respons spektral percepatan gempa periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dapat dicari menggunakan Persamaan 2.11 dan Persamaan 2.12.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.11)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.12)$$

dengan:

S_{M1} = parameter percepatan respons spektral MCE_R pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_{MS} = parameter percepatan respons spektral MCE_R pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_1 = parameter percepatan respons spektral MCE_R pada periode 1 detik

S_s = parameter percepatan respons spektral MCE_R pada periode pendek

F_a = koefisien situs pada periode pendek (Tabel 2.14)

F_v = koefisien situs pada periode 1 detik (Tabel 2.15)

Tabel 2.14 Koefisien situs, F_a (SNI 1726:2019)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS					

Tabel 2.15 Koefisien situs, F_v (SNI 1726:2019)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$

SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS					

Berikutnya parameter percepatan spektral desain dicari menggunakan nilai parameter percepatan spektral dengan Persamaan 2-13 dan Persamaan 2-14.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.13)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.14)$$

dengan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

Kurva spektrum respons desain dibuat menggunakan peraturan sebagai berikut:

a. Jika nilai $T < T_0$, maka persamaan S_a

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (2.15)$$

b. Jika nilai $T_0 \leq T \leq T_s$, maka persamaan S_a

$$S_a = S_{DS} \quad (2.16)$$

c. Jika nilai $T_s \leq T \leq T_L$, maka persamaan S_a

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.17)$$

d. Jika nilai $T \geq T_L$, maka persamaan S_a

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.18)$$

dengan :

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.19)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.20)$$

T_L = periode panjang dari peta transisi sesuai lokasi pembangunan

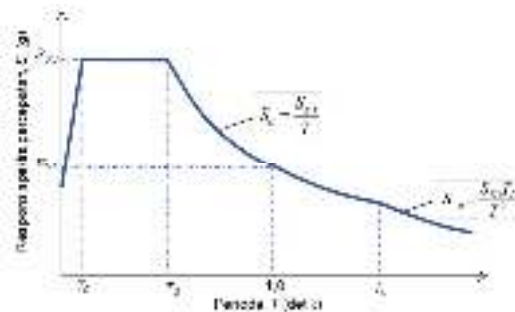
Pada Tabel 2.16 dan Tabel 2.17 dapat ditentukan parameter respons spektral percepatan S_{DS} dan S_{D1} dapat digunakan untuk menentukan kategori desain seismik.

Tabel 2.16 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726:2019)

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.17 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726:2019)

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D



Gambar 2.4 Grafik spektrum respons desain

Maka didapatkan nilai dari beban gempa menggunakan persamaan berikut

$$F_x = C_{VX} \times V \quad (2.21)$$

$$C_{VX} = \frac{W_X \times H_X^K}{\sum_{i=1}^n W_X \times H_X^K} \quad (2.22)$$

Dimana

C_{VX} = factor distribusi vertical

V = gaya geser dasar seismic

W_X = berat struktur pada tingkat x

H_X = tinggi dari dasar sampai tingkat x

K = Ekponen perioda strktur

$T \leq 0,5$, $K = 1$; $T \geq 2,5$, $K = 2$

$0,5 < T < 2,5$ = dilakukan interpolasi antara nilai 1 dan 2

Diketahui $T = 0,279$ detik $< 0,5$ detik, sehingga $K = 1$

2.2.5 Faktor Keamanan Beban

Berdasarkan persyaratan dalam SNI 2847:2013 besarnya kuat perlu, U, yang harus dipertimbangkan sebagai kondisi paling kritis yang harus dipikul suatu elemen struktur adalah:

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 1 E + 1 W \quad (2.23)$$

Dengan :

U = Beban ultimate

D = Beban mati

L = Beban hidup

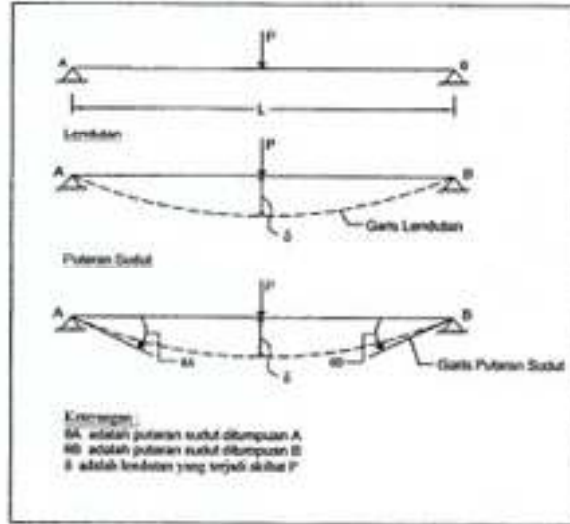
E = Beban gempa

W = Beban angin

2.3 Metode Distribusi Momen (Cross)

2.3.1 Prinsip Dasar

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 (*continuous 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 repons struktur berupa gaya dan perubahan bentuk (*deformation*).



Gambar 2.5 Putaran Sudut Pada Tumpuan Akibat pembebanan
(Sumber :Hotman Marpaung - Mekanika Teknik Statis Tak Tentu)

Metode ini dikemukakan oleh Prof. Hardy Cross pada tahun 1930-an. Perhatikan gambar 2.5 diatas. Metode Cross ini 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 ini cukup banyak digunakan khususnya menghitung beban-beban hidup/beban bergerak (*Live Loads*).

Perhatikan kembali gambar 2.5 diatas, akibat beban luar yang bekerja pada gelagar terjadi putaran sudut pada tumpuan A dan tumpuan B

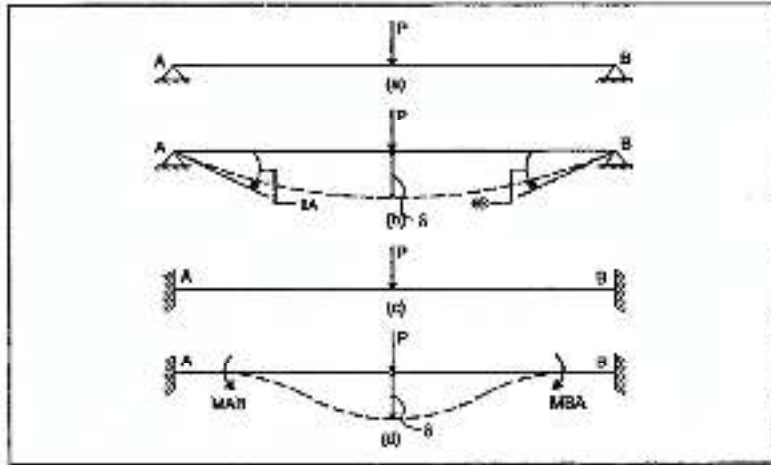
Yang menjadi permasalahan secara teknis adalah "Bagaimana mencegah rotasi atau putaran sudut di A dan di B"

Solusi :

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 ditumpuan-A dan tumpuan-B akan menjadi lebih kecil dari rotasi yang diperkirakan semula. Momen pelawan ditumpuan-A disebut M_{AB} dan momen pelawan ditumpuan-B disebut M_{BA} .

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= \text{Momen arah A ke B} \\ M_{BA} &= \text{Momen arah B ke A} \end{aligned} \right\} \text{Perhatikan gambar 2.5}$$

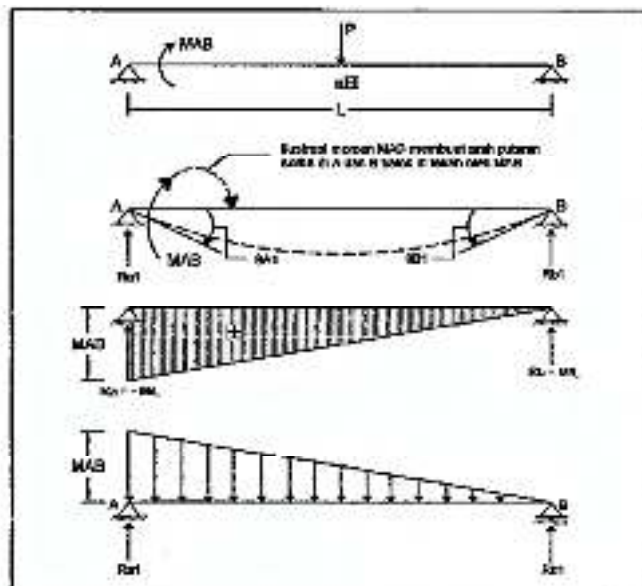
Momen ditumpuan A dan ditumpuan B dipekerjakan sedemikian rupa sehingga putaran sudut ditumpuan A dan θ_A dan ditumpuan B adalah $\theta_B = 0$ Harga-harga momen ini disebut "Momen Primer atau *Fixed and Moment*".



Gambar 2.6 Putaran Sudut Menjadi Nol Akibat Bekerjanya Momen Pelawan Pada Tumpuan
(Sumber :Hotman Marpaung - Mekanika Teknik Statis Tak Tentu)

Putaran sudut akibat momen bekerja pada tumpuan

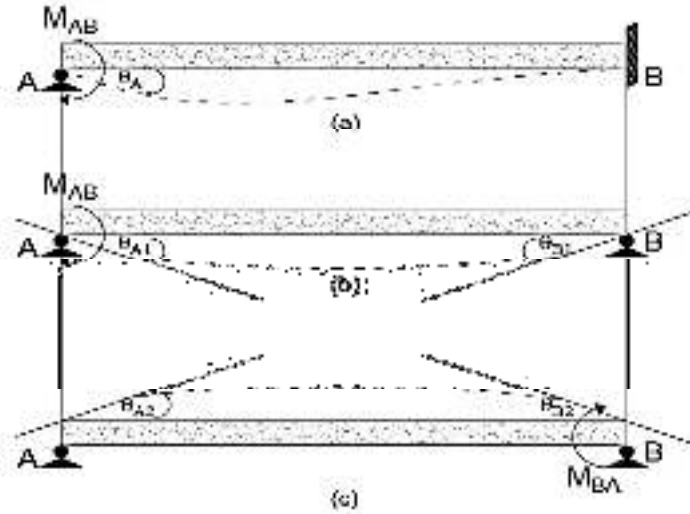
Perhatikan gambar dibawah ini, dengan bidang momen sebagai muatan, putaran sudut ditumpuan A dan tumpuan B dapat dicari, yaitu θ_A dan θ_B . Perhatikan gambar dan penjelasan dibawah ini.



Gambar 2.7 Gelagar Dengan Moment Bekerja Pada Tumpuan A
(Sumber :Hotman Marpaung - Mekanika Teknik Statis Tak Tentu)

2.3.2 Putaran Sudut dan Faktor Kekakuan Cross

- Kekakuan (*Stiffness Factor*)



Gambar 2.8 Kekakuan pada Balok AB (sendi - jepit)
 (Sumber : E. Sutarman Analisa Struktur ,2009)

Gambar 2.8(b) Di A diberikan momen M_{AB} maka di A akan terjadi Putaran sudut (rotasi) sebesar θ_A .

Gambar 2.8(b) dan 2.9(c): Momen M_{AB} di induksikan ke B berupa momen M_{BA} .

Agar stabil, rotasi θ yang harus sama dengan nol ($\theta = 0$).

$$\theta_{A1} - \theta_{A2} = 0$$

$$\theta_{B1} - \theta_{B2} = 0$$

Yang mana :

$$\theta_{A1} = \frac{L}{3EI} M_{AB} \quad \text{dan} \quad \theta_{A2} = \frac{L}{6EI} M_{BA}$$

$$\theta_{B1} = \frac{L}{3EI} M_{BA} \quad \text{dan} \quad \theta_{B2} = \frac{L}{6EI} M_{AB}$$

Jika kita selesaikan persamaan dari syarat stabil diatas, maka di A bekerja M_{AB} dan di B bekerja M_{BA} .

$$\theta_{A1} - \theta_{A2} = 0 \rightarrow \frac{L}{3EI} M_{AB} - \frac{L}{6EI} M_{BA} = 0 \quad (2.1)$$

Sehingga :

$$M_{AB} = \frac{1}{2} M_{BA} \quad (2.2)$$

Momen M_{AB} yang diinduksikan ke B berupa momen M_{BA} , yang mana nilai $1/2$ merupakan faktor induksi (*carry over factor*) pada luas penampang yang konstan dari balok.

Persamaannya:

$$\theta_{A1} - \theta_{A2} = \theta_A \rightarrow \frac{L}{3EI} M_{AB} - \frac{L}{6EI} (1/2 M_{BA}) = \theta_A$$

Maka:

$$M_{AB} = \frac{4EI}{L} \theta_A \quad (2.3)$$

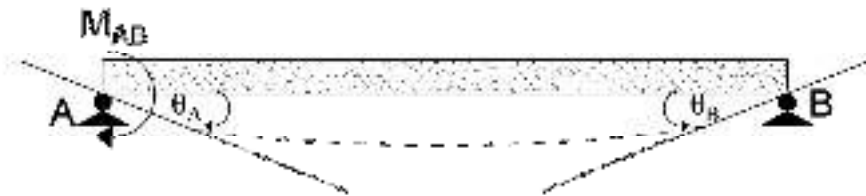
Jika $\theta_A = 1 \rightarrow M_{AB} = \frac{4EI}{L}$ artinya untuk memutar (rotasi) di A sebesar 1 rad diperlukan momen M_{AB} sebesar $\frac{4EI}{L}$.

Yang mana $\frac{4EI}{L} = K_{AB}$ atau kekakuan (stiffness), sehingga :

$$M_{AB} = \frac{4EI}{L} \theta_A = K_{AB} \theta_A \quad (2.4)$$

- Kekakuan Sendi-Roll

Perhatikan Balok AB (Sendi – Roll) dibawah ini:



Gambar 2.9 Kekakuan pada Balok AB (sendi - roll)

(Sumber : E. Sutarman Analisa Struktur ,2009)

Apabila A diberikan momen M_{AB} maka di A akan terjadi putaran sudut (rotasi) sebesar θ_A , sehingga didapat persamaan :

$$M_{AB} = \frac{3EI}{L} \theta_A \quad (2.5)$$

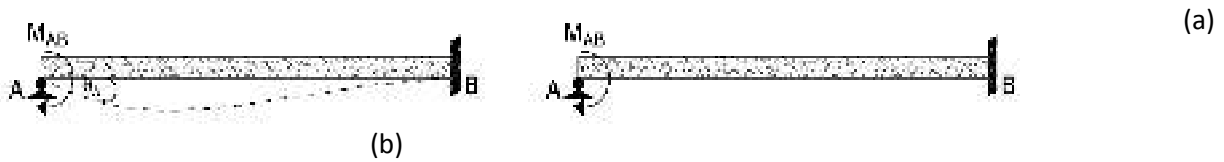
Jika $\theta_A = 1 \rightarrow M_{AB} = \frac{3EI}{L}$ artinya untuk memutar (rotasi) di A sebesar 1 rad diperlukan momen M_{AB} sebesar $\frac{3EI}{L}$.

Yang mana $\frac{3EI}{L} = K_{AB}$ atau kekakuan (stiffness), sehingga

$$M_{AB} = \frac{3EI}{L} \theta_A = K_{AB} \theta_A \quad (2.6)$$

2.3.3 Faktor Induksi (Carry Over Factor)

Balok AB seperti ditunjukkan oleh gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.10 Faktor Induksi Balok AB (sendi - jepit)

(Sumber : E. Sutarman Analisa Struktur ,2009)

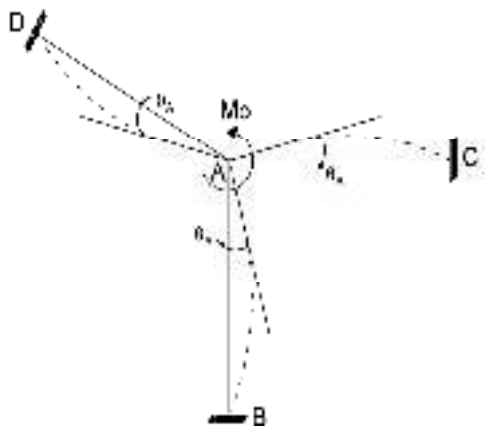
Gambar 2.10(a): di A diberi momen sebesar M_{AB} maka B menerima induksi dari M_{AB} sebesar $\frac{1}{2} M_{AB}$, nilai $\frac{1}{2}$ tersebut merupakan faktor induksi.

Gambar 2.10(b): di A diberi momen sebesar M_{AB} maka B tidak menerima induksi dari M_{AB} , atau faktor induksinya bernilai nol.

2.3.4 Faktor Distribusi

Angka distribusi dapat didefinisikan sebagai hasil bagi dari kekakuan suatu batang terhadap jumlah kekakuan batang-batang lainnya pada titik buhul yang bersangkutan.

Jika terdapat beberapa batang suatu struktur pada titik buhul tertentu (gambar 2.10), akibat adanya rotasi ujung-ujung batangnya akibat beban yang bekerja, momen pengunci (M_0) yang bekerja harus didistribusikan secara proporsional ke masing-masing batang sesuai dengan angka kekakuannya.



Gambar struktur (sumber :

2.11 Angka distribusi pada suatu

<https://www.slideshare.net/junaidawally/bab-ii1-29534412>)

Persyaratan keseimbangan titik buhul Adalah:

$$M_{AB} + M_{AC} + M_{AD} - M_O = 0$$

Dimana momen-momen di titik A adalah:

$$M_{AB} = \frac{4(EI)_{AB}}{L_{AB}} \phi_A$$

$$M_{AC} = \frac{4(EI)_{AC}}{L_{AC}} \phi_A$$

$$M_{AD} = \frac{4(EI)_{AD}}{L_{AD}} \phi_A$$

Jika bahan struktur tersebut adalah sama , maka momen pengunci, M_O , dapat ditulis:

$$M_O = 4E\phi_A \left(\frac{I_{AB}}{L_{AB}} + \frac{I_{AC}}{L_{AC}} + \frac{I_{AD}}{L_{AD}} \right)$$

Jika diambil bahwa $\frac{I}{L} = K$, Maka persamaan di atas dapat ditulis:

$$M_O = 4E\phi_A \sum K$$

Atau :

$$\frac{M_O}{\sum K} = 4E\phi_A$$

Sehingga momen ujung masing-masing batang yang melalui titik buhul A adalah:

$$M_{AB} = \frac{K_{AB}}{\sum K} M_O = (DF)_{AB} M_O$$

$$M_{AC} = \frac{K_{AC}}{\sum K} M_O = (DF)_{AC} M_O \quad (2.7)$$

$$M_{AD} = \frac{K_{AD}}{\sum K} M_O = (DF)_{AD} M_O$$

Nilai $\frac{K_{AB}}{\sum K}, \frac{K_{AC}}{\sum K}, \frac{K_{AD}}{\sum K}$ selanjutnya disebut dengan angka distribusi (distribution factor/DF) masing-masing untuk batang AB, AC, dan AD. Untuk memenuhi persyaratan keseimbangan pada titik buhul , jumlah angka distribusi pada suatu titik buhul adalah harus sama dengan satu.

$$(DF)_{AB} + (DF)_{AC} + (DF)_{AD} = 1$$

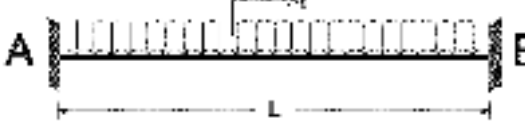
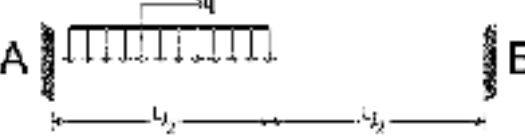
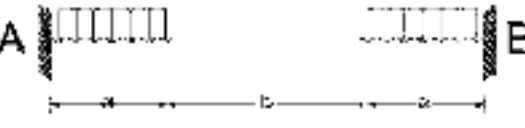
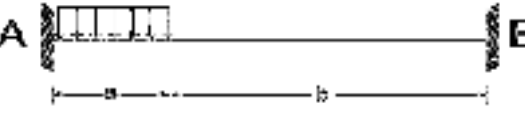

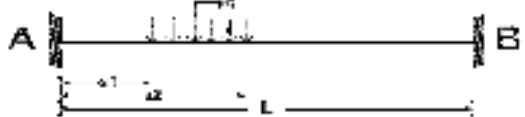
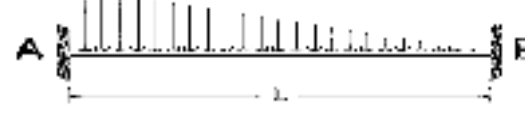
2.3.5 Momen Primer (Fixed end Moment)


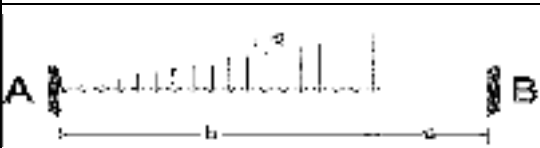
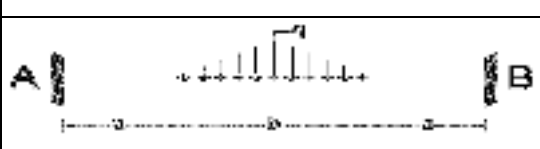
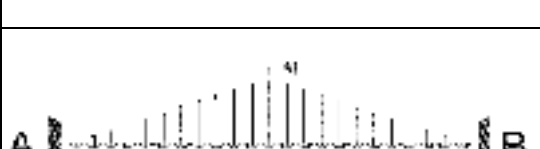
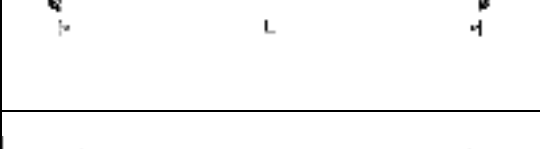
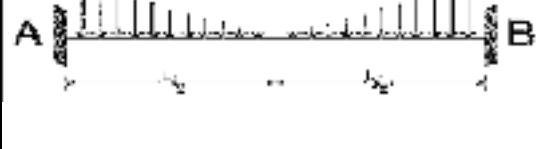
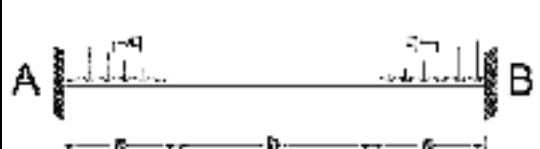
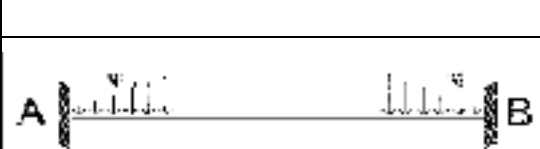
Momen primer sering disebut "*Fixed End Moment atau FEM*"

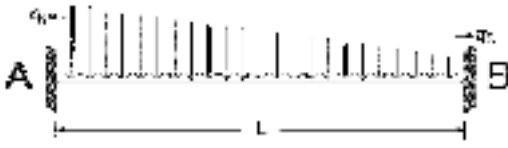

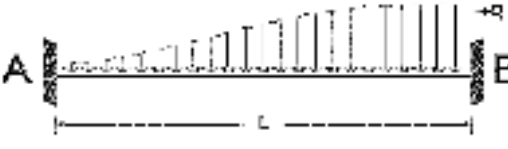
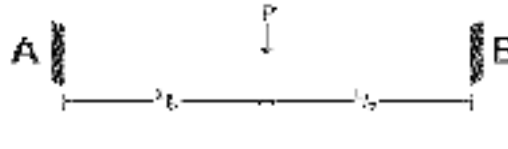
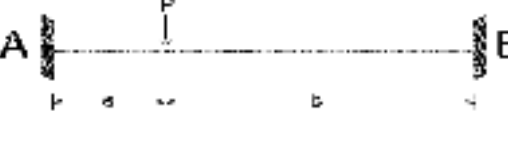
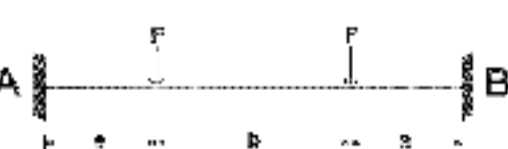

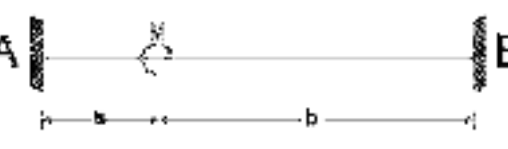
Harga momen primer ini diperoleh dari hasil persamaan putaran sudut dan besarnya putaran sudut dapat dihitung dari persamaan "*bidang momen sebagai muatan atau disebut Moment Area Method*".

Berikut ini tabel momen primer yang umum dipergunakan untuk berbagai beban dan jenis perletakan.

Tabel 2.18 Momen Primer (FEM)

NO	Pembebanan	Momen Primer
1		$M_{AB} = \frac{qL^2}{12}$ $M_{BA} = -M_{AB}$
2		$M_{AB} = \frac{11 q L^2}{192}$ $M_{BA} = -\frac{5 q L^2}{192}$
3		$M_{AB} = \frac{qa^2}{6L} (3L - 2A)$ $M_{BA} = -M_{AB}$
4		$M_{AB} = \frac{qaL\alpha}{12} (3\alpha^2 - 8\alpha + 6)$ $M_{BA} = -\frac{qaL\alpha^2}{12} (4 - \alpha)$
5		$M_{AB} = \frac{qb}{24L} (3L^2 - b^2)$ $M_{BA} = -M_{AB}$
6		$M_{AB} = (q/L^2) [1/2L^2(a_2^3 - a_1^3) - 2/3(a_2^3 - a_1^3) + 1/4(a_2^4 - a_1^4)]$ $M_{BA} = (q/L^2) [1/3L(a_2^3 - a_1^3) - 2/3(a_2^4 - a_1^4)]$
7		$M_{AB} = \frac{qL^2}{20}$ $M_{BA} = -\frac{qL^2}{30}$

8		$M_{AB} = \frac{qa^2}{60L^2} (3a^2 - 10bL)$ $M_{BA} = -\frac{qa^3}{60L^2} (5L - 3a)$
9		$M_{AB} = \frac{qa^2}{60L^2} (10L^2 - 15aL + 8a^2)$ $M_{BA} = -\frac{qa^3}{60L^2} (5L - 4a)$
10		$M_{AB} = \frac{qa}{96L} (5L^2 + 4aL - 4a^2)$ $M_{BA} = -M_{AB}$
11		$M_{AB} = \frac{5qL^2}{96}$ $M_{BA} = -M_{AB}$
12		$M_{AB} = \frac{qL^2}{32}$ $M_{BA} = -M_{AB}$
13		$M_{AB} = \frac{qa^2}{24L} (2L - a)$ $M_{BA} = -M_{AB}$
14		$M_{AB} = \frac{qa^2}{12L} (4L - a)$ $M_{BA} = -M_{AB}$
15		$M_{AB} = \frac{qa^2}{12L} [(1 - a^2)(2 - a)]$ $M_{BA} = -M_{AB}$

16		$M_{AB} = \frac{L^2}{60} (3q_1 + 2q_2)$ $M_{BA} = -\frac{L^2}{60} (32 + 3q_2)$
18		$M_{AB} = \frac{qL^2}{15}$ $M_{BA} = -M_{AB}$
19		$M_{AB} = \frac{qL^2}{20}$ $M_{BA} = -\frac{qL^2}{15}$
20		$M_{AB} = \frac{PL}{8}$ $M_{BA} = -M_{AB}$
21		$M_{AB} = \frac{Pab^2}{L^2}$ $M_{BA} = -\frac{Pba^2}{L^2}$
22		$M_{AB} = \frac{Pa}{L} (L - a)$ $M_{BA} = -M_{AB}$
23		$M_{BA} = \frac{Pl}{12n} (n^2 + 0,5)$ $M_{AB} = M_{BA}$
24		$M_{AB} = \frac{Mb}{L} (3\beta - 2)$ $M_{BA} = \frac{Ma}{L} (3\alpha - 2)$ $\alpha = a/L; \beta = b/L$

(Sumber : E. Sutarman Analisa Struktur ,2009)

2.4 Metode Takabeya

2.4.1 Pengertian Metode Takabeya

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

Metode Takabeya merupakan metode yang paling mudah untuk dipelajari dan dimengerti dalam waktu yang relatip singkat, demikian pula dalam perhitungan portal bertingkat banyak, diperlukan waktu yang relatip singkat juga.

Pada perhitungan konstruksi portal, telah kita kenal suatu metode yang cukup populer yaitu metode yang cukup populer,yaitu metode dari Prof. Hardy Cross yang mendasarkan pada prinsip distribusi dan induksi momen.

Untuk suatu perhitungan portal bertingkat banyak, Metode Cross ini sudah tidak praktis lagi, Karena umpamanya pada portal bertingkat sepuluh, diperlukan sepuluh macam perhitungan pembesaran momen akibat goyangan pada masing-masing tingkat dan ditambah satu macam pembesaran momen akibat muatan luar, Belum lagi pemecahan sepuluh macam bilangan akibat goyangan dan muatan luar tersebut.

Meskipun metode Cross dapat digunakan untuk perhitungan portal dengan arah pergoyangan sembarang, namun pada umumnya ditinjau dari segi ekonomis, bentuk konstruksi portal adalah konstruksi yang mempunyai satu macam arah pergoyangan yaitu pergoyangan pada arah horizontal saja.

Pada beberapa waktu yang silam, Telah dipecahkan suatu metode untuk menyederhanakan perhitungan konstruksi portal bertingkat, yang pada mulanya kita kenal dengan metode Kani, dimana dalam metode ini hanya diperlukan satu mancam perhitungan pembesaran momen sehingga tidak lagi memerlukan pemecahan banyak persamaan dengan macam banyak macam perhitungan. Namun demikian, Masih ada suatu metode yang lebih sederhana yaitu metode Takabeya, yang merupakan penyederhanaan dari metode Kani.

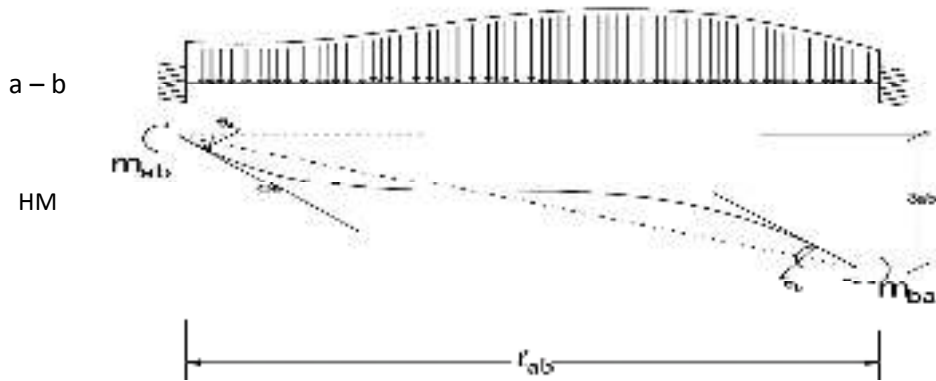
2.4.2 Penurunan Persamaan Struktur

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

- Deformasi yang diakibatkan oleh gaya tekan atau tarik dan gaya geser dalam di abaikan.

- 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. Sebagai contoh diambil batang a – b dengan pembebanan seperti tertera pada gambar berikut, dimana ujung b bergeser sejauh δ_{ab} relatif terhadap titik a. Besarnya M_{ab} dan δ_{ba} dapat dinyatakan sebagai fungsi dari perputaran sudut, yang akan diturunkan sebagai berikut :



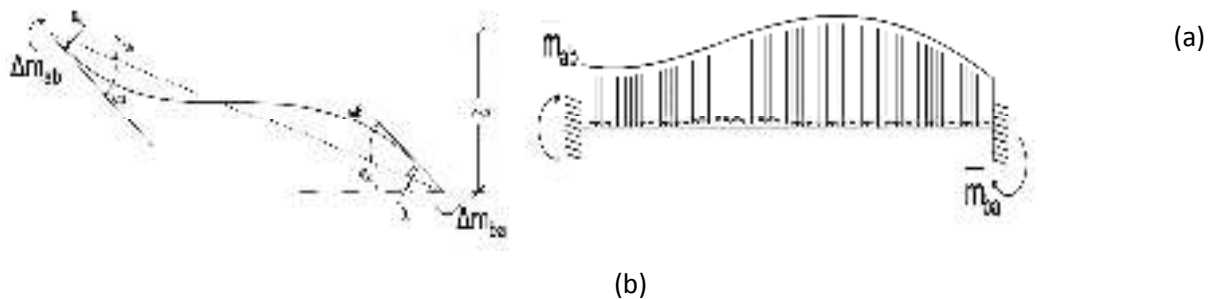
Gambar 2.12 batang dengan pembebanan

(Sumber : Soetomo ,1981)

Keadaan pada gambar diatas dapat diuraikan dari super posisi pada dua

keadaan berikut :

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



Gambar 2.13 penguraian dari batang a – b dengan pembebanan

(Sumber : Soetomo HM ,1981)

Dari super posisi diatas maka dapat dituliskan :

$$M_{ab} = \Delta M_{ab} + \bar{M}_{ab} \quad (2.8)$$

$$M_{ba} = \Delta M_{ba} + \bar{M}_{ba}$$

Dimana :

M_{ab} dan M_{ba} adalah besarnya momen akhir (Design momen).

\bar{M}_{ab} dan \bar{M}_{ba} adalah besarnya momen primer (Fixed and moment) dari keadaan ujung balok terjepit.

ΔM_{ab} dan ΔM_{ba} adalah berdasarkan 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.

Berdasarkan momen-momen koreksi ΔM_{ab} dan ΔM_{ba} dapat diturunkan berdasarkan prinsip persamaan perputaran sudut sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} 1. \quad \theta_a &= W_a + \psi_{ab} \\ 2. \quad \theta_b &= W_a + \psi_{ab} \end{aligned} \right\} \text{Lihat gambar 2.13}$$

$$1. \quad \theta_a = + \frac{\Delta M_a l_{ab}}{3EI_{ab}} - \frac{\Delta M_b l_{ab}}{6EI_{ab}} + \psi_{ab} \dots X2$$

$$2. \quad \theta_b = - \frac{\Delta M_a l_{ab}}{6EI_{ab}} - \frac{\Delta M_b l_{ab}}{3EI_{ab}} + \psi_{ab}$$

$$2 \theta_a + \theta_b = \frac{1}{2} - \frac{\Delta M_a l_{ab}}{3EI_{ab}} + 3 \psi_{ab}$$

$$\Delta M_{ab} = \frac{2EI_{ab}}{l_{ab}} (2\theta_a + \theta_b - 3 \psi_{ab})$$

$$\text{Analog: } \Delta M_{ba} = \frac{2EI_{ab}}{l_{ab}} (2\theta_b + \theta_a - 3 \psi_{ab})$$

$$\text{Bila dinyatakan } \frac{l_{ab}}{EI_{ab}} = K_{ab}$$

$$\text{Maka: } \Delta M_{ab} = 2 E K_{ab} \{2 \theta_a + \theta_b - 3 \psi_{ab}\}$$

$$\Delta M_{ba} = 2 E K_{ab} \{2 \theta_b + \theta_a - 3 \psi_{ab}\} \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) tersebut adalah persamaan persamaan yang cukup dikenal dalam setiap textbooks mekanika teknik, yang kemudian persamaan ini oleh Takabeya disederhanakan lagi sebagaimana yang akan ditunjukkan dalam persamaan – persamaan (2.11) dan (2.12) nantinya.

Dengan demikian dari persamaan (2.8) dan (2.9) dapat diperoleh :

$$M_{ab} = 2E K_{ab} \{2\theta_a + \theta_b - 3 \psi_{ab}\} + \bar{M}_{ab} \quad (2.10)$$

$$M_{ba} = 2E K_{ab} \{2 \theta_b + \theta_a - 3 \psi_{ab}\} + \bar{M}_{ba}$$

Persamaan (2.10) tersebut disederhanakan lagi oleh Takabeya menjadi :

$$M_{ab} = K_{ab}\{2M_a + M_b - \bar{M}_{ab}\} + \bar{M}_{ab} \quad (2.11)$$

$$M_{ab} = K_{ab}\{2M_b + M_a - \bar{M}_{ba}\} + \bar{M}_{ba}$$

Bila :

$$M_a = 2E K \theta_a ; \quad M_b = 2E K \theta_b \quad (2.12)$$

$$\bar{M}_{ab} = -6E K \psi_{ab} ; \quad K_{ab} = \frac{K_{ab}}{K}$$

Dimana:

K adalah suatu harga konstanta kekakuan (bukan faktor kekakuan seperti K_{ab}). K berdimensi m^3 ditentukan sembarang, sehingga M dan \bar{M} berdimensi sebagai momen yaitu ton/m.

M_a adalah disebut sebagai momen persiil akibat perputaran sudut θ_a , selanjutnya disebut momen rotasi di titik a.

M_b adalah disebut sebagai momen persiil akibat perputaran sudut θ_b , selanjutnya disebut momen rotasi di titik b

\bar{M}_{ab} Disebut sebagai momen persiil akibat pergeseran titik b relatif terhadap titik a sejauh δ_{ab} , selanjutnya disebut momen displacemen dari batang a-b

Persamaan dasar (2.11) tersebut di atas adalah persamaan dasar yang digunakan untuk menurunkan rumus –rumus pada metode TAKABEYA.

Catatan :

Dalam meninjau setiap preebody pada setiap penurunan rumus maupun perhitungan nantinya, arah momen selalu dimisalkan searah dengan perputaran jarum jam pada tiap-tiap ujung batang dari masing-masing freebody, bila ternyata keadaan yang sebenarnya berlawanan dengan pemisalan tersebut, diberi tanda negatif (-) sesuai dengan perjanjian tanda momen.

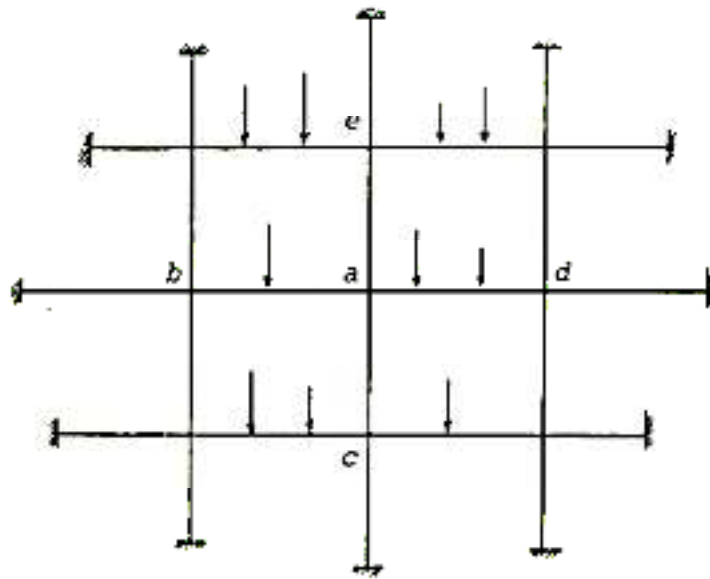
2.4.3 Portal Dengan Titik Kumpul Yang Tetap

Portal dengan titik kumpul yang tetap dimaksud bahwa pada tiap-tiap titik kumpulnya hanya terjadi perputaran sudut, dan tidak terjadi pergeseran. Hal ini terjadi pada portal dimana baik balok maupun kolom – kolomnya disokong oleh perletakan tetapi pada portal simetris baik angka – angka kekakuan maupun pembebanannya.

Penurunan Rumus: Keadaan Umum Persamaan Dasar 2.11:

$$M_{ab} = K_{ab}\{2M_a + M_b + \bar{M}_{ab}\} + \bar{M}_{ab}$$

$$M_{ba} = K_{ab}\{2Mb + Ma + \bar{M}_{ab}\} + \bar{M}_{ba}$$



Gambar 2.14 Portal dengan titik kumpul yang tetap
(Sumber : Soetomo HM ,1981)

Pada portal seperti pada gambar diatas dimana titik-titik kumpulnya adalah tetap, tidak terjadi pergeseran, maka harga \bar{M} pada persamaan dasar tersebut adalah $= 0$. Lihat persamaan (2.13), $\psi_{ab} = 0$.

Kita tinjau pada titik kumpul a:

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= K_{ab}\{2Ma + Mb\} + \bar{M}_{ab} \\ M_{ac} &= K_{ac}\{2Ma + Mc\} + \bar{M}_{ac} \\ M_{ad} &= K_{ad}\{2Ma + Md\} + \bar{M}_{ad} \\ M_{ae} &= K_{ae}\{2Ma + Me\} + \bar{M}_{ae} \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

$$\text{Keseimbangan pada titik kumpul a} \quad \rightarrow \sum M_a = 0$$

Memberikan:

$$M_{ab} + M_{ac} + M_{ad} + M_{ae} = 0 \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.13) dan (2.14) , didapat:

$$2 M_a \begin{bmatrix} K_{ab} \\ K_{ac} \\ K_{ad} \\ K_{ae} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{ab} M_b \\ K_{ac} M_c \\ K_{ad} M_d \\ K_{ae} M_e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{M}_{ab} \\ \bar{M}_{ac} \\ \bar{M}_{ad} \\ \bar{M}_{ae} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.15)$$

Jika:

$$2 \begin{bmatrix} k_{ab} \\ k_{ac} \\ k_{ad} \\ k_{ae} \end{bmatrix} = \rho_a \quad \text{dan} \quad \begin{bmatrix} \bar{M}_{ab} \\ \bar{M}_{ac} \\ \bar{M}_{ad} \\ \bar{M}_{ae} \end{bmatrix} = \tau_a \quad (2.16a)$$

Maka persamaan (2.15) dapat dituliskan menjadi:

$$m_a \rho_a = -\tau_a + \{-K_{ab}\} m_b \begin{matrix} \{-K_{ab}\} \\ + \\ \{-K_{ab}\} \end{matrix} \begin{matrix} m_e \\ m_d \\ m_c \end{matrix} \{-K_{ab}\}$$

Atau:

$$m_a = -\frac{\tau_a}{\rho_a} + \{-\gamma_{ab}\} m_b \begin{matrix} \{-\gamma_{ae}\} \\ + \\ \{-\gamma_{ac}\} \end{matrix} \begin{matrix} m_e \\ m_d \\ m_c \end{matrix} \{-\gamma_{ad}\} \quad (2.17)$$

$$\text{Dimana:} \quad \gamma_{ab} = \frac{K_{ab}}{\rho_a} \quad ; \quad \gamma_{ad} = \frac{K_{ad}}{\rho_a} \quad (2.16b)$$

$$\gamma_{ac} = \frac{K_{ac}}{\rho_a} \quad ; \quad \gamma_{ae} = \frac{K_{ae}}{\rho_a}$$

Diagram pada persamaan (2.17) dituliskan untuk memperlihatkan hubungan γ dan m pada masing-masing ujung batang di titik kumpul a. Persamaan (2.17) tersebut diatas disebut persamaan momen rotasi pada titik kumpul a.

Dengan jalan yang sama, pada titik2 kumpul yang lainnya juga dapat diturunkan persamaan2 momen rotasi seperti pada pers. (2.17), dimana index pertama diganti dengan titik kumpul tsb. dan index kedua di ganti dengan titik2 kumpul yang berada diseberangnya.

Langkah perhitungan dilakukan dengan pendekatan, yaitu pertama2 pada waktu meninjau/menghitung pada satu titik kumpul misalnya di sini titik a, menganggap pada titik kumpul yang lain yang berseberangan dengan titik a, yaitu titik2 b, e, d dan e belum terjadi perputaran sudut, artinya $\theta_b = \theta_c = \theta_d = \theta_e = 0$, dengan demikian berdasarkan persamaan (2.12) $\rightarrow m_b = m_c = m_d = m_e = 0$, dan didapat persamaan momen rotasi pada titik kumpul a, yaitu persamaan (2.17) menjadi :

$$m_a = m_a^{(0)} = -\frac{\tau_a}{\rho_a} \quad (2.18a)$$

Dengan jalan yang sarna, pada waktu meninjau/menghitung titik-titik kumpul yang lain, yaitu titik2 b, e, d dan e juga didapatkan :

$$m_b^{(0)} = -\frac{\tau_b}{\rho_b} \quad ; \quad m_c^{(0)} = -\frac{\tau_c}{\rho_c} \quad ; \quad (2.18b)$$

$$m_d^{(0)} = -\frac{\tau_d}{\rho_d} ; \quad m_e^{(0)} = -\frac{\tau_e}{\rho_e} ;$$

langkah selanjutnya (disebut langkah pertama), menstutitusikan harga2 $m^{(0)}$ yang berada diseborang titik a tersebut pada persamaan (2.17) kembali untuk mendapatkan harga yang disebut $m^{(1)}$ sbb:

$$m_a^{(1)} = -\frac{\tau_d}{\rho_d} + \{-\gamma_{ab}\}m_b^{(0)} \frac{\{-\gamma_{ae}\}m_e^{(0)}}{\{-\gamma_{ac}\}m_c^{(0)}} m_d^{(0)}\{-\gamma_{ad}\}$$

Atau:

$$m_b^{(1)} = m_a^{(0)} + \{-\gamma_{ab}\}m_b^{(0)} \frac{\{-\gamma_{ae}\}m_e^{(0)}}{\{-\gamma_{ac}\}m_c^{(0)}} m_d^{(0)}\{-\gamma_{ad}\}$$

langkah perhitungan selanjutnya dilakukan dengan menstutitusikan lagi harga $m_a^{(n)}$ kedalam persamaan (2.17) tsb, dimana ruas kanan persamaan, suku pertama adalah $m_a^{(0)}$ dan suku kedua $m_{...}^{(n)}$ (dengan catatan di titik kumpul yang lain juga dilakukan hal yang serupa pada setiap langkah yang bersangkutan) untuk mendapatkan harga $m_{...}^{(n+1)}$.

langkah2 perhitungan terus dilakukan hingga mendapatkan hasil yang kanvergen, artinya didapat hasil yang sarna pada keadaan berturutan, yaitu misalnya $m_{...}^{(n+1)} = m_{...}^{(n)}$ pada masing2 titik kumpul.

Dengan dicapainya hasil yang kanvergen pada masing2 titik kumpul, berarti telah tercapai keadaan yang sebenarnya, yaitu pada masing2 titik kumpul tsb. telah terjadi perputaran sudut.

Setelah pemberesan langkah2 perhitungan momen parsiiil ini mencapai hasil yang konvergen (hasil yang tepat), maka untuk mendapatkan besarnya momen akhir (design moment), hasil momen2 parsiiil ini dikembalikan pada persamaan (2.13), yaitu: (dimisalkan hasil konvergensi dicapai pada langkah ke 5).

$$m_{ab} = m_{ab}^{(5)} = k_{ab}\{2 m_a^{(5)} + m_b^{(5)}\} + \bar{M}_{ab}$$

$$m_{ac} = m_{ac}^{(5)} = k_{ac}\{2 m_a^{(5)} + m_c^{(5)}\} + \bar{M}_{ac}$$

$$m_{ad} = m_{ad}^{(5)} = k_{ad}\{2 m_a^{(5)} + m_d^{(5)}\} + \bar{M}_{ad}$$

$$m_{ae} = m_{ae}^{(5)} = k_{ae}\{2 m_a^{(5)} + m_e^{(5)}\} + \bar{M}_{ae}$$

Biasanya didalam praktek perhitungan tidaklah perlu dicapai hingga hasil konvergensi yang tepat, cukup dengan koreksi apabila misalnya jumlah momen2 design pada titik kumpul ini tidak sama dengan nol, misalnya = ΔM , maka selisih ΔM ini diratakan saja sebanding dengan

angka kekakuan masing2 batang pada titik kumpul tsb, yaitu (dimisalkan langkah ke-3 baru mendekati hasil konvergensi)

$$M_{ab} = M_{ab}^{(3)} \pm \frac{k_{ab}}{k_{ab} + k_{ac} + k_{ad} + k_{ae}} x \Delta M \dots \dots \dots \text{dst.}$$

2.5 Analisis Free Body , Gambar Bidang Momen , Lintang dan Aksial

2.5.1 Analisis Free Body

Analisis free body dilakukan untuk menghitung reaksi perletakan akibat beban luar dan momen ujung pada setiap balok dan kolom. Langkah-langkah nya yaitu:

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.

2.5.2 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 perpendekan (tekanan). Momen (M) merupakan Gaya (P) dengan satuan Kilonewton (t) dan Jarak (L) dengan satuan meter (m), dari perkalian ini akan didapat satuan momen yaitu ton meter (kNm).

2.5.3 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 atas dan sebaliknya negatif apabila bekerja ke arah bawah, Gaya-gaya tersebut hanya bekerja pada satu arah yaitu (vertikal).

2.5.4 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.

2.6 Peneliti Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian penelitian ini dijabarkan dalam Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.19 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul	Tujuan	Hasil Penelitian
1	Haryadi Rangkuti (2018)	Analisa Perhitungan Struktur Gedung Dengan Menggunakan Metode Takabeya	Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui struktur balok beton bertulang. Dimana perhitungan manual pada suatu portal yang dibebani oleh beban terbagi rata dan beban terpusat dengan menggunakan Metode Cross (Hardy Cross) dan hasilnya dicek dengan menggunakan program Komputer SAP 2000 versi 14.2.2.	Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa struktur Gedung Rumah Sakit Mitra Medika Tembung merupakan struktur gedung yang aman dalam penggunaan sebagai gedung Rumah Sakit karena dari hasil perhitungan yang telah dilakukan mendapatkan hasil ($\Delta M = 0$) atau mendekati Nol(0) .

2	Muhammad Bakri Saragih (2021)	Analisis Perhitungan Struktur Dengan Menggunakan SAP 2000 dan Metode Cross Di Gedung Kantor Dinas Kesehatan Kota Medan	Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui tata cara perhitungan penulangan dan pendimensian pada komponen pembebanan struktur dan perhitungan struktur portal dengan menggunakan metode Takabeya.	Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa selisih hasil analisis struktur masing – masing metode (manual dan program) pada setiap batang memiliki nilai selisih beragam. Besar selisih antara metode manual dan program memiliki nilai yang cukup tinggi pada masing-masing batang.
3	Japurba T Siburian (2023)	Analisis Portal Struktur Menggunakan Metode Takabeya dan SAP2000 Pada Proyek Pembangunan Kantor Pelayanan Pajak Pratama Balige Sumatera Utara	Tujuan penelitian ini adalah untuk Untuk mengetahui perbandingan hasil perhitungan metode Takabeya dan software SAP 2000	Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa Perbandingan gaya-gaya dalam hasil metode Takabeya dan SAP 2000 memiliki rata-rata selisih hasil kecil, yaitu pada momen $\pm 7\%$, pada gaya geser $\pm 3\%$, dan pada gaya aksial $\pm 5\%$. Tetapi pada beberapa elemen struktur yang terletak di tengah portal memiliki selisih yang besar, yaitu lebih dari 20%. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan pendistribusian beban.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Analisis

Pada penelitian ini, digunakan dua metode analisis struktur, yaitu metode Cross dan metode Takabeya.

3.1.1 Analisis struktur metode Cross

1. 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. Hitung momen primer
2. Menghitung Momen Primer: Tentukan momen primer yang dihasilkan oleh beban-beban yang bekerja pada struktur.
3. Menghitung Kekakuan Lentur: Hitung nilai kekakuan lentur (faktor kekakuan) untuk setiap balok dan kolom pada struktur.
4. 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.
5. 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.
6. 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, gambar diagram momen, lintang, dan gaya Aksial untuk struktur yang dianalisis.

3.1.2 Analisis struktur metode takabeya

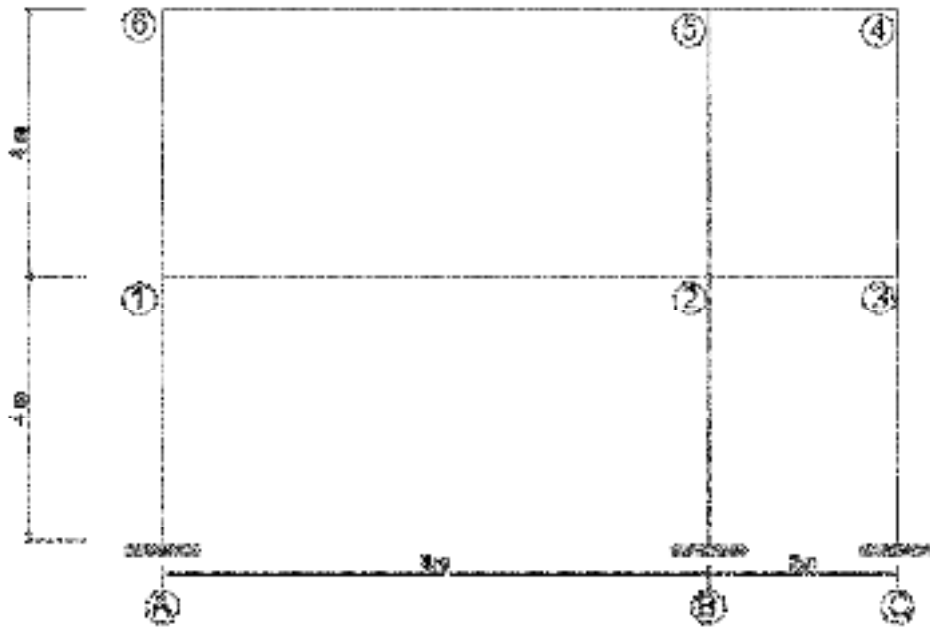
1. Menentukan Inersia Kolom dan Balok: Tentukan nilai inersia untuk setiap kolom dan balok dalam struktur yang dianalisis.
2. Menghitung Momen Primer: Hitung momen primer yang terjadi akibat beban yang bekerja pada struktur.

3. Menghitung Jumlah Momen Primer pada Simpul: Jumlahkan semua momen primer yang terjadi pada setiap simpul dalam struktur.
4. Menentukan ρ (Jumlah Kekakuan): Hitung jumlah kekakuan (ρ) untuk seluruh batang dalam struktur, baik untuk balok maupun kolom.
5. Menghitung Koefisien Rotasi: Tentukan koefisien rotasi untuk setiap simpul berdasarkan jumlah kekakuan dan momen primer.
6. Menghitung Momen Rotasi Awal: Hitung momen rotasi awal untuk setiap batang berdasarkan koefisien rotasi yang telah ditentukan.
7. Menghitung Koefisien Perpindahan: Hitung koefisien pergoyangan berdasarkan kekakuan total dan distribusi beban pada struktur.
8. Melakukan Siklus Takabeya (Pencarian Momen Pembesaran): Lakukan iterasi siklus Takabeya untuk menghitung momen pembesaran pada setiap batang hingga konvergensi tercapai.
9. Menentukan Momen Desain: Setelah iterasi selesai, tentukan momen desain akhir untuk setiap batang yang akan digunakan dalam desain struktur.

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. Terakhir, gambar diagram momen, lintang, dan gaya Aksial untuk struktur yang dianalisis.

3.2 Gambar Model Struktur

Pada tugas akhir ini membahas struktur portal 2 lantai, Gambar berikut memperlihatkan model struktur portal yang akan digunakan dalam analisis menggunakan metode Cross dan metode Takabeya.



Gambar 3.1 Model struktur portal

3.3 Diagram Alir Penelitian

Tahapan Proses yang dilakukan dalam analisis ini di gambarkan dalam bentuk bagan aliran penelitian pada:

