

## ANALISIS KONSTRUKSI BERTAHAP PADA PORTAL BETON BERTULANG DENGAN VARIASI PANJANG BENTANG DAN JUMLAH TINGKAT

I Ketut Yasa Bagiarta<sup>1</sup>, Made Sukrawa<sup>2</sup> dan Ketut Sudarsana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa Denpasar, Jl. Terompong 24 Denpasar  
Email: yasa2709@gmail.com

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. PB Sudirman Denpasar  
Email: msukrawa@yahoo.com

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. PB Sudirman Denpasar  
Email: ksudarsana@civil.unud.ac.id

### ABSTRAK

Analisis struktur portal bertingkat secara konvensional mengasumsikan beban bekerja setelah struktur berdiri secara keseluruhan. Sedangkan dalam analisis konstruksi bertahap struktur dianalisis sesuai dengan tahapan pelaksanaan yang direncanakan. Metode analisis konstruksi bertahap merupakan analisis nonlinear geometri, dimana hasil analisis sebelumnya merupakan kondisi awal bagi analisis selanjutnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil analisis lendutan dan gaya-gaya dalam antara metode analisis konvensional dengan metode analisis konstruksi bertahap pada struktur portal beton bertulang dengan variasi panjang bentang balok ( 6, 8, dan 10m) dan jumlah tingkat (2, 3, 4 tingkat). Pada analisis konstruksi bertahap diteliti pula pembesaran lendutan dan gaya-gaya dalam yang terjadi dengan berubahnya panjang bentang dan jumlah tingkat. Disamping itu juga ditinjau dua metode pelaksanaan yang berbeda yakni: Metode Pelaksanaan-1 yaitu pelaksanaan satu tingkat dalam satu tahap; dan Metode Pelaksanaan-2 yaitu pelaksanaan dua tingkat dalam satu tahap. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada pembebanan vertikal (beban gravitasi) analisis konstruksi bertahap memberikan nilai lendutan dan gaya-gaya dalam lebih besar dari pada analisis konvensional, dengan rasio berkisar antara 1,069 sampai dengan 2,248. Rasio terbesar terjadi pada tahap awal pelaksanaan konstruksi. Rasio lendutan dan gaya-gaya dalam bertambah besar dengan meningkatnya nilai panjang bentang dengan rasio maksimum 1,239. Namun demikian, penambahan jumlah tingkat cenderung tidak berpengaruh terhadap rasio nilai lendutan dan gaya-gaya dalam struktur. Perubahan metode pelaksanaan dari Metode Pelaksanaan-1 ke Metode Pelaksanaan-2 meningkatkan lendutan dan gaya-gaya dalam struktur dengan rasio maksimum 1,490.

Kata kunci : Analisis Konstruksi Bertahap, Lendutan dan Gaya-gaya Dalam

### 1. PENDAHULUAN

Analisis struktur portal bertingkat dengan metode linear atau Analisis Konvensional (AK) mengasumsikan beban bekerja setelah struktur berdiri secara keseluruhan. Setiap tingkat menerima beban pada saat yang bersamaan, sehingga elemen-elemen struktur akan mulai mengalami deformasi secara bersamaan. Ini berarti seluruh tingkat pada struktur portal memiliki kondisi awal yang sama, yaitu kondisi dimana tegangan awal, gaya luar yang bekerja, dan deformasi elemen struktur adalah nol.

Dalam pelaksanaannya, pengerjaan suatu struktur selalu bertahap. Portal dikerjakan dalam beberapa tahapan tingkat mulai dari tingkat satu dan seterusnya. Ketika suatu tingkat sudah dikerjakan, maka tingkat tersebut sudah menerima beban akibat berat sendiri maupun beban pelaksanaan walaupun struktur belum selesai keseluruhan. Akibatnya setiap tingkat mengalami deformasi tidak secara bersamaan. Ini berarti bahwa setiap tingkat dianalisis dengan kondisi awal yang berbeda. Tingkat pertama dianalisis dengan kondisi awal (tegangan dan deformasi) nol. Analisis tingkat selanjutnya dimulai dengan kondisi awal yang bukan nol, melainkan sudah terdapat tegangan dan deformasi struktur akibat analisis tingkat sebelumnya, deformasi dan gaya-gaya dalam yang timbul pada saat pelaksanaan konstruksi lebih besar dari nilai-nilai yang timbul setelah konstruksi dipergunakan secara penuh.

Pengaruh metode pelaksanaan dan beban bertahap yang diterima konstruksi pada tahap pelaksanaan dapat diperhitungkan dengan metode analisis konstruksi bertahap (AKB) sebagai padanan dari *Staged Construction Analysis*. Portal dianalisis dalam setiap tingkat pelaksanaan mulai dari tingkat satu ke tingkat berikutnya. Demikian

juga proses pembebanan dilakukan secara bertahap sesuai dengan tahapan pelaksanaan konstruksi. Metode ini mengasumsikan bahwa hasil analisis suatu tingkat adalah merupakan kondisi awal bagi analisis tingkat selanjutnya.

Pada tutorial SAP2000 ditunjukkan perbandingan hasil analisis metode linier AKB. pada kasus portal bertingkat tiga dengan kolom di tengah tidak menerus pada tingkat-1. Hasil analisis menunjukkan bahwa deformasi struktur 1,88 lebih besar daripada analisis linier. Momen pada balok tingkat pertama 2,044 kali lebih besar. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan dalam perencanaan sehingga membahayakan keamanan struktur.

Menurut Arman (2005) dalam Analisis portal bertingkat dengan metode konstruksi bertahap, dengan model struktur portal beton bertulang bertingkat empat dan lebar bentang 6 meter dengan model struktur tiga dimensi, didapat lendutan maksimum balok dengan metode AKB 1,16 kali dari AK dan momen lapangan balok 1,11 kali dari AK. Pada penelitian ini tidak dianalisis perbandingan antara AK dengan AKB pada panjang bentang yang berbeda dan jumlah tingkat yang berbeda

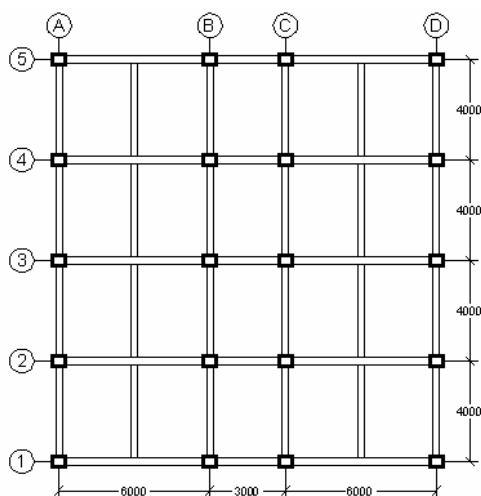
Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka perlu dikaji perbandingan hasil analisis antara metode AK dengan metode AKB pada kasus portal beton bertulang dengan variasi panjang bentang balok dan jumlah tingkat dan dikaji bagaimana pengaruh perubahan panjang bentang balok dan jumlah tingkat terhadap deformasi dan gaya-gaya dalam pada AKB.

Dari studi analisis ini akan diperoleh perbandingan hasil analisis berupa deformasi dan gaya-gaya dalam antara metode AK dengan metode AKB pada struktur portal beton bertulang dengan variasi panjang bentang balok dan jumlah tingkat dan diketahui pengaruh perubahan panjang bentang balok dan jumlah tingkat terhadap deformasi dan gaya-gaya dalam hasil AKB.

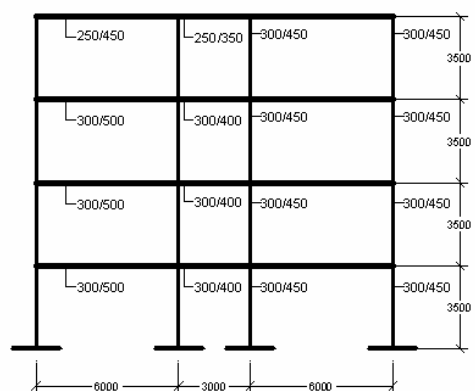
## 2. METODE ANALISIS

Struktur yang dianalisis adalah portal beton bertulang tiga dimensi yang terdiri dari sembilan sampel dengan variasi bentang tepi dengan panjang bentang, 6 m, 8 m dan 10 m, dan variasi jumlah tingkat yang terdiri dari dua, tiga dan empat tingkat yang berupa bangunan sekolah atau hotel. Bentuk dan ukuran portal ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b. Mutu beton  $f'_c$  25 Mpa dan mutu baja  $f_y$  320 Mpa. Metode pelaksanaan yang dipakai untuk analisis bertahap adalah Metode Pelaksanaan-1 (MP1) dan Metode Pelaksanaan-2 (MP2). MP1 adalah metode pelaksanaan bertahap per tingkat dimana tingkat di atasnya dikerjakan setelah kekuatan beton pada tingkat di bawahnya mencapai 100%, bekisting dan perancah di bawahnya dibuka. MP2 adalah metode pelaksanaan konstruksi secara bertahap per tingkat dimana tingkat di atasnya sudah dikerjakan sebelum kekuatan beton mencapai 100% tetapi bekisting dan perancah di bawahnya belum dibuka. Pengecoran beton tingkat di atasnya dilakukan setelah kekuatan beton pada tingkat tersebut mencapai 100%.

Dimensi balok dan kolom ditentukan dengan AK dengan program SAP2000 dengan jumlah tulangan lentur dan tulangan geser yang memenuhi syarat yaitu lebih besar dari tulangan minimum dan lebih kecil dari tulangan maksimum.



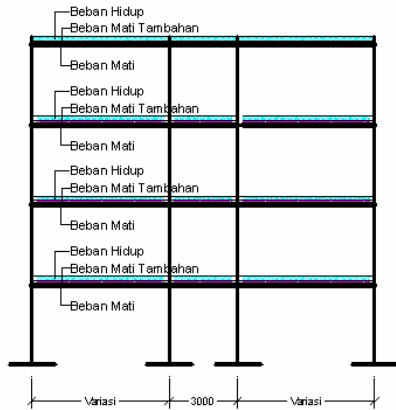
Gambar 1a Denah Lantai Tipikal Portal Bentang 6 m



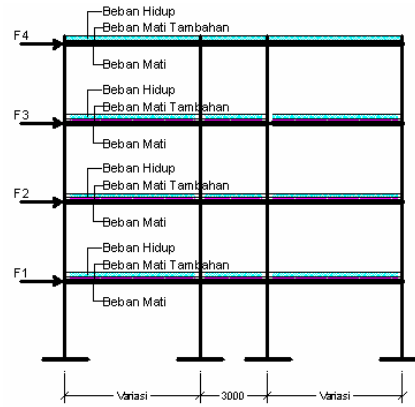
Gambar 1b Portal As 1- 5 Portal Bentang 6 m

### Analisis konvensional (AK)

Analisis linear atau AK mengasumsikan bahwa seluruh beban bekerja pada struktur setelah struktur berdiri secara keseluruhan. Sehingga beban yang dianalisis adalah Beban: mati, mati tambahan dan beban hidup serta beban gempa dilakukan secara bersamaan. Gambar pembebanan di tunjukkan pada Gambar 2a dan 2b.



Gambar 2a Pembebanan pada AK akibat Mati, Mati Tambahan dan Beban hidup.



Gambar 2b Pembebanan pada AK Akibat Gravitasi dan Beban Gempa

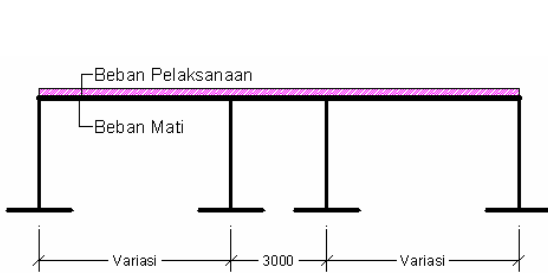
### Analisis Konstruksi Bertahap (AKB)

Analisis metode konstruksi bertahap dilakukan dalam beberapa tahap analisis. Masing-masing tahap memiliki ketentuan yang berbeda-beda tergantung dari metode pelaksanaan yang digunakan. Metode pelaksanaan dan tahapan analisis yang digunakan untuk masing-masing sampel adalah sebagai berikut :

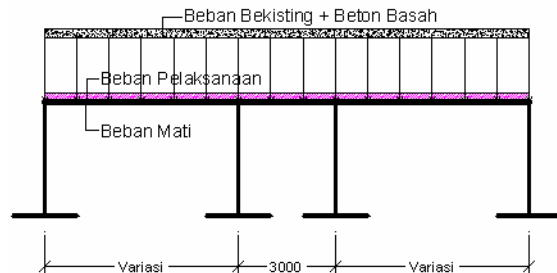
#### Metode pelaksanaan-1 (MP1)

**Tahap 1a :** Pada tahap ini diasumsikan struktur tingkat 1 telah selesai dikerjakan dan bekisting penahan telah dilepas. Beban mati bekerja pada suatu tingkat ketika kekuatan beton ( $f'c$ ) sudah mencapai 100%. Beban yang bekerja adalah beban mati akibat berat sendiri dari struktur tingkat 1. Pelat lantai tingkat 1 menerima beban pelaksanaan. Kondisi awal adalah nol. Ketentuan analisis tahap 1a ditunjukkan pada Gambar 3a.

**Tahap 1b :** Pada tahap ini, struktur tingkat 2 dicor. Pelat lantai tingkat 1 menerima tambahan beban akibat berat konstruksi bekisting dan berat beton basah akibat pengecoran struktur tingkat 2. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 1a. Ketentuan analisis tahap 1b ditunjukkan seperti Gambar 3b.

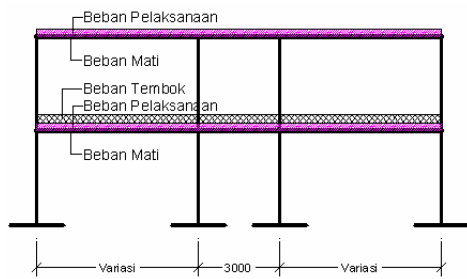


Gambar 3a Kondisi Tahap 1a MP1

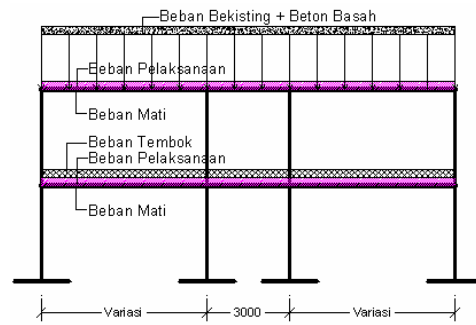


Gambar 3b Kondisi Tahap 1b MP1

**Tahap 2a :** Perancah dan bekisting struktur tingkat 2 dilepas, sehingga beban konstruksi bekisting dan beban beton basah tingkat 2 tidak bekerja lagi pada lantai-1, dan tembok pada tingkat 1 dikerjakan. Struktur yang menerima beban pada tahap ini adalah struktur tingkat 1 dan tingkat 2. Pelat lantai tingkat 2 menerima beban pelaksanaan. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap1b Gambar 2c menunjukkan kondisi tahap 2a.



Gambar 3c Kondisi Tahap 2a MP1



Gambar 3d Kondisi Tahap 2b MP1

**Tahap 2b :** Pekerjaan pengecoran struktur tingkat 3 dilaksanakan, pelat lantai struktur tingkat 2 menerima tambahan beban akibat berat konstruksi bekisting dan berat beton basah akibat pengecoran struktur tingkat 3. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 2a. Gambar 3d menunjukkan kondisi tahap 2b.

**Tahap 3a :** Perancah dan bekisting struktur tingkat 3 dilepas, sehingga beban konstruksi bekisting dan beban beton basah pada tingkat 3 tidak bekerja lagi dan tembok pada tingkat 2 dikerjakan. Struktur yang menerima beban pada tahap ini adalah struktur tingkat 1, 2, dan 3. Pelat lantai tingkat 3 menerima beban pelaksanaan. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 2b. Gambar 3e menunjukkan kondisi tahap 3a.

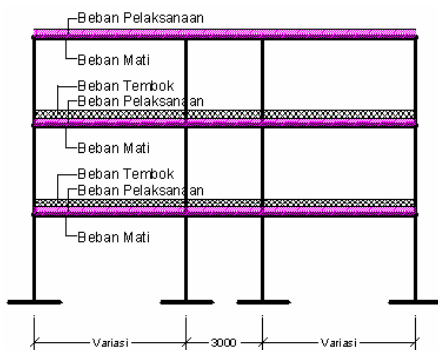
**Tahap 3b :** Pekerjaan pengecoran struktur tingkat 4 dilaksanakan. Pelat lantai struktur tingkat 3 menerima tambahan beban akibat berat konstruksi bekisting dan berat beton basah akibat pengecoran struktur tingkat 4. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 3a. Gambar 3f menunjukkan kondisi tahap 3b.

**Tahap 4a :** Perancah dan bekisting struktur tingkat 4 dilepas, sehingga beban konstruksi bekisting dan beban beton basah pada tingkat 4 tidak bekerja lagi dan tembok pada tingkat 3 dikerjakan. Struktur yang menerima beban pada tahap ini adalah struktur tingkat 1, 2, 3 dan 4. Pelat lantai tingkat 4 menerima beban pelaksanaan dan tembok realing tingkat 4 dikerjakan. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 3b. Gambar 3g menunjukkan kondisi tahap 4a.

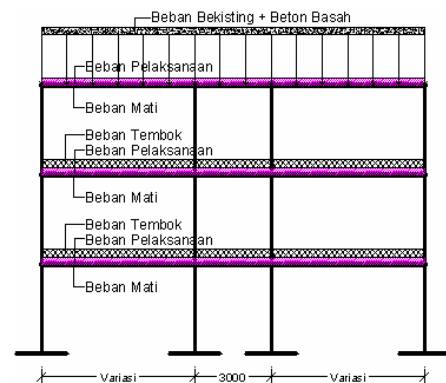
**Tahap 4b :** Pada tahap ini pekerjaan finishing dikerjakan di semua tingkat, sehingga beban yang bekerja di semua tingkat adalah beban mati, beban pelaksanaan, beban tembok dan beban finishing. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 4a. Gambar 3h menunjukkan kondisi tahap 4b

**Tahap 4c :** Gedung sudah selesai dikerjakan, sehingga beban Pelaksanaan tidak bekerja di semua lantai, dan beban hidup bekerja di semua lantai. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 4b. Gambar 3.i menunjukkan kondisi tahap 4c.

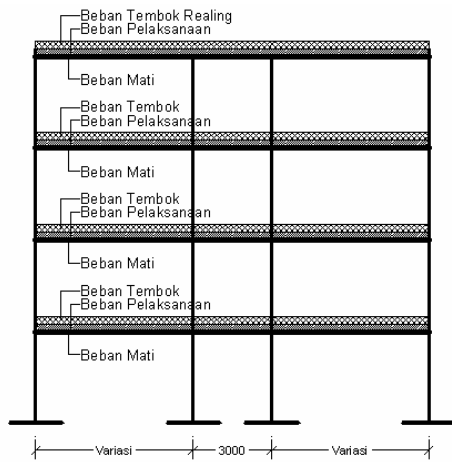
**Tahap 4d :** Pada tahap ini gedung diasumsikan menerima beban gempa. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 4c. Gambar 3.j menunjukkan kondisi tahap 4d



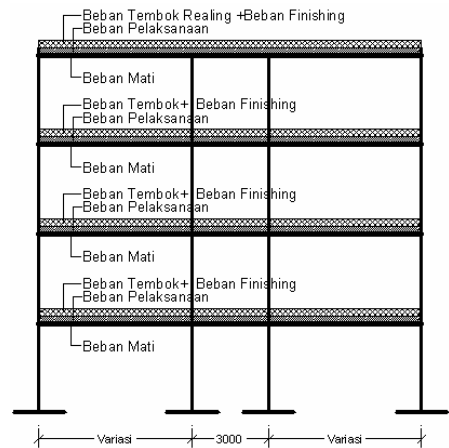
Gambar 3e Kondisi Tahap 3a MP1



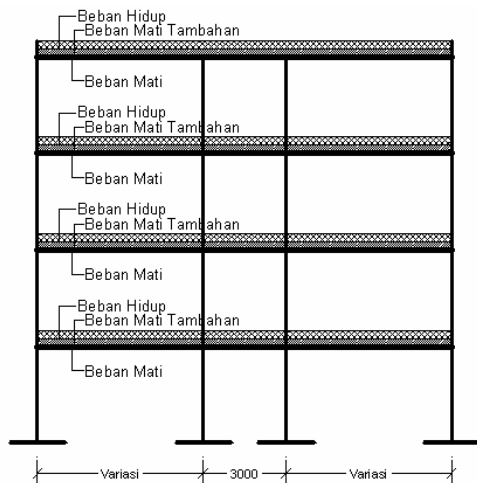
Gambar 3f Kondisi Tahap 3b MP1



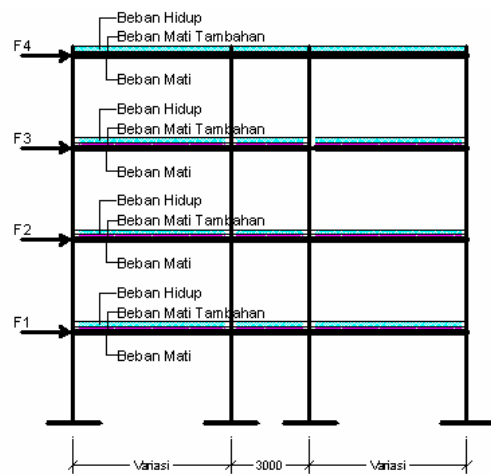
Gambar 3g Kondisi Tahap 4a MP1



Gambar 3h Kondisi Tahap 4b MP1



Gambar 3i Kondisi Tahap 4c MP1



Gambar 3j Kondisi Tahap 4d MP1

### Metode pelaksanaan-2 (MP2)

**Tahap 1a**, diasumsikan struktur tingkat 1 dan tingkat 2 telah selesai, bekisting dan perancah tingkat 1 dilepas dengan asumsi  $f_c'$  struktur tingkat 1 sudah mencapai 100%, sedangkan bekisting dan perancah tingkat 2 belum dilepas. Beban yang bekerja pada tahap ini adalah beban berat sendiri struktur. Pelat lantai tingkat 1 menerima beban pelaksanaan, beban bekisting dan beton basah tingkat 2. Kondisi awal nol.

**Tahap 1b**, diasumsikan perancah tingkat 2 belum dilepas, struktur tingkat 3 dikerjakan. Beban yang bekerja pada tahap ini adalah beban berat sendiri struktur tingkat 1. Pelat lantai tingkat 1 menerima beban pelaksanaan, beban bekisting dan beton basah tingkat 2 dan bekisting tingkat 3. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 1a.

**Tahap 2a**, diasumsikan perancah tingkat 2 belum dilepas, tetapi kekuatan beton mencapai 100% , pelat lantai struktur tingkat 3 dicor. Beban beton basah tingkat 2 tidak bekerja lagi. Beban yang bekerja pada tahap ini adalah beban mati akibat berat sendiri dari elemen-elemen utama struktur tingkat 1 dan tingkat 2. Pelat lantai tingkat 2 menerima beban pelaksanaan, beban bekisting dan beton basah tingkat 3. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 1b.

**Tahap 2b**, diasumsikan perancah tingkat 2 dilepas, tembok pada tingkat 1 dan bekisting tingkat 4 dikerjakan. Beban bekisting tingkat 2 tidak bekerja lagi. Beban yang bekerja pada tahap ini adalah beban berat sendiri tingkat 1 dan tingkat 2. Pelat lantai tingkat 2 menerima beban pelaksanaan, beban bekisting ,beton basah tingkat 3 dan beban bekisting tingkat 4. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 2a.

**Tahap 3a**, diasumsikan perancah tingkat 3 belum dilepas, tetapi beton sudah kering ( $f_c'$  mencapai 100%), pelat lantai struktur tingkat 4 dicor. Beban beton basah tingkat 3 tidak bekerja lagi. Beban yang bekerja pada tahap ini

adalah beban berat sendiri struktur tingkat 1, 2 dan 3. Pelat lantai tingkat 3 menerima beban pelaksanaan, beban bekisting dan beton basah tingkat 4. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 2b.

**Tahap 3b**, diasumsikan perancah tingkat 3 dilepas, tembok pada tingkat 2 dan tembok realing tingkat 4 dikerjakan. Beban bekisting tingkat 3 tidak bekerja lagi. Beban yang bekerja pada tahap ini adalah beban berat sendiri struktur tingkat 1, 2 dan 3. Pelat lantai tingkat 3 menerima beban pelaksanaan, beban bekisting, beton basah tingkat 4 dan tembok realing tingkat 4. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 3a.

**Tahap 4a**, diasumsikan bekisting dan perancah Tingkat 4 dilepas, tembok pada tingkat 3 dikerjakan. Beban bekisting dan beton basah tingkat 4 tidak bekerja lagi. Beban yang bekerja pada tahap ini adalah beban berat sendiri struktur tingkat 1, 2, 3 dan 4. Pelat lantai tingkat 3 menerima beban pelaksanaan dan tembok tingkat 3. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 3b.

**Tahap 4b**, pekerjaan finishing dikerjakan di semua tingkat, sehingga beban yang bekerja di semua tingkat adalah beban mati, beban pelaksanaan, beban tembok dan beban finishing. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 4a.

**Tahap 4c**, Gedung sudah selesai dikerjakan, sehingga beban Pelaksanaan tidak bekerja di semua lantai, dan beban hidup bekerja di semua lantai. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 4b.

**Tahap 4d**, gedung diasumsikan menerima beban gempa. Kondisi awal merupakan lanjutan dari kondisi akhir analisis tahap 4c.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pembahasan yang dilakukan berupa perbandingan lendutan dan gaya-gaya dalam hasil analisis struktur antara metode AKB dengan metode AK dan pengaruh penambahan panjang bentang dan jumlah tingkat serta perubahan metode pelaksanaan terhadap rasio lendutan dan gaya-gaya dalam. Portal yang ditinjau adalah Portal As-3, yang merupakan portal tengah dengan beban terbesar.

#### **Perbandingan Lendutan**

Lendutan maksimum balok dengan AKB rata-rata lebih besar dari lendutan balok metode AK. Lendutan maksimum terjadi pada tahap pelaksanaan konstruksi. Rasio lendutan balok terbesar pada portal bentang 6 m dengan MP1 adalah 1,264 atau meningkat sebesar 26,40 %, portal bentang 8 m 1,385 atau meningkat 38,50 %, portal bentang 10 m 1,53 atau meningkat 53,00 %. Dan untuk MP2 rasio lendutan balok terbesar pada Portal bentang 6 m adalah 1,295 atau meningkat 29,50 %, portal bentang 8 m 1,477 atau meningkat 47,70 %, portal bentang 10 m 1,639 atau meningkat 63,90 %. Lendutan yang terjadi untuk semua sampel tidak ada yang lebih besar dari lendutan yang diijinkan. Rasio lendutan terbesar terjadi pada portal 4 tingkat bentang 10 meter. dengan metode pelaksanaan MP2 sebesar 0,683.

#### **Perbandingan Momen**

Momen Lapangan maksimum balok dengan AKB rata-rata lebih besar dari momen lapangan maksimum metode AK. Momen Lapangan maksimum terjadi pada tahap pelaksanaan konstruksi. Untuk MP1 rasio momen lapangan terbesar pada balok portal bentang 6 m adalah 1,423 atau meningkat 42,30 %, pada balok portal bentang 8 m 1,492 atau meningkat 49,20 %, pada balok portal bentang 10 m 1,552 atau meningkat sebesar 155,2 %. Dan untuk MP2 rasio momen lapangan terbesar pada balok portal bentang 6 m adalah 1,578 atau meningkat 57,80 %, pada balok portal bentang 8 m 1,651 atau meningkat 65,10 %, pada balok portal bentang 10 m 1,710 atau meningkat sebesar 71,00 %.

Sedangkan nilai momen tumpuan balok dari AKB dan AK hampir sama baik akibat beban gravitasi maupun akibat beban gravitasi ditambah beban gempa, dengan rasio momen terbesar sebesar 1,066. Momen kolom dengan AKB akibat beban gravitasi rata-rata lebih besar dari momen kolom dengan metode AK. Momen kolom maksimum terjadi pada tahap pelaksanaan konstruksi. Untuk MP1 rasio momen kolom terbesar pada portal bentang 6 m adalah 1,979 atau meningkat 97,90 %, pada portal bentang 8 m 2,109 atau meningkat 110,90 %, pada portal bentang 10 m 2,248 atau meningkat sebesar 124,80 %. Dan untuk MP2 rasio momen kolom terbesar pada portal bentang 6 m adalah 2,195 atau meningkat 119,50 %, pada portal bentang 8 m 2,334 atau meningkat 133,40 %, pada portal bentang 10 m 2,475 atau meningkat sebesar 147,50 %.

Momen kolom akibat beban gravitasi ditambah beban gempa dengan AKB lebih besar dari momen kolom dengan AK. Untuk MP1 rasio momen kolom terbesar pada portal bentang 6 m adalah 1,151 atau meningkat 15,10 %, pada portal bentang 8 m 1,229 atau meningkat 22,90 %, pada portal bentang 10 m 1,303 atau meningkat sebesar 30,30 %.

Dan untuk MP2 rasio momen kolom terbesar pada portal bentang 6 m adalah 1,092 atau meningkat 9,20 %, pada portal bentang 8 m 1,147 atau meningkat 14,70 %, pada portal bentang 10 m 1,200 atau meningkat sebesar 20,00 %.

### **Perbandingan Gaya Geser**

Gaya geser balok akibat beban gravitasi dengan AKB rata-rata lebih besar dari gaya geser balok dengan metode konvensional, yang terjadi pada tahap pelaksanaan konstruksi. Rasio gaya geser balok terbesar pada portal bentang 6 m untuk MP1 adalah 1,069 atau meningkat 6,90 %, pada portal bentang 8 m 1,106 atau meningkat 10,60 % dan pada portal bentang 10 m 1,149 atau meningkat sebesar 14,90 % . Dan untuk MP2 rasio gaya geser balok terbesar pada portal bentang 6 m adalah 1,185 atau meningkat 18,50%, pada portal bentang 8 m 1,224 atau meningkat 22,40 % dan pada portal bentang 10 m 1,264 atau meningkat 26,40 %.

Sedangkan gaya geser balok akibat beban gravitasi ditambah beban gempa AKB dan AK besarnya hampir sama, rasio gaya geser balok terbesar sebesar 1,006. Gaya geser kolom dengan AKB akibat beban gravitasi rata-rata lebih besar dari gaya geser kolom dengan metode AK. Gaya geser kolom maksimum terjadi pada tahap pelaksanaan konstruksi. Rasio gaya geser kolom terbesar pada portal bentang 6 m untuk MP1 adalah 1,979 atau meningkat 97,90 %, pada portal bentang 8 m 2,108 atau meningkat 110,8 % dan pada portal bentang 10 m 2,247 atau meningkat sebesar 124,7 %. Untuk MP2 rasio gaya geser kolom terbesar pada portal bentang 6 m adalah 2,194 atau meningkat 119,40 %, pada portal bentang 8 m 2,333 atau meningkat 133,3 % dan pada portal bentang 10 m 2,473 atau meningkat 147,3 %.

Gaya geser kolom akibat beban gravitasi ditambah beban gempa AKB lebih besar dari gaya geser kolom dengan AK hanya pada tingkat-1 saja. Rasio gaya geser kolom terbesar pada kolom Tingkat-1 untuk MP1 pada portal bentang 6 m sebesar 1,113 atau meningkat 11,30 %, pada portal bentang 8 m 1,178 atau meningkat 17,80 %, dan pada portal bentang 10 m 1,241 atau meningkat 24,10 %. Dan untuk MP2 pada portal bentang 6 m 1,065 atau meningkat 6,50 %, pada portal bentang 8 m 1,105 atau meningkat 10,50 % dan pada portal bentang 10 m 1,144 atau meningkat 14,40 %.

### **Perbandingan Gaya Aksial Kolom**

Gaya aksial kolom akibat beban gravitasi AKB lebih kecil dari gaya aksial kolom dengan AK. Rasio gaya aksial kolom terkecil terjadi pada tahap pelaksanaan konstruksi. Rasio gaya aksial kolom terkecil untuk portal 2 tingkat bentang 6 m adalah 0,618 atau berkurang sebesar 38,20 %, untuk portal 3 tingkat 0,403 atau berkurang 59,70 % dan untuk portal 4 tingkat 0,291 atau berkurang 70,90 %. Rasio gaya aksial kolom terkecil untuk portal 2 tingkat bentang 8 m adalah 0,627 atau berkurang sebesar 37,30 %, untuk portal 3 tingkat 0,417 atau berkurang 58,30 % dan untuk portal 4 tingkat 0,301 atau berkurang 69,90 %. Rasio gaya aksial kolom terkecil untuk portal 2 tingkat bentang 10 m adalah 0,651 atau berkurang sebesar 34,90 %, untuk portal 3 tingkat 0,424 atau berkurang 57,60 % dan untuk portal 4 tingkat 0,308 atau berkurang 69,20 %. Pengurangan gaya aksial ini terjadi karena pada tahap pelaksanaan konstruksi sistem struktur belum terbentuk semuanya, kolom hanya menerima gaya aksial satu tingkat di atasnya saja.

Gaya aksial kolom akibat beban gravitasi AKB pada tahap akhir sama dengan gaya aksial kolom dengan AK. Ini menunjukkan bahwa beban total yang bekerja pada AKB sama dengan beban total yang bekerja pada AK. Gaya aksial kolom akibat beban gravitasi ditambah beban gempa AKB sama dengan gaya aksial kolom dengan AK.

## **Pengaruh Penambahan Panjang Bentang Balok Terhadap Rasio Lendutan dan Gaya-Gaya Dalam**

### **Pengaruh penambahan panjang bentang balok terhadap rasio lendutan**

Penambahan panjang bentang balok cenderung menambah rasio lendutan balok. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 8,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio lendutan balok maksimum 6,70 %, portal 3 tingkat sebesar 10,90 % dan portal 4 tingkat sebesar 19,00 %. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 10,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio lendutan balok maksimum 17,90 %. portal 3 tingkat sebesar 24,10 %, dan portal 4 tingkat sebesar 38,50 %.

### **Pengaruh penambahan panjang bentang balok terhadap rasio momen lapangan balok**

Penambahan panjang bentang balok cenderung menambah rasio momen lapangan balok, yang dapat ditunjukkan dari hasil analisis rasio momen lapangan untuk semua sampel. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 8,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio momen lapangan maksimum sebesar 2,60 %, Portal 3 tingkat sebesar 3,90% dan Portal 4 tingkat sebesar 4,80 %. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi

10,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio momen lapangan maksimum sebesar 10,90%, Portal 3 tingkat sebesar 9,10 % dan Portal 4 tingkat sebesar 12,30%.

#### **Pengaruh penambahan panjang bentang balok terhadap rasio momen kolom**

Penambahan panjang bentang balok cenderung menambah rasio momen kolom, yang dapat ditunjukkan dari analisis rasio momen terbesar untuk semua sampel. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 8,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio momen kolom maksimum sebesar 6,60 %, Portal 3 tingkat sebesar 6,90 % dan Portal 4 tingkat sebesar 7,50 %. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 10,00 m untuk sampel Portal 2 meningkatkan rasio momen kolom maksimum sebesar 19,50 %, Portal 3 tingkat sebesar 17,90 % dan Portal 4 tingkat sebesar 15,70 %.

#### **Pengaruh penambahan panjang bentang balok terhadap rasio gaya geser balok**

Penambahan panjang bentang balok cenderung menambah rasio gaya geser balok, yang dapat ditunjukkan pada analisis rasio gaya geser balok untuk semua sampel. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 8,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio gaya geser balok maksimum sebesar 2,30 %, Portal 3 tingkat sebesar 3,90 % dan Portal 4 tingkat sebesar 3,80 %. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 10,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio gaya geser balok maksimum sebesar 10,60 %, Portal 3 tingkat sebesar 8,00 %, dan Portal 4 tingkat sebesar 9,80 %.

#### **Pengaruh penambahan panjang bentang balok terhadap rasio gaya geser kolom**

Penambahan panjang bentang balok cenderung menambah rasio gaya geser kolom, ini dapat dilihat pada rasio gaya geser kolom terbesar untuk semua sampel. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 8,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio gaya geser kolom maksimum sebesar 6,60 %, portal 3 tingkat sebesar 6,20 % dan portal 4 tingkat sebesar 6,80 %. Penambahan panjang bentang balok dari 6,00 m menjadi 10,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio gaya geser kolom maksimum sebesar 19,50 %, portal 3 tingkat sebesar 13,00 % dan portal 4 tingkat sebesar 14,00 %.

#### **Pengaruh penambahan panjang bentang balok terhadap rasio gaya aksial kolom**

Penambahan panjang bentang balok cenderung menambah rasio gaya aksial kolom, ini dapat dilihat pada rasio gaya aksial terbesar untuk masing-masing sampel. Penambahan panjang bentang dari 6,00 m menjadi 8,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio gaya aksial kolom maksimum sebesar 1,30 %, portal 3 tingkat sebesar 3,30 % dan portal 3 tingkat sebesar 3,20 %. Penambahan panjang bentang dari 6,00 m menjadi 10,00 m untuk sampel Portal 2 tingkat meningkatkan rasio gaya aksial kolom maksimum sebesar 5,30 %, portal 3 tingkat sebesar 5,10 % dan portal 4 tingkat sebesar 5,60 %.

#### **Pengaruh Penambahan Jumlah Tingkat Terhadap Rasio Lendutan dan Gaya-Gaya Dalam**

Penambahan jumlah tingkat cenderung tidak menambah rasio lendutan balok, momen lapangan balok, momen kolom, gaya geser balok dan gaya geser kolom, ini dapat ditunjukkan dari hasil perbandingan rasio lendutan balok, momen lapangan balok, momen kolom, gaya geser balok dan gaya geser kolom untuk balok dan kolom yang sama dengan jumlah tingkat yang berbeda.

Penambahan jumlah tingkat cenderung mengurangi rasio gaya aksial kolom antara analisis konstruksi bertahap dengan AK. Ini dapat dilihat pada rasio gaya aksial kolom untuk kolom yang sama pada sampel dengan jumlah tingkat yang berbeda. Penambahan jumlah tingkat dari 2 tingkat menjadi 3 tingkat mengurangi rasio gaya aksial kolom maksimum sebesar 34,90 % pada kolom Tingkat-1. Penambahan jumlah tingkat dari 2 tingkat menjadi 4 tingkat mengurangi rasio gaya aksial kolom maksimum sebesar 52,90 % pada kolom Tingkat-1.

#### **Pengaruh Perubahan Metode Pelaksanaan Terhadap Rasio Lendutan dan Gaya-gaya Dalam**

Metode pelaksanaan yang digunakan/dipakai berpengaruh terhadap lendutan balok dan gaya-gaya dalam. Hal ini dapat ditunjukkan dengan hasil analisis sampel Portal 4 tingkat dimana perbandingan rasio lendutan balok dan gaya-gaya dalam untuk masing-masing metode pelaksanaan.

Perubahan metode pelaksanaan dari MP1 ke MP2 meningkatkan rasio lendutan maksimum 11,50 %.

Perubahan metode pelaksanaan dari MP1 ke MP2 meningkatkan rasio momen lapangan maksimum 10,90 %.

Perubahan metode pelaksanaan dari MP1 ke MP2 meningkatkan rasio momen kolom maksimum 12,30 %.

Perubahan metode pelaksanaan dari MP1 ke MP2 meningkatkan rasio gaya geser balok maksimum 10,80 %.

Perubahan metode pelaksanaan dari MP1 ke MP2 meningkatkan rasio gaya geser kolom maksimum 14,90 %.

Perubahan metode pelaksanaan dari MP1 ke MP2 meningkatkan rasio gaya aksial kolom maksimum 10,30%.



## 4. SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang dilakukan dengan membandingkan nilai lendutan dan gaya-gaya dalam pada AKB dengan nilai-nilai pada AK dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada Pembebanan vertikal (beban gravitasi) AKB memberikan nilai lendutan dan gaya-gaya dalam yang lebih besar dari pada AK, dengan rasio berkisar antara 1,069 sampai dengan 2,248, dimana rasio ini dominan pada tahap awal pelaksanaan konstruksi. Sedangkan akibat kombinasi beban gempa, rasio ini mendekati 1 (satu) karena konstruksinya dianalisis dalam keadaan lengkap. Pengaruh AKB terbesar pada tingkat paling bawah dan mengecil pada tingkat di atasnya.
2. Penambahan panjang bentang balok cenderung meningkatkan rasio nilai lendutan dan gaya-gaya dalam pada AKB. Penambahan panjang bentang dari 6,00 m menjadi 8,00 m meningkatkan rasio lendutan balok, momen lapangan balok, gaya geser balok, momen kolom, gaya geser kolom dan gaya aksial kolom masing-masing sebesar 13,80 %, 4,10 %, 3,80 %, 6,60 %, 6,60 % dan 3,20 % . Sedangkan penambahan panjang bentang dari 6,00 m menjadi 10,00 m meningkatkan rasio lendutan dan gaya-gaya dalam tersebut di atas masing-masing sebesar 23,90 %, 7,90 %, 7,90 %, 13,60 %, 13,50 % dan 5,60 %.
3. Pada AKB, penambahan jumlah tingkat cenderung tidak berpengaruh terhadap rasio nilai lendutan dan gaya-gaya dalam struktur kecuali gaya aksial kolom.
4. Perubahan metode pelaksanaan berpengaruh terhadap rasio nilai lendutan dan gaya-gaya dalam pada AKB. Perubahan metode pelaksanaan dari MP1 ke MP2 meningkatkan rasio lendutan balok, momen lapangan balok, gaya geser balok, momen kolom, gaya geser kolom dan gaya aksial kolom masing-masing sebesar 11,50 %, 10,90 %, 10,80 %, 12,30 %, 14,90 % dan 10,30 %.

### Saran

1. Dalam menganalisis struktur portal bertingkat beton bertulang untuk bentang balok yang lebih besar atau sama dengan 6 meter perlu digunakan metode AKB sesuai dengan metode pelaksanaan yang akan dilaksanakan, karena analisis ini memberi penambahan gaya-gaya dalam yang cukup besar khususnya pada tahap pelaksanaan konstruksi.
2. Beberapa struktur yang perlu dianalisis dengan metode bertahap adalah struktur portal bertingkat dengan kolom yang tidak menerus pada tingkat di bawahnya, konstruksi kantilever bentang panjang, konstruksi portal dengan balok atau kolom dari beton precast dan konstruksi dimana pada tahap pelaksanaan menerima beban dengan perilaku yang berbeda dengan perilaku struktur setelah selesai dikerjakan seperti pada pelaksanaan konstruksi jembatan dengan metode segmen.
3. Dengan adanya peningkatan gaya-gaya dalam pada AKB perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kebutuhan tulangan elemen-elemen struktur untuk masing-masing tahapan konstruksi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. 2004 *Analysis Reference Manual SAP2000*. Computers and Structures, Inc. California. USA.
- Anonimus. 2004 *Software Verification Examples SAP2000*. Computers and Structures, Inc. California. USA.
- Arman, A.I.P. 2005. Analisis Portal Bertingkat dengan Metode Konstruksi Bertahap (skripsi). Denpasar: Universitas Udayana.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung. Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Dewobroto, W. 2007. Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000. Edisi baru. Jakarta : PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia.
- Frick, H. 2004. Ilmu Konstruksi Bangunan Kayu. Edisi ketiga. Terjemahan Moediartianto. Yogyakarta : Kanisius.
- Hariandja, B. 1996. Mekanika Teknik : Analisis Lanjut Sistem Struktur Berbentuk Rangka. Jakarta : Erlangga.
- Schodek, D.L. 1998. *Structures*. 3<sup>rd</sup> . terjemahan Bambang Suryoatmojo. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Yasa, B. 2009. Analisis Konstruksi Bertahap pada Portal Beton Bertulang dengan Variasi Panjang Bentang dan Jumlah Tingkat (Tesis). Denpasar: Universitas Udayana.

**KoNTekS 4, UNUD-UAJY-UPH**  
**Sanur, 2-3 Juni 2010**