

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai metode konstruksi bertahap telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan hasil berupa:

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Kesimpulan
1	Basavashree, K., dan Gajendra, H. (2022)	<i>Effect of Construction Sequence Analysis on RC Building Structure</i>	Nilai lendutan dan gaya geser yang ditemukan pada metode konstruksi bertahap mencapai hingga 35% lebih besar dibandingkan metode konvensional.
2	Naxane, K. Y., Vairagade, L., dan Bhaskar, G. B. (2017)	<i>Construction Sequence Analysis of Multistoried RCC Building</i>	Hasil analisis metode konstruksi bertahap menunjukkan nilai deformasi aksial yang terjadi meningkat sebesar 187%, nilai momen maksimum yang terjadi meningkat sebesar 180%, nilai gaya normal meningkat sebesar 169%, dan hasil gaya geser meningkat sebesar 180% dari hasil metode konvensional
3	Wirawan, I. P. A. P., Tubuh, I. K. D. K., & Wiryadi, I. G. G. (2025)	Analisis konstruksi bertahap pada struktur rangka dengan dinding pengisi berlubang	Analisis konstruksi bertahap menghasilkan simpangan $\pm 1\%$ lebih besar, momen kolom 31,05% lebih besar, dan momen balok 31,98% lebih besar dibandingkan analisis konvensional.

B. Landasan Teori

1. Beton

Beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Kadang-kadang ditambahkan pula campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton. Campuran dari bahan susun (semen, pasir, kerikil dan air) yang masih plastis ini dicor ke dalam acuan dan dirawat untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran semen air, yang menyebabkan pengerasan beton. Bahan yang terbentuk ini mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tetapi ketahanan terhadap tarik rendah. (Asroni, 2017)

Campuran antara semen dan air akan membentuk pasta semen, yang berfungsi sebagai bahan ikat. Sedangkan pasir, dan kerikil merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi, dan sekaligus sebagai bahan yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara pasta semen dengan agregat ini menjadi satu kesatuan yang kompak, dan akhirnya dengan berjalannya waktu akan menjadi keras serta padat yang disebut beton. (Asroni, 2017)

2. Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan material yang berfungsi sebagai elemen penguat pada beton, khususnya untuk menahan gaya tarik. Berlawanan dengan beton, baja memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi dan bersifat

daktail, yang memungkinkannya untuk mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum mencapai kegagalan.

Dalam praktiknya, dikenal dua jenis baja tulangan berdasarkan permukaannya:

1. Tulangan polos, yaitu baja tulangan yang memiliki permukaan yang halus dan rata. Jenis ini umumnya digunakan untuk tulangan geser (sengkang) atau tulangan struktural sekunder. Karena permukaannya yang licin, lekatan antara tulangan polos dan beton tidak sekuat tulangan sirip, sehingga kemampuannya dalam menahan retak akibat gaya tarik menjadi terbatas.
 2. Tulangan sirip, yaitu baja tulangan yang memiliki permukaan dengan sirip atau ulir yang menonjol di sepanjang batangnya. Sirip inilah yang menciptakan ikatan mekanis yang kuat dengan beton, sehingga lekatan menjadi jauh lebih baik dibandingkan tulangan polos. Oleh karena itu, tulangan sirip sangat diutamakan dan sering kali menjadi persyaratan wajib untuk tulangan utama yang menahan gaya tarik pada balok, kolom, dan pelat.
- 3. Beton Bertulang**

Beton bertulang adalah material komposit yang tercipta dari integrasi beton dan baja tulangan. Prinsip kerjanya didasarkan pada sinergi kedua material: beton menanggung gaya tekan, sedangkan baja tulangan menahan gaya tarik. Penempatan tulangan baja dilakukan pada zona-zona di mana tegangan tarik diperkirakan terjadi. Lekatan yang kuat antara beton

dan baja adalah kunci utama agar kedua material ini bekerja sebagai satu kesatuan. Dengan demikian, beton bertulang menawarkan solusi struktural yang efektif dan efisien, menghasilkan elemen konstruksi yang tidak hanya memiliki kekuatan dan kekakuan yang memadai, tetapi juga daktilitas yang diperlukan untuk keamanan.

4. Standar Beton Bertulang

Standar beton bertulang yang berada di Indonesia mengacu pada Standar Nasional Indonesia yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN), standar yang berlaku pada saat ini adalah:

- a. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural.
- b. SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan.
- c. SNI 1727:2020 Beban Minimum Bangunan.

5. Balok Transfer

Balok transfer adalah elemen balok struktural yang dirancang untuk menopang beban dari kolom atau dinding pada level di atasnya dan kemudian mendistribusikan beban tersebut ke kolom atau dinding pada level di bawahnya yang lokasinya tidak koaksial. Kehadiran balok transfer sering dijumpai pada bangunan komersial yang menuntut ruang terbuka luas, seperti area parkir atau lobi utama, di mana letak kolom pada lantai di atasnya berbeda dengan lantai di bawahnya. Perancangan balok transfer menuntut perhatian lebih karena elemen ini mengalami pembebanan aksial dan momen lentur yang besar.

6. Bangunan Gedung Tinggi

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) No. 28/PRT/M/2016 Tentang Pedoman Teknis Bangunan Gedung Hijau, bangunan gedung tinggi adalah bangunan gedung yang memiliki tinggi lebih dari 8 lantai atau lebih dari 20 meter dari permukaan tanah sampai dengan atap bangunan.

7. Deformasi

Deformasi struktural adalah perubahan bentuk, posisi, atau ukuran suatu elemen struktur akibat adanya beban yang bekerja padanya. Deformasi dapat bersifat sementara atau *elastic deformation* yang akan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan, maupun bersifat permanen atau *plastic deformation* jika beban melebihi batas elastis material. Deformasi dapat berupa:

- a. Lendutan atau defleksi: Perpindahan transversal (tegak lurus terhadap sumbu elemen) pada balok, pelat, atau rangka akibat beban. Ini merupakan pertimbangan utama dalam desain untuk memastikan kenyamanan pengguna dan fungsionalitas bangunan.
- b. Rotasi: Perubahan sudut atau kemiringan yang terjadi pada elemen struktur akibat momen lentur dan gaya geser saat menerima beban.

Dalam perencanaan struktur, deformasi harus diperhitungkan untuk memastikan kenyamanan, keamanan, dan fungsi bangunan. Deformasi

berlebihan dapat menyebabkan retak pada elemen non-struktural, penurunan kinerja struktur, bahkan kegagalan total.

8. Gaya-gaya Dalam

Gaya-gaya dalam adalah gaya yang timbul di dalam elemen struktur akibat reaksi terhadap beban luar. Gaya-gaya ini terdiri dari:

1. Gaya Normal

Gaya normal adalah gaya yang bekerja sejajar sumbu elemen. Dapat berupa gaya tekan (*compression*) atau gaya tarik (*tension*). Gaya normal mempengaruhi kemampuan elemen menahan beban vertikal maupun lateral.

2. Gaya Geser

Gaya geser adalah gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu elemen, menyebabkan potensi pergeseran antara dua penampang yang berdekatan. Gaya geser yang berlebihan dapat memicu keruntuhan geser.

3. Momen Lentur

Momen lentur merupakan momen yang timbul akibat beban yang menyebabkan elemen melendut atau membengkok. Momen lentur merupakan parameter utama dalam perencanaan dimensi penampang balok dan kolom.

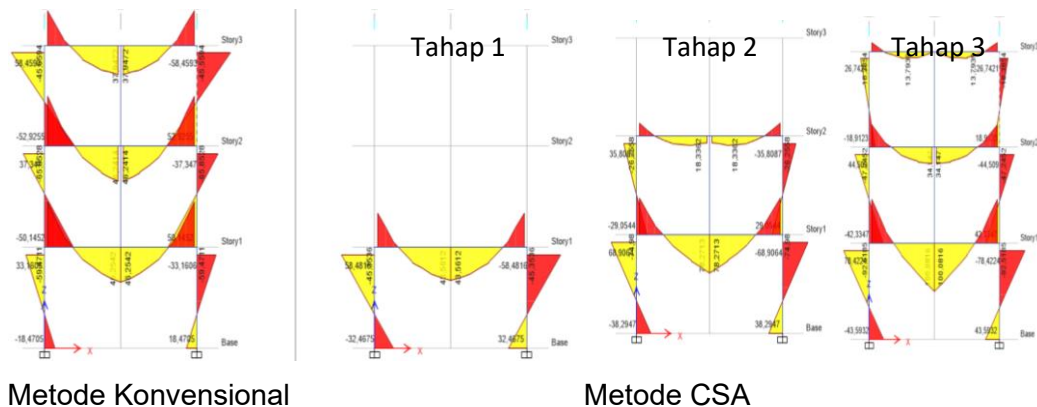
4. Torsi.

Momen puntir yang bekerja memutar elemen terhadap sumbunya adalah torsi. Torsi umumnya signifikan pada elemen yang menerima beban eksentris atau memiliki bentuk asimetris.

9. Analisis Konstruksi Bertahap

Analisis Konstruksi Bertahap atau *Construction Sequence Analysis* (CSA) adalah metode analisis struktur yang memperhitungkan tahapan pembangunan sebuah gedung. Berbeda dengan analisis konvensional (*single stage analysis*) yang mengasumsikan seluruh struktur sudah berdiri sempurna dan semua beban diterapkan secara simultan, CSA mereplikasi proses konstruksi yang sebenarnya, yaitu dengan menambahkan elemen-elemen struktur dan beban secara bertahap, lantai demi lantai.

Metode ini sangat relevan untuk struktur yang tinggi dan kompleks, terutama yang menggunakan material seperti beton yang karakteristiknya dipengaruhi oleh riwayat pembebanan. CSA merupakan bentuk analisis statik nonlinier karena memperhitungkan perubahan konfigurasi sistem dan akumulasi efek yang terjadi di setiap tahapan.



Gambar 2. Contoh Perbandingan Hasil Metode Konvensional dan Metode CSA

10. Statik Nonlinier

Statik nonlinier adalah cabang analisis teknik sipil dan mekanika struktur yang mempelajari perilaku struktur atau sistem di bawah beban statis di mana hubungan antara gaya dan deformasi tidak bersifat linier. Dalam analisis ini, struktur tidak lagi memenuhi prinsip superposisi, yang berlaku pada kondisi linier, karena adanya faktor-faktor seperti:

- Deformasi besar yang menyebabkan perubahan geometri.
- Perubahan sifat material akibat perilaku inelastis atau plastis.
- Interaksi atau kontak antara elemen-elemen struktur.

Analisis statik nonlinier umumnya diterapkan pada kondisi beban besar atau ekstrem, seperti dalam perencanaan bangunan tahan gempa, di mana perilaku riil struktur harus dimodelkan dengan lebih akurat dibandingkan menggunakan analisis linier. Proses analisis meliputi iterasi dan pemecahan persamaan keseimbangan menggunakan metode numerik, seperti analisis elemen hingga.

Metode konstruksi bertahap ini termasuk dalam kategori nonlinieritas geometri, karena selama proses konstruksi, geometri struktur terus berubah saat lantai baru ditambahkan. Deformasi yang terjadi pada elemen-elemen yang sudah ada akibat penambahan beban juga mengubah geometri secara keseluruhan. Analisis harus memperhitungkan perubahan bentuk ini, karena dapat memengaruhi distribusi gaya internal dan momen di seluruh struktur

11. Prinsip Dasar dan Karakteristik Nonlinier

Analisis CSA didasarkan pada prinsip akumulasi dan ketergantungan pada jalur pembebanan. Perilaku nonlinier ini muncul dari beberapa karakteristik utama:

a. Perubahan Konfigurasi Sistem

Pada setiap tahapan analisis, elemen-elemen struktur baru seperti kolom, balok, dan pelat ditambahkan ke dalam model. Penambahan ini secara fundamental mengubah kekakuan dan geometri sistem secara keseluruhan, yang memengaruhi bagaimana struktur merespons beban di tahapan berikutnya.

b. Ketergantungan Jalur Pembebanan

Respons struktur, seperti deformasi dan gaya-gaya internal, sangat bergantung pada urutan penerapan beban dan penambahan elemen. Deformasi dan tegangan yang timbul pada satu tahap akan terakumulasi dan menjadi kondisi awal untuk perhitungan di tahap berikutnya. Contoh

paling nyata adalah pemendekan kolom akibat berat bangunan di atasnya yang terus bertambah seiring konstruksi.

c. Akumulasi Deformasi dan Tegangan Sisa

CSA secara akurat menangkap akumulasi pemendekan aksial kolom akibat berat sendiri bangunan yang terus bertambah di setiap tahap. Deformasi elastis instan ini, meskipun kecil di setiap lantai, dapat terakumulasi menjadi nilai yang signifikan di kolom-kolom bawah. Tegangan dan regangan yang sudah ada di elemen pada tahap awal akan menjadi tegangan sisa (*residual stress*) yang memengaruhi respons elemen terhadap beban baru.

12. Kelebihan dan Manfaat Analisis Konstruksi Bertahap

Penerapan metode CSA memiliki beberapa manfaat dan kelebihan yang tidak dapat diberikan oleh analisis konvensional, antara lain:

a. Akurasi Prediksi Deformasi

Memberikan estimasi yang lebih realistis dan akurat terhadap pemendekan kolom, lendutan balok, dan perpindahan vertikal lainnya.

b. Distribusi Gaya yang Lebih Tepat

Memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai bagaimana gaya-gaya aksial, momen, dan geser didistribusikan di seluruh struktur seiring penambahan beban secara bertahap. Hal ini sangat krusial untuk elemen-elemen yang kompleks seperti balok transfer.

c. Mendeteksi Permasalahan Potensial

CSA dapat mengidentifikasi masalah struktural yang mungkin terlewatkan pada analisis konvensional, seperti kelebihan tegangan di elemen-elemen yang dicor lebih awal atau redistribusi gaya yang tidak terduga.

d. Desain yang Lebih Aman dan Andal

Dengan data yang lebih akurat, perancang struktur dapat membuat keputusan yang lebih tepat dan andal, yang pada akhirnya menghasilkan bangunan yang lebih aman, efisien, dan memiliki kinerja yang lebih baik sepanjang siklus hidupnya.

13. Perbedaan CSA dengan Analisis Konvensional

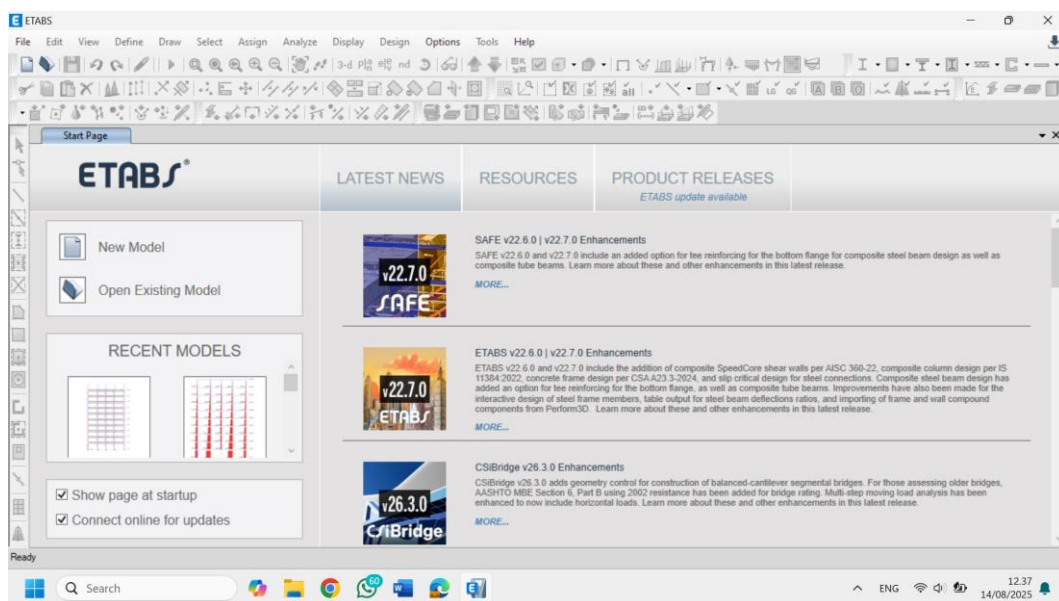
Adapun perbedaan antara analisis konstruksi bertahap dengan analisis konvensional seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Perbedaan Analisis Konvensional dan Analisis CSA

Fitur	Analisis Konvensional (Statik Linier)	Analisis CSA (Statik Nonlinier)
Model Struktur	Sistem dianggap sudah lengkap 100%	Elemen-elemen ditambahkan secara bertahap
Penerapan Beban	Semua beban (mati, hidup, gempa) diterapkan serentak	Beban mati diterapkan bertahap; beban hidup & gempa di tahap akhir
Kekakuan Sistem	Dianggap konstan dari awal hingga akhir	Berubah di setiap tahapan seiring penambahan elemen
Deformasi	Dihitung dari kondisi akhir saja	Dihitung dan diakumulasi dari setiap tahapan
Tegangan Sisa	Diabaikan	Diperhitungkan sebagai kondisi awal di setiap tahap

14. ETABS 20

ETABS atau *Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems* adalah perangkat lunak analisis dan perancangan struktur bangunan yang dikembangkan oleh *Computers and Structures, Inc. (CSI)*. ETABS dirancang khusus untuk menganalisis dan mendesain struktur gedung bertingkat, baik dari segi kekuatan, kekakuan, maupun perilaku dinamisnya. Perangkat lunak ini memiliki tampilan grafis yang intuitif, fitur pemodelan tiga dimensi yang detail, serta integrasi langsung dengan standar desain internasional dan nasional, seperti ACI, AISC, SNI, dan lainnya.



Gambar 3. ETABS 20