

ANALISIS BUCKLING KOLOM BETON BERTULANG DENGAN FAKTOR PEMBESARAN MENGGUNAKAN SAP 2000 (Studi Kasus : Hotel Bumi Nusantara)

Faiz Rizal Fahrudin¹, Yanti Defiana², Taufik Martha³.

¹²³Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Galuh

Email : faizrizal021003@gmail.com, yanti.defiana@gmail.com, taufikmartha90@gmail.com

ABSTRACT

The stability of reinforced concrete columns is a critical aspect in the design of multi-story buildings, as failure due to buckling may trigger progressive collapse. The Indonesian Standard SNI 2847:2019 recommends the use of the moment magnification factor (δ) to account for slenderness effects, yet this manual approach is idealized and requires validation against more accurate numerical methods. This study aims to analyze the application of the moment magnification factor (δ) on reinforced concrete columns of the Hotel Bumi Nusantara structure and to evaluate its accuracy by comparing manual calculations with second-order nonlinear analysis using SAP2000 V22. The research involved first-order analysis, slenderness identification, eigenvalue buckling analysis, manual calculation of δ , and validation through second-order analysis. The results show that all columns have a slenderness ratio ≤ 22 and buckling factors (λ_{cr}) greater than 25, indicating very stable global conditions. Manual calculations produced δ values ranging from 1.052 to 1.056, with moment magnification of approximately 5%. However, validation revealed significant discrepancies with second-order analysis, particularly in the major-axis moments, with differences reaching up to – 159%. It can be concluded that the moment magnification factor (δ) provides a conservative initial estimate, but second-order nonlinear analysis offers a more realistic basis for determining final design moments to ensure both safety and efficiency of the structure.

Keywords: reinforced concrete column, buckling, moment magnification factor, second-order analysis, SAP2000.

I. PENDAHULUAN

Pembangunan gedung bertingkat di Indonesia terus mengalami peningkatan yang pesat dalam beberapa tahun terakhir.

Kondisi ini menunjukkan tingginya kebutuhan akan bangunan yang tidak hanya fungsional, tetapi juga memenuhi standar keamanan struktural, khususnya dalam menghadapi risiko-risiko kegagalan pada bangunan bertingkat.

Salah satu komponen struktur yang paling krusial dalam sistem gedung bertingkat adalah kolom beton bertulang, yang berfungsi menyalurkan beban vertikal dari lantai ke pondasi. Namun, elemen ini sangat rentan mengalami kegagalan akibat tekuk (*buckling*), terutama pada kolom yang memiliki kelangsingan tinggi atau menerima gaya aksial tinggi. *Buckling* terjadi ketika kolom kehilangan kestabilannya akibat deformasi lateral yang terus meningkat, bahkan sebelum mencapai kapasitas tekan materialnya

Kegagalan jenis ini sangat berbahaya karena dapat terjadi secara mendadak (*sudden failure*) dan dapat memicu keruntuhan progresif pada struktur secara keseluruhan, sehingga aspek stabilitas kolom menjadi salah satu fokus utama dalam desain struktur bangunan bertingkat.

Dalam perencanaan struktur bangunan beton bertulang, analisis awal (*first-order analysis*) biasanya digunakan untuk menentukan gaya dalam dan momen lentur berdasarkan asumsi bahwa elemen struktur tetap lurus selama pemuatan (tidak mengalami deformasi lateral yang memengaruhi gaya dalam). Namun, pada struktur yang tinggi atau memiliki kolom kelangsingan tinggi, asumsi ini menjadi kurang akurat karena deformasi lateral yang kecil sekalipun dapat menyebabkan pembesaran momen lentur secara signifikan akibat efek orde dua (*second-order effect*).

Efek orde dua (*second-order effect*) yakni interaksi antara gaya aksial dan perpindahan lateral merupakan penyebab utama peningkatan

momen lentur pada kolom yang mengalami kelangsingan. Untuk mengantisipasi efek ini, SNI 2847:2019 tentang “persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan” merekomendasikan penggunaan faktor pembesaran momen (δ), yaitu pendekatan sederhana namun efektif untuk memperkirakan efek kelangsingan dalam analisis struktur. Namun demikian, pendekatan ini pendekatan ini memiliki keterbatasan dan perlu divalidasi terhadap metode numerik yang lebih akurat, terutama pada kondisi beban mendekati kritis (diatas beban puncak dan dibawah titik kelelahan).

efek kelangsingan dapat diperhitungkan secara manual menggunakan pendekatan faktor pembesaran momen (δ), yang dihitung berdasarkan perbandingan antara gaya aksial aktual dengan beban kritis buckling struktur. Beban kritis ini secara teori dapat dihitung menggunakan rumus Euler, dengan mempertimbangkan panjang efektif dan kekakuan penampang kolom. Akan tetapi, perhitungan manual seperti ini sangat idealisasi, karena mengasumsikan elemen tunggal dengan kondisi batas sederhana, tanpa mempertimbangkan pengaruh sistem rangka struktur secara keseluruhan.

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode alternatif yang lebih representatif, yaitu analisis *buckling* berbasis *eigenvalue* yang tersedia dalam perangkat lunak SAP 2000.

Setelah nilai diperoleh dari hasil analisis *eigenvalue*, maka nilai faktor pembesaran momen (δ) dapat dihitung secara manual sesuai ketentuan dalam SNI 2847:2019. Nilai ini digunakan untuk memperoleh momen desain akhir pada kolom. Namun, untuk menilai sejauh mana metode manual ini akurat dalam menggambarkan efek second-order, dibutuhkan satu tahap analisis lanjutan, yaitu analisis *second-order* nonlinear geometric.

Analisis *second-order* di SAP 2000 memperhitungkan deformasi aktual yang terjadi dalam struktur, dan bagaimana deformasi tersebut memengaruhi ulang gaya-gaya dalam selama struktur menerima beban. Berbeda dengan first-order yang bersifat linier, *second-order* akan menunjukkan momen dan gaya dalam yang lebih besar secara realistis akibat

efek $P-\Delta$, serta memberikan gambaran deformasi lateral yang aktual pada struktur.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada Gedung Hotel Bumi Nusantara, sebuah gedung bertingkat dengan sistem struktur beton bertulang dan pembebanan aksial tinggi. Berdasarkan pengamatan awal terhadap geometri kolom dan tinggi antar lantai pada bangunan, terdapat potensi bahwa beberapa kolom memiliki perbandingan dimensi dan tinggi yang mengarah pada kemungkinan kelangsingan. menjadikan bangunan ini sangat representatif untuk mengkaji stabilitas kolom terhadap *buckling* secara detail.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas kolom beton bertulang terhadap potensi kegagalan *buckling* dan mengantisipasi pembesaran momen akibat kelangsingan, SNI 2847:2019 menyediakan metode pendekatan manual melalui faktor pembesaran momen (δ), yang dapat digunakan untuk memperbesar momen lentur berdasarkan rasio antara beban aksial aktual terhadap beban kritis buckling. Selanjutnya, hasil pendekatan tersebut divalidasi melalui *second-order analysis* menggunakan SAP 2000 untuk menilai keakuratan dan tingkat konservatifnya

Dalam hal ini buckling itu sendiri yaitu *Buckling* merupakan suatu jenis dari kegagalan struktur yang terjadi pada struktur kolom atau juga berbentuk tiang. Hal ini terjadi akibat pembebanan secara aksial pada struktur tersebut, jika suatu tiang yang tipis diberi tekanan maka tiang tersebut akan membengkok dan terdeteksi secara lateral sehingga dapat dikatakan struktur tersebut mengalami *Buckling*. Dengan bertambahnya beban aksial pada struktur kolom maka defleksi lateral juga akan bertambah dan pada akhirnya kolom akan benar benar terdeformasi plastis. Dan metode yang yaitu faktor pembesaran momen yang dimana faktor pembesaran momen itu adalah Faktor pembesaran momen atau *moment magnification factor* merupakan pendekatan penting dalam desain struktur kolom yang rentan mengalami efek orde dua (*second-order effects*) akibat deformasi lateral seperti lendutan (*deflection*) atau gaya aksial tinggi. Pada struktur gedung bertingkat, khususnya di area rawan seperti wilayah pesisir yang memiliki potensi gempa

dan angin tinggi, faktor ini menjadi sangat penting dalam menjaga stabilitas sistem struktur.

Penelitian yang dilakukan berfokus pada struktur kolom beton bertulang dengan menganalisis pada *buckling* kolom menggunakan pendekatan *moment magnification factor* dan berpedoman pada SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain, dan SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Analisis struktur dilakukan menggunakan program SAP 2000 v22.

Adapun penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Limbongan, Dapas, dan Wallah (2021) berjudul “Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih pada Gedung Bertingkat” menjadi salah satu acuan utama dalam studi ini karena secara langsung membahas fenomena *buckling* pada kolom beton bertulang ramping (pipih). Dalam penelitian tersebut, analisis dilakukan dengan mengacu pada rasio kelangsingan kolom (kl/r), dan menunjukkan bahwa nilai kelangsingan melebihi 40,93, yang berarti kolom tergolong kolom langsing (*slender column*) sesuai kriteria dalam SNI 2847. Sementara itu, penelitian lain oleh Sepriyanna dan Handayasari (2020) dalam judul “Pengaruh Kelangsingan pada Desain Kolom pada Proyek Verdetwo Condominium Jakarta Selatan” memberikan pendekatan yang relevan dalam konteks pembesaran momen akibat kelangsingan, meskipun fenomena *buckling* tidak terjadi secara eksplisit dalam hasil akhirnya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

1. Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan sekitar kurang lebih 4 bulan, yaitu pada bulan Mei sampai bulan Agustus 2025. Adapun yang menjadi objek penelitian yaitu Hotel Bumi Nusantara yang berlokasi di Kabupaten Pangandaran. Untuk lokasi objek penelitian bisa dilihat pada peta gambar di bawah ini :



(Sumber : Data perencanaan)

2. Metode penelitian

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif dengan analisis numerik menggunakan SAP2000 untuk menilai pengaruh faktor pembesaran momen (δ) terhadap kapasitas kolom beton bertulang sesuai SNI 2847:2019. Simulasi dilakukan dengan dan tanpa mempertimbangkan efek deformasi lateral ($P-\Delta$). Hasil simulasi divalidasi dengan perhitungan eigen *buckling* secara manual. Output berupa nilai kapasitas beban kritis dan faktor pembesaran momen yang digunakan untuk mengevaluasi stabilitas kolom dan kesesuaian perancangan struktur.

Adapun data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Gambar *Detail Engineering Design* (DED)
- Data uji sondir

Tahapan – tahapan penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir dibawah:



Gambar 1. Lokasi Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data gedung

Informasi Bangunan

Nama Bangunan	: Hotel Bumi Nusantara
Lokasi	: Kab. pangandaran
Kelas Situs	: SD (Tanah Sedang)
Panjang Bangunan	: 20 m
Lebar Bangunan	: 17 m
Jumlah Tingkat	: 6 lantai
Tinggi Lantai	: 5 m, 4 m, 4 m, 4 m dan 4 m
Tinggi Total	: 21 m

2. Data material

- Beton K 300 / $f_c' = 24,90$ Mpa

Spesifikasi material beton yaitu Sebagai:

- Kuat tekan beton (f_c') = 24,90 Mpa
- Berat jenis = 2400 kg/m³
- Modulus elastisitas beton = 23500 Mpa

- Baja Tulangan Ulir BJTS 420B

Spesifikasi Baja Tulangan Polos Yaitu Sebagai Berikut:

- Berat Jenis = 7850 kg/m³
- Modulus elastisitas Baja = 200000 Mpa
- Kuat Leleh (f_y) = 420 Mpa
- Kuat Tarik (f_u) = 525 Mpa

- Baja Tulangan polos BJTP 280

Spesifikasi Baja Tulangan Sebagai Berikut:

- Berat Jenis = 7850 kg/m³
- Modulus elastisitas Baja = 200000 Mpa
- Kuat Leleh (f_y) = 280 Mpa
- Kuat Tarik (f_u) = 350 Mpa

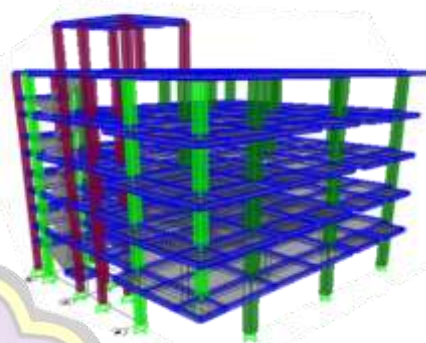
3. Dimensi elemen struktur

Tabel 1 Dimensi elemen struktur

No	Elemen Struktur	Keterangan
1	KOLOM	K1 (600 x 600)
		K2 (500 x 500)
		K3 (400 x 400)
2	Balok	B1 (300 x 600)
		B2 (250 x 500)
		B3 (250 x 400)
		B4 (250 x 500)
		B5 (250 x 400)
		B6 (200 x 400)

		B7 (150 x 200)
3	Pelat lantai	T=130 mm

Sumber: Data perencanaan



Gambar 2. Pemodelan 3D pada SAP 2000 (Sumber: Hasil Penelitian)

4. Identifikasi kolom langsing

dilakukan untuk menentukan elemen kolom yang memerlukan evaluasi faktor pembesaran momen dan perlu diperhitungkan efek buckling atau cukup dianggap sebagai kolom pendek sesuai SNI 2847:2019. Rasio kelangsingan (λ) dihitung berdasarkan panjang efektif kolom (KL) dibagi dengan radius girasi penampang (r). Nilai KL diperoleh dari tinggi lantai dikalikan faktor panjang efektif (K) yang bergantung pada kondisi tumpuan ujung kolom.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai λ untuk Beberapa kolom yang terdapat pada lantai 1 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2 Hasil identifikasi kolom langsing

Kolo m	L (m)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	r (mm)	K	$\lambda = KL/r$	Kateg ori
K1	4400	360000	1,08E+10	173,2051	0,5	12,70171	Tidak langsing
K2	4400	250000	5,21E+09	144,3376	0,5	15,24205	Tidak langsing
K3	4400	160000	2,13E+09	115,4701	0,5	19,05256	Tidak langsing

Sumber: Hasil penelitian

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seluruh kolom memiliki nilai rasio kelangsingan $\lambda \leq 22$. Dengan demikian, tidak ada kolom yang tergolong kolom langsing menurut kriteria SNI 2847:2019. Hal ini menunjukkan bahwa secara geometri, kolom pada struktur studi kasus relatif

aman terhadap kemungkinan tekuk elastik. Meskipun demikian, evaluasi efek orde dua ($P-\Delta$) tetap penting untuk dilakukan. Hal ini karena pada sistem rangka gedung yang mengalami perpindahan lateral, peningkatan momen akibat deformasi tambahan tetap bisa terjadi meskipun kolom dikategorikan sebagai kolom tidak langsing. Oleh karena itu, analisis lanjutan berupa analisis first order, eigenvalue buckling, perhitungan faktor pembesaran momen δ , serta analisis second-order tetap disajikan pada subbab berikutnya untuk menilai signifikansi pengaruh buckling terhadap kinerja struktur.

5. Analisis first order

Analisis first order merupakan analisis struktur yang mengabaikan pengaruh deformasi pada geometri sistem (efek orde dua). Pada metode ini, perhitungan gaya dalam dilakukan dengan asumsi bahwa hubungan gaya-perpindahan adalah linier elastis dan bentuk geometri awal struktur tidak berubah selama menerima beban.

Hasil utama dari analisis first order berupa:

- Gaya aksial (P_u) pada kolom,
- Momen lentur (M_u) pada masing-masing sumbu (M_2 dan M_3),

Data ini menjadi dasar terhadap analisis lanjutan (eigenvalue buckling, faktor pembesaran momen, dan analisis second-order).

Tabel 3 Hasil analisis first order

Kolom	Kombinasi	PU	M2	M3
K1(600 × 600)	LRFD 6-1	2778,152	243,3047	545,5622
K2(500 × 500)	LRFD 6-1	1929,358	131,9856	221,4796
K3(400 × 400)	LRFD 6-1	939,166	62,0536	90,1001
K1(600 × 600)	LRFD 6-5	2790,411	362,4749	479,218
K2(500 × 500)	LRFD 6-5	1831,952	216,4173	181,2565
K3(400 × 400)	LRFD 6-5	880,825	101,379	75,5962

Sumber: Hasil penelitian

(Hasil First-Order) menunjukkan hasil gaya dalam pada tiga kolom representatif lantai 1 ($K_1 = 60 \times 60$ cm, $K_2 = 50 \times 50$ cm, $K_3 = 40 \times 40$ cm) untuk kombinasi beban LRFD 6-1 dan LRFD 6-5. Dari kedua kombinasi terlihat bahwa K_1 merekam nilai gaya aksial P_u terbesar (2.778 kN pada LRFD 6-1 dan 2.790 kN pada LRFD 6-5).

Hal ini disebabkan oleh kombinasi faktor berikut:

1. K_1 menahan tributary area yang lebih luas sehingga menerima akumulasi beban gravitasi dari lantai-lantai di atasnya;
2. konfigurasi pemodelan frame dan kekakuan relatif elemen membuat K_1 menyalurkan gaya vertikal lebih besar dibanding kolom lain
3. variasi kombinasi beban memengaruhi distribusi momen (M_2 , M_3) namun tidak mengubah fakta bahwa K_1 adalah penopang beban gravitasi utama pada lokasi yang ditinjau.

Momen lentur (M_2 dan M_3) juga menunjukkan perbedaan antar kolom: K_1 menunjukkan nilai momen terbesar pada sebagian kombinasi, sementara K_3 meskipun memiliki P_u lebih kecil menunjukkan rasio kelangsingan yang relatif lebih tinggi sehingga tetap menjadi kandidat utama untuk analisis kestabilan (buckling). Oleh karena itu, hasil first-order ini digunakan untuk menentukan kondisi kritis yang akan dipakai pada analisis eigenvalue buckling, perhitungan manual faktor pembesaran momen (δ), dan analisis second-order ($P-\Delta$).

6. Analisis eigenvalue buckling

Analisis eigenvalue buckling adalah metode numerik untuk menentukan beban kritis tekuk (P_{cr}) dan bentuk mode tekuk pertama suatu struktur. Analisis buckling dilakukan untuk mengetahui besarnya faktor pengali beban (λ) yang menyebabkan struktur memasuki kondisi ketidakstabilan. Metode yang digunakan adalah eigenvalue buckling analysis pada SAP2000, dimana program mencari nilai eigen yang berkaitan dengan bentuk mode tekuk (buckling mode shape) dan faktor pengali beban.

Menurut SNI 2847:2019, nilai faktor beban kritis (λ_{cr}) yang terlalu kecil, khususnya mendekati 1,0, menunjukkan bahwa struktur berada pada kondisi yang hampir tidak stabil. Hal ini berarti beban rencana yang bekerja pada struktur hampir sama besarnya dengan beban kritis buckling yang dapat ditahan, sehingga efek ketidakstabilan geometris (orde-dua) dapat menjadi sangat signifikan. Dalam kondisi seperti ini, SNI mensyaratkan dilakukannya analisis orde-dua (second-order analysis) atau penerapan faktor pembesaran momen (δ) pada perhitungan manual untuk memastikan pengaruh

ketidakstabilan tetap terakomodasi dalam desain.

Tabel 4 Hasil analisis eigenvalue

OutputCase	StepType	StepNum	ScaleFactor
buckling 6-1	Mode	1	25,327646
buckling 6-1	Mode	2	35,4582
buckling 6-1	Mode	3	40,409666
buckling 6-1	Mode	4	47,920267
buckling 6-1	Mode	5	52,916079
buckling 6-5	Mode	1	26,584711
buckling 6-5	Mode	2	35,044917
buckling 6-5	Mode	3	42,120951
buckling 6-5	Mode	4	46,669471
buckling 6-5	Mode	5	53,183323

Sumber: Hasil penelitian

Berdasarkan hasil analisis eigenvalue buckling pada penelitian ini, diperoleh nilai λ_{cr} sebesar 25,33 untuk kombinasi LRFD 6-1 dan 26,58 untuk kombinasi LRFD 6-2 pada mode pertama. Mode pertama dipilih karena mewakili kondisi paling kritis, yakni mode dengan faktor pengali terkecil. Pada analisis buckling, urutan mode menunjukkan urutan terjadinya ketidakstabilan, dimana mode pertama adalah kondisi buckling yang akan muncul paling awal pada saat pembebanan ditingkatkan. Mode berikutnya (mode 2, 3, dan seterusnya) baru akan terjadi apabila struktur mampu bertahan melewati kondisi tekuk pada mode pertama. Oleh karena itu, penggunaan nilai λ_{cr} pada mode pertama sudah cukup mewakili kondisi paling kritis yang diperlukan untuk evaluasi stabilitas struktur.

Analisis buckling dengan metode *eigenvalue* pada struktur Gedung Hotel Bumi Nusantara menghasilkan nilai faktor beban kritis (λ_{cr}) lebih besar dari (25). Menurut teori stabilitas struktur, $\lambda_{cr} > 1$ sudah menandakan bahwa struktur masih aman dari tekuk global karena $P_{cr} > P_u$. Apabila nilai λ_{cr} semakin besar, margin keamanan terhadap buckling juga semakin tinggi. Dalam penelitian ini, dengan $\lambda_{cr} > 25$, struktur memiliki tingkat stabilitas global yang sangat tinggi, sehingga risiko buckling global dapat diabaikan.

Nilai λ_{cr} ini menunjukkan bahwa beban kritis buckling global (P_{cr}) jauh lebih besar dibandingkan beban aksial rencana (P_u) pada kolom. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur secara global relatif aman dari risiko buckling dan memiliki margin stabilitas yang tinggi.

Namun demikian, sesuai ketentuan SNI, pengaruh ketidakstabilan lokal pada kolom tetap perlu dianalisis lebih lanjut. Oleh karena itu,

penelitian ini dilanjutkan dengan perhitungan faktor pembesaran momen (δ) secara manual serta analisis orde-dua ($P-\Delta$) menggunakan SAP2000 sebagai bentuk validasi. Dengan cara ini, analisis buckling mencakup dua pendekatan sekaligus, yaitu stabilitas global struktur melalui nilai λ_{cr} dan stabilitas lokal elemen melalui perhitungan manual dan analisis numerik nonlinier.

7. Beban kritis

Dari Tabel 4. diperoleh nilai faktor buckling (λ_{cr}) untuk masing-masing kombinasi beban. Nilai ini masih berupa faktor pengali tanpa satuan, sehingga perlu dikonversi menjadi beban kritis buckling (P_{cr}). Beban kritis dihitung dengan mengalikan nilai λ_{cr} terhadap gaya aksial rencana (P_u) yang diperoleh dari analisis first-order.

Tabel 5 Hasil perhitungan beban kritis

Kolo m	Kombin asi	PU	λ_{cr}	$P_{cr}=P_u \cdot \lambda_{cr}$
K1(60 0 × 600)	LRFD 6-1	2778,1 52	25,327 65	70364,050 39
K2(50 0 × 500)	LRFD 6-1	1929,3 58	25,327 65	48866,096 43
K3(40 0 ×400)	LRFD 6-1	939,16 6	25,327 65	23786,863 98
K1(60 0 × 600)	LRFD 6-5	2790,4 11	26,584 71	74182,270 01
K2(50 0 × 500)	LRFD 6-5	1831,9 52	26,584 71	48701,914 49
K3(40 0 ×400)	LRFD 6-5	880,82 5	26,584 71	23416,478 07

Sumber: Hasil penelitian

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan beban kritis (P_{cr}) pada kolom lantai 1 untuk dua kombinasi beban (LRFD 6-1 dan LRFD 6-2). Nilai P_{cr} diperoleh dari hasil perkalian antara faktor buckling (λ) pada mode pertama dengan beban aksial first-order (P_u).

Dari tabel terlihat bahwa nilai P_{cr} pada ketiga kolom (K1, K2, K3) berada pada dasar di prediksi puluhan ribu kN, jauh lebih besar daripada nilai P_u aktual. Hal ini menunjukkan bahwa struktur secara global memiliki margin stabilitas yang tinggi terhadap buckling.

8. Perhitungan manual faktor pembesaran

Menurut SNI 2847:2019 pasal 6.6.4, pengaruh kelangsingan kolom yang menyebabkan peningkatan momen akibat defleksi lateral dapat diperhitungkan dengan faktor pembesaran momen (δ). Faktor ini berfungsi untuk memperbesar momen hasil analisis first order agar sebanding dengan kondisi second order.

Faktor pembesaran momen digunakan untuk mengoreksi momen desain, sehingga efek sekunder akibat lendutan lateral dan perubahan geometri dapat terakomodasi pada perencanaan atau evaluasi kekuatan kolom.

Perhitungan manual faktor pembesaran momen dilakukan untuk memperhitungkan pengaruh ketidakstabilan orde-dua (second-order effect) pada kolom. Meskipun hasil analisis eigenvalue buckling menunjukkan bahwa struktur secara global cukup aman dengan nilai faktor buckling (λ_{cr}) yang besar, SNI 2847:2019 tetap mensyaratkan bahwa efek orde-dua harus diperhitungkan, baik melalui analisis langsung (direct second-order analysis) maupun dengan penerapan faktor pembesaran momen δ pada perhitungan konvensional.

Secara konseptual, faktor pembesaran momen δ digunakan untuk memperbesar momen lentur akibat gaya aksial tekan yang dapat memperlemah kekakuan efektif kolom. Besarnya δ dipengaruhi oleh besarnya beban aksial P_u dibandingkan dengan beban kritis buckling P_{cr} . Apabila nilai P_u relatif kecil terhadap P_{cr} , maka δ mendekati 1, artinya efek orde-dua dapat diabaikan. Namun jika P_u mendekati P_{cr} , maka δ akan meningkat tajam, sehingga efek orde-dua menjadi dominan dan wajib diperhitungkan dalam desain.

Tabel 6 Hasil analisis perhitungan manual faktor pembesaran.

Kolom	Beban Kombi nasi	P_u /(ϕP_{cr})	δ	M2*	M3*	Mres *
K1	LRFD 6-5	0,05015 4141	1,05280 2	381,6 14	504,5 22	632, 591
K2	LRFD 6-5	0,05015 4141	1,05280 2	227,8 45	190,8 27	297, 201
K3	LRFD 6-5	0,05015 4141	1,05280 2	106,7 32	79,58 8	133, 139
K1	LRFD 6-1	0,05264 3397	1,05556 8724	256,8 248	575,8 784	630, 551
K2	LRFD 6-1	0,05264 3397	1,05556 8724	139,3 199	233,7 869	272, 151
K3	LRFD 6-1	0,05264 3397	1,05556 8724	65,50 184	95,10 685	115, 481

Sumber: Hasil penelitian

Perhitungan manual faktor pembesaran momen dilakukan untuk memperhitungkan pengaruh ketidakstabilan orde-dua pada kolom. Berdasarkan hasil analisis eigenvalue buckling, diperoleh nilai faktor buckling (λ) pada mode pertama sebesar 25,33 untuk kombinasi LRFD 6-1 dan 26,58 untuk kombinasi LRFD 6-5. Nilai ini kemudian digunakan untuk menghitung beban kritis buckling (P_{cr}) masing-masing kolom.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio antara gaya aksial rencana dengan kapasitas stabilitas tereduksi relatif kecil, yaitu berkisar antara 0,05–0,053. Akibatnya, nilai faktor pembesaran momen (δ) hanya sekitar 1,05 untuk seluruh kolom yang dianalisis. Hal ini menandakan bahwa pengaruh orde-dua pada struktur gedung studi kasus relatif kecil, karena nilai P_{cr} jauh lebih besar daripada P_u .

Setelah nilai δ diperoleh, momen lentur first-order diperbesar untuk masing-masing arah lokal kolom. Misalnya, pada Kolom K1 (60×60 cm) dengan kombinasi LRFD 6-1, momen arah 2 meningkat dari 243,30 kNm menjadi 256,82 kNm, dan momen arah 3 meningkat dari 545,56 kNm menjadi 575,88 kNm. Resultan momen gabungan setelah pembesaran mencapai 630,55 kNm. Hasil serupa juga diperoleh pada kombinasi LRFD 6-5, dimana Kolom K1 menghasilkan momen total sebesar 632,59 kNm.

Jika dibandingkan antar kolom, terlihat bahwa Kolom K1 selalu menghasilkan nilai momen terbesar akibat memiliki gaya aksial paling tinggi. Sebaliknya, Kolom K3 dengan dimensi 40×40 cm menghasilkan momen yang lebih kecil secara absolut, namun dari segi proporsi terhadap kekakuannya, kolom ini dapat dianggap lebih rentan terhadap efek ketidakstabilan. Meskipun demikian, karena nilai δ masih berada dekat dengan 1, maka secara umum ketiga kolom yang dianalisis dapat dikatakan stabil dan tidak menunjukkan potensi buckling yang signifikan.

Dengan demikian, hasil perhitungan manual ini memperkuat temuan pada analisis buckling global, bahwa struktur secara keseluruhan memiliki margin stabilitas yang cukup besar. Namun, sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, analisis orde-dua tetap dilakukan sebagai validasi. Oleh karena itu, pada tahap berikutnya akan dilakukan analisis second-order

(P- Δ) dengan SAP2000, kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan manual untuk menilai kesesuaian pendekatan dan keandalan hasil.

9. Analisis second order

Analisis second order merupakan tahapan analisis lanjutan setelah first order dan analisis buckling (eigenvalue) dilakukan. Pada analisis ini, pengaruh efek P- Δ (second order effect) diperhitungkan secara langsung dalam proses perhitungan numerik. Efek P- Δ merupakan tambahan momen yang timbul akibat adanya gaya aksial yang bekerja pada kolom bersamaan dengan terjadinya lendutan lateral. Oleh karena itu, analisis second order sangat penting untuk memvalidasi hasil perhitungan manual faktor pembesaran momen (δ) serta memastikan sejauh mana pengaruh instabilitas sekunder terhadap perilaku struktur kolom.

Tabel 7 Hasil analisis second order

Kolom	Kombinasi	PU	M2	M3	pu (first)	M2 (first)	M3 (first)
K1	LRFD 6-1	-2564,5	99,0	359,5	-2778,2	243,3	545,6
K2	LRFD 6-1	-906,6	56,4	192,9	-132,4	132,0	221,5
K3	LRFD 6-1	-123,7	24,9	80,9	-939,2	62,1	90,1

Sumber: Hasil penelitian

Analisis second-order dilakukan untuk mengetahui pengaruh deformasi struktur terhadap distribusi gaya dalam, khususnya beban aksial dan momen pada kolom. Hasil perbandingan antara analisis first-order dan second-order pada beberapa kolom menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan.

Pada kolom K1, beban aksial Pu berkurang dari -2778,152 kN menjadi -2564,496 kN, namun momen M2 dan M3 justru meningkat tajam serta mengalami perubahan tanda. Hal ini menunjukkan bahwa efek P- Δ memberikan tambahan momen sekunder yang cukup besar, sehingga kolom ini menjadi lebih kritis terhadap bahaya tekuk.

Pada kolom K2, efek second-order justru menurunkan gaya aksial dan momen, di mana Pu turun sekitar 53% dan kedua momen juga berkurang. Hal ini mengindikasikan bahwa deformasi struktur mengurangi kontribusi kolom

tersebut dalam memikul beban, sehingga kolom ini relatif lebih aman dibandingkan kolom lain.

Pada kolom K3, terjadi penurunan gaya aksial yang sangat signifikan, dari -939,166 kN menjadi -123,746 kN, sementara momen M2 dan M3 berubah tanda. Fenomena ini menunjukkan adanya redistribusi gaya antar kolom, di mana sebagian besar beban dialihkan ke kolom lain (misalnya K1).

10. Validasi Faktor Perhitungan manual Faktor Pembesaran

Perhitungan manual menggunakan faktor pembesaran momen (δ) merupakan metode sederhana yang direkomendasikan oleh SNI 2847:2019 untuk memperhitungkan efek orde dua. Namun, metode ini didasarkan pada pendekatan teoritis dan asumsi tertentu.

Oleh karena itu, untuk memastikan keandalan metode manual, diperlukan validasi terhadap hasil analisis second order (P- Δ)

Tabel 8 Validasi Faktor Perhitungan manual Faktor Pembesaran

kolom	beban kombinasi	δ	M2*	M3*
K1	LRFD 6-1	1,05556872	-256,82	575,88
K2	LRFD 6-1	1,05556872	139,32	233,79
K3	LRFD 6-1	1,05556872	-65,50	95,11

kolom	beban kombinasi	δ	M2*	M3*
K1	LRFD 6-5	1,0528024	-381,61	504,52
K2	LRFD 6-5	1,0528024	227,84	190,83
K3	LRFD 6-5	1,0528024	106,73	79,59

Sumber: Hasil penelitian

Tabel 9 Validasi Faktor Perhitungan manual Faktor Pembesaran

kolom	beban kombinasi	M2(Se c)	M3(Se c)	Selisi h M3	selisi h M2
K1	LRFD 6-1	99,02	359,53	-60%	159%

K2	LRFD 6-1	56,39	192,86	-21%	-147%
K3	LRFD 6-1	24,86	80,88	-18%	-163%
kolo m	beban kombina si	M2(Se c)	M3(Se c)	Selisi h m3	selisi h m2
K1	LRFD 6-5	279,15	222,66	-25%	-37%
K2	LRFD 6-5	151,02	104,74	-44%	-51%
K3	LRFD 6-5	69,33	34,85	-99%	-54%

Sumber: Hasil penelitian



Gambar 3 validasi faktor pembesaran momen dan second order
(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4 validasi faktor pembesaran momen dan second order
(Sumber: Hasil penelitian)

Hasil perhitungan manual faktor pembesaran momen dibandingkan dengan hasil analisis second order pada SAP2000 menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan, terutama pada momen M2 yang merupakan momen lentur pada sumbu mayor kolom. Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa nilai M2 hasil perhitungan manual cenderung lebih besar dibandingkan nilai M2 dari analisis second order, dengan

selisih mencapai -159% hingga -37% tergantung pada kombinasi beban dan posisi kolom. Kondisi ini menunjukkan bahwa perhitungan manual bersifat konservatif karena menggunakan faktor pembesaran δ secara global tanpa mempertimbangkan redistribusi internal struktur akibat deformasi nyata kolom.

Sementara itu, momen M3 pada sumbu minor menunjukkan variasi selisih yang lebih besar, mulai dari -18% hingga -99%. Perbedaan ini terjadi karena pengaruh efek P- Δ lebih dominan pada arah minor, sehingga perhitungan manual tidak selalu mencerminkan interaksi instabilitas kolom secara realistis. Faktor pembesaran momen δ yang digunakan dalam perhitungan manual relatif stabil pada kisaran 1,052 hingga 1,056, menunjukkan bahwa estimasi faktor pembesaran secara umum konsisten, namun hal ini tidak serta-merta menjamin kesesuaian momen sekunder pada kedua sumbu.

Analisis terhadap dua kombinasi beban yang berbeda menunjukkan pola yang menarik. Pada kombinasi LRFD 6-1, selisih M2 sangat tinggi, sementara selisih M3 lebih kecil, menunjukkan bahwa beban dominan pada sumbu mayor lebih sensitif terhadap metode perhitungan. Sebaliknya, pada kombinasi LRFD 6-5, selisih M2 relatif moderat, namun selisih M3 justru lebih ekstrem, terutama pada kolom dengan momen minor besar, yang mengindikasikan bahwa kombinasi beban yang tidak seimbang dapat memperbesar efek P- Δ pada momen minor.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa perhitungan manual faktor pembesaran momen digunakan sebagai estimasi awal atau konservatif dalam desain kolom beton bertulang. Namun, metode ini cenderung membesarkan momen pada sumbu mayor dan kurang akurat pada sumbu minor. Oleh karena itu, validasi menggunakan analisis second order SAP2000 menjadi penting, karena metode ini mempertimbangkan interaksi non-linear akibat deformasi kolom, distribusi kekakuan nyata, dan efek lateral, sehingga memberikan nilai momen lentur yang lebih realistis. Untuk desain kolom beton bertulang pada Hotel Bumi Nusantara, hasil analisis second order sebaiknya dijadikan dasar dalam menentukan momen lentur akhir guna memastikan keamanan dan efisiensi struktur.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis buckling kolom beton bertulang menggunakan sap 2000, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode faktor pembesaran momen (δ) dapat diterapkan pada kolom beton bertulang Gedung Hotel Bumi Nusantara. Hasil perhitungan menunjukkan nilai δ berkisar 1,052–1,056, yang berarti momen lentur first-order hanya bertambah sekitar 5% setelah mempertimbangkan efek orde-dua. Hal ini menandakan struktur masih stabil dan metode δ dapat digunakan sebagai pendekatan awal yang konservatif.
2. Perbandingan dengan analisis second-order nonlinear SAP2000 menunjukkan selisih yang cukup besar, terutama pada momen arah mayor dan minor. Kondisi ini menegaskan bahwa metode δ memberikan hasil yang lebih konservatif, sedangkan analisis second-order lebih representatif untuk menentukan momen desain akhir yang aman dan efisien.

360396780 Buckling Behavior of High-Strength Fiber Reinforced Concrete Slender Columns#fullTextFileContent. diakses 25 mei 2025.

Kuningsih, T. W., Putri, A. P., Meiprastyo, X., & Belakang, L. (2018). Jurnal kajian Teknik Sipil Volume 3 Nomor 1 10. *Jurnal Kajian Teknik Sipil Volume 3 Nomor 110,3,22–31*. <https://eprints.uniska-bjm.ac.id/25494/2/ABSTRAK.pdf> diakses 22 mei 2025.

Limbongan, S., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2016). Gedung Bertingkat. *Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih Pada Gedung Bertingkat*, 4(8), 499–50, Dalam <https://media.neliti.com/media/publications/130435-ID-analisis-struktur-beton-bertulang-kolom.pdf> diakses 25 mei 2025 .

DAFTAR PUSTAKA

- SNI 1726:2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1726:2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847:2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Nawy, E. G. (1998). Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar. Bandung: Refika Aditama
- Sudarmoko. 1996. Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada
- Amin, E., & Afefy, H. M. (2016). Prediction of buckling capacity of high-strength reinforced concrete slender columns. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2407–2419 <https://www.researchgate.net/publication/>