JURNAL REKAYASA INFRASTRUKTUR
ISSN : 2460-335X
E-ISSN : 2686-6587
Vol 11 No 2 November 2025

KALIBRASI FAKTOR KEAMANAN GLOBAL KUAT LENTUR BALOK KASTELA

Wachid Hasyim*
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Wiralodra, Kecamatan Indramayu
Email: wachidhasyim@unwir.ac.id

ABSTRAK

Balok kastela merupakan solusi efisien dalam desain struktur modern karena mampu mengurangi berat material tanpa mengorbankan kekuatan secara signifikan. Namun, keberadaan bukaan pada badan balok menimbulkan konsentrasi tegangan dan risiko tekuk lokal, sehingga diperlukan evaluasi keandalan strukturnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis Faktor Keamanan Global (FKG) dan tahanan desain balok kastela heksagonal terhadap beban lentur. Pendekatan analitis dilakukan dengan mempertimbangkan variasi dimensi profil, geometri bukaan, serta parameter keandalan seperti indeks keandalan (β), faktor sensitivitas, dan koefisien variasi material. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas lentur (Mn) balok berkisar antara 0,48 kNm hingga 16,36 kNm, tergantung pada dimensi profil dan geometri bukaan. Nilai FKG bervariasi antara 1,297–1,485, dipengaruhi oleh standar yang digunakan (misalnya, β = 3,8 pada ISO 13822:2010 menghasilkan FKG lebih tinggi dibandingkan β = 2,5 pada NEN 8700:2009). Semakin tinggi indeks keandalan, semakin besar FKG, tetapi nilai tahanan desain (R_d) menjadi lebih kecil, mengindikasikan desain yang lebih konservatif. Studi ini juga mengungkap bahwa SNI 1729:2020 (dengan FKG 1,67) lebih ketat dibandingkan standar internasional lainnya. Kesimpulannya, pendekatan FKG memberikan gambaran tentang desain balok kastela, dimana nilai R_d ditentukan oleh β target dan umur bangunan, dimana jika β tinggi menghasilkan FKG tinggi begitu pula sebaliknya.

Kata kunci: Balok kastela, faktor keamanan global, indeks keandalan, koefisien variasi tahanan

1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan modern menuntut solusi desain yang tidak hanya aman, tetapi juga efisien dari segi material dan kinerja. Salah satu elemen kritis dalam sistem struktur adalah balok, yang berfungsi sebagai penahan beban lentur dan geser akibat beban mati, hidup, maupun dinamik seperti gempa dan angin. Dalam praktik, optimasi desain balok menjadi sangat penting karena dua alasan utama yaitu efisiensi material dan kinerja struktural.

Penggunaan material yang berlebihan (*over design*) meningkatkan biaya konstruksi, sementara desain yang kurang optimal (*under design*) berisiko terhadap kegagalan struktur. Balok kastela, dengan bukaan pada badan profil (seperti bentuk heksagonal), menjadi solusi karena mengurangi berat sendiri tanpa mengorbankan kekuatan secara signifikan.

Desain balok harus memenuhi beberapa kriteria seperti keamanan (*safety*), layanan (*serviceability*), dan ketahanan (*durability*). Sementara itu, balok kastela menawarkan tinggi

profil yang lebih besar tanpa tambahan material, sehingga meningkatkan kekakuan (*stiffness*) terhadap lendutan. [1], [2].

Desain balok kastela memanfaatkan pembesaran tinggi profil melalui bukaan berbentuk heksagonal dan lainnya pada badan balok, sehingga meningkatkan momen inersia (I) dan modulus penampang (S) yang berpengaruh positif terhadap kapasitas lentur. Namun, keberadaan bukaan tersebut juga menimbulkan konsentrasi tegangan di sekitar sudut-sudut heksagonal dan mengurangi luas penampang efektif, yang berpotensi menurunkan kekuatan lentur serta memicu terjadinya tekuk lokal (*local buckling*) pada daerah bukaan. [3]. Selain itu, distribusi tegangan yang tidak merata pada balok kastela dapat memperbesar risiko kegagalan struktur jika tidak diperhitungkan secara tepat dalam desain. [4] [5]. Oleh karena itu, meskipun balok kastela menawarkan efisiensi material dan keunggulan arsitektural, diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap parameter keamanan seperti faktor keamanan global (FKG) dan indeks keandalan untuk memastikan kinerja struktural akibat pembebanan lentur.

Dengan demikian, meskipun balok kastela heksagonal telah banyak digunakan dalam konstruksi modern, desain dan evaluasi kuantitatif keandalan strukturnya masih terbatas, khususnya dalam hal analisis faktor keamanan global (FKG). Selama ini, desain balok kastela mengandalkan pendekatan deterministik yang belum sepenuhnya mencerminkan variabilitas material, ketidakpastian beban, dan sensitivitas geometri bukaan dimana faktor-faktor tahanan dan beban hanya disesuaikan dengan standar perencanaan yang dikehendaki sehingga desain bersifat umum. Sebagai alternatif pendekatan desain, FKG yang dianggap sebagai rasio antara kapasitas struktur dan faktor keamanan dapat memberikan gambaran lebih komprehensif tentang margin keamanan secara menyeluruh. Selain itu, belum ada kajian yang secara sistematis menghubungkan FKG dengan indeks keandalan (*reliability index*, β) pada balok kastela heksagonal, terutama dalam menerima beban lentur.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai Faktor Keamanan Global (FKG) dan tahanan desain pada balok kastela heksagonal yang menerima beban lentur. Penilaian dilakukan melalui pendekatan analitis yang mempertimbangkan variasi dimensi profil dan tinggi bukaan, serta menganalisis hubungan antara indeks keandalan (*reliability index*), faktor sensitivitas, dan koefisien variasi material. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan desain dan metode evaluasi keandalan struktur baja, khususnya untuk balok kastela heksagonal, melalui pendekatan analitis yang mengintegrasikan parameter faktor keamanan global, faktor sensitivitas,, indeks keandalan, dan koefisien variasi.

2. METODE PENELITIAN

Balok kastela merupakan jenis balok baja yang dibentuk melalui proses pemotongan dan penyambungan kembali profil baja konvensional (seperti profil I atau H) sehingga menghasilkan bukaan pada badan balok dengan pola tertentu, seperti heksagonal, lingkaran, atau persegi. Keunggulan utama balok kastela terletak pada efisiensi material, di mana tinggi profil yang lebih besar dapat dicapai tanpa penambahan berat yang signifikan.

Jenis bukaan pada balok kastela, seperti heksagonal, lingkaran, atau persegi, memiliki pengaruh berbeda terhadap sifat mekanis balok. [6], [7]. Selain dari efektivitas dan efisensi balok dalam desain, efek arsitektural dan estetika menjadi kelebihan dari balok kastela meskipun berbagai bentuk jenis bukaan pada balok dapat dipilih sesuai kebutuhan. Pemilihan bentuk bukaan harus

mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan struktural, distribusi tegangan, dan kebutuhan fungsional dalam desain bangunan. Kekuatan balok kastela berupa kuat lentur dan geser memiliki nilai lebih dimana hal tersebut terwujud karena ketinggian balok yang meningkat. [8]. Selain itu, distribusi tegangan pada balok kastela sangat dipengaruhi oleh geometri bukaan, jarak antar lubang, dan konfigurasi penampang. Balok kastela, yang merupakan modifikasi dari profil IWF dengan penambahan bukaan pada web, umumnya menggunakan bentuk heksagonal karena efisiensi struktural dan kemudahan fabrikasi. Distribusi tegangan optimal dicapai ketika jarak antar lubang berkisar antara 0,1 hingga 0,25 dari tinggi profil balok, dengan jumlah lubang antara 5 hingga 7 per meter. Analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) dan pengujian laboratorium mendukung temuan ini, menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata dan deformasi yang minimal. [5].

Lebih lanjut, bentuk bukaan heksagonal lebih disukai karena proses pembuatannya yang lebih sederhana dibandingkan dengan bentuk lain seperti lingkaran. Namun, penting untuk mempertimbangkan bahwa peningkatan tinggi bukaan dapat meningkatkan risiko kegagalan pada daerah sekitar lubang, terutama yang terletak dekat perletakan. [5].

Selanjutnya, pengukuran kekuatan dengan properti dari balok kastela dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Tinggi bukaan

$$D_s = 2\left(A - \left(2t_f + 2D_{tee}\right)\right) \quad (1)$$

Tinggi profil kastela

$$D_c = \left(2t_f\right) + \left(2D_{tee}\right) + D_s \quad (2)$$

Inersia profil profil kastela

$$I_x = I_{br} - I_{op} \quad (3)$$

Modulus plastis profil kastela

$$Z_x = \left\{t_f B\left(D_c - t_f\right)\right\} + \left\{\left(\frac{D_c - 2t_f - D_s}{2}\right)\ t_w \left(\frac{D_c - 2t_f - D_s}{2}\right)\right\} \quad (4)$$

Dengan nilai momen nominal balok baja kastela, Mn dihitung menggunakan persamaan 5 berikut ini.

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y \quad (5)$$

Dimana

R_d adalah tahanan rencana/kapasitas rencana lentur balok

R_n adalah tahanan nominal

Dimana

D_s : tinggi bukaan (mm)

D_{tee} : tinggi sisi bawah profil terhadap bukaan (mm)

D_c : tinggi profil kastilasi (mm)

t_f : tinggi sayap profil (mm)

A : luas profil (mm^2)

B : lebar profil (mm)

I_x : inersia arah x (mm^4)

I_{br} : inersia bruto (mm^4)

I_{op} : inersia bukaan (mm^4)

Z_x : modulus penampang plastis sumbu x (mm^3)

Mn : momen lentur balok

fy : kuat leleh baja (N/mm2)

Faktor Keamanan Struktural

Dalam desain struktur, konsep Faktor Keamanan Global (FKG) dan Faktor Keamanan Parsial (FKP) memiliki peran yang berbeda namun saling melengkapi. FKG merupakan rasio antara kapasitas struktur terhadap beban aktual yang bekerja, memberikan gambaran menyeluruh tentang margin keamanan suatu sistem struktur. Sementara itu, FKP diterapkan pada masing-masing komponen beban dan material (seperti beban mati, hidup, atau kuat leleh baja) untuk memperhitungkan ketidakpastian yang mungkin terjadi. Pendekatan FKP lebih umum digunakan dalam standar modern seperti AISC 360 maupun lainnya, karena dianggap lebih akurat dalam memodelkan variabilitas beban dan material.

Standar nasional dan internasional telah menetapkan ketentuan terkait faktor keamanan untuk menjamin keandalan struktur. Misalnya, AISC 360 mengadopsi konsep *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) selain konsep *Allowable Stress Design* (ASD) yang menggunakan FKP untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam variabel tahanan dan beban. Sementara, Faktor Keamanan Global (FKG) hanya memperhitungkan ketidakpastian struktur hanya pada variabel tahanan. Perbedaan penerapan faktor keamanan ini selanjutnya diadopsi dalam filosofi desain, yaitu LRFD dan ASD. Pemahaman terhadap hal tersebut cukup penting untuk memastikan bahwa desain balok kastela memenuhi kriteria keamanan yang berlaku, sekaligus mengoptimalkan penggunaan material. [9]

Faktor keamanan global dapat dijelaskan dengan menguraikan variabel-variabel penyusun persamaan berupa faktor sensitivitas, indeks keandalan, dan koefisien variasi dari material. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung faktor keamanan adalah seperti pada persamaan 6 berikut ini.

$$\gamma R = \exp\left(\alpha R \cdot \beta \cdot V_R\right) \quad (6)$$

Sementara itu nilai tahanan rencana dari kapasitas balok baja kastela diukur dengan persamaan 7 berikut ini.

$$R_d = \frac{R_n}{\gamma R} \quad (7)$$

Dimana

γR : faktor keamanan global

αR : koefisien sensitivitas tahanan

R_m : tahanan nominal balok

β : indeks keandalan

V_R : koefisien variasi tahanan

Pendekatan yang digunakan pada penelitian berupa metode analitis deterministik pada balok kastela dengan profil bukaan heksagonal dalam berbagai dimensi penampang. Analisis yang dilakukan melibatkan perhitungan untuk mendapatkan nilai kapasitas lentur dari masing-masing profil. Selain itu, dilakukan perhitungan faktor keamanan global (γR) dengan memperhatikan nilai indeks keandalan target yang digunakan oleh beberapa standar.

Model balok baja kastela yang digunakan berupa balok dengan ukuran profil IWF yang memiliki lubang bukaan badan heksagonal dengan variasi pada ketinggiannya. Model balok baja kastela dari sampel tersebut didapat dari tabel profil baja yang tersedia di pasaran dan dengan dimensi yang dipilih secara acak. Adapun profil dari balok kastela dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Profil balok kastela sampel

No	Profil	Dc (mm)
1	150 x 100 x 100 x 6 x 8	105
2	225 x 150 x 150 x 7 x 10	154
3	300 x 100 x 100 x 5.5 x 8	205
4	300 x 200 x 200 x 8 x 12	205
5	450 x 150 x 150 x 7.5 x 9	305
6	450 x 300 x 300 x 10 x 15	305
7	700 x 200 x 200 x 8 x 13	405
8	594 x 199 x 199 x 7 x 11	401
9	750 x 200 x 200 x 10 x 17	505
10	900 x 200 x 200 x 11 x 17	705

Dimensi balok kastela sampel dipilih secara acak pada tinggi dan lebar penampang serta tinggi lubang badan (Dc). Meskipun sampel balok yang akan dianalisis secara keseluruhan memiliki jenis bukaan yang sama yaitu heksagonal dengan panjang balok sebesar 100 cm. Adapun tahapan analisis faktor keamanan global (γR) pada balok kastela heksagonal dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

1. Analisis kapasitas lentur (Mn) dihitung berdasarkan konsep yang memperhitungkan pengaruh bukaan dan sesuai dengan standar desain SNI 1729-2020.
2. Indeks keandalan (β) yang digunakan berupa indeks dari beberapa standar perencanaan.
3. Nilai faktor sensitivitas dan koefisien variasi dari tahanan balok baja menggunakan data hasil penelitian terdahulu.
4. Nilai FKG diperoleh dengan melakukan analisis sesuai dengan persamaan yang telah ditetapkan.
5. Nilai tahanan rencana (R_d) didapatkan dengan membandingkan nilai tahanan nominal terhadap nilai γR atau faktor keamanan global, FKG.

3. Hasil dan pembahasan

Hasil

Kuat lentur atau momen dari balok dihitung menggunakan persamaan 5, dimana parameter-parameter balok dihitung berdasarkan persamaan 1 sampai 4. Adapun hasil perhitungan Mn dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai Mn balok kastela sampel

No	Profil	Mn (kNm)
1	150 x 100 x 100 x 6 x 8	0.48
2	225 x 150 x 150 x 7 x 10	1.38
3	300 x 100 x 100 x 5.5 x 8	1.15
4	300 x 200 x 200 x 8 x 12	2.97
5	450 x 150 x 150 x 7.5 x 9	3.00
6	450 x 300 x 300 x 10 x 15	8.51
7	700 x 200 x 200 x 8 x 13	7.42
8	594 x 199 x 199 x 7 x 11	6.28
9	750 x 200 x 200 x 10 x 17	12.04
10	900 x 200 x 200 x 11 x 17	16.36

Smentara, untuk faktor sensitivitas tahanan terhadap struktur balok (αR) menggunakan nilai sebesar 0.8 sesuai dengan nilai yang direkomendasikan oleh Eurocode EN 1990. [10]. Adapun nilai koefisien variasi, V_R dari balok baja kastela menggunakan nilai sebesar 0.13. [11], [12], [13].

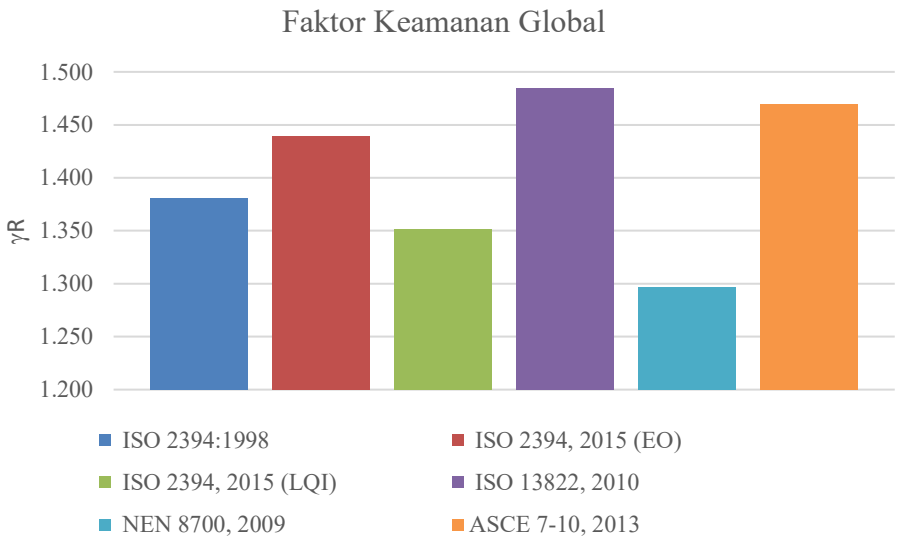
Berikut ini adalah indeks keandalan target menurut beberapa standar desain bangunan gedung yang digunakan di beberapa negara. [14].

Tabel 3. Nilai β menurut standar

No	Standar	β
1	ISO 2394:1998	3.1
2	ISO 2394, 2015 (optimasi ekonomis)	3.5
3	ISO 2394, 2015 (LQI)	2.9
4	ISO 13822, 2010	3.8
5	NEN 8700, 2009	2.5
6	ASCE 7-10, 2013	3.7

Nilai indeks keandalan target memiliki nilai yang beragam, dimana nilai β tersebut dihitung berdasarkan umur layan bangunan gedung selama 15 tahun. [14].

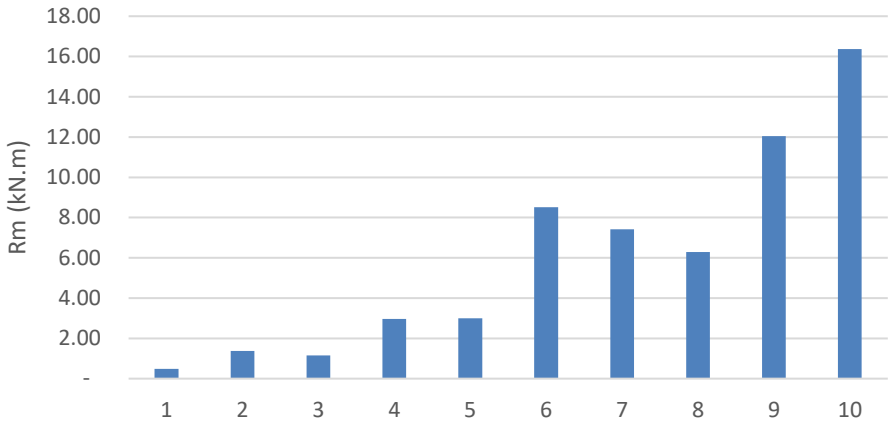
Selanjutnya, nilai faktor keamanan global dapat dihitung menurut persamaan 6 dan hasil perhitungan disajikan dalam gambar 1 berikut.



Gambar 1. Nilai faktor keamanan global balok kastela

Nilai γR atau faktor keamanan global berdasarkan hasil analisis memiliki nilai bervariasi dari 1.297 sampai 1.485. Nilai γR terendah menurut standar NEN 8700-2009 sedangkan tertinggi menurut standar ISO 13822-2010 dimana kedua standar tersebut berlaku di negara Belanda dan Internasional.

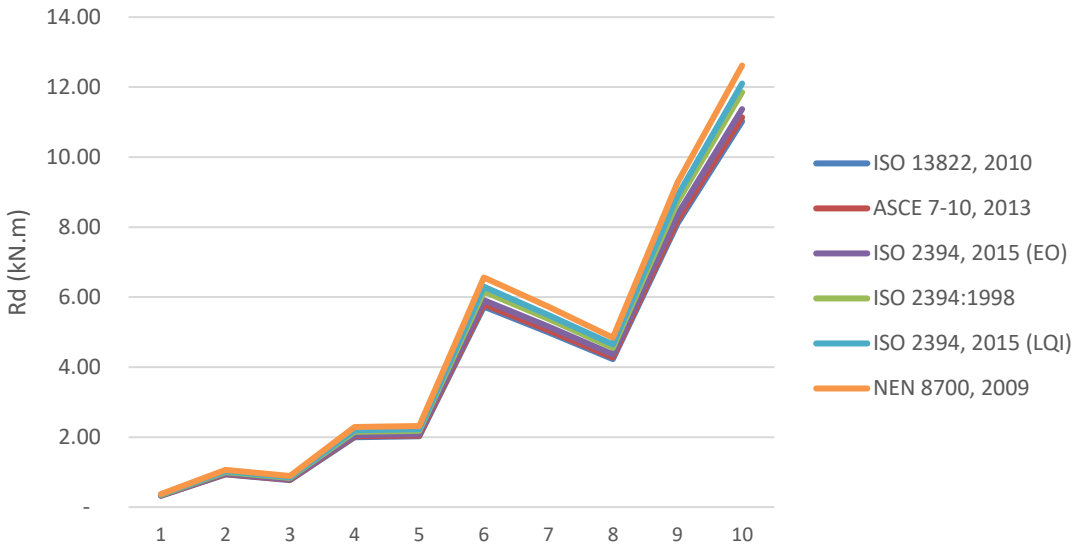
Selanjutnya dihitung nilai tahanan nominal R_m untuk mengukur seberapa besar nilai tahanan lentur desain dari balok baja kastela. Nilai R_m didapatkan dari perhitungan momen nominal dari sampel balok baja kastela menurut persamaan 7. Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Nilai Rm balok baja kastela

Nilai Rm terkecil sebesar 0.48 kNm dan terbesar 16.36 kNm pada sampel balok 1 dan 10. Nilai-nilai tersebut terpengaruhi oleh nilai modulus plastisitas (Zx) profil yang meningkat nilainya sesuai nomor sampel.

Nilai tahanan desain (R_d) dari balok kastela memiliki variasi nilai seperti yang ditampilkan pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Nilai Rd balok baja kastela

Nilai R_d bervariasi sesuai dengan nilai faktor keamanan global hasil analisis dan perhitungan. Nilai R_d terbesar menurut standar NEN 8700-2009 sebesar 12.6 kNm sedangkan terkecil menurut ISO 13822-2010 sebesar 11.00 kNm. Dengan demikian, nilai-nilai yang tercantum merupakan nilai maksimum tahanan lentur dari balok baja kastela dari sampel yang diijinkan oleh standar, sehingga diharapkan beban yang terjadi tidak melebihi nilai-nilai tersebut.

Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan momen nominal (Mn) pada 10 varian profil, terjadi peningkatan nilai kapasitas lentur seiring dengan bertambahnya dimensi profil. Profil terbesar dari sampel yaitu 900×200×200×11×17 mencapai Mn 16.36 kNm, sedangkan profil terkecil 150×100×100×6×8 hanya bernilai 0.48 kNm. Nilai-nilai tersebut dipengaruhi secara signifikan oleh modulus penampang plastis (Zx), dimana profil dengan tinggi bukaan (Ds) lebih besar cenderung memiliki Zx yang meningkat. Dengan demikian, besaran nilai modulus plastisitas (Zx) dari profil baja memberikan pengaruh terhadap besar momen plastis dari balok [15],

Pada analisis nilai faktor keamanan global (FKG), nilai faktor sensitivitas dan koefisien variasi menunjukkan pada seberapa kuat sensitivitas β terhadap nilai FKG dan seberapa besar ketidakpastian nilai tahanan dari struktur. Selain kedua faktor tersebut, nilai indeks keandalan (β) target memiliki pengaruh pada persamaan FKG. Nilai β yang digunakan pada penelitian, memiliki nilai bervariasi sesuai dengan standar yang dipilih. Perbedaan nilai β tersebut disebabkan oleh tingkat keamanan yang ditentukan di setiap standar masing-masing memiliki perbedaan. Perbedaan tersebut biasanya dibedakan oleh tingkat konsekuensi kegagalan struktur dan umur atau periode pakai bangunan. Sebagai contoh, pada standar ISO 13822-2010 nilai indeks keandalan sebesar 3.8 dengan pertimbangan kegagalan struktur yang medium dan periode umur bangunan yang minimum. Hal tersebut berbeda dengan standar NEN 8700-2009 dimana nilai β sebesar 2.5 dengan pertimbangan kegagalan struktur yang medium dengan umur bangunan yang pendek, dimana konsekuensi kegagalan medium adalah kegagalan yang diukur dari jumlah biaya yang dikeluarkan untuk penanganan keamanan struktur. Dengan demikian, nilai indeks keandalan β dapat ditentukan sesuai dengan tingkat kegagalan struktur yang diharapkan serta periode umur bangunan yang direncanakan. Pada penelitian ini, nilai β ditentukan berdasarkan tingkat kegagalan berupa medium atau moderat dan periode umur bangunan selama 15 tahun, sehingga konsekuensi biaya yang dikeluarkan sesuai dengan harapan. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan [14] dan [16].

Selanjutnya, nilai faktor keamanan global (γm) menunjukkan bahwa nilai dari masing-masing standar cukup bervariasi. Hal ini disebabkan nilai indeks keandalan dari masing-masing standar memiliki nilai yang bervariasi pula sehingga nilai dari γm bervariasi antara 1.297 sampai 1.485. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai indeks keandalan (β) maka makin tinggi nilai γm sehingga nilai tahanan desain (R_d) akan semakin kecil. Dengan demikian, pemilihan nilai β target dari bangunan gedung akan mempengaruhi besaran tahanan desain dari struktur yang dapat menyebabkan penggunaan material lebih boros apabila menggunakan nilai β target yang besar. Sebaliknya, dengan nilai β yang tinggi maka probabilitas kegagalan struktur akan lebih kecil [17] dan [18] serta penggunaan material yang lebih hemat.

Konsep faktor keamanan global diadopsi di SNI 1729:2020 sebagai salahsatu metode desain struktur yang disebut sebagai Desain Tegangan Ijin (DTI). Konsep tersebut menyatakan bahwa nilai γm menjadi angka pembagi dari tahanan nominal lentur balok sehingga didapatkan nilai tahanan desain (R_d). Nilai tahanan tersebut merupakan kapasitas ijin dari balok, sehingga beban yang bekerja tidak diijinkan melampaui nilai tersebut. Menurut SNI 1729:2020 [19], nilai γm (dengan notasi Ω) memiliki nilai 1.67, dimana nilai tersebut lebih tinggi dari 6 standar yang telah dianalisis. Dengan demikian, apabila nilai γm SNI dibandingkan dengan nilai hasil analisis pada

beberapa standar, maka nilai tersebut lebih konservatif sehingga cukup aman untuk desain walaupun cukup boros dalam penggunaan material.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, bahwa apabila nilai faktor keamanan global (γm) memiliki nilai yang besar maka akan menyebabkan nilai tahanan desain (R_d) menjadi lebih kecil dari tahanan nominalnya (R_n). Dengan demikian dapat dipahami bahwa nilai indeks keandalan (β) yang tinggi akan menyebabkan nilai FKG (γm) tinggi, namun nilai tahanan desain (R_d) akan semakin kecil.

4. Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas lentur balok (Mn) sangat dipengaruhi oleh dimensi profil dan geometri bukaan, dengan nilai Mn berkisar antara 0,48 kNm hingga 16,36 kNm untuk sampel yang dianalisis. Faktor keamanan global (γR) bervariasi antara 1,297 hingga 1,485 tergantung standar yang digunakan, di mana standar dengan indeks keandalan (β) lebih tinggi seperti ISO 13822:2010 (β = 3,8) menghasilkan nilai faktor keamanan global lebih besar, sementara standar seperti NEN 8700:2009 (β = 2,5) memberikan nilai faktor keamanan global lebih rendah namun lebih efisien secara material. Nilai tahanan desain (R_d) yang dihasilkan juga bervariasi, dengan Rd tertinggi mencapai 12,6 kNm pada standar NEN 8700:2009 dan terendah 11,0 kNm pada ISO 13822, mengindikasikan bahwa nilai faktor keamanan global (γm) dapat berbeda sesuai dengan pemilihan standar. Selain itu, nilai tahanan desain (R_d) akan bergantung pada nilai target dari indeks keandalan struktur (β) dan umur bangunan yang diinginkan, dimana pada nilai β kecil maka nilai faktor keamanan global (γm) akan bernilai kecil pula. Hal ini memberikan kontribusi dalam desain struktur balok baja kastela berbasis keandalan struktur, dimana pendekatan faktor keamanan global tersebut menjadi dasar konsep Desain Tegangan Ijin (DTI) atau *Allowable Stress Design* (ASD). Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi salahsatu referensi pada penyusunan standar desain di masa depan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi pengaruh umur rencana, konsekuensi kegagalan, biaya ekonomi yang dilakukan dengan pendekatan keandalan struktur yang melibatkan data-data probabilistik yang luas.

Referensi

[1] S. Kwani and P. K. Wijaya, "Lateral Torsional Buckling of Castellated Beams Analyzed using the Collapse Analysis," *Procedia Eng.*, vol. 171, pp. 813–820, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.370.

[2] N. H. Aswad, "Efektifitas Pola Torsi Pada Struktur Rangka Balok," vol. 11, no. November, pp. 5–12, 2023.

[3] H. Y. Prastyo, "Analisis Pengaruh Jumlah Pengaku Terhadap Perilaku Balok Kastela Dengan Metode Elemen Hingga," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 519–532, May 2022, doi: 10.24912/jmts.v5i2.16479.

[4] S. Kwani, P. K. Wijaya, and S. Molanaei, "Studi Tekuk Torsi Lateral Balok Kastela Bentang Panjang Dengan Analisis Keruntuhan," *Mekanika*, vol. 1, no. 1, 2016.

[5] W. Partono, S. Sukamta, S. Hardiyati, and L. Budi, "Optimasi Distribusi Lubang Pada Balok Baja Kastela," *TEKNIK*, vol. 39, no. 1, p. 1, Aug. 2018, doi: 10.14710/teknik.v39i1.12234.

[6] A. Muhtarom, Y. Idris, and W. Welly, "Perilaku Balok Kastela Bentang Pendek dengan

Variasi Bukaan Circular, Diamond dan Hexagonal Menggunakan Metode Elemen Hingga," *CANTILEVER*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, Apr. 2018, doi: 10.35139/cantilever.v7i1.59.

[7] A. Gymfadilla, "Kajian Analisis Perbandingan Kapasitas Balok Kastela Bukaan Hexagonal," in *FTSP Series : Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2023*, Bandung: Prosiding FTSP ITENAS, 2023, pp. 833–838.

[8] R. P. Zarmihan, V. Pratiwi, and S. Krisnadi, "Studi Perbandingan Kekuatan Profil IWF, Hexagonal Beam dan Octagonal Beam dengan Perhitungan Manual dan Metode Elemen Hingga," *Cantilever J. Penelit. dan Kaji. Bid. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 2, pp. 129–140, Nov. 2023, doi: 10.35139/cantilever.v11i2.165.

[9] W. Hasyim, "Keandalan Lentur Balok Kastela dengan Simulasi Monte Carlo," *J. Media Tek. Sipil*, vol. 22, no. 2, pp. 59–67, Aug. 2024, doi: 10.22219/jmts.v22i2.29839.

[10] J. Cervenka and V. Cervenka, "Model Uncertainties and Global Safety Formats for Reinforced Concrete Design by Numerical Simulation," *NAFEMS World Congr. 2019*, no. July, 2019.

[11] T. V Galambos et al, "Probability Based Load Criteria: Asessment of Current Design Practice," pp. 959–977, 1982, [Online]. Available: https://web.iitd.ac.in/~drsahoo/Course/CVL761(15-16)/1982.pdf

[12] A. S. Nowak, "Reliability of Structures – Part 5," 2017, [Online]. Available: https://dna.wat.edu.pl/images/dna/podziel-sie-wiedza/a_nowak/reliability_5-resist.pdf

[13] W. Hasyim, "Kalibrasi Faktor Keamanan Global Pada Balok Beton Bertulang Eksisting," *J. Konstr. dan Infrastruktur*, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, Apr. 2025, doi: 10.33603/jki.v13i1.9938.

[14] M. Sykora, D. Diamantidis, M. Holicky, and K. Jung, "Target reliability for existing structures considering economic and societal aspects," *Struct. Infrastruct. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 181–194, Jan. 2016, doi: 10.1080/15732479.2016.1198394.

[15] S. Haris, "Studi Analitik Karakteristik Penampang Baja Profil-I," *Siklus J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, 2020, doi: 10.31849/siklus.v6i1.3736.

[16] D. Diamantidis, M. Holický, and M. Sýkora, "Target Reliability Levels Based on Societal, Economic and Environmental Consequences of Structural Failure ," 2017, *Vienna, Austria* .

[17] M. Holický, "Optimum Reliability Levels for Structures," *Vulnerability, Uncertainty, Risk Quantif. Mitigation, Manag. - Proc. 2nd Int. Conf. Vulnerability Risk Anal. Manag. ICVRAM 2014 6th Int. Symp. Uncertain. Model. a*, pp. 184–193, 2014, doi: 10.1061/9780784413609.019.

[18] M. Holicky, "Specification of the Target Reliability Level," in *2016 Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO)*, IEEE, Feb. 2016, pp. 104–108. doi: 10.1109/SMRLO.2016.27.

[19] Badan Standardisasi Nasional, *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729:2020*. 2020.