

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

KALIBRASI FAKTOR KEAMANAN GLOBAL PADA BALOK BETON BERTULANG EKSISTING

Wachid Hasyim ^{1*}

^{1*)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Wiralodra, Indramayu.
Email Penulis Korespondensi : wachidhasyim@unwir.ac.id
Nomor HP Penulis Korespondensi : 087828636505

Abstract

In building construction, the safety and reliability of structural components ensure the overall safety of the building. The safety factor in building structures is demonstrated by the ability of a structure to withstand the loads acting upon it, where the building's safety factor can be measured using the concept of the global safety factor of the structure. This research aims to determine the magnitude of the safety factor and the design flexural resistance value of reinforced concrete beams according to the Global Safety Factor (GSF) concept. The resistance value obtained by calculating the global safety factor can serve as a reference in the design of beam structural components. The method used involves numerical analysis with a structural reliability analysis approach to obtain the resistance factor (γ) with the level of explanation in the research presentation being descriptive-numerical. Based on the analysis results, the global safety factor value obtained becomes a parameter influencing the design strength of the beam's resistance in terms of flexural strength. From the analysis results, the reliability index (β) was found to range between 7.80 and 8.30. Furthermore, the calculated safety factor (γR) was found to be in the range of 2.40 to 2.53. Additionally, the nominal resistance (R_m) and the global design resistance (R_d) of the beam were found to be 780.50 kNm and 325.21 kNm, respectively, indicating that the beam has been adequately designed to withstand bending moments under service conditions.

Keywords: Global Safety Factor (γ), Global Design Resistance (R_d), Reliability Index (β).

1. PENDAHULUAN

Desain komponen struktur balok beton bertulang merupakan salah satu aspek dalam desain struktur gedung khususnya pada kuat lentur komponen balok. Pada konstruksi gedung, keamanan dan keandalan komponen struktur bangunan akan menjamin keamanan gedung secara keseluruhan. Dengan demikian, faktor keamanan komponen struktur seperti balok, harus dipenuhi agar dapat menjamin keselamatan seluruh bangunan gedung. Faktor keamanan pada bangunan gedung ditunjukkan dengan kemampuan suatu struktur dalam menahan beban-beban yang bekerja. Dengan demikian, penerapan konsep faktor keamanan pada struktur bangunan gedung menjadi sangat penting dalam desain dan analisis struktur gedung. Konsep faktor keamanan tersebut dapat ditentukan dengan dua jenis pendekatan, yaitu faktor keamanan global (*Global Safety Factor, GSF*) dan faktor keamanan parsial (*Partial Safety Factor, PSF*). [1] dan [2]. Faktor keamanan tersebut selanjutnya digunakan dalam perencanaan struktur serta analisis keandalan dan keamanan struktur bangunan gedung. Oleh karena itu, penentuan nilai faktor keamanan (γ) dan khususnya kuat lentur pada balok menjadi prioritas dalam desain dan analisis struktur bangunan gedung beton bertulang.

Pada desain struktur bangunan gedung, desain dapat dilakukan dengan pendekatan deterministik maupun probabilistik. Desain deterministik mengandalkan rumus dan spesifikasi yang tetap, serta dengan asumsi bahwa semua parameter yang mempengaruhi struktur diketahui secara pasti. Kelebihan

dari pendekatan ini adalah kesederhanaan dalam perhitungan dan kemudahan dalam desain dengan parameter struktur yang tersedia. Meskipun demikian, kekurangan dari metode ini adalah ketidakmampuannya untuk menangkap variabilitas dan ketidakpastian yang terdapat dalam material, fabrikasi, dan pelaksanaan dari konstruksi bangunan gedung. Di sisi lain, pendekatan probabilistik mempertimbangkan unsur ketidakpastian dengan mempertimbangkan berbagai kemungkinan dalam analisis. Metode ini memberikan gambaran lebih komprehensif dan realistis terkait perilaku struktur, tetapi juga memerlukan data statistik yang lebih lengkap. Dalam konteks ini, analisis keandalan yang ditunjukkan dengan nilai indeks keandalan dan probabilitas kegagalan memberikan gambaran tentang keamanan struktur. Selanjutnya, nilai indeks keandalan struktur dapat menjadi faktor kalibrasi untuk menunjukkan tingkat keamanan gedung, yaitu dengan faktor keamanan baik global maupun parsial. Dengan demikian, urgensi penggunaan faktor keamanan struktur global atau *Global Safety Factor* (GSF) tidak bisa diabaikan.

Miceli, et al [3] meneliti penggunaan metode Faktor Keamanan Global (FKG) atau Metode Tahanan Global (MTG) untuk penilaian keamanan sistem beton bertulang dengan analisis numerik non-linear, membandingkan tiga pendekatan untuk memperkirakan faktor keamanan global sambil mempertimbangkan ketidakpastian aleatoris dan epistemis. Hasilnya memberikan rekomendasi untuk penerapan MTG dalam kode desain masa depan. Sementara itu, [4] berfokus pada kalibrasi faktor keamanan untuk kolom baja berpelana prategang, mengidentifikasi mode kegagalan kritis dan melakukan analisis sensitivitas untuk menilai dampak variabel acak terhadap keandalan struktur. Mereka menghasilkan berbagai nilai faktor keamanan berdasarkan kondisi kalibrasi dan target keandalan. Di sisi lain, [1] mengevaluasi format keamanan seperti MTG dan Metode Probabilistik (MP) untuk analisis elemen hingga non-linear pada struktur beton bertulang, mengusulkan metodologi untuk menilai perubahan mode kegagalan dan merekomendasikan PM ketika MTG tidak dapat diterapkan. Penelitian-penelitian tersebut menekankan pentingnya pendekatan probabilistik dan analisis ketidakpastian dalam meningkatkan keandalan desain struktur. Selain itu, penentuan nilai faktor keamanan pada struktur dilakukan untuk menjamin keamanan dan keselamatan struktur gedung. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini bermaksud untuk menyajikan faktor keamanan struktur dengan Metode Faktor Keamanan Global (FKG) pada komponen lentur balok. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk menentukan besar faktor keamanan serta nilai tahanan lentur desain pada balok beton bertulang menurut konsep Faktor Keamanan Global (FKG). Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat menjadi acuan dalam perancangan struktur yang menjamin keamanan dan keselamatan struktur bangunan gedung dengan konsep keamanan global.

1.1. Tahanan nominal

Tahanan nominal pada struktur gedung merujuk pada kemampuan suatu elemen atau komponen bangunan untuk menahan beban maksimum sebelum mencapai kondisi batas. Dalam perencanaan struktur, tahanan nominal dihitung berdasarkan sifat material, dimensi, dan konfigurasi elemen struktur, seperti balok dan kolom. Nilai ini menjadi acuan utama dalam menentukan kekuatan dan keamanan suatu bangunan terhadap berbagai jenis beban, seperti beban mati, beban hidup, beban gempa, maupun beban angin. Selanjutnya dapat dipahami bahwa tahanan nominal berbeda dengan tahanan desain, dimana pada tahanan desain nilai kapasitas struktur seperti lentur, geser, dan aksial hasil analisis dikalkulasikan dengan faktor keamanan.

Adapun nilai tahanan desain dapat dihtiung menggunakan persamaan berikut.[5], [6]

$$R_d = \frac{R_m}{\gamma_m} \quad (1)$$

Dimana

R_d = tahanan global rencana

R_m = tahanan nominal

γ_m = faktor keamanan

1.2. Faktor keamanan

Faktor keamanan diterapkan untuk mengantisipasi kemungkinan beban yang lebih besar dari perkiraan serta kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi. Secara umum, faktor keamanan dihitung dengan membandingkan kekuatan maksimum yang dapat ditahan oleh struktur (tahanan nominal) dengan beban yang diharapkan bekerja pada struktur tersebut. Nilai faktor keamanan yang lebih tinggi menunjukkan margin keamanan yang lebih besar, meskipun akan berpengaruh pada tingkat efisiensi biaya dan material. Dengan demikian, penentuan nilai faktor keamanan struktur diharapkan sebanding dengan tingkat efisiensi dari struktur, meskipun keamanan dan keselamatan struktur gedung lebih diutamakan.

Selanjutnya, faktor keamanan dengan pendekatan Faktor Keamanan Global (FKG) dapat ditentukan dengan mengukur nilai koefisien sensitivitas, indeks keandalan, dan koefisien variasi dari tahanan. Adapun faktor keamanan (γ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. [5] dan [6].

$$\gamma_R = \exp (\alpha_R \cdot \beta \cdot COV_R) \quad (2)$$

Dimana

γ_R = faktor tahanan

α_R = koefisien sensitivitas tahanan

β = indeks keandalan

COV_R = koefisien variasi tahanan

Secara umum nilai koefisien sensitivitas tahanan (α_R) dapat menggunakan nilai sebesar 0.8. [7], [5], dan [6].

1.3. Kuat lentur balok

Kapasitas lentur balok dapat dihitung menggunakan persamaan kuat momen nominal sebagai berikut. [8], [9]

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_s \cdot f_y}{1.7 \cdot f'c \cdot b} \right) \quad (3)$$

Dimana

M_n = kuat momen nominal balok (kNm)

A_s = luas tulangan (mm^2)

f_y = kuat leleh tulangan (Mpa)

$f'c$ = kuat tekan beton (Mpa)

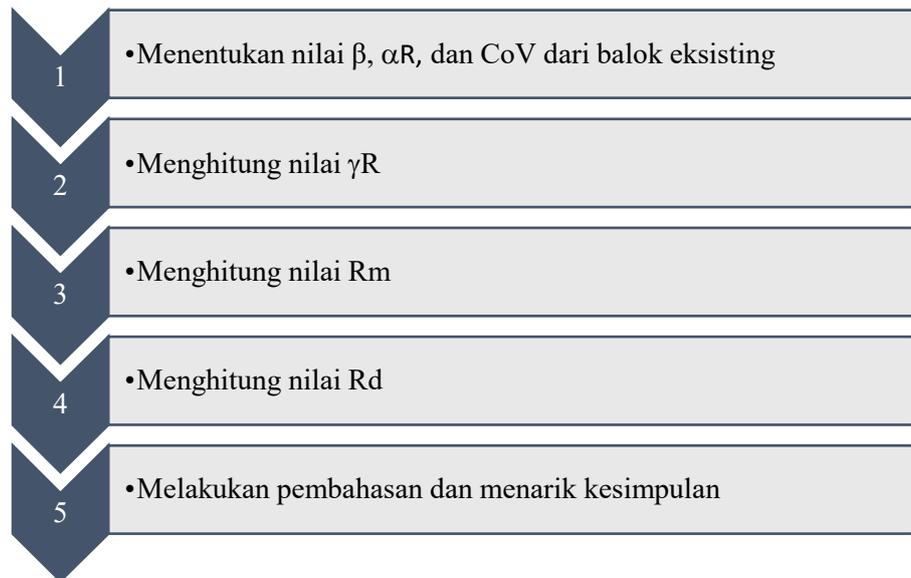
b = lebar balok (mm)

d = tinggi efektif (mm)

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analitik yang berfokus pada evaluasi keandalan struktur dengan memperhatikan Faktor Keamanan Global (FKG). Pada analisis FKG, digunakan model dari gedung dengan fungsi perkuliahan. Selain itu, untuk mengkaji obyek penelitian, maka digunakan balok beton bertulang eksisting dari gedung perkuliahan. Data input yang digunakan terdiri dari karakteristik material (kuat tekan beton dan kuat leleh baja tulangan), dimensi balok (lebar dan tinggi efektif balok), dan pembebanan (beban mati dan hidup). Variabel lain seperti nilai korelasi tahanan (α_R), koefisien variasi (CoV), dan indeks keandalan (β) menggunakan data yang bersumber dari data sekunder termasuk dari penelitian terdahulu. Hasil analisis dari penelitian ini dapat digeneralisir pada gedung dengan karakteristik yang serupa dengan model yang digunakan.

Adapun tahapan analisis data dilakukan seperti pada gambar berikut.



Gambar 1. Tahapan analisis data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks keandalan yang dinyatakan dengan simbol beta (β) mencerminkan kapasitas balok dalam menerima pembebanan selama masa operasional. Data-data nilai indeks keandalan balok dari balok gedung eksisting dengan fungsi perkuliahan pada salahsatu penampangnya akan dinilai dengan faktor keamanan yang sesuai.

3.1. Indeks keandalan balok eksisting

Berikut ini adalah nilai indeks keandalan lentur dari balok pada gedung dengan fungsi perkuliahan hasil analisis yang telah dilakukan oleh Hasyim.[10]

Tabel 1. Nilai indeks keandalan balok (β)

No	Member	β
1	120	7.80
2	121	8.30
3	126	8.10
4	127	8.00
5	128	8.20
6	129	7.90
7	130	7.80
8	231	8.00
9	232	8.00
10	237	7.90
11	238	7.80
12	239	7.90
13	240	7.80
14	241	8.10

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan nilai-nilai tersebut maka dapat dihitung nilai rerata dari indeks keandalan dengan nilai minimal sebesar 7.80 dan maksimal sebesar 8.30. Selanjutnya dihitung nilai faktor keamanan (γ_R)

dengan nilai α_R sebesar 0.8[5] dan β pada member 120 dengan nilai β sebesar 7.80[10] dan nilai COV_R sebesar 0.14[5].

$$\gamma_R = \exp (0.8 \cdot 7.80 \cdot 0.14)$$

$$\gamma_R = \exp (0.8736)$$

$$\gamma_R = 2.40$$

Nilai faktor keamanan pada member 120 memiliki nilai sebesar 2.40, sedangkan untuk member lain hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Nilai β dan γ dari balok

No	β	γ_R
1	7.8	2.40
2	8.3	2.53
3	8.1	2.48
4	8.0	2.45
5	8.2	2.51
6	7.9	2.42
7	7.8	2.40
8	8.0	2.45
9	8.0	2.45
10	7.9	2.42
11	7.8	2.40
12	7.9	2.42
13	7.8	2.40
14	8.1	2.48

Sumber: Hasil Analisis, 2025

3.2. Kuat lentur balok

Kapasitas lentur atau kuat lentur dari balok dinyatakan dalam momen. Pada balok beton bertulang, nilai-nilai momen nominal didapatkan dengan menghitung besar penampang serta kuat mutu material penyusunnya. Adapun kuat momen nominal balok dapat dihitung menggunakan persamaan 3 seperti berikut.

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$d = 600 \text{ mm}$$

$$A_s = 2269.143 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = 21 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

dengan demikian dapat dihitung nilai momen nominal dari balok seperti berikut.

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_s \cdot f_y}{1.7 \cdot f'_c \cdot b} \right)$$

$$M_n = 2269.143 \cdot 390 \cdot \left(600 - \frac{2269.143 \cdot 390}{1.7 \cdot 21 \cdot 350} \right)$$

$$M_n = 780.50 \text{ kNm}$$

3.3. Tahanan nominal dan desain

Selanjutnya dapat dihitung nilai tahanan global rencana (R_d) menurut persamaan 1, dimana nilai $R_m=M_n$ yaitu sebesar 780.50 kNm dan nilai γ_R sebesar 2.40 untuk member 120. Adapun nilai R_d dihitung seperti berikut.

$$R_d = \frac{R_m}{\gamma_R}$$

$$R_d = \frac{780.50}{2.40} = 325.21 \text{ kNm}$$

Adapun nilai tahanan global rencana pada masing-masing member balok hasil analisis struktur berupa Nilai tahanan nominal dan desain balok, ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Nilai R_m dan R_d balok

No	β	γ_R	R_m	R_d
1	7.8	2.40	780.5	325.21
2	8.3	2.53	780.5	308.50
3	8.1	2.48	780.5	314.72
4	8.0	2.45	780.5	318.57
5	8.2	2.51	780.5	310.96
6	7.9	2.42	780.5	322.52
7	7.8	2.40	780.5	325.21
8	8.0	2.45	780.5	318.57
9	8.0	2.45	780.5	318.57
10	7.9	2.42	780.5	322.52
11	7.8	2.40	780.5	325.21
12	7.9	2.42	780.5	322.52
13	7.8	2.40	780.5	325.21
14	8.1	2.48	780.5	314.72

Sumber: Hasil Analisis, 2025

3.4. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan beberapa nilai seperti faktor keamanan, tahanan nominal, dan tahanan desain. Adapun nilai-nilai tersebut berupa faktor keamanan dari balok eksisting antara 2.40 hingga 2.53, tahanan nominal dan desain dari balok eksisting sebesar 780.50 kNm dan 325.21 kNm. Nilai-nilai yang digunakan dalam analisis seperti koefisien korelasi (α_R) digunakan nilai sebesar 0.80, [5] sedangkan nilai indeks keandalan (β) dari balok eksisting dengan nilai berkisar 7.80 sampai 8.30.

Nilai-nilai hasil analisis tersebut cenderung memiliki nilai tinggi. Nilai β dengan minimal 7.80 menunjukkan bahwa tingkat keandalan balok memiliki nilai yang tinggi, dimana menurut [11] bahwa nilai indeks keandalan untuk gedung baru sebesar 4.00. Berdasarkan hal tersebut, maka nilai faktor keamanan (γ_R) yang didapatkan menjadi lebih tinggi berkisar antara 2.40 hingga 2.53. Nilai tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai γ_R dengan pendekatan estimasi koefisien variasi yaitu sebesar 1.04.[5]. Selain itu, nilai faktor tahanan lentur yang disyaratkan oleh SNI 2847:2019 [12] adalah sebesar 0.90, sehingga jika dibandingkan, maka nilai hasil analisis faktor keamanan lebih besar. Hal yang sama pula terjadi pada nilai tahanan lentur menurut ACI [13] yang dibandingkan dengan hasil analisis Faktor Keamanan Global (FKG). Dengan demikian, nilai faktor tahanan hasil analisis FKG selalu lebih besar dari standar SNI dan ACI, sedangkan nilai tahanan desain balok (R_d) akan lebih kecil dibandingkan dengan hasil pendekatan lain.

Nilai indeks keandalan (β) yang tinggi menunjukkan bahwa balok pada gedung tersebut memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban yang bekerja. Meskipun demikian, pada nilai indeks keandalan yang cenderung tinggi menurut [11] yaitu sebesar 4.00, maka nilai faktor keamanan (γ_R) akan cenderung lebih rendah dibandingkan nilai γ_R pada nilai indeks keandalan (β) 7.80.

Berdasarkan pembahasan pada penelitian, bahwa salahsatu keterbatasan dalam studi ini adalah asumsi sifat material dan kondisi pembebanan yang seragam pada semua member balok. Variasi kualitas beton, detail penulangan, dan skenario pembebanan aktual dapat memengaruhi indeks keandalan dan faktor keamanan. Selain itu, perhitungan kapasitas momen nominal (M_n) mengasumsikan kondisi ideal, yang mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan kompleksitas konstruksi seperti retak, rangkai, dan degradasi jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa balok beton bertulang pada gedung dengan fungsi perkuliahan memiliki tingkat keandalan dan keamanan yang tinggi. Nilai indeks keandalan (β) berkisar antara 7,80 hingga 8,30, menunjukkan kapasitas balok yang stabil dalam menahan beban operasional. Faktor keamanan (γ_R) yang dihitung berada pada rentang 2,40 hingga 2,53, dengan member 120 memiliki faktor keamanan sebesar 2,40. Kapasitas momen nominal (M_n) balok atau nilai tahanan nominal sebesar 780,50 kNm dan tahanan global rencana (R_d) sebesar 325,21 kNm mengindikasikan bahwa balok telah didesain dengan memadai untuk menahan momen lentur di bawah kondisi layan.

Selanjutnya, dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai faktor keamanan. Pengembangan dilakukan pada pendekatan analisis berupa pendekatan probabilistik yang mempertimbangkan ketidakpastian dalam sifat material dan kondisi pembebanan.

REFERENSI

- [1] P. Castaldo, D. Gino, and G. Mancini, "Safety formats for non-linear finite element analysis of reinforced concrete structures: discussion, comparison and proposals," *Eng. Struct.*, vol. 193, no. April, pp. 136–153, 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.05.029.
- [2] P. Castaldo, D. Gino, G. Bertagnoli, and G. Mancini, "Resistance model uncertainty in non-linear finite element analyses of cyclically loaded reinforced concrete systems," *Eng. Struct.*, vol. 211, no. February, p. 110496, 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110496.
- [3] E. Miceli, D. Gino, and P. Castaldo, "Approaches to estimate global safety factors for reliability assessment of RC structures using non-linear numerical analyses," *Eng. Struct.*, vol. 311, p. 118193, 2024, doi: 10.1016/j.engstruct.2024.118193.
- [4] P. Hyman, S. Sriramula, and A. I. Osofero, "Calibration of safety factors for prestressed stayed steel columns," *Archit. Struct. Constr.*, vol. 2, no. 3, pp. 365–380, 2022, doi: 10.1007/s44150-022-00066-5.
- [5] V. Cervenka, "Reliability-based non-linear analysis according to fib Model Code 2010," *Struct. Concr.*, vol. 14, no. 1, pp. 19–28, 2013, doi: 10.1002/suco.201200022.
- [6] M. Pimentel, E. Brühwiler, and J. Figueiras, "Safety examination of existing concrete structures using the global resistance safety factor concept," *Eng. Struct.*, vol. 70, pp. 130–143, 2014, doi: 10.1016/j.engstruct.2014.04.005.
- [7] H. Schlune, M. Plos, and K. Gylltoft, "Safety formats for non-linear analysis of concrete structures," *Mag. Concr. Res.*, vol. 64, no. 7, pp. 563–574, 2012, doi: 10.1680/mac.11.00046.
- [8] S. Agus, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang: Berdasarkan SNI 2847:2013*. Erlangga, 2016.
- [9] W. Hasyim, *Struktur Beton: Edisi Revisi*. Yogyakarta: K-Media, 2021.
- [10] W. Hasyim, "Keandalan Struktur Gedung Perkuliahan," Indramayu, 2025.
- [11] N. and Kaszynska, "TARGET RELIABILITY FOR NEW, EXISTING AND HISTORICAL STRUCTURES," no. 19, pp. 219–228, 2011.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Sni*

2847-2019, no. 8, p. 720, 2019.

- [13] A. C. 318, *ACI CODE-318-19(22): Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (Reapproved 2022)*. ACI, 2019.