

## **Penerapan SNI 2847:2019 dalam Evaluasi Kapasitas Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang dengan Data Aktual**

**Hafidz Maulana, Imam Mustofa\***

Universitas Kadiiri, Kota Kediri-64115, Indonesia

---

### **ARTICLE INFO**

#### **Kata Kunci:**

balok beton bertulang; kapasitas lentur; kapasitas geser; data penampang aktual; SNI 2847:2019.

#### **\*Correspondence email:**

[imammustofa@unik-kediri.ac.id](mailto:imammustofa@unik-kediri.ac.id)

**Submitted:** 09 Desember 2025

**Revised:** 06 Januari 2026

**Accepted:** 17 Januari 2026

**Published:** 03 Februari 2026

### **ABSTRAK**

Balok beton bertulang merupakan elemen struktur utama yang berfungsi menyalurkan beban gravitasi dan berperan penting dalam menjaga stabilitas serta keselamatan bangunan. Pada pelaksanaan konstruksi, variasi mutu beton, rasio tulangan, dan ketidakteraturan pekerjaan sering menyebabkan perilaku lentur dan geser balok berbeda dari asumsi perencanaan, sehingga diperlukan evaluasi kapasitas struktur berdasarkan data penampang aktual. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang serta menilai tingkat pemanfaatan kapasitas struktur terhadap beban gravitasi rencana. Metode penelitian dilakukan secara analitis dengan menggunakan data geometri penampang, mutu material, konfigurasi tulangan, dan pembebanan gravitasi yang diperoleh dari dokumen perencanaan. Gaya dalam dihitung menggunakan persamaan statis balok dua tumpuan, sedangkan kapasitas lentur dan geser ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 dan kombinasi pembebanan SNI 1727:2020. Hasil analisis menunjukkan bahwa momen terfaktor sebesar 232,37 kNm dan gaya geser 84,88 kN berada di bawah kapasitas desain  $\phi M_n$  sebesar 452,81 kNm dan  $\phi V_n$  sebesar 206,86 kN, dengan rasio pemanfaatan masing-masing sebesar 0,51 dan 0,41. Tulangan lentur dan geser yang terpasang telah memenuhi persyaratan kekuatan dan detailing. Penelitian ini merekomendasikan penerapan evaluasi berbasis data aktual sebagai bagian dari pengendalian mutu desain dan pelaksanaan balok beton bertulang.

---

### **ABSTRACT**

#### **Keywords:**

reinforced concrete beam; flexural capacity; shear capacity; actual section data; SNI 2847:2019.

*Reinforced concrete beams are primary structural elements responsible for transferring gravity loads and play a crucial role in maintaining the stability and safety of building structures. In construction practice, variations in concrete strength, reinforcement ratios, and execution irregularities often cause the flexural and shear behavior of beams to differ from design assumptions, making capacity evaluation based on actual section data necessary. This study aims to evaluate the flexural and shear capacity of reinforced concrete beams and to assess the level of capacity utilization under design gravity loads. The research method employs an analytical approach using section geometry, material properties, reinforcement configuration, and gravity loading obtained from design documents. Internal forces are calculated using static equations for simply supported beams, while flexural and shear capacities are determined in accordance with the provisions of SNI 2847:2019 and the load combinations specified in SNI 1727:2020. The results indicate that the factored bending moment of 232.37 kNm and the shear force of 84.88 kN remain below the design capacities  $\phi M_n$  of 452.81 kNm and  $\phi V_n$  of 206.86 kN, resulting in utilization ratios of 0.51 and 0.41, respectively. The provided flexural and shear reinforcement also satisfies strength and detailing requirements. It is recommended that evaluations based on actual section data be consistently applied to improve design reliability and quality control in reinforced concrete beam construction.*

---

### **PENDAHULUAN**

Balok beton bertulang merupakan elemen penyalur beban gravitasi yang sangat menentukan keselamatan dan performa struktur bangunan, terutama pada fasilitas pelayanan kesehatan yang memiliki karakteristik beban dan fungsi yang lebih kompleks dibandingkan bangunan umum lainnya (Citra et al., 2023). Keandalan struktur balok pada bangunan kesehatan menjadi krusial karena gangguan elemen struktural dapat menghambat proses layanan medis yang bersifat vital dan berdampak langsung pada keselamatan pengguna (Tampubolon, n.d.). Kompleksitas operasional bangunan kesehatan menuntut evaluasi kapasitas balok berbasis kondisi aktual penampang untuk memastikan kecukupan elemen terhadap pembebanan riil yang terjadi (Yastari, Guci, & Said, 2025). Selain itu, mutu pelaksanaan konstruksi pada proyek nyata kerap mengalami variasi yang menyebabkan perbedaan kondisi elemen struktur dibandingkan rancangan awal (Ariani et al., 2023).

Secara mekanis, perilaku lentur balok beton bertulang dikendalikan oleh kompatibilitas regangan antara baja dan beton hingga kondisi ultimit tercapai (Li et al., 2024). Li dkk. menunjukkan bahwa penggunaan mortar epoksi berkekuatan tinggi pada zona tarik dapat meningkatkan kapasitas lentur dan menunda retak awal secara signifikan (Li et al., 2024) Pratama dkk. menemukan bahwa variasi mutu beton pada zona tekan dan tarik dapat mengubah kapasitas momen nominal dan respons deformasi balok (Pratama et al., 2021). Hasil pengujian lentur menunjukkan bahwa cacat konstruksi seperti segregasi dan honeycomb dapat menurunkan kapasitas lentur secara berarti (Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulang). Taufiq dan Saidi melaporkan bahwa deviasi mutu beton serta ketidakakuratan pemasangan tulangan memengaruhi kekakuan hubungan momen–kurvatur balok (Aaron et al., 2023; Hasan et al., 2021).

Pada mekanisme geser, Sutrisno dkk. menjelaskan bahwa jarak dan konfigurasi sengkang berpengaruh langsung terhadap pola retak diagonal dan kapasitas geser ultimit (Sutrisno et al., 2024). Huang dan timnya menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas lentur akibat perkuatan UHPC ataupun CFRP memicu peningkatan tuntutan geser yang harus ditahan tulangan transversal (Huangz et al., 2025). Kusnadi dkk. menegaskan bahwa mutu beton memberikan kontribusi signifikan terhadap besarnya  $V_c$  atau kapasitas geser beton (Kusnadi et al., 2022). Studi eksperimental menunjukkan bahwa diameter dan kualitas pemasangan sengkang dapat menyebabkan variasi kapasitas geser aktual hingga puluhan persen (Afendi & Zulfiati, 2021; Anwar et al., 2024).

Penelitian lainnya mendukung adanya deviasi antara kapasitas teoritis dan perilaku aktual balok. Tran dkk. mengemukakan bahwa variasi rasio tulangan longitudinal dan mutu beton dapat menghasilkan perbedaan nyata antara kapasitas lentur teoritis dan kapasitas aktual (Tran et al., 2025). Yastari dkk. menunjukkan bahwa peningkatan rasio tulangan longitudinal mengubah daktilitas dan pola retak lentur balok (Yastari, Guci, Said, et al., 2025). Studi pendukung dari Yastari dkk. yang lain juga melaporkan bahwa karakteristik interaksi baja–beton memengaruhi lokasi dan bentuk retak (Yastari, Guci, Said, et al., 2025). Nurliana dan Walujodjati menemukan bahwa perbedaan penempatan tulangan dapat mengubah alur tegangan dan kestabilan lentur balok (Nurliana & Walujodjati, 2024). Rasyid dkk. menyatakan bahwa korosi tulangan dapat menurunkan kapasitas lentur secara signifikan dan mempercepat keruntuhan elemen (Rasyid et al., 2021).

Studi tambahan menunjukkan bahwa mutu beton dan kualitas pelaksanaan konstruksi merupakan variabel yang sangat berpengaruh. Putra dkk. melaporkan bahwa variasi mutu beton berhubungan langsung dengan pola retak lentur dan kemampuan menahan beban (Putra & Noorhidana, n.d.). Ariani menegaskan bahwa variasi slump dan deviasi penempatan tulangan dapat memengaruhi kapasitas lentur dan geser balok (Ariani et al., 2023). Kajian numerik menunjukkan bahwa perubahan geometri penampang dapat mengubah distribusi tegangan pada balok RC (Pratama et al., 2021). Sementara itu, evaluasi eksperimental pada elemen RC menunjukkan bahwa penyimpangan dimensi dan posisi tulangan menghasilkan pola retak yang berbeda dari model analitis. Studi lainnya menunjukkan bahwa ketidakrataan tulangan dan kualitas beton pada proses pengecoran memberikan pengaruh signifikan terhadap perilaku lentur dan geser (Mulyadi & Walujodjati, 2022).

Meskipun penelitian sebelumnya telah memberikan pemahaman mendalam mengenai perilaku lentur dan geser balok beton bertulang, sebagian besar kajian tersebut dilakukan menggunakan benda uji laboratorium atau model numerik yang berasumsi ideal, seperti geometri presisi, mutu beton homogen, serta pemasangan tulangan yang terkontrol. Kondisi tersebut belum sepenuhnya mencerminkan kondisi riil elemen pada bangunan fasilitas kesehatan yang dalam praktiknya sering mengalami variasi mutu konstruksi, deviasi dimensi penampang, ketidakrataan jarak tulangan, serta kualitas beton yang dipengaruhi oleh metode pelaksanaan di lapangan. Oleh karena itu, evaluasi berbasis data geometri aktual dan konfigurasi tulangan riil diperlukan untuk memperoleh gambaran yang lebih representatif mengenai konsistensi kapasitas elemen terhadap ketentuan desain. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang berdasarkan penampang aktual serta menilai tingkat pemanfaatan kapasitas struktural terhadap pembebanan nyata pada bangunan fasilitas kesehatan. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar teknis yang lebih akurat dalam menilai keandalan struktur.

## **METODE**

### **Lokasi Studi dan Sumber Data**

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan data struktur bangunan yang diperoleh dari dokumen teknis perencanaan struktur. Data yang digunakan mencakup dimensi geometrik balok, mutu beton dan baja tulangan, serta pembebanan gravitasi yang menjadi dasar perhitungan kapasitas elemen struktur. Informasi penulangan meliputi diameter, jumlah, dan konfigurasi tulangan pokok serta tulangan geser sebagaimana tercantum dalam laporan perencanaan. Seluruh prosedur desain pada penelitian ini mengacu pada standar nasional, yaitu (Badan Standardisasi Nasional, 2019) untuk persyaratan struktur beton bertulang dan (SNI 1727-2020, 2020) untuk penentuan beban minimum bangunan gedung. Dengan demikian, data yang digunakan merepresentasikan kondisi aktual elemen balok dan relevan untuk tujuan evaluasi kapasitas struktural yang dilakukan.

## Kerangka Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan data struktur bangunan yang diperoleh dari dokumen teknis perencanaan struktur. Data yang digunakan mencakup dimensi geometrik balok, mutu beton dan baja tulangan, serta pembebanan gravitasi yang menjadi dasar perhitungan kapasitas elemen struktur. Informasi penulangan meliputi diameter, jumlah, dan konfigurasi tulangan pokok serta tulangan geser sebagaimana tercantum dalam laporan perencanaan. Seluruh prosedur desain pada penelitian ini mengacu pada standar nasional, yaitu (Badan Standardisasi Nasional, 2019) untuk persyaratan struktur beton bertulang dan (SNI 1727-2020, 2020) untuk penentuan beban minimum bangunan gedung. Dengan demikian, data yang digunakan merepresentasikan kondisi aktual elemen balok dan relevan untuk tujuan evaluasi kapasitas struktural yang dilakukan.

## Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dari proses pengumpulan dan verifikasi data yang meliputi dimensi balok, mutu material, beban gravitasi, serta detail penulangan yang berlaku pada struktur gedung. Data tersebut kemudian digunakan untuk membentuk kombinasi pembebanan terfaktor berdasarkan ketentuan (SNI 1727-2020, 2020), sehingga diperoleh beban total yang bekerja pada setiap elemen. Dengan menggunakan nilai beban merata terfaktor tersebut, gaya dalam berupa momen dan geser dihitung melalui idealisasi balok sebagai elemen dua tumpuan sesuai kaidah struktur dasar. Setelah gaya dalam diperoleh, kapasitas lentur dan geser balok dihitung berdasarkan persyaratan yang ditetapkan pada (Badan Standardisasi Nasional, 2019), meliputi perhitungan kedalaman blok tekan, kapasitas lentur nominal, kapasitas geser beton, dan kapasitas geser tulangan. Kapasitas desain diperoleh dengan menerapkan faktor reduksi kekuatan sesuai klasifikasi mekanisme keruntuhan. Hasil akhir berupa perbandingan antara gaya dalam terfaktor dan kapasitas desain, yang menunjukkan apakah elemen balok memenuhi persyaratan kekuatan untuk kondisi lentur maupun geser. Semua hasil dianalisis kembali dan dirangkum dalam tabel untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja struktural elemen balok terhadap beban rencana.

## Sifat Material dan Geometri Penampang

Modulus elastisitas beton ditentukan menggunakan persamaan empiris dari (Badan Standardisasi Nasional, 2019) Pasal 19:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (1)$$

Variabel  $E_c$  merupakan modulus elastis beton yang menunjukkan tingkat kekakuan material dalam menahan deformasi ketika diberi beban. Nilai ini menentukan seberapa besar regangan yang terjadi pada beton untuk setiap kenaikan tegangan. Sementara itu,  $f'_c$  adalah kuat tekan beton silinder yang menggambarkan kapasitas beton dalam menahan beban tekan sebelum mengalami keruntuhan. Nilai  $f'_c$  menjadi parameter dasar dalam sebagian besar perhitungan kapasitas elemen beton, termasuk penentuan modulus elastisitas. Kedua variabel ini saling berkaitan dan digunakan sebagai karakteristik utama dalam menilai perilaku mekanis beton sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

## Penilaian Pembebanan

Jenis beban yang dianalisis meliputi beban mati (D), beban mati tambahan (SDL), dan beban hidup (L). Kombinasi pembebanan mengikuti ketentuan (SNI 1727-2020, 2020), diringkas sebagai:

$$1.4D, \quad 1.2D + 1.6L + 0.5R \quad (2)$$

Variabel pembebanan yang digunakan dalam analisis terdiri atas tiga komponen utama. D merupakan beban mati, yaitu beban yang berasal dari berat sendiri elemen struktural dan non-struktural yang bersifat permanen. L adalah beban hidup, yaitu beban yang berasal dari aktivitas penghuni atau penggunaan ruang yang bersifat tidak tetap dan dapat berubah-ubah. Sementara itu, R merupakan beban hujan yang memperhitungkan akumulasi air hujan pada atap atau permukaan bangunan. Ketiga variabel ini dikombinasikan sesuai ketentuan (SNI 1727-2020, 2020) untuk menghasilkan beban terfaktor yang digunakan dalam perhitungan gaya dalam elemen balok.

## Analisis Gaya Dalam

Analisis gaya dalam dilakukan menggunakan persamaan statis balok dua tumpuan sesuai peraturan pembebanan. Momen lentur terfaktor

$$M_u = w_u \frac{L^2}{8} \quad (3)$$

Variabel  $M_u$  merupakan momen terfaktor yang menggambarkan besarnya momen maksimum yang bekerja pada balok akibat kombinasi pembebanan sesuai standar. Besaran ini digunakan sebagai acuan untuk menilai kecukupan kapasitas lentur penampang. Variabel  $w_u$  adalah beban merata terfaktor yang diperoleh dari hasil kombinasi beban mati,

beban hidup, maupun beban hujan, dan digunakan sebagai dasar perhitungan momen serta geser pada balok. Adapun L menyatakan panjang bentang balok yang memengaruhi nilai momen dan gaya geser, karena besarnya gaya dalam sangat dipengaruhi oleh jarak antar tumpuan. Ketiga variabel ini saling berkaitan dalam menentukan respons struktural balok terhadap pembebanan.

Gaya geser terfaktor

$$V_u = \frac{w_u L}{2} \quad (4)$$

Variabel  $V_u$  merupakan gaya geser terfaktor yang menunjukkan besar gaya geser maksimum yang harus dapat ditahan oleh balok akibat kombinasi beban sesuai ketentuan SNI. Nilai ini diperoleh dari beban merata terfaktor  $w_u$ , yaitu beban total per satuan panjang yang bekerja setelah diberi faktor pengali pembebanan. Sementara itu, L adalah panjang bentang balok yang memengaruhi besar gaya geser karena semakin pendek bentangnya, semakin besar gaya geser yang terjadi. Ketiga variabel tersebut digunakan secara bersamaan untuk menentukan respons balok terhadap beban geser dan menjadi dasar dalam evaluasi kapasitas geser penampang.

### Evaluasi Kapasitas Lentur

Perhitungan kapasitas lentur mengikuti kaidah desain pada (Badan Standardisasi Nasional, 2019) Pasal 22

Kedalaman blok tekan

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \quad (5)$$

Variabel  $a$  merupakan kedalaman blok tekan beton yang menggambarkan tinggi zona tekan ekuivalen pada penampang balok saat menerima beban lentur. Nilai ini dipengaruhi langsung oleh jumlah dan mutu tulangan tarik. Variabel  $A_s$  menunjukkan luas total tulangan tarik yang berperan menahan gaya tarik akibat momen lentur. Sementara itu,  $f_y$  adalah kuat leleh baja tulangan yang menentukan kemampuan tulangan dalam menahan tegangan sebelum mengalami leleh. Variabel  $b$  menyatakan lebar penampang balok yang menjadi dasar perhitungan kapasitas tekan beton, sedangkan  $f'_c$  merupakan kuat tekan beton yang digunakan sebagai parameter utama dalam menilai kekuatan material beton terhadap pembebanan tekan. Kelima variabel ini secara keseluruhan berfungsi menentukan kapasitas lentur nominal balok sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Kapasitas lentur nominal

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (6)$$

Variabel  $M_n$  merepresentasikan kapasitas lentur nominal penampang sebelum penerapan faktor reduksi kekuatan. Nilai ini ditentukan oleh besarnya gaya tarik tulangan dan lengan momen efektif yang terbentuk. Variabel  $A_s$  menunjukkan luas tulangan tarik yang berfungsi menahan gaya tarik akibat momen lentur, sedangkan  $f_y$  adalah kuat leleh baja tulangan yang mengendalikan besarnya gaya tarik yang dapat dikembangkan. Variabel  $d$  merupakan tinggi efektif balok yang menentukan panjang lengan momen antara gaya tekan dan tarik. Sementara itu,  $a$  adalah kedalaman blok tekan beton yang menggambarkan distribusi tegangan tekan pada penampang. Kelima variabel ini secara bersama menentukan kapasitas lentur nominal sesuai persyaratan (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

$$\phi M_n = 0.90 M_n \quad (7)$$

Variabel  $\phi M_n$  merupakan kapasitas lentur desain, yaitu kapasitas lentur nominal yang telah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan untuk menggambarkan kemampuan penampang yang aman terhadap variasi material dan ketidakpastian kondisi konstruksi. Variabel  $M_n$  adalah kapasitas lentur nominal penampang sebelum faktor reduksi diterapkan dan dihitung dari kontribusi gaya tarik tulangan serta distribusi tegangan tekan beton. Adapun  $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan untuk elemen lentur dengan nilai sebesar 0.90 sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019), yang digunakan untuk mengonversi kapasitas nominal menjadi kapasitas desain yang memenuhi tingkat keandalan yang disyaratkan.

### Evaluasi Kapasitas Geser

Penilaian kapasitas geser mengikuti (Badan Standardisasi Nasional, 2019) Pasal 22.5

Kontribusi beton

$$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c b_w d} \quad (8)$$

Variabel  $V_c$  merupakan kapasitas geser beton, yaitu kontribusi beton tanpa tulangan geser dalam menahan gaya geser yang bekerja pada elemen balok. Besarnya kapasitas ini dipengaruhi oleh kuat tekan beton  $f'_c$ , yang menunjukkan kemampuan material beton dalam menahan gaya tekan, serta oleh parameter geometrik penampang. Variabel  $b_w$

merepresentasikan lebar badan balok yang menentukan luas efektif beton dalam menahan tegangan geser, sedangkan  $d$  merupakan tinggi efektif balok yang digunakan sebagai jarak kerja antara gaya tekan dan tarik dalam perhitungan kapasitas. Secara keseluruhan, keempat variabel ini berperan dalam menentukan kapasitas geser beton sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Kontribusi tulangan geser

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{S} \quad (9)$$

Variabel  $V_s$  merupakan kapasitas geser yang disumbangkan oleh tulangan geser, yaitu kemampuan sengkang dalam menahan gaya geser tambahan di luar kontribusi beton. Kapasitas ini dipengaruhi oleh  $A_v$ , yaitu total luas tulangan geser dalam satu bidang yang berfungsi menahan gaya tarik diagonal akibat geser. Variabel  $f_{yt}$  merupakan kuat leleh tulangan geser atau sengkang yang menentukan kemampuan tulangan dalam menahan tegangan tarik sebelum mengalami leleh. Sementara itu,  $d$  menyatakan tinggi efektif balok sebagai jarak kerja antara gaya tarik dan tekan dalam mekanisme geser, dan  $S$  adalah spasi sengkang yang menentukan distribusi tulangan geser sepanjang balok. Kombinasi dari seluruh variabel ini membentuk kapasitas geser tulangan sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Kapasitas geser desain

$$\phi V_n = 0.75(V_c + V_s) \quad (10)$$

Variabel  $\phi V_n$  merupakan kapasitas geser desain, yaitu kapasitas geser total yang telah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan untuk memastikan tingkat keandalan yang disyaratkan dalam perencanaan. Nilai ini berasal dari penjumlahan kontribusi geser beton  $V_c$  dan kontribusi geser tulangan  $V_s$ , yang masing-masing mewakili kemampuan beton dan sengkang dalam menahan gaya geser. Faktor reduksi  $\phi = 0.75$  digunakan sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019) untuk elemen yang mengalami mekanisme geser, sehingga kapasitas nominal dikonversi menjadi kapasitas desain yang aman terhadap ketidakpastian material maupun konstruksi.

### Penentuan Kebutuhan Tulangan

Penentuan tulangan minimum dan kebutuhan berdasarkan gaya dalam mengikuti ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019) Bab 9 dan 22 .

Tulangan lentur yang dibutuhkan

$$A_{s,req} = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (11)$$

Variabel  $A_{s,req}$  merupakan luas tulangan lentur minimum yang diperlukan agar penampang mampu menahan momen terfaktor yang bekerja. Nilai ini ditentukan berdasarkan  $M_u$ , yaitu momen terfaktor yang mencerminkan kondisi pembebanan paling kritis menurut kombinasi beban SNI. Perhitungan kapasitas desain mempertimbangkan faktor reduksi kekuatan  $\phi = 0.90$  untuk mekanisme lentur, sebagaimana disyaratkan dalam (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Besarnya gaya tarik yang dapat dikembangkan tulangan bergantung pada mutu baja yang dinyatakan dengan  $f_y$ , sedangkan  $d$  merupakan tinggi efektif balok yang menentukan panjang lengan momen. Sementara itu, variabel  $a$  menyatakan kedalaman blok tekan beton yang digunakan untuk menentukan interaksi gaya tarik tulangan dan gaya tekan beton dalam penampang. Seluruh variabel ini saling terkait dalam penentuan kebutuhan tulangan lentur secara rasional dan memenuhi ketentuan standar perencanaan.

Tulangan minimum

$$A_{s,min} = 0.5 \sqrt{f'c} \frac{b_w d}{f_y} \quad (12)$$

Variabel  $A_{s,min}$  merepresentasikan tulangan lentur minimum yang harus disediakan agar penampang balok memiliki kapasitas dan daktilitas yang memadai sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Nilai ini bergantung pada kuat tekan beton  $f'c$  sebagai parameter utama kekuatan material, serta pada geometri penampang yang dinyatakan melalui lebar badan balok  $b_w$  dan tinggi efektif  $d$ . Selain itu, mutu baja tulangan yang direpresentasikan oleh  $f_y$  turut menentukan besarnya kebutuhan tulangan minimum. Kombinasi variabel-variabel tersebut memastikan bahwa elemen balok memiliki kapasitas lentur dasar yang aman terhadap retak berlebih maupun kegagalan getas.

Tulangan geser minimum

$$A_{v,min} = \max\left(0.062 \sqrt{f'c} \frac{b_w s}{f_{yt}}, 0.35 \frac{b_w s}{f_{yt}}\right) \quad (13)$$

Variabel  $A_{v,min}$  merupakan tulangan geser minimum yang harus disediakan untuk memastikan balok memiliki kapasitas dasar terhadap gaya geser dan mencegah terbentuknya retak geser berlebihan. Besarnya nilai ini dipengaruhi oleh kuat tekan beton  $f'c$  yang mencerminkan kemampuan beton menahan tekanan, serta oleh parameter geometri

penampang yang direpresentasikan melalui lebar badan balok  $bw$ . Variabel  $s$  menunjukkan spasi sengkang yang berpengaruh terhadap distribusi tulangan geser sepanjang balok, sedangkan  $f_{yt}$  merepresentasikan kuat leleh tulangan geser yang menentukan besarnya gaya tarik yang dapat ditahan oleh sengkang sebelum mengalami leleh. Kombinasi variabel-variabel tersebut digunakan untuk memastikan bahwa elemen balok memenuhi syarat minimum penulangan geser sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Spasi Maksimum sengkang

$$S_{max} = \min(0.75d, 600) \quad (14)$$

Variabel  $S_{max}$  merupakan spasi sengkang maksimum yang diizinkan berdasarkan ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019) untuk memastikan kontrol retak geser dan menjaga perilaku daktail elemen balok. Batas ini bergantung pada tinggi efektif balok  $d$ , karena tinggi efektif menentukan jarak kerja antara gaya tekan dan tarik dalam mekanisme geser. Selain itu, ketentuan standar menetapkan nilai absolut 600 mm sebagai batas maksimum spasi sengkang yang tidak boleh dilampaui, meskipun nilai  $0.75d$  lebih kecil dari batas tersebut. Kombinasi kedua ketentuan ini memastikan bahwa penempatan tulangan geser tetap efektif dalam memberikan pengekangan terhadap retak diagonal serta menjaga integritas struktural elemen.

### Struktur Keluaran

Keluaran analisis berupa nilai gaya dalam terfaktor ( $M_u, V_u$ ), kapasitas lentur dan geser desain ( $\phi M_n, \phi V_n$ ), kebutuhan tulangan lentur ( $A_p$ ), kebutuhan tulangan geser ( $A_s$ ), dan spasi sengkang ( $s$ ). Hasil disajikan dalam tabel analitis untuk mengilustrasikan kesesuaian antara ketentuan pembebanan (SNI 1727-2020, 2020) dan kapasitas elemen sesuai (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

### HASIL

Perhitungan dimulai dengan menentukan dimensi balok dan tinggi efektif ( $d$ ), serta luas penampang batang tulangan  $\emptyset 16$  dan  $\emptyset 10$ . Langkah-langkah perhitungan yang digunakan merujuk pada data dan rumus yang berlaku di Rencana Anggaran Biaya (RAB), yang hasilnya kemudian menunjukkan ukuran geometrik balok, luas penampang batang tulangan, serta jarak antar sengkang. Adapun tabel perhitungan sebagai berikut:

**Tabel 1. Perhitungan parameter material & Geometrik balok B1**

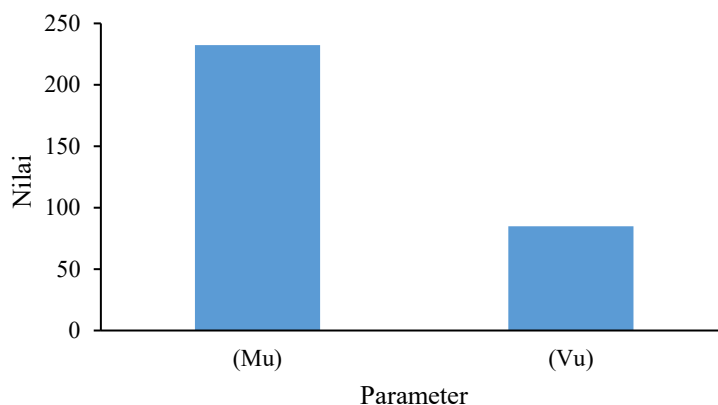
Komponen	Rumus / Langkah Perhitungan	Hasil
Dimensi balok	Data RAB	400 × 500 mm
Tinggi efektif $d$	$d = h \text{ cover} - \emptyset / 2 \rightarrow 500 - 25 - 8$	467 mm
Luas 1 batang $\emptyset 16$	$\frac{\pi d^2}{4} \rightarrow 3.1416 \times 256 / 4$	201.06 mm <sup>2</sup>
$A_{s\_provided}$ (16D16)	16 × 201.06	3,216.99 mm <sup>2</sup>
Luas sengkang $\emptyset 10$	$\pi \times \frac{10^2}{4} \rightarrow 78.54 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ kaki} = 2 \times 78.54$	157.08 mm <sup>2</sup>
Spasi sengkang	Data RAB	150 mm
Bentang balok L	Gambar denah	10.95 m

Data geometri dan material pada Tabel 1 menunjukkan bahwa Balok B1 memiliki dimensi penampang besar (400×500 mm) dengan tinggi efektif 467 mm dan tulangan lentur terpasang 3,216.99 mm<sup>2</sup>, jauh melebihi kebutuhan minimum struktur. Konfigurasi ini menggambarkan bahwa secara fisik balok memiliki kapasitas penampang yang kuat dan kaku, sehingga berpotensi memberikan performa struktural yang tinggi. Bentang 10.95 m yang cukup panjang juga menjadi faktor penting dalam penentuan gaya dalam, namun parameter penampang awal menunjukkan kesiapan balok untuk menahan beban gravitasi sesuai data RAB dan standar SNI.

**Tabel 2. Perhitungan pembebanan & Gaya dalam**

Komponen	Rumus / Langkah Perhitungan	Hasil
Berat sendiri balok	$0.4 \times 0.5 \times 24$	4.80 kN/m
Berat slab tributary	$0.13 \times 24$	3.12 kN/m
Finishing	asumsi	1.00 kN/m
Beban mati total D	$4.80 + 3.12 + 1.00$	8.92 kN/m
Beban hidup L	Asumsi	3.00 kN/m
1.4D	$1.4 \times 8.92 = 12.488$	12.49 kN/m
1.2D+1.6L	$1.2 \times 8.92 + 1.6 \times 3 \rightarrow 10.704 + 4.89$	15.504 kN/m
Beban terfaktor $w_u$	$\max(12.49; 15.504 \times 10.95^2 / 8)$	15.504 kN/m
Momen terfaktor $M_u$	$\frac{w_u L^2}{8} \rightarrow 15.504 \times 10.95^2 / 8$	232.37 kNm
Geser terfaktor $V_u$	$w_u L / 2$	84.88 kN

Tabel 2 menunjukkan bahwa beban terfaktor terbesar pada Balok B1 berasal dari kombinasi 1.2D + 1.6L sesuai (SNI 1727-2020, 2020), menghasilkan momen terfaktor 232.37 kNm dan gaya geser terfaktor 84.88 kN. Nilai gaya dalam tersebut mencerminkan perilaku balok pada bentang panjang 10.95 m, di mana beban hidup memberikan kontribusi signifikan terhadap pembesaran momen. Respons ini sesuai dengan karakteristik umum balok beton bertulang bentang menengah-panjang, di mana momen lentur menjadi faktor desain dominan dan gaya geser berperan sebagai faktor sekunder namun tetap penting dalam evaluasi kapasitas. Hasil ini juga memperlihatkan bahwa balok bekerja dalam lingkup elastis dan tidak menunjukkan potensi mencapai batas ultimit karena nilai-nilai gaya dalam masih jauh di bawah kapasitas yang akan dihitung pada tabel selanjutnya. Dengan demikian, tabel pembebanan ini memberikan gambaran awal bahwa secara global balok bekerja dengan aman di bawah kondisi pembebanan kritis yang ditentukan oleh kode nasional.



Gambar 1. Gaya Dalam Balok B1  
Sumber: Data Olahan, 2025

Berdasarkan gambar 1 memberikan gambaran kuantitatif mengenai perilaku gaya dalam Balok B1, di mana momen terfaktor ( $M_u = 232.37$  kNm) muncul sebagai komponen dominan dibanding gaya geser ( $V_u = 84.88$  kN). Fenomena ini konsisten dengan teori balok bentang panjang, di mana respons lentur cenderung lebih signifikan akibat distribusi beban gravitasi yang bekerja secara merata. Rasio yang jauh berbeda antara  $M_u$  dan  $V_u$  pada grafik menunjukkan bahwa kontrol desain elemen ini lebih ditentukan oleh kapasitas lentur daripada geser, sehingga perhatian utama perencana harus difokuskan pada kecukupan tulangan tarik dalam memikul beban momen maksimum. Grafik ini juga menegaskan bahwa beban kerja aktual masih berada dalam rentang elastis yang aman, serta memberikan indikasi awal bahwa struktur memiliki margin kapasitas yang cukup besar sebelum memasuki zona plastis. Secara umum, interpretasi ini menunjukkan bahwa desain balok telah memenuhi prinsip fundamental mekanika struktur dan selaras dengan pendekatan desain berbasis batas (limit-state design) pada (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

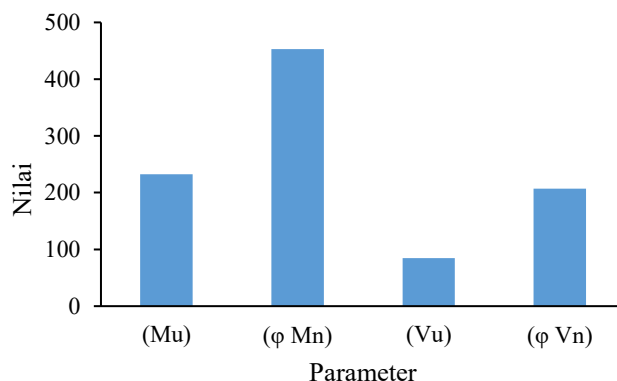
Tabel 3. Perhitungan kapasitas Lentur & Geser

Komponen	Rumus / Perhitungan	Hasil
Kedalaman blok tekan a	$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \rightarrow \frac{3216.99 \times 400}{0.85 \times 24.9 \times 400}$	152.03 mm
Lengan momen	$d - \frac{a}{2} = 467 - 152. \frac{03}{2}$	390.98 mm
Kapasitas nominal Mn	$A_s f_s \left( d - \frac{a}{2} \right) \rightarrow 1,286,796 \times 390.98$	503.12 kNm
Kapasitas desain $\phi M_n$	$0.90 \times 503.12$	452.81 kNm
Vc beton	$0.17 \sqrt{f'_c} b d \rightarrow 0.17 \times 4.99 \times 400 \times 467$	158.45 kN
Vs sengkang	$\frac{A_u f_{yt} d}{s} \rightarrow \frac{157.08 \times 240 \times 467}{150}$	117.37 kN
Kapasitas geser desain $\phi V_n$	$0.75 (V_c + V_s)$	206.86 kN

Sumber: Data Olahan, 2025

Tabel 3 menggambarkan secara jelas bahwa Balok B1 memiliki kapasitas lentur desain  $\phi M_n$  sebesar 452.81 kNm dan kapasitas geser desain  $\phi V_n$  sebesar 206.86 kN, yang keduanya melampaui gaya dalam terfaktor dengan margin yang sangat besar. Kapasitas lentur yang hampir dua kali momen terfaktor menegaskan bahwa balok berada dalam kondisi kerja yang jauh dari kondisi ultimit, sehingga kemungkinan terjadinya keruntuhan lentur sangat rendah. Di sisi lain, kapasitas geser yang lebih dari dua kali gaya geser yang bekerja menunjukkan bahwa balok memiliki ketahanan

tinggi terhadap mekanisme keruntuhan geser diagonal, yang sering kali menjadi mekanisme kegagalan paling kritis. Nilai kedalaman blok tekan yang mencapai 152.03 mm menunjukkan bahwa penampang masih berada dalam zona tension-controlled sesuai ketentuan (Badan Standardisasi Nasional, 2019), memberikan tingkat daktilitas memadai yang diperlukan untuk redistribusi momen dan deformasi plastis lokal. Hal ini mengonfirmasi bahwa balok tidak hanya kuat secara kapasitas tetapi juga memenuhi kriteria perilaku daktil yang dibutuhkan dalam struktur bangunan bertingkat.



Gambar 2. Perbandingan Gaya Dalam dan kapasitas Balok B1  
Sumber: Data Olahan, 2025

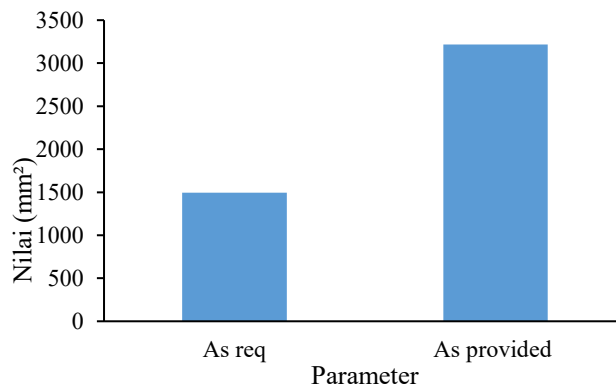
Berdasarkan gambar 2 menampilkan perbandingan eksplisit antara gaya dalam dan kapasitas desain balok, dan secara visual menegaskan dominasi kapasitas struktur terhadap tuntutan pembebanan. Kapasitas lentur  $\phi M_n = 452.81$  kNm terlihat hampir dua kali lipat dari  $M_u$ , sedangkan kapasitas geser  $\phi V_n = 206.86$  kN berada lebih dari dua kali kapasitas gaya geser yang terjadi. Pola ini menunjukkan bahwa elemen struktur tidak hanya aman, tetapi memiliki redundansi kekuatan yang substansial, sebuah karakteristik yang diharapkan pada struktur dengan tingkat kebutuhan keselamatan tinggi seperti fasilitas kesehatan. Grafik ini juga memberikan indikasi bahwa kemungkinan terjadinya mode kegagalan geser sangat rendah, dan balok akan lebih cenderung mengalami kegagalan lentur yang lebih daktil, sesuai prinsip desain modern yang mengutamakan mekanisme kegagalan yang bersifat warning-before-failure. Perbandingan grafik ini secara keseluruhan mengonfirmasi bahwa struktur telah memenuhi standar internasional terkait kapasitas minimum dan daktilitas, sekaligus memberikan dasar kuat bahwa penampang bekerja dalam zona aman jauh dari kondisi ekstrim.

**Tabel 4. Perhitungan kebutuhan Tulangan**

Komponen	Rumus / Langkah	Hasil
Kebutuhan $A_{s\_req}$	Hasil solusi kuadrat SNI	1,496 mm <sup>2</sup>
Tulangan minimum $A_{s\_min}$	$0.5 \frac{\sqrt{f'_c}(bd)}{f_y} \rightarrow 0.5 \times 4.99 \times (400 \times 467) / 400$	1,165 mm <sup>2</sup>
$A_{s\_final}$	$\max(A_{s\_req}, A_{s\_min})$	1,496 mm <sup>2</sup>
As terpasang	16D16	3,216.99 mm <sup>2</sup>
Rasio $A_{s\_prov} / A_{s\_req}$	(3216.99 / 1496)	2.15
Av terpasang	2Ø10	157.08 mm <sup>2</sup>
s_max (SNI)	$\min(0.75d ; 600) \rightarrow \min(0.75 \times 467 ; 600)$	350 mm
Spasi actual	RAB	150 mm

Sumber: Data Olahan, 2025

Tabel 4 menunjukkan bahwa kebutuhan tulangan lentur hasil perhitungan mencapai 1,496 mm<sup>2</sup>, namun tulangan yang terpasang adalah 3,216.99 mm<sup>2</sup>, atau lebih dari dua kali tulangan desain yang dibutuhkan. Perbedaan yang besar ini memberikan redundansi struktural tinggi, di mana kapasitas lentur balok memiliki cadangan ekstra yang sangat besar terhadap ketidakpastian eksisting seperti variasi mutu beton, variasi mutu baja tulangan, atau ketidaksesuaian proses konstruksi di lapangan. Tulangan minimum berdasarkan SNI yang hanya 1,165 mm<sup>2</sup> pun telah terlampaui dengan selisih besar, menegaskan bahwa balok tidak hanya kuat secara teoritis namun juga aman terhadap kondisi layan. Tulangan geser 2Ø10 dengan spasi 150 mm juga memenuhi batas syarat jarak maksimum sengkang dari (Badan Standardisasi Nasional, 2019), sehingga balok memiliki pengamanan yang baik terhadap retak geser diagonal, yang sering kali bersifat tiba-tiba dan tidak memberikan tanda sebelum keruntuhan. Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan bahwa desain balok berorientasi pada konservatisme tinggi yang mengutamakan keamanan struktural jangka panjang.



Gambar 3. Perbandingan Kebutuhan dan Tulangan Terpasang

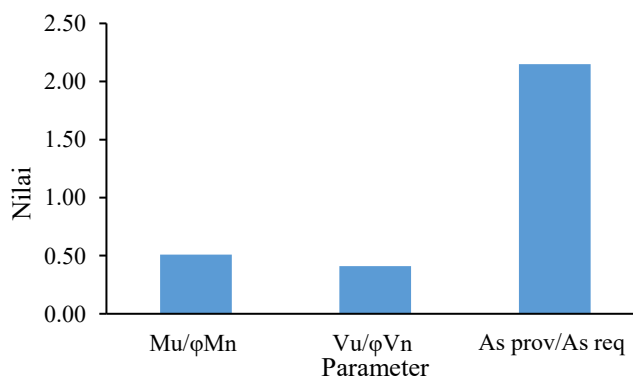
Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan tingkat perbedaan yang sangat jelas antara kebutuhan tulangan lentur ( $A_s \text{ req} = 1,496 \text{ mm}^2$ ) dan tulangan terpasang ( $A_s \text{ provided} = 3,216.99 \text{ mm}^2$ ), menandakan bahwa desain balok mengadopsi pendekatan konservatif dengan faktor keamanan tinggi. Pemilihan jumlah tulangan yang jauh melampaui kebutuhan minimal ini memiliki implikasi signifikan terhadap perilaku struktur, termasuk penurunan deformasi, peningkatan kekakuan lentur, serta kemampuan balok untuk menahan beban berlebih atau beban yang tidak terduga selama masa layan. Grafik ini juga menegaskan bahwa balok berada dalam kategori over-reinforced secara kapasitas namun tetap harus diverifikasi agar tidak mengarah pada mode kegagalan compression-controlled yang dilarang oleh (Badan Standardisasi Nasional, 2019) untuk elemen lentur primer. Meskipun demikian, dari perspektif keselamatan, surplus tulangan ini memperkuat reliabilitas struktur dan memberikan buffer terhadap ketidakpastian beban, mutu material, maupun variasi pengerjaan lapangan, sesuai dengan prinsip desain reliability-based design yang umum digunakan dalam standar internasional.

Tabel 5. Rekapitulasi Balok B1

Parameter	Nilai	Kapasitas	Rasio	Status
Momen	232.37 kNm	$\phi M_n = 452.81 \text{ kNm}$	0.51	Aman
Geser	84.88 kN	$\phi V_n = 206.86 \text{ kN}$	0.41	Aman
Tulangan lentur	$A_s \text{ req} = 1,496 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ prov} = 3,216.99 \text{ mm}^2$	2.15	Sangat Aman
Tulangan geser	$A_v \text{ min}$ terpenuhi	$A_v \text{ prov} = 157.08 \text{ mm}^2$	—	Aman
Spasi sengkang	$s = 150 \text{ mm}$	$s \text{ max} = 350 \text{ mm}$	Memenuhi	Aman

Sumber: Data Olahan, 2025

Tabel 5 mengonfirmasi bahwa Balok B1 berada pada kondisi struktural yang sangat aman dengan rasio pemanfaatan kapasitas lentur sebesar 0.51 dan kapasitas geser sebesar 0.41, yang berarti hanya sekitar separuh dari kapasitas lentur dan kurang dari setengah kapasitas geser yang dimanfaatkan oleh beban terfaktor. Kondisi ini menunjukkan bahwa balok bekerja jauh di bawah tingkat kritis, sehingga ruang keamanan yang tersedia di dalam struktur sangat besar. Rasio  $A_s \text{ prov}/A_s \text{ req}$  sebesar 2.15 memperlihatkan bahwa tulangan terpasang memberikan redundansi kekuatan secara signifikan, meningkatkan ketahanan terhadap variasi pembebanan dan perubahan kondisi layan. Dengan adanya margin kekuatan yang besar pada ketiga aspek—lentur, geser, dan jumlah tulangan—balok ini dipastikan memiliki kemampuan struktural yang sangat stabil, reliabel, dan daktail dalam jangka panjang. Hal ini memastikan bahwa balok tidak hanya memenuhi ketentuan kekuatan minimum, tetapi juga memberikan performa struktural yang jauh di atas standar minimal yang dipersyaratkan.



Gambar 4. Rasio Pemanfaatan Kapasitas Balok B1

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan merangkum kinerja struktural Balok B1 melalui tiga rasio utama:  $M_u/\phi M_n = 0.51$ ,  $V_u/\phi V_n = 0.41$ , dan  $A_s \text{ prov}/A_s \text{ req} = 2.15$ . Ketiga rasio ini secara bersama-sama menggambarkan bahwa balok bekerja dalam kondisi yang sangat aman, dengan utilisasi kapasitas yang rendah untuk lentur dan geser, serta tingkat redundansi tulangan yang sangat tinggi. Karakteristik ini mencerminkan desain dengan safety margin besar, yang tidak hanya meningkatkan ketahanan terhadap keruntuhan tetapi juga meningkatkan performa jangka panjang terhadap faktor degradasi seperti kelelahan, retak, dan variasi pembebanan. Dalam konteks desain modern, grafik ini mengindikasikan perilaku struktur yang sangat stabil, memenuhi prinsip *capacity design*, dan selaras dengan temuan penelitian kontemporer yang menekankan pentingnya perbandingan rasio kapasitas-beban sebagai indikator reliabilitas struktur. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa Balok B1 tidak hanya memenuhi standar minimal SNI tetapi juga menunjukkan performa yang konsisten dengan elemen struktural pada bangunan dengan kebutuhan keselamatan kritis.

## Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa Balok B1 memiliki kapasitas struktural yang jauh melampaui gaya dalam yang bekerja, dengan rasio  $M_u/\phi M_n = 0.51$  dan  $V_u/\phi V_n = 0.41$ , yang menegaskan bahwa balok berada dalam kondisi sangat aman terhadap lentur maupun geser menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Temuan ini sejalan dengan penelitian (Citra et al., 2023), yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah tulangan tarik mampu memberikan peningkatan signifikan terhadap kapasitas lentur balok. Selain itu, tingginya  $A_s$  terpasang sebesar 3,216.99 mm<sup>2</sup> pada balok ini mendukung hasil studi (Tampubolon, n.d.), yang melaporkan bahwa penulangan berlebih meningkatkan ketahanan retak awal dan menunda kegagalan lentur. Dari perspektif geser, konfigurasi sengkang 2Ø10 @150 mm terbukti memadai, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian (Yastari, Guci, & Said, 2025) bahwa variasi sengkang dengan jarak rapat meningkatkan kapasitas geser dan daktilitas. (Pratama et al., 2021) juga menegaskan bahwa balok dengan rasio geser rendah relatif lebih aman dari kegagalan getas. Selain itu, kecenderungan desain konservatif dalam proyek ini sejalan dengan hasil (Nurliana & Walujodjati, 2024), yang menyebutkan bahwa kapasitas lentur meningkat signifikan ketika tulangan ditambahkan meskipun beban rencana tetap. Dengan konsistensi temuan dari berbagai penelitian lima tahun terakhir, dapat dipastikan bahwa Balok B1 memiliki performa struktural yang sangat andal dan berada dalam batas keamanan yang tinggi untuk diterapkan pada bangunan fasilitas kesehatan.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktural yang dilakukan, Balok B1 dinyatakan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu mengevaluasi kecukupan kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang berdasarkan data penampang aktual sesuai ketentuan SNI 2847:2019 dan SNI 1727:2020. Balok dengan dimensi 400 × 500 mm dan bentang 10,95 m menunjukkan bahwa momen terfaktor sebesar 232,37 kNm dan gaya geser terfaktor 84,88 kN berada jauh di bawah kapasitas desain masing-masing sebesar  $\phi M_n = 452,81$  kNm dan  $\phi V_n = 206,86$  kN, sehingga rasio pemanfaatan elemen tergolong rendah dan mencerminkan tingkat keamanan struktural yang tinggi. Penulangan lentur terpasang sebesar 3.216,99 mm<sup>2</sup> juga melebihi kebutuhan desain minimum, serta detailing tulangan geser 2Ø10 dengan spasi 150 mm telah memenuhi persyaratan standar, yang menegaskan bahwa balok memiliki cadangan kekuatan, daktilitas, dan kinerja struktural yang andal. Dengan demikian, Balok B1 dapat dinyatakan aman dan konservatif terhadap pembebanan gravitasi, serta direkomendasikan agar kajian lanjutan difokuskan pada optimalisasi desain dan evaluasi elemen struktural lainnya berbasis data aktual untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan struktur secara menyeluruh.

## DAFTAR PUSAKA

- Aaron, J., Studi, P., Teknik, S., Tarumanagara, U., Studi, P., & Teknik, S. (2023). Beton Ringan Komposit. 6(2), 207–216.
- Afendi, A. F., & Zulfiati, R. (2021). Kontribusi Tulangan Memanjang Terhadap Kekuatan Geser Pada Penampang Balok Beton. 4(1), 13–22. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v4i1.44>
- Anwar, A., Islami, D. N., & Fan Putra, M. R. (2024). Studi Komparatif Metode Perkuatan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan Tinjauan Literatur, Pengujian Balok, dan Rehabilitasi Pascabencana. *Journal of Infrastructure and Construction Technology*, 2(2), 52–58. <https://doi.org/10.56208/jictech.2.2.52-58>
- Ariani, I., Aditya, M. R., & Jamal, M. (2023). Analisis Elemen Struktur Balok Dan Kolom Beton Bertulang (Studi Kasus Gedung Dealer Honda Astra Kota Samarinda). *Teknologi Sipil : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 7(1), 29. <https://doi.org/10.30872/ts.v7i1.11229>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Sni 2847-2019, 8, 720.
- Citra, Z., Wibowo, P. D., Malinda, Y., Wibisono, A., Ashadi, R. F., & Apdeni, R. (2023). Metode Detailing Struktur Kolom Dan Balok Berdasarkan Sni 2847:2013 Dan Sni 1726:2012 Pada Proyek Konstruksi Rumah Sakit. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 6(4), 234–245. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v6i4.33875>
- Hasan, M., Saidi, T., & Amalia, Z. (2021). Pengaruh jenis serat alam natural fiber reinforced polymer (NFRP) pada perkuatan balok beton bertulang. ... Konferensi Nasional Teknik Sipil, Semarang 2021pp, 20–21.

- Huangz, W., Yen, C. H., & Hung, C. C. (2025). Flexural and shear strengthening of lightly reinforced concrete beams using CFRP bars and UHPC overlays. *Case Studies in Construction Materials*, 22(April), e04666. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04666>
- Kusnadi, K., Imran, I., & Rizal, M. (2022). Analisa Kuat Geser Balok Beton Bertulang Berlapis Beton Normal-Beton Styrofoam. *Journal of Science and Engineering*, 5(1), 73. <https://doi.org/10.33387/josae.v5i1.5014>
- Li, W., Huang, X., Liu, X., Wen, T., Jing, C., & Li, L. (2024). Flexural Performance of Reinforced Concrete Beams Strengthened with a Novel High-Strength and High-Toughness Epoxy Mortar Thin Layer. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/app14103999>
- Mulyadi, A. A., & Walujodjati, E. (2022). Pengaruh Korosi Tulangan Secara Alami pada Balok Beton Bertulang Terhadap Kuat Lentur dan Geser. *Jurnal Konstruksi*, 20(2), 299–310. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.20-2.1213>
- Nurliana, A. L., & Walujodjati, E. (2024). Analisis Kuat Lentur dan Geser Balok Beton dengan Bundel Tulangan. *Jurnal Konstruksi*, 22(1), 101–108. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.22-1.1532>
- Pratama, M. M. A., Afdila, Z. N., & Karyadi, K. (2021). Analisis Daktilitas Balok Beton Gradasi Dengan Disparitas Mutu Beton Serat Tekan Dan Serat Tarik. *Bangunan: Teori, Praktek, Penelitian, Dan Pengajaran Teknik Bangunan*, 26(1), 17–28. <https://doi.org/10.17977/um071v26i12021p17-28>
- Putra, A. M., & Noorhidana, V. A. (n.d.). Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang pada Beton Mutu Normal Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri dari beton dan baja tulangan yang ditanam di dalam beton . Beton banyak digunakan di berbagai macam k. 1–14.
- Rasyid, R., Sultan, M. A., Tata, A., & Setiawan, E. (2021). Efek Korosi Tulangan Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang. *Clapeyron : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.33387/clapeyron.v3i1.4643>
- SNI 1727-2020. (2020). SNI 1727-2020 Peraturan Beban Gedung.
- Sutrisno, R. D., Sutrisno, W., Alrasyid, H., Piscesa, B., & Irmawan, M. (2024). Shear Behavior Simulation of Reinforced Concrete Beam Incorporating Glass Fibber-Reinforced Polymer Shear Reinforcement. *Journal of Civil Engineering*, 39(2), 134. <https://doi.org/10.12962/j20861206.v39i2.20779>
- Tampubolon, P. M. (n.d.). Sudut Tulangan Senggang Miring Terhadap Namun Diameter Tulangan Tetap Sama ( Studi Literatur ) *Analysis of Reinforced Concrete Beam With Variation of Sliding Bangle Angle on the Effect of Mendle and Shift Strength But Bone Diameter Remain the Same.*
- Tran, H., Nguyen-Thoi, T., & Dinh, H. B. (2025). State-of-the-Art Review of Studies on the Flexural Behavior and Design of FRP-Reinforced Concrete Beams. *Materials*, 18(14), 1–30. <https://doi.org/10.3390/ma18143295>
- Yastari, F. P., Guci, J. M., & Said, I. (2025). Analisis Pengaruh Variasi Tulangan Longitudinal terhadap Kapasitas Lentur dan Daktilitas Balok Beton Bertulang. 8–9.
- Yastari, F. P., Guci, J. M., Said, I., Falah, M. F., & Elza, S. P. (2025). Studi Perilaku Penampang Balok Beton Bertulang dengan Variasi Rasio Tulangan Longitudinal Tarik dan Tekan. *Media Konstruksi*, 10(2), 163–174. <https://doi.org/10.33772/jmk.v10i2.132>