



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Evaluasi Daya Dukung Lentur Dan Geser Balok Lantai Menggunakan Pendekatan Limit State Design

Evaluation of Flexural and Shear Bearing Capacity of Floor Beams Using Limit State Design Approach

Yunike Wulandari Br Tarigan^{1*}, Risky Fajar Sundari², Mananda Ture Siburian³

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Panca Budi, yunike@dosen.pancabudi.ac.id

² Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Al Washliyah Medan, riskyfajarsundari15@gmail.com

³ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Akademi Teknik Deli Serdang (ATDS), manandasiburian15@gmail.com

*Corresponding Author: E-mail: yunike@dosen.pancabudi.ac.id

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 2 May, 2025

Revised: 3 Jun, 2025

Accepted: 30 Jul, 2025

Kata Kunci:

Balok Lantai, Beton Bertulang, Penulangan Lentur, Penulangan Geser, Ultimate Strength Design (USD), SNI 2847:2019, Detailing Struktur

Keywords:

Floor beam, reinforced concrete, flexural reinforcement, shear reinforcement, Ultimate Strength Design (USD), SNI 2847:2019, structural detailing

DOI: 10.56338/jks.v8i7.8047

ABSTRAK

Desain dan perhitungan struktur balok lantai merupakan elemen krusial dalam menjamin integritas dan kinerja sistem struktur beton bertulang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas struktural dan efektivitas detail penulangan balok lantai melalui pendekatan *Ultimate Strength Design* (USD) yang mengacu pada SNI 2847:2019 dan ACI 318. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai parameter material dan geometrik, termasuk kuat tekan beton, tegangan leleh baja tulangan, serta pengaruh beban terfaktor terhadap distribusi momen dan gaya geser. Pendekatan desain rasional digunakan untuk menentukan kebutuhan penulangan lentur dan geser, yang selanjutnya divisualisasikan dalam gambar detail penulangan berbasis standar teknis. Hasil analisis menunjukkan bahwa konfigurasi penulangan yang diusulkan tidak hanya memenuhi kriteria kekuatan dan keamanan, tetapi juga mengoptimalkan pemanfaatan material secara struktural dan ekonomis. Kajian ini memberikan kontribusi terhadap praktik perancangan struktural berbasis kinerja dengan menekankan pentingnya integrasi antara analisis teoritis dan implementasi detail teknis di lapangan

ABSTRACT

The design and calculation of floor beams are critical elements in ensuring the integrity and performance of reinforced concrete structural systems. This study aims to evaluate the structural capacity and effectiveness of floor beam reinforcement detailing using the *Ultimate Strength Design* (USD) approach, referring to SNI 2847:2019 and ACI 318 standards. The analysis considers various material and geometric parameters, including concrete compressive strength, steel yield strength, and the effects of factored loads on moment and shear distribution. A rational design approach is applied to determine the required flexural and shear reinforcement, which is then visualized in detailed reinforcement drawings based on engineering standards. The results indicate that the proposed reinforcement configuration not only satisfies strength and safety criteria but also optimizes material utilization both structurally and economically. This study contributes to performance-based structural design practices by emphasizing the integration of theoretical analysis with practical reinforcement detailing.

PENDAHULUAN

Struktur bangunan bertingkat modern sangat bergantung pada elemen-elemen struktural utama seperti kolom, pelat, dan balok, yang secara kolektif membentuk sistem penahan beban. Di antara elemen-elemen tersebut, balok lantai berfungsi sebagai komponen vital yang mentransfer beban dari pelat ke kolom, dan selanjutnya ke pondasi. Kinerja balok dalam memikul momen lentur dan gaya geser sangat menentukan kestabilan serta keamanan struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, perencanaan balok beton bertulang harus dilakukan secara cermat dan terintegrasi, mengacu pada prinsip-prinsip mekanika struktur, material teknik, dan standar desain yang berlaku.

Seiring berkembangnya pendekatan desain dalam teknik sipil, metode *Ultimate Strength Design* (USD) telah menjadi pilihan utama dalam proses perencanaan struktur beton bertulang. Pendekatan ini menitikberatkan pada kekuatan batas elemen struktur, dengan memperhitungkan faktor reduksi kekuatan dan beban terfaktor guna menjamin margin keamanan yang memadai. Standar nasional seperti SNI 2847:2019 serta standar internasional seperti ACI 318 telah menjadi acuan penting dalam penerapan metode ini, khususnya dalam merancang tulangan lentur dan tulangan geser secara rasional dan efisien. Namun, tantangan utama dalam desain struktural bukan hanya terletak pada pemenuhan aspek kekuatan, melainkan juga pada pengembangan detail penulangan yang akurat, konstruktif, dan sesuai dengan realitas pelaksanaan di lapangan. Banyak kegagalan struktural terjadi bukan karena kekeliruan analisis, melainkan akibat kurangnya perhatian terhadap penyusunan dan penempatan tulangan dalam gambar kerja. Oleh karena itu, penting untuk tidak hanya fokus pada perhitungan teoritis, tetapi juga menyusun gambar detail penulangan yang merepresentasikan kondisi aktual struktur secara tepat. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan kapasitas lentur dan geser balok lantai beton bertulang berdasarkan data material dan dimensi aktual, serta mengembangkan gambar detail penulangan yang sesuai dengan kebutuhan struktur. Dengan pendekatan ini, diharapkan tercipta desain yang tidak hanya memenuhi standar kekuatan dan keamanan, tetapi juga mampu diimplementasikan secara efisien di lapangan. Selain itu, penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan pemahaman integratif antara analisis teoritis dan praktik detailing dalam perancangan struktur berbasis kinerja (*performance-based design*).

TINJAUAN PUSTAKA

Balok Lantai Beton Bertulang

Balok lantai merupakan elemen struktur horizontal yang dirancang untuk menyalurkan beban dari pelat lantai ke kolom. Dalam sistem struktur beton bertulang, balok harus mampu menahan momen lentur dan gaya geser yang bekerja akibat kombinasi beban mati, beban hidup, dan beban gempa (Mulyono, 2010). Kinerja balok tidak hanya bergantung pada kekuatan bahan, tetapi juga pada detail penulangan yang dirancang secara tepat.

Metode Ultimate Strength Design (USD)

Metode Ultimate Strength Design atau Desain Kekuatan Batas adalah pendekatan perancangan struktur berdasarkan kapasitas maksimum yang dapat ditahan sebelum mengalami keruntuhan. Konsep ini menekankan penggunaan faktor reduksi kekuatan (ϕ) dan beban terfaktor, sebagaimana diatur dalam standar SNI 2847:2019 dan ACI 318-19 (ACI Committee 318, 2019). Metode ini memastikan bahwa

struktur tidak hanya kuat secara teoritis, tetapi juga memiliki margin keamanan terhadap variasi beban dan ketidakpastian material.

Penulangan Lentur dan Geser

Tulangan lentur dirancang untuk menahan tegangan tarik akibat momen, sedangkan tulangan geser (umumnya berupa sengkang) dirancang untuk menahan gaya geser dan mencegah retak diagonal. Desain penulangan harus memperhatikan rasio tulangan minimum dan maksimum, serta mempertimbangkan kondisi batas regangan agar tidak terjadi kegagalan getas (Neville, 2011). Pemilihan diameter, jumlah, dan jarak antar tulangan juga sangat menentukan kekuatan dan daktilitas balok.

Detail Penulangan dan Implementasi Lapangan

Menurut Purwono (2015), lebih dari 50% kesalahan dalam konstruksi beton bertulang terjadi akibat gambar kerja penulangan yang tidak presisi atau sulit diaplikasikan di lapangan. Oleh karena itu, penyusunan gambar detail penulangan harus mengacu pada standar nasional seperti SNI 2847 dan mengikuti prinsip *constructability* agar mudah dipasang oleh pekerja tanpa kehilangan akurasi teknis.

METODE

Data Struktur

- Kuat tekan beton (f'_c): 25 MPa
- Tegangan leleh baja untuk tulangan lentur (f_y): 400 MPa
- Tegangan leleh baja polos untuk tulangan geser (f_y): 240 MPa

Perhitungan Tulangan Lentur

1. Menentukan tinggi efektif balok (d) berdasarkan dimensi penampang dan tebal selimut beton.
2. Menghitung momen nominal (M_n):

$$M_n = A_s \cdot F_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ dengan}$$

$$a = \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \text{ menghitung luas tulangan tarik yang dibutuhkan (} A_s \text{).}$$

3. Menentukan jumlah dan diameter tulangan yang digunakan.
4. Memastikan rasio tulangan (ρ) berada dalam batas minimum dan maksimum sesuai standar.

Perhitungan Tulangan Geser

1. Menghitung kuat geser beton (V_c):

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d\right)$$

2. Menghitung tahanan geser tulangan (V_s):

$$V_s = V_u - \phi \cdot V_c$$

3. Menggunakan rumus tulangan geser:

$$V_s = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{s}$$

Detailing Tulangan

Detail penulangan dibuat berdasarkan hasil perhitungan dan mengikuti standar jarak minimum antar tulangan, jumlah lapis, serta penyusunan tulangan dalam gambar teknik.

Detail penulangan merupakan tahap penting dalam desain elemen beton bertulang, karena menentukan bagaimana baja tulangan diletakkan dalam beton untuk menahan beban yang bekerja. Penulangan harus memenuhi:

- **Syarat minimum luas tulangan** sesuai SNI 2847:2019 agar retak dan deformasi dapat dikontrol.
- **Jarak tulangan** harus sesuai standar untuk menjamin distribusi tegangan yang baik dan kemudahan pengecoran beton.
- **Panjang penyaluran (anchorage) dan sambungan (splice)** harus cukup agar gaya dapat ditransfer secara efisien antara beton dan tulangan.

Contoh penulangan meliputi:

- Tulangan longitudinal (utama)
- Tulangan transversal (sengkang)
- Hook dan bendungan sambungan

Verifikasi Kekuatan Struktur

Verifikasi dilakukan untuk memastikan elemen struktur mampu menahan beban kerja dengan faktor keamanan tertentu. Prosedur ini mencakup:

- **Verifikasi momen lentur $\phi M_n \geq M_u$:**
Digunakan untuk memastikan bahwa penampang mampu menahan momen akibat beban lentur. Nilai ϕ adalah faktor reduksi kekuatan, biasanya antara 0.9–0.65 tergantung jenis tegangan.

Hasil Kekuatan Analisa Perhitungan Struktur

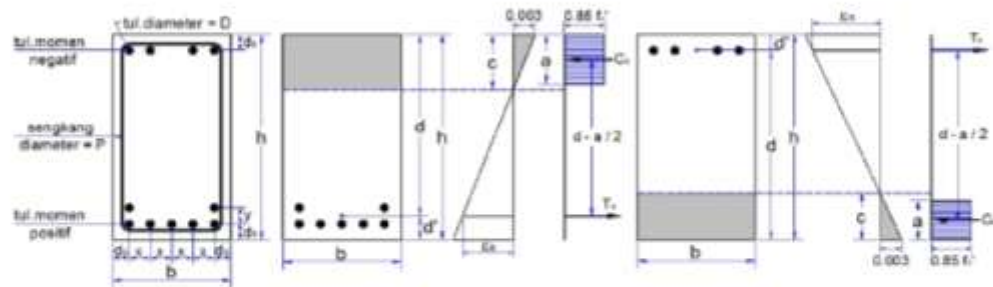
Menentukan kapasitas akhir elemen struktur:

- Kapasitas momen: $\phi \cdot M_n$
- Kapasitas geser: $\phi \cdot (V_c + V_s)$

Keduanya harus lebih besar dari beban terfaktor agar desain dinyatakan aman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Floor Beam Calculatio (BEAM)



A. FLOOR BEAM DATA

STRUCTURAL MATERIALS

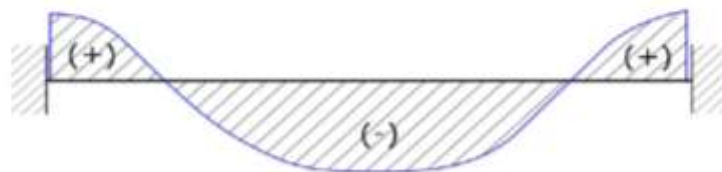
Concrete compressive strength	$f'_c =$	20	MPa
Yield strength of deformed steel for flexural reinforcement	$f_y =$	400	MPa
Yield strength of plain steel for shear reinforcement	$f_y =$	240	MPa

BEAM DIMENSIONS

Beam width	$b =$	250	mm
Beam height	$h =$	500	mm
Diameter of deformed bar used	$D =$	19	mm
Diameter of plain bar (stirrups) used	$P =$	12	mm
Clear concrete cover thickness	$t_s =$	30	mm

DESIGN MOMENT AND SHEAR FORCE

Design positive moment due to factored loads	$M_u^+ =$	63,170	kNm
Design negative moment due to factored loads	$M_u^- =$	141,334	kNm
Design shear force due to factored loads	$V_u =$	155,000	kN



Common Beam BMD

B. REINFORCEMENT CALCULATION

for	$\beta_1 =$	0,85	
for	$\beta_1 = 0.85 - 0.05 * (f_c' - 30) / 7 =$	-	
Stress block parameter (β_1)	→ $\beta_1 =$	0,85	
Balanced reinforcement ratio			
	$\rho_b = \beta_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) =$	0,0217	
Maximum moment resistance factor			
	$R_{max} = 0.75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0.75 * \rho_b * f_y / (0.85 * f_c')] =$	5,2589	
Flexural strength reduction factor	$\phi =$	0,80	
Distance from concrete surface to reinforcement	$d_s = t_s + \emptyset + D/2 =$	51,50	mm
Number of bars in one layer	$n_s = (b - 2 * d_s) / (25 + D) =$	3,34	
Used number of bars per layer	$n_s =$	3	bh
Horizontal spacing between reinforcement centers			
	$x = (b - n_s * D - 2 * d_s) / (n_s - 1) =$	45,00	mm
Vertical spacing between reinforcement centers	$y = D + 25 =$	44,00	mm

1. POSITIVE MOMENT REINFORCEMENT

Nominal positive design moment	$M_n = M_u^+ / \phi =$	78,962	kNm
Estimated distance from tensile bar centroid to concrete edge	$d' =$	80	mm
Effective depth of beam	$d = h - d' =$	420,00	mm
Moment resistance factor	$R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) =$	1,7905	
$R_n < R_{max} \rightarrow$ (OK)			

Required reinforcement ratio

	$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] =$	0,00474	
Minimum reinforcement ratio	$\rho_{min} = \sqrt{f_c'} / (4 * f_y) =$	0,00280	
Used reinforcement ratio	$\rho_{min} = 1.4 / f_y =$	0,00350	
Required steel area	$\rightarrow \rho =$	0,00474	
Number of required bars	$A_s = \rho * b * d =$	498	mm ²
Used bar specification	$n = A_s / (\pi / 4 * D^2) =$	1,756	
Used total steel area	2 D 19		
Used total steel area	$A_s = n * \pi / 4 * D^2 =$	567	mm ²
Bar layer count	$n_b = n / n_s =$	0,67	

$n_b < 3 \rightarrow$ (OK)

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Juml. Jarak $n_i * y_i$
1	2	51,50	103,00
2	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00
n =	2	$\Sigma [n_i * y_i] =$	103

Bar centroid location	$\rightarrow d' = \Sigma [n_i * y_i] / n =$	51,50	mm
51,50	$<$	80	$\rightarrow$ perkiraan d' (OK)

Effective depth of beam	$d = h - d' =$	448,50	mm
	$a = A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) =$	53,370	mm
Nominal moment	$M_n = A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} =$	95,677	kNm
Beam moment capacity	$\phi * M_n =$	76,542	kNm

Requirement	$\phi * M_n \geq M_u^+$		
76,542	$>$	63,170	$\rightarrow$ AMAN (OK)

2. NEGATIVE MOMENT REINFORCEMENT

Nominal negative design moment	$M_n = M_u^- / \phi =$	176,667	kNm
Estimated distance from tensile bar centroid to concrete edge	$d' =$	80	mm
Effective depth of beam	$d = h - d' =$	420,00	mm
Moment resistance factor	$R_n = M_n \cdot 10^6 / (b \cdot d^2) =$	4,0061	
	$R_n < R_{max} \rightarrow$	(OK)	
Required reinforcement ratio	$\rho = 0.85 \cdot f'_c / f_y \cdot [1 - \sqrt{1 - 2 \cdot R_n / (0.85 \cdot f'_c)}] =$	0,01160	
Minimum reinforcement ratio	$\rho_{min} = \sqrt{f'_c} / (4 \cdot f_y) =$	0,00280	
Used reinforcement ratio	$\rho_{min} = 1.4 / f_y =$	0,00350	
Required steel area	$\rightarrow \rho =$	0,01160	
Number of required bars	$A_s = \rho \cdot b \cdot d =$	1218	mm ²
Used bar specification	$n = A_s / (\pi / 4 \cdot D^2) =$	4,295	
Used total steel area	5 D 19		
Number of bar layers	$A_s = n \cdot \pi / 4 \cdot D^2 =$	1418	mm ²
Bar layer count	$n_b = n / n_s =$	1,67	
	$n_b < 3 \rightarrow$	(OK)	

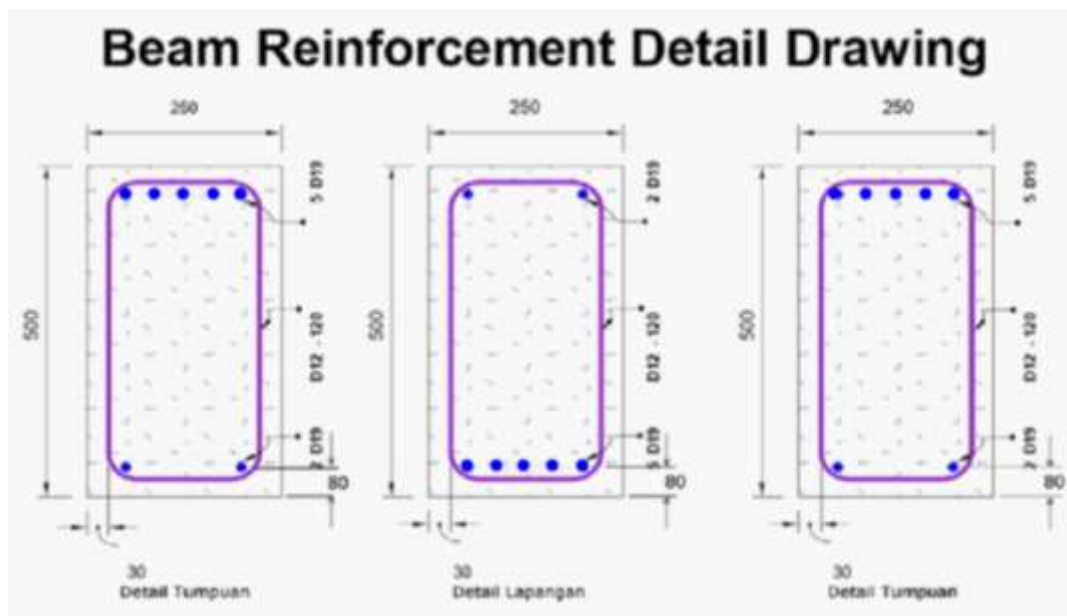
Line to	umber of ba n_i	Distance y_i	Number of Bars x Distance $n_i \cdot y_i$
1	5	51,50	257,50
2	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00
n =	5	$\Sigma [n_i \cdot y_i] =$	257,5

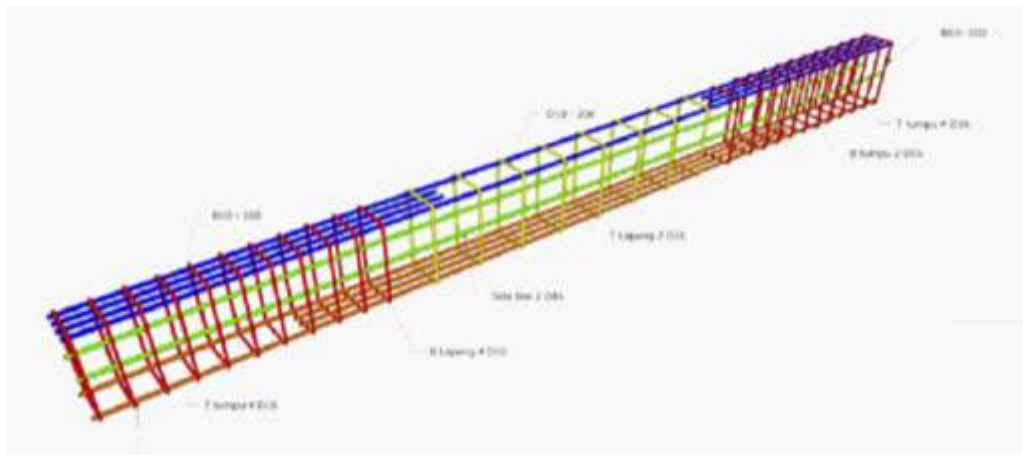
Bar centroid location	$\rightarrow d' = \Sigma [n_i \cdot y_i] / n =$	51,50	mm
	51,50 < 80 $\rightarrow$	perkiraan d' (OK)	
Bar centroid location	$d = h - d' =$	448,5	mm
	$a = A_s \cdot f_y / (0.85 \cdot f'_c \cdot b) =$	133,425	mm
Nominal moment	$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a / 2) \cdot 10^{-6} =$	216,495	kNm
Beam moment capacity	$\phi \cdot M_n =$	173,196	kNm
Requirement	$\phi \cdot M_n \geq M_u^-$	173,196 > 141,334 $\rightarrow$	AMAN (OK)

3. SHEAR REINFORCEMENT

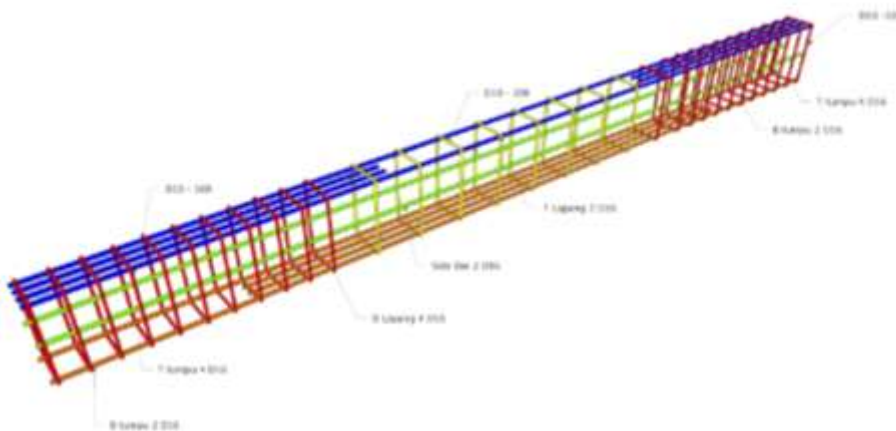
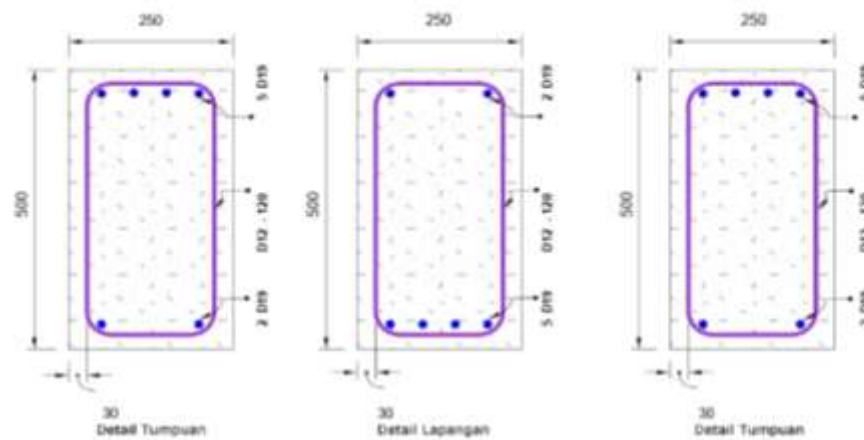
Ultimate design shear force	$V_u =$	155,000	kN
Shear strength reduction factor	$\phi =$	0,60	
Ultimate design shear force	$f_y =$	240	MPa

Shear strength reduction factor	$V_c = (\sqrt{f'_c}) / 6 * b * d * 10^{-3} =$	78,262	kN
Yield strength of shear reinforcement	$\phi * V_c =$	46,957	kN
→ Perlu tulangan geser			
Concrete shear strength	$\phi * V_s = V_u - \phi * V_c =$	108,043	kN
Concrete shear resistance	$V_s =$	180,071	kN
Stirrup shear resistance	2 P 12		
Stirrup strength	$A_v = n_s * \pi / 4 * P^2 =$	226,19	mm ²
Stirrup cross-section used	$s = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) =$	126,62	mm
Required stirrup spacing	$s_{max} = d / 2 =$	224,25	mm
Maximum stirrup spacing	$s_{max} =$	250,00	mm
Maximum allowable stirrup spacing	$s =$	126,62	mm
Stirrup spacing to be used	→ $s =$	120	mm
Chosen stirrup spacing	2 P 12	120	





Beam Reinforcement Detail Drawing



KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis penulangan balok lantai menggunakan metode Ultimate Strength Design (USD) yang mengacu pada SNI 2847:2019 dan ACI 318-19, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penulangan lentur (momen positif dan negatif) telah dirancang dengan memperhatikan kapasitas nominal momen balok (ϕM_n) yang melebihi momen rencana akibat beban terfaktor. Hal ini menunjukkan bahwa penulangan lentur memenuhi kriteria kekuatan struktural yang dibutuhkan.
2. Perhitungan tulangan geser menghasilkan kebutuhan luas penampang tulangan sengkang sebesar 226,19 mm² dengan jarak maksimal antar sengkang 126,62 mm. Jarak sengkang yang dipilih sebesar 120 mm dinyatakan aman, karena masih berada dalam batas yang diperbolehkan oleh peraturan. Kapasitas geser nominal ϕV_n juga telah melebihi gaya geser rencana, memastikan keamanan struktur terhadap kegagalan geser.
3. Penggunaan diameter tulangan dan jumlah batang telah disesuaikan dengan kebutuhan rasio tulangan minimum dan maksimum, serta mempertimbangkan distribusi tulangan dalam satu atau lebih baris untuk menjaga posisi berat pusat tulangan tetap stabil.
4. Detailing penulangan yang dibuat secara sistematis dan berdasarkan hasil perhitungan mendukung proses konstruksi yang efisien dan sesuai dengan prinsip *constructability*, sehingga dapat meminimalkan kesalahan di lapangan.
5. Secara keseluruhan, desain dan detailing penulangan balok lantai beton bertulang yang dilakukan dalam studi ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan struktur balok dengan kondisi beban dan material sejenis, serta memastikan kinerja struktur yang kuat, aman, dan dapat dibangun secara praktis.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary*. Farmington Hills, MI: ACI.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Mulyono, T. (2010). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Harlow, England: Pearson Education Limited.
- Purwono, R. (2015). *Detailing Struktur Beton Bertulang: Prinsip dan Aplikasi dalam Gambar Teknik Sipil*. Jakarta: Erlangga.
- MacGregor, J. G., & Wight, J. K. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design* (6th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.