

Analisis Kuat Lentur dan Geser Balok Beton dengan Bundel Tulangan

Ade Linda Nurliana^{1*}, Eko Walujodjati²

^{1,2}Institut Teknologi Garut, Indonesia

*email: 1811024@itg.ac.id

Info Artikel

Dikirim: 27 November 2023

Diterima: 29 Januari 2024

Diterbitkan: 20 Mei 2024

Kata kunci:

Balok;

Bundel;

Kuat Lentur;

Kuat Geser

ABSTRAK

Balok beton bertulang sebagai elemen struktur yang berfungsi menahan lentur dan geser dimana parameter utama untuk menentukan kuat lentur dan geser balok beton bertulang meliputi: dimensi penampang, mutu beton, mutu baja tulangan, ukuran baja tulangan dan jumlah baja tulangan yang digunakan. Dalam konstruksi parameter tersebut umumnya memiliki batasan minimum, seperti halnya dengan jarak tulangan dan dimensi penampang kecil. Untuk mendapatkan elemen struktur dengan penampang kecil namun memiliki kekuatan yang besar, dengan jarak tulangan yang kecil karena luas tulangan yang dibutuhkan besar, maka perlu dilakukan penempatan tulangan dengan cara bundel. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat lentur dan geser balok beton tulangan bundel TP 4 Φ 6 dan balok beton tulangan tunggal Φ 12 yang memiliki proporsi luas penampang tulangan yang sama. Analisis dilakukan dengan metode analisis teoritis dengan data yang diperoleh dari hasil eksperimen terdahulu. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai kuat lentur rata-rata balok tulangan bundel TP 4 Φ 6 = 8,53 kN.m, dan balok tulangan tunggal Φ 12 = 11,31 kN.m. Nilai kuat geser rata-rata balok tulangan bundel TP 4 Φ 6 = 58,88 kN, dan balok tulangan tunggal Φ 12 = 57,92 kN. Dari hasil eksperimen dan analisis diperoleh perbedaan kuat lentur balok tulangan bundel TP 4 Φ 6 sebesar (6,36%) dan balok tulangan tunggal Φ 12 sebesar (48,62%). Sedangkan kuat geser balok tulangan bundel TP 4 Φ 6 diperoleh hasil yang sama yaitu 58,88 kN dan balok tulangan tunggal Φ 12 diperoleh perbedaan sebesar (0,03%).

1. PENDAHULUAN

Beton bertulang adalah material komposit dimana tulangan baja disusun ke dalam beton sedemikian rupa, berfungsi menahan gaya tarik pada struktur. Kedua material tersebut bekerja sama untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada elemen tersebut [1]. Beton bertulang sering dipakai pada elemen struktur bangunan salah satunya yaitu balok. Balok sebagai elemen beton bertulang umumnya diberi tulangan memanjang (lentur) dan tulangan sengkang (geser) [2].

Beberapa parameter utama yang digunakan menentukan kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang antara lain: dimensi penampang balok, kualitas beton, kualitas baja tulangan, ukuran tulangan baja, dan jumlah baja tulangan yang digunakan [3], [11]. Dalam praktik di lapangan, parameter ini umumnya memiliki batasan minimal, seperti halnya dengan batasan minimal jarak tulangan dan dimensi penampang kecil [4]. Untuk mendapatkan elemen struktur dengan penampang kecil namun memiliki kekuatan yang besar, dengan jarak tulangan yang kecil karena kebutuhan luas tulangan yang besar, maka perlu dilakukan penempatan tulangan dengan cara bundel. Bundel tulangan dapat menghasilkan elemen struktur dengan dimensi yang lebih kecil,

dan memudahkan penempatan campuran beton dan memfasilitasi getaran untuk mencapai homogenitas beton [5], [6]. Penelitian ini membandingkan antara hasil uji eksperimen dengan hasil perhitungan analitis kuat lentur dan geser pada balok beton dengan bundel tulangan yang dilakukan oleh peneliti terdahulu yang dilakukan oleh saudari Rinrin Siti Ratna Purinur di laboratorium Institut Teknologi Garut pada tahun 2022 [5], [7]. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian ini dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian sebagai berikut.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

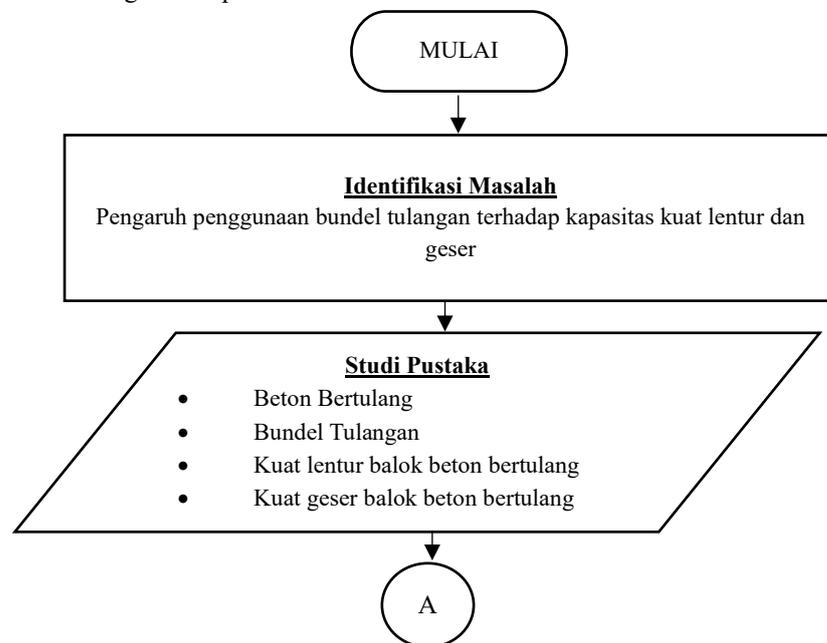
- 1) Berapa besarnya kuat lentur dan geser pada balok beton dengan bundel tulangan diameter TP 4 Φ 6 secara analitis?
- 2) Berapa besarnya kuat lentur dan geser pada balok beton dengan tulangan Tunggal TP Φ 12 dengan proporsi luas penampang tulangan yang sama secara analitis?
- 3) Bagaimana perbandingan nilai kuat lentur dan geser balok beton dengan bundel tulangan dan tulangan tunggal antara eksperimen dengan analitis?

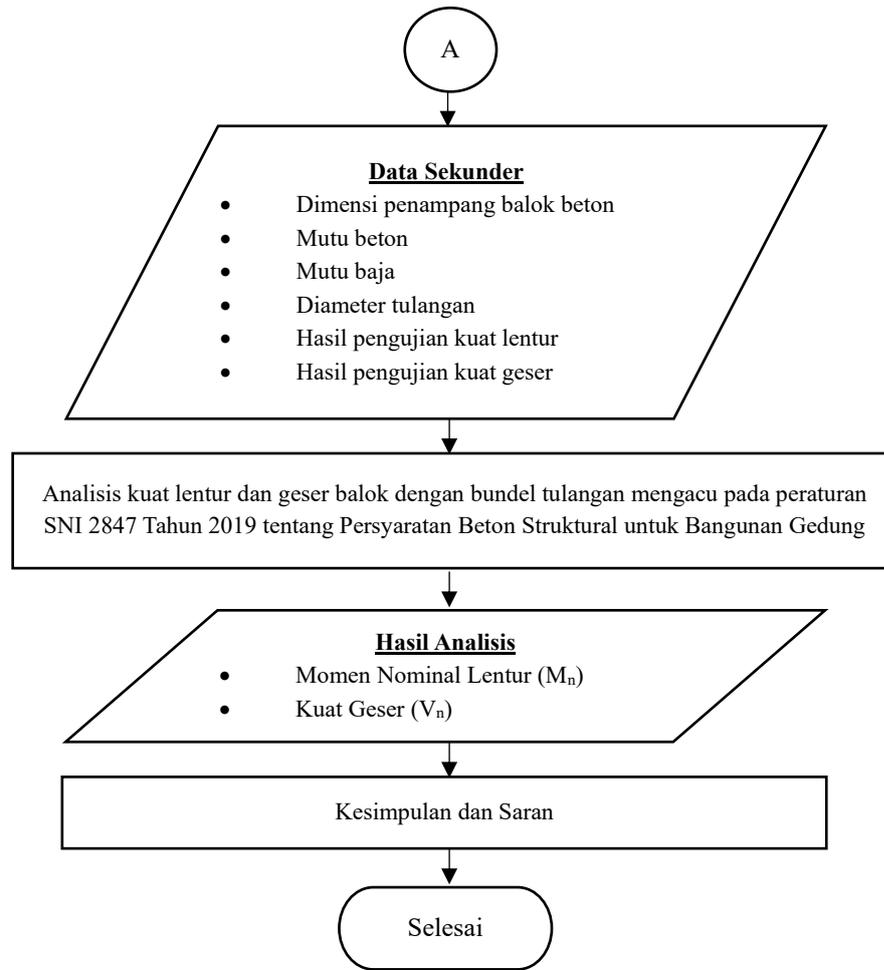
Tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Untuk mengetahui nilai kuat lentur balok beton dengan bundel tulangan TP 4 Φ 6 dan tulangan tunggal TP Φ 12 secara analitis.
- 2) Untuk mengetahui nilai kuat geser balok beton dengan bundel tulangan TP 4 Φ 6 dan tulangan tunggal TP Φ 12 secara analitis.
- 3) Untuk mengetahui perbandingan nilai kuat lentur dan geser balok beton dengan bundel tulangan TP 4 Φ 6 dan tulangan tunggal TP Φ 12 antara eksperimen dengan analitis.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode pendekatan kuantitatif menggunakan data dari hasil eksperimen sebelumnya yang dilakukan di laboratorium [5], [8]. Tahapan penelitian dapat dijabarkan sebagaimana pada Gambar 4.





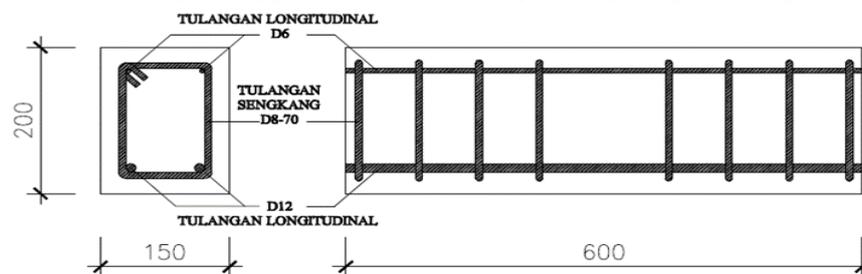
Gambar 1. Bagan alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

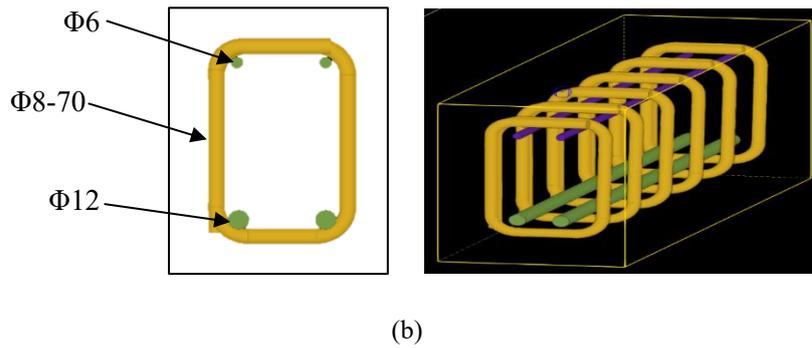
3.1 Detail Balok Beton Bertulang

Benda uji dengan dimensi 60 cm x 15 cm x 20 cm dari campuran beton hasil mix design [9]. Balok beton tulangan tunggal menggunakan tulangan longitudinal daerah tarik diameter tulangan 12 mm dan balok beton bundel tulangan menggunakan tulangan diameter 6 mm sebanyak 4 buah dengan dibundel. Serta menggunakan tulangan geser diameter 8 mm dengan jarak 70 mm [5].

Dimensi benda uji balok tulangan tunggal TP $\Phi 12$ serta detail penulangan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.

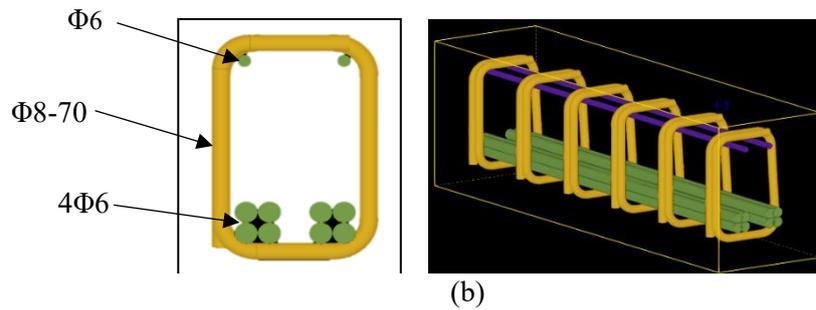
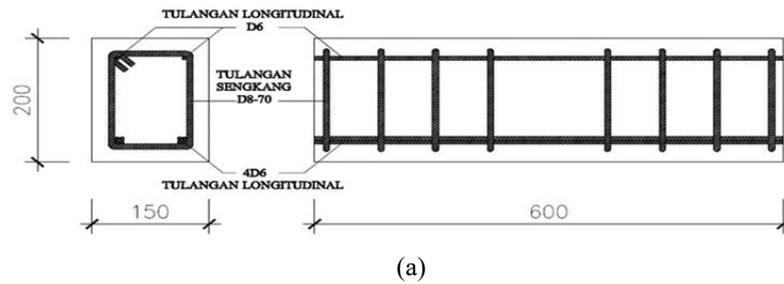


(a)



Gambar 2: (a) Dimensi balok tulangan tunggal TP Φ12; (b) Detail balok tulangan tunggal TP Φ12

Dimensi benda uji balok dengan bundel tulangan TP 4Φ6 serta detail penulangan dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 3. (a) Dimensi balok dengan bundel tulangan TP 4Φ6; (b) Detail balok dengan bundel tulangan TP 4Φ6

3.2 Analisis Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Hasil analisis kuat lentur balok beton bertulang dengan balok bundel tulangan TP 4Φ6 dan balok tulangan tunggal TP Φ12 dapat dilihat pada Tabel 1 berikut [10].

Tabel 1. Hasil analisis kuat lentur balok beton bertulang

No		TP 4Φ6 Bundel			TP Φ12 Tunggal		
		1A	2A	3A	1B	2B	3B
Dimensi Penampang Balok							
Panjang balok (L)	(mm)	600	600	600	600	600	600
Tinggi balok (h)	(mm)	201,7	202	203	198,7	201,7	197,3
Lebar balok (b)	(mm)	150,7	150,7	151	151	149,3	150
Tebal selimut beton	(mm)	25	25	25	25	25	25
Jarak serat tekan ke pusat tulangan tarik (d)	(mm)	176,7	177	178	173,7	176,6	172,3
Diameter tulangan (D)	(mm)	5,81	5,81	5,81	11,66	11,66	11,66

No		TP 4Φ6 Bundel			TP Φ12 Tunggal		
		1A	2A	3A	1B	2B	3B
Mutu beton (f_c')	(MPa)	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68
Mutu baja (f_y)	(MPa)	499,85	499,85	499,85	691,39	691,39	691,39
Modulus elastisitas baja tulangan (E_s)	(MPa)	2×10^5					
Regangan beton tekan maksimum (ϵ_{cu}')		0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Konstanta yang merupakan fungsi kelas kuat beton (β_1)		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Hasil Analisis							
Momen lentur (M_n)	(kN.m)	8,50	8,52	8,57	11,14	11,34	11,45
Momen lentur rata-rata	(kN.m)	8,53			11,31		

Kuat lentur pada balok beton bertulang dengan bundel tulangan maupun tanpa bundel tulangan dengan data pada tabel 1 menggunakan persamaan (7), namun yang membedakan hanya pada perhitungan luas tulangan (A_s) dimana untuk bundel tulangan menggunakan diameter ekivalen menggunakan persamaan (3) seperti pada perhitungan analisis berikut:

Diameter ekivalen untuk tulangan TP 4Φ6 adalah:

$$d_e = 2 \cdot d_b = 2 \cdot 5,81 = 11,62 \text{ mm}$$

$$\text{Luas ekivalen } 4\Phi6 = A_s = \frac{1}{4} \pi d_e^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 11,62^2 = 106,04 \text{ mm}^2$$

Syarat kesetimbangan:

$$C_c = T_s$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 12,68 \cdot a \cdot 150,7 = 1624,24a \Leftrightarrow a = 32,63$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = \frac{1}{4} \pi (2 \cdot 5,81)^2 \cdot 499,85 = 53004,09 \text{ N}$$

$$M_n = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right) = 53004,09 \left(176,7 - \frac{32,63}{2} \right) = 8\,501\,060,97 \text{ N.mm} = 8,50 \text{ kN.m}$$

Dari hasil analisis kuat lentur pada balok beton dengan bundel tulangan diperoleh momen nominal lentur rata-rata sebesar 8,53 kN.m. Sedangkan pada balok beton dengan tulangan tunggal dihasilkan momen nominal lentur rata-rata sebesar 11,31 kN.m. Nilai momen nominal lentur rata-rata pada balok beton dengan bundel tulangan dengan tulangan tunggal memiliki selisih sebesar 2,78 kN.m. Berdasarkan hasil perbandingan nilai kuat lentur pada balok beton dengan bundel tulangan 4Φ6 mm lebih kecil dari balok beton dengan tulangan tunggal Φ12 mm hal ini karena dipengaruhi oleh dimensi penampang balok, mutu beton, mutu baja dan diameter tulangan serta diameter ekivalen yang digunakan pada balok beton.

3.3 Analisis Kuat Geser Balok Beton Bertulang

Hasil analisis kuat geser balok beton bertulang dengan balok bundel tulangan TP 4Φ6 dan balok tulangan tunggal TP Φ12 dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil analisis kuat geser balok beton bertulang

No.		TP 4Φ6 Bundel			TP Φ12 Tunggal		
		1A	2A	3A	1B	2B	3B
Panjang balok (L)	(mm)	600	600	600	600	600	600
Tinggi balok (h)	(mm)	201,7	202	203	198,7	201,7	197,3
Lebar balok (b)	(mm)	150,7	150,7	151	151	149,3	150
Diameter tulangan sengkang (D)	(mm)	7,84	7,84	7,84	7,84	7,84	7,84
Jarak sengkang (S)	(mm)	70	70	70	70	70	70
Luas tulangan sengkang (A_v)	(mm ²)	48,24	48,24	48,24	48,24	48,24	48,24

No.		TP 4Φ6 Bundel			TP Φ12 Tunggal		
		1A	2A	3A	1B	2B	3B
Mutu beton (f_c')	(MPa)	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68
Mutu baja (f_y)	(MPa)	433,41	433,41	433,41	433,41	433,41	433,41
Kuat geser nominal beton (V_c)	(kN)	18,04	18,07	18,19	17,81	17,86	17,56
Kuat geser nominal tulangan (V_s)	(kN)	60,24	60,33	60,63	59,34	60,21	58,92
Kuat geser balok (V_n)	(kN)	58,71	58,80	59,12	57,86	58,55	57,36
Kuat geser balok rata-rata	(kN)		58,88			57,92	

Kuat geser yang diberikan oleh beton dapat ditentukan dengan persamaan (10) sebagai berikut:

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot h = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{12,68} \times 150,7 \times 201,7 = 18039,62 \text{ N} = 18,04 \text{ kN}$$

Kekuatan geser yang diberikan oleh tulangan geser dapat ditentukan dengan persamaan (11) sebagai berikut:

$$A_v = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 7,84^2 = 48,24 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot h}{S} = \frac{48,24 \times 433,41 \times 201,7}{70} = 60244,03 \text{ N} = 60,24 \text{ kN}$$

Maka, kuat geser balok dapat ditentukan dengan persamaan (9) sebagai berikut:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) = 0,75 \times (18,04 + 60,24) = 58,71 \text{ kN}$$

Dari hasil analisis, kuat geser rata-rata balok beton dengan bundel tulangan sebesar 58,88 kN sedangkan kuat geser balok beton dengan tulangan tunggal sebesar 57,92 kN. Nilai kuat geser balok dengan bundel tulangan maupun balok tulangan tunggal tidak berbeda jauh yakni hanya memiliki selisih 0,96 kN.

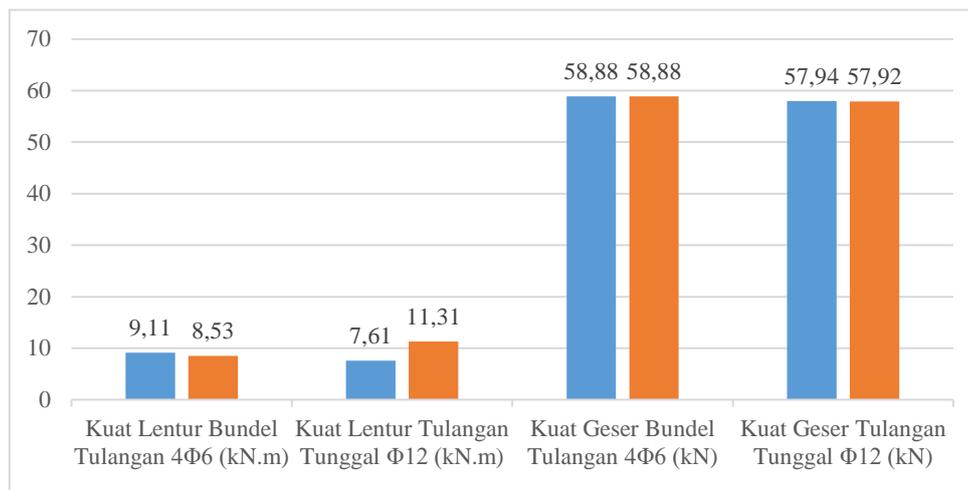
3.4 Perbandingan Kuat Lentur dan Geser Hasil Eksperimen dengan Analisis

Analisis numeris dan eksperimental terhadap kapasitas kuat lentur dan geser pada balok beton dengan bundel tulangan perlu dilakukan untuk mengetahui secara signifikan perubahan yang terjadi pada sifat mekanis beton. Analisis numerik memberikan gambaran teoritis dan perkiraan perilaku balok dengan simulasi. Sedangkan perilaku eksperimental memberikan gambaran nyata perilaku balok dengan pengujian di laboratorium. Pengujian di laboratorium juga berfungsi sebagai kontrol terhadap hasil perhitungan analisis numerik [11].

Berikut hasil perbandingan nilai kuat lentur dan geser pada balok beton dengan bundel tulangan 4Φ6 mm dan tulangan tunggal Φ12 mm antara eksperimental dan analisis numeris dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 5 berikut.

Tabel 3. Perbandingan kuat lentur dan geser antara eksperimen dan analisis

		Balok dengan Bundel Tulangan		Balok Tulangan Tunggal	
		Eksperimen	Analisis	Eksperimen	Analisis
Kuat Lentur	(kN.m)	9,11	8,53	7,61	11,31
Kuat Geser	(kN)	58,88	58,88	57,94	57,92



Gambar 4: Grafik perbandingan kuat lentur dan geser antara eksperimen dan analisis

Hasil kuat lentur pada balok beton bundel tulangan TP 4Φ6 antara eksperimen dan analisis memiliki selisih nilai kuat lentur sebesar 0,58 kN.m dengan persentase perbedaan kuat lentur sebesar 6,36 %, sedangkan hasil kuat lentur pada balok beton tulangan tunggal TP Φ12 antara eksperimen dan analisis memiliki selisih nilai kuat lentur sebesar 3,7 kN.m dengan persentase perbedaan kuat lentur sebesar 48,62%.

Hasil kuat geser pada balok beton bundel tulangan TP 4Φ6 antara eksperimen dan analisis memiliki hasil/ nilai yang sama yaitu 58,88 kN, sedangkan hasil kuat geser pada balok beton bundel tulangan TP Φ12 antara eksperimen dan analisis memiliki selisih nilai kuat geser sebesar 0,02 kN dengan persentase perbandingan kuat lentur sebesar 0,03 %.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa hasil analitis dan eksperimen memiliki nilai yang berbeda hal ini dikarenakan pada saat pengujian dapat terjadi kesalahan dalam penyusunan benda uji, design mix, dan masih banyak faktor lainnya.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis kuat lentur dan geser pada balok beton dengan bundel tulangan menunjukkan bahwa balok dengan bundel tulangan TP 4Φ6 menghasilkan momen nominal lentur rata-rata sebesar 8,53 kN.m, sedangkan balok dengan tulangan tunggal TP Φ12 menghasilkan momen nominal lentur rata-rata sebesar 11,31 kN.m. Perbedaan yang signifikan pada kuat lentur ini dipengaruhi oleh dimensi penampang balok, mutu beton dan baja, serta diameter tulangan yang digunakan. Namun, pada kuat geser, balok dengan bundel tulangan TP 4Φ6 dan tulangan tunggal TP Φ12 menunjukkan nilai yang hampir sama, yaitu 58,88 kN dan 57,92 kN, yang disebabkan oleh penggunaan tulangan sengkang yang serupa. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa selisih nilai kuat lentur antara eksperimen dan analisis pada balok dengan bundel tulangan TP 4Φ6 adalah 0,58 kN.m atau 6,36%, sedangkan pada balok dengan tulangan tunggal TP Φ12 adalah 3,7 kN.m atau 48,62%. Untuk kuat geser, hasil eksperimen dan analisis pada balok dengan bundel tulangan TP 4Φ6 sama, sementara pada balok dengan tulangan tunggal TP Φ12 selisihnya hanya 0,02 kN atau 0,03%. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan analisis dengan jenis tulangan yang berbeda seperti tulangan ulir, menggunakan jumlah bundel tulangan yang berbeda, serta menggunakan metode analisis yang berbeda, seperti aplikasi berbasis elemen hingga, untuk mendapatkan pemodelan dan analisis struktur yang lebih rinci.

REFERENSI

- [1] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," 2019. [Online]. Available: www.bsn.go.id.

- [2] M. A. Ilham, "KAPASITAS LENTUR DAN GESER BALOK BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN SCC (FLEXURAL AND SHEAR CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS UTILIZING SCC)," *Teknik Sipil*, 2018.
- [3] H. Prabowo and M. Hilmy, "Tinjauan Kapasitas dan Detailing Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang Konvensional Berdasarkan SNI 2847:2013 dengan Pertimbangan Aspek Kemudahan Praktik di Lapangan dan Acuan Rules Of Thumb Studio Arsitektur."
- [4] E. Walujodjati, "Development length on concrete with bundle bars," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Dec. 2018. doi: 10.1088/1757-899X/434/1/012197.
- [5] R. Siti, R. Purinur, and E. Walujodjati, "Pengujian Kuat Lentur dan Geser Balok Beton dengan Bundel Tulangan." [Online]. Available: <https://jurnal.itg.ac.id/>
- [6] A. S. Gumilar and E. Walujodjati, "Analisis Lentur Balok Beton Dengan Bundel Tulangan," *Jurnal Konstruksi*, vol. 19, no. 1, pp. 303–312, 2022, doi: 10.33364/konstruksi/v.19-1.987.
- [7] A. Asroni, *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu, 2010.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2052:2017 Baja tulangan beton," 2017, *BSN, Jakarta*.
- [9] E. Walujodjati, J. A. Tjondro, S. Permana, and G. J. Johari, "Study of flexural strength on concrete bundled bars beams," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1098, no. 2, p. 022062, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1098/2/022062.
- [10] W. Dewobroto, *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan Visual Basic 6.0 (Analisis dan Desain Penampang Beton Bertulang sesuai SNI 03 - 2847 - 2002)*. PT. Elex Media Komputindo, 2005.
- [11] Dimas Arief Wicaksono, Reni Suryanita, and Zulfikar Djauhari, "STUDI EKSPERIMENTAL BALOK BETON BERTULANG DENGAN DAN TANPA SENGKANG," *Sainstek (e-Journal)*, vol. 7, no. 1, pp. 32–39, 2019, doi: 10.35583/js.v7i1.14.