



Pengujian Kuat Lentur dan Geser Balok Beton dengan Bundel Tulangan

Rinrin Siti Ratna Purinur¹, Eko Walujodjati²

Jurnal Konstruksi
Institut Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@itg.ac.id

¹1811001@itg.ac.id

²eko.walujodjati@itg.ac.id

Abstrak – Balok adalah bagian dari sistem geser, umumnya merupakan komponen horizontal dalam rangka momen, bertanggung jawab untuk gaya lentur dan geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi. Dalam konstruksi sering dijumpai permasalahan untuk mendapatkan elemen struktur dengan penampang kecil namun memiliki kekuatan yang besar, serta jarak tulangan yang kecil karena kebutuhan luas tulangan yang besar. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan salah satu solusi dari elemen struktur khususnya balok agar memiliki kekuatan besar dengan persyaratan jarak antar tulangan yang tidak tercapai, dengan mengetahui perbandingan kuat geser dan lentur pada balok beton tulangan bundel 4Φ6 dan balok beton tulangan tunggal menggunakan proporsi luas penampang tulangan yang sama. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton silinder saat 28 hari yaitu $f'c$ 12,68 MPa. Balok dengan tulangan bundel (TP 4Φ6) memiliki luas penampang sebesar 105,83 mm² sedangkan luas tulangan balok dengan tulangan tunggal (TP Φ12) memiliki luas penampang sebesar 106,80 mm² sehingga luas penampang bundel tulangan memiliki selisih 0,97 mm² atau 0,92 % dengan tulangan tunggal. Nilai kuat lentur rata-rata balok tulangan bundel TP 4Φ6 = 9,11 KNm, dan balok tulangan tunggal Φ12 = 7,61 KNm. Nilai kuat geser rata-rata balok tulangan bundel TP 4Φ6 = 58,88 KN, dan balok tulangan tunggal Φ12 = 57,94 KN. Balok dengan bundel tulangan menghasilkan kuat lentur dengan perbedaan 19,71 % dan perbedaan kuat geser 1,62 % , maka balok dengan bundel tulangan 4Φ6 lebih kuat dari pada balok dengan tulangan tunggal Φ12.

Kata Kunci – Balok; Bundel; Kuat Geser; Kuat Lentur.

I. PENDAHULUAN

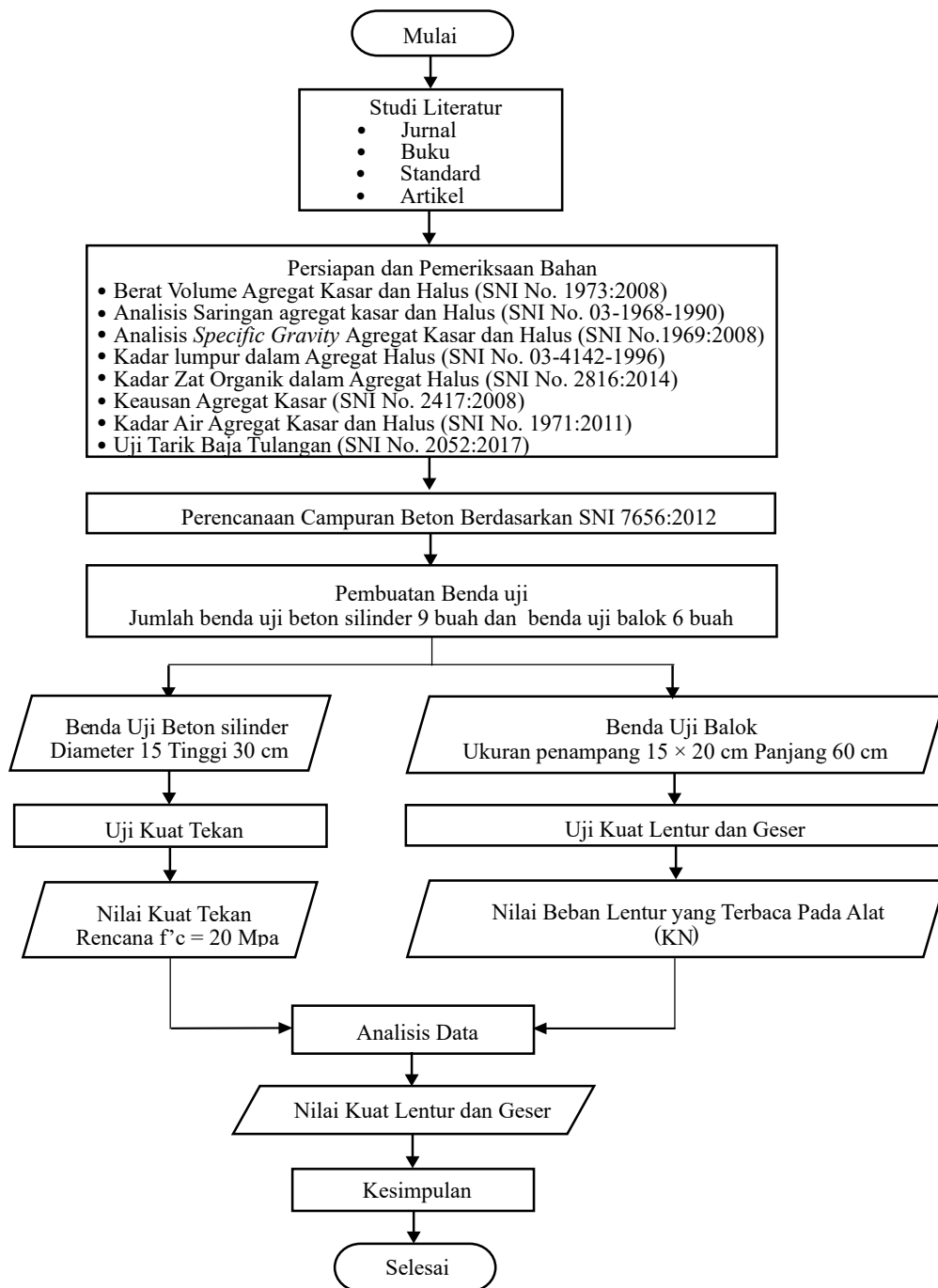
Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan, dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja [1]. Beton bertulang sering dipakai pada elemen struktur bangunan salah satunya balok. Balok merupakan bagian dari sistem yang menahan gaya lateral biasanya merupakan komponen horizontal dalam rangka momen yang berfungsi untuk menahan lentur dan geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi [2].

Dalam konstruksi sering dijumpai permasalahan 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 [3].

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan salah satu solusi untuk mendapatkan elemen struktur dengan jarak sengkang yang terlalu rapat karena kebutuhan tulangan yang besar, dilihat dari beban maksimum yang mampu dipikul balok dengan tulangan dibundel dan tanpa dibundel dengan proporsi luas tulangan yang sama.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bagan Alir Penelitian



Gambar 1 : Bagan alir penelitian

B. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Institut Teknologi Garut yang berlokasi di Jl. Mayor Syamsu No.1, Jayaraga, Kec. Tarogong Kidul, Kabupaten Garut, Jawa Barat 44151.

C. Pengujian Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada pengujian ini yaitu:

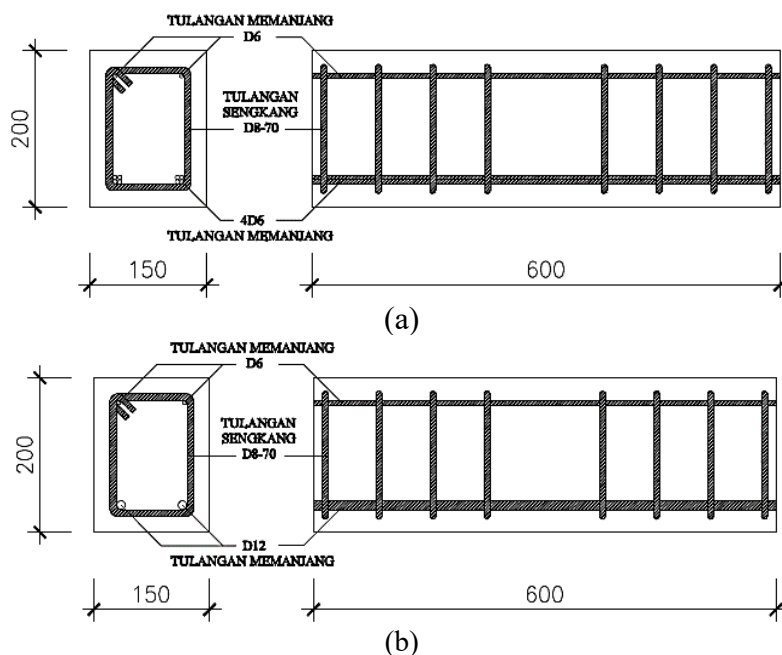
1. Agregat kasar yang digunakan merupakan batu pecah yang berasal dari tasik.
2. Agregat Halus yang digunakan merupakan pasir cilopang.
3. Semen yang digunakan merupakan semen type I dengan merk tiga roda.
4. Baja tulangan polos diameter 6 mm, 8 mm dan 12 mm.
5. Air.

Pengujian bahan yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya berat volume agregat kasar dan halus; analisis saringan agregat kasar dan halus; analisis *specific gravity* agregat kasar dan halus; kadar lumpur dalam agregat halus; kadar zat organik dalam agregat halus; keausan agregat kasar; kadar air agregat kasar dan halus; serta uji tarik baja tulangan [4]–[11].

D. Pengujian Benda Uji

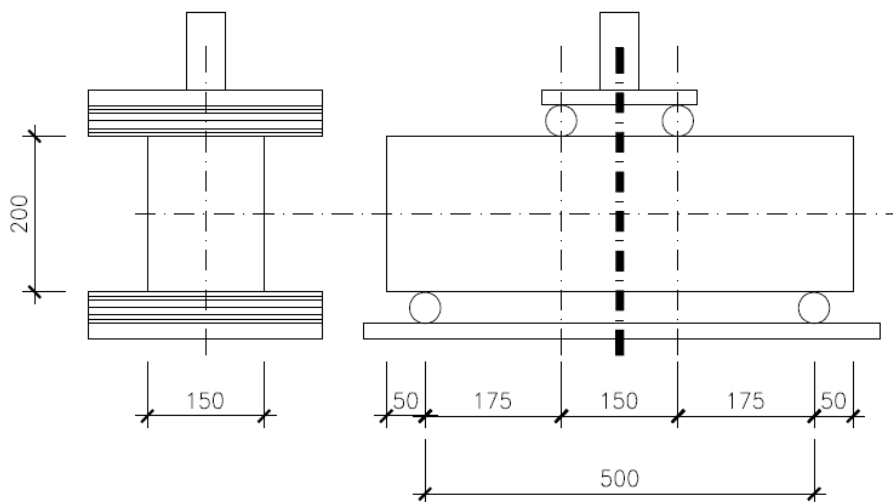
Jenis pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan beton silinder dan kuat lentur balok beton. Pada pengujian kuat tekan beton silinder, sampel yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Jumlah silinder yang dibuat adalah 9 buah, diuji saat usia 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Mutu beton pada perencanaan adalah $f'c$ 20 Mpa. Pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 1974:2011 [12].

Desain benda uji balok beton memiliki dimensi $150 \times 200 \times 600$ mm. Jumlah balok beton yang dibuat yaitu 6 buah balok beton, tiga buah balok beton dengan tulangan memanjang berdiameter 6 mm sebanyak 4 buah yang dibundel, dan tiga buah balok beton dengan tulangan memanjang berdiameter 12 mm pada daerah tarik. Desain benda uji balok beton bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2: Benda uji (a) Balok beton dengan tulangan bundel; (b) Balok beton dengan tulangan tunggal

Pengujian kuat lentur dilakukan dengan menempatkan balok beton di atas perletakan tepat pada pusat tumpuan dari alat uji, kemudian mengatur pembebanan sehingga siap untuk pengujian. Hentikan pembebanan ketika beban maksimum yang mengakibatkan patahnya benda uji. Pengujian kuat lentur dilaksanakan pada umur 28 hari yang mengacu pada SNI 4431:2011 [13]. Pengujian kuat lentur balok beton bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3: Pengujian kuat lentur balok dengan dua titik pembebanan

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Pengujian Bahan

Pengujian yang dilaksanakan di laboratorium yaitu pengujian agregat dan baja tulangan, untuk semen dalam penelitian ini menggunakan semen tipe I dengan nilai berat jenis 2,92 kg/m³ diambil dari jurnal penelitian sebelumnya oleh Muhammad Wildan Ubaidillah [14] dikarenakan terdapat persamaan pada merk semen yang digunakan yaitu semen tiga roda yang juga dipakai pada penelitian tersebut.

Berikut hasil pengujian Agregat yang dilakukan di laboratorium teknik sipil Institut Teknologi Garut dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1: Hasil pengujian agregat kasar

No.	Jenis Penelitian	Hasil pengujian
1.	Kadar Air	3,50 %
2.	Berat isi	1,53 kg/ltr
3.	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,83
	b. <i>Bulk specifik gravity</i> (kering)	2,50
	c. <i>Bulk specifik gravity</i> (SSD)	2,61
4.	Absorpsi	4,63 %
5.	Modulus kehalusan	8,05
6.	Keausan	23,4 %

Tabel 2: Hasil pengujian agregat halus

No.	Jenis Penelitian	Hasil pengujian
1.	Kadar Air	6,99 %
2.	Berat isi	1,74 kg/ltr
3.	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,61
	b. <i>Bulk spesifik gravity</i> (kering)	2,54
	c. <i>Bulk spesifik gravity</i> (SSD)	2,56
4.	Absorpsi	1,01 %
5.	Modulus kehalusan	3,08
6.	Kadar lumpur	2,22 %
7.	Kadar organik	No. 3

Pengujian baja tulangan hanya dilakukan pengujian sifat tampak, ukuran, berat dan bentuk serta uji tarik tulangan karena keterbatasan alat dan perlengkapan pengujian [11]. Hasil pengujian baja tulangan dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3: Hasil uji sifat tampak, ukuran berat dan bentuk

No.	Penamaan	Diameter (mm)			Diameter rata-rata (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Panjang (mm)	Berat (gr)
		ujung kiri	tengah	ujung kanan				
1	1-TP 6	5,80	5,70	5,90	5,80	26,43	350	70
2	2-TP 6	5,90	5,75	5,90	5,85	26,89	350	70
3	3-TP 6	5,90	5,75	5,65	5,77	26,13	350	70
4	1-TP 8	7,95	7,90	8,00	7,95	49,66	350	130
5	2-TP 8	7,70	7,80	8,00	7,83	48,21	350	130
6	3-TP 8	7,40	7,60	8,20	7,73	46,99	350	125
7	1-TP 12	11,05	11,00	12,00	11,35	101,22	350	285
8	2-TP 12	11,00	12,00	12,00	11,67	106,94	350	285
9	3-TP 12	11,90	12,00	12,00	11,97	112,52	350	285

Tabel 4: Hasil uji tarik baja tulangan

Benda uji	TP Ø8	TP Ø12	TP 4Ø6
Beban Leleh (KN)	20,73	73,70	52,90
Beban maksimum (KN)	22,27	74,60	67,90
Panjang awal (mm)	350,00	350,00	350,00
Panjang akhir (mm)	396,67	387,00	396,67
Pertambahan panjang (mm)	46,67	37,00	46,67
Diameter awal (mm)	7,84	11,66	11,61
Luas penampang (mm ²)	48,24	106,80	105,83
Tegangan leleh (Mpa)	433,41	691,39	499,85
Tegangan maksimum (Mpa)	464,51	699,80	641,58

Perhitungan diameter tulangan bundel [15] dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d_e = d_b \sqrt{2} \text{ untuk dua tulangan dalam satu bundel} \quad \dots(1)$$

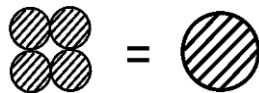
$$d_e = d_b \sqrt{3} \text{ untuk tiga tulangan dalam satu bundel} \quad \dots(2)$$

$$d_e = 2 d_b \text{ untuk empat tulangan dalam satu bundel} \quad \dots(3)$$

Diameter ekuivalen untuk tulangan TP 4Φ6 adalah:

Diameter ekuivalen TP 4Φ6 = $d_e = 2d_b = 2 \times 5,85 = 11,61 \text{ mm}$, Maka

Luas ekuivalen 4Φ6 = $\frac{1}{4} \times \pi \times d_e^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 11,61^2 = 105,83 \text{ mm}^2$



Gambar 4: Tulangan ekuivalen 4 tulangan

B. Design Mix

Rancangan campuran beton dihitung berdasarkan SNI 7656:2012 [16]. Rencana kekuatan beton umur 7, 14, dan 28 hari yaitu $f'c$ 20 Mpa dengan nilai slump yang diambil $100 \pm 20 \text{ mm}$. Ukuran maksimum agregat yang dipakai yaitu 25 mm. Direncanakan beton dengan tambahan udara dengan data pengujian bahan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 didapat komposisi material untuk 1 m^3 beton, 6 sampel balok beton dan 9 sampel beton silinder seperti pada Tabel 5.

Tabel 5: Komposisi campuran beton

Jenis Bahan	Berdasarkan Volume 1 m^3	Kebutuhan 6 Sampel Balok Beton (kg)	Kebutuhan 9 Sample Beton (kg)
Air Bersih	135,80	814,80	8,33
Semen	323,50	1940,99	16,97
Agregat Kasar Kering	969,43	5816,57	50,17
Agregat Halus Kering	841,54	5049,26	43,62
Berat Total	2270,27	13621,63	119,09

C. Hasil Uji Slump

Uji slump bertujuan untuk mengawasi kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) juga keseragaman dalam adukan beton segar dengan kekentalan tertentu [17]. Pencampuran beton dilakukan dengan 4 kali pencampuran karena keterbatasan volume alat pencampuran serta menjaga mutu beton agar sama. Nilai slump yang didapat dalam setiap pencampuran sudah memenuhi syarat yaitu 75 mm sampai 100 mm dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Hasil uji slump

Campuran	Nilai slump (mm)	Keterangan
Campuran 1 → 2 Balok + 1 silinder beton	94	Memenuhi
Campuran 2 → 2 Balok + 1 silinder beton	100	Memenuhi
Campuran 3 → 2 Balok + 1 silinder beton	92	Memenuhi
Campuran 4 → 6 silinder beton	81	Memenuhi

D. Hasil Pengujian Beton Segar

Berat isi rata-rata dari rencana campuran yaitu $2251,26 \text{ kg/m}^3$ dengan nilai slump yang diambil 75 mm sampai 100 mm. Hasil uji berat isi beton segar ini telah sesuai dengan standar SNI 7656:2012 yaitu diantara 2200 kg/m^3 sampai 2500 kg/m^3 [16]. Data hasil uji berat isi beton segar dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7: Hasil pengujian berat isi beton segar

Nama Benda uji	Berat cetakan (Kg)	Berat Cetakan + Beton basah (Kg)	Berat beton basah (Kg)	Volume (m ³)	Berat isi (Kg/m ³)
Silinder 3A	11,04	23,02	11,98	0,005	2260,91
Silinder 3B	10,94	22,90	11,96	0,005	2257,14
Silinder 3C	11,42	23,44	12,02	0,005	2268,46
Silinder 2A	10,42	22,42	12,00	0,005	2264,69
Silinder 2B	11,74	23,78	12,04	0,005	2272,23
Silinder 2C	11,12	23,18	12,06	0,005	2276,01
Silinder 1A	10,96	22,74	11,78	0,005	2223,17
Silinder 1B	11,04	22,28	11,24	0,005	2121,26
Silinder 1C	10,40	22,68	12,28	0,005	2317,53
			Rata-rata		2251,26

E. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada umur perawatan beton 7, 14 dan 28 hari, direncanakan kemampuan menahan tekannya di laboratorium ($f'c$) adalah 20 MPa. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata kuat tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari kurang dari mutu beton rencana. Tidak tercapainya kekuatan beton yang ditargetkan dimungkinkan karena terdapat kesalahan dalam pelaksanaan pembuatan sampel. Hasil dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8: Hasil pengujian kuat tekan

Nama Benda uji	Umur (hari)	Massa (Kg)	Dimensi		Luas Penampang (mm ²)	Gaya Tekan (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat tekan Rata-rata (Mpa)
			L (mm)	D (mm)				
Silinder 3A	7	11,8	300	150	17662,5	157,9	8,94	8,56
Silinder 3B	7	11,76	300	150	17662,5	149,7	8,48	
Silinder 3C	7	11,82	300	150	17662,5	146,0	8,27	
Silinder 2A	14	11,84	300	150	17662,5	211,8	11,99	10,87
Silinder 2B	14	11,86	300	150	17662,5	177,8	10,07	
Silinder 2C	14	11,92	300	150	17662,5	186,3	10,55	
Silinder 1A	28	11,58	300	150	17662,5	205,1	11,61	12,68
Silinder 1B	28	11,46	300	150	17662,5	251,5	14,24	
Silinder 1C	28	11,7	300	150	17662,5	215,5	12,20	

F. Hasil Pengujian Kuat Lentur dan Geser

Pengujian kuat lentur ditujukan untuk mengetahui kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah [13]. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9: Hasil uji kuat lentur balok beton

Tanggal uji : 13/09/2022	Tanggal dibuat : 16/08/2022			Ukuran : 15 × 20 × 60 cm		
No. Benda uji	TP 4Φ6 Bundel			TP Φ12 Tunggal		
	1A	2A	3A	1B	2B	3B
Umur benda uji (hari)	28	28	28	28	28	28
Lebar benda uji (cm)	15,07	15,07	15,10	15,10	14,93	15,00
Tinggi benda uji (cm)	20,17	20,20	20,30	19,87	20,167	19,73
Panjang benda uji (cm)	60	60	60	60	60	60
Berat benda uji (kg)	41,30	41,66	42,32	41,90	42,00	40,92
Volume benda uji (cm ³)	18230,7	18260,8	18391,8	17999,2	18069,3	17760
Berat voume (Kg/m ³)	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
Beban maksimum = P (N)	103000	99200	110000	101100	65500	94300
Jarak bentang = L (cm)	50	50	50	50	50	50
Jarak perletakan ke pembebanan = a (cm)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
Lebar tampak lintang = b (cm)	15,07	15,07	15,10	15,10	14,93	15,00
Tinggi tampak lintang= h (cm)	20,17	20,20	20,30	19,87	20,17	19,73
Tegangan lentur (Mpa) Rumus : $\sigma I = ((P.L)/(b.h^2))$	8,04	8,07	8,84	8,48	5,39	8,07
Tegangan lentur rata-rata (MPa)		8,44			7,32	
Momen lentur (KNm) Rumus : $M = (1/2)P \times a$	9,01	8,68	9,63	8,85	5,73	8,25
Momen lentur rata-rata (KNm)		9,11			7,61	

Dari hasil perhitungan didapat nilai tegangan lentur rata-rata balok beton dengan bundel tulangan yaitu 8,44 Mpa sedangkan balok beton dengan tulangan tunggal 7,32 Mpa. Momen lentur rata-rata balok beton dengan bundel tulangan memiliki nilai lebih tinggi yaitu 9,11 KNm sedangkan balok beton dengan tulangan tunggal 7,61 KNm.

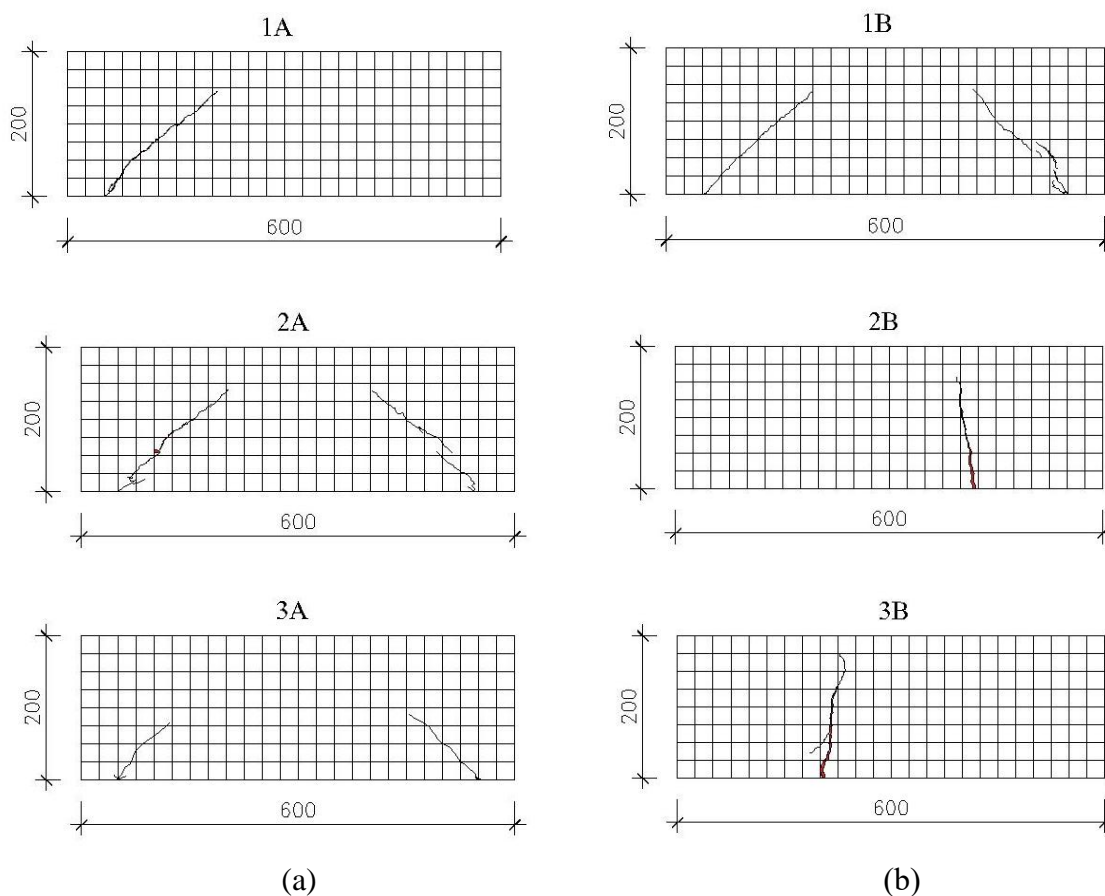
Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik baja tulangan, maka secara analisis kuat geser balok dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10: Kuat geser balok

Benda uji balok	TP 4Φ6 Bundel			TP Φ12 Tunggal		
	1	2	3	1	2	3
Lebar balok, bw (mm)	150,67	150,67	151,00	151,00	149,33	150,00
Tinggi balok, d (mm)	201,67	202,00	203,00	198,67	201,67	197,33
Luas tulangan sengkang, Av (mm ²)	48,24	48,24	48,24	48,24	48,24	48,24
Kuat tekan beton, f'c (Mpa)	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68	12,68
Kuat tarik leleh tulangan, fy (Mpa)	433,41	433,41	433,41	433,41	433,41	433,41
Jarak sengkang, S (mm)	70	70	70	70	70	70
Kuat geser nominal beton, Vc (KN)	18,04	18,07	18,19	17,81	17,88	17,57
Kuat geser nominal tulangan, Vs (KN)	60,24	60,34	60,64	59,34	60,24	58,94
Kuat geser balok, ΦVn (KN)	58,70	58,80	59,12	57,86	58,59	57,38
Kuat geser balok rata-rata		58,88			57,94	

Dari hasil perhitungan kuat geser balok dengan bundel tulangan memiliki nilai 58,88 KN sedangkan balok beton dengan tulangan tunggal memiliki nilai 57,94 KN. Nilai kuat geser balok dengan bundel tulangan maupun balok dengan tulangan tunggal tidak memiliki perbedaan yang signifikan karena tulangan sengkang yang dipakai sama yaitu tulangan polos dengan diameter 8 mm.

Hasil pola retak pengujian lentur balok dicatat saat pembebanan berlangsung pada kedua sisi balok, pola retak yang terjadi pada benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5: Pola retak (a) balok dengan tulangan bundel; (b) balok dengan tulangan tunggal

Dari hasil pengamatan pola retak yang terjadi pada balok dengan bundel tulangan mengalami keretakan geser seluruh benda uji, sedangkan untuk balok beton dengan tulangan tunggal mengalami keretakan lentur karena dua dari tiga benda uji balok beton dengan tulangan tunggal mengalami keretakan lentur.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian kuat lentur dan geser balok beton dengan bundel tulangan. Beban maksimum rata-rata balok dengan bundel tulangan 104,066 KN sedangkan balok dengan tulangan tunggal memiliki beban maksimum rata-rata sebesar 86,967 KN. Nilai maksimum kuat lentur balok dengan bundel tulangan yaitu 9,11 KNm dan balok dengan tulangan tunggal memiliki nilai 7,61 KNm, sehingga memiliki selisih 1,50 KNm atau persentase perbedaan kuat lentur sebesar 19,71%. Nilai maksimum kuat geser balok dengan bundel tulangan yaitu 58,88 KN dan balok dengan tulangan tunggal memiliki nilai 57,94 KN, maka selisih kuat geser beton sebesar 0,94 KN atau persentase perbedaan kuat geser sebesar 1,62 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-6816-2002 Tata cara Pendetailan penulangan beton*. 2002.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan

- Gedung,” *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, no. 8. hal. 720, 2019. [Daring]. Tersedia pada: www.bsn.go.id.
- [3] M. Igbal, M. D. J. Sumajouw, R. S. Windah, dan S. E. J. Imbar, “Pengujian Geser Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Sengkang Konvensional,” *J. Sipil Statik*, vol. 1, no. 2, hal. 65–69, 2013, doi: 10.1088/1757-899x/1098/2/022062.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, “SNI No. 1973:2008 Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton.” 2008.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 03-1968-1990 Metode pengujian analisis Agregat halus dan kasar.” 1990.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 1969:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar.” 2008.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, “SNI No. 03-4142-1996 Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no.200.” 1996.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 2816:2014 Metode uji bahan organik dalam agregat halus untuk beton.” BSN, Jakarta, 2014.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 2417:2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.” BSN, 2008.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 1971:2011 Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan.” BSN, Jakarta, 2011.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 2052:2017 Baja tulangan beton.” BSN, Jakarta, 2017.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder,” *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*. hal. 20, 2011.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 4431:2011 Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan.” BSN, 2011.
- [14] M. Ubaidillah dan E. Walujodjati, “Eksperimen Uji Lentur Balok Beton dengan Bundel Tulangan,” *jurnal.itg.ac.id*, 2022, Diakses: 11 Oktober 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.itg.ac.id/index.php/konstruksi/article/view/1061>
- [15] E. Walujodjati, J. Tjondro, S. Permana, dan G. Johari, “Study of flexural strength on concrete bundled bars beams,” *IOP Publ.*, vol. 1098, No., 2021.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 7656:2012 Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa.” BSN, Jakarta, 2012.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 1972:2008 Cara uji slump beton.” BSN, 2008.