

ANALISIS LENDUTAN DAN KUAT TEKAN PADA PENGUJIAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN VARIASI JARAK SENGKANG MIRING SUDUT TEKUK 135°

Sudarno P Tampubolon¹, Irene Vista Simanjuntak², Priska Marlen Duakaju³, Sophian Talenta⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia
Email:¹sudarno.tampubolon@uki.ac.id, ²irenev.simanjuntak@uki.ac.id

Masuk:01-10-2024, revisi:24-10-2024, diterima untuk diterbitkan: 31-10-2024

ABSTRAK

Kegagalan struktur balok bertulang dapat terjadi akibat dari fungsi tulangan tarik, tulangan tekan, dan sengkang tidak berfungsi dengan baik sehingga balok tidak mampu menahan/ menopang beban yang bekerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan balok beton bertulang yang menggunakan tulangan sengkang miring pada sudut 135° dengan variasi jarak 100 mm dan 150 mm. Beton bertulang dipilih sebagai kombinasi beton dan baja untuk meningkatkan kekuatan tarik yang tidak dimiliki beton. Metode Ultimate Stress Design (USD) digunakan untuk mendesain struktur elemen beton bertulang. Pengujian melibatkan dua sampel balok beton bertulang berukuran 15x15x80 cm. Berdasarkan pengujian, diperoleh nilai rata-rata kuat tekan balok beton 100 mm sebesar 28 MPa dan 150 mm sebesar 29 MPa. Uji tarik tulangan baja D-13 ulir menghasilkan f_y sebesar 354 MPa dan D-8 polos nilai f_y sebesar 369 MPa. Kuat lentur balok beton pada jarak sengkang 100 mm dan 150 mm tercatat sebesar 23,67 Mpa dengan lendutan maksimum yang terjadi pada balok B-1 sebesar 46,4 mm dan lendutan maksimum pada balok B-2 sebesar 47 mm. Hasil penelitian ini memberikan informasi penting tentang pengaruh variasi sengkang miring pada performa struktural beton bertulang dalam meningkatkan kuat lentur dan geser yang terjadi pada balok.

Kata kunci: Beton Bertulang, Tulangan Sengkang Miring, Kekuatan Tekan, Ultimate Stress Design (USD), Kapasitas Momen Ultimate, Uji Tarik, Kuat Lentur.

ABSTRACT

The Failure of reinforced concrete beam structures can occur due to the function of tensile reinforcement, compression reinforcement, and stirrups not functioning properly so that the beam is unable to withstand/ support the working load. This study aims to analyze the strength of reinforced concrete beams using inclined stirrups at an angle of 135° with a variation of 100 mm and 150 mm. Reinforced concrete is chosen as a combination of concrete and steel to increase the tensile strength that concrete does not have. The Ultimate Stress Design (USD) method is used to design reinforced concrete element structures. The test involved two samples of reinforced concrete beams measuring 15x15x80 cm. Based on the test, the average compressive strength of 100 mm concrete beams was 28 MPa and 150 mm was 29 MPa. The tensile test of D-13 threaded steel reinforcement produced an f_y of 354 MPa and D-8 plain f_y value of 369 MPa. The flexural strength of concrete beams at stirrup distances of 100 mm and 150 mm was recorded at 23.67 Mpa with a maximum deflection occurring in beam B-1 of 46.4 mm and a maximum deflection in beam B-2 of 47 mm. The results of this study provide important information about the effect of variations in inclined stirrups on the structural performance of reinforced concrete in increasing the flexural and shear strengths that occur in beams.

Keywords: Reinforced Concrete, Diagonal Stirrup Reinforcement, Compressive Strength, Ultimate Stress Design (USD), Ultimate Moment Capacity, Tensile Test, Bending Strength.

1. PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan kombinasi antara beton dan batangan baja yang digunakan secara bersama, di mana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton. Oleh karena itu desain struktur elemen beton bertulang dilakukan berdasarkan prinsip yang berbeda dengan perencanaan desain satu bahan (Sudarno et al., 2022). Secara umum terdapat dua konsep desain dalam perencanaan konstruksi beton bertulang, yaitu metoda desain

tegangan kerja (*Allowable Stress Design, ASD*) dan ultimate (*Ultimate Stress Design, USD*). Sampai akhir tahun 80-an hampir semua bangunan gedung di Indonesia di desain dengan metode desain tegangan kerja (metoda elastis), tetapi sejak awal tahun 1990 penggunaan metode desain *ultimate* menjadi lebih populer dibandingkan dengan metode tegangan kerja, (SNI 03-2847-2019, 2019; SNI, 2013) (Sudarno et al., 2022).

Dalam penelitian perencanaan beton bertulang ini menggunakan besi ulir sebagai tulangan utama dan tulangan polos untuk sengkang, dengan variasi sengkang miring dengan sudut kait sengkang 135°. Sengkang miring pada tulangan tarik dan tulangan tekan berperan dalam meningkatkan daya rekat antara besi dan beton, serta dalam mengatasi gaya geser yang bekerja pada struktur, dimana pada umumnya, sengkang miring digunakan untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser dari beton bertulang. Variasi sudut sengkang miring dapat disesuaikan dengan kebutuhan desain struktur yang spesifik, seperti beban dan kondisi lingkungan. Bagi perencanaan komponen struktur beton bertulang, harus terpenuhi ketentuan bahwa semua komponen struktur di proporsi kan untuk mendapatkan kekuatan yang cukup sesuai dengan ketentuan dalam buku tata cara perhitungan struktur beton bertulang, hal ini diperuntukkan untuk memperkecil dan menghindari kegagalan struktur yang terjadi, (Tampubolon et al., 2022).

Tulangan Sengkang Miring (diagonal) adalah jenis tulangan pada struktur beton yang digunakan untuk menahan gaya geser. Tulangan ini dipasang pada sudut tertentu terhadap sumbu horizontal elemen struktur, seperti balok atau kolom, untuk memberikan tambahan kekuatan dan stabilitas terhadap gaya geser yang bekerja pada elemen tersebut (Rachman et al., n.d.). Sengkang miring pada besi ulir mempengaruhi performa struktur dalam menghadapi gaya gempa dan beban lainnya. Oleh karena itu, pemilihan sudut dan ukuran sengkang miring harus mempertimbangkan berbagai faktor teknis dan lingkungan, termasuk kode bangunan yang berlaku dan standar desain struktur. Sengkang miring pada besi ulir mempengaruhi performa struktur dalam menghadapi gaya gempa dan beban lainnya. Oleh karena itu, pemilihan sudut dan ukuran sengkang miring harus mempertimbangkan berbagai faktor teknis dan lingkungan, termasuk kode bangunan yang berlaku dan standar desain struktur.

Pada penelitian ini tulangan sengkang dengan kait sudut 135° digunakan pada balok beton bertulang B-1 dengan jarak antar sengkang 100 mm dan B-2 dengan jarak antar sengkang 150 mm. Kekuatan lentur pada balok beton bertulang adalah ukuran kemampuan balok untuk menahan momen kuat lentur sebelum mengalami kegagalan saat pengujian dilakukan seperti pada Gambar 1. Kekuatan lentur sangat penting dalam desain struktur karena balok sering mengalami momen lentur akibat beban yang diterapkan, seperti beban *dead load* dan *live load*. Kekuatan lentur ini diperoleh dari interaksi antara beton dan tulangan baja yang terdapat di dalam balok, di mana beton menahan kompresi dan baja menahan tarik. Kuat lentur beton dihitung dengan rumus :

$$\sigma = \frac{PL}{b*d^2}$$

Dimana :

σ = Kuat lentur beton (MPa)

P = Beban batas pengujian (N)

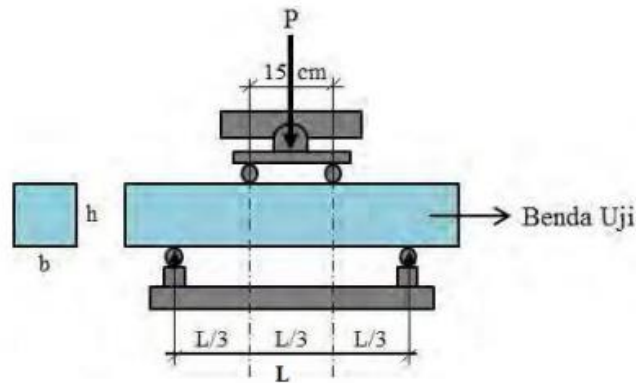
L = Panjang benda uji (mm)

b = Lebar balok (mm)

d = Tinggi balok (mm)

Modulus keruntuhan beton berkisar antara 11% sampai 23% dari kuat tekannya. Korelasi antara modulus keruntuhan beton dengan kuat tekan, yaitu :

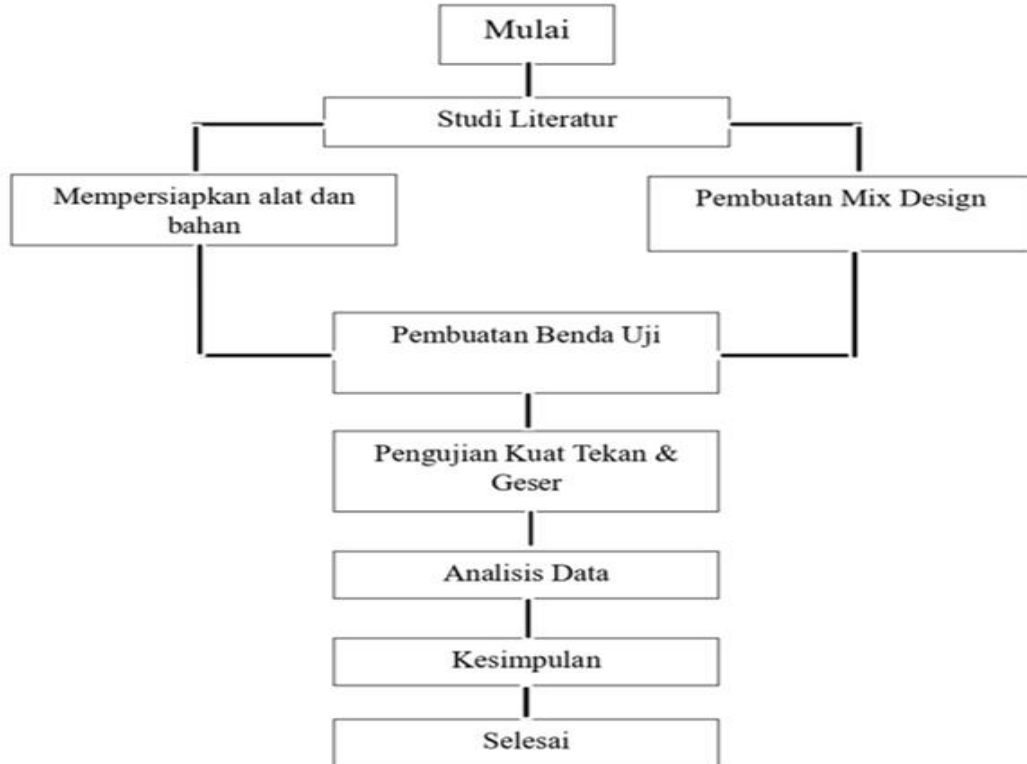
$$f_r = 0,62\lambda \sqrt{f'_c}$$



Gambar 1. Pengujian Balok Beton Bertulang dengan 1 Titik

2. METODE

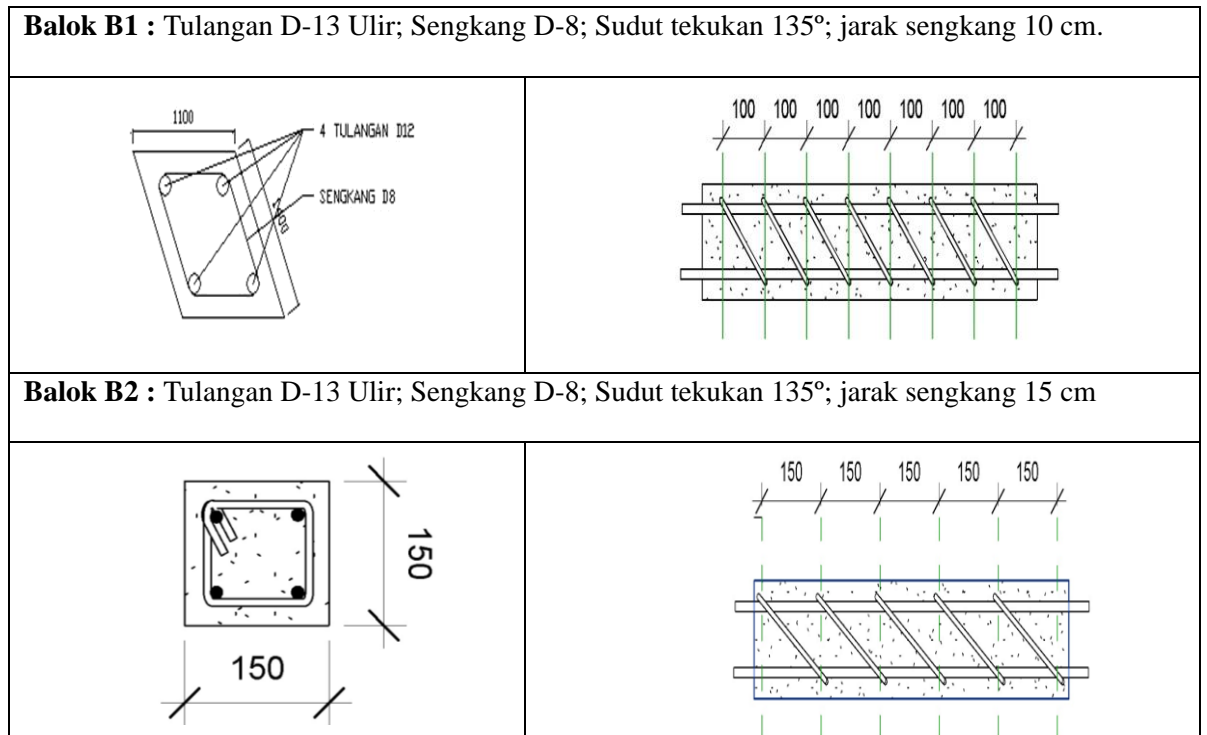
Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode pengujian laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia. Dalam penelitian ini menggunakan 3 buah benda uji dengan 1 benda uji kubus dengan ukuran 150 mm x 150 mm dan 2 benda uji balok beton bertulang dengan ukuran 15x15x80 cm dengan tebal selimut beton 20 mm dan kekuatan rencana 27,5 MPa. Menggunakan besi tulangan beton ulir, dimana tulangan utama $\varnothing 13$ dan tulangan sengkang miring $\varnothing 8$. Variasi tulangan sengkang miring dengan jarak antar sengkang 10 cm dan 15 cm dengan kaitannya membentuk sudut 135° . Gambar 2. menunjukkan Diagram Alur dari penelitian ini.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

2.1 Perencanaan Detail Tulangan

Pada penelitian ini menggunakan 2 buah balok beton bertulang dengan ukuran (15x15x80) cm dengan jarak sengkang 100 cm dan ukuran (15x15x80) cm dengan jarak sengkang 150 cm, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Detail Desain Tulangan Balok B-1 dan Balok B-2

2.2 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Pada penelitian ini diperlukan perencanaan campuran (*mix design*) sebelum dilakukan pengecoran. Tabel 1. Menunjukkan perencanaan mix design yang digunakan pada penelitian ini.

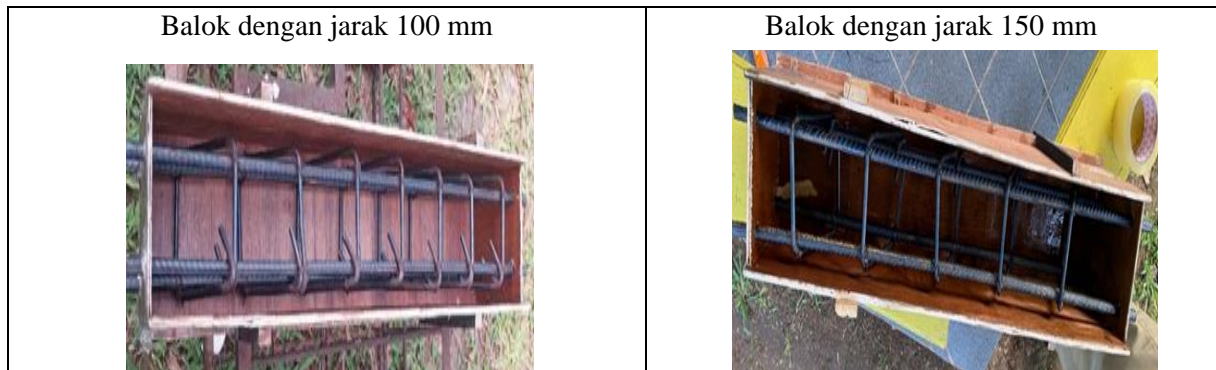
Tabel 1. Perencanaan *Mix Design*

Perencanaan Mix Design			
1.	Mutu Beton	27,5	MPa
2.	Slump	75 - 100	mm
3.	Ukuran agregat maksimum	19	mm
4.	Berat kering agregat kasar	1500	kg/m ³
5.	Berat jenis semen tanpa tambahan udara	3,15	
6.	Modulus Kehalusan agregat Halus	2,8	%
7.	Berat Jenis (SSD) Agregat Halus	2,6	%
8.	Berat Jenis (SSD) Agregat Kasar	2,7	%
9.	Penyerapan air agregat halus	0,7	%
10.	Penyerapan air agregat kasar	0,5	%

11.	Rencana Dimensi Penampang Benda Uji b= 15 ; h= 15 ; p= 80; Volume Beton = 0,018		
-----	--	--	--

2.3 Pembuatan Benda Uji

Benda uji ini digunakan pada penelitian ini berupa Balok dengan ukuran 80 x 15 x 15 cm. Balok B1 digunakan dengan ukuran 80 x 15 x 15 cm, menggunakan tulangan ulir D-13 dan sengkang D-8 polos dengan jarak antar sengkang 100mm. Untuk sampel kedua Balok B2 digunakan dengan ukuran 80 x 15 x 15 cm, digunakan tulangan ulir dengan D-13 dan sengkang D-8 polos dengan jarak antar sengkang 150mm seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Perakitan dan Jarak Tulangan Antar Sengkang Pada Balok B1 dan Balok B2

2.4 Pengecoran Beton

Pastikan proporsi campuran sesuai dengan desain yang telah ditetapkan, campur bahan-bahan beton (semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan) dalam mesin pencampur beton hingga mencapai campuran yang homogen. Pemeriksaan Kualitas Beton dengan melakukan *uji slump*, Tuangkan beton segar ke dalam bekisting secara bertahap, Gunakan vibrator beton untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dan memastikan beton mengisi semua ruang dalam bekisting dengan baik. Setelah pengecoran, ratakan permukaan beton menggunakan alat seperti jidar atau *screed* seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses Pengecoran dan Uji Slump Beton

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Berat benda Uji

Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium, maka diperoleh berat benda uji Balok B-1 dan Balok B-2 seperti pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Berat Benda Uji

Umur beton pada pengujian	Nama Benda Uji	Berat Benda Uji (kg)
28 Hari	Benda Uji Balok B1 (100 mm)	44,5 kg
	Benda Uji Balok B2 (150 mm)	45,3 kg

3.2 . Slump Test

Dari hasil pengujian slump test yaitu 8 cm, dimana perencanaan slump yang direncanakan 75-100 mm.



Gambar 6. Slump Test

3.3 . Hammer Test

1). Hasil Uji Hammer Test untuk Sampel 1 (Jarak antar Sengkang 100 mm)

Tabel 3. Hammer Test Benda Uji Balok B1

Hammer Test Sample 1 (100 mm)															
Titik	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rebound	30	29	30	31	28	32	30	29	31	30	32	29	31	32	31
Titik	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Rebound	32	28	31	31	30	28	29	31	29	30	29	30	31	29	30
Titik	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9
Rebound	30	30	32	30	29	30	28	31	32	29	31	32	29	28	30
Rata-rata Segmen (R)	30,08														

Nilai Kalibrasi	=	$((32+28)/2)/30,08$
	=	0,98042836

Dari Hasil Grafik dan Nilai Kalibrasi, didapat :

Nilai Kuat Tekan Beton	=	29	MPa
Setelah Dikalibrasi	=	$29 * 0,98$	MPa
	=	28	MPa

2). Hasil Uji Hammer Test untuk Sampel 2 (Jarak antar Senggang 150mm)

Tabel 4. Hammer Test Benda Uji Balok B2

Hammer Test Sample 2 (150mm)															
Titik	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rebound	33	34	33	29	32	30	29	33	31	34	33	32	29	32	33
Titik	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Rebound	32	33	33	32	31	34	34	31	33	34	33	31	33	31	34
Titik	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9
Rebound	32	34	32	33	34	31	33	32	30	31	33	31	29	33	30
Rata-Rata Segmen (R)	32,08														

Nilai Kalibrasi	=	$((34+29)/2)/32,08$
	=	0,950484765

Dari Hasil Grafik dan Nilai Kalibrasi, didapat:

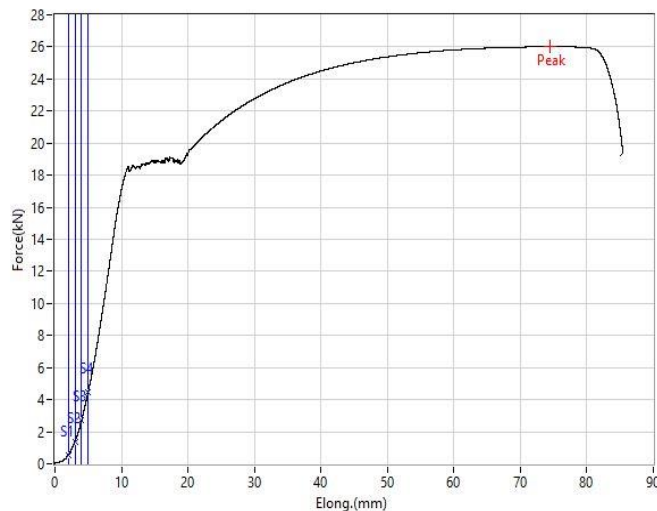
Nilai Kuat Tekan Beton	=	31	MPa
Setelah Dikalibrasi	=	$31 * 0,95$	MPa
	=	29	MPa

3.4 . Uji Kuat Tarik Baja

Dari hasil pengujian tarik yang dilakukan di Laboratorium, maka diperoleh hasil nilai uji tarik tulangan f_y dan f_u seperti pada Tabel 5 dan grafik pengujian di tunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 1. Hasil Uji Tulangan Tarik

Tulangan	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Ø8	369	515
Ø13	354	510



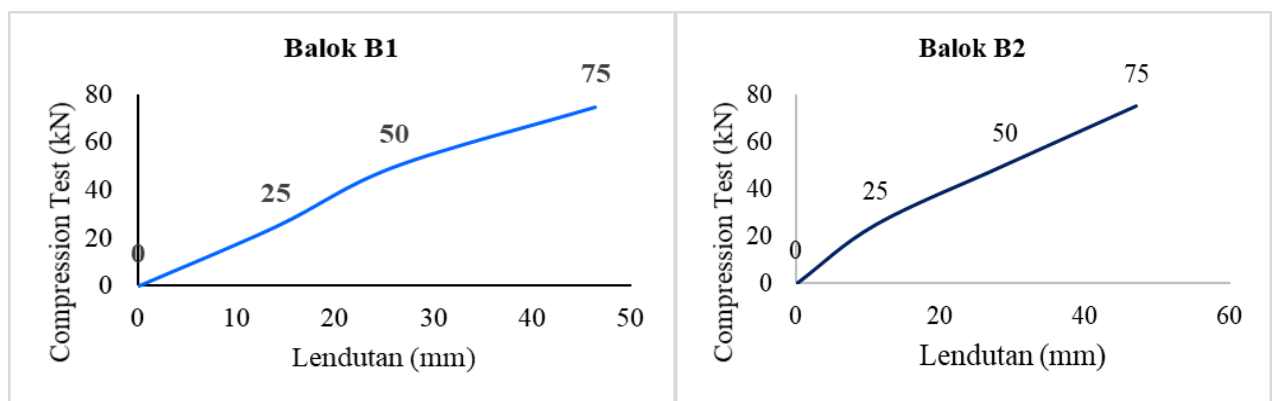
Gambar 7. Uji Kuat Tarik Baja

3.5 . Uji Kuat Tekan dan Lendutan

Dari hasil uji tekan yang dilakukan di Laboratorium, maka diperoleh hasil nilai uji kuat tekan dan lendutan yang terjadi pada Balok B-1 dan Balok B-2 seperti pada Tabel 6 dan grafik hasil pengujian di tunjukkan pada Gambar 8.

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan dan Lendutan

Hasil Uji Tekan Balok B1(100mm)			Hasil Uji Tekan Balok B2 (150mm)		
No.	Comperession Test (kN)	Lendutan (mm)	No.	Comperession Test (kN)	Lendutan (mm)
1.	25	14	1	25	11
2.	50	26	2	50	28,8
3.	75	46,4	3	75	47



Gambar 8. Hasil Uji Kuat Tekan dan Lendutan Balok B-1 dan Balok B-2

3.6 Analisis Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

- **Kuat Lentur Balok (100 mm)**

$$f_r = \frac{p \times l}{b \times d^2}$$

$$f_r = \frac{75000N \times 800 \text{ mm}}{150\text{mm} \times (130)^2\text{mm}} = 23,67,7 \text{ MPa}$$

Modulus Keruntuhan beton dengan kuat tekan

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f'_c} = 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{28} = 3,28 \text{ MPa}$$

- **Kuat Lentur Balok (150 mm)**

$$f_r = \frac{p \times l}{b \times d^2}$$

$$f_r = \frac{75000N \times 800 \text{ mm}}{150\text{mm} \times (130)^2\text{mm}} = 23,67 \text{ MPa}$$

Modulus Keruntuhan beton dengan kuat tekan

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f'_c} = 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{29} = 3,34 \text{ Mpa}$$

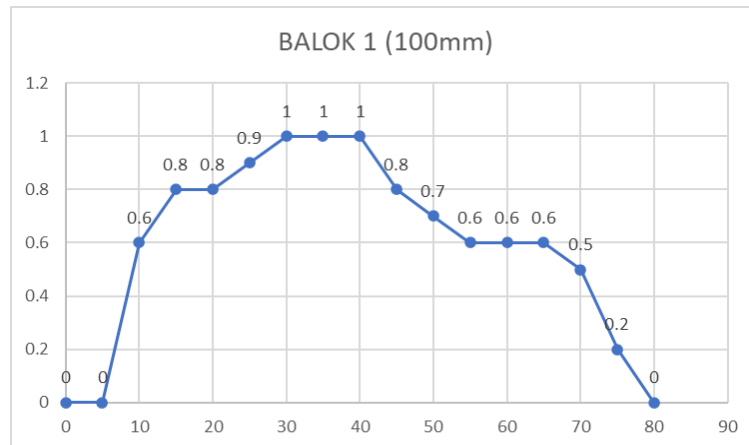
Dari hasil analisis yang dilakukan diperoleh nilai kuat lentur balok B-1 dan Balok B-2 adalah 17,7 MPa sedangkan untuk nilai modulus keruntuhan balok B-1 3,28 MPa dan balok B-2 3,34 MPa.

3.7 . Pengujian Lendutan di Laboratorium

Balok B-1 (Jarak antar sengkang 100 mm)

Tabel 8. Hasil Pengujian Lendutan 100 mm

Balok B1 (100mm)	
5	0
10	0.6
15	0.8
20	0.8
25	0.9
30	1
35	1
40	1
45	0.8
50	0.7
55	0.6
60	0.6
65	0.6
70	0.5
75	0.2
80	0

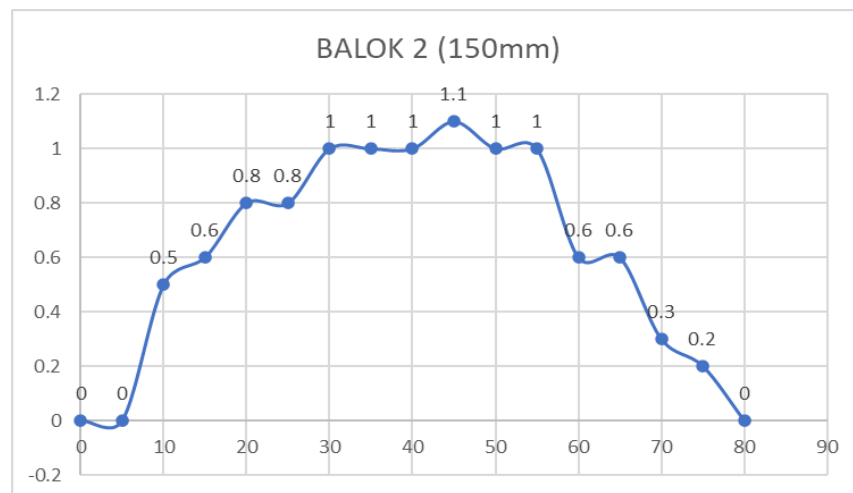


Gambar 9. Lendutan Balok B1

2). Balok B-2 (Jarak antar sengkang 150 mm)

Tabel 9. Hasil Pengujian Lendutan Balok B2 dengan Jarak 150 mm

Sampel 150mm	
5	0
10	0.5
15	0.6
20	0.8
25	0.8
30	1
35	1
40	1
45	1.1
50	1
55	1
60	0.6
65	0.6
70	0.3
75	0.2
80	0



Gambar 10. Lendutan Pada Balok B2

3.8 . Hasil Uji Pola Retak

Setelah dilakukan pengujian balok dengan 1 titik, maka diperoleh pola retak dan keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulang B-1 dan B-2 seperti pada Gambar 10. berikut. Pola Retak maksimum pada Balok Beton Bertulang untuk Balok B1 (100 mm) adalah 0,5 cm dan minimum 0,05 cm. Sedangkan nilai maksimum retak untuk benda uji Balok B2 (150 mm) adalah 0,6 cm dan minum 0,06 cm. Pola keruntuhan yang terjadi membentuk sudut 45° dan pola diagonal, (Tampubolon, 2022).



Gambar 11. Tampak Depan dan Belakang Pola Retak Pada Balok B1 dan Balok B2

Tabel 11. Pola Retak Balok Beton Bertulang

Nama balok (mm)	Beban maksimum (kN)	Max retak (cm)	Min retak (cm)
Balok B1 @100	75	0,5 cm	0,05 cm
Balok B2 @150	75	0,6 cm	0,05 cm

Benda Uji	Sampel	Hasil Uji (MPa)		
		Nilai Rata-rata (Hammer Test)	Grafik	Hasil Kalibrasi
Balok B1	100 mm	30,08	29	28
Balok B2	150mm	32,08	31	29
Rata- Rata		28,94		

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dilaboratorium didapat beberapa kesimpulan dari pengujian diantaranya:

1. Nilai kuat lentur balok B1 dan B2 diperoleh 17,7 MPa sedangkan Nilai modulus keruntuhan balok B1 3,28 MPa dan balok B2 3,34 MPa.
2. Hasil Uji Hammer Test untuk Kuat Tekan Balok Beton Bertulang B1 (100 mm) diperoleh nilai 28 MPa dan untuk Balok Beton Bertulang B2 (150 mm) diperoleh nilai rata-rata adalah 29 MPa.
3. Pola Retak maksimum pada Balok Beton Bertulang untuk Balok B1 (100 mm) adalah 0,5 cm dan minimum 0,05 cm. Sedangkan nilai maksimum retak untuk benda uji Balok B2 (150mm) adalah 0,6 cm dan minum 0,06 cm.
4. Lendutan maksimum yang terjadi pada Balok B-1

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih atas kesempatan yang diberikan untuk menyelesaikan penelitian ini dengan integritas penuh dan tanpa plagiarisme. Proses ini telah memberikan banyak pelajaran berharga, baik dari segi pengetahuan maupun keterampilan penelitian. Saya

Sudarno P Tampubolon, Irene Vista Simanjuntak,dkk "Analisis Lendutan dan Kuat Tekan Pada Pengujian Balok Beton Bertulang dengan Variasi Jarak Senggang Miring Sudut Tekuk 135°"

berharap bahwa isi dari paper ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan berkontribusi dalam memperkaya pemahaman serta memberikan wawasan yang berharga dalam bidang yang saya teliti. Terima kasih atas dukungan dan bimbingan yang telah saya terima selama proses ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

(Rivai, Kimi et al. 2020)

- Amelia, R., S. Suhendra and K. R. Amalia (2021). "Hubungan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton." *Jurnal Talenta Sipil* **4**(2): 225-235.
- Bunitte, R. N. and S. P. Tampubolon (2023). Pengaruh Penggunaan Limbah Sekam Padi pada Uji Kuat Tekan Beton. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UKI 2023 14 September 2023, Prodi Teknik Sipil FT UKI Jakarta, UKI Press.
- Ginting, R. and R. I. Gulo (2019). "Pengaruh Kuat Lekat Besi Tulangan D13 Terhadap Beton Normal." *JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL* **10**(1): 49-60.
- Hardiputranto, A. R., K. A. Sambowo and R. A. Soekarsono (2021). "Pemanfaatan Abu Limbah Bonggol Jagung Sebagai Bahan Tambah Dengan Variasi Suhu Pembakaran Terhadap Kuat Tekan Beton." *Menara: Jurnal Teknik Sipil* **16**(2): 67-72.
- Hartiasningsih, N. A. and J. Budianto (2020). PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH KULIT JAGUNG DAN SUPERPLASTICIZER TERHADAP KUAT TEKAN BETON DENGAN KADAR 4%, 5%, 6% EFFECT OF ADDITIONAL CORN SKIN FLY ASH AT 4%, 5%, 6% AND SUPERPLASTICIZER ON CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH, University Technology Yogyakarta.
- Herdiansyah, H. and M. R. Pangaribuan (2013). "Pengaruh Batu Cadas (Batu Trass) sebagai bahan pembentuk beton terhadap kuat tekan beton." *Inersia: Jurnal Teknik Sipil* **5**(2): 11-20.
- Maglad, A. M., M. Amin, A. M. Zeyad, B. A. Tayeh and I. S. Agwa (2023). "Engineering properties of ultra-high strength concrete containing sugarcane bagasse and corn stalk ashes." *Journal of Materials Research and Technology* **23**: 3196-3218.
- Mushar, P. (2022). The Strength of Reinforced Concrete Slabs of 30% Candlenut Shell Variation Using Destructive Testing Methods. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing.
- Muthaiyan, U. M. and S. Thirumalai (2017). "Studies on the properties of pervious fly ash-cement concrete as a pavement material." *Cogent Engineering* **4**(1): 1318802.
- Perez, O. F. A., D. R. Florez, L. M. Z. Vergara and K. V. H. Benavides (2022). "Innovative use of agro-waste cane bagasse ash and waste glass as cement replacement for green concrete. Cost analysis and carbon dioxide emissions." *Journal of Cleaner Production* **379**: 134822.
- Prayuda, H. (2018). "Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Komparasi Agregat Gamalama, Agregat Merapi Dan Agregat Kali Progo." *Jurnal Riset Rekayasa Sipil* **2**(1): 1-10.
- Rivai, M. A., S. Kimi and R. Revisdah (2020). "Inovasi beton ramah lingkungan." *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil* **6**(2): 74-85.
- Sampebulu, V. and P. Mushar (2020). Value of Concrete Compressive Strength on 28 days with Variation of Candlenut Shell Applied to Plate on a Non-destructive Test Using Hammer Test. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing.
- Subiantoro, A. R., R. A. Bakri, S. Tudjono and H. A. Lie (2013). "Studi Eksperimental Perbandingan Variasi Senggang Miring Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang." *Jurnal Karya Teknik Sipil* **2**(3): 205-217.
- Tampubolon, S. P. (2022). *Struktur Beton I*, Uki Press.

- Tampubolon, S. P. (2022). Analisa Perilaku Pushover pada Pengujian Balok Beton Bertulang. *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 10(1). <https://doi.org/10.33558/bentang.v10i1.3078>
- Tampubolon, S. P., Sarasantika, I. P. E., & Suarjana, I. W. G. (2022). Analisis Kerusakan Struktur Bangunan dan Manajemen Bencana Akibat Gempa Bumi, Tsunami, dan Likuifaksi di Palu. *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 10(2). <https://doi.org/10.33558/bentang.v10i2.3263>
- (Herdiansyah and Pangaribuan 2013, Subiantoro, Bakri et al. 2013, Muthaiyan and Thirumalai 2017, Prayuda 2018, Ginting and Gulo 2019, Hartiasningsih and Budianto 2020, Sampebulu and Mushar 2020, Amelia, Suhendra et al. 2021, Hardiputranto, Sambowo et al. 2021, Mushar 2022, Perez, Florez et al. 2022, Tampubolon 2022, Maglad, Amin et al. 2023)