

Keuntungan Begel Model Rangka Saling-Silang pada Balok Beton

PRAWOTO^{1,*}, ERLINA PRASETYAWATI²

^{1,2}Akademi Teknik Wacana Manunggal Semarang

*Email:prawotoir@gmail.com

ABSTRAK

Penulangan balok beton yang menggunakan begel model rangka saling-silang adalah salah satu alternatif dalam memperoleh kekuatan lentur balok dengan dimensi yang sangat ramping. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kekuatan lentur sebesar 18 % lebih besar terhadap momen desain, sehingga penggunaan begel model rangka saling-silang pada bagian tengah bentang lebih menguntungkan. Lendutan yang terjadi relatif kecil yaitu sebesar 2,40 mm per 1000 mm. Untuk memperoleh kekuatan lentur dan kekuatan geser balok yang efektif, disarankan melakukan kombinasi begel yaitu pada tumpuan menggunakan begel model persegi dan pada bagian tengah bentang menggunakan begel model rangka saling-silang. Hal ini dikarenakan begel model rangka saling-silang kurang efektif pada bagian tumpuan.

Kata kunci: kuat lentur beton, begel model rangka saling-silang.

ABSTRACT

Reinforcement of concrete beams using a crosslinked frame model is one alternative in obtaining flexural strength of beams with very slim dimensions. The results showed an increase in flexural strength of 18% greater for the design moment, so that the use of crosslinked frame model belts in the middle of the span was more favorable. Deflection that occurs is relatively small, which is equal to 2.40 mm per 1000 mm. To obtain the flexural strength and effective shear strength of the beam, it is recommended to do a combination of belts, namely on the pedestal using square model belts and in the middle of the span using a crosslinked frame model. This is because the cross-link frame model is less effective at the footstool.

Keywords: concrete flexural strength, crosslinked frame model.

1. PENDAHULUAN

Balok beton bertulang, selama ini yang lazim dilaksanakan adalah menggunakan begel berbentuk persegi. Begel model rangka saling-silang adalah salah satu temuan yang langka. Ide ini lebih ditekankan pada pemikiran bahwa begel yang mempunyai konstruksi saling-silang pada sisi yang saling berhadapan akan memberikan tahanan lendutan, sehingga diharapkan akan menaikkan kekuatan momen lentur dari balok yang direncanakan.



Gambar 1. Ide penemuan begel model rangka saling-silang

Pada Gambar 1. tersebut adalah percobaan saat pembuktian ide, dimana tulangan balok sepanjang 3 (tiga) meter dengan begel model rangka saling-silang digantung dengan tali yang diikatkan pada tengah bentang. Hasilnya, terlihat tulangan tersebut hampir tidak terjadi perubahan. Apabila menggunakan begel berbentuk persegi, maka akan terjadi perubahan dari bentuk datar menjadi melengkung. Pada penelitian ini akan dilakukan percobaan di laboratorium dengan sampel balok berdimensi 150x250x1000 mm.

Teori kuat lentur menurut (Subramanian, 2010) bahwa batas minimum dan maksimum untuk tulangan memanjang dan rasio gaya melintang dapat diperkuat oleh elemen lentur beton (kode India) pada pengujian beton berkekuatan normal. Hal ini tidak berlaku untuk beton berkekuatan tinggi. Adapun (Siddhpura, Shah, Kapadia, Agrawal, & Sevalia, 2013) menyatakan bahwa beton ditemukan mempunyai kekuatan tekan yang baik, tapi kurang kuat terhadap tarik. Untuk itu biasanya digunakan bahan baja yang lebih kuat menahan tarik. (Kuddus & Mohim, 2017) telah membandingkan kinerja kekuatan lentur dan *deformasi* antara balok beton yang diperkuat dengan baja, bambu, tebu dan rotan.

Teori kuat geser menurut (Iqbal, Sumajouw, Windah, & Imbar, 2013), secara umum menyimpulkan bahwa sengkang vertikal dengan sudut bengkokkan kait 135° lebih kuat dibandingkan sengkang vertikal dengan sudut bengkokkan kait 90° dan sengkang vertikal model "U". Kemudian menurut (Al-Nasra, 2013) bahwa kegagalan geser balok beton bertulang biasanya mendadak, terjadi tanpa peringatan atau adanya tanda-tanda yang cukup. *Swimmer bar system* adalah tipe baru dari kekuatan geser. Ini adalah tulangan kecil yang miring, dengan kedua ujungnya ditekuk secara horizontal untuk jarak pendek dan dilas pada tulangan baja bagian atas dan bawah. (Ajin & Gokulram, 2015) mengungkapkan bahwa alternatif penggunaan sengkang dari *wire mesh* yang di las. Hal ini menghasilkan perakitan yang tidak ribet dan cepat serta penggunaan anggaran yang lebih besar. Pada

penelitian balok beton menggunakan sengkang *wire mesh* yang di las sebagai tulangan geser, dibandingkan dengan balok beton yang menggunakan sengkang konvensional.

1.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Memperoleh kekuatan lentur dan kekuatan geser, balok beton yang menggunakan begel model persegi dengan dimensi 150x250x1000 mm.
- b. Memperoleh kekuatan lentur dan kekuatan geser, balok beton yang menggunakan begel model rangka saling-silang dengan dimensi 150x250x1000 mm.
- c. Memperoleh efektivitas fungsi begel model persegi dan begel model rangka saling-silang.

1.2 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukan penelitian ini diharapkan dapat memberikan pilihan kepada masyarakat bahwa banyak variasi model begel untuk balok beton bertulang dan juga penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan/ sumbangsih pemikiran tentang ilmu pengetahuan, khususnya para peneliti agar dapat dikembangkan lebih lanjut guna mencari variasi dimensi dan variasi model begel pada penulangan balok beton yang lebih efektif.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan batasan-batasan sebagai berikut:

- a. Mutu beton menggunakan $f'_c = 20$ MPa
- b. Benda uji untuk pengujian kuat tekan beton berupa silinder sebanyak 4 buah, berdiameter = 15 cm dan tinggi = 30 cm.
- c. Benda uji untuk pengujian kuat lentur dan kuat geser, masing-masing variasi begel sebanyak empat, sehingga total sampel balok berjumlah delapan buah.
- d. Begel menggunakan $\emptyset 6$ mm polos SNI yang ada di pasaran dan tulangan memanjang menggunakan D8 mm ulir SNI yang ada di pasaran.
- e. Spasi begel untuk masing-masing variasi, tiap 150 mm.
- f. Pengujian kuat tekan beton, kuat lentur dan kuat geser dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian kualitatif, dimana objek yang akan diteliti berupa sampel balok beton dengan variasi begel yang akan diuji langsung di laboratorium.

2.2 Pendekatan Penelitian

Sebelum menentukan besar diameter tulangan memanjang, maka untuk menyesuaikan kemampuan alat uji akan dilakukan pendekatan perhitungan analitis dari rencana dimensi balok yang akan dibuat sampel yaitu dengan ukuran 150 x 250 x 1000 mm. Untuk pendekatannya akan dihitung balok dengan dimensi di atas dengan tulangan memanjang 4 D8 dan menggunakan model begel persegi berdiameter 6 mm.

Untuk pengujian lentur, tulangan *longitudinal* bagian bawah akan dipasang 2 buah D8 dan untuk pengujian geser akan dipasang 3 buah D8. Untuk tulangan *longitudinal* bagian atas

masing-masing akan dipasang 2 buah D8. Menurut perhitungan digunakan begel $\varnothing 6-112,5$. Sehingga apabila digunakan begel $\varnothing 6-150$, maka balok akan terjadi retak geser.



Gambar 2. Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok LB



Gambar 3. Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok LS



Gambar 4. Pelaksanaan pengujian kuat geser balok GB



Gambar 5. Pelaksanaan pengujian kuat geser balok GS

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Kuat Tarik Baja

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

No.	Di pasaran		Hasil uji Laboratorium			
	Jenis baja dan simbol	Diameter (mm)	Diameter (mm)	Luas penampang (mm ²)	Kuat Leleh σ_y (MPa)	Kuat Tarik σ_u (MPa)
1	Polos Ø	6	5,8	26,41	586,96	742,22
		6	5,8	26,41	590,74	757,36
		6	5,8	26,41	609,68	753,58
Rata-rata		6	5,8	26,41	595,79	751,05
2	Ulir D	8	7,8	47,76	445,99	561,15
		8	7,8	47,76	387,36	487,86
		8	7,8	47,76	502,52	634,43
Rata-rata		8	7,8	47,76	445,29	561,14

3.2 Uji Kuat Tekan Beton

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No.	Kode	Umur (hari)	Luas permukaan (mm ²)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat tekan umur 28 hari (MPa)
1	PRA-1	48	17679	12,210	390	22,06
2	PRA-2	48	17679	12,040	400	22,62
3	PRA-3	48	17679	12,165	410	23,19
4	PRA-4	48	17679	12,275	410	23,19
Rata-rata						22,76

3.3 Momen Lentur Balok

Untuk mengetahui momen lentur dari balok, perlu dihitung momen desain dari konstruksi terpasang. Menurut (Asroni, Teori dan Desain Balok Plat Beton Beretulang berdasarkan SNI

2847-2013, 2014) bahwa untuk menghitung momen desain balok diperlukan data yang berkaitan dengan dimensi balok, mutu beton (f'_c) dan mutu baja tulangan (f_y). Berikut ini akan dilakukan perhitungan momen desain dari data sebagai berikut:

a. Perhitungan momen desain

Karena $A_s = A'_s = 2 \cdot 47,76 = 95,52 \text{ mm}^2$, maka tulangan tekan belum leleh. Sehingga:

$$p = \frac{600 \cdot A'_s - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot b} = 2,546$$

$$q = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d' \cdot A'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = 419,683$$

$$a = \left(\sqrt{p^2 + q} \right) - p = 18,097$$

$$f'_s = \frac{a - \beta_1 \cdot d' \cdot s}{a} \times 600 = -104,536$$

Karena $f'_s < 0$, maka dipakai $f'_s = 0$

$$M_{nc} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) = 11,34 \text{ kNm}$$

$$M_{ns} = A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d'_s) = 0$$

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} = 11,34 \text{ kNm}$$

$$M_d = 0,9 \cdot M_n = 10,206 \text{ kNm}$$

$$M_d = \frac{1}{4} \cdot P_d \cdot L + \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2$$

$$P_d = 4 \cdot \frac{M_d - \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2}{L}$$

$$= 4 \cdot \frac{10,206 - \frac{1}{8} \cdot 23,86 \cdot 0,90^2}{0,90} = 34,623 \text{ kN}$$

b. Perhitungan momen hasil laboratorium

1). Balok dengan begel model persegi LB

Hasil pengujian di laboratorium balok dengan begel model persegi didapat:

$$P_{\text{rata-rata}} = 39,0 \text{ kN dan } q_{\text{blk}} = 23,86 \text{ kN/m}$$

Momen yang dihasilkan adalah:

$$M_t = \frac{1}{4} \cdot P_{\text{rata-rata}} \cdot L + \frac{1}{8} \cdot q_{\text{blk}} \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 39,0 \cdot 0,90 + \frac{1}{8} \cdot 23,86 \cdot 0,90^2$$

$$= 11,190 \text{ kNm}$$

2). Balok dengan begel model rangka saling-silang LS

Hasil pengujian di laboratorium balok dengan begel model rangka saling-silang didapat:

$$P_{rata-rata} = 43,0 \text{ kN dan } q_{blk} = 24,13 \text{ kN/m}$$

Momen yang dihasilkan adalah:

$$\begin{aligned} M_t &= \frac{1}{4} \cdot P_{rata-rata} \cdot L + \frac{1}{8} \cdot q_{blk} \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 43,0 \cdot 0,90 + \frac{1}{8} \cdot 24,13 \cdot 0,90^2 = 12,118 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 3. Perbandingan Momen Desain dan Analitis Momen

No.	Jenis balok dengan begel	Momen desain (kNm)	Analitis momen (kNm)	Angka keamanan (n)
1	Model persegi LB	10,206	11,190	1,09
2	Model rangka saling-silang LS	10,206	12,118	1,18

3.4 Gaya Geser Balok

a. Perhitungan geser desain

Untuk mengetahui kuat geser balok, perlu dihitung geser desain dari konstruksi terpasang.

$$V_d = \phi \cdot V_n \quad \text{dan} \quad \phi \cdot V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

dengan :

V_d = gaya geser desain, kN

V_n = gaya geser nominal, kN

V_c = gaya geser yang ditahan oleh beton, kN

V_s = gaya geser yang ditahan oleh sengkang (begel), kN

ϕ = factor reduksi kekuatan geser = 0,75

(Pasal 9.3.2.3 SNI 2847-2013)

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

dimana :

λ = factor beton agregat ringan (Pasal 8.6.1) = 0,75, dan

$$V_s = \frac{A_{vt} \cdot f_{yt} \cdot d}{s}, \text{ sehingga}$$

$$A_{vt} = n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d_p^2 \cdot \frac{s}{s}; \quad A_{vt} = \text{luas tulangan begel terpasang}$$

$$= 2 \cdot 26,41 \cdot \frac{1000}{150} = 352,13 \text{ mm}^2$$

$$V_s = A_{vt} \cdot f_{yt} \cdot \frac{d}{s} = 47,20 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 20,529 \text{ kN}$$

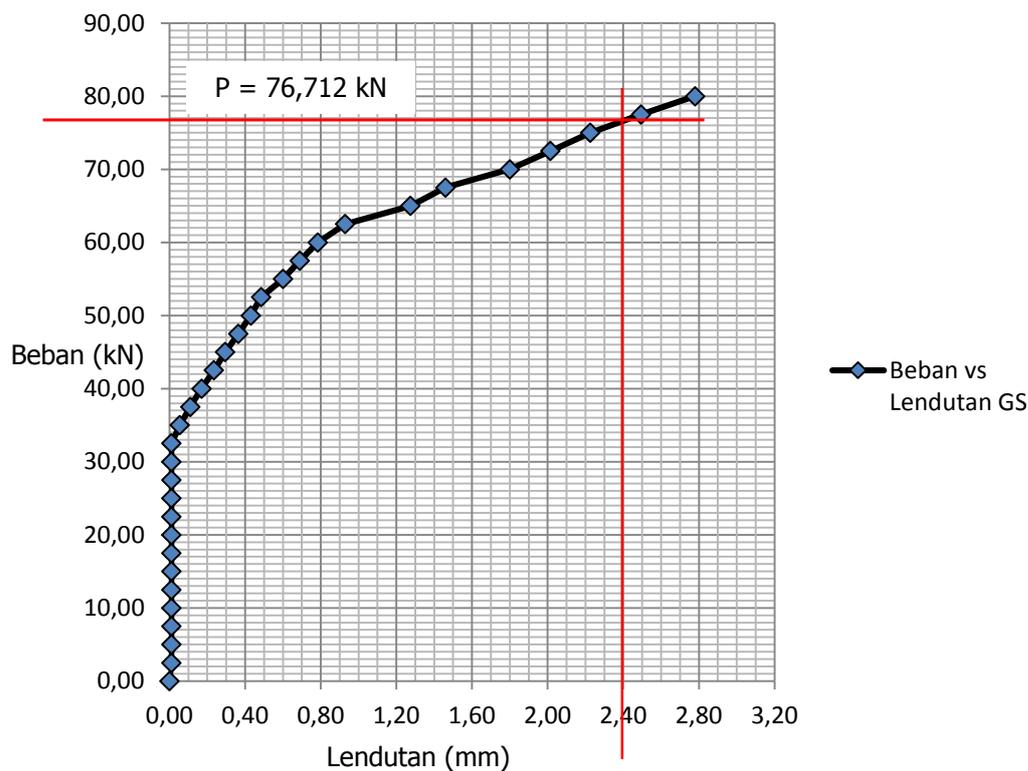
$$V_n = V_c + V_s = 67,729 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi \cdot V_n = 50,796 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{1}{2} \cdot q_{blk} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot P$$

$$\frac{1}{2} \cdot P = V_d - \frac{1}{2} \cdot q_{blk}$$

$$P = 2 \cdot (V_d - \frac{1}{2} \cdot q_{blk}) = 76,712 \text{ kN}$$



Gambar 6. Kontrol beban P desain terhadap lendutan balok GS

Lendutan yang terjadi pada posisi P desain = 76,712 kN pada balok dengan begel model rangka saling-silang adalah sebesar 2,40 mm.

b. Perhitungan hasil laboratorium

1). Balok dengan begel model persegi GB:

$$P_{rata-rata} = 97,00 \text{ kN}$$

$$q_{blk} = 24,88 \text{ kN/m, sehingga:}$$

$$V_t = \frac{1}{2} \cdot q_{blk} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot P_{rata-rata}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 24,88 \cdot 0,90 + \frac{1}{2} \cdot 97,00$$

$$= 59,696 \text{ kN}$$

2). Balok dengan begel model rangka saling-silang GS:

$$P_{rata-rata} = 89,50 \text{ kN}$$

$$q_{blk} = 25,15 \text{ kN/m, sehingga}$$

$$\begin{aligned} V_t &= \frac{1}{2} \cdot q_{blk} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot P_{rata-rata} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 25,15 \cdot 0,90 + \frac{1}{2} \cdot 89,50 \\ &= 56,067 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 4. Perbandingan geser desain dan analitis gaya geser

No.	Jenis balok dengan begel	Geser desain (kN)	Analitis gaya geser (kN)	Angka keamanan (n)
1	Model persegi GB	50,796	59,696	1,17
2	Model rangka saling-silang GS	50,796	56,067	1,10

4. KESIMPULAN

Balok beton yang menggunakan begel model rangka saling-silang mempunyai kelebihan pada kekuatan menahan momen lentur dan lendutan dibanding dengan balok beton yang menggunakan begel model persegi. Namun pada daerah tumpuan, balok yang menggunakan begel model persegi masih lebih efektif dalam menahan gaya geser. Untuk kebutuhan bahan begel pada setiap satu meter panjang, balok yang menggunakan begel model persegi sepanjang 448 cm dan yang menggunakan begel model rangka saling-silang sepanjang 656 cm atau sekitar 46,4 % lebih panjang.

DAFTAR RUJUKAN

- Ajin, M., & Gokulram, H. (2015, March). FLEXURAL BEHAVIOUR OF RC BEAM WITH WELDED MESS AS SHEAR REINFORCEMENT. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 242-246.
- Al-Nasra, M. M. (2013, February). Shear failure investigation of reinforced concrete beams with swimmer bars. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 56-64.
- Asroni, A. (2014). *Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang berdasarkan SNI 2847-2013*. Surakarta: Prodi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Iqbal, M., Sumajouw, M., Windah, R. S., & Imbar, S. E. (2013, Januari). Pengujian Geser Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Sengkang Konvensional. *Jurnal Sipil Statik Vol. 1 No. 2*, 65-69.
- Kuddus, M. A., & Mohim, M. N. (2017, January). Performance of Beam Incorporating with Locally Available Reinforcement. *Quest Journals, Journal of Architecture and Civil Engineering*, 18-23.

Siddhpura, N. B., Shah, D. B., Kapadia, J. V., Agrawal, C. S., & Sevalia, J. K. (2013, June). Experimental Study on Flexural Element using Bamboos Reinforcement. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 476-483.

Subramanian, N. (2010). Limiting reinforcement ratios for RC flexural members. *The Indian Concrete Journal*, 71-80.