
**PREDIKSI LENDUTAN AKIBAT *BOND SLIP* PADA DINDING BETON BERTULANG
[PREDICTION OF DEFLECTION DUE TO *BOND SLIP* ON REINFORCED
CONCRETE WALLS]**

Ika Bali^{1,2*} dan Sadikin¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen. S. Parman No.1, Jakarta 11440

²Lembaga Penelitian, Universitas Matana, jl. CBD Barat Kav.1, Tangerang 15810

*Korespondensi: ikabali@yahoo.com

ABSTRACT

Deflection occurs on reinforced concrete wall when it reaches the ultimate strength can be contributed by the deflection due to bending, shear and bond slip. The bond slip occurs when the loss of bond between concrete and steel reinforcement, causing the stress distribution becomes disturbed. This generates an additional deflection on the walls of reinforced concrete. This analysis study was conducted to predict the additional deflection due to the bond slip on reinforced concrete walls that subjected to lateral load at the ultimate strength condition of the walls. The deflection due to bond slip at the ultimate strength condition of the walls is estimated by the strength-of-material concept. The wall ultimate strength is determined as the minimum of flexural and shear strengths that based on a strength-of-material concept, and the shear strength and the Softened strut-and-tie model, respectively. The specimens of reinforced concrete walls used in this study are the reinforced concrete walls with a single curvature that available in the literature. The results of this study indicated that the deflection due to bond slip provides the additional deflection average of 5.5% of the total deflection due to bending and shear as the wall reaches the ultimate strength. This study shows that the effect of deflection due to bond slip is smaller than the deflection due to shear and bending.

Keywords: bond slip, deflection, reinforced concrete wall, single curvature, softened strut-and-tie

ABSTRAK

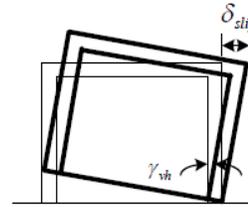
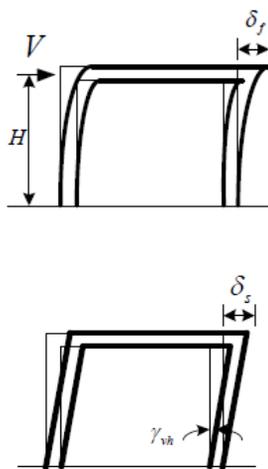
Lendutan terjadi pada dinding beton bertulang saat mencapai kekuatan batas dapat dikontribusikan oleh lendutan akibat lentur, geser dan *bond slip*. *Bond slip* terjadi ketika hilangnya ikatan antara beton dan baja tulangan, menyebabkan distribusi tegangan menjadi terganggu. Hal ini menghasilkan lendutan tambahan pada dinding beton bertulang. Studi analisis ini dilakukan untuk memprediksi lendutan tambahan akibat *bond slip* pada dinding beton bertulang yang mengalami beban lateral pada kondisi kekuatan batas dinding. Lendutan akibat *bond slip* pada kondisi kekuatan batas dinding diestimasi dengan konsep kekuatan material. Kekuatan batas dinding ditentukan berdasarkan minimum dari kekuatan lentur dan geser yang berturut-turut didasarkan pada konsep kekuatan material dan model *Softened strut-and-tie*. Spesimen dari dinding beton bertulang yang digunakan dalam penelitian ini adalah dinding beton bertulang dengan kelengkungan tunggal yang tersedia dalam literatur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lendutan akibat *bond slip* memberikan rata-rata lendutan tambahan 5,5% dari total lendutan akibat lentur dan geser saat dinding mencapai kekuatan batas. Studi ini menunjukkan bahwa pengaruh lendutan akibat *bond slip* lebih kecil dari pada lendutan akibat geser dan lentur.

Kata kunci: *bond slip*, lendutan, dinding beton bertulang, kelengkungan tunggal, *softened strut-and-tie*

PENDAHULUAN

Pada dinding struktural atau dinding beton bertulang, akibat beban lateral, dinding dapat mengalami kelengkungan tipe tunggal (Bali, 2007) dan ganda (Bali dan Hwang, 2007). Jenis kelengkungan ini bisa dilihat dengan membandingkan nilai momen di bagian atas dan bawah dinding. Jika perbandingannya positif, maka dinding akan memiliki kelengkungan tunggal dan jika perbandingannya negatif, maka dinding akan berperilaku sebagai kelengkungan ganda.

Studi ini menganalisis dinding beton bertulang kelengkungan tunggal yang mengalami lendutan saat mencapai kekuatan batas. Lendutan terjadi pada dinding beton bertulang saat mencapai kekuatan batas dapat disumbangkan oleh lendutan akibat lentur, geser dan *bond slip* (Gambar 1).



Gambar 1. Lendutan akibat lentur, geser dan *bond slip* pada dinding beton bertulang (Bali, 2008a)

Bond slip pada dinding beton bertulang disebabkan oleh hilangnya ikatan antara beton dan baja tulangan. Hal ini menyebabkan distribusi tegangan menjadi terganggu. *Bond slip* menghasilkan lendutan tambahan pada dinding beton bertulang (Sezen, 2002). Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi lendutan tambahan akibat *bond slip* pada dinding beton bertulang yang mengalami beban lateral pada kondisi kekuatan batas dinding.

BAHAN DAN METODE

Untuk menghitung lendutan batas yang disumbangkan oleh lendutan akibat lentur, geser dan *bond slip*, pertama-tama kekuatan batas ditentukan. Kekuatan batas dinding beton bertulang dapat ditentukan dari nilai minimum kekuatan lentur dan kekuatan geser (Bali, 2008b). Kekuatan lentur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_f = M_f / H \dots\dots\dots (1)$$

dimana M_f adalah momen lentur yang dapat dihitung berdasarkan analisis penampang.

Sementara, untuk menghitung kekuatan geser, dapat menggunakan metode *Softened strut-and-tie*/SST. Model *Softened strut-and-tie* adalah metode untuk memprediksi kekuatan geser di *D-Regions* (*Discontinuity Regions*) (Yu dan Hwang, 2005). Dalam studi ini dinding beton bertulang dianggap sebagai daerah D. Dalam model ini, aliran kekuatan dapat divisualisasikan dengan mudah dengan mengidentifikasi area diskontinuitas dengan *struts*/penunjang tekan yang mewakili aliran tekan diagonal terpusat dari beton dan *tie*/pengikat sebagai tulangan baja. Persamaannya sebagai berikut (Hwang dan Lee, 2002):

$$V_s = (K_h + K_v - 1) \zeta f_c' A_{str} \cos\theta \dots (2)$$

dengan K_h adalah nilai indeks pengikat horizontal; K_v adalah nilai indeks pengikat vertikal; ζ adalah koefisien perlemahan; f_c' adalah kekuatan tekan beton; A_{str} adalah daerah efektif *strut* diagonal; θ adalah sudut antara *strut* diagonal dan sumbu horizontal.

Perhitungan lendutan dinding struktural akibat lentur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\delta_f = V_u H^3 / (3 E_c I_s) \dots (3)$$

dimana V_u adalah kekuatan batas dinding; H adalah jarak antara pusat beban lateral dan dasar dinding struktural; E_c adalah modulus

elastisitas beton; I_s adalah inersia efektif yang sama dengan $0,35 I_g$.

Pada lendutan batas akibat lentur, lendutan lentur perlu ditambahkan lendutan akibat kondisi plastis. Lendutan akibat kondisi plastis ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\delta_{f,plastic} = (\phi_u - \phi_y) l_p (H - l_p / 2) \dots (4)$$

Kelengkungan batas (ϕ_u) kelengkungan leleh (ϕ_y) dapat dihitung berdasarkan analisis penampang. l_p adalah panjang sendi plastis, yaitu $l_w / 2$. Dimana l_w adalah panjang dinding dalam arah gaya geser.

Perhitungan lendutan akibat geser pada dinding struktural dapat dihitung menggunakan persamaan (Tu *et al*, 2016):

$$\delta_s = \gamma_{vh} H_n \dots (5)$$

γ_{vh} adalah rata-rata regangan geser dalam koordinat vertikal dan horizontal, sementara H_n adalah tinggi bersih dinding struktural.

Lendutan geser batas pada dinding struktural dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Bali, 2008a):

$$\delta_{su} = \delta_{scr} + [(V_u - V_{cr}) (\delta_s - \delta_{scr}) / (V_s - V_{cr})] \dots (6)$$

δ_{scr} adalah lendutan akibat geser ketika retak terjadi, dan V_{cr} adalah kekuatan retak.

Untuk menghitung kekuatan ketika retak terjadi pada dinding struktural, dapat diambil nilai terkecil dari persamaan-persamaan berikut (ACI 318, 2002):

$$V_{cr} = \frac{\sqrt{f_c'} t_w d}{4} + \frac{N d}{4 l_w} \dots\dots\dots (7)$$

$$V_{cr} = \left[\frac{\sqrt{f_c'}}{2} + \frac{l_w (\sqrt{f_c'} + 2N / l_w t_w)}{\frac{M}{V} - l_w / 2} \right] \frac{t_w d}{10} \dots\dots (8)$$

dimana t_w adalah ketebalan panel dinding; d adalah jarak dari serat tertekan yang paling jauh terhadap pusat gaya dari tulangan tarik, atau nilai d adalah $0,8 l_w$ (Hwang and Lee, 2002); N adalah beban aksial; M adalah momen yang dihitung dengan menggunakan analisis penampang. Jika nilai $(M/V - l_w/2)$ adalah negatif, persamaan (8) dapat diabaikan.

Untuk perhitungan lendutan akibat geser ketika retak terjadi pada dinding struktural, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Bali, 2008a):

$$\delta_{s,cr} = \frac{2(1+\nu)}{E_c} \frac{1.2}{l_w t_w} V_{cr} H \dots\dots\dots (9)$$

dimana ν adalah rasio Poisson yang adalah 0,17.

Untuk perhitungan lendutan akibat *bond slip* pada dinding struktural, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Bali, 2008a).

$$\delta_{slip} = H \theta_{slip} \dots\dots\dots (10)$$

θ_{slip} adalah koefisien *slip* yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\theta_{slip} = d_b f_y^2 / [8 u E_s (d_0 - a_w)] + (\epsilon_s + \epsilon_y) (f_s - f_y) d_b / [8 u (d_0 - c)] \dots\dots\dots 11$$

dimana d_b adalah diameter baja tulangan yang paling luar; u adalah rata-rata tegangan *bond* ketika $f_s < f_y$; E_s adalah modulus elastisitas baja; d_0 adalah jarak dari serat tekan terluar terhadap pusat tulangan tarik; a_w adalah lebar *strut* diagonal; c adalah jarak serat tekan terluar terhadap garis netral; f_s adalah kekuatan tulangan baja; f_y adalah kekuatan leleh baja; ϵ_s adalah regangan baja; dan ϵ_y regangan leleh.

Untuk spesimen dalam studi ini, totalnya adalah 4 spesimen dinding beton bertulang kelengkungan tunggal (Wood, 1989) yang tersedia di literatur dan dapat dilihat pada Tabel 1.

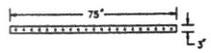
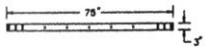
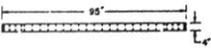
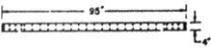
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil lendutan masing-masing spesimen yaitu lendutan akibat lentur, geser dan *bond slip* pada dinding beton bertulang kelengkungan tunggal dapat dilihat pada Tabel 2. Perbandingan lendutan rata-rata akibat *bond slip* terhadap lendutan akibat geser adalah 10,91%, dan rasio lendutan akibat *bond slip* terhadap lendutan akibat lentur didapat sebesar 11,85%. Sementara rasio lendutan akibat *bond slip* terhadap total lendutan akibat lentur dan geser adalah rata-

rata sebesar 5,51%. Berdasarkan hasil-hasil ini, dapat dilihat bahwa pengaruh lendutan akibat *bond slip* pada studi ini adalah lebih

kecil daripada pengaruh lendutan akibat geser dan lentur.

Tabel 1. Spesimen dinding beton bertulang (Wood, 1989)

Spesimen	Gaya Aksial (kN)	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Tulangan Boundary	Tulangan Terdistribusi		Tinggi	
					Vertikal	Horizontal		
PCA SW-4		432	414	46,5	---	#5 at 3 $\frac{1}{2}$ "	D4 at 5"	12' - 0"
PCA SW-5		427	414	40,7	6 - #5	#5 at 10"	D4 at 5"	12' - 0"
UCB SW-5		596	482	33,4	9 - #5	#2 at 4" each face	#2 at 4" each face	10' - 0"
UCB SW-6		596	482	34,5	9 - #5	#2 at 4" each face	#2 at 4" each face	10' - 0"

Tabel 2. Hasil lendutan dinding beton bertulang

Spesimen	δ_s (mm)	δ_f (mm)	δ_{slip} (mm)	$\frac{\delta_{slip}}{\delta_s}$ (%)	$\frac{\delta_{slip}}{\delta_f}$ (%)	$\frac{\delta_{slip}}{\delta_f + \delta_s}$ (%)
PCA SW-4	8,64	11,61	0,89	10,33	7,69	4,41
PCA SW-5	8,52	11,63	1,15	13,44	9,85	5,68
UCB SW-5	10,27	6,81	1,01	9,82	14,81	5,90
UCB SW-6	10,04	6,71	1,01	10,05	15,04	6,03
			Rata-rata	10,91	11,85	5,51

KESIMPULAN

Studi ini sudah memprediksi dinding beton bertulang kelengkungan tunggal yang mengalami lendutan dalam kondisi kekuatan batas. Berdasarkan hasil-hasil perhitungan terhadap 4 spesimen dinding beton bertulang kelengkungan tunggal, perbandingan lendutan akibat *bond slip* terhadap total

lendutan akibat lentur dan geser adalah 5,51%. Hal ini menunjukkan bahwa lendutan akibat *bond slip* pada studi ini memberikan pengaruh yang kecil bila dibandingkan dengan lendutan akibat geser dan lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318. 2002. Building Code Requirements for Structural Concrete : American Concrete Institute.
- Bali, I. 2007. Load-Deflection curve prediction of single curvature Low-Rise RC walls. *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS* 17 (3) : 241-248.
- Bali, I. 2008a. Low-Rise RC Shear Walls: An analytical study of lateral Load-Deflection curves and Its application. VDM Verlag Dr. Müller, Germany.
- Bali, I. 2008b. Prediction of behavior of RC squat walls. *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS* 18 (2): 105-111.
- Bali, I., and Hwang, S.J. 2007. Strength and deflection prediction of double curvature reinforced concrete squat walls. *Structural Engineering and Mechanics, An International Journal* 27(4): 501-521.
- Hwang, S. J., and Lee, H. J. 2002. Strength prediction for dscontinuity rgions by sftened Strut-and-Tie model. *Journal of Structural Engineering. ASCE* 128 (12) : 1519-1526.
- Sezen, H. 2002, Seismic behavior and modeling of reinforced concrete building columns. Dept. of Civil and Environmental Engrg. : Univ. of California, Berkeley. PhD. Dissertation
- Tu, Y. S., Hwang, S. J., and Yu, H. W. 2006. Prediction of load deflection responses of low rise shear walls. The Eight U.S. National Conference on Earthquake Engrg., San Francisco.
- Wood, S.L. 1989. Minimum tensile reinforcement requirements in walls. *ACI Structural Journal* 6 (5): 582-591.
- Yu, H. W. and Hwang, S. J. 2005. Evaluation of softened truss model for strength prediction of reinforced concrete squat walls. *J. Eng. Mechanics ASCE* 131(8): 839-846.