

KAPASITAS GESER DINDING STRUKTUR BETON BERTULANG MENGUNAKAN *SIMPLIFIED TRUSS MODEL* DENGAN MEMPERHITUNGGAN PENGARUH RASIO TINGGI TERHADAP PANJANG DINDING

Clarence Rebeka¹, Claudia Saraswati², Jimmy Chandra³, Joko Purnomo⁴

ABSTRAK : *Building codes* seperti ACI 318M-14 (2015) dan Eurocode 8 (2005) umumnya digunakan untuk menghitung kapasitas geser dinding struktur beton bertulang. Selain itu, ada juga beberapa peneliti yang telah berhasil merumuskan cara perhitungan yang lebih konsisten seperti Chandra et al. (2018) dan Abidin (2019). Namun, rumusan yang diajukan oleh Chandra et al. (2018) masih belum memperhitungkan pengaruh faktor rasio tinggi terhadap panjang (h_w/l_w) dalam perhitungan kapasitas gesernya. Abidin (2019) kemudian mengembangkan rumus yang diajukan Chandra et al. (2018) dengan memasukkan faktor h_w/l_w dalam perhitungan. Cara ini kemudian terbukti dapat memperhitungkan kekuatan geser dinding lebih konsisten dengan mengujikannya terhadap 114 spesimen dinding struktural. Namun demikian, cara Abidin (2019) tersebut masih kurang praktis karena harus melewati proses regresi. Dalam penelitian ini, telah dilakukan modifikasi rumus untuk menyederhanakan cara perhitungan tersebut agar bisa digunakan secara praktis. Hasil yang didapat dengan mengujikan pada 169 spesimen dinding struktur beton bertulang yang didapatkan dari berbagai literatur menunjukkan adanya prediksi yang cukup akurat dan konsisten terhadap variasi rasio h_w/l_w dan kekuatan beton (f_c').

KATA KUNCI : dinding struktur; kekuatan geser; rasio tinggi terhadap panjang

1. PENDAHULUAN

Dinding struktur beton bertulang telah terbukti sangat efektif untuk bangunan yang didesain terhadap gempa, angin, khususnya pada bangunan tinggi. Pengaruh beban lateral seperti beban angin dan gempa lebih dominan pada bangunan tinggi, sehingga diperlukan dinding struktur untuk memperkuat dan memperkaku bangunan tersebut. Cara perhitungan kekuatan geser dinding struktur beton bertulang yang umum digunakan adalah berdasarkan *building codes* ACI 318M-14 (2015) dan Eurocode 8 (2005). Namun cara tersebut masih diturunkan secara empiris dan hasil perhitungannya masih kurang akurat di mana kapasitas dinding yang sesungguhnya bisa bernilai lebih kecil dari pada prediksi. Hal ini rawan mengakibatkan kegagalan dinding terhadap beban rencana.

Ada beberapa cara perhitungan kapasitas geser dinding struktur beton bertulang yang dikembangkan, seperti oleh Chandra et al. (2018) dan Abidin (2019) dimana cara yang diajukan oleh Chandra et al. (2018) menggunakan prinsip *truss analogy* dan didapatkan hasil yang cukup konsisten terhadap berbagai variasi mutu beton dan rasio tulangan *boundary*. Tetapi cara ini terbukti masih kurang konsisten bila ditinjau berdasarkan faktor h_w/l_w , sehingga cara ini dikembangkan oleh Abidin (2019) agar lebih konsisten dalam memperhitungkan rasio h_w/l_w dengan cara menambahkan koefisien K pada perumusan yang ada. Koefisien K ini akan berpengaruh terhadap besarnya tegangan horizontal (σ_h). Namun cara yang diajukan oleh Abidin (2019) masih memiliki kekurangan yaitu nilai regangan utama

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415078@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415086@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, chandra.jimmy@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, jppurnomo@petra.ac.id

pada elemen beton pada sumbu r yang bernilai positif untuk kondisi tarik (ϵ_r) harus diasumsikan dan diiterasikan. Setelah nilai ϵ_r diasumsikan nilainya harus dicek terhadap kesetimbangan, jika tidak memenuhi syarat maka asumsi harus diulang dari awal (*trial and error*). Oleh karena itu, peneliti bermaksud untuk menyederhanakan metode perhitungan yang diajukan oleh Abidin (2019) agar menjadi lebih praktis tanpa harus melalui proses iterasi dan tanpa kehilangan akurasi dan konsistensinya.

2. KAJIAN PUSTAKA

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, perbandingan tinggi terhadap panjang (h_w/l_w) yang sering dikenal dengan rasio bentang geser (perbandingan momen terhadap geser) pada dinding kantilever memiliki peran yang penting dalam mempengaruhi perilaku dari keseluruhan dinding. Dinding dengan rasio h_w/l_w yang $\geq 2,0$ (dinding langsing) cenderung didominasi oleh perilaku lenturnya, sedangkan dinding dengan rasio $h_w/l_w \leq 1,0$ (dinding pendek) cenderung didominasi oleh perilaku gesernya. Sementara itu dinding yang memiliki rasio h_w/l_w berada antara 1,0 dan 2,0 memiliki perilaku kombinasi dari geser dan lenturnya.

Pada percobaan sebelumnya (Barda et al. 1977; Yan et al. 2008; Liang et al. 2013) menunjukkan bahwa dinding geser dengan rasio h_w/l_w yang lebih kecil (yang gagal terhadap lentur maupun geser), mempunyai kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan dinding yang mempunyai rasio h_w/l_w lebih besar. Menurut Teng dan Chandra (2016), dinding yang memiliki rasio h_w/l_w lebih kecil memiliki kekuatan geser lebih besar. Seiring dengan meningkatnya h_w/l_w mulai dari 1,0 sampai 2,0 akan mengurangi kekuatan geser sebesar 40% sampai 50%. Menurut Barda et al (1977), dinding dengan rasio h_w/l_w bernilai 1,0 memiliki kekuatan geser 20% lebih kecil jika dibandingkan dengan dinding dengan rasio h_w/l_w 0,5. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk rasio h_w/l_w mulai 0,5 sampai 2,0, dengan setiap kenaikan 0,5 dari h_w/l_w -nya akan mengurangi kekuatan geser sebesar 20%.

2.1. Abidin (2019)

Abidin (2019) melakukan percobaan dengan memodifikasi perumusan dari percobaan Chandra et al. (2018), untuk perhitungan tegangan horizontal σ_h . Dengan cara mengadopsi rumus perhitungan Mau dan Hsu (1987), dimana di dalam perhitungannya memperhitungkan *shear span ratio* untuk kapasitas geser pada *deep beams*. Kemudian rumus disesuaikan untuk penggunaan pada dinding struktur dan dibagi menjadi 3 kondisi sehingga rumus K menjadi seperti di bawah ini :

$$K = -\frac{2}{3} \frac{d_w}{l_w} \quad \text{untuk } \frac{h_w}{l_w} \leq 1,00 \quad (1)$$

$$K = \frac{d_w}{l_w} \left[\frac{l_w}{h_w} \left(\frac{2}{3} \frac{h_w}{l_w} - \frac{4}{3} \right) \right] \quad \text{untuk } 1,00 < \frac{h_w}{l_w} < 2,00 \quad (2)$$

$$K = 0 \quad \text{untuk } \frac{h_w}{l_w} \geq 2,00 \quad (3)$$

Dimana d_w merupakan lebar efektif dari dinding struktur, l_w merupakan panjang dinding, dan h_w merupakan tinggi dinding.

2.2. Chandra et al. (2018)

Cara perhitungan berdasarkan pada teori *softened truss model*, yang mengasumsikan nilai $\sigma_h = 0$. Dalam perumusan ini juga diperhitungkan gaya dowel dari elemen-elemen pembatas.

$$D_u = 1.64 b_{ef} d_{be} \quad (4)$$

$$V_n = (\sigma_r - \sigma_d) \sin\theta \cos\theta t_w d_w + 1.64 b_{ef} d_{be} \quad (5)$$

Dimana D_u merupakan gaya dowel dari tulangan vertikal dalam satu elemen batas (Newton), b_{ef} merupakan lebar efektif dari elemen batas (mm), d_{be} merupakan diameter tulangan ekuivalen (mm), V_n merupakan kekuatan geser dari dinding beton bertulang (Newton), t_w merupakan tebal badan dinding (mm), dan d_w merupakan lebar efektif dari dinding (mm).

2.3. Kassem dan Elsheikh (2010)

Cara yang digunakan berupa regresi dengan membentuk suatu fungsi yang terdiri dari berbagai konstanta seperti mutu beton (f_c'), tinggi dinding (h_w), panjang dinding (l_w), panjang horizontal dinding dari ujung ke ujung titik tengah *boundary element* (d_w), rasio tulangan vertikal dan horizontal (ρ_v dan ρ_h), besarnya beban yang diberikan (N), luas penampang (A_g), mutu tulangan (f_y) ataupun campuran beberapa faktor tersebut yang dikalikan, dipangkatkan atau ditambahkan. Kemudian fungsi tersebut dicari nilai regresinya terhadap *cracking angle* (α). Fungsi yang menghasilkan nilai regresi tertinggi akan digunakan untuk memprediksi nilai *cracking angle* (α).

3. METODE PENELITIAN

3.1. Program Eksperimen

Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur dari rumus yang diajukan Abidin (2019) kemudian mempelajari metode simplifikasi rumus perhitungan kapasitas geser dinding struktur dari Chandra et al. (2018) dan Kassem dan Elsheikh (2010). Secara umum, teori dan alur perhitungan penelitian ini diadopsi dari cara simplifikasi Chandra et al. (2018) di mana *softened truss model theory* menjadi dasarnya. Dengan cara tersebut, masalah iterasi dapat teratasi. Namun, untuk menyelesaikan perhitungan, perlu didapatkan nilai σ_h dengan cara empiris. Peneliti menggunakan metode regresi seperti yang digunakan Kassem dan Elsheikh (2010). Peneliti menghubungkan variabel σ_h dengan berbagai parameter seperti mutu beton (f_c'), tinggi dinding (h_w), panjang dinding (l_w), rasio tulangan vertikal dan horizontal (ρ_v dan ρ_h), besarnya beban yang diberikan (P), luas penampang (A_g), mutu tulangan (f_y) atau kombinasi perkalian, pembagian, penjumlahan maupun bentuk pangkat dari parameter-parameter tersebut.

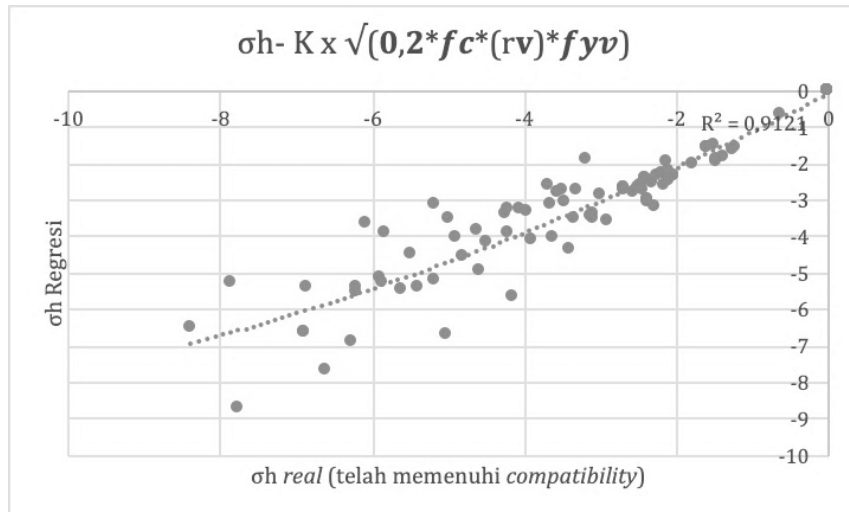
3.2. Analisis Data dan Interpretasi

Sesuai langkah regresi Kassem dan Elsheikh (2010), perbandingan berbagai faktor konstanta didata dan dicari nilai regresi yang terbaik. Pendataan dapat dilihat pada **Tabel 1**. Hubungan antar variabel σ_h dan faktor yang bersangkutan dapat disimpulkan dalam suatu grafik fungsi. Fungsi dari grafik tersebut kemudian disederhanakan dan dijadikan acuan untuk menghitung nilai σ_h . Berbagai kombinasi dan nilai regresinya dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Tabel 1. Kombinasi Parameter dan Nilai Regresi

Parameter	R ²
h_w/l_w	0,6724
P	0,1974
f_c'	0,2262
ξ	0,2337
A_g	0,0069
$\rho_v * f_v$	0,3347
K	0,7197
P/A_g	0,1892
$(P/A_g)^2$	0,1161
$0,02 * f_c' * P/A_g$	0,1779
$2 * P/A_g * \rho_v * f_v * f_v$	0,3041
$K * \sqrt{0,2 f_c' \rho_v f_y}$	0,9121[#]

[#]hasil untuk parameter pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Korelasi antara Kombinasi Parameter dan Nilai σ_h

Nilai σ_h ini kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan Chandra et al. (2018) berdasarkan cara *simplified truss model* sehingga faktor σ_h tidak lagi bernilai 0. Cara perhitungan ini tidak lagi memerlukan iterasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan hasil V_{exp}/V_n dinding struktur berdasarkan cara perhitungan menurut ACI 318M-14 (2015), Eurocode 8 (2005), Chandra et al. (2018), Abidin (2019), dan cara yang diajukan oleh penulis dapat dilihat di **Tabel 2**. Sedangkan perbandingan parameter statistik seperti nilai minimum (*Min*), maksimum (*Max*), rata-rata (*Average*), standar deviasi (*Stdev*), dan koefisien variasi (*COV*) dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 2. Perbandingan Hasil V_{exp}/V_n

No	Spesimen	Vexp/Vn					No	Spesimen	Vexp/Vn				
		"ACI 318M-14 (2015)"	"Eurocode 8 (2005)"	"Chandra et al. (2018)"	"Abidin (2019)"	Cara yang diajukan			"ACI 318M-14 (2015)"	"Eurocode 8 (2005)"	"Chandra et al. (2018)"	"Abidin (2019)"	Cara yang diajukan
Sugano (1973)						Hidalgo et al. (2002)							
1	140-1	1,31	2,44	1,31	1,06	1,07	92	15	1,35	1,87	1,63	1,07	1,29
2	141-2	1,64	2,75	1,49	1,22	1,49	93	16	1,33	1,82	1,53	0,98	1,13
3	142-3	1,72	3,04	1,62	1,34	1,41	Farvashany et al. (2008)						
4	143-4	1,27	2,52	1,63	1,15	1,25	94	HSCW1	2,20	2,36	1,41	1,10	1,05
5	144-5	1,33	2,61	1,68	1,18	1,28	95	HSCW2	2,60	2,48	1,52	1,13	1,12
6	145-6	1,50	2,81	1,84	1,28	1,39	96	HSCW3	1,96	1,85	1,22	0,93	0,96
7	146-7	1,40	2,64	1,73	1,21	1,32	97	HSCW4	2,68	1,99	1,28	0,91	0,99
8	147-8	1,28	2,36	1,49	1,05	1,16	98	HSCW5	1,93	2,07	1,32	1,01	1,03
Hirosawa (1975)						99	HSCW6	1,77	1,94	1,34	1,07	1,05	
9	72	1,33	1,95	1,82	1,25	1,21	100	HSCW7	1,85	1,94	1,34	1,05	1,09
10	73	1,28	1,91	1,74	1,21	1,15	Orackcal et al. (2009)						
11	74	0,82	1,57	1,34	1,01	1,02	101	WP-T5-N0-S1 TEST 9	0,76	1,42	1,42	1,08	1,02
12	75	0,97	2,36	1,47	1,11	1,15	102	WP-T5-N5-S1 TEST 7	1,20	1,95	1,54	1,03	1,10
13	76	0,92	2,17	1,08	0,95	0,92	103	WP-T5-N5-S2 TEST 8	1,26	2,05	1,61	1,08	1,16
14	77	0,91	1,95	1,17	0,95	0,98	104	WP-T5-N10-S1 TEST 5	1,44	2,06	1,56	0,97	1,12
15	79	0,71	1,72	1,05	0,80	0,83	105	WP-T5-N10-S2 TEST 6	1,52	2,17	1,59	0,98	1,14
16	82	0,72	1,26	1,19	1,17	1,17	106	WS-T1-S1 TEST 1	1,12	1,76	1,72	1,24	1,16
17	83	0,70	1,39	1,17	1,15	1,15	107	WS-T1-S2 TEST 4	1,14	1,94	1,67	1,22	1,12
Barda et al. (1977)						108	WS-T2-S1 TEST 2	1,06	1,82	1,64	1,18	1,09	
18	B1-1	1,65	3,49	2,11	1,60	1,57	109	WS-T2-S2 TEST 3	1,26	2,15	1,95	1,40	1,30
19	B2-1	1,51	3,45	1,70	1,31	1,33							
20	B3-2	1,48	3,23	1,80	1,39	1,37							
21	B6-4	1,25	2,72	1,92	1,60	1,60							
22	B7-5	1,56	4,64	2,18	1,63	1,61							
23	B8-5	1,24	2,24	1,46	1,13	1,13							
Corley et al (1981)													
24	B2	1,30	1,31	1,15	1,15	1,15							
25	B5	1,36	1,56	1,41	1,41	1,41							
26	B6	1,15	1,96	1,21	1,21	1,21							

Tabel 2. Perbandingan Hasil Vexp/Vn (lanjutan)

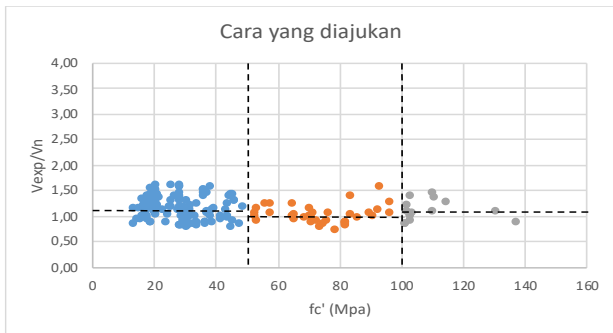
No	Spesimen	Vexp/Vn					No	Spesimen	Vexp/Vn					
		"ACI 318M-14 (2015)"	"Eurocode 8 (2005)"	"Chandra et al. (2018)"	"Abidin (2019)"	Cara yang diajukan			"ACI 318M-14 (2015)"	"Eurocode 8 (2005)"	"Chandra et al. (2018)"	"Abidin (2019)"	Cara yang diajukan	
27	B7	1,26	2,05	1,17	1,17	1,17	110	WS-T3-S1 TEST 11	0,76	1,34	1,34	1,01	0,95	
28	B8	1,28	1,38	0,92	0,92	0,92								
29	B9*	1,31	2,17	1,23	1,23	1,23	111	WS-T3-S2 TEST 14	0,81	1,45	1,42	1,07	1,01	
30	B10*	1,36	1,56	0,90	0,90	0,90								
31	F1	1,23	1,45	0,99	0,99	0,99	112	WS-T4-S1 TEST 4	0,66	1,18	1,18	0,88	0,83	
32	F2	1,13	1,96	0,79	0,79	0,79	113	WS-T4-S2 TEST 4	0,67	1,19	1,18	0,89	0,84	
Wiradinata (1985)								Burgueno et al. (2014)						
33	Wall-1	1,13	2,59	1,53	1,09	1,01								
34	Wall-2	1,50	4,29	2,04	1,44	1,35	114	M05C	1,85	2,68	1,43	1,43	1,43	
							115	M05M	2,14	3,23	1,55	1,55	1,55	
Maeda (1986)														
35	MAE03	1,46	2,82	1,69	1,20	1,22	116	M10C	1,56	2,19	1,24	1,24	1,24	
36	MAE07	1,52	2,38	1,40	1,00	1,04	117	M10M	1,53	2,09	1,39	1,39	1,39	
Okamoto (1990)														
37	W48M6	1,10	1,99	1,13	0,82	0,82	118	M15C	1,42	1,77	1,21	1,21	1,21	
38	W48M4	1,12	1,97	1,13	0,82	0,82	119	M15M	1,38	1,98	1,35	1,35	1,35	
39	W72M8	1,33	1,89	1,17	0,98	0,86	120	M20C	1,34	1,72	1,08	1,08	1,08	
40	W72M6	1,30	1,93	1,18	0,87	0,87	121	M20M	1,52	1,95	1,26	1,26	1,26	
Park et al. (2015)														
41	W72M8	1,23	1,93	1,14	0,96	0,84	122	S4	1,66	2,16	1,77	1,26	1,31	
42	W96M8	1,44	2,04	1,12	0,95	0,83	123	S7	1,89	2,22	1,89	1,24	1,29	
Mo dan Chan (1996)								Luna et al. (2015)						
43	HN4-1	1,22	1,58	1,35	1,04	1,01	124	SW2	0,70	1,69	1,12	0,87	0,84	
44	HN4-2	1,47	1,90	1,63	1,25	1,22	125	SW3	0,71	1,92	1,22	0,94	0,89	
45	HN4-3	1,20	1,56	1,33	1,03	1,00	126	SW4	0,57	1,65	1,11	0,86	0,81	
46	HN6-1	1,04	1,70	1,30	1,00	1,00	127	SW5	1,15	3,10	1,50	1,16	1,17	
47	HN6-2	0,83	1,36	1,04	0,80	0,80	128	SW6	0,97	3,37	1,69	1,30	1,29	
48	HN6-3	0,83	1,31	1,04	0,79	0,79	129	SW7	0,82	3,11	1,61	1,24	1,18	
49	HM4-1	1,33	1,69	1,41	1,08	1,05	130	SW8	1,10	2,14	0,92	0,81	0,85	
50	HM4-2	1,37	1,75	1,46	1,12	1,08	131	SW9	1,02	2,43	1,29	0,90	0,89	
51	HM4-3	1,49	1,88	1,55	1,19	1,15	132	SW10	1,29	3,04	1,38	0,87	0,81	
52	LN4-1	1,24	2,00	1,57	1,24	1,24	133	SW11	0,67	1,70	1,09	0,82	0,80	
53	LN4-2	1,40	2,25	1,76	1,39	1,40	134	SW12	1,00	2,64	1,74	1,32	1,24	
54	LN4-3	1,31	1,59	1,47	1,16	1,13								
Chandra et al. (2016)														
55	LN6-1	1,08	1,58	1,35	1,06	1,06	135	J1	2,85	3,25	1,82	1,29	1,40	
56	LN6-2	0,88	1,30	1,10	0,87	0,86	136	J2	3,05	3,48	1,83	1,24	1,25	
57	LN6-3	0,92	1,37	1,16	0,91	0,91	137	J3	2,09	2,36	1,77	1,32	1,45	
58	LM6-1	0,96	1,28	1,14	0,89	0,88	138	J4	1,97	2,35	2,07	1,47	1,55	
59	LM6-2	0,90	1,21	1,08	0,85	0,84	139	J5	1,73	4,36	0,90	0,90	0,90	
60	LM6-3	0,92	1,24	1,12	0,88	0,87	140	J6	2,14	5,30	1,04	1,04	1,04	
61	LM4-2	1,61	1,78	1,37	1,07	1,02	141	J7	1,46	2,58	1,09	1,09	1,09	
62	LM4-3	1,46	1,62	1,24	0,97	0,93								
Gupta dan Rangan (1998)								Cheng et al. (2016)						
63	S-1	1,11	1,58	1,07	0,79	0,73	142	M60	0,92	1,76	1,58	1,19	1,12	
64	S-2	1,96	2,24	1,46	0,96	1,00	143	M115	0,68	1,14	1,36	1,24	1,06	
65	S-3	2,28	2,28	1,43	0,87	0,97	144	H60	0,87	1,37	1,32	1,00	0,97	
66	S-4	1,58	2,16	1,30	0,92	0,85	145	H115	0,88	1,39	1,38	1,25	1,00	
67	S-5	2,10	2,43	1,41	0,90	0,91	146	H60X	0,88	1,41	1,32	1,00	0,98	
Baek et al. (2017) A														
68	S-6	2,59	2,60	1,52	0,93	0,98	147	NS2	1,34	2,10	1,44	1,44	1,44	
69	S-7	1,52	2,05	1,32	0,93	0,99	148	HS2	1,30	2,04	1,50	1,56	1,50	
Kabeyasawa dan Hirashi (1998)														
70	W-08	1,48	1,93	1,29	1,16	1,00	149	NS2L	1,40	2,57	1,40	1,40	1,40	
71	W-12	1,46	1,95	1,15	0,98	0,88	150	HS2L	1,45	2,63	1,50	1,55	1,50	
Baek et al. (2017) B														
72	No. 1	2,25	2,19	1,59	1,13	1,23	151	NS1M	1,26	1,77	1,43	1,01	1,06	
73	No. 2	1,90	1,93	1,48	1,12	1,15	152	HS1M	1,17	1,64	1,34	0,99	1,01	
74	No. 3	1,60	1,84	1,36	1,08	1,06	153	NS0.5M	1,50	2,33	1,82	1,33	1,40	
75	No. 4	1,84	1,88	1,30	0,97	1,01	154	HS0.5M	1,54	2,40	1,85	1,43	1,46	
76	No. 5	1,41	1,50	1,13	1,17	1,06								
Hube et al. (2017)														
77	No. 6	1,45	1,86	0,91	1,02	0,76	155	WSL1	0,85	1,47	1,55	1,23	1,16	
78	No. 7	1,57	2,01	1,07	0,91	0,86	156	WSL2	0,57	1,03	1,08	0,85	0,80	
79	No. 8	1,66	2,13	0,92	0,88	0,89	157	WSL3	1,01	1,64	1,80	1,42	1,35	
Hidalgo et al. (2002)														
80	1	1,31	4,02	1,24	1,24	1,24	158	WSL4	1,13	2,11	2,10	1,68	1,56	
81	2	1,29	2,84	1,32	1,32	1,32	159	WSL5	1,00	1,84	1,85	1,47	1,38	
82	4	1,18	2,20	1,27	1,27	1,27	160	WSL6	1,12	2,27	2,13	1,71	1,60	
83	6	1,36	1,44	1,54	1,22	1,24	161	WSL7	0,89	1,47	1,58	1,25	1,18	
84	7	1,05	1,29	1,38	1,16	1,23	162	WSL8	0,94	1,71	1,73	1,38	1,29	
85	8	1,12	1,47	1,33	1,10	1,14	163	WSL9	1,07	1,88	1,95	1,55	1,45	
Baek et al. (2018)														
86	9	1,00	1,13	1,25	1,04	1,07	164	SW1	0,91	1,90	1,53	1,53	1,53	
87	10	0,93	1,09	1,16	0,97	1,00	165	SW2	1,14	2,36	0,87	0,87	0,87	
88	11	1,14	1,42	1,38	0,86	0,93	166	SW3	0,90	1,90	1,40	1,40	1,40	
89	12	1,11	1,31	1,42	0,95	1,13	167	SW4	1,17	2,48	0,87	0,88	0,87	
90	13	1,03	1,23	1,26	0,83	0,93	168	SW5	1,20	2,86	0,87	0,87	0,87	
91	14	1,26	1,76	1,46	0,90	0,98	169	SW6	1,21	2,95	0,86	0,86	0,86	

Tabel 3. Perbandingan Parameter Statistik

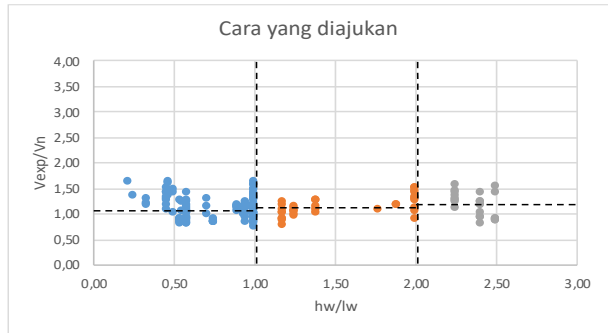
	ACI 318-14 (2015)	Eurocode 8 (2005)	Chandra et al. (2018)	Abidin (2019)	Cara yang diajukan
<i>Min</i>	0,57	1,04	0,79	0,79	0,73
<i>Max</i>	3,05	5,30	2,18	1,71	1,61
<i>Average</i>	1,32	2,09	1,40	1,12	1,11
<i>Stdev</i>	0,44	0,69	0,29	0,21	0,22
<i>COV</i>	0,33	0,33	0,21	0,19	0,19

Dari **Tabel 3** dapat dilihat bahwa nilai COV dari cara yang diajukan tidak berbeda jauh dari cara yang diajukan oleh Abidin (2019), sehingga dapat disimpulkan bahwa cara yang diajukan masih cukup konsisten hasilnya. Selain itu juga dapat dilihat bahwa nilai minimum dari cara yang diajukan penulis lebih kecil daripada ACI 318, hal ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi *underestimate* pada perhitungan kapasitas geser, tetapi sudah lebih naik jika dibandingkan dengan ACI 318. Nilai *average* dari cara yang diajukan penulis lebih kecil jika dibandingkan dengan 4 cara perhitungan lainnya, yaitu sebesar 1,11. Dan dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan perhitungan kapasitas geser dinding struktur beton bertulang dengan menggunakan cara ini hasilnya telah mendekati nilai kapasitas geser dinding hasil eksperimen.

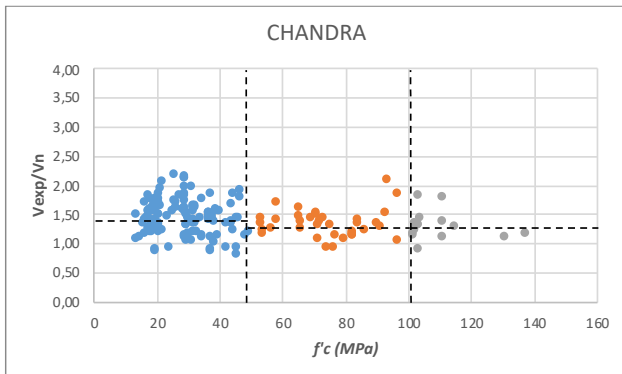
Selain itu akurasi cara yang diajukan terhadap f_c' dan h_w/l_w dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**. Dapat dilihat bahwa cara yang diajukan penulis memiliki *trendline* di antara angka 1,20 hingga 1,00, terutama jika ditinjau terhadap $h_w/l_w \geq 2,00$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai yang dihasilkan sudah lebih baik dan lebih konsisten apabila dibandingkan dengan Chandra et al. (2018) yang dapat dilihat akurasinya pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



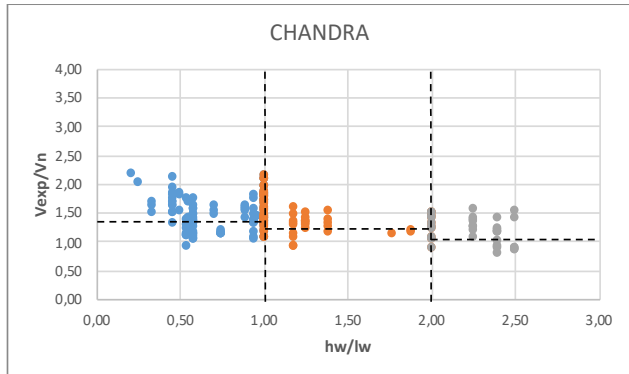
Gambar 2. Nilai V_{exp}/V_n terhadap Nilai f_c' Berdasarkan Cara Perhitungan Penulis



Gambar 3. Nilai V_{exp}/V_n terhadap Nilai h_w/l_w Berdasarkan Cara Perhitungan Penulis



Gambar 4. Nilai V_{exp}/V_n terhadap Nilai f_c' Berdasarkan Chandra et al. (2018)



Gambar 5. Nilai V_{exp}/V_n terhadap Nilai h_w/l_w Berdasarkan Chandra et al. (2018)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Cara perhitungan yang diajukan oleh penulis dapat memperhitungkan kapasitas geser tanpa kehilangan konsistensi keakuratannya, dengan memodifikasi cara Abidin (2019) menggunakan 2 dasar teori yaitu simplifikasi Chandra et al. (2018) dan regresi Kassem dan Elsheikh (2010). Perumusan yang diajukan tidak ada lagi proses iterasi, maka σ_h bisa langsung dihitung dengan perumusan yang sederhana.

5.2. Saran

1. Cara ini harus diuji menggunakan jenis spesimen yang lebih banyak.
2. Cara ini dapat dikembangkan lebih lagi untuk perhitungan kekuatan geser dinding struktural dengan tulangan diagonal. Karena semakin banyaknya pengujian spesimen dinding yang memiliki tulangan diagonal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, T. F. (2019). *Kapasitas Geser Dinding Struktur Beton Bertulang dengan Memperhitungkan Pengaruh Rasio Tinggi terhadap Panjang Dinding*. Surabaya, Jawa Timur: Universitas Kristen Petra.
- American Concrete Institute Committee 318. (2015). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14)*. Michigan: Author.
- Baek, J. W., Park, H. G., Shin, H. M., & Yim, S. J. (2017) A. Cyclic Loading Test for Reinforced Concrete Walls (Aspect Ratio 2.0) with Grade 550 MPa (80 ksi) Shear Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*, 114(3), 673.
- Baek, J. W., Park, H. G., Lee, J. H., & Bang, C. J. (2017) B. Cyclic Loading Test for Walls of Aspect Ratio 1.0 and 0.5 with Grade 550 MPa (80 ksi) Shear Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*, 114(4), 969.
- Baek, J. W., Park, H. G., Choi, K. K., Seo, M. S., & Chung, L. (2018). Minimum Shear Reinforcement of Slender Walls with Grade 500 MPa (72.5 ksi) Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*, 15(3).
- Barda, F., Hanson, J. M., & Corley W. G. (1977). Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements. *ACI Special Publication-53*. 149-202.
- Burgueno, R., Liu, X., & Hines, E. M. (2014). Web Crushing Capacity of High-Strength Concrete Structural Walls: Experimental Study. *ACI Structural Journal*, 111(2), 235–246.
- Chandra, J., Chanthabouala, K., & Teng, S. (2018). Truss Model for Shear Strength of Structural Concrete Walls. *ACI Structural Journal*, 115(2), 323–335.
- Cheng, M. Y., Hung, S. C., Lequesne, R. D., & Lepage, A. (2016). Earthquake-Resistant Squat Walls Reinforced with High-Strength Steel. *American Concrete Institute*.
- Comite Europeen de Normalisation. (1998). *Eurocode 8: Design of Structure for Earthquake Resistance*. Brussels: Author.
- Corley, W.G., Fiorato, A. E., & Oesterle, R. G. (1981). Structural Walls. *ACI Special Publication-72*. 77-132.
- Farvashany, F. E., Foster, S. J., & Rangan, B. V. (2008). Strength and Deformation of High-Strength Concrete Shearwalls. *ACI Structural Journal*, 105(1). 21-29.
- Gupta, A., & Rangan, B. (1998). High-Strength Concrete Structural Walls. *ACI Structural Journal*, 95(2). 194-204.
- Hidalgo, P. A., Ledezma, C. A., and Jordan, R. M. (1973). Seismic Behavior of Squat Reinforced Concrete Shear Walls. *Earthquake Spectra*, V. 18, No. 2, 2002, pp. 287-308.
- Hirosawa, M. (1975). Past Experimental Results on Reinforced Concrete Shear Walls and Analysis on Them. *Kenchiku Kenkyu Shiryo*, 6, 33-34.

- Hube, M. A., Santa María, H., & López, M. (2017). Experimental Campaign of Thin Reinforced Concrete Shear Walls for Low-Rise Constructions. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Jan.*
- Kabeyasawa, T., & Hiraishi, H., (1998). Tests and Analyses of High-Strength Reinforced Concrete Shear Walls in Japan. *SP-176*. 281-310.
- Kassem, W., & Elsheikh, A. (2010). Estimation of Shear Strength of Structural Shear Walls. *Journal of Structural Engineering*, 136(10),1215–1224.
- Liang, X., Che, J., Yang, P., & Deng, M. (2013). Seismic Behavior of High-Strength Concrete Structural Walls with Edge Columns. *ACI Structural Journal*, 110(6).
- Luna, B. N., Rivera, J. P., & Whittaker, A. S. (2015). Seismic Behavior of Low-Aspect-Ratio Reinforced Concrete Shear Walls. *ACI Structural Journal*, 112(5), 593.
- Maeda, Y. (1986). Study on Load-Deflection Characteristics of Reinforced Concrete Shear Walls of High Strength Concrete - Part 1 Lateral Loading Test (in Japanese). *Research Institute: 97-107*.
- Mo, Y. L., & Chan, J. (1996). Behaviour of Reinforced Concrete Framed Shear Walls. 166(1). 55-68.
- Okamoto, S. (1990). Bending Shear Test of RC Shear Wall - Outline (in Japanese). *Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan*.
- Orakcal, K., Massone, L. M., & Wallace, J. W. (2009). Shear Strength of Lightly Reinforced Wall Piers and Spandrels. *ACI Structural Journal*, 106(4), 455.
- Park, H. G., Baek, J. W., Lee, J. H., & Shin, H. M. (2015). Cyclic Loading Tests for Shear Strength of Low-Rise Reinforced Concrete Walls with Grade 550 MPa Bars. *ACI Structural Journal*, 112(3).
- Sugano, S. (1973). Restoring Force Characteristics of Structural Members in Reinforced Concrete Frames Subjected to Lateral Forces-An Empirical Evaluation of Strength and Inelastic Stiffness of Beams, Columns and Shear Walls. *Concrete Journal*, ppl-9, 11(2).
- Teng, S., & Chandra, J. (2016). Cyclic shear behavior of high-strength concrete structural walls. *ACI Structural Journal*, 113(6), 1335–1345.
- Wiradinata, S. (1985). Behavior of Squat Walls Subjected to Load Reversals. *MS thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto*. 171 pp.
- Yan, S., Zhang, L. F., & Zhang, Y. G. (2008). Seismic Performances of High-Strength Concrete Shear Walls Reinforced with High-Strength Rebars. *In Earth & Space 2008: Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments* (pp. 1-8).