

PERMODELAN GESER DINDING GESER BETON UNTUK ANALISIS NON-LINIER

Tifani¹, Kevin Effendy², Jimmy Chandra³, Joko Purnomo⁴

ABSTRAK : Banyaknya penggunaan dinding geser beton bertulang dalam sistem struktur penahan gaya lateral menyebabkan perlunya suatu metode permodelan analitis agar dapat memprediksi respons dinding geser dengan baik, khususnya respons non-linier. Karenanya, berbagai elemen permodelan digagaskan dalam penelitian-penelitian, salah satunya elemen *Shear-Flexure-Interaction-Multiple-Vertical-Line-Element-Model* atau SFI-MVLEM. Elemen ini dikembangkan sebagai suatu elemen permodelan makroskopis yang mampu memodelkan dan memprediksi respons dinding geser dengan baik. SFI-MVLEM telah dikembangkan pada program OpenSees dan divalidasi terhadap spesimen dinding berbentuk *rectangular* dengan hasil yang baik. Penelitian ini dilakukan untuk melanjutkan proses validasi pada lingkup yang lebih luas, termasuk dinding dengan bentuk geometris penampang *barbell* dan *flanged*. Hasil validasi menunjukkan bahwa elemen SFI-MVLEM cukup representatif dalam memodelkan dinding *barbell* dan *flanged* walaupun tidak sebaik dinding *rectangular*. Secara khusus, diperoleh hasil dengan *error* yang lebih besar pada spesimen dinding geser *barbell* dan *flanged* yang juga menerima beban aksial.

KATA KUNCI: dinding geser, OpenSees, permodelan makroskopis, SFI-MVLEM

1. PENDAHULUAN

Dinding geser beton bertulang (*RC shear wall*) sering digunakan dalam sistem penahan gaya lateral karena tingginya kekuatan dan kekakuan yang dimiliki (Kolozvari, 2013). Akan tetapi, respons non-linier dinding geser sulit diprediksi dengan tepat. Oleh karena itu, berbagai penelitian dilakukan untuk mengembangkan elemen permodelan yang bisa memprediksi respons non-linier dinding geser, salah satunya oleh Kolozvari (2013) dengan elemen yang disebut *Shear-Flexure-Interaction-Multiple-Vertical-Line-Element-Model* atau SFI-MVLEM. SFI-MVLEM pada dasarnya merupakan hasil penggabungan elemen-elemen penelitian terdahulu dengan tujuan utama untuk dapat memprediksi interaksi respons lentur dan geser (*shear-flexure interaction* atau SFI) seperti yang ditemukan dalam hasil penelitian Massone dan Wallace (2004). Diharapkan dengan mengembangkan elemen tipe *coupled* tersebut, maka permodelan mampu memprediksi respons dengan lebih tepat.

SFI-MVLEM dalam penelitian Kolozvari (2013) telah divalidasi terhadap lima buah spesimen dinding geser *rectangular* yang mengalami kegagalan lentur dengan perbandingan tinggi terhadap lebar (aspek rasio) 1,5 dan 2,0. Untuk mengetahui ketepatan permodelan analitis SFI-MVLEM, pada penelitian ini dilakukan validasi lebih lanjut dengan ruang lingkup yang lebih luas. Validasi dilakukan pada tiga jenis spesimen dinding dari segi geometris penampang, yaitu spesimen *rectangular*, spesimen *barbell* dan spesimen dengan *flange*. Aspek rasio dinding yang ditinjau juga bervariasi, dari dinding berukuran pendek (aspek rasio $\leq 1,0$) hingga dinding berukuran tinggi (aspek rasio $\geq 2,0$). Dinding dalam permodelan akan dibebani bolak-balik secara lateral (*reverse-cyclic loading*) untuk memperoleh respons

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, tifani_wjy@yahoo.co.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, kevin.ng253@gmail.com

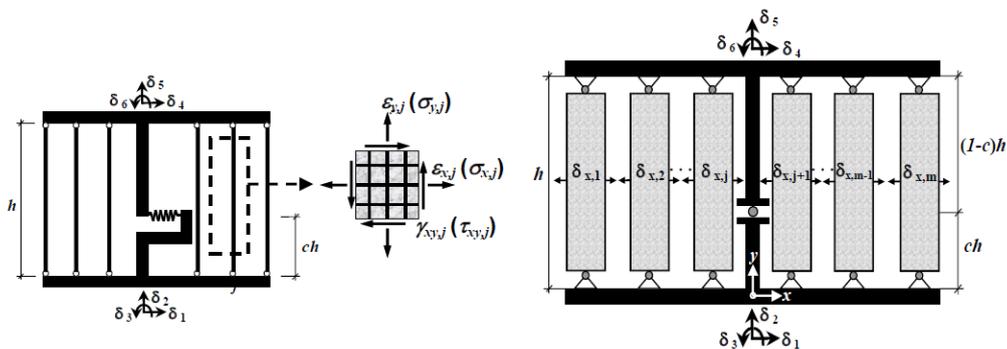
³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, chandra.jimmy@petra.ac.id

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

histeresis non-liniernya sebagai objek pembandingan kesesuaian dengan eksperimen dalam proses validasi.

2. STUDI LITERATUR

Sebuah elemen yang merupakan pengembangan dari *Multiple Vertical Line Element Model* (MVLEM) oleh Orakcal *et al.* (2004) digunakan dalam penelitian ini. Elemen tersebut adalah *Shear-Flexure-Interaction* MVLEM (SFI-MVLEM) yang dapat memprediksi perilaku dinding geser, termasuk interaksi antara respons lentur dan geser yang terjadi (Kolozvari, 2013). Hal ini dikarenakan elemen ini terdiri dari beberapa panel elemen dinding beton bertulang yang menggantikan elemen uniaksial sederhana pada MVLEM yang telah ada sebelumnya (**Gambar 1**). Elemen ini memiliki tiga buah asumsi utama: (1) penampang dari suatu bidang datar tetaplah datar (*plane section remains plane*); (2) regangan geser sepanjang penampang dinding terdistribusi merata; dan (3) resultan tegangan arah horizontal (σ_x) sama dengan nol.

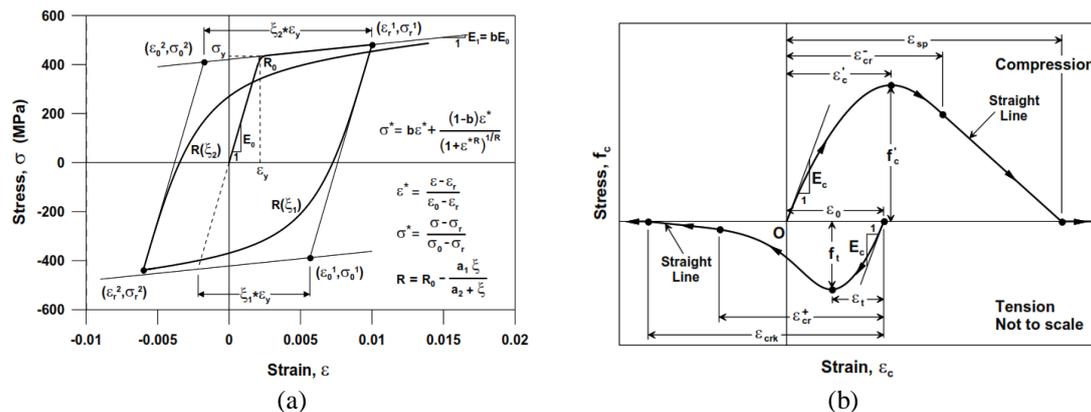


Gambar 1. SFI-MVLEM sebagai Pengembangan dari MVLEM (Kolozvari, 2013)

Pada setiap elemen SFI-MVLEM terdapat 6 buah derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang terletak pada bagian atas dan bawah dari *rigid beam* seperti yang terlihat pada **Gambar 1**. *Degree of freedom* (DOF) tersebut merepresentasikan perpindahan vertikal, horizontal, serta rotasi dari setiap elemen yang juga digunakan untuk melakukan perhitungan regangan normal dalam arah vertikal ($\epsilon_{y,j}$) dan regangan geser ($\gamma_{x,j}$). Sedangkan untuk menghitung regangan normal dalam arah horizontal ($\epsilon_{x,j}$) dibutuhkan penambahan *internal DOF* pada setiap panel elemen dinding sejumlah m buah. Deformasi internal dalam arah horizontal tersebut (δ_x) diasumsikan independen terhadap 6 DOF utamanya (δ_N). Oleh karena itu, *degree of freedom* dari elemen SFI-MVLEM secara keseluruhan berjumlah $(6 + m)$ buah.

Masing-masing panel elemen dinding beton bertulang yang menyusun elemen SFI-MVLEM menggunakan *modified fixed-strut-angle-model* (FSAM) sebagai permodelan elemennya dimana model material beton sesuai dengan yang dipaparkan dalam penelitian oleh Ulugtekin (2010), tetapi modifikasi dilakukan dengan menambahkan faktor *shear aggregate interlock* (η) dan *dowel action* (α) sebagai tambahan kekuatan geser pada spesimen. Secara umum, FSAM digunakan untuk bisa menggambarkan kondisi yang dialami panel beton selama pembebanan. Kondisi tersebut dibagi menjadi 3, yaitu tahapan sebelum beton mengalami retak (*uncracked*), tahapan saat beton mengalami *first crack* dan juga saat mengalami *second crack*.

Selain itu, untuk menggambarkan komponen penyusun panel FSAM, digunakan parameter-parameter material konstitutif untuk beton dan tulangan baja (**Gambar 2**). Material beton, dimodelkan berdasarkan material konstitutif yang dirumuskan oleh Chang dan Mander (1994) dengan beberapa parameter, di antaranya kuat tekan (f_c'), modulus elastisitas (E_c), dan regangan yang terjadi pada tegangan puncak (ϵ_c'). Sedangkan material baja dimodelkan menggunakan material konstitutif oleh Menegotto dan Pinto (1973) dengan parameter-parameter seperti tegangan leleh (f_y') dan rasio *strain hardening* (b), yaitu perbandingan modulus elastisitas pada *strain hardening* (E_I) dengan fase awal atau elastisnya (E_0).



Gambar 2. Material Konstitutif (a) Baja (Menegotto dan Pinto, 1973), dan (b) Beton (Chang dan Mander, 1994)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Proses validasi dilakukan menggunakan elemen SFI-MVLEM pada program *open source* OpenSees. Secara umum, input yang digunakan dalam permodelan dapat dibagi dalam 3 kelompok besar. Kelompok pertama adalah input dimensi, yaitu lebar, tinggi dan ketebalan dinding serta elemen batasnya yang digunakan untuk menempatkan *node* dan menyusun elemen SFI-MVLEM serta panel beton di dalamnya. Kelompok kedua adalah input rasio tulangan arah horizontal dan vertikal untuk mendefinisikan konfigurasi penulangan panel beton. Kelompok terakhir adalah input spesifikasi material beton dan baja berdasarkan parameter-parameter material konstitutifnya masing-masing.

Dalam proses validasi, tolok ukur utama yang digunakan sebagai pembanding adalah grafik histeresis hubungan antara beban lateral dengan perpindahan (*displacement*) yang terjadi. Secara visual akan dilakukan perbandingan pola histeresis untuk menentukan apakah respons yang diprediksi sudah sesuai dengan hasil eksperimennya. Kemudian, dilakukan kalibrasi parameter perlawanan geser berupa *shear aggregate interlock* (η) dan *dowel action* (α) agar diperoleh hasil yang semakin mendekati kondisi eksperimen. Data-data yang digunakan dalam permodelan serta hasil eksperimen yang digunakan sebagai pembanding diperoleh dari literatur penelitian berupa percobaan pada spesimen dinding geser. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari validasi permodelan, dapat diketahui kinerja dan ketepatan elemen yang digunakan, serta batasan-batasan yang dimiliki.

Proses validasi dalam penelitian ini dilakukan pada beberapa spesimen dari berbagai penelitian, di antaranya oleh Burgueno, Liu, dan Hines (2014); Oesterle *et al.* (1976); serta Teng dan Chandra (2016). Spesifikasi dan parameter material yang digunakan dalam permodelan dapat dilihat pada **Tabel 1** hingga **Tabel 3**.

Tabel 1. Spesifikasi Dimensi dan Konfigurasi Penulangan

Nama Spec.	Dimensi					Aspek Rasio	Konfigurasi Penulangan			
	h	l_{web}	t_{web}	l_{bound}	t_{bound}		ρ_{x-web}	ρ_{y-web}	$\rho_{x-bound}$	$\rho_{y-bound}$
	mm	mm	mm	mm	mm		%	%	%	%
Burgueno, Liu, dan Hines (2014)										
M05C	2540	508	76	254	254	2,50	2,44	1,47	2,37	5,56
Teng dan Chandra (2016)										
J7	2200	760	100	120	500	2,20	0,75	0,28	0,31	3,88

Tabel 1. Spesifikasi Dimensi dan Konfigurasi Penulangan (lanjutan)

Oesterle <i>et al.</i> (1976)										
	in	in	in	in	in		%	%	%	%
B5	72	51	4	12	12	2,40	0,63	0,29	1,35	3,67
	108	51	4	12	12		0,63	0,29	0,13	3,67
F1	180	67	4	4	36	2,40	0,71	0,3	0,17	3,89

Tabel 2. Parameter Material Konstitutif Beton

Nama Spec.	Compression - Unconfined				Compression - Confined				Tension		
	f_c'	ϵ'_{c-uc}	E_{c-uc}	r_{c-uc}	f_c'	ϵ'_{c-c}	E_{c-c}	r_{c-c}	f_t	ϵ_t	r_t
	MPa	$\times 10^{-3}$	MPa		MPa	$\times 10^{-3}$	MPa		MPa	$\times 10^{-5}$	
Burgueno, Liu, dan Hines (2014)											
M05C	46,0	2,26	34461,40	6,95	77,7	6,95	41956,84	13,05	2,103	8	1,5
Teng dan Chandra (2016)											
J7	110,7	2,82	47908,36	19,39	127,3	4,14	50486,24	22,73	3,261	8	1,2
Oesterle <i>et al.</i> (1976)											
	ksi	$\times 10^{-3}$	ksi		ksi	$\times 10^{-3}$	ksi		ksi	$\times 10^{-5}$	
B5	6,57	2,25	4997,57	6,86	10,75	9,44	5977,84	12,36	0,3026	8	1,2
	6,57	2,25	4997,57	6,86	6,57	2,25	4997,57	6,86	0,3026	8	1,2
F1	5,58	2,16	4700,67	5,54	5,58	2,16	4700,67	5,54	0,2789	8	1,2

Tabel 3. Parameter Material Konstitutif Baja

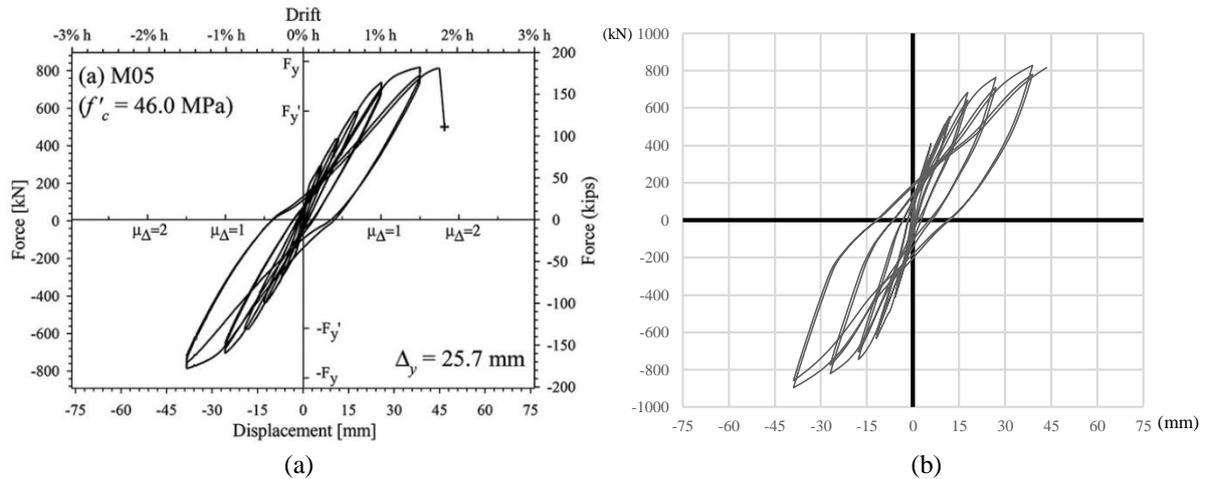
Nama Spec.	Web arah x			Web arah y			Boundary arah x			Boundary arah y		
	f_y	E_s	b	f_y	E_s	b	f_y	E_s	b	f_y	E_s	b
	MPa	MPa		MPa	MPa		MPa	MPa		MPa	MPa	
Burgueno, Liu, dan Hines (2014)												
M05C	445	200000	0,0388	445	200000	0,0388	459	200000	0,0388	524	200000	0,0563
Teng dan Chandra (2016)												
J7	578	176339	0,0050	610	197488	0,0014	617	192981	0,0063	630	185878	0,0050
Oesterle <i>et al.</i> (1976)												
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi	
B5	72,8	31400	0,0066	72,8	31400	0,0066	72,8	31400	0,0066	64,4	29500	0,0110
	72,8	31400	0,0066	72,8	31400	0,0066	69,2	31200	0,0020	64,4	29500	0,0110
F1	76,2	31300	0,0082	76,2	31300	0,0082	72,95	32050	0,0052	64,5	28100	0,0120

4. HASIL VALIDASI DAN PEMBAHASAN

Proses validasi permodelan dilakukan pada 3 kelompok spesimen, yaitu spesimen *rectangular*, *barbell* dan *flanged*. Validasi pada spesimen *rectangular* dilakukan untuk memverifikasi kesimpulan yang diperoleh dari penelitian Kolozvari (2013). Seperti yang telah disimpulkan, diperoleh bahwa elemen SFI-MVLEM mampu memprediksi respons dinding geser *rectangular* dengan baik tetapi penggunaannya terbatas pada dinding dengan aspek rasio di atas 1,0. Hasil validasi pada spesimen *rectangular* tidak dipaparkan dalam makalah ini. Proses validasi dilanjutkan pada spesimen *barbell* dan *flanged* untuk memperluas lingkup spesimen yang diuji dengan hasil sebagai berikut.

4.1. Burgueno, Liu, dan Hines (2014)

Pada **Gambar 3** dapat dilihat perbandingan hasil penelitian Burgueno, Liu, dan Hines (2014) dengan *output* permodelan yang dilakukan berupa grafik hubungan *displacement* dan beban lateral.

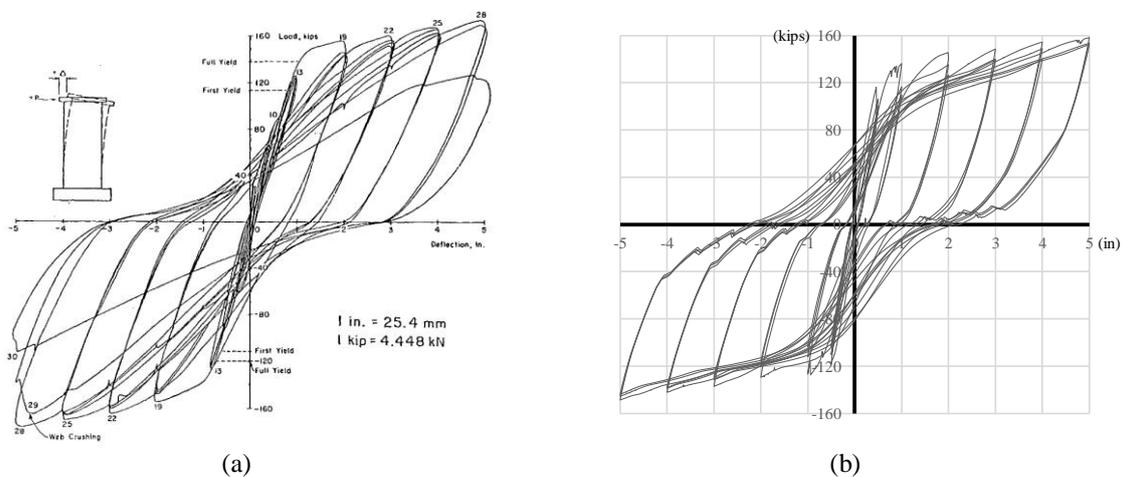


Gambar 3. Grafik Hubungan Beban Lateral dan *Displacement* Spesimen M05C dari (a) Hasil Penelitian Burgueno, Liu, Hines (2014), dan (b) Hasil Permodelan OpenSees

Terlihat adanya kemiripan antara hasil eksperimen dengan hasil permodelan (**Gambar 3**). Hal ini menunjukkan bahwa SFI-MVLEM dapat memprediksi dengan baik perilaku histeresis spesimen yang memiliki bentuk *barbell* dengan aspek rasio yang cukup besar. Tetapi, terdapat perbedaan tingkat beban lateral positif dan negatif pada hasil permodelan. Hal ini diakibatkan sudut keretakan yang diasumsi selalu tetap pada FSAM tidak sesuai dengan keadaan sesungguhnya, yang mana akan muncul retak-retak baru dengan sudut yang berbeda selama pembebanan.

4.2. Oesterle *et al.* (1976)

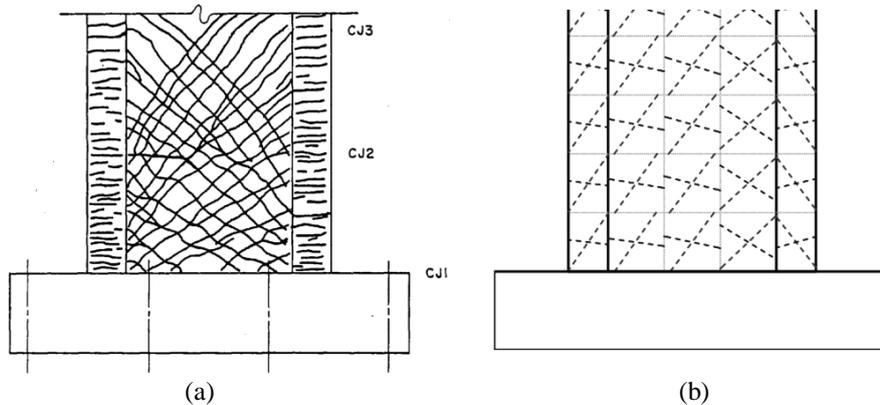
Dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 7** perbandingan hasil penelitian oleh Oesterle *et al.* (1976) dengan *output* permodelan analitis.



Gambar 4. Grafik Hubungan Beban Lateral dan *Displacement* Spesimen B5 dari (a) Hasil Penelitian Oesterle *et al.* (1976), dan (b) Hasil Permodelan SFI-MVLEM

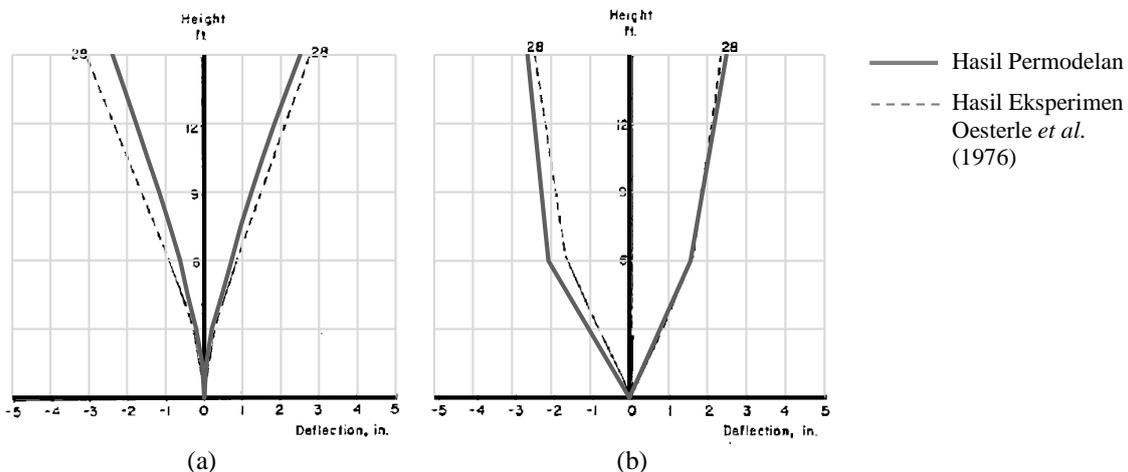
Hasil permodelan B5 (**Gambar 4**) menunjukkan kemiripan bentuk histeresis dengan hasil eksperimennya. Akan tetapi, terjadi tingkat beban lateral yang terprediksi lebih tinggi (hingga kurang lebih 30%) pada tahap-tahap awal pembebanan. Sebaliknya, pada tahapan-tahapan akhir, terjadi tingkat beban lateral lebih rendah 10%-15% dari kondisi aslinya. Akan tetapi, secara umum, hasil permodelan dari segi grafik *force-displacement* sudah cukup representatif.

Dilakukan pula perbandingan hasil berdasarkan pola keretakan seperti yang terlihat pada **Gambar 5**. Dapat dilihat bahwa pola keretakan yang seharusnya simetris menjadi tidak simetris karena penggunaan FSAM seperti yang telah disampaikan sebelumnya. Akan tetapi, penggambaran sudut retak dari permodelan SFI-MVLEM sudah cukup sesuai meskipun tidak seluruhnya tepat.



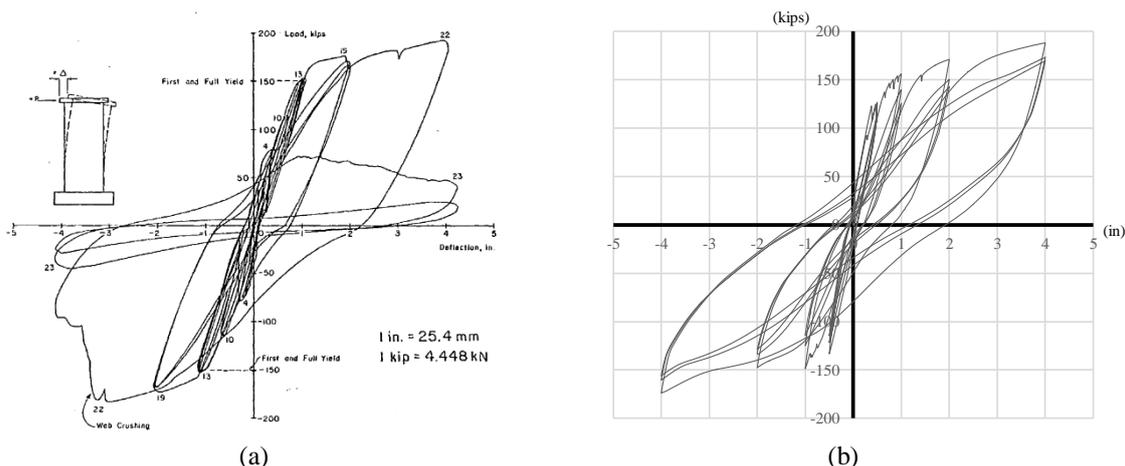
Gambar 5. Pola Keretakan Spesimen B5 dari (a) Hasil Penelitian Oosterle *et al.* (1976), dan (b) Hasil Permodelan SFI-MVLEM

Indikator validasi yang terakhir adalah kontribusi komponen deformasi lentur dan gesernya. Perbandingan dilakukan berdasarkan profil *displacement* geser yang terjadi pada tahapan pembebanan (*drift*) terakhir seperti pada **Gambar 6**. Dapat dilihat bahwa profil *displacement* yang dihasilkan *output* permodelan SFI-MVLEM sudah sesuai dengan hasil eksperimennya, khususnya dalam arah positif. Penyimpangan yang lebih besar terjadi dalam arah negatif, tetapi masih mendekati hasil sebenarnya.



Gambar 6. Displacement Profile (a) Lentur dan (b) Geser Spesimen B5 dari Hasil Penelitian Oosterle *et al.* (1976) dan Hasil Permodelan SFI-MVLEM

Berbeda dengan spesimen-spesimen sebelumnya, pembebanan pada spesimen F1 mengalami perubahan *displacement increment* menjadi 0,5, 1, 2, dan 4 in, sehingga dalam permodelan perubahan yang sama juga dilakukan. Hasil perbandingan spesimen F1 dapat dilihat pada **Gambar 7**.

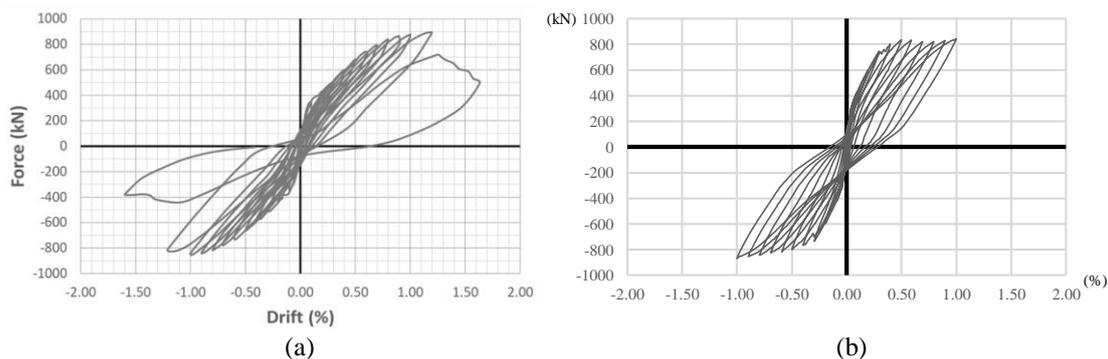


Gambar 7. Grafik Hubungan Beban Lateral dan Displacement Spesimen F1 dari (a) Hasil Penelitian Oosterle *et al.* (1976), dan (b) Hasil Permodelan SFI-MVLEM

Validasi spesimen F1 seperti yang terlihat pada **Gambar 7** memberikan hasil yang cukup baik secara umum. Respons yang terprediksi lebih tinggi pada tahapan awal dan lebih rendah pada tahapan akhir dibandingkan kondisi sebenarnya. Tetapi, *error* yang terjadi dalam permodelan spesimen ini lebih kecil, sehingga tingkat beban lateral yang diperoleh mendekati aslinya. Bentuk histeresis yang terjadi juga cukup representatif sebelum terjadinya kegagalan pada *drift* 4 in siklus pembebanan yang pertama. Kegagalan yang timbul pada saat eksperimen tidak dapat dimodelkan oleh SFI-MVLEM sehingga pembebanan pada model masih berlanjut hingga siklus-siklus berikutnya.

4.3. Teng dan Chandra (2016)

Perbandingan hasil penelitian oleh Teng dan Chandra (2016) dengan permodelan analitis berupa grafik histeresis hubungan beban lateral dan perpindahan dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Grafik Hubungan Beban Lateral dan Displacement Spesimen J7 dari (a) Hasil Penelitian Teng dan Chandra (2016), dan (b) Hasil Permodelan SFI-MVLEM

Sama seperti pada spesimen *barbell* dan *flanged* pada penelitian Oosterle *et al.* (1976), ditemukan pula kecenderungan prediksi yang lebih tinggi dan lebih rendah dari hasil eksperimen pada tahapan awal dan akhir pada spesimen J7. Spesimen J7 memiliki *error* yang lebih besar karena selain beban lateral, juga diberikan beban aksial sebesar $0,05 A_g f_c'$ dengan luasan total yang juga memperhitungkan luas penampang elemen-elemen batasnya. Hal ini menyebabkan beban aksial yang dimodelkan sangat besar, tetapi distribusinya sepanjang penampang dinding dan *flange*-nya tidak terprediksi dengan baik karena *input* pembebanan hanya diberikan pada *node* puncak elemen bagian tengah.

5. KESIMPULAN

Mengacu pada kesimpulan penelitian Kolozvari (2013), elemen SFI-MVLEM mampu memprediksi respons non-linier dinding geser *rectangular* dengan baik, tetapi terbatas pada spesimen dinding dengan aspek rasio di atas 1,0. Berdasarkan validasi lebih lanjut pada spesimen *barbell* dan *flanged*, batasan yang ditetapkan tersebut juga berlaku. Hal ini dikarenakan asumsi resultan tegangan horizontal (σ_x) bernilai 0 tidak sesuai pada dinding pendek (aspek rasio $\leq 1,0$).

Prediksi respons dinding geser dengan elemen batas berupa *barbell* dan *flange* memiliki kecenderungan yang serupa. Terdapat penyimpangan hasil berupa tingkat beban lateral yang lebih tinggi pada tahapan awal pembebanan (*drift* di bawah 1%) dan tingkat beban yang lebih rendah pada tahapan akhir pembebanan (*drift* di atas 2%). Ditemukan pula bahwa penyimpangan yang terjadi lebih besar apabila diberlakukan pembebanan aksial pada dinding *barbell* dan *flanged* karena distribusi beban aksial yang tidak sesuai dengan kondisi aslinya, khususnya pada daerah elemen batas.

Ketidaksesuaian lain yang terjadi adalah tingkat beban lateral yang tidak sama antara arah positif dan negatif sehingga menghasilkan grafik histeresis yang tidak simetris yang disebabkan penggunaan FSAM. Selain itu, dari segi pola kegagalan, SFI-MVLEM tidak mampu memprediksi pola kegagalan berupa *bar buckling* dan *sliding shear* yang sering terjadi pada spesimen dinding. Oleh karena itu, meskipun SFI-MVLEM mampu memprediksi respons selama pembebanan dengan cukup baik, permodelan tidak dapat memprediksi kapasitas ultimit maupun kegagalan yang dialami dengan tepat.

Mengingat adanya keterbatasan dalam permodelan SFI-MVLEM, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk (1) mengembangkan elemen agar mampu memperhitungkan berbagai pola kegagalan yang tidak dapat diprediksi sebelumnya; serta (2) mengetahui pengaruh berbagai parameter permodelan khususnya parameter perlawanan geser *shear aggregate interlock* (η) dan *dowel action* (α) dengan lebih mendetail agar dapat dilakukan kalibrasi dengan lebih akurat.

6. DAFTAR REFERENSI

- Burgueno, R., Liu, X., and Hines, E. M. (2014). "Web Crushing Capacity of High-Strength Concrete Structural Walls: Experimental Study." *ACI Structural Journal*. Vol. 111, No. 2, 37-48.
- Chang, G. A. and Mander, J. B. (1994). *Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns: Part 1 - Evaluation of Seismic Capacity*, Technical Report NCEER-94-0006, National Center for Earthquake Engineering Research, New York.
- Kolozvari, K. (2013). *Analytical Modeling of Cyclic Shear - Flexure Interaction in Reinforced Concrete Structural Walls*, UCLA Electronic Thesis and Dissertations, University of California, Los Angeles.
- Massone, L.M. and Wallace, J. W. (2004), "Load – deformation responses of slender reinforced concrete walls," *ACI Structural Journal*. Vol 101, No. 1, 103-113.s
- Menegotto, M. and Pinto, P. E. (1973). "Method of Analysis for Cyclically Loaded R.C. Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-Elastic Behaviour of Elements Under Combined Normal Force and Bending." *IABSE Reports of The Working Commissions*.
- Oesterle, R. G., Fiorato, A. E., Johal, L. S., Carpenter, J. E., Russell, H. G., and Corley, W. G. (1976). *Earthquake Resistant Structural Walls-Tests of Isolated Walls*, Report to the National Science Foundation, Washington, D.C.
- Orakcal, K., Wallace, J. W., and Conte, J. P. (2004). "Flexural Modeling of Reinforced Concrete Walls - Model Attributes." *ACI Structural Journal*. Vol. 101, No. 5, 688-698.
- Teng, S. and Chandra, J. (2016). "Cyclic Shear Behavior of High-Strength Concrete Structural Walls." *ACI Structural Journal*, V. 113, No. 6, 1335-1345.
- Ulugtekin D. (2010), *Analytical Modeling of Reinforced Concrete Panel Elements Under Reversed Cyclic Loadings*, M.S. Thesis, Bogazici University, Istanbul, Turkey.