

Studi Komparatif Perilaku Nonlinear Slender Shearwall dan Squat Shearwall Terhadap Beban Dinamik

Ryan Wijaya* , Yoyong Arfiadi

Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia

Email: 235119702@students.uajy.ac.id* , yoyong.ar@uajy.ac.id

Kata kunci

slender shearwall, squat shearwall, dynamic response, OpenSees

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi komparatif terhadap dua jenis dinding geser beton bertulang yaitu, slender shearwall dan squat shearwall untuk memahami perbedaan respons dinamis dan perilaku histeretik di bawah beban seismik. Analisis dilakukan melalui pendekatan numerik menggunakan simulasi riwayat waktu dalam perangkat lunak OpenSees, dengan catatan gempa El Centro sebagai input. Studi ini berfokus pada evaluasi perpindahan struktural, gaya, rotasi, momen, dan keuletan berdasarkan hubungan gaya-perpindahan dan momen-rotasi. Hasilnya menunjukkan bahwa dinding geser ramping menunjukkan respons perpindahan yang lebih besar, rotasi plastik yang lebih signifikan, dan kinerja keuletan yang lebih baik ke arah positif. Sebaliknya, squat shearwall menunjukkan kekakuan dan kekuatan lateral yang lebih besar, bersama dengan keuletan yang lebih tinggi ke arah negatif. Karakteristik histeretik dari kedua jenis dinding lebih lanjut mencerminkan dominasi mekanisme struktural yang berbeda. Dinding geser ramping cenderung menunjukkan perilaku lentur, sedangkan dinding geser jongkok terutama diatur oleh aksi geser. Secara keseluruhan, hasil simulasi mengungkapkan bahwa setiap jenis shearwall memiliki keunggulan khususnya sendiri. Shearwall ramping lebih efektif dalam mengakomodasi deformasi plastik, sedangkan squat shearwall unggul dalam menahan gaya lateral yang besar dengan deformasi terbatas. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan desain sistem dinding geser pada bangunan tahan gempa, khususnya di Indonesia.

Keywords:

slender shearwall, squat shearwall, dynamic response, OpenSees

Abstract

This study aims to conduct a comparative investigation of two types of reinforced concrete shear walls namely, slender shearwalls and squat shearwalls in order to understand the differences in their dynamic responses and hysteretic behavior under seismic loading. The analysis was performed through a numerical approach using time history simulation in the OpenSees software, with the El Centro earthquake record as input. The study focuses on evaluating structural displacement, force, rotation, moment, and ductility based on force-displacement and moment-rotation relationships. The results indicate that the slender shearwall exhibits larger displacement responses, more significant plastic rotations, and better ductility performance in the positive direction. Conversely, the squat shearwall demonstrates greater lateral stiffness and strength, along with higher ductility in the negative direction. The hysteretic characteristics of both wall types further reflect the dominance of different structural mechanisms slender shearwalls tend to exhibit flexural behavior, while squat shearwalls are primarily governed by shear action. Overall, the simulation results reveal that each shearwall type has its own distinctive advantages. The slender shearwall is more effective in accommodating plastic deformation, whereas the squat shearwall excels in resisting large lateral forces with limited deformation. These findings are expected to serve as a reference for the design of shear wall systems in earthquake-resistant buildings, particularly in Indonesia.



PENDAHULUAN

Dinding geser (shearwall) merupakan elemen struktur vital pada bangunan bertingkat, khususnya di daerah rawan gempa seperti Indonesia (Kusuma, 2020; Putra et al., 2023). Posisi geografis Indonesia yang berada di kawasan Ring of Fire menyebabkan frekuensi gempa tinggi, sehingga desain bangunan harus mempertimbangkan ketahanan terhadap gaya lateral. Shearwall berfungsi sebagai penopang utama yang menyerap dan menahan energi gempa, sehingga mengurangi risiko keruntuhan. Selain itu, keberadaan shearwall juga berperan dalam mengurangi simpangan antar lantai, melindungi elemen non-struktural seperti dinding partisi, kaca, dan instalasi listrik agar tidak mengalami kerusakan parah. Dengan kata lain, shearwall tidak hanya menyelamatkan nyawa, tetapi juga meminimalkan kerugian material selama bencana (Dewi, 2025).

Shearwall tidak memiliki bentuk dan dimensi yang seragam, melainkan dirancang berdasarkan fungsi serta karakteristik struktur bangunan. Perbandingan tinggi terhadap lebar dinding (h/l) menjadi salah satu parameter penting yang memengaruhi kinerja saat gempa. Berdasarkan standar ASCE 41-17, shearwall diklasifikasikan menjadi slender shearwall (langsing) dengan rasio $h/l > 3$, serta squat shearwall (pendek) dengan rasio $h/l < 1,5$ (Sattar dkk., 2022). Geometri ini sangat menentukan perilaku struktur, di mana slender shearwall lebih dipengaruhi oleh respons lentur (flexural-dominated), sedangkan squat shearwall cenderung mengalami respons geser (shear-dominated).

Penelitian mengenai perbedaan kedua tipe shearwall ini telah berkembang pesat. Loa dkk. (2022) mengkaji slender shearwall dengan tulangan minimal melalui eksperimen dan pemodelan numerik, menemukan pengaruh signifikan pada kapasitas beban lateral dan mode keruntuhan. Robazza (2019) juga menegaskan bahwa geometri memengaruhi disipasi energi dan deformasi lateral. Cheng dan Zhang (2021) menambahkan bahwa kombinasi tarik aksial dan lentur pada slender shearwall dapat mengurangi kapasitas deformasi lateral secara drastis. Penelitian ini memberikan dasar ilmiah penting untuk optimasi desain shearwall.

Dari sisi squat shearwall, penelitian Sharifi dan Shafieian (2018) menunjukkan bahwa degradasi kekakuan terjadi lebih cepat dibandingkan pada slender shearwall. Habib dkk. (2025) mengungkapkan bahwa squat shearwall memiliki karakteristik disipasi energi yang unik, tetapi dengan daktilitas yang relatif rendah dan kerentanan terhadap retak diagonal. Temuan ini diperkuat oleh Thomsen IV dan Wallace (2004), serta Paulay dan Priestly (1992), yang menekankan pentingnya memahami perbedaan mekanisme keruntuhan antara kedua tipe dinding ini. Kuang dan Ho (2008) juga menyoroti sifat getas pada kegagalan geser squat shearwall, berbeda dengan keruntuhan lentur yang lebih daktil pada slender shearwall.

Selain geometri, lokasi penempatan shearwall dalam struktur bangunan sangat memengaruhi kinerja seismik. Reshma dkk. (2021) menemukan bahwa posisi shearwall yang optimal dapat menurunkan simpangan antar lantai secara signifikan. Reddy dkk. (2024) menegaskan bahwa penempatan shearwall di sudut bangunan cenderung memberikan kinerja terbaik dalam mengurangi perpindahan lateral dan distribusi gaya geser. Rajbanshi dkk. (2020) menambahkan bahwa peningkatan kapasitas aksial dan lentur dapat dicapai dengan modifikasi elemen boundaries pada slender shearwall.

Dalam analisis struktural, pendekatan linear masih sering digunakan karena praktis dan efisien. Namun, penelitian Esmaeiltabar dkk. (2019) menunjukkan bahwa analisis linear

kurang akurat untuk memprediksi respons pada kondisi gempa besar, dengan potensi meremehkan deformasi hingga 40%. Oleh karena itu, analisis nonlinear menjadi penting karena mampu memodelkan perilaku histeretik, degradasi kekakuan, serta disipasi energi dengan lebih realistis. Metode ini juga memberikan gambaran yang lebih tepat mengenai kapasitas deformasi dan mekanisme keruntuhan.

Kemajuan teknologi komputasi mendukung penggunaan perangkat lunak berbasis elemen hingga, seperti OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation), yang banyak digunakan untuk analisis nonlinear. OpenSees unggul dalam pemodelan perilaku histeretik kompleks dan kompatibel dengan berbagai model konstitutif material. Validasi oleh Lu dkk. (2016) menunjukkan bahwa hasil simulasi OpenSees sesuai dengan data eksperimen shearwall. Selain itu, perangkat ini memungkinkan analisis menggunakan data rekaman gempa nyata, misalnya gempa El Centro, yang sering digunakan karena spektrum frekuensi dan amplitudonya mencakup berbagai kondisi beban.

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan, terdapat gap signifikan dalam studi komparatif mengenai perilaku nonlinear slender dan squat shearwall. Penelitian terdahulu umumnya hanya fokus pada satu tipe dinding, seperti studi Loa dkk. (2022) pada slender shearwall atau Habib dkk. (2025) pada squat shearwall. Masih sedikit penelitian yang membandingkan secara langsung kinerja kedua tipe ini dalam aspek kapasitas maksimum, daktilitas, dan disipasi energi menggunakan parameter analisis yang sama. Hal ini menjadi tantangan sekaligus peluang penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis komparatif terhadap perilaku histeretik dan respons perpindahan waktu kedua tipe shearwall menggunakan OpenSees. Fokus penelitian meliputi tiga parameter utama: kapasitas maksimum, karakteristik daktilitas, dan kemampuan disipasi energi. Hasil studi diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan desain berbasis kinerja (performance-based design) serta penyempurnaan pedoman desain shearwall di Indonesia, sehingga bangunan lebih tangguh terhadap beban gempa.

Penelitian ini memiliki nilai keaslian signifikan dalam bidang rekayasa struktur tahan gempa dengan fokus pada analisis komparatif komprehensif antara slender shearwall dan squat shearwall, di mana semua parameter dikontrol ketat kecuali rasio tinggi terhadap lebar, sehingga pengaruh geometri terhadap perilaku nonlinear struktur dapat diisolasi. Keunikan penelitian ini terletak pada penggunaan rekaman gempa El Centro sebagai input beban dinamik yang lebih merepresentasikan kondisi nyata dibandingkan pembebanan konvensional, serta pemanfaatan perangkat lunak OpenSees yang masih jarang digunakan dalam studi komparatif, mengingat mayoritas penelitian terdahulu cenderung memakai perangkat lunak konvensional. Selain itu, pemodelan detail dalam OpenSees dengan pendekatan material beton dan tulangan nonlinear memungkinkan simulasi perilaku aktual shearwall secara akurat. Pendekatan analisis yang dilakukan mencakup respons perpindahan-waktu, kurva histeretik gaya-perpindahan, dan kurva histeretik momen-rotasi secara simultan, yang memberikan pemahaman holistik mengenai mekanisme disipasi energi dan perbedaan mendasar kinerja kedua tipe shearwall, sehingga menghasilkan kontribusi baru baik secara teoretis maupun praktis dalam pengembangan desain struktur tahan gempa di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Ide penelitian ini berawal dari kajian literatur terhadap berbagai jurnal di bidang teknik sipil, khususnya pada topik struktur bangunan. Dari hasil review tersebut, shearwall menjadi topik yang menarik untuk diteliti karena perannya yang sangat penting dalam ketahanan struktur terhadap gempa. Meskipun banyak penelitian mengenai shearwall telah dilakukan, peneliti menemukan adanya gap penelitian, terutama pada perbandingan tipe shearwall berbasis analisis numerik. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada aspek penempatan shearwall dalam struktur bertingkat, perbandingan struktur dengan atau tanpa shearwall, serta pengembangan model satu tipe shearwall. Selain itu, masih banyak studi perilaku shearwall yang menggunakan pembebanan siklik konvensional, sehingga kurang akurat dalam menggambarkan respons dinamis akibat gempa. Penelitian yang menggunakan perangkat lunak OpenSees untuk studi komparatif antar tipe shearwall juga masih jarang, padahal software ini memiliki kemampuan analisis nonlinear yang lebih representatif.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dirancang untuk menganalisis perilaku dua tipe shearwall (slender dan squat shearwall) berdasarkan perbedaan rasio tinggi terhadap lebar (h/l) melalui analisis dinamik berbasis numerik. Software yang digunakan adalah OpenSees dengan pembebanan siklik berupa percepatan gempa El Centro. Parameter yang akan dianalisis meliputi kurva respons (displacement-time), kurva histeresis (force-displacement), dan kurva histeresis (moment-rotation). Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan sistematis, mulai dari kajian literatur, pembelajaran software, perencanaan geometri dan sifat material model, pemodelan struktur, simulasi respons dinamik, perekaman data, pengolahan output, analisis hasil, hingga penarikan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Respons Perpindahan

Respons perpindahan struktur merupakan indikator penting dalam mengevaluasi kinerja seismik suatu elemen bangunan. Berdasarkan hasil simulasi numerik dengan input gempa El Centro (1951) melalui OpenSees, diperoleh respons perpindahan puncak dari dua tipe shearwall yaitu slender shearwall dan squat shearwall.

Slender shearwall menunjukkan respons perpindahan yang lebih besar dan lebih dinamis dibandingkan squat shearwall. Dari grafik dapat diamati bahwa perpindahan puncak maksimum pada slender shearwall mencapai nilai sekitar +0,0634 meter pada detik ke-5,085 dan -0,0666 pada detik ke-5,68. Pola getarannya bersifat dominan dan berosilasi cukup panjang selama durasi 20 detik, yang mencerminkan karakteristik struktur lebih fleksibel. Hal ini sejalan dengan temuan Paulay dan Priestly (1992), yang menyatakan bahwa shearwall dengan rasio tinggi terhadap lebar (slender) cenderung memiliki deformasi dominan akibat lentur. Karakteristik ini menyebabkan struktur merespons beban gempa dengan perpindahan lateral yang lebih besar dan durasi osilasi yang lebih panjang.

Sebaliknya, squat shearwall menunjukkan respons perpindahan yang jauh lebih kecil dan cepat teredam. Perpindahan puncak maksimum hanya mencapai sekitar +0,0214 meter pada detik ke-1,71 dan -0,0219 meter pada detik ke-1,055. Getaran cepat mereda setelah 10 detik, menandakan bahwa squat shearwall memiliki kekakuan lateral yang tinggi dan performa

redaman alami yang baik. Karakteristik ini memang sesuai dengan pembahasan Paulay dan Priestly (1992), yang mengklasifikasikan squat shearwall sebagai elemen dengan deformasi dominan gaya geser sehingga kurang fleksibel namun memiliki kapasitas geser yang tinggi dan mampu meredam getaran secara lebih cepat.

Ketika kedua grafik dibandingkan langsung, terlihat bahwa amplitudo perpindahan slender shearwall secara konsisten lebih besar daripada squat shearwall sepanjang waktu. Slender shearwall mengalami osilasi bolak-balik yang lebih mencolok dan dalam durasi yang lebih panjang. Hal ini menunjukkan bahwa dinding dengan aspek rasio tinggi cenderung menyerap dan menyalurkan energi gempa melalui deformasi lentur yang signifikan. Sementara itu, squat shearwall lebih dominan mengalami deformasi geser dan cenderung cepat mengurangi respons dinamisnya.

Perbedaan ini menjadi penting dalam konteks desain struktur tahan gempa. Slender shearwall memberikan kapasitas deformasi lebih besar, namun juga memerlukan detailing tulangan yang lebih hati-hati untuk mencegah keruntuhan akibat lentur. Sebaliknya, squat shearwall lebih unggul dari sisi kekakuan dan kontrol deformasi, namun berisiko mengalami keruntuhan geser jika tidak dirancang secara memadai. Oleh karena itu, pemilihan jenis shearwall sangat dipengaruhi oleh kebutuhan performa struktur dan strategi desain seismik yang diterapkan.

Perilaku Histeresis Hubungan Antara Gaya Dasar dan Perpindahan Puncak

Perilaku histeresis merupakan parameter kunci dalam mengevaluasi disipasi energi dan daktilitas struktur terutama struktur shearwall yang ditunjukkan melalui kurva hubungan gaya-perpindahan. Berdasarkan hasil simulasi time history dengan input gempa El Centro (1951) dari OpenSees, kedua tipe shearwall menunjukkan karakteristik histeresis yang berbeda secara signifikan seperti yang disajikan pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5. Analisis perilaku histeresis ini tidak hanya memberikan gambaran tentang respons siklik struktur selama gempa, tetapi juga memungkinkan evaluasi kuantitatif terhadap parameter daktilitas yang menjadi indikator penting dalam desain struktur tahan gempa.

Slender shearwall menunjukkan perilaku histeresis yang didominasi oleh mekanisme lentur dengan kurva yang relatif ramping dan area loop histeresis lebih kecil. Kurva ini berbentuk spindle dengan gaya dasar maksimum mencapai sekitar +667,604 kN dan -673,361 kN pada saat perpindahan puncaknya berturut-turut sekitar +0,0634 m dan -0,0666 m. Nilai perpindahan puncak tersebut menjadi nilai perpindahan puncak maksimum yang sesuai dengan analisis grafik respons slender shearwall sebelumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur ini memiliki kekakuan lateral yang relatif rendah namun mampu mengalami deformasi besar sebelum mencapai keruntuhan. Area loop histeresis yang lebih sempit menunjukkan bahwa meskipun slender shearwall telah mengalami deformasi inelastis, kapasitas disipasi energinya masih relatif terbatas pada setiap siklus pembebanan.

Sebaliknya, squat shearwall menunjukkan perilaku histeresis yang sangat berbeda dengan kurva yang lebih gemuk dan area loop yang luas. Gaya dasar maksimum mencapai nilai yang lebih tinggi sekitar +1706,67 kN dan -1841,77 kN pada saat perpindahan puncaknya berturut-turut sekitar +0,0214 m dan -0,0219 m. Nilai perpindahan puncak tersebut juga telah sesuai dengan analisis grafik respons squat shearwall sebelumnya. Hal ini mencerminkan bahwa

kekakuan lateral dinding ini sangat tinggi. Loop histeresis yang lebar dan penuh mengindikasikan kapasitas disipasi energi yang sangat baik melalui mekanisme deformasi geser dan plastifikasi yang lebih merata, serta bentuk kurva yang stabil tanpa degradasi kekakuan yang signifikan.

Untuk memberikan analisis yang lebih komprehensif, kurva backbone dari kedua tipe shearwall dibandingkan. Kurva backbone merupakan kurva envelope yang menghubungkan titik-titik puncak gaya dan perpindahan dari setiap siklus histeresis, sehingga memberikan gambaran kapasitas maksimum struktur pada setiap tingkat perpindahan tanpa efek degradasi siklik. Selain itu, kurva ini juga membantu mengidentifikasi titik leleh dan titik ultimit kedua tipe shearwall ini.

Tabel 1. Rekapitulasi Parameter-Parameter Kritis (Perpindahan) Kedua Tipe Shearwall

Parameter		<i>Slender Shearwall</i>	<i>Squat Shearwall</i>
Perpindahan Puncak (m)	Positif	Leleh	+0,0475
		Maksimum	+0,0634
		Ultimit	+0,0532
	Negatif	Leleh	-0,0451
		Maksimum	-0,0666
		Ultimit	-0,0563

Berdasarkan Tabel 1, daktilitas perpindahan struktur kedua tipe *shearwall* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots (5.1)$$

Dimana, Δ_u = perpindahan ultimit (m) dan Δ_y = perpindahan *yield/leleh* Pada *slender shearwall*, daktilitas perpindahan yang dihasilkan sebesar 1,12 untuk arah positif dan 1,25 untuk arah negatif. Sementara nilai daktilitas pada *squat shearwall* diperoleh sebesar 1,08 untuk arah positif dan 2,36 untuk arah negatif.

Dari perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa *slender shearwall* menunjukkan daktilitas perpindahan yang lebih tinggi dibandingkan *squat shearwall* pada arah positif, dengan selisih sekitar 3,69%. Hasil ini sejalan dengan karakteristik geometri ramping (*slender*) yang secara umum lebih fleksibel dan didominasi oleh deformasi lentur, sehingga memungkinkan struktur mengalami deformasi inelastik lebih besar sebelum mencapai kondisi ultimit. Sebaliknya, *squat shearwall* yang lebih kaku dan pendek cenderung memiliki batas deformasi yang lebih rendah pada arah positif, yang menyebabkan daktilitasnya lebih terbatas.

Namun pada arah negatif, hasil simulasi menunjukkan bahwa *squat shearwall* justru memiliki daktilitas perpindahan yang jauh lebih tinggi dibandingkan *slender shearwall*. Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan respons numerik yang dihasilkan, di mana *squat shearwall* mengalami nilai perpindahan leleh yang jauh lebih kecil dibandingkan nilai ultimitnya, sehingga menghasilkan rasio daktilitas yang besar. Sebaliknya, pada *slender shearwall*, meskipun nilai perpindahan ultimit lebih tinggi secara absolut, namun nilai lelehnya juga besar, sehingga rasio daktilitas relatif lebih rendah.

Berdasarkan hasil analisis daktilitas perpindahan dapat disimpulkan bahwa *slender shearwall* lebih daktil pada arah positif, sementara *squat shearwall* menunjukkan daktilitas yang lebih tinggi pada arah negatif. Dengan demikian, tidak terdapat satu tipe *shearwall* yang

proporsional. Dengan kata lain, hubungan antara rotasi dan perpindahan di ujung *shearwall* ($\theta = \frac{\Delta}{H}$) bersifat langsung dan tetap, sehingga rasio perubahan keduanya pun identik.

Tinjauan daktilitas rotasi kedua *shearwall* ini juga menunjukkan bahwa *slender shearwall* memiliki daktilitas rotasi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan *squat shearwall* pada arah positif, sedangkan pada arah negatif *squat shearwall* menunjukkan daktilitas rotasi yang jauh lebih besar. Pola ini konsisten dengan hasil analisis daktilitas perpindahan sebelumnya, mengingat hubungan antara rotasi dan perpindahan bersifat linier dan proporsional. Hasil ini menegaskan bahwa perbedaan geometri berpengaruh signifikan terhadap kapasitas deformasi plastis masing-masing tipe *shearwall*, baik dalam bentuk perpindahan maupun rotasi.

Validasi Model

Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Eksperimen Terdahulu

Validasi model dilakukan dengan membandingkan tiga parameter utama dari hasil simulasi terhadap data eksperimen terdahulu, yaitu gaya lateral maksimum, perpindahan puncak, dan daktilitas, baik untuk dinding geser tipe *slender* maupun *squat*. Eksperimen terdahulu yang dimaksud adalah studi yang dilakukan oleh Aghniaey dkk. (2021) dan Jin dkk. (2023). Parameter-parameter hasil simulasi dan eksperimen direkap ke dalam Tabel 2. Fokus utama pembahasan ini adalah untuk menilai apakah hasil simulasi masih berada dalam batas perilaku yang masuk akal secara struktural dan seismik.

Tabel 2. Parameter-Parameter Hasil Simulasi dan Eksperimen Terdahulu

Parameter	Simulasi		Eksperimental	
	<i>Slender Shearwall</i>	<i>Squat Shearwall</i>	<i>Slender Shearwall</i>	<i>Squat Shearwall</i>
Gaya Maksimum (kN)	667,604	1706,670	599,000	676,100
Perpindahan Maksimum (m)	0,0634	0,0214	0,0791	0,0071
Daktilitas Perpindahan (+)	1,12	1,08	2,04	2,63

Pada *slender shearwall*, simulasi *time history* menghasilkan gaya maksimum, perpindahan maksimum, dan daktilitas berturut-turut sebesar 667,604 kN, 0,0634 m, dan 1,12. Nilai ini dibandingkan dengan hasil studi eksperimental yang dilakukan oleh Aghniaey dkk. (2021). Studi tersebut melaporkan bahwa dinding WIHS dengan rasio kelangsingan 3,0 menghasilkan gaya maksimum sebesar 599,000 kN, perpindahan maksimum sekitar 0,0791 m, dan daktilitas sekitar 2,04. Secara garis besar, hasil simulasi masih berada dalam rentang yang sebanding dengan hasil eksperimen tersebut. Perbedaan kecil ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor penting seperti perbedaan material, dimensi dan penampang, dan lain-lain. Selain itu, karakteristik utama *slender shearwall* sangat dipengaruhi oleh aspek rasio tinggi-lebar yang menyebabkan respons dominan lentur.

Beralih ke *squat shearwall*, berdasarkan hasil simulasi diperoleh gaya maksimum, perpindahan maksimum, dan daktilitas masing-masing sebesar 1706,670 kN, 0,0214 m, dan

1,08. Sementara itu, studi yang dilakukan oleh Jin dkk. (2023) melaporkan bahwa spesimen yang diuji menghasilkan gaya maksimum sebesar 676,100 kN, perpindahan maksimum sekitar 0,0071 m, dan daktilitas sekitar 2,63. Hasil perbandingan ini cukup berbeda terutama besarnya gaya maksimum. Perbedaan mencolok ini disebabkan oleh besarnya beban aksial dan beban lateral yang digunakan. Hal ini dikarenakan karakteristik squat shearwall dominan dipengaruhi oleh besarnya kombinasi beban aksial dan beban lateral yang digunakan. Selain itu, perbedaan material, dimensi, dan penampang juga cukup memengaruhi karakteristik dinding ini.

Dengan mempertimbangkan semua faktor di atas, dapat disimpulkan bahwa meskipun terdapat perbedaan, hasil simulasi tetap mencerminkan tren perilaku yang wajar dan dapat diterima secara teknis, khususnya dari segi nilai daktilitas yang dihasilkan. Simulasi menunjukkan bahwa model mampu menangkap karakteristik utama dari kedua jenis dinding, meskipun tidak persis menyamai nilai absolut yang dihasilkan dari eksperimen terdahulu. Hal ini memang wajar mengingat berbagai perbedaan dalam material, dimensi, besarnya beban, dan skenario pembebanan.

Tren Daktilitas

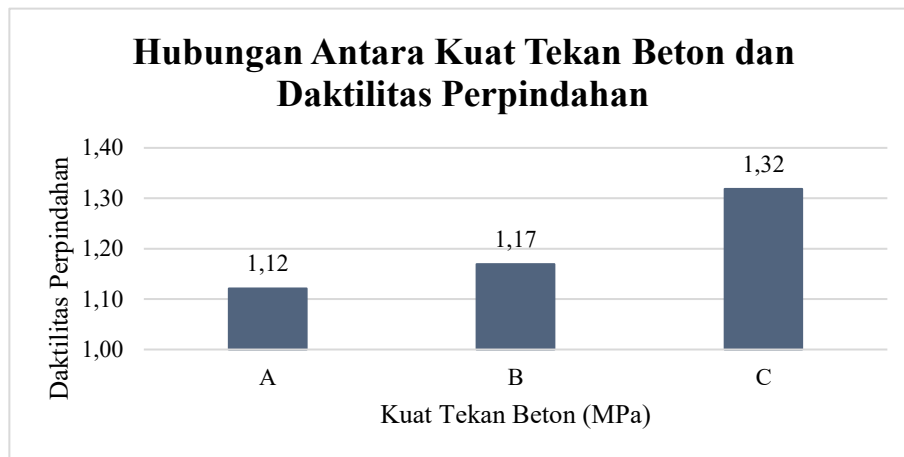
Model numerik yang disusun dalam studi ini perlu dipastikan lebih lanjut apakah benar merepresentasikan perilaku struktur beton bertulang secara realistis. Hal ini dilakukan dengan validasi berbasis tren daktilitas terhadap variasi parameter material utama yaitu kuat tekan beton (f_c') dan mutu baja tulangan (f_y). Validasi ini tidak bertujuan untuk menyamai hasil numerik dengan eksperimen secara absolut, melainkan untuk mengevaluasi apakah model mampu menangkap kecenderungan perilaku struktur yang telah diketahui secara teoritis dan eksperimental.

Salah satu parameter penting yang ditinjau adalah daktilitas perpindahan, karena parameter ini mencerminkan kemampuan struktur dalam menahan deformasi inelastik sebelum mengalami keruntuhan. Secara umum, pada struktur beton bertulang, peningkatan nilai f_c' diharapkan dapat meningkatkan kapasitas deformasi dan kekuatan lentur elemen struktur, sehingga nilai daktilitas perpindahan seharusnya meningkat. Sebaliknya, peningkatan f_y sering kali menghasilkan peningkatan kekakuan awal elemen, yang dapat memperbesar nilai perpindahan leleh, namun tidak selalu diimbangi dengan peningkatan signifikan pada perpindahan ultimat. Oleh karena itu, secara teoritis, kenaikan f_y justru dapat menurunkan nilai daktilitas perpindahan.

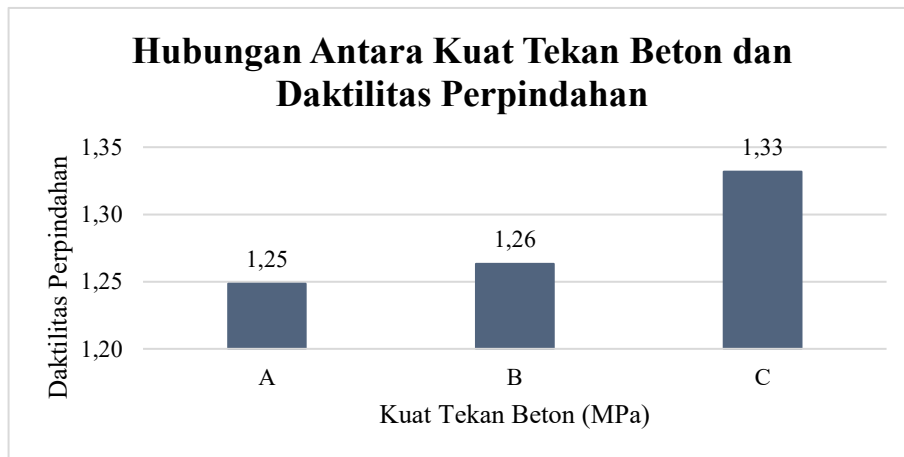
Tren daktilitas akan dianalisis berdasarkan hasil simulasi dengan berbagai variasi nilai f_c' dan f_y , untuk menilai apakah model numerik telah menghasilkan respons struktur yang konsisten dengan perilaku teoritis. Apabila tren yang diperoleh sejalan dengan ekspektasi teoritis, maka model numerik dapat dikatakan telah berhasil merepresentasikan respons inelastik struktur dengan baik.

Tabel 3. Rekapitulasi Variasi f_c' dan f_y

Tipe Shearwall	f_c' (MPa)			f_y (MPa)		
	A	B	C			
Slender Shearwall	30-28 (Daerah Confined - Daerah Unconfined)	40-38 (Daerah Confined - Daerah Unconfined)	50-48 (Daerah Confined - Daerah Unconfined)	420	520	620
Squat Shearwall						

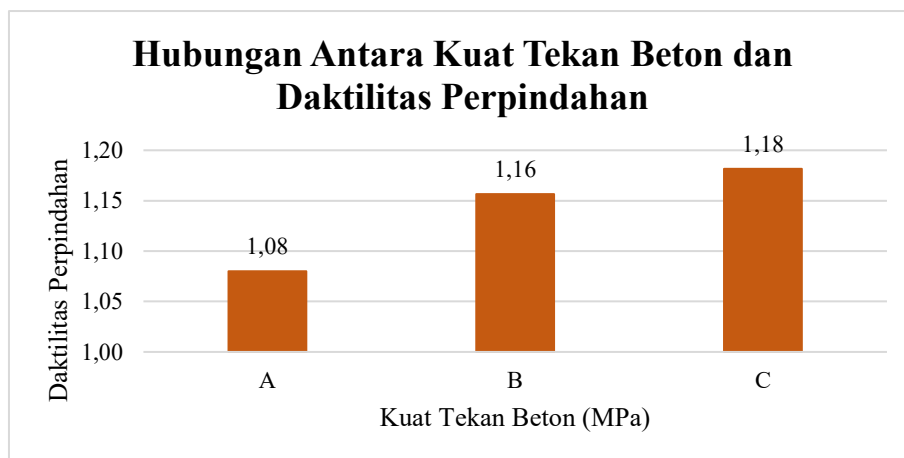


(a)

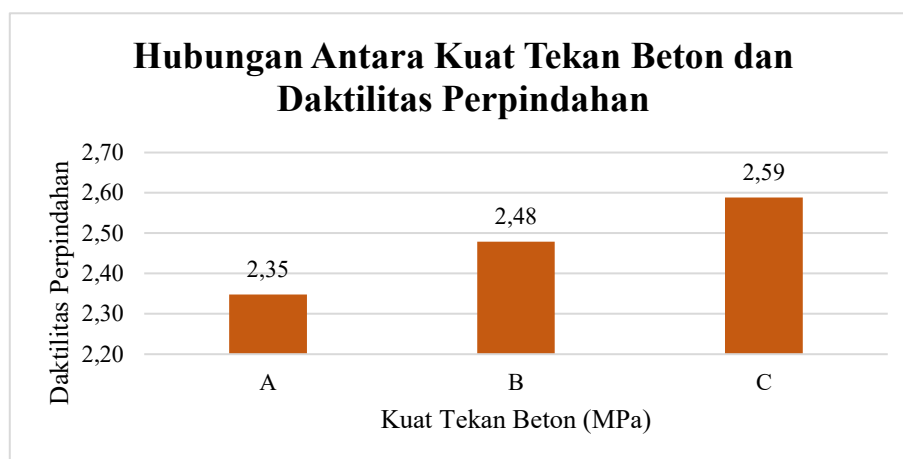


(b)

Gambar 1. Tren Daktilitas Perpindahan Slender Shearwall dengan Variasi f_c' : (a) Arah Positif; (b) Arah Negatif



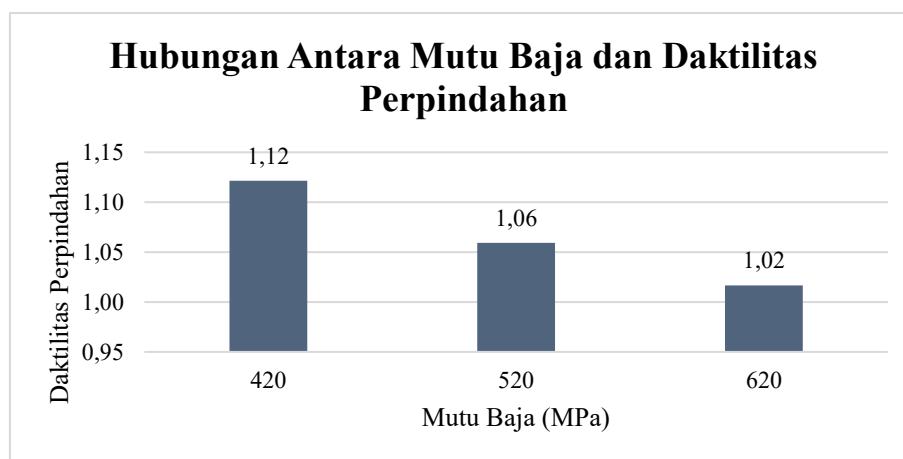
(a)



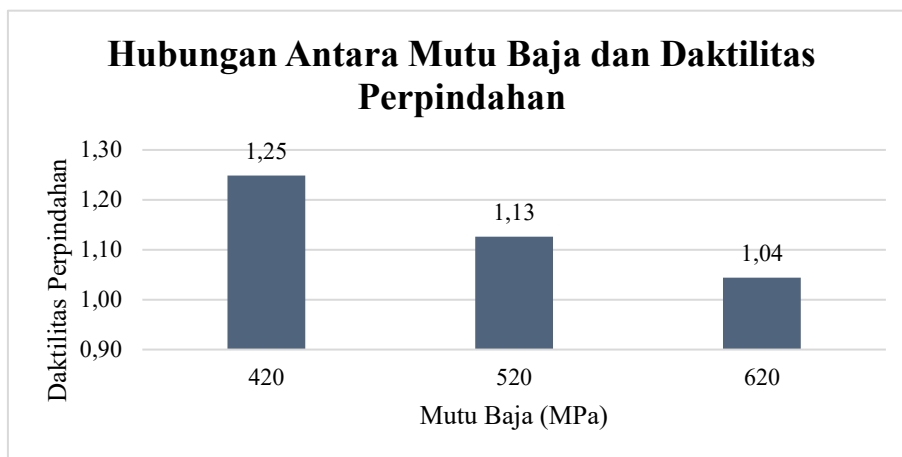
(b)

Gambar 2. Tren Daktilitas Perpindahan Squat Shearwall dengan Variasi f_c' : (a) Arah Positif; (b) Arah Negatif

Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan hubungan antara variasi kuat tekan beton (f_c') dengan daktilitas perpindahan pada model *slender shearwall* dan *squat shearwall*, baik pada arah positif maupun negatif. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton menghasilkan kecenderungan peningkatan daktilitas perpindahan, baik pada arah positif maupun negatif. Hal ini menunjukkan bahwa beton dengan mutu lebih tinggi memberikan kapasitas deformasi plastis yang lebih baik sebelum mencapai kondisi ultimit. Tren ini sesuai dengan prinsip dasar perilaku beton bertulang, di mana beton berkualitas lebih tinggi mampu mempertahankan kekuatan dan integritas struktural selama deformasi inelastis, sehingga menghasilkan daktilitas yang lebih baik.

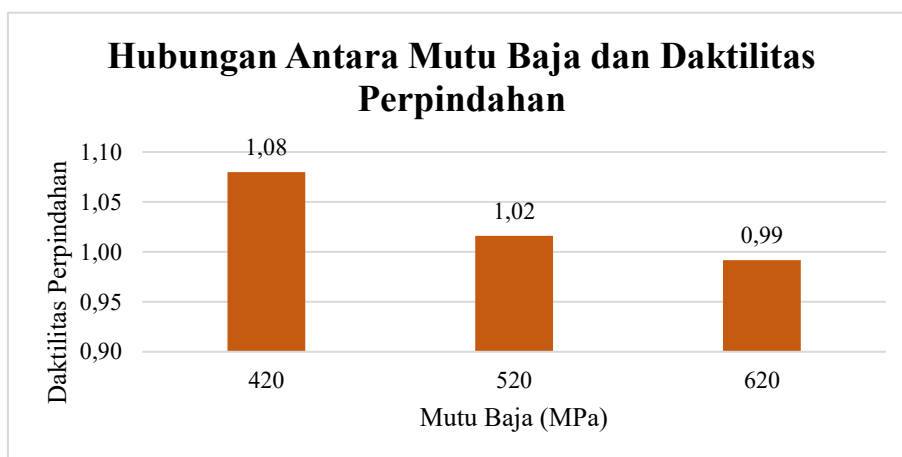


(a)

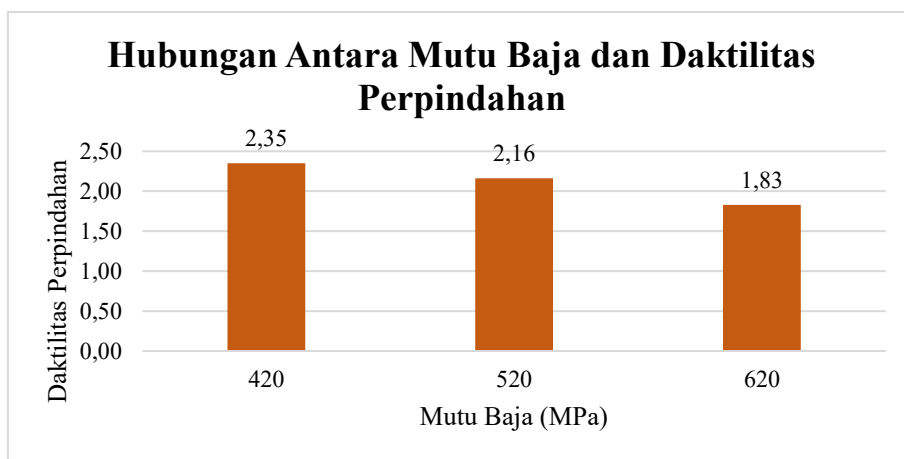


(b)

Gambar 3. Tren Daktilitas Perpindahan *Slender Shearwall* dengan Variasi f_y : (a) Arah Positif; (b) Arah Negatif



(a)



(b)

Gambar 4. Tren Daktilitas Perpindahan *Squat Shearwall* dengan Variasi f_y : (a) Arah Positif; (b) Arah Negatif

Sementara itu, Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan pengaruh variasi mutu baja tulangan terhadap daktilitas perpindahan pada kedua tipe *shearwall*. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan mutu baja justru menurunkan daktilitas perpindahan, baik untuk arah positif maupun negatif. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekakuan akibat tingginya tegangan leleh baja, yang mengurangi kemampuan struktur untuk mengalami deformasi plastis pasca-leleh. Dengan demikian, semakin tinggi nilai f_y , maka perpindahan leleh menjadi lebih besar, sementara perpindahan ultimit tidak meningkat secara signifikan, sehingga rasio daktilitas menjadi lebih kecil.

Dari kedua hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa model simulasi menunjukkan tren yang sesuai dengan teori yang telah ada. Peningkatan mutu beton meningkatkan daktilitas, sementara peningkatan mutu baja cenderung menurunkan daktilitas. Pola-pola ini mengindikasikan bahwa model numerik telah berperilaku secara logis dan realistis, sehingga valid untuk merepresentasikan perilaku nonlinear elemen shearwall dalam konteks simulasi numerik.

KESIMPULAN

Studi komparatif antara slender shearwall dan squat shearwall ini bertujuan untuk memahami serta membandingkan respons dinamik dan perilaku histeresis kedua tipe dinding geser terhadap beban gempa El Centro. Analisis dilakukan dengan pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak OpenSees, yang memungkinkan simulasi perilaku nonlinear secara detail. Tiga aspek utama yang dianalisis meliputi respons perpindahan (*displacement-time*), perilaku histeresis dalam hubungan gaya-perpindahan (*force-displacement*), dan perilaku histeresis dalam hubungan momen-rotasi (*moment-rotation*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa slender shearwall memiliki respons perpindahan yang lebih besar dan osilasi lebih panjang, mencerminkan dominasi deformasi lentur akibat rasio tinggi terhadap lebar yang besar. Sebaliknya, squat shearwall menunjukkan respons perpindahan yang lebih kecil dan kaku, dengan kemampuan menahan gaya lateral yang lebih tinggi namun deformasi lateral yang lebih terbatas.

Dalam hal perilaku histeresis, slender shearwall mampu menyerap energi gempa dengan deformasi lateral yang lebih besar meskipun dengan gaya yang relatif lebih rendah, sedangkan squat shearwall menahan gaya lateral yang tinggi dengan deformasi kecil karena dominasi kekuatan tekan dan geser. Analisis momen-rotasi mengungkap bahwa slender shearwall dapat menahan rotasi plastis dalam jumlah besar sebelum kehilangan kekuatan, sedangkan squat shearwall lebih cepat mencapai batas rotasinya meskipun dapat menahan momen tinggi. Secara keseluruhan, perbedaan performa kedua tipe shearwall dipengaruhi oleh rasio geometri, arah pembebanan, dan mekanisme dominan (lentur atau geser). Oleh karena itu, pemilihan tipe shearwall untuk struktur tahan gempa harus mempertimbangkan keseimbangan antara kekakuan, kekuatan, dan daktilitas dua arah untuk mencapai strategi disipasi energi yang optimal.

REFERENCES

Aghniaey, N., Saatcioglu, M., dan Aoude, H. (2021). Behaviour of slender concrete shear walls with high-strength reinforcement under reverse cyclic loading. *Canadian Journal of Civil*

- Engineering, 48(11), 1467–1480. <https://doi.org/10.1139/cjce-2020-0428>
- Robazza, B. R. (2019). Experimental and Numerical Investigations of Ductile Slender Reinforced Masonry Shear Walls Subjected to In-Plane Seismic Loads. University of British Columbia. <http://hdl.handle.net/2429/72010>
- Cheng, X., dan Zhang, H. (2021). Numerical Modelling of Reinforced Concrete Slender Walls Subjected to Coupled Axial Tension–Flexure. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s40069-021-00471-y>
- Dewi, N. S. (2025). *Penerapan Ibprp Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan Shear Wall Studi kasus: Proyek Pembangunan Gedung Ibu dan Anak Terpadu Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Sardjito*. Universitas Islam Indonesia.
- Esmaeiltabar, P., Vaseghi, J., dan Khosravi, H. (2019). Nonlinear macro modeling of slender reinforced concrete shear walls. *Structural Concrete*, 20(3), 899–910. <https://doi.org/10.1002/suco.201800206>
- Habib, A., Al-Sadoon, Z. A., Saatcioglu, M., Al Hourri, A., Maalej, M., Al-Toubat, S., dan Shrif, M. (2025). Seismic Behavior of Squat Reinforced Concrete Shear Walls: A State-of-the-Art Review. *Structural Durability & Health Monitoring*, 19(3), 417–439. <https://doi.org/10.32604/sdhm.2025.059524>
- Jin, C., Su, Y., Pan, Z., dan Meng, S. (2023). Experimental Study and Finite Element Modelling of Squat Shear Walls under Combined Cyclic Loads and High Axial Loads. *Buildings*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/buildings13082104>
- Kusuma, Y. N. (2020). Studi bentuk dan layout dinding geser (shear wall) terhadap perilaku struktur gedung bertingkat. *KURVA MAHASISWA*, 1(1), 1828–1844.
- Kuang, J. S., dan Ho, Y. B. (2008). Seismic behavior and ductility of squat reinforced concrete shear walls with nonseismic detailing. *ACI Structural Journal*, 105(2), 225–231. <https://doi.org/10.14359/19738>
- Paulay, T., dan Priestly, M. J. N. (1992). Frontmatter. In *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470172841.fmatter>
- Putra, I., Suardika, I. N., & Setyono, E. Y. (2023). *Analisis Efisiensi Struktur Dinding Geser (Shear Wall) Pada Bangunan Bertingkat Ditinjau Dari Segi Biaya (Studi Kasus Pembangunan Shelter Kebencanaan Baruna)*. Politeknik Negeri Bali.
- Rajbanshi, S., Kumar, A., dan Dasgupta, K. (2020). A Comparative Study of Axial Force—Bending Moment Interaction Curve for Reinforced Concrete Slender Shear Wall With Enlarged Boundary Element. In *Lecture Notes in Civil Engineering (Vol. 46)*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26365-2_46
- Reddy, C. R. K., Ravella, D. P., Reddy, P. S., dan Kumar, S. M. (2024). Study of Effective Location of Shear Wall in Multi-Storeyed Buildings for Optimum Seismic Response. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 19(12), 740–746. <https://doi.org/10.59018/062496>
- Reshma, T. V., Sankalpasri, S. S., Tanu, H. M., dan Nirmala, M. V. (2021). Multistorey Building Analysis and Its Behavior because of Shear Wall Location Underneath completely different Seismal Zones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 822(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/822/1/012044>

- Sattar, S., Cook, D., dan McCabe, S. L. (2022). Benchmarking evaluation methodologies for existing reinforced concrete buildings. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.GCR.22-917-50>
- Sharifi, M., dan Shafieian, M. (2018). Effective stiffness of concrete shear walls based on statistical analysis. *Structural Concrete*, 19(6), 1560–1576. <https://doi.org/10.1002/suco.201600202>
- Thomsen IV, J. H., dan Wallace, J. W. (2004). Displacement-based design of slender reinforced concrete structural walls - Experimental verification. *Journal of Structural Engineering*, 130(4), 618–630. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2004\)130:4\(618\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:4(618))