

Karakteristik Perkuatan Dinding Bata Merah dengan Menggunakan Tulangan Diagonal Eksternal

Akhmad Yusuf Zuhdy, Buyung Anugraha

Staft Pengajar Program Studi D-III Teknik Sipil FTSP - ITS

email: yusuf_zuhdi@ce.its.ac.id; r_buyung_aa@ce.its.ac.id

Deni David

Dosen Jurusan Teknik Sipil Fak. Teknik Universitas Atmajaya Yogyakarta

ABSTRAK

Perencanaan gempa pada suatu bangunan sering dilakukan hanya pada bagian struktural tapi melupakan adanya bagian non-struktural, seperti dinding. Untuk meminimalisasi kerusakan non-struktural akibat gempa maka perlu dilakukan penelitian dinding dengan bata merah sebagai pengisi yang umum banyak dipakai oleh masyarakat dengan parameter meliputi: hubungan beban simpangan, pola retak, drift ratio, stiffness, maximum shear strength, shear modulus, damping dan daktilitas serta pengaruh penambahan tulangan diagonal diharapkan dapat teridentifikasi dari penelitian.

Untuk penelitian ini digunakan satu buah model struktur dengan ukuran dinding 3000 x 3000 x 100 mm yaitu dinding bata merah dengan penambahan tulangan diagonal (Infilled Frame With Diagonal Bar, IFWDB). Metode pembebanan dilakukan dengan menggunakan beban horisontal bolak-balik untuk memodelkan beban gempa yang mengacu pada standar ASTM E2126-02a.

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan tulangan diagonal pada pasangan dinding bata merah dapat meningkatkan kemampuan struktur dalam menerima beban sebesar 119,190% meningkatkan simpangan failure sebesar 148,309%, meningkatkan kuat geser ultimit sebesar 119,184%, meningkatkan besarnya energi hysteretic dan energi potensial struktur pada setiap siklus, dan dapat digunakan pada semua wilayah gempa. Kerusakan yang terbentuk lebih banyak merupakan jenis kerusakan geser.

Kata kunci : *dinding bata merah, tulangan diagonal, pembebanan horisontal bolak-balik.*

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dinding merupakan bagian bangunan yang getas dan paling rentan terhadap guncangan gaya horisontal, oleh karenanya sangat penting untuk memperbaiki kinerja dinding agar lebih tahan terhadap gaya horisontal. Getaran tanah saat terjadi gempa menyebabkan gaya inersia pada massa bangunan yang merambat dari pondasi dan dinding hingga ke atap. Yang harus ditekankan adalah menjamin agar gaya tersebut mencapai atap tanpa menyebabkan kerusakan berat atau robohnya dinding. Dari tiga komponen rumah (atap, dinding, dan pondasi), dinding merupakan bagian yang paling rawan terhadap gaya horisontal gempa. Dinding akan jauh lebih kuat bila didorong ke arah memanjang dinding

(disebut arah kuat/*strong direction*), tetapi akan mudah sekali roboh kalau bagian atasnya didorong ke samping sebidang pada arah tegak lurus bidang dinding (disebut arah lemah/*weak direction*).

Beberapa cara bisa dilakukan untuk menjadikan dinding lebih tahan terhadap gaya gempa, baik dinding tersebut berupa pembuatan dinding baru maupun berupa perbaikan dinding yang telah mengalami kerusakan akibat gaya horisontal. Berdasarkan FEMA 273, beberapa metode yang dapat dilakukan untuk perkuatan (*strengthening*) atau perbaikan (*retrofitting*) pada dinding antara lain membuat batasan pada bukaan dinding yang tidak lebih dari 40%, melakukan perkuatan atau perbaikan dengan *ferrocement*, pemberian tulangan pada retakan,

pemberian bahan *grouting* dengan cara injeksi yang dilakukan pada retak-retak yang terjadi, pelapisan dinding dengan mortar kuat lekat tinggi, pemasangan *bracing* berupa tulangan diagonal eksternal, dan penambahan elemen struktur eksternal yang berfungsi untuk menambah kekakuan dinding.

Penelitian dinding bata merah dengan perkuatan tulangan horisontal sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Raharjo, 2005). Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian lanjutan mengenai dinding bata merah tetapi dengan perkuatan tulangan diagonal/*bracing* eksternal. Penelitian ini membahas perilaku dinding bata merah dengan perkuatan tulangan diagonal/*bracing* eksternal akibat beban horisontal bolak-balik terhadap sumbu kuat dinding.

B. Tujuan Penelitian

Penelitian mengenai perbaikan dinding bata merah dengan menggunakan tulangan diagonal eksternal akibat beban horisontal bolak-balik ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui perilaku dinding bata merah dengan perkuatan tulangan diagonal/*bracing* eksternal yang meliputi hubungan beban-simpangan, kekakuan, redaman, kuat geser *ultimit*, daktilitas, dan pola retak dinding.
2. Mengetahui pengaruh penambahan tulangan diagonal/*bracing* eksternal pada dinding bata merah.

Membandingkan perilaku dinding bata merah dengan perkuatan tulangan diagonal/*bracing* eksternal terhadap dinding bata merah tanpa perkuatan tulangan horisontal (*Infilled Frame Non Horizontal Bar/IFNHB*) dan dengan perkuatan tulangan horisontal 6200 (*Infilled Frame With Horizontal Bar/IFWHB*) hasil penelitian eksperimental dari penelitian sebelumnya (Raharjo, 2005).

C. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi dampak dari perbaikan dinding dalam mendukung kestabilan struktur dalam memikul beban bolak-balik (siklik).

Selain itu, juga untuk memberikan masukan dalam menentukan salah satu metode

perbaikan pada dinding dengan penambahan tulangan diagonal eksternal yang dipasang menyilang pada kedua sisi dinding.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Dinding Bata

Dinding bata/batako merupakan bahan yang getas sehingga tidak mampu menahan gaya tarik dan lentur, sedangkan kemampuan dinding bata/batako menahan gaya tekan sangat dipengaruhi oleh mutu bahan, mutu campuran adukan, dan mutu pelaksanaan dinding itu sendiri (Tular, 1981).

Dinding pasangan bata mempunyai kekuatan tarik terpasang sekitar 1,5-2,0% dari kekuatan tekannya sehingga mudah retak/hancur akibat beban lateral yang menghasilkan tarikan/puntiran/geser pada dinding pasangan tersebut. Dinding pasangan yang diperkuat dengan *frame* (kolom+balok) dari beton bertulang, lebih kuat untuk menahan gaya lateral segala arah akibat beban gempa, karena dapat berfungsi sebagai *confined masonry* sehingga memiliki kemampuan sebagai dinding geser dengan kekuatan terbatas selama dinding tersebut masih berdiri pada posisinya dan memiliki ikatan dengan *frame* tersebut, misalnya dengan batang baja jangkar (Siddiq, 2000).

A. Penelitian Dinding Bata

Penelitian eksperimental Raharjo (2005) terhadap 3 model rangka terbuka (*Open Frame, Infilled Frame Non Horizontal Bars, Infilled Frame With Horizontal Bars* dengan pembebanan horisontal bolak-balik mempunyai kesimpulan sebagai berikut :

1. Meningkatkan kemampuan struktur dalam menerima beban dengan parameter pengamatan beban *crack, yield, ultimate, dan failure*. Untuk *initial condition* berturut-turut mengalami peningkatan sebesar 160,522%; 20,484%; 15,641%; 22,323%, dan pada *stabilized condition* berturut-turut mengalami peningkatan sebesar 160,522%; 25,944%; 30,227%; 44,639%.
2. Meningkatkan simpangan struktur pada parameter pengamatan saat *crack, yield, ultimate, dan failure*. Untuk *initial condition* berturut-turut

- mengalami peningkatan sebesar 170,588%; 23,994%; 98,038%; 318,808%, dan pada *stabilized condition* berturut-turut mengalami peningkatan sebesar 170,588%; 11,128%; 262,371%; 364,110%.
3. Meningkatkan kekakuan elastik *equivalent* benda uji *IFWHB* untuk *initial condition* sebesar 11,876% dan pada *stabilized condition* sebesar 18,815%.
 4. Peningkatan daktilitas struktur sebesar 225,221% pada *initial condition* dan 262,202% pada *stabilized condition*.
 5. Meningkatkan *maximum shear strength* sebesar 15,636% pada *initial condition* dan 30,228% pada *stabilized condition*.
 6. Meningkatkan besarnya energi *hysteretic* dan energi potensial struktur pada setiap siklus pada *initial* maupun *stabilized condition*.

Adanya tulangan horisontal menyebabkan struktur dinding menjadi lebih mampu menahan beban lateral yang besar, kerusakan awal struktur dapat dicegah dan pemisahan antara dinding dan rangka beton bertulang dapat diminimalisasikan (Raharjo, 2005).

Penelitian eksperimental Siddiq (2000) terhadap struktur dinding pasangan blok beton berongga bertulang akibat beban kombinasi aksial tekan dan beban lateral siklik (berupa beban geser sejajar bidang dinding), dan juga meneliti efektifitas baja tulangan penahan geser serta ragam keruntuhan (*failure mode*). Benda uji yang digunakan menggunakan *hollow conblock* HB-200 (tebal 200 mm), mutu HB-200 kuat tekan $f_m' = 3,20$ MPa, tinggi dinding 2675 mm, lebar denah 2670 mm, diameter tulangan horisontal 8 mm dan diameter tulangan vertikal 12 mm serta mutu baja tulangan $f_y = 390$ MPa dan menggunakan *hollow conblock* HB-150 (tebal 150 mm), mutu HB-150 kuat tekan $f_m' = 3,20$ MPa, tinggi $H_1 = H_2$ adalah 2440 mm, panjang 2660 mm, diameter tulangan horisontal 8 mm dan diameter tulangan vertikal 10 mm dan 12 mm serta mutu baja tulangan $f_y = 390$ MPa.

Dari penelitian struktur pasangan blok beton berongga bertulang terhadap beban lateral siklis diatas dapat disimpulkan sebagaimana berikut :

1. Dinding pasangan tanpa tulangan, hanya kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik, geser dan torsi.
2. Bila diberi perkuatan tulangan baja penahan tarik (arah vertikal) dan tulangan penahan geser (arah horisontal), maka dinding pasangan dapat bersifat kuat terhadap lentur dan geser serta bersifat daktail terhadap beban lateral siklis.
3. Mutu bahan yang memadai dan metode kontruksi yang benar serta jumlah tulangan yang cukup/optimum membuat struktur dapat digunakan untuk 2 sampai 3 tingkat.
4. Struktur cukup daktail, dengan nilai daktilitas sebesar 5,09.

Siddiq (2000) menyatakan rusak atau robohnya struktur bangunan dinding pasangan dapat disebabkan oleh faktor-faktor berikut ini :

1. Mutu bahan pasangan, terutama mortar sangat rendah, dan bukaan pada dinding terlalu lebar.
2. Teknik pengerjaan dinding pasangan kurang tepat.
3. Mengkombinasikan komponen struktur rangka dengan bahan yang berbeda sifat/karakteristiknya, tanpa sistem ikatan yang kuat.
4. Hubungan antara dinding pasangan dan *frame* tidak dilengkapi batang besi jangkar, pasangan roboh akibat *face loads* (beban tegak-lurus bidang).
5. Mutu beton yang sangat rendah dan banyak keropos.
6. Baja tulangan pada ujung balok tidak terjangkar dengan baik pada kolom, demikian juga dengan tulangan ujung kolom dan pondasi, sehingga join kolom-balok sangat mudah rusak dan diikuti terlepasnya ikatan balok dengan kolom.

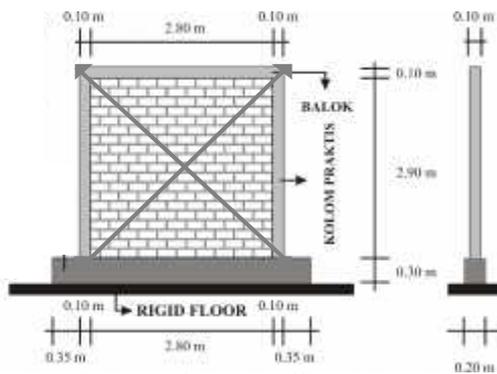
Goto et. al. (2003) melakukan penelitian mengenai perilaku dari dinding batu bata terkekang akibat pengaruh beban aksial dan akibat perkuatan tulangan horisontal terhadap pembebanan horisontal. Kesimpulan yang diperoleh, yaitu bahwa perkuatan tulangan horisontal pada dinding terkekang mampu meningkatkan ketahanan dari dinding dan dapat menambah panjang simpangan horisontal.

Penelitian Mangkoesebroto, et. al. (2003) menggunakan dinding pasangan bata merah (RB), batako berlubang (CW), batako berlubang dengan penulangan horisontal (CWHR), dengan pembebanan bolak-balik. Kesimpulan yang diperoleh yaitu bahwa dinding dengan pasangan bata merah (RB) mempunyai tahanan gaya lateral terbesar, yang kemudian diikuti oleh dinding pasangan batako (CW), dan dinding pasangan batako dengan penulangan horisontal (CWHR). Rendahnya kekuatan dinding pasangan batako terhadap dinding pasangan bata merah disebabkan karena kuat tekan material batako lebih rendah dibandingkan dengan material bata merah, dan bentuk fisik material bata merah lebih padat sedangkan pada batako berlobang (*hollow conblock*), serta penggunaan mortar yang lebih banyak pada dinding pasangan bata merah. Lebih rendahnya kekuatan struktur CWHR dibandingkan struktur CW karena terjadinya kerusakan pada pertemuan antara mortar dengan pasangan batako akibat adanya tulangan.

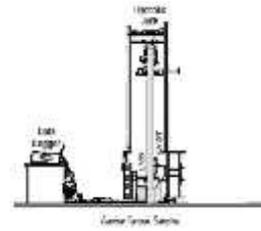
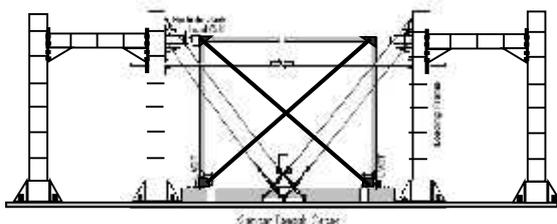
3. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Persiapan

Benda uji dibuat seperti pada Gambar 1 yaitu dinding bata merah dengan perkuatan tulangan diagonal/*bracing* eksternal (*Infilled Frame With Diagonal Bar /IFWDB*) sebanyak 1 (satu) buah.



Gambar 1. Ilustrasi benda uji model struktur



Gambar 2 Setting pengujian

B. Tahapan Pengujian Model Struktur

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban horisontal pada struktur dengan menggunakan *hidraulic jack* pada arah sejajar sisi kuat dinding pasangan bata merah. Beban horisontal ini dimaksudkan untuk memodelkan beban gempa yang terjadi pada sumbu kuat dinding. Pembebanan dilakukan berdasarkan **ASTM E2126-02a Metode B** (*Standar Test Methods for Cyclic (Reserved) Load Test for Shear Resistance of Walls for Buildings*).

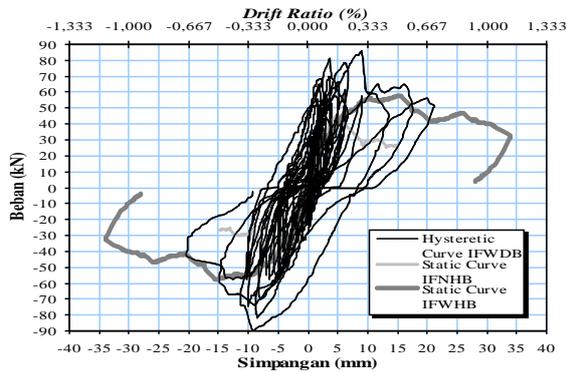
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Model Struktur

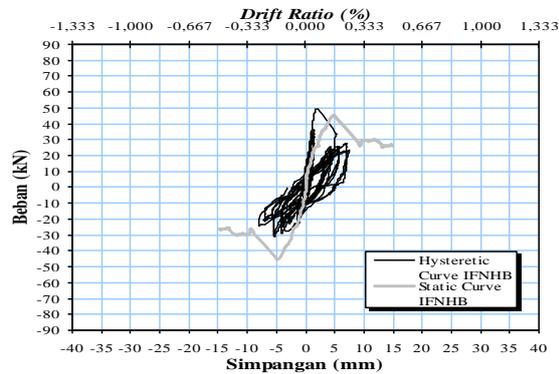
Pengujian terhadap model benda uji dilakukan dengan memodelkan beban gempa yang terjadi sebagai beban lateral bolak-balik yang terjadi pada ujung atas struktur. Untuk pengujian ini diperlukan data simpangan runtuh/ U_u dari hasil pengujian statik yang dilakukan oleh Setyawati, (2005). Data tersebut kemudian dijadikan referensi untuk melakukan pembebanan bolak-balik sesuai dengan standar yang berlaku pada ASTM E2126-02a.

B. Hysteretic Curve

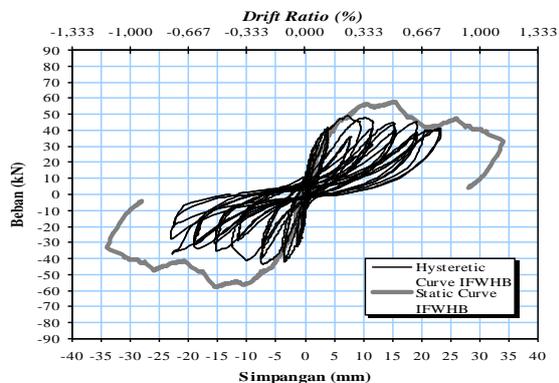
Pengujian dilakukan dengan pembebanan horisontal bolak-balik menghasilkan *hysteretic curve* yang menggambarkan besarnya energi yang terdisipasi pada setiap siklusnya. Gambar 3 sampai Gambar 5 merupakan bentuk dari *hysteretic curve* dari benda uji IFWDB, IFNHB dan IFWHB.



Gambar 3 Hysteretic curve benda uji IFWDB



Gambar 4 Hysteretic curve benda uji IFNHB



Gambar 5 Hysteretic curve benda uji IFWHB

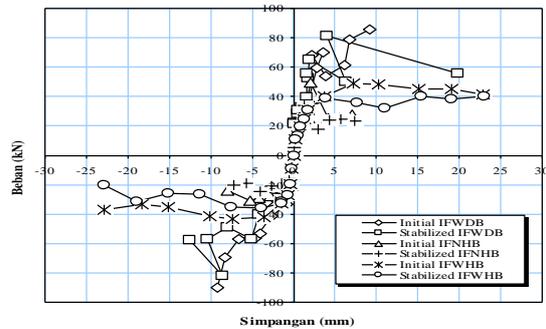
Berdasarkan *hysteretic curve* ketiga benda uji di atas terlihat bahwa *IFWHB* memiliki kemampuan berdeformasi yang paling besar, kemudian diikuti oleh benda uji *IFWDB* dan benda uji *IFNHB*. Walaupun memiliki kemampuan berdeformasi yang paling besar, namun *IFWHB* memiliki kapasitas tahanan gaya lateral yang lebih kecil dibandingkan dengan *IFWDB*. Secara grafis dapat dilihat bahwa *hysteretic curve* benda uji *IFWDB* mengikuti bentuk dari kurva beban-simpangan benda uji *IFNHB* dikarenakan pola pembebanan bolak-balik berdasarkan data

simpangan runtuh (U_u) benda uji *IFNHB* dari pengujian statik Setyawati (2005).

Hysteretic curve ketiga benda uji di atas digambarkan dengan skala yang sama, dengan tujuan untuk menunjukkan benda uji *IFWDB* mampu menahan beban lateral yang lebih besar pada simpangan yang sama dengan benda uji *IFNHB* dan *IFWHB*.

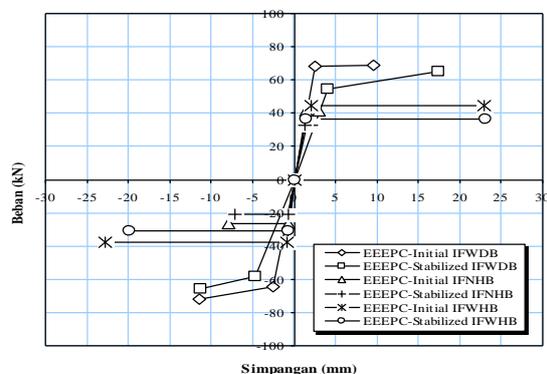
C. Envelope curve dan Equivalent Energy Elastic-Plastic Curve (EEEPC)

Envelope curve merupakan pendekatan dari *hysteretic curve* yang didapatkan dari data beban puncak tiap siklus dan simpangan atau *drift* yang menyertainya baik pada kondisi *initial* maupun *stabilized*. Hasil pengujian dan analisis didapatkan bentuk *envelope curve* dapat dilihat pada Gambar 6.

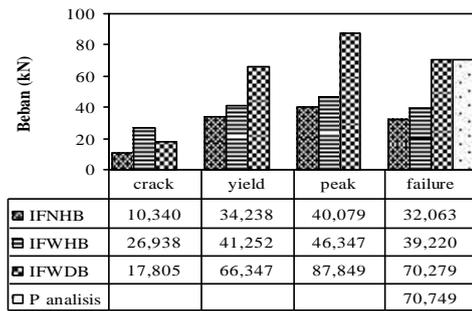


Gambar 6 Envelope curve benda uji IFWDB

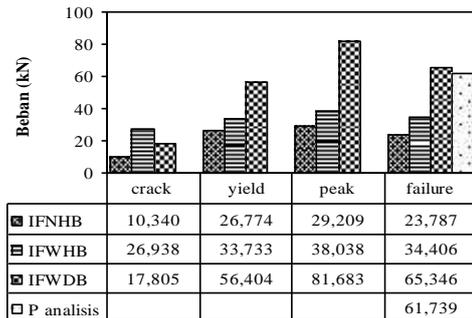
Berdasarkan *envelope curve* yang telah dibentuk selanjutnya dilakukan analisis dengan membentuk *equivalent energy elastic-plastic curve*, Gambar 7 untuk mendapatkan parameter pengamatan berupa hubungan beban-simpangan pada saat *crack*, *yield*, *ultimate* dan *failure*. Analisis secara grafis di tampilan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 7 EEEPC benda uji IFWDB



a. initial condition



b. stabilized condition

Gambar 8 Beban lateral rata-rata

Gambar di atas menunjukkan bahwa benda uji IFWHB mempunyai tahanan gaya lateral terbesar hanya pada P_{crack} yang kemudian diikuti benda uji IFWDB dan yang terakhir IFNHB, hal ini disebabkan karena perencanaan tulangan diagonal pada IFWDB baru bekerja setelah kondisi dinding mengalami crack. Untuk parameter pengamatan yang lain (P_{yield} , P_{peak} , dan $P_{failure}$) IFWDB mempunyai tahanan gaya lateral yang lebih besar nilainya di atas benda uji IFWHB dan IFNHB. Oleh karena itu dalam hal ketahanan benda uji dalam menerima beban lateral, benda uji IFWDB paling baik, kemudian diikuti benda uji IFWHB dan yang terakhir IFNHB. Beban analisis merupakan beban perkiraan yang akan dicapai oleh benda uji IFWDB pada saat failure yang kemudian dibandingkan dengan beban failure yang terjadi sesungguhnya dari pengujian.

Untuk memperkirakan besarnya baban (P) secara analisis dapat dihitung sebagaimana berikut :

Diameter tulangan diagonal = 10 mm, $f_y = 341,682\text{MPa}$, $A_s = 78,540\text{ mm}^2$. $P_n = f_y \cdot A_s$

=26.835,64 N = 2,684 ton (per 1 tulangan diagonal) $P_u = P_n \cdot \cos 45 = 1.898\text{ ton}$ (per 1 tulangan arah horizontal)

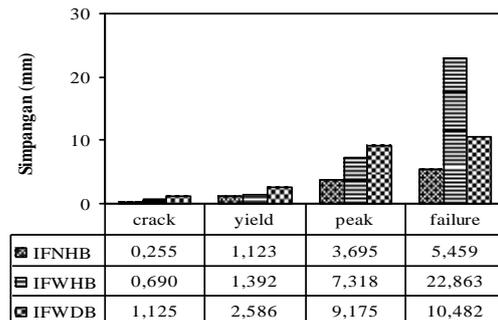
P_{peak} IFNHB = 40.079 N, = 4.008 Ton, Jumlah tulangan diagonal IFNHB = 2.112 (dipakai 2 buah tulangan Ø10 mm/sisi)

$P_{bracing}$ IFWDB = $n \cdot P_u = 2 \times 1.898 = 37.951\text{ kN}$

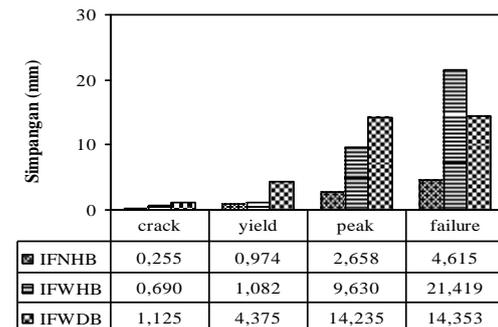
- $P_{failure}$ IFNHB Initial Condition = 32.798 kN
 $P_{failure}$ IFWDB = 32.798+37.951 = 70.749 kN

- $P_{failure}$ IFNHB Initial Condition = 23.787 kN
 $P_{failure}$ IFWDB = 23.787+37.951 = 61.739 kN

Kenaikan $P_{failure}$ IFWDB terhadap $P_{failure}$ IFNHB merupakan kontribusi dari pemakaian tulangan diagonal. Hal ini ditunjukkan dengan nilai $P_{analisis}$ yang mendekati $P_{failure}$.



a. initial condition



b. stabilized condition

Gambar 9 Simpangan rata-rata pada

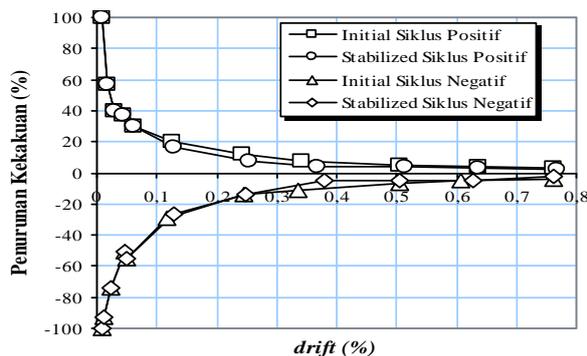
Kenaikan simpangan benda uji IFWDB dari benda uji IFNHB pada setiap parameter pengamatan menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan tulangan

diagonal/*bracing* eksternal pada struktur dinding menambah kemampuan untuk berdeformasi. Nilai simpangan benda uji *IFWDB* yang lebih rendah dari *IFWHB* disebabkan karena pola pembebanan *IFWDB* berdasarkan data simpangan runtuh (U_u) benda uji *IFNHB* yang nilainya lebih kecil dari pada simpangan runtuh (U_u) benda uji *IFWHB* pada pengujian statik.

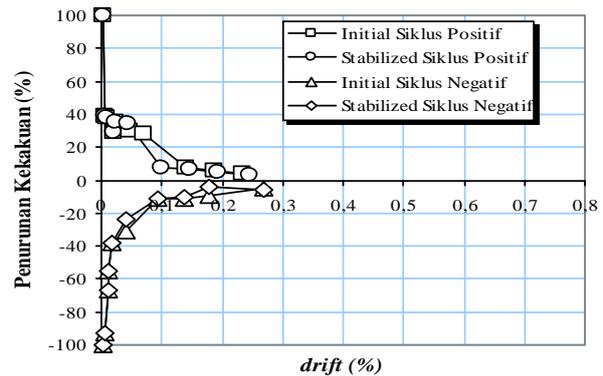
FEMA 306 memberikan pendekatan bahwa deformasi retakan pertama/*first crack* terjadi pada *interstory drift* 0,25-0,5% dan batasan untuk besarnya *drift ratio* pada *infilled frame brick masonry* 1,5 %. Untuk benda uji *IFWDB* diperoleh besarnya *drift ratio* saat *first crack* pada *initial* dan *stabilized condition* sebesar 0,038 % dan saat *failure* sebesar 0,349 % pada *initial condition* dan sebesar 0,478 % pada *stabilized condition*. Nilai ini menunjukkan nilai yang lebih kecil dari pendekatan pada FEMA 306, ini berarti bahwa material yang digunakan dalam struktur *IFWDB* tidak mampu mempertahankan bentuk/posisinya pada simpangan yang terjadi. Kerusakan telah terjadi pada saat struktur mengalami simpangan yang relatif kecil baik pada retakan pertama maupun kondisi *failure*.

D. Kekakuan Struktur

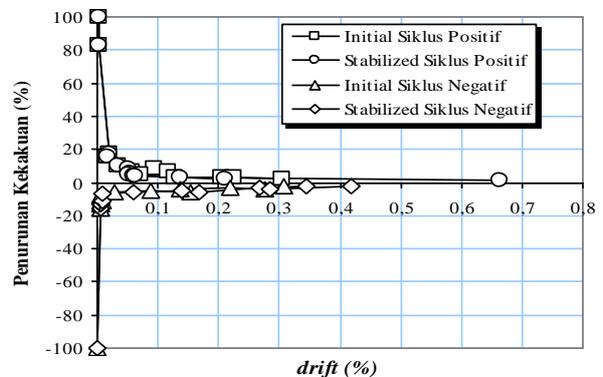
Besarnya kekakuan struktur tiap siklus dapat dinyatakan dalam persentase terhadap kekakuan awal struktur pada masing-masing benda uji disajikan pada Gambar 10 sampai Gambar 12.



Gambar 10 Persentase penurunan kekakuan benda uji *IFWDB*



Gambar 11 Persentase penurunan kekakuan benda uji *IFNHB*

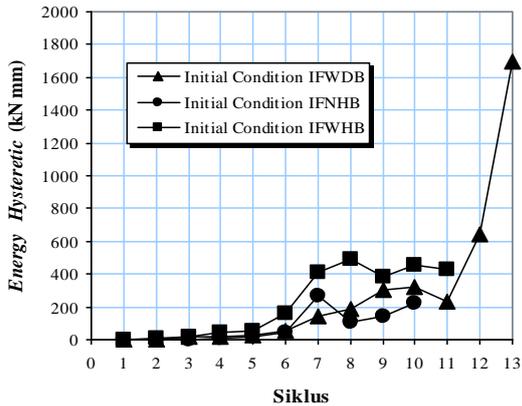


Gambar 12 Persentase penurunan kekakuan benda uji *IFWHB*

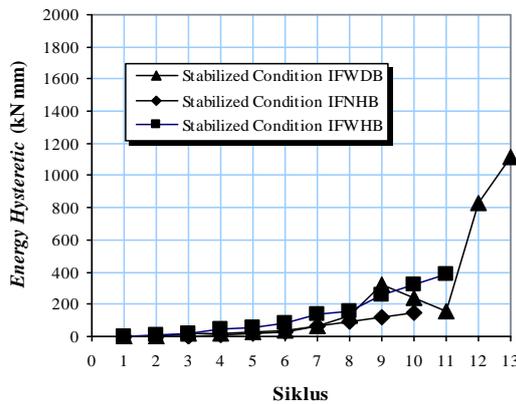
Kekakuan pada benda uji mengalami penurunan secara terus menerus seiring dengan bertambahnya simpangan/*drift* pada penambahan pembebanan hingga sampai pada siklus terakhir atau benda uji runtuh. Hubungan penurunan kekakuan-*drift* pada masing-masing benda uji menunjukkan bahwa benda uji *IFWDB* mengalami penurunan kekakuan dengan simpangan/*drift ratio* yang hampir sama dengan benda uji *IFWHB* tetapi dalam kemampuan menahan gaya lateral dan berdeformasi struktur *IFWDB* lebih baik daripada benda uji *IFWHB*. Ini menunjukkan bahwa penambahan tulangan diagonal/*bracing* eksternal membuat struktur dinding juga mampu mempertahankan kekakuannya.

E. Energi Hysteretic Struktur

Besarnya energi *hysteretic* dihitung berdasarkan pendekatan numerik dengan cara menghitung luasan tiap pias pada siklus positif maupun negatif untuk *initial* dan *stabilized condition*. Hasil pengujian pada *initial* dan *stabilized condition* secara grafis ditampilkan pada Gambar 13.



a initial condition



b stabilized condition

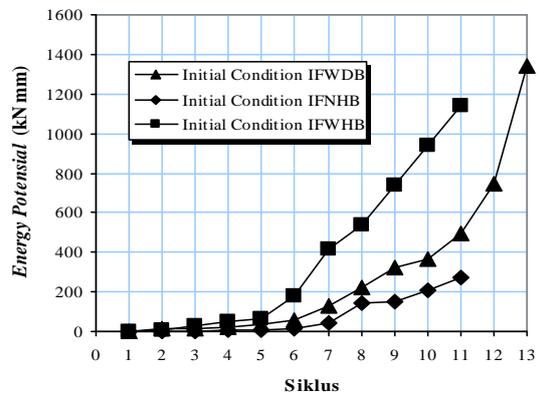
Gambar 13 Grafik energi hysteretic

Penambahan tulangan pada pasangan dinding bata merah mempengaruhi energi *hysteretic* yang dimiliki oleh struktur. Gambar 13 menunjukkan benda uji *IFWHB* memiliki energi *hysteretic* yang sedikit lebih besar dari benda uji *IFWDB* dikarenakan karena pola pembebanan *IFWDB* berdasarkan data simpangan runtuh (U_u) benda uji *IFNHB* yang nilainya lebih kecil dari pada simpangan runtuh (U_u) benda uji *IFWHB* pada pengujian statik. Penambahan tulangan horisontal atau diagonal eksternal

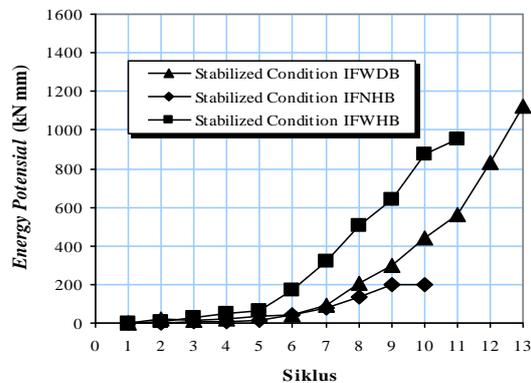
menyebabkan struktur dinding lebih mampu untuk menyerap energi daripada tanpa penambahan tulangan.

F. Energi Potensial

Energi potensial digambarkan sebagai kemampuan untuk melakukan gerakan atau gaya dari dalam (*internal force*) dari struktur tersebut pada setiap siklus baik pada *initial* maupun *stabilized condition*. Secara grafis besarnya energi potensial yang ada pada masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 14.



a initial condition



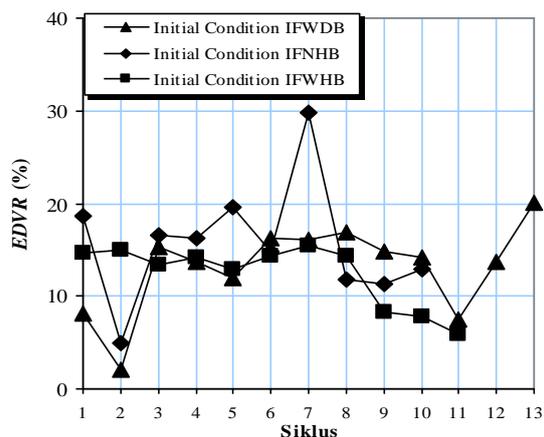
b stabilized condition

Gambar 14 Energi potensial tiap siklus

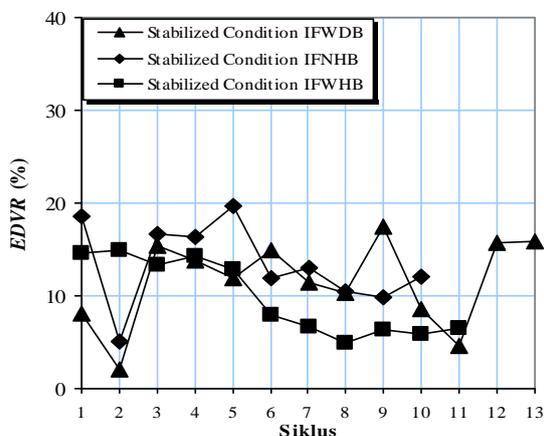
Gambar di atas menunjukkan benda uji *IFWHB* memiliki energi potensial yang paling besar diikuti benda uji *IFWDB* dan benda uji *IFNHB*. Penambahan tulangan baik horisontal atau diagonal eksternal menyebabkan struktur dinding lebih mampu untuk melakukan gaya dalam daripada tanpa penambahan tulangan.

G. Equivalent Viscous Damping Ratio (EVDR)

Penyerapan energi akan berjalan sangat efektif apabila struktur mempunyai ratio redaman cukup besar dan durasi pembebanan yang relatif lama. Redaman yang efektif selanjutnya akan banyak mengurangi atau mengeliminasi goyangan (Widodo, 2001). Secara grafis besarnya nilai EVDR dari benda uji dapat dilihat pada Gambar 15 berikut ini.



a initial condition



b stabilized condition

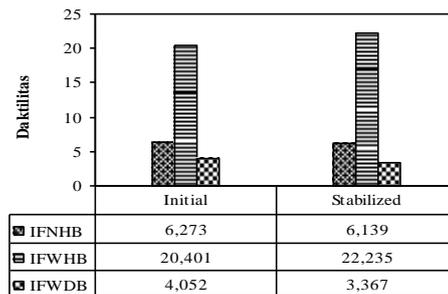
Gambar 15 Grafik equivalent viscous damping ratio tiap siklus

Harga dari koefisien redaman adalah jauh lebih kecil dari koefisien redaman kritis dan biasanya diantara 2 sampai dengan 20% dari harga redaman kritis (Paz, 1987). Dari hasil pengujian tampak bahwa rata-rata nilai

EVDR berada di bawah 20%, hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Paz.

H. Daktilitas Struktur

Daktilitas struktur secara umum menggambarkan kemampuan struktur untuk berdeformasi di atas batas lelehnya. Secara grafis besarnya nilai daktilitas struktur dapat dilihat pada Gambar 16.

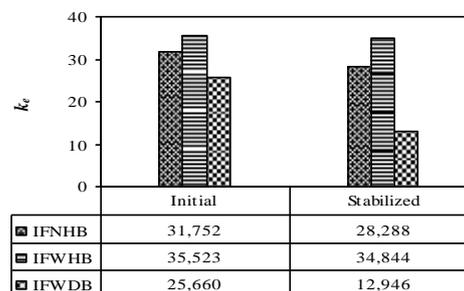


Gambar 16 Nilai daktilitas struktur pada kondisi initial dan stabilized condition

Berdasarkan Gambar 16 terlihat nilai daktilitas benda uji IFNHB sedikit lebih besar, namun pada perencanaan struktur tahan gempa kemampuan menyerap energi gempa untuk benda uji IFWDB lebih bagus dari benda uji IFNHB pada perencanaan beban gempa yang sama dapat dilihat pada Gambar 3.

I. Kekakuan Elastik Equivalent (k_e)

Kekakuan elastik equivalent dihitung berdasarkan besarnya beban pada saat mencapai $0,4 P_{peak}$. Hasil pengujian secara grafis ditunjukkan dalam Gambar 17.



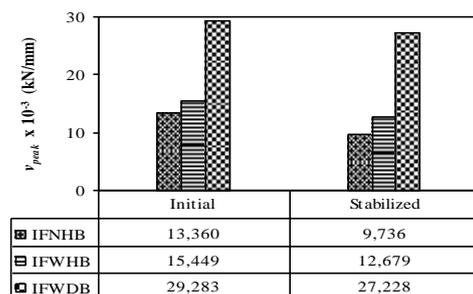
Gambar 17 Kekakuan elastik equivalent saat $0,4 P_{peak}$ pada initial dan stabilized condition

Gambar di atas menunjukkan kekakuan elastik equivalent dari benda uji IFWDB

pada *initial condition* dan *stabilized condition* lebih rendah terhadap *IFNHB* dan *IFWHB*.

J. Maximum Shear Strength

Maximum shear strength merupakan besarnya beban *lateral* maksimum yang dapat ditahan oleh struktur sepanjang bentang struktur tersebut. Besarnya gaya geser maksimum/*maximum shear strength* benda uji *IFWDB* ditunjukkan pada Gambar 18.

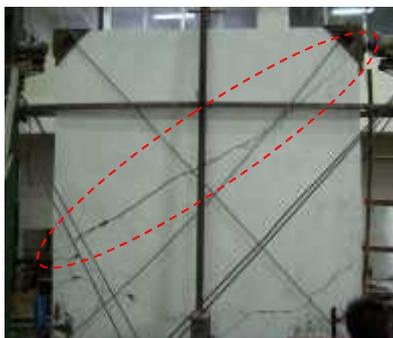


Gambar 18 Nilai *maximum shear strength*

Gambar di atas menunjukkan nilai *maximum shear strength* pada benda uji *IFWDB* mengalami peningkatan sebesar 119,184 % pada *initial condition* dan 179,663 % pada *stabilized condition* terhadap benda uji *IFNHB*, ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan tulangan diagonal eksternal dapat meningkatkan tahanan geser maksimum.

K. Pola Kerusakan Struktur

Pola kerusakan struktur pada benda uji *IFWHB* merupakan gabungan antara *shear failure* dan *sliding failure*, sedangkan pada *IFWDB* secara keseluruhan didominasi oleh *shear failure*. Tipe kerusakan *IFWDB* dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 Pola retak benda uji *IFWHB*

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan tulangan diagonal/*bracing* eksternal pada dinding bata merah mempengaruhi kemampuan struktur sebagai berikut :

1. Meningkatkan kemampuan struktur dalam menerima beban pada parameter pengamatan saat *crack*, *yield*, *ultimate*, dan *failure* terhadap benda uji *IFNHB*. Saat *initial condition* berturut-turut sesuai dengan parameter pengamatan mengalami peningkatan sebesar 72,195%; 93,782%; 119,190%; 119,190%, dan pada *stabilized condition* sebesar 72,195%; 110,667%; 179,650%; 174,713%.
2. Meningkatkan simpangan struktur pada parameter pengamatan saat *crack*, *yield*, *ultimate*, dan *failure* terhadap benda uji *IFNHB*. Saat *initial condition* berturut-turut sesuai dengan parameter pengamatan mengalami peningkatan sebesar 344,176%; 130,276%; 148,309%; 92,013%, dan pada *stabilized condition* sebesar 344,176%; 349,179%; 435,553%; 211,008%.
3. Meningkatkan *maximum shear strength* sebesar 119,184% pada *initial condition* dan 179,663% pada *stabilized condition* terhadap benda uji *IFNHB*.
4. Meningkatkan besarnya energi *hysteretic* dan energi potensial struktur pada setiap siklus pada *initial* maupun *stabilized condition*.

DAFTAR ACUAN

- ASTM, 2003, *Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls for Buildings*, Designation: Vol 405, E 2126 - 02a.
- FEMA 306, 1998, *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Basic Procedures Manual*, 555 Twin Dolphin Drive, Suite 550 Redwood City, California.
- Goto, T., Mizuno, H., Iba, M., Kato, H., 2003, *Structural Behavior of Confined Masonry Wall*, National Institut for Land and Infrastruktur Management, Japan.

- Mangkoesebroto, S. P., Goto, T., Tambunan, S., 2003, *Experimental and Numerical Study of Confined Masonry Wall Under Cyclic Loading*, International workshop, ASLI Building, ITB.
- Paz M., 1987, *Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan*, Erlangga, Jakarta.
- Raharjo E. P., 2005, *Karakteristik Pasca Elastik Dinding Bata Merah dengan Tulangan Horizontal Akibat Beban Bolak-Balik*, Tesis, Program Studi Teknik Struktur, Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Setyawati, 2005, *Karakteristik Pasca Elastik Dinding Bata Merah Pejal dengan Tulangan Horizontal Akibat Beban Statik*, Tesis, Program Studi Teknik Struktur, Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Siddiq, S., 2000, *Penelitian Eksperimental Struktur Bangunan Skala Penuh dan Aplikasinya pada Bangunan Rumah Rakyat Tahan Gempa*, Lokakarya Nasional Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Tahan Gempa, Evaluasi, Rekomendasi, dan Sosialisasi, Yogyakarta.
- Tular, R. B., 1981, *Perencanaan Bangunan Tahan Gempa*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Jl. Tamansari No.84, Bandung.
- Widodo, 2001, *Respons Dinamik Struktur Elastik*, UII Press, Yogyakarta.