

Evaluasi Kinerja Struktur Dinding Bata dengan Metode Analisis Pushover pada Bangunan Sederhana

Performance Evaluation of Brick Wall Structure with Pushover Analysis Method in Simple Buildings

Suci Dwi Wahyuni¹, Abdul Khamid², Wahidin³, Imron⁴, Yulia Feriska⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhadi Setiabudi, Brebes, Indonesia

E-mail: *¹sucidwiwahyuni@gmail.com, ²abdulkhamid.mt@gmail.com,

³wahidinnaures@gmail.com, ⁴imcvv111@gmail.com, ⁵yuliaferiska1@gmail.com

Abstract

The most damage properties when an earthquake happens in Indonesia is occurred in the simple building with infilled brick wall. It was caused the building is classified as a non engineering building. In SNI, the determination of the brick wall as non structural component are causing the strength and stiffness of the brick wall are never calculated in the building design process. In fact, the strength and stiffness of the brick wall are significantly affected the behavior of the simple house building. In this study, there are three panel model of reinforced concrete structure with 4 m, 3 m and 2 m in width, with both of them are one story building, and functioned as residential, located in the high risk Indonesian seismic zone (zone 6), and designed using force based structural design. After the beam and column properties are obtained, then it is analyzed. Simultaneously with the brick wall with different arrangement and boundaries. the thickness of the brick wall was assumed as one and half brick arrangement with three and four faces boundary. moreover, in the structural analysis the brick wall are modeled as compression bracing. therefore, there are 12 different structural model that being analyzed. The result of this study shows that the structural system with infilled brick wall has better ductility value and higher base share capacity compared to the open frame structural system. Additionally, the performance evaluation present the structural system with infilled brick wall are able to achieve the Life Safety – Collapse Prevention range instead of open frame structural system which is only achieve the Immediate Occupancy category.

Keywords : bricks wall, pushover analysis, simple building

Abstrak

Kerusakan terbanyak akibat gempa yang terjadi di Indonesia adalah pada bangunan sederhana dengan dinding pengisi batu bata. Hal ini disebabkan bangunan sederhana termasuk sebagai *nonengineering building*. Penetapan dinding bata sebagai komponen nonstruktural dalam SNI juga menyebabkan kekuatan dan kekakuan yang dimiliki dinding bata tidak diperhitungkan dalam perencanaan. Namun kenyataannya, dinding bata memiliki nilai kekuatan dan kekakuan yang berpengaruh secara signifikan untuk bangunan sederhana. Dalam studi ini dibuat 3 buah model panel struktur beton bertulang yaitu dengan lebar 4 m, 3 m, dan 2 m, terdiri dari satu tingkat, berfungsi sebagai hunian, berada di zona gempa 6 tanah lunak, dan direncanakan menggunakan analisa struktur berbasis gaya (*Force Based Design*). Konfigurasi balok dan kolom yang didapatkan, selanjutnya dianalisa dengan dinding yang divariasi susunan dan pembatasnya. Ketebalan dinding diasumsikan sebagai susunan satu bata dan setengah bata dengan tiga dan empat pembatas. Pada analisa struktur, dinding bata pengisi dimodelkan sebagai bracing tekan. Sehingga jumlah total model yang dianalisa adalah sejumlah 12 buah. Hasil studi menunjukkan bahwa struktur dengan dinding pengisi batu bata memiliki nilai daktilitas yang lebih baik dan kapasitas *base share* yang lebih besar bila dibandingkan dengan struktur *open frame*. Dari evaluasi kinerjanya, struktur dengan dinding pengisi batu bata mampu mencapai range *life safety-collapse prevention* sedangkan struktur *open frame* hanya mampu berada pada daerah *immediate occupancy*. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa struktur dengan dinding pengisi batu bata memiliki perilaku yang lebih baik bila

dibandingkan dengan struktur *open frame*. Karenanya kekuatan dan kekakuan dinding bata pengisi perlu diperhatikan dalam proses desain bangunan rumah sederhana.

Kata Kunci: dinding bata, *pushover analysis*, rumah sederhana

PENDAHULUAN

Dinding bata sering digunakan sebagai partisi pemisah dibagian dalam atau penutup luar bangunan pada struktur portal beton bertulang maupun struktur portal baja, khususnya untuk bangunan rendah dan bertingkat sedang. Dalam perencanaannya dinding bata dianggap sebagai komponen nonstruktur, bahkan keberadaannya tidak menjadi permasalahan dalam pemodelan struktur asalkan intensitas beban yang timbul sudah diantisipasi terlebih dahulu (misal, dianggap sebagai beban merata) [1], [2]. Meskipun dikategorikan sebagai komponen nonstruktur tetapi mempunyai kecenderungan berinteraksi dengan portal yang ditempatinya terutama bila ada beban horizontal (akibat gempa) yang besar. Interaksi yang timbul kadang menguntungkan kadang merugikan bagi kinerja portal utamanya [3], [4].

Struktur dinding bata adalah elemen bangunan yang dibangun menggunakan bahan dasar bata sebagai komponen utamanya [5], [6]. Bata, yang terbuat dari tanah liat yang diproses dan dibakar menjadi bentuk padat, digunakan untuk membentuk dinding-dinding yang membangun struktur bangunan. Dinding bata dapat memiliki berbagai jenis konstruksi, termasuk dinding bata plesteran, dinding bata cetak, atau dinding bata tumpukan [7], [8]. Keunggulan utama dari struktur dinding bata meliputi daya tahan yang baik, isolasi termal yang cukup, dan tampilan yang estetik. Selain itu, struktur dinding bata dapat memberikan stabilitas dan kekuatan yang diperlukan dalam membangun berbagai jenis bangunan, mulai dari rumah tinggal hingga gedung-gedung komersial. Pemilihan jenis bata, pola konstruksi, dan teknik penyambungan yang digunakan dalam pembuatan dinding bata dapat memengaruhi daya tahan, tampilan, dan kualitas keseluruhan struktur bangunan. Dengan demikian, struktur dinding bata tetap menjadi pilihan yang populer dalam industri konstruksi untuk manfaatnya yang beragam [9], [10].

Struktur portal terbuka yang direncanakan dapat berperilaku sebagai portal daktail saat gempa, akibat adanya dinding bata yang tidak merata dapat berubah menjadi struktur yang mempunyai mekanisme keruntuhan *soft-storey* yang berbahaya. Banyak bukti yang menunjukkan keruntuhan *soft-storey* akibat gempa di berbagai negara dari sebuah bangunan beton dengan dinding bata. Bagian atas digunakan sebagai tempat tinggal dengan banyak dinding sebagai partisi, sedangkan bagian bawah karena digunakan sebagai tempat usaha (toko) relatif sedikit dinding batanya. Kondisi tersebut menyebabkan bagian atas relatif sangat kaku dibandingkan bagian bawah sehingga ketika ada gempa, struktur bagian bawah hancur total dan bagian atas jatuh menimpa secara utuh [11], [12].

Perilaku dinding bata terhadap pembebanan lateral telah lama diselidiki, misalnya Holmes [1961], Stafford Smith [1962, 1966, 1967], Mainstone – Week [1970], Dawe – Sheah [1989], Flanagan et al. [1992], Mander et al. [1993], Saneinejad dan Hobbs [1995] dan lainnya. (Lumantarna 2008). Dari berbagai penelitian yang ada, pemodelan dinding bata sebagai bracing tekan yang diteliti oleh Saneinejad dan Hobbs [1995] dinilai paling sederhana namun representatif. Untuk lebih mudah menganalisis perilaku non-liniernya, diusulkan penggunaan analisa beban dorong static (*static pushover analysis*). Karena beberapa program komputer seperti SAP 2000 dan ETABS telah mempunyai kemampuan untuk melakukan *static pushover analysis* tersebut [13], [14]

Metode *analisis pushover* adalah salah satu teknik yang digunakan dalam bidang teknik struktur untuk mengevaluasi perilaku dan kinerja struktur bangunan sederhana saat menghadapi beban eksternal, seperti gempa bumi atau beban lateral lainnya [15], [16]. Dalam metode ini, bangunan dianggap sebagai sebuah sistem yang terhubung, dan analisis dilakukan dengan secara bertahap menerapkan beban lateral hingga mencapai batas kegagalan [17], [18]. Proses ini memungkinkan untuk memahami bagaimana deformasi dan respons struktur berubah seiring dengan peningkatan beban lateral. Hasil analisis *pushover* memberikan informasi penting tentang kapasitas dan daktilitas struktur [19], [20].

Metode analisis pushover adalah pendekatan analisis struktural yang digunakan dalam rekayasa sipil untuk mengevaluasi perilaku dan kapasitas sebuah struktur saat terkena beban lateral, seperti gempa bumi atau angin kencang [21], [22]. Pendekatan ini memungkinkan insinyur untuk memahami sejauh mana struktur tersebut dapat menahan beban lateral sebelum mengalami keruntuhan atau kerusakan serius [23], [24]. Metode ini melibatkan pemodelan struktur sebagai sistem elemen diskrit, yang mewakili elemen-elemen struktural seperti kolom, balok, dan dinding. Kemudian, sekuensia beban lateral diterapkan secara bertahap pada struktur, dengan intensitas beban yang meningkat seiring waktu.

Analisis pushover memungkinkan insinyur untuk mengevaluasi kurva kapasitas beban-luas (*pushover curve*) yang menggambarkan bagaimana respon struktur berubah seiring bertambahnya beban lateral. Dengan demikian, mereka dapat menilai sejauh mana struktur tersebut mampu menahan beban lateral sebelum mencapai batas kehancuran atau kerusakan signifikan. Metode ini juga membantu dalam mengidentifikasi elemen struktural yang mungkin menjadi titik lemah, memandu perbaikan struktur, atau pengambilan keputusan terkait dengan perencanaan mitigasi gempa bumi. Metode analisis pushover adalah alat yang berharga dalam merancang struktur yang tahan gempa dan meningkatkan pemahaman kita tentang perilaku struktural di bawah beban lateral eksternal.

Kapasitas mengindikasikan seberapa besar beban lateral maksimum yang dapat ditanggung oleh bangunan sebelum mengalami kegagalan, sementara daktilitas menggambarkan kemampuan bangunan untuk memberikan peringatan melalui deformasi yang elastis sebelum mencapai kegagalan akhir [25], [26]. Metode analisis *pushover* sangat berguna dalam perencanaan dan perbaikan struktur, memungkinkan insinyur untuk mengidentifikasi potensi risiko dan meningkatkan ketahanan bangunan terhadap beban lateral eksternal. Dengan menerapkan metode ini pada bangunan sederhana, kita dapat memahami dasar-dasar perilaku struktur sebelum melibatkan kompleksitas yang mungkin ada pada bangunan yang lebih besar dan rumit [27].

Analisis statik nonlinier pushover merupakan suatu performance based design yang bertujuan untuk mencari kapasitas suatu struktur [28], [29]. Pada dasarnya, analisis dilakukan dengan memberikan beban dalam arah lateral yang nilainya ditingkatkan berangsur-angsur (*incremental*) secara proposional pada struktur hingga mencapai target displacement atau mencapai mekanisme diambang keruntuhan karena terjadinya sendi plastis pada elemen balok maupun kolom [30]. Prosedur analisisnya menjelaskan bagaimana mengidentifikasi elemen-elemen struktur yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan peningkatan beban akan ada elemen-elemen lain yang mengalami leleh dan deformasi inelastic.

Pada dasarnya, analisis dilakukan dengan memberikan beban dalam arah lateral yang nilainya ditingkatkan berangsur-angsur (*incremental*) secara proposional pada struktur hingga mencapai target *displacement* atau mencapai mekanisme diambang keruntuhan karena terjadinya sendi plastis pada elemen balok maupun kolom [30]. Prosedur analisisnya menjelaskan bagaimana mengidentifikasi elemen-elemen struktur yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan peningkatan beban akan ada elemen-elemen lain yang mengalami leleh dan deformasi inelastic [31], [32].

Dari latar belakang tersebut, dalam penelitian ini akan dianalisa bagaimana perilaku dinding bata pada struktur beton bertulang dengan mengasumsikannya sebagai bracing tekan. Bracing tekan tersebut merupakan representasi dari luasan dinding bata yang akan dianalisa, baik dinding bata dengan 4 pembatas maupun 3 pembatas. Dinding dengan 4 pembatas memiliki arti dinding yang dibatasi oleh 2 kolom dan 2 balok atau tidak terdapat bukaan. Sedangkan dinding dengan 3 pembatas adalah dinding yang dibatasi oleh 2 kolom dan 1 balok atau terdapat bukaan seperti jendela.

Sebelumnya akan didesain struktur beton bertulang dengan tinggi 3,2 meter, lebar bervariasi mulai dari 2 meter dan 4 meter. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan desain rumah pada umumnya di Indonesia. Umumnya susunan yang paling sering digunakan di Indonesia adalah susunan dinding setengah bata, namun tidak menutup kemungkinan digunakan juga

susunan dinding satu bata [33]. Karena kedua jenis susunan dinding ini memiliki kekuatan yang berbeda maka kedua jenis susunan dinding tersebut akan dianalisis juga perilakunya dalam penelitian ini.

Suatu struktur perlu didesain sedemikian rupa sehingga jika beban maksimum bekerja maka dapat diketahui skenario keruntuhan dari struktur tersebut [34]. Salah satu cara untuk menentukannya adalah dengan menggunakan konsep desain kapasitas. Inti dari konsep ini adalah memperkirakan urutan kejadian dari kegagalan suatu struktur apabila struktur tersebut dikenai beban maksimum [35]. Pada konsep desain kapasitas, tidak semua elemen struktur dibuat sama kuat terhadap gaya dalam yang direncanakan, tetapi ada elemen-elemen struktur atau titik pada struktur yang dibuat lebih lemah dibandingkan dengan yang lain. Hal ini agar di elemen atau titik tersebut kegagalan struktur akan terjadi pada saat beban maksimum bekerja. Konsep desain kapasitas diperlukan untuk elemen-elemen yang daktail penuh khususnya bangunan di daerah dengan resiko gempa tinggi.

Pada suatu dinding yang bekerja sebagai dinding penahan, sendi plastis diharapkan terjadi pada dasar dinding [36]. Dalam konsep desain kapasitas, dasar dinding bata didesain sebagai sendi pada taraf beban lateral dimana dasar dinding masih bersifat daktail untuk menahan momen dan gaya tekan akibat gaya aksial. Namun di sisi lain bagian di luar daerah sendi plastis didesain untuk tetap dalam keadaan elastis selama proses pembebanan sehingga menghindari perencanaan detail terhadap beban gempa.

Parameter yang ditinjau dalam penelitian ini adalah kapasitas dan daktalitas struktur menggunakan evaluasi kinerja dengan *pushover analysis*, *software* bantu untuk menghitung *pushover analysis* menggunakan SAP 2000 v15 [37]. Dalam penelitian ini, parameter yang menjadi fokus adalah kapasitas dan daktalitas struktur bangunan.

Kapasitas dan daktalitas adalah dua konsep penting dalam evaluasi dan perancangan struktur bangunan. Kapasitas struktur merujuk pada kemampuan struktur untuk menahan beban tertentu sebelum mengalami kegagalan atau kerusakan [38]. Ini mencakup daya tahan struktur terhadap beban statis atau dinamis, seperti gempa bumi, angin, atau beban hidup. Kapasitas yang tinggi berarti struktur mampu menahan beban yang lebih besar sebelum mencapai titik kegagalan. Sementara itu, daktalitas adalah kemampuan struktur untuk menunjukkan perilaku deformasi plastis dan elastis yang lebih besar selama terkena beban lateral seperti gempa bumi. Struktur yang daktail akan mampu menyerap energi dari gempa dengan deformasi berkelanjutan tanpa mengalami kerusakan yang parah. Hal ini penting karena dampak dari gempa dapat dikurangi dengan cara memungkinkan struktur untuk bergerak dan meredakan energi, sehingga melindungi nyawa manusia dan meminimalkan kerusakan struktural. Perancangan struktur yang optimal seringkali mencoba mencapai keseimbangan antara kapasitas dan daktalitas. Kapasitas yang lebih tinggi akan meningkatkan daya tahan struktur terhadap beban eksternal, sedangkan daktalitas yang baik akan memastikan struktur mampu mengatasi beban lateral dengan meredakan energi dan menghindari kerusakan yang parah. Keseimbangan ini penting untuk mencapai tingkat keamanan yang optimal dan meminimalkan risiko kerusakan struktural saat terjadi gempa atau beban lainnya.

Penelitian ini menggunakan metode evaluasi kinerja struktur dengan menggunakan teknik *pushover analysis* [39]. Kapasitas struktur mengacu pada kemampuan suatu bangunan untuk menahan beban tertentu sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan struktural. Sementara itu, daktalitas merujuk pada kemampuan struktur untuk menunjukkan deformasi yang cukup elastis dan memberikan peringatan sebelum mencapai batas kegagalan akhir. Dengan menganalisis kapasitas dan daktalitas struktur melalui *pushover analysis*, penelitian ini bertujuan untuk memahami sejauh mana kekuatan dan keandalan struktur dalam menghadapi beban eksternal. Hasil penelitian ini dapat memberikan pandangan yang lebih baik tentang potensi kerentanan dan kemampuan mitigasi risiko terhadap gempa bumi atau beban eksternal lainnya pada struktur bangunan yang dievaluasi [40].

METODE PENELITIAN

Bagan alir berikut menjelaskan metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.



Gambar 1. Flow Chart Studi Analisa

Penentuan beban struktur bertujuan untuk menentukan beban-beban luar yang akan diberikan kepada struktur agar dapat dianalisis/dihitung lebih lanjut dengan bantuan program. Terdapat dua macam pembebanan struktur, yaitu pembebanan grafitasi, serta pembebanan dinamis gempa berdasarkan perhitungan pada SNI 03-1726-2010.

Pembebanan balok. Beban-beban yang dipikul oleh balok antara lain :

- a. Beban mati, yang terdiri dari :
 - 1) Beban pelat lantai/pelat atap
 - 2) Berat sendiri balok
 - 3) Berat plafon
 - 4) Berat penggantung plafon
 - 5) Berat mortar
 - 6) Berat tegel
- b. Beban hidup, yang terdiri dari :
 - 1) Beban hidup akibat pelat lantai

2) Beban gempa

Beban gempa dihitung berdasarkan analisa struktur statik ekuivalen yang mengacu pada SNI 03-1726-2010, karena struktur gedung rumah tinggal yang direncanakan termasuk struktur gedung beraturan, sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh SNI 1726 pasal 4.2.1. Kriteria-kriteria struktur beraturan tersebut antara lain :

- a. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m. Dalam hal ini, rumah sederhana yang direncanakan maksimum sampai 2 tingkat atau 6,5 m.
- b. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25 % dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut. Dalam hal ini, rumah sederhana yang direncanakan tidak mempunyai tonjolan sama sekali.
- c. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15 % dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut. Dalam hal ini, rumah sederhana yang direncanakan tidak memiliki coakan sama sekali.
- d. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75 % dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
- e. Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak (soft storey). Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah satu tingkat, dimana kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Yang dimaksud kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar-tingkat. Dalam hal ini rumah sederhana yang direncanakan mempunyai kekakuan lateral yang beraturan dan tidak memiliki soft storey.
- f. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150 % dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- g. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50 % luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan bukaan atau lubang seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20 % dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Pembebanan gempa yang diberikan adalah berupa respon spektrum gempa berdasarkan peta wilayah gempa yang diberikan oleh SNI 03-1726-2010.

Analisa statik non-linier dapat digunakan untuk menganalisa perilaku dinding bata pada struktur beton bertulang, karena perilaku keruntuhan dinding bata yang bersifat non-linier. Pada penelitian ini, dinding bata dimodelkan sebagai bracing tekan. Terdapat beberapa variasi dinding bata dengan 2 variabel yang diubah-ubah untuk ketiga struktur bangunan beton bertulang yang telah direncanakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dinding bata pada struktur portal beton bertulang. Variabel tersebut antara lain :

a. Variabel tipe pembatas.

Dinding bata divariasi menjadi 2 tipe pembatas, yaitu dinding bata dengan 4 pembatas (gambar 3.10) dan dinding bata dengan 3 pembatas yang direncanakan memiliki bukaan seperti ditunjukkan pada gambar 3.12. Tidak ada aturan khusus yang mengatur luasan bukaan yang di ijinakan pada sebuah dinding. Namun dikatakan sebagai dinding dengan 3 pembatas apabila terdapat 2 kolom dan 1 balok yang membatasi luasan dinding. Dinding bata dimodelkan sebagai bracing tekan yang merepresentasikan luasan dinding bata.

- b. Variable jenis susunan dinding bata
Terdapat 2 jenis susunan dinding bata yang digunakan yaitu susunan 1 bata dan setengah bata. Hal ini harus dibedakan karena kedua tipe susunan tersebut memiliki nilai kekakuan dan ekuatan yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain penampang dan tulangan balok juga kolom berdasarkan gaya- gaya dalam yang didapatkan dari hasil analisa struktur dengan menggunakan SAP2000. Komponen-komponen balok dan kolom harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847-2002 agar struktur beton bertulang tersebut memiliki kinerja yang baik. Desain penampang dan tulangan balok dan kolom disamakan untuk semua lebar portal, baik dengan lebar 2 m, 3 m, dan 4 m. Bangunan direncanakan pada kondisi paling kritis yaitu daerah gempa zona 6, dengan tanah keras. Setelah pembebanan menggunakan SAP2000, didapatkan gaya dalam pada balok yang ditampilkan pada table 5.1. Gaya – gaya dalam tersebut digunakan untuk mendesain penampang dan tulangan lentur maupun geser dari balok.

Tabel 1. Rekapitulasi Gaya Dalam Maksimum Balok Hasil Analisa SAP2000

Struktur	Mn Tumpuan	Mn Lapangan	P Tekan	V(N)	
				Tumpuan	Lapangan
Portal 4 m	8938187	10854482	1131.61	20875.34	10437.67
Portal 2 m	2430011	2590232	290.71	7439.58	3719.79

Sumber: Data yang diolah

Berikut akan ditampilkan contoh perhitungan desain tulangan balok untuk struktur portal dengan luasan terbesar, yaitu 4 m. untuk hasil perhitungan lainnya disajikan dalam tabel.

Contoh perhitungan tulangan lentur balok diambil dari balok lapangan pada struktur 4 m

Dari hasil analisis SAP2000 didapat gaya dalam momen ultimate adalah:

$$M_u = 10854482 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{10854482}{0,8} = 13568101,96 \text{ Nmm}$$

Data balok :

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$f_c = 20 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$F_y = 320 \text{ MPa}$$

$$\Phi = 8 \text{ mm}$$

$$D. \text{ tul. Utama} = 13 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$C_c = 20 \text{ mm}$$

$$d = h - C_c - \Phi \text{ sengkang} - 0,5 \times D. \text{ tul. Utama}$$

$$= 250 - 20 - 8 - 0,5 \times 13 = 215 \text{ mm}$$

$$= \frac{f_y}{E_s} = \frac{320}{200000} = 0,0016$$

Perhitungan ρ min :

(Suci Dwi Wahyuni, Abdul Khamid, Wahidin, Imron, Yulia Feriska)

Evaluasi Kinerja Struktur Dinding Bata dengan Metode Analisis Pushover pada Bangunan Sederhana

Berdasarkan SNI 2847 – 2002 pasal 12.5, nilai ρ min tidak boleh diambil kurang dari : ρ min

$$= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} = \frac{\sqrt{20}}{4 \times 320} = 0,003494$$

dan tidak lebih kecil dari

$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

Perhitungan ρ max

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 \rightarrow \text{untuk beton } f'_c < 30 \text{ MPa} \\ \rho_b &= \beta_1 \cdot \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \cdot \frac{0,85 \times 20}{320} \times \frac{600}{600 + 320} = 0,029 \\ \rho \text{ max} &= 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,029 = 0,022 \end{aligned}$$

Tabel 2. Rekapitulasi Tulangan Lentur Balok

Balok	Lokasi	Mu (Nmm)	Desain lentur			
			As perlu (mm ²)	Tulangan	As terpasang (mm ²)	Spasi (mm)
Lebar 4 m	Tumpuan	8696,493	170,48	2 D 13	265,33	68
	Lapangan	10854,482	209,54	2 D 13	265,33	68
Lebar 2 m	Tumpuan	1846,231	142,41	2 D 10	157	74
	Lapangan	2590,232	142,41	2 D 10	157	74

Contoh perhitungan analisa momen nominal tulangan terpasang dari balok lapangan pada struktur lebar 4 m.

$$\begin{aligned} \text{As terpasang} &= 265,33 \text{ mm}^2 \\ \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{265,33 \times 320}{0,85 \times 20 \times 150} = 33,3 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{\alpha}{2} \right) = 265,33 \times 320 \times \left(215,5 - \frac{33,3}{2} \right) \\ &= 16883635,05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Nmm Sehingga :

$$M_n \text{ terpasang} = 18076804,24 \text{ Nmm} > M_n \text{ perlu} = 13568102 \text{ Nmm (OK)}$$

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Analisa Momen Nominal

Balok	Lokasi	Mn penampang	Mn perlu	Mn perlu	Ket.
Lebar 4 m	Tumpuan	16883635	10870616	8696493	Ok
	Lapangan	16883635	13568102	10854482	Ok
Lebar 2 m	Tumpuan	10407167	2307789	1846231	Ok
	Lapangan	10407167	3237790	2590232	Ok

KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan dan analisa pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil pushover, nilai daktilitas semua model baik portal dengan lebar 4 m, 2 m, memenuhi syarat. Dari hasil perbandingan variasi dinding bata yang ada, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai daktilitas suatu struktur dipengaruhi oleh luasan dan tebal dinding bata. Semakin besar dan tebal sebuah dinding semakin besar pula nilai daktilitas dan kekuatannya mempengaruhi sebuah struktur beton bertulang. Hasil studi menunjukkan bahwa struktur dengan konfigurasi dinding 1 bata memiliki nilai daktilitas yang lebih baik dan kapasitas base share yang lebih besar bila dibandingkan dengan struktur dengan konfigurasi dinding ½ bata. Struktur dengan konfigurasi dinding 1 bata mampu mencapai target perpindahan yang lebih besar dibanding struktur dengan konfigurasi dinding ½ bata. Berdasarkan hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan bahwa struktur dengan konfigurasi dinding 1 bata memiliki perilaku yang lebih baik dibandingkan dengan struktur dengan konfigurasi dinding ½ bata. Evaluasi kapasitas model struktur dengan bracing tekan menunjukkan hasil yang telah memenuhi syarat, hal ini dapat dilihat dari kinerja struktur ketika mencapai performance point, keseluruhan model mencapai range IO to LS (*Immediate Occupancy to Life Safety*). Hasil studi menunjukkan bahwa struktur dengan dinding pengisi batu bata memiliki nilai daktilitas yang lebih baik dan kapasitas base share yang lebih besar bila dibandingkan dengan struktur open frame. Dari evaluasi kerjanya, struktur dengan dinding pengisi batu bata mampu

SARAN

Saran yang dapat diberikan sesuai dengan tugas akhir ini. Kekuatan dan kekakuan dinding bata pengisi perlu diperhatikan dalam proses desain bangunan rumah sederhana. Konfigurasi dinding satu bata tidak dianjurkan penggunaannya untuk bangunan rumah sederhana, hal ini ditinjau dari sisi ekonomisnya. Konfigurasi satu bata menggunakan lebih banyak batu bata jika dibandingkan dengan konfigurasi setengah bata. Maka untuk daerah gempa kendari, dalam merencanakan rumah sederhana tahan gempa yang kuat dan ekonomis, cukup dengan menggunakan konfigurasi dinding setengah bata. Penelitian ini masih menganalisa perilaku dinding bata pengisi pada struktur dengan jumlah tingkat rendah. Untuk selanjutnya dapat dilakukan studi untuk meneliti kinerja dari gedung bertingkat tinggi dengan dinding pengisi batu bata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Sulistiyo, Wahidin, and Imron, "Pelaksanaan Pembangunan Rumah Layak Huni di Desa Cikuya," *Infratech Build. J.*, pp. 68–73, 2020.
- [2] G. R. F.G, Wahidin, and M. Taufiq, "Perencanaan Pembangunan Drainase di Desa Ciawi Kecamatan Banjarharjo Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, pp. 52–60, 2020.
- [3] R. B. Saputra, Abdul Khamid, and Imron, "Perencanaan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Eco-Drainage) di Desa Tiwulandu," *Infratech Build. J.*, pp. 62–67, 2020.
- [4] Wahidin, "Analisis Laju Sedimentasi dan Konservasi di Hulu Waduk Malahayu," *Infratech Build. J.*, pp. 29–35, 2020.
- [5] M. GilangAlfarizi, Wahidin, and M. Yunus, "Analisis Perbandingan RAB Metode SNI dan BOW Jalan Rigid Desa Banjarharjo," *Infratech Build. J.*, pp. 61–66, 2020.
- [6] A. Hamid and H. Wildan, "Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Untuk Peningkatan Ruas Jalan Brebes –Jatibarang Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [7] Y. Feriska and A. Unaesih, "Pengaruh Beban Kendaraan terhadap Kerusakan Jalan Pada Ruas Jalan Pebatan - Rengaspendawa di Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 36–42, 2020.
- [8] A. Hamid and A. Sodikin, "Identifikasi Kerusakan Jalan pada Jalan Larangan Pamulihan Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, pp. 21–28, 2020.
- [9] Wahidin and Windy, "Perencanaan Sistem Drainase Perumahan Sapphire Regency Desa

- Pulosari Kecamatan Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, pp. 43–51, 2020.
- [10] L. Nurdin and D. A. A. G, “Evaluasi dan Perbaikan Sistem Drainase Serta Pengendalian Banjir Perkotaan (Studi Kasus Limbangan Wetan, Limbangan Kulon, Kelurahan Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, pp. 11–20, 2020.
- [11] S. Fuaddi and A. Khamid, “Perencanaan Pembangunan Jalan Usaha Tani di Desa Cikakak Kecamatan Banjarharjo,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [12] Wahidin, “Analisis Faktor Penyebab Kerusak Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Desa Cikakak),” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [13] S. Azhari, “Perencanaan Peningkatan Jalan Rigid Pavement pada Ruas Jalan Dusun Longkrang Desa Banjarharjo,” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 103–111, 2021.
- [14] S. D. Wahyuni, “Perencanaan Penampungan Air Bersih di Desa Cigadung Kecamatan Brebes Kabupaten Brebes: Perencanaan Penampungan Air Bersih di Desa Cigadung Kecamatan Brebes Kabupaten Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 112–117, 2020.
- [15] A. Nurfajar, Y. Feriska, and M. Yunus, “Perencanaan Perbaikan Jalan Desa Tegalreja,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [16] Wahidin, Imron, and Y. Feriska, “Perencanaan Jembatan Prestessed Sungai Cijalu Kabupaten Cilacap,” *Infratech Build. J.*, 2020.
- [17] Wahidin, “Perencanaan Biaya Pengadaan Sumur Bor dalam untuk Distribusi Air Bersih di Desa Cigadung,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [18] H. Kurniawan, Abdul Khamid, and D. D. Apriliano, “Evaluasi dan Rencana Pengembangan Sistem Drainase di Kota Tegal (Studi Kasus di Kecamatan Tegal Barat),” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [19] W. S. N. Wahidin, “Perencanaan Sistem Drainase Perumahan Sapphire Regency Desa Pulosari Kecamatan Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–51, 2020.
- [20] W. Sulistiyo and W. Wahidin, “Pelaksanaan Pembangunan Rumah Layak Huni di Desa Cikuya: Pelaksanaan Pembangunan Rumah Layak Huni di Desa Cikuya,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [21] I. Nabawi, Y. Feriska, and W. Diantoro, “Analisis Dampak Kerusakan Jalan terhadap Pengguna Jalan dan Lingkungan di Ruas Jalan Pebatan - Rengaspendawa Brebes Impact Analysis of Road Damage on Road Users and the Environment on Jalan Pebatan - Rengaspendawa Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 28–34, 2021.
- [22] U. Udin, A. Khamid, M. Taufiq, and D. D. Apriliano, “Optimasi Debit Air Saluran Irigasi pada Bendung Sungapan Kecamatan Pemalang Kabupaten Pemalang Studi Kasus Saluran Induk Simangu 844 , 74 Ha Optimization of Water Discharge of Irrigation Canals at Sungapan Weir , Pemalang District , Pemalang Regency Case ,” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 42–48, 2021.
- [23] Justiansyah, A. Khamid, and M. Taufiq, “Analisis Kondisi Permukaan Pekerjaan Jalan Desa Cikakak Dengan Metode PCI dan RCI,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [24] D. Irawan, A. L. Nurdin, A. Khamid, and Y. Feriska, “Model Analisis Pelaksanaan Proyek dengan Metode Critical Path Method (CPM) dan Metode Crashing (Study Kasus pada Pelaksanaan Pekerjaan Peningkatan Jalan Kebandingan – Gembongdadi , Kecamatan Kramat , Kabupaten Tegal) Project Implementation Analysis Mo,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 96–102, 2020.
- [25] H. Wibowo, Y. Feriska, A. L. Nurdin, D. D. Apriliano, and M. Yunus, “Studi Kelayakan Investasi Properti Pembangunan Perumahan Griya Sengon Indah 3 di Desa Sengon Kecamatan Tanjung Feasibility Study of Property Investment in Griya Sengon Indah 3 Housing Development in Sengon Village , Tanjung District,” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 49–55, 2022.
- [26] S. Azhari, Y. Feriska, A. L. Nurdin, and D. D. Apriliano, “Studi Implementasi Pemakaian Kalsifloor Pengganti Cor Beton pada Bangunan Gedung RSIA Permata Insani Kabupaten Brebes Study on the Implementation of the Use of Calcifloor Substitute for Cast Concrete

- in the Building of Rsia Permata Insani Building , Brebe,” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 56–64, 2021.
- [27] G. A. N. Wahidin, “Analisis Laju Sedimentasi dan Konservasi di Hulu Waduk Malahayu,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–35, 2020.
- [28] M. G. Alfarizi, W. Wahidin, and M. Yunus, “Analisis Perbandingan RAB Metode SNI dan Bow Jalan Rigid Desa Banjarharjo,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [29] G. R. FG and W. Wahidin, “Perencanaan Pembangunan Drainase di Desa Ciawi Kecamatan Banjarharjo Kabupaten Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [30] W. Diantoro, “Studi Mengenai Persepsi Masyarakat terhadap Kegiatan Pembangunan Jalan Desa di Banjarlor Kabupaten Brebes,” *Tesis Univ. Islam Sultan Agung Semarang*, 2020, [Online]. Available: <https://eje.bioscientifica.com/view/journals/eje/171/6/727.xml>
- [31] A. Khamid, Y. Feriska, and W. Diantoro, “Analisis Kinerja Lalu Lintas Simpang Tiga Tak Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Jalan Raya Klampok Km 180 + Ruas Jalan Klampok - Banjaratma , Kabupaten Brebes) Traffic Performance Analysis of Simpang Tiga Tak Bersignal (Case Study of Simpang Tiga Jalan,” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 35–41, 2021.
- [32] B. S. Pangestu and Wahidin, “Studi Tentang Kenyamanan Pejalan Kaki terhadap Pemanfaatan Trotoar di Kota Tegal (Studi Kasus Jalan RA Kartini Kota Tegal) Study on Pedestrian Comfort on Sidewalk Utilization in Tegal City (Case Study of RA Kartini Street , Tegal City),” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 22–27, 2021.
- [33] A. Khamid and A. Sodikin, “Identifikasi Kerusakan Jalan pada Jalan Larangan Pamulihan Kabupaten Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [34] A. Khamid and H. Wildan, “Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) untuk Peningkatan Ruas Jalan Brebes–Jatibarang Kabupaten Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [35] A. Khamid and M. A. Izazi, “Pengaruh Genangan Air Hujan terhadap Kinerja Campuran Aspal Concere-Wearing Course (Ac-Wc),” *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 4, no. 7, pp. 1–14, 2019.
- [36] A. Khamid, “Sedimentation Handling Model of Sediment Reservoir on Darma Reservoir Das Cimanuk–Cisanggarung Kuningan Regency,” in *International Conference on Coastal and Delta Areas*, 2017, pp. 276–284.
- [37] A. Khamid, “Pengaruh Genangan Air Hujan terhadap Kinerja Campuran Aspal Concere - Wearing Course (AC - WC),” *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 4, no. 7, pp. 5–24, 2019.
- [38] Sultoni and Wahidin, “Perencanaan Sistem Drainase Perumahan Sapphire Regency Desa Pulosari Kecamatan Brebes,” *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–51, 2020.
- [39] S. Fuaddi and Wahidin, “Studi Perbandingan Harga Satuan Pekerjaan Proyek Pembangunan Gedung Puskesmas Kedungbanteng dengan Metode Analisa Bow, SNI, dan Lapangan Comparative Study of Unit Price of Work Project Construction of Kedungbanteng Puskesmas Building with Bow, SNI, and Fi,” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 14–21, 2021.
- [40] M. G. Alfarizi and Wahidin, “Analisis Tingkat Kerusakan Jalan Akibat Volume Kendaraan pada Perkerasan Rigid di Ruas Jalan Pantura Tegal - Pemalang Kabupaten Tegal Analysis of the Level of Road Damage Due to Vehicle Volume on Rigid Pavement on Jalan Pantura Tegal - Pemalang Kabupaten,” *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 7–13, 2021.