



Perilaku dan Kinerja Struktur dari Hasil Perancangan Bangunan *Unconfined Masonry* dan *Confined Masonry*

*Alfien Hernanda Putra, Ade Okvianti Irlan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, Jakarta

*)alfien051001600004@std.trisakti.ac.id

Received: 17 Oktober 2020 Revised: 9 Desember 2021 Accepted: 23 Desember 2021

Abstract

Many buildings in Indonesia were damaged during the earthquake, especially non-engineered brick walls building. One example of non-engineered brick walls building is Bendung Village Head Office in Serang, Banten, which was damaged by the 2019 Pandeglang earthquake. This building was built without reinforced concrete beams and columns known as unconfined masonry buildings. In this study, the building will be redesigned with ETABS software to determine the similarities between the structural weaknesses from ETABS and the actual damage. The results of the structural analysis give a time period of 0.814 seconds, a base shear force of 195.5 kN, and a stress on the wall that is 50% similar to the real damage. Then, the same building was designed following the rules and regulations for earthquake resistant buildings in Indonesia so that it became a confined masonry building. The result is a time period of 1.586 seconds, a base shear force of 114.2 kN, and a brick wall that is not damaged when exposed to earthquake loads. However, the dimensions and reinforcement of beams and columns that comply with the minimum requirements for earthquake resistant buildings in Indonesia need to be enlarged because their strength capacity is exceeded by the working load.

Keywords: Non-engineered buiding, brick walls, unconfined masonry, confined masonry

Abstrak

Banyak bangunan di Indonesia yang rusak ketika terkena gempa bumi, terutama bangunan nir-rekayasa dinding bata. Salah satu contoh bangunan tersebut adalah bangunan Kantor Lurah Bendung di Serang, Banten yang mengalami kerusakan ketika terkena Gempa Pandeglang 2019. Bangunan ini dibangun tanpa balok dan kolom beton bertulang yang dikenal dengan sebutan bangunan unconfined masonry. Dalam studi ini, bangunan tersebut akan dirancang ulang dengan software ETABS untuk mengetahui kemiripan antara kelemahan struktur dari ETABS dengan kerusakan sebenarnya. Hasil analisis strukturnya memberikan waktu getar sebesar 0,814 detik, gaya geser dasar sebesar 195,5 kN, dan tegangan pada dinding yang 50% mirip dengan kerusakan pada keadaan sebenarnya. Lalu, bangunan yang sama dirancang dengan mengikuti kaidah dan peraturan bangunan tahan gempa di Indonesia sehingga menjadi bangunan confined masonry. Hasilnya berupa waktu getar sebesar 1,586 detik, gaya geser dasar sebesar 114,2 kN, dan dinding bata yang tidak mengalami kerusakan ketika terkena beban gempa. Tetapi, dimensi dan tulangan dari balok dan kolom yang mengikuti syarat minimum bangunan tahan gempa di Indonesia perlu diperbesar karena kapasitas kekuatannya terlampaui oleh beban yang bekerja.

Kata kunci: Bangunan nir-rekayasa, dinding bata, unconfined masonry, confined masonry

Pendahuluan

Bangunan nir-rekayasa adalah bangunan yang dibangun langsung oleh pemiliknya dengan menggunakan tukang setempat yang tidak terlatih, menggunakan bahan bangunan setempat yang murah, dan dikerjakan tanpa campur tangan arsitek maupun ahli struktur dalam perencanaan dan

pembangunannya, seperti rumah, sekolah, dan kantor bertingkat rendah.

Di Indonesia sendiri masih banyak bangunan nir-rekayasa yang dibangun dengan tidak mengikuti kaidah dan peraturan bangunan tahan gempa di Indonesia. Hal tersebut yang menyebabkan bangunan nir-rekayasa tersebut rentan mengalami

kerusakan ketika terkena gempa bumi. Berdasarkan data gempa bumi signifikan dan merusak tahun 2017-2019 di Indonesia yang ditampilkan pada Tabel 1, jumlah bangunan yang rusak tidak didominasi oleh bangunan rekayasa, seperti *high rise building*, melainkan didominasi oleh bangunan nir-rekayasa.

Bangunan nir-rekayasa tentu tidak direncanakan dan dihitung terlebih dahulu pada awal pembangunannya. Atas dasar tersebut, (Krishna & Boen, 2011) serta (Boen, 2015) merancang ulang salah satu rumah yang rusak akibat gempa bumi dengan *software* SAP 2000 untuk mengetahui perilaku struktur bangunan serta kemiripan antara perlemahan struktur yang terjadi dari *output software* SAP 2000 dengan kerusakan sebenarnya yang didapat dari foto dokumentasi. Sedikit berbeda, (Boen, 2001) merancang rumah dan sekolah dengan SAP 2000 untuk menganalisis kinerja dan perilaku struktur dari elemen-elemen yang ada di bangunan tersebut, seperti kolom beton bertulang, dinding bata, dan atap kayu.

Berdasarkan kajian literatur terdahulu, pada jurnal ini akan dilakukan pengambilan dokumentasi dan perancangan ulang atas salah satu bangunan nir-rekayasa yang telah mengalami kerusakan ketika terkena gempa bumi untuk mengetahui perilaku struktur bangunan serta kemiripan antara perlemahan struktur yang terjadi dari *output software* ETABS dengan kerusakan sebenarnya yang didapat dari foto dokumentasi.

Perbedaan kajian ini dengan literatur terdahulu adalah objeknya berupa bangunan yang dibangun tanpa adanya balok dan kolom beton bertulang yang disebut bangunan *unconfined masonry*. Bangunan tersebut adalah Kantor Lurah Bendung. Kantor Lurah Bendung di Kota Serang, Banten yang ditampilkan pada Gambar 1 adalah bangunan yang menjadi dampak kerusakan dari gempa bumi Pandeglang tahun 2019 yang dibangun tanpa adanya balok dan kolom beton bertulang.

Perancangan bangunan yang dikaji dibagi menjadi dua kasus. Pertama, bangunan dirancang sesuai

dengan keadaan bangunan sebenarnya yang merupakan bangunan *unconfined masonry* untuk mengetahui kemiripan antara perlemahan struktur yang terjadi dari *output software* ETABS dengan kerusakan sebenarnya yang didapat dari foto dokumentasi. Kedua, bangunan dirancang dengan mengikuti kaidah dan peraturan bangunan tahan gempa dimana hal utama yang akan dirubah adalah dengan menambahkan balok dan kolom beton bertulang pada bangunannya sehingga termasuk jenis bangunan *confined masonry* untuk mengetahui apakah bangunan tersebut akan tetap rusak atau tidak ketika terkena gempa jika bangunan Kantor Lurah Bendung memiliki balok dan kolom beton bertulang.



Gambar 1. Tampak depan Kantor Lurah Bendung

Metode

Untuk dapat mencapai tujuan dari penelitian ini, dilakukan kunjungan ke lapangan yang meliputi pengambilan foto dokumentasi dan pengukuran dimensi bangunan. Setelah itu, dilanjutkan dengan memasukkan data ke *software* ETABS untuk mendapatkan *output* berupa hasil analisis struktur.

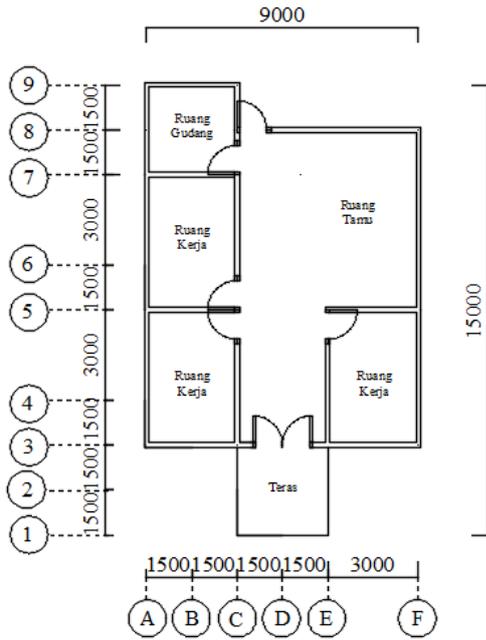
Data Bangunan

Bangunan memiliki luas bangunan sebesar 108 m². Kantor Lurah Bendung terdiri dari 5 ruangan dan denahnya dapat dilihat di Gambar 2.

Tabel 1. Gempa bumi signifikan dan merusak dari tahun 2017-2019 di Indonesia

| Lokasi & tanggal | Kuat gempa (M) | Jumlah bangunan rusak | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------|----------|
| | | Nir-rekayasa | Rekayasa |
| Jawa Barat, 15-12-2017 | 6,9 | 2.981 | 51 |
| Banten, 23-01-2018 | 6,4 | 2.166 | 48 |
| Nusa Tenggara Barat, 05-08-2018 | 6,9 | 168.684 | 1.678 |
| Sulawesi Tengah, 28-09-2018 | 7,4 | 67.310 | 131 |
| Sulawesi Barat, 05-11-2018 | 5,2 | 203 | 40 |
| Maluku, 26-09-2019 | 6,5 | 540 | 20 |

Sumber: (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019)



Gambar 2. Denah Kantor Lurah Bendung

Perhitungan beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen. Menurut (Ridwan & Aldiamar, 2017), tanah yang berada di Kota Serang termasuk jenis kelas situs SD atau tanah sedang. Parameter percepatan gempa untuk Kantor Lurah Bendung, Serang yang terletak pada koordinat $6^{\circ}05'30.8''S$, $106^{\circ}12'43.3''E$ (website.puskim.pu.go.id) adalah sebagai berikut: $S_s = 0,765$ (g), $S_1 = 0,329$ (g), $T_0 = 0,126$ detik, dan $T_s = 0,628$ detik.

Kaidah dan peraturan

Kaidah bangunan nir-rekayasa tahan gempa di Indonesia yang digunakan sebagai acuan adalah membangun rumah tembokan tahan gempa (Boen, 2005a), poster persyaratan minimum bangunan tembokan tahan gempa dengan perkuatan beton bertulang (Boen, 2005b), dan poster persyaratan pokok membangun rumah yang lebih aman (Boen *et al.*, 2012).

Sementara kaidah bangunan nir-rekayasa tahan gempa di luar negeri yang digunakan sebagai acuan antara lain: Construction and Maintenance of Masonry House (Blondet, 2005), Earthquake Resistant Confined Masonry Construction (Brzev, 2007), Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings (Meli *et al.*, 2011), Earthquake Resistant Confined Masonry Construction (Brzev, 2007), Confined Masonry Walls (Rai, 2015).

Selanjutnya, peraturan bangunan nir-rekayasa tahan gempa yang digunakan adalah SNI 8140-2016 tentang persyaratan beton struktural untuk rumah tinggal (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Selain itu, ada juga SNI 15-2094-2000 tentang bata merah untuk pasangan dinding (Badan Standardisasi Nasional, 2000), SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (Badan Standardisasi Nasional, 2012), dan SNI 7973:2013 tentang spesifikasi desain untuk konstruksi kayu (Badan Standardisasi Nasional, 2013).

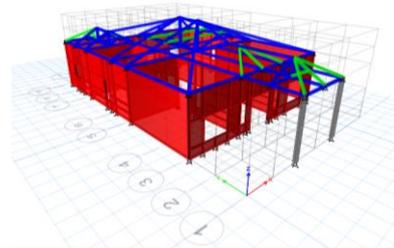
Desain

Balok dan kolom yang ditambahkan pada perancangan kasus 2 memiliki properti yang diambil berdasarkan kaidah dan peraturan bangunan nir-rekayasa tahan gempa yang dapat dilihat pada Tabel 2.

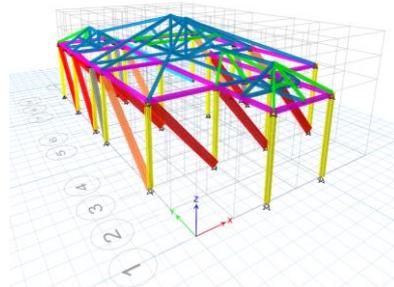
Tabel 2. Properti balok dan kolom

| Properti | Balok | Kolom |
|-------------------------------|---------------------------|------------|
| Dimensi | 150x120 mm | 150x150 mm |
| Selimit beton | 10 mm | 15 mm |
| Jumlah tulangan longitudinal | Atas: 2D10 Bawah: 2D10 | 4D10 mm |
| Diameter tulangan transversal | D8 mm | D8 mm |
| Jarak antar sengkang | 150 mm | 150 mm |

Pada bangunan kasus 1, dinding dimodelkan sebagai elemen shell penuh menurut (Prawira, Sukrawa, & Budiwati, 2016). Tampak 3D dari bangunan dapat dilihat di Gambar 3. Sementara pada bangunan kasus 2, dinding dimodelkan sebagai strut diagonal menurut (Prawira *et al.*, 2016). Tampak 3D dari bangunan dapat dilihat di Gambar 4.



Gambar 3. Tampak 3-D bangunan kasus 1



Gambar 4. Tampak 3-D bangunan kasus 2

Hasil dan Pembahasan

Kasus 1

Beban mati yang terdiri rangka atap, tiang teras, dinding bata, lalu beban hidup, dan beban mati tambahan (ADL) yang terdiri dari penutup atap, plafon, dan ME dihitung terlebih dahulu untuk menentukan massa total bangunan yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Massa bangunan kasus 1

| Jenis beban | Berat kN/m ² | Luas bangunan m ² | Massa total kN |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Rangka atap 12x6 | - | - | 0,8063 |
| Rangka atap 12x8 | - | - | 6,7545 |
| Tiang teras | - | - | 1,3129 |
| Dinding bata | - | - | 257,2591 |
| Beban hidup (atap) | 0,96 x 0,5 | 108 | 51,84 |
| ADL | 0,9124 | 108 | 98,5392 |
| Massa bangunan (<i>m</i>) = | | | 416,512 |

Selain massa bangunan (*m*), untuk menghitung beban gempa dengan metode statik ekuivalen, diperlukan waktu getar (*T*) dari bangunan yang dirancang. Waktu getar dari ETABS sebesar 0,814 detik untuk *mode* 1. Dengan demikian $T > T_s$, maka S_a dan gaya geser dasar (V_{base}) dihitung dengan persamaan 1 dan 2 sebagai berikut:

$$S_a = \frac{S_{DI}}{T} = \frac{0,382}{0,814} = 0,4694 \quad (1)$$

$$V_{base} = F = m \times S \quad (2)$$

$$= 416,512 \times 0,4694$$

$$= 195,504 \text{ kN}$$

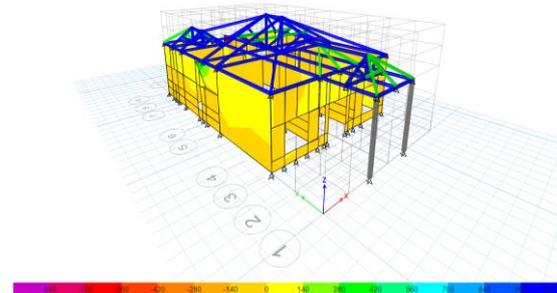
Untuk mengetahui kelemahan struktur pada dinding bangunan harus mengeluarkan nilai tegangan pada dinding dari ETABS yang dapat dilihat pada Gambar 5 untuk dibandingkan dengan tegangan tarik ultimit (σ_t) dan tegangan tekan ultimit (σ_c) yang didapatkan dengan persamaan 3 dan 4 sebagai berikut:

$$\sigma_c = f'_m = 5 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$\sigma_t = 0,1 \sqrt{f'_m} \quad (4)$$

$$= 0,1 \times \sqrt{5 \text{ MPa}}$$

$$= 0,224 \text{ MPa}$$



Gambar 5. Tegangan pada dinding bangunan kasus 1

Jika tegangan pada dinding melebihi batas ultimit, maka akan terjadi kerusakan/retakan struktural. Jika tidak melebihi batas ultimit, kemungkinan tidak akan terjadi retakan atau jikapun terjadi hanyalah retakan non struktural.

Perbandingan kelemahan struktur hasil model dengan kerusakan sebenarnya dari foto dokumentasi

Perbandingan dilakukan terhadap tiga tampak elevasi, yaitu tampak elevasi F, tampak elevasi 3, dan tampak elevasi 8. Jenis retakan dibagi menjadi dua, yaitu retakan struktural dan retakan non struktural. Retakan struktural adalah ragam retak yang dapat membahayakan kestabilan suatu bangunan dengan lebar retak melebihi 2 mm. Sementara itu, retakan non struktural tidak membahayakan, tetapi dapat mengurangi nilai estetika dari sebuah bangunan dengan lebar retak kurang dari 2 mm.

Hasil analisis perbandingan pada tampak elevasi F, dapat dilihat di Tabel 4, Gambar 6 dan 7. Hasil analisis perbandingan pada tampak elevasi 3 dapat dilihat di Tabel 5, Gambar 8, 9, dan 10 dan hasil analisis perbandingan tampak elevasi 8 dapat dilihat di Tabel 6, Gambar 11 dan 12.

Tabel 4. Hasil analisis perbandingan di tampak elevasi F

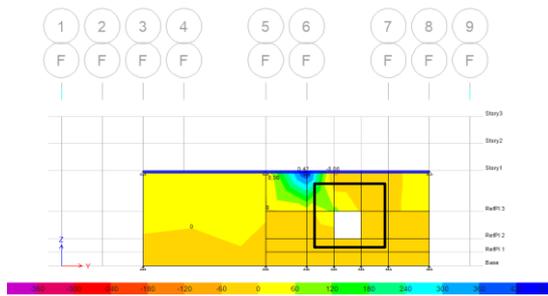
| Letak | Deskripsi foto | Tegangan izin | | Hasil rancangan ETABS | | | Ket. | |
|-------------------|------------------------|---------------|-------------|-----------------------|----------------|---------------|----------------|---|
| | | Tekan (MPa) | Tarik (MPa) | Warna | Tegangan (MPa) | Jenis retakan | | |
| Kiri atas jendela | Retakan struktural | 5 | 0,224 | Hijau | 0,07 | Tarik | Non struktural | × |
| Atas jendela | Retakan non struktural | 5 | 0,224 | Kuning | 0,01-0,06 | Tarik | Non struktural | ✓ |
| Bawah jendela | Kerusakan struktural | 5 | 0,224 | Kuning tua | 0,02 | Tekan | Non struktural | × |

Tabel 5. Hasil analisis perbandingan di tampak elevasi 3

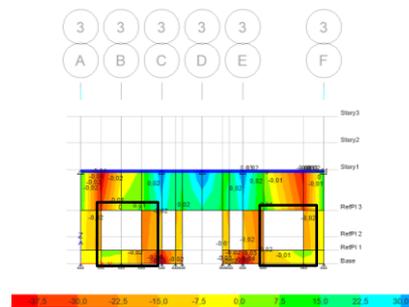
| Letak | Deskripsi foto | Tegangan izin | | Hasil rancangan ETABS | | | | Ket. |
|---------------------------|------------------------|---------------|-------------|-----------------------|--------------------|----------------|----------------|------|
| | | Tekan (MPa) | Tarik (MPa) | Warna | Tegangan (MPa) | Tegangan (MPa) | Jenis retakan | |
| Atas jendela kiri | Retakan non struktural | 5 | 0,224 | Merah dan kuning | 0,01-0,06 | Tekan | Non struktural | ✓ |
| | | | | Hijau | 0,01 | Tarik | Non struktural | ✓ |
| Kanan atas jendela kanan | Retakan non struktural | 5 | 0,224 | Merah dan oranye | 0,02 | Tekan | Non struktural | ✓ |
| Kanan bawah jendela kanan | Retakan non struktural | 5 | 0,224 | Hijau | 4×10^{-3} | Tarik | Non struktural | ✓ |
| Kiri bawah jendela kanan | Retakan non struktural | 5 | 0,224 | Oranye | 0,02 | Tekan | Non struktural | ✓ |

Tabel 6. Hasil analisis perbandingan di tampak elevasi 8

| Letak | Deskripsi foto | Tegangan izin | | Hasil rancangan ETABS | | | Ket. | |
|-----------------------|----------------------|---------------|-------------|-----------------------|----------------|---------------|----------------|---|
| | | Tekan (MPa) | Tarik (MPa) | Warna | Tegangan (MPa) | Jenis retakan | | |
| Sekitar jendela kiri | Kerusakan struktural | 5 | 0,224 | Kuning kecoklatan | 0,01-0,04 | Tekan | Non struktural | ✗ |
| | | | | Kuning muda | 0,01 | Tarik | Non struktural | ✗ |
| Sekitar jendela kanan | Kerusakan struktural | 5 | 0,224 | Oranye | 0,02 | Tekan | Non struktural | ✗ |
| | | | | Kuning dan hijau | 0,02-0,17 | Tarik | Non struktural | ✗ |



Gambar 6. Tegangan pada dinding di tampak elevasi F



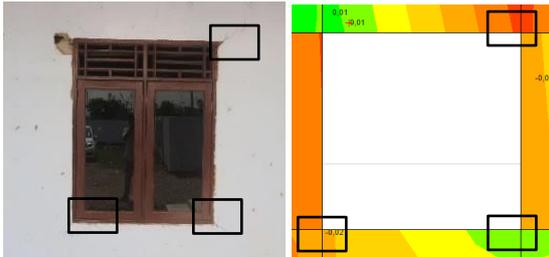
Gambar 8. Tegangan pada dinding tampak elevasi 3



Gambar 7. Perbandingan kerusakan di tampak elevasi F



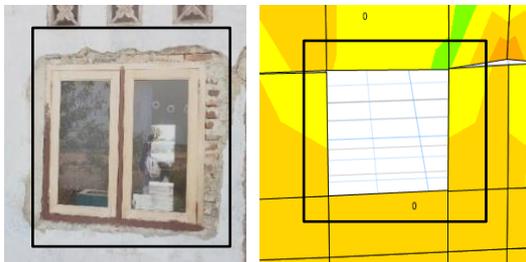
Gambar 9. Perbandingan kerusakan di tampak elevasi 3 (jendela kiri)



Gambar 10. Perbandingan di tampak elevasi 3 (jendela kanan)



Gambar 11. Perbandingan kerusakan di tampak elevasi 8 (jendela kiri)



Gambar 12. Perbandingan kerusakan di tampak elevasi 8 (jendela kanan)

Dari hasil analisis perbandingan antara hasil perancangan bangunan kasus 1 dengan ETABS berupa tegangan di dinding memiliki kesamaan dengan kerusakan yang terjadi pada foto dokumentasi sebesar 50%.

Kasus 2

Beban mati yang terdiri dari rangka atap, balok beton, kolom beton, dan dinding bata yang lalu

beban hidup, dan beban mati tambahan (ADL) yang terdiri dari penutup atap, plafon, dan ME dihitung terlebih dahulu untuk menentukan massa total bangunan yang ditampilkan di Tabel 7.

Selain massa bangunan (m), untuk menghitung beban gempa dengan cara statik ekuivalen, diperlukan waktu getar (T) dari bangunan yang dirancang. Waktu getar dari ETABS sebesar 1,586 detik untuk *mode* 1.

Dengan demikian $T > T_s$, maka S_a dan gaya geser dasar (V_{base}) dihitung dengan Persamaan 1 dan 2 dan hasilnya sebagai berikut:

$$S_a = 0,2409$$

$$V_{base} = 114,1963 \text{ kN}$$

Dinding pada kasus 2 dimodelkan sebagai strut diagonal tunggal sehingga untuk mengetahui kelemahan strukturnya tidak bisa menggunakan tegangan pada dinding melainkan dengan menghitung kapasitas gaya dari dinding bata (F_{cap}) dengan gaya dalam berupa gaya aksial yang terjadi dengan persamaan 5 dan 6 sebagai berikut:

$$\text{Tebal dinding bata } (t_m) = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar dinding bata } (w) = 285,5 \text{ mm (terkecil)}$$

$$A_m = t_m \times w \quad (5)$$

$$= 150 \text{ mm} \times 285,5 \text{ mm}$$

$$= 42.823,1 \text{ mm}^2$$

$$F_{cap} = \sigma_t \times A_m \quad (6)$$

$$= 0,224 \text{ MPa} \times 42.823,1 \text{ mm}^2 \times 1000$$

$$= 9,5755 \text{ kN}$$

Beban aksial maksimum (P_{max}) didapat dari ETABS sebesar 2,0536 kN. Dengan demikian, F_{cap} terkecil masih lebih besar dari P_{max} yang berarti dinding tidak akan mengalami kerusakan atau keretakan diagonal.

Tabel 7. Massa bangunan kasus 2

| Jenis beban | Berat kN/m ² | Luas bangunan m ² | Massa total kN |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Rangka atap 12x6 | - | - | 0,8063 |
| Rangka atap 12x8 | - | - | 4,6601 |
| Balok beton | - | - | 30,9096 |
| Kolom beton | - | - | 17,01 |
| Dinding bata | - | - | 270,2612 |
| Beban hidup (atap) | 0,96 x 0,5 | 108 | 51,84 |
| ADL | 0,9124 | 108 | 98,5392 |
| Massa bangunan (m) = | | | 474,0264 |

Pengecekan tulangan

Pada perancangan ini, properti dari balok dan kolom beton bertulang mengikuti syarat minimum dari kaidah dan peraturan bangunan tahan gempa di Indonesia. Lalu, akan dicek apakah tulangan pada balok dan kolom yang sesuai dengan syarat minimum dari peraturan dan kaidah bangunan tahan gempa cukup untuk digunakan pada perancangan bangunan studi kasus ini.

Tulangan kolom

Pengecekan tulangan kolom dilakukan dengan menggunakan *software* spColumn. Dengan cara *trial and error*, kapasitas dari kolom dapat memenuhi beban yang bekerja jika dimensi tetap, namun tulangan yang digunakan menjadi 4D16 mm.

Tulangan balok

Pengecekan tulangan balok dilakukan dengan membandingkan momen maksimum yang terjadi dan momen kapasitas balok. Momen maksimum balok (M_u) dari ETABS sebesar -7,0015 kNm, sementara momen kapasitas balok yang terdiri dari 2D10 mm tulangan atas dan 2D10 mm tulangan bawah perlu dihitung dengan rumus momen kapasitas balok pada persamaan 7, 8, dan 9 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_s \text{ 2D10} &= 2 \times 79 \text{ mm}^2 \\ &= 158 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$d = h - \text{selimut beton} - \text{sengkang} - \frac{\text{diameter tul.}}{2} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &= 150 - 10 - 8 - 10/2 \\ &= 127 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{158 \times 420}{0,85 \times 20 \times 120} \\ &= 32,5294 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = \frac{(0,9 A_s f_y (d - \frac{a}{2}))}{10^6} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,9 \times 158 \times 420 \times (127 - \frac{32,5294}{2})}{10^6} \\ &= 6,6136 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan demikian $\phi M_n < M_u$, maka kapasitas dari balok terlampaui dan desain perlu untuk direvisi kembali dengan cara memperbanyak tulangan longitudinal atau memperbesar dimensi balok. Dengan cara *trial and error*, kapasitas dari balok dapat memenuhi beban yang bekerja jika dimensi tetap, namun tulangan atas yang digunakan menjadi 3D10 mm dan tulangan bawah yang digunakan menjadi 3D10 mm. Perubahan properti balok dan kolom setelah direvisi dapat dilihat di Tabel 8.

Kesimpulan

Perancangan kasus 1 memiliki waktu getar (T) yang lebih kecil daripada perancangan kasus 2, yaitu 0,814 detik dibandingkan dengan 1,586 detik. Sedangkan perancangan kasus 2 memiliki gaya geser dasar (V_{base}) yang lebih kecil dari perancangan kasus 1, yaitu 114,2 kN dibandingkan dengan 195,5 kN. Hasil perancangan bangunan kasus 1 dengan ETABS berupa tegangan di dinding memiliki kesamaan dengan kerusakan yang terjadi pada foto dokumentasi sebesar 50% sehingga perancangan bangunan nir-rekayasa dengan *software* ETABS dapat dikatakan menjadi salah satu acuan awal untuk mengetahui kerusakan bangunan nir-rekayasa ketika terkena gempa.

Hasil perancangan bangunan kasus 2 memiliki kapasitas gaya (F_{cap}) sebesar 9,5755 kN yang lebih besar daripada gaya aksial yang terjadi (P), yaitu 2,0536 kN. Dengan demikian, dinding bata yang dimodelkan dengan strut diagonal tunggal tidak terjadi kerusakan atau keretakan diagonal. Kapasitas dari balok dan kolom perancangan bangunan kasus 2 yang menggunakan syarat minimum dari peraturan dan kaidah bangunan tahan gempa di Indonesia terlampaui oleh gaya dalam yang terjadi sehingga properti tulangan balok perlu diubah dari 4D10 mm menjadi 4D16 mm dan properti tulangan atas dan bawah kolom perlu diubah dari 2D10 mm menjadi 3D10 mm.

Tabel 8. Perubahan properti balok dan kolom

| | Properti | Syarat minimum | Setelah dikoreksi |
|-------|----------------|----------------|-------------------|
| Kolom | Dimensi | 150 x 150 mm | 150 x 150 mm |
| | Tulangan | 4D10 mm | 4D16 mm |
| Balok | Dimensi | 150 x 120 mm | 150 x 120 mm |
| | Tulangan atas | 2D10 mm | 3D10 mm |
| | Tulangan bawah | 2D10 mm | 3D10 mm |

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Bapak Ir. Sugeng Wijanto, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing dalam pengerjaan jurnal ini. Terima kasih juga kepada Bapak Yanto selaku Sekretaris Lurah Bendung yang telah membantu dalam pencarian data dan survei di lapangan.

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 15-2094-2000: Bata Merah Untuk Pasangan Dinding. In *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2012: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*, 15(3), 316–325.
<https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>
- (2013). *SNI 7973:2013: Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 8140:2016: Persyaratan Beton Struktural Untuk Rumah Tinggal Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2019). *Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak 1821-2018*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Blondet, M. (2005). *Construction and Maintenance of Masonry House*. Lima: Pontificia Universidad Catolica Del Peru.
- Boen, T. (2001). Earthquake Resistant Design of Non-Engineered Buildings In Indonesia. *EQTAP Workshop IV, Kamakura*.
- Boen, T. (2005a). *Membangun Rumah Tembokan Tahan Gempa*. Sumatera Barat: World Seismic Safety Initiative (WSSI).
- Boen, T. (2005b). *Poster Persyaratan Minimum Bangunan Tembokan Tahan Gempa*. Aceh: World Seismic Safety Initiative (WSSI).
- Boen, T., Suprobo, P., Sarwidi, Pribadi, K. S., Irmawan, M., Satyarno, I., & Saputra, A. (2012). *Poster Persyaratan Pokok Membangun Rumah yang Lebih Aman*. Sumatera Barat: Japanese International Cooperation Agency (JICA).
- Boen, T. (2015). *Belajar dari Kerusakan Akibat Gempa Bumi Bangunan Tembokan Nir-Rekayasa di Indonesia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Brzev, S. (2007). *Earthquake Resistant Confined Masonry Construction*. Kanpur: Indian Institute of Technology Kanpur.
- Krishna, S. P., & Boen, T. (2011). Engineering of Non-Engineered Masonry Houses for Better Earthquake Resistance in Indonesia. *Asian Journal of Environment and Disaster Management (AJEDM) - Focusing on Pro-Active Risk Reduction in Asia*, 03(01), 65.
- Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., Crisafulli, F., Dai, J., ... Yamin, L. (2011). *Seismic Design Guide For Low-Rise Confined Masonry Buildings*. Mexico City: World Housing.
- Prawira, P. A., Sukrawa, M., & Budiwati, I. A. (2016). Pemodelan Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Dengan Dinding Pengisi Menggunakan Strut dan Elemen Shell. *Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil*, 1–8.
- Rai, D. C. (2015). Confined Masonry Walls. *Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC)*, (August).
- Ridwan, M., & Aldiamar, F. (2017). Analisis Respons Tanah di Permukaan Pada Beberapa Lokasi Pengeboran Dangkal Stasiun Gempa Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). *Jurnal Permukiman*, 12, 45–57.