

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan seperti analisis respons spektrum dan *pushover analysis* pada gedung beton bertulang dengan sistem *outrigger* dan *belt truss*, didapatkan beberapa kesimpulan, yakni:

1. Balok dan kolom di sekitar *outrigger* perlu didesain secara khusus untuk mengatasi gaya aksial, momen, dan geser yang terjadi akibat desain kapasitas.
2. Periode struktur pada model baik untuk arah X dan Y adalah 3,949 detik, dengan gerak dominan struktur ke arah X pada mode 1, arah Y pada mode 2, dan rotasi pada mode 3.
3. Elemen balok memiliki rentang rasio PMM sebesar 0,385 – 0,876, kolom memiliki rentang sebesar 0,241 – 0,710, kolom di sekitar *outrigger* memiliki rentang sebesar 0,185 – 0,439 karena harus memenuhi syarat geser, *core wall* memiliki rasio D/C terbesar yaitu 0,832, serta elemen *outrigger* dan *belt truss* memiliki rasio 0,932 dan 0,747. Hal ini membuktikan bahwa elemen yang telah didesain mampu menahan beban dan sudah optimal.
4. *Modal Pushover Analysis* (MPA) dilakukan dengan mengkombinasikan mode yang paling dominan, dimana pada model struktur mode yang dominan adalah mode 1, 4, 7, dan 11 untuk arah X dan mode 2, 5, 8, dan 12 untuk arah Y dimana 90% partisipasi massa ragam telah tercapai.
5. Elemen struktur yang pertama kali mengalami kelelahan yaitu pada elemen *outrigger*. Saat mencapai kapasitas maksimum struktur, elemen *outrigger* berada di titik D-E dimana struktur telah berada pada kondisi setelah melewati batas ultimit dan hanya memiliki kekuatan tersisa. Kelelahan juga terjadi pada elemen struktur mencakup balok di sekitar *outrigger*, *core wall* pada lantai bawah, *belt truss*, dan kolom - kolom bawah di bagian perimeter bangunan.

6. Berdasarkan MPA, simpangan lantai yang dihasilkan untuk mode 1 (arah X) dan mode 2 (arah Y) sama karena gedung yang dimodelkan simetris dan memiliki bentuk ragam yang sama. Hal yang serupa juga terjadi dengan mode 4 (arah X) dan mode 5 (arah Y).
7. Kurva simpangan antar lantai untuk mode 4 dan 5 lebih besar daripada kurva untuk mode 1 dan 2 karena terdapat rentang simpangan lantai yang cenderung lebih besar.
8. Gaya geser terbesar terjadi pada lantai 1 sebesar 4,28% dari total kumulatif gaya geser tingkat.
9. Berdasarkan grafik hubungan *base shear* dan *displacement*, mode 4 dan 5 menahan *base shear* yang lebih besar dibandingkan dengan mode 1 dan 2.
10. Kurva kapasitas yang diperoleh dengan cara mengkombinasikan grafik masing-masing mode menggunakan SRSS dan CQC rule saling berhimpitan, baik untuk arah X dan Y. Kurva yang dihasilkan mengalami pergantian gradien karena *displacement* yang terjadi pada mode 1 dan mode 2 lebih besar daripada mode 4 dan mode 5.
11. Kurva kapasitas menggunakan SRSS dan CQC rule lebih tinggi daripada kurva kapasitas NSP, dengan kenaikan sebesar 31,7% untuk arah X dan 34,7% untuk arah Y. Hal ini membuktikan bahwa NSP kurang akurat untuk analisis pada gedung bertingkat tinggi.
12. Faktor modifikasi respons, R hasil analisis = 6,05 (arah X dan Y) mendekati asumsi R awal yaitu 6 sehingga masih cukup representatif untuk digunakan dalam mendesain gedung beton bertulang dengan sistem struktur *outrigger* dan *belt truss* baja. Nilai ini juga sebanding dengan nilai R = 6 pada literatur sekunder (Samadi, M., Jahan, N., 2021) dengan sistem serupa untuk tinggi gedung 28 lantai.
13. Faktor reduksi daktilitas, R_{μ} yang didapatkan untuk arah X dan Y yaitu 2,495 dan 2,481. Nilai ini masih berada dalam rentang faktor reduksi daktilitas untuk gedung beton bertulang dengan *Shear Wall Core* dalam studi terdahulu oleh Samadi, M., Jahan, N., 2021.
14. Faktor kuat lebih, Ω_0 , yang didapatkan untuk arah X dan Y yaitu 2,425 dan 2,438 mendekati nilai Ω_0 awal = 2,5. Nilai ini juga mendekati Ω_0 pada

peraturan SNI 1726:2019 Tabel 12 untuk sistem struktur dinding geser beton bertulang khusus.

15. Faktor defleksi amplifikasi, C_d , yang didapatkan untuk arah X dan Y sebesar 3,922 dan 3,932. Nilai ini lebih mendekati nilai C_d yang dihasilkan menggunakan rumus usulan pada literatur sekunder (Samadi, M., Jahan, N., 2021) untuk gedung 56 lantai daripada untuk gedung 28 lantai. Terdapat indikasi bahwa nilai C_d sensitif terhadap jumlah lantai sebuah bangunan.
16. Hasil parameter - parameter gempa berdasarkan analisis yang dilakukan mendekati nilai parameter gempa untuk gedung dengan sistem serupa (28 dan 56 lantai) sehingga analisis nonlinear *Modal Pushover* (MPA) direkomendasikan karena masih cukup akurat setelah dibandingkan dengan analisis nonlinear *Time History* pada studi terdahulu oleh Samadi, M., Jahan, N., 2021.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Terdapat indikasi bahwa jumlah lantai turut mempengaruhi faktor defleksi amplifikasi (C_d) pada gedung beton bertulang menggunakan sistem yang serupa dengan sistem yang dianalisis, sehingga sebaiknya dilakukan analisis parameter gempa untuk jumlah lantai gedung yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, N., Sukamta, D. (2020). *Inovasi Dalam Perancangan Gedung Indonesia-1 Menggunakan Konsep Performance-Based*.
- Badan Standardisasi Nasional: SNI 2052:2017. (2017). *Baja Tulangan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional: SNI 1726:2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional: SNI 1727:2020. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional: SNI 7860:2020. (2020). *Ketentuan Seismik untuk Bangunan Baja*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional: SNI 2847:2020. (2020). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional: SNI 8899:2020. (2020). *Tata Cara Pemilihan dan Modifikasi Gerak Tanah Permukaan untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional: SNI 8900:2020. (2020). *Panduan Desain Sederhana untuk Bangunan Beton Bertulang*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- China National Standards: GB50352-2005. (2005). *Code for Design Of Civil Building*. China Architecture & Building Press, Beijing, China.
- Choi, H.S., Ho, G., Joseph, L., Mathias, N. (2012). *Outrigger Design for High-Rise Building. An output of the CTBUH Outrigger Working Group*. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago.

- Council on Tall Buildings and Urban Habitat 2023, *The Skyscraper Center*, accessed March 16 2023, < <https://www.skyscrapercenter.com/countries>>
- Davy Sukamta & Partners 2022, *Davy Sukamta & Partners Consulting Engineers*, accessed March 16 2023, <<https://davysukamta.com/projects/>>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA): Hazus – MH 2.1. (2011). *Advanced Engineering Building Module Technical and User's Manual*. FEMA, Washington D.C.
- Hardiman, S. E., Mukahar, Budi, A. S. (2017). *Kinerja Sistem Struktur Outrigger dan Belt Wall Pada Gedung Tinggi Akibat Pembebanan Gempa*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, September 2017, 826.
- Kakde, P.A., Desai, R. (2017). *Comparative Study of Outrigger and Belt Truss Structural System For Steel and Concrete Material*. International Research Journal of Engineering and Technology, May 2017, Vol. 04, Issue 05, 142.
- Samadi, M., Jahan, N. (2021). *Comparative Study on the Effect of Outrigger on Seismic Response of Tall Buildings with Braced and Wall Core. II : Determining Seismic Design Parameter*. The Structural Design of Tall And Special Buildings, March 2021, e1855.
- Shah, N. K., Gore, N. G. (2016). *Review on Behavior of Outrigger System in High Rise Building*. International Research Journal of Engineering and Technology, June 2016, Vol. 03, Issue 06, 2803-2804.
- Taranath, B.S. (2012). *Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Themelis, Sypridon. (2008). *Pushover Analysis For Seismic Assessment and Design of Structures*. (Dissertation, Heriot-Watt University).