

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis evaluasi kinerja struktur gedung Kementerian ESDM Provinsi Sumatera Barat terhadap beban tsunami yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi metodologi FEMA P-646 dalam menganalisis perilaku struktural gedung menghasilkan pemahaman komprehensif mengenai berbagai komponen beban tsunami yang bekerja pada bangunan. Gaya hidrodinamik yang diperhitungkan menunjukkan variasi signifikan seiring peningkatan ketinggian gelombang dengan rentang nilai antara 103,3 kN pada ketinggian tsunami 1,2 m hingga 9202,1 kN pada ketinggian 14,2 m. pola peningkatan gaya menunjukkan karakteristik non-linear dengan akselerasi yang semakin besar pada elevasi tsunami yang lebih tinggi, mengindikasikan kompleksitas interaksi gelombang tsunami dengan struktur bangunan.
2. Kinerja perpindahan struktur, hasil analisis menggunakan *software seismostruct* menghasilkan data perpindahan lateral yang memperlihatkan distribusi deformasi vertikal sepanjang tinggi bangunan. Perpindahan maksimum teridentifikasi pada lantai kelima dengan magnitudo yang bervariasi bergantung pada ketinggian tsunami. Pada scenario beban tsunami dengan ketinggian 14,2 m, perpindahan lateral mencapai nilai tertinggi sebesar -0,1628 m pada arah sumbu x dan 0,0124 m pada arah sumbu y. distribusi perpindahan menunjukkan pola amplifikasi progresif dari dasar menuju puncak struktur, yang sesuai dengan teori dinamika struktural untuk pembebanan lateral.
3. Evaluasi simpangan antar lantai, hasil perhitungan simpangan antar lantai (*story drift*) memperlihatkan variabilitas yang bergantung pada intensitas beban tsunami. Untuk skenario tsunami dengan ketinggian di bawah 11,6 m, seluruh tingkat lantai menunjukkan tingkat kinerja *Immediate Occupancy (IO)* dengan nilai *drift ratio* berkisar antara 0,00% hingga 0,57%, yang jauh berada

dibawah batas maksimum yang disyaratkan. Namun pada ketinggian tsunami 11,6 m, lantai dasar mengalami peningkatan *drift ratio* mencapai 1,99% dengan tingkat kinerja *Life Safety*, sementara pada ketinggian 12,9 m dan 14,2 m, lantai dasar mencapai kondisi *Collapse Prevention* dengan *drift ratio* masing-masing 2,51% dan 3,31%. Hal ini mengindikasikan bahwa lantai dasar menjadi elemen kritis yang mengalami beban dan deformasi paling signifikan dalam mekanisme transfer gaya tsunami

4. Korelasi ketinggian tsunami dengan gaya hidrodinamik, analisis parametric terhadap sebelas variasi ketinggian tsunami menghasilkan kurva hubungan yang menunjukkan korelasi eksponensial antara elevasi gelombang dengan magnitude gaya hidrodinamik. Peningkatan ketinggian tsunami dari 1,2 m menjadi 14,2 m mengakibatkan peningkatan gaya hidrodinamik dari 103,3 kN menjadi 9202,1 kN. karakteristik non-linearitas ini menegaskan pentingnya skenario ekstrem dalam perencanaan struktur tahan tsunami, mengingat peningkatan gaya yang tidak proporsional terhadap peningkatan ketinggian gelombang.
5. Lokasi gedung kementerian ESDM yang berada pada zona bahaya tsunami sedang hingga tinggi dengan jarak 1,7 km dari bibir pantai, dikombinasikan dengan tinggi bangunan 19 meter (5 lantai), menjadikan gedung ini berpotensi sebagai alternatif shelter tsunami. Hasil analisis kinerja struktur yang menunjukkan bahwa simpangan antar lantai masih dalam batas aman mengonfirmasi bahwa struktur mampu mempertahankan integritasnya ketika menghadapi beban tsunami. Kapasitas struktural yang memadai ini menjadi prasyarat fundamental bagi fungsi sekunder gedung sebagai bangunan evakuasi vertikal.
6. Penelitian ini memberikan kontribusi metodologis dalam implementasi standar internasional dan nasional untuk evaluasi struktur eksisting terhadap ancaman tsunami. Pendekatan analitis yang mengintegrasikan FEMA P-646, SNI 1726:2019 menghasilkan kerangka evaluasi yang komprehensif dan dapat direplikasi untuk bangunan-bangunan lain di kawasan rawan tsunami. Temuan kuantitatif mengenai hubungan antara ketinggian tsunami, gaya hidrodinamik, dan repons struktural dapat menjadi referensi dalam pengembangan pedoman

desain bangunan evakuasi vertikal yang lebih *resilient* terhadap bencana tsunami.

5.2 Saran

1. Metodologi evaluasi yang dikembangkan dalam penelitian ini sebaiknya diaplikasikan pada bangunan-bangunan lain yang berada di zona rawan tsunami di Kota Padang. Inventarisasi dan evaluasi sistematis terhadap bangunan potensial akan menghasilkan database komprehensif mengenai ketersediaan shelter tsunami dan mengidentifikasi bangunan yang tidak memenuhi standar keamanan.
2. Meskipun struktur terbukti aman, efektivitas gedung sebagai shelter tsunami sangat bergantung pada kesiapan masyarakat. Oleh karena itu, perlu dilakukan sosialisasi kepada masyarakat sekitar mengenai lokasi gedung, jalur evakuasi, untuk memastikan masyarakat dapat mencapai tempat aman dalam waktu yang tersedia (waktu tiba tsunami).
3. Penelitian lanjutan dengan skenario tsunami berbeda, disarankan untuk melakukan analisis sensitivitas dengan memvariasikan parameter tsunami seperti tinggi gelombang, kecepatan aliran, dan durasi genangan. Analisis ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai batas kapasitas struktur dan dapat menjadi dasar dalam perencanaan scenario evakuasi.
4. Sebagai upaya peningkatan ketahanan struktur terhadap beban tsunami, penggunaan kolom dengan penampang silinder dapat dipertimbangkan sebagai alternatif desain. Secara hidrodinamika, bentuk silinder memungkinkan aliran gelombang mengalir lebih lancar di sekeliling elemen struktur sehingga mengurangi konsentrasi tekanan dan gaya seret akibat tumbukan langsung gelombang. Tidak adanya sudut tajam pada kolom silinder juga menurunkan potensi turbulensi dan pusaran aliran di belakang kolom, yang berkontribusi pada respon gaya lateral yang lebih stabil. Dengan distribusi tekanan yang lebih merata, kolom silinder berpotensi meningkatkan kinerja struktur, khususnya pada lantai bawah bangunan di kawasan pesisir yang secara langsung terpapar aliran tsunami.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings (ASCE/SEI 41-17)*. ASCE.
- Borrero, J. C., Sieh, K., Chlieh, M., & Synolakis, C. E. (2009). Tsunami inundation modeling for western Sumatra. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(52), 19673-19677.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2014). *Pedoman Perencanaan Bangunan Evakuasi Vertikal Tsunami*. Jakarta: BNPB.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2021). *Buku Saku Tanggap Tangkas Tangguh Menghadapi Bencana*. Jakarta: BNPB.
- Chock, G. Y. K., Carden, L., Robertson, I., Olsen, M. J., Fox, C., & Yim, S. (2013). *Tsunami loads and effects*. FEMA P-646. Federal Emergency Management Agency
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang: Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Federal Emergency Management Agency. (2019). *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, 3rd Edition (FEMA P-646)*. Washington, DC: FEMA.
- Fitrah, F., Hasibuan, P., & Mahlil. (2021). Evaluasi Struktur Gedung Control Room PT. Perta Arun Gas Terhadap Beban Tsunami. *Journal Of the Civil Engineering Students Vol. 3. No. 3*, 222-228.
- Fauziah, M. (2022). *BMKG Dorong Kota Padang Wujudkan Tsunami Ready Community, Tingkatkan Kesiapsiagaan Gempa dan Tsunami*. Padang: BMKG.
- Honesti, L., Abd Majid, M. Z., Djali, N., & Muchlian, M. (2015). Modeling the Potential Risk of Building Vulnerability towards Tsunami Hazard in Ulak Karang and Pasir Jambak Sub-District, Padang. *Vol. 72 No.4: Special Issue on 2014 AFAP International Conference Current & Emerging Trends in Science & Eng. (Surabaya) Vol.1*.
- Mustafa, B. (2010). Lokasi Potensi Sumber Tsunami di Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Fisika, Vol.2 No.2*, 94-100.
- Muhari, A., Imamura, F., Koshimura, S., & Post, J. (2011). Examination of three practical run-up models for assessing tsunami impact on highly populated areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(12), 3107-3123
- Mori, N., Takahashi, T., et al. (2011). *Post tsunami survey and analysis of building performance after the 2011 Tōhoku earthquake tsunami*, Coastal Engineering Journal.
- MacGregor, J. G., & Wight, J. K. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. Pearson.
- Natawidjaja, D. H., Sieh, K., Chlieh, M., Galetzka, J., Suwargadi, B. W., Cheng, H., & Avouac, J. P. (2006). Source parameters of the great Sumatran megathrust earthquakes of 1797 and 1833 inferred from coral microatolls. *Journal of Geophysical Research*, 111(B6).
- Oktiari, D., & Manurung, S. (2010). Model Geospasial Potensi Kerentanan Tsunami Kota Padang. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol.11 No.2*.

- Rahmadani Z, S. F., & W.N, T. Y. (2023). Prediksi Landaan Bencana Tsunami Ketinggian 5 dan 12 Meter di Kota Padang, Sumatera Barat. *Vol.24 No.3: Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*.
- Suri, U. I. (2017). *Pengaruh Beban Tsunami Pada Gedung Baru DPRD Provinsi Sumatera Barat*. Padang: Unand.
- Siswanto, A. B., & Salim, M. A. (2018). *Manajemen Bencana*. Semarang: Pilar Nusantara.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726:2019)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. (2020). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya (SNI 1726:2020)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SeismoSoft. (2022). *SeismoStruct-A Computer for Static and Dinamic Nonlinear Analysis of Frame Structures*. Version 2022, SeismoSoft Ltd.
- Yeh, H. (2007). Design tsunami forces for onshore structures. *Journal of Disaster Research*, Vol.2 No.6, 531-536.
- Yudichara, Y. (2008). Kaitan antara karakteristik pantai Provinsi Sumatera Barat dengan potensi kerawanan tsunami. *Indonesian Journal on Geoscience*, Vol.3 No.2, 95-106.
- Yuhanah, T. (2014). Konsep Desain Shelter Mitigasi Tsunami. *Jurnal Teknologi Volume 6 No 1*.