



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang memiliki potensi untuk menjadi salah satu negara dengan perekonomian terkuat di dunia. Menurut McKinsey & Company (2012), Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi perekonomian yang menjanjikan bahkan memiliki potensi untuk menjadi negara dengan perekonomian terbesar ketujuh di dunia. Berdasarkan kinerja ekonomi Indonesia secara historis dapat dilihat bahwa Indonesia mampu mereduksi *poverty rate* lebih dari setengah sejak 1999 menjadi di bawah 10% pada tahun 2020 (<https://www.worldbank.org/en/country/indonesia/overview#1>, diunduh pada tanggal 16 Maret 2022, pukul 20.09 WIB). Pertumbuhan ekonomi di Indonesia juga tercermin dalam bertumbuhnya pembangunan gedung di Indonesia. Pembangunan bangunan gedung yang bertumbuh juga perlu disertai dengan pemeriksaan ketahanan bangunan secara berkala untuk memastikan keamanan bangunan terhadap beban-beban yang mungkin terjadi.

Menurut Wijanto, dkk., (2020), banyak pulau di Indonesia yang terletak di ujung barat dari *Ring of Fire*. Karena itu Indonesia menjadi salah satu negara yang rawan terhadap terjadinya gempa. Adapun Indonesia berdasarkan data menjadi negara yang bahkan lebih memiliki aktivitas seismik yang lebih aktif dibandingkan Jepang namun karena area Jepang lebih kecil sehingga catatan terjadinya gempa lebih banyak dibanding Indonesia (<https://www.thesun.co.uk/tech/2187546/country-most-earthquakes-biggest-ever-iraq-iran-china-lombok/>, diunduh pada 5 Februari 2022, pukul 17.16 WIB).

Indonesia menjadi negara yang rawan terhadap bencana gempa karena Indonesia dilewati oleh lima lempeng tektonik (Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, Lempeng Caroline dan Lempeng Filipina) yang saling bergesekkan. Beberapa kejadian gempa bumi yang terjadi di Indonesia juga menjadi beberapa kejadian gempa bumi yang sangat merusak di era modern



seperti gempa Aceh pada 2004, gempa Yogyakarta pada tahun 2006, gempa Padang pada tahun 2009, gempa Palu pada tahun 2018 dan lain sebagainya. Beberapa kejadian diantaranya juga menimbulkan bencana susulan lainnya seperti tsunami dan likuifaksi. Bencana gempa bumi yang terjadi dapat menimbulkan berbagai macam kerugian seperti timbulnya korban jiwa dan kerugian ekonomi.

Menurut Elnashai dan Sarno (2015), rata-rata terdapat 10.000 korban jiwa per tahunnya oleh karena bencana gempa bumi selain itu gempa bumi juga memberikan dampak yang besar pada produk nasional bruto negara yang terdampak. Menurut Hadi, dkk., (2019) masalah gempa bumi menjadi salah satu bencana yang dapat menimbulkan kerusakan yang cukup besar. Pada tahun 2018, gempa bumi di Lombok mengakibatkan 105 korban jiwa dengan kerusakan pada bangunan-bangunan yang ada (magma.esdm.go.id, 2018). Gempa yang terjadi di Sumatera Barat pada tahun 2009 mengakibatkan 1.117 korban jiwa, 1.214 korban luka berat dan 135.448 rumah rusak berat (bpbd.padang.go.id, 2019).

Menurut Booth (2014), ancaman bencana gempa bumi memiliki karakteristik yang berbeda dari bencana lainnya. Salah satu karakteristik gempa yaitu dapat terjadi secara tiba-tiba tanpa dapat disadari meskipun di beberapa tempat sudah terpasang sistem peringatan gempa. Bencana lainnya seperti banjir, badai, gunung meletus pada umumnya dapat diketahui beberapa jam sebelum bencana terjadi.

Gempa bumi menjadi salah satu bencana alam yang dapat menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan sehingga dapat menimbulkan potensi korban meninggal dunia akibat runtuhnya struktur bangunan. Salah satu kerusakan pada struktur bangunan yang diakibatkan oleh peristiwa bencana gempa bumi yang terjadi di Northridge pada 1994 diperlihatkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Struktur Bangunan Parkir yang Runtuh Akibat Gempa Northridge Pada Tahun 1994 (Sumber: Erdey, 2007)



Menurut Islam (1996) banyak dari bangunan didesain dengan kekuatan dan daktilitas yang kurang mencukupi. Bangunan yang dievaluasi berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Islam (1996) yaitu bangunan beton bertulang 7 tingkat yang diperkirakan dibangun pada 1965-1966. Tampak bangunan yang memperlihatkan kerusakan pada bangunan *The Holiday Inn* diperlihatkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Tampak Selatan The Holiday Inn (Sumber: Islam, 1996)

Berdasarkan Llera, dkk., (2001) bangunan yang diteliti mengalami kerusakan struktural yang parah pada balok, kolom, *beam-column joints* dari portal utama. Portal interior bangunan direncanakan mampu untuk menahan hanya gaya gravitasi saja sehingga pada bangunan tidak ditemukan pendetailan seismik. Kolom pada portal A di Lantai 4 dan Lantai 5 mengalami kegagalan geser yang disebabkan oleh kurangnya tulangan sengkang pada kolom sehingga terjadi tekuk dari tulangan utama dan terjadi *splitting failures*. Selain itu bangunan ini juga diindikasikan mengalami torsi secara signifikan ditambah dengan pergerakan lateral. Bangunan yang didominasi dengan sistem struktur pemikul momen pada umumnya akan mengalami perilaku torsi pada saat runtuh (Llera, dkk., 2001).

Ghobarah, dkk. (2006) melakukan investigasi mengenai dampak dari gempa dan tsunami Aceh terhadap struktur dan infrastruktur. Dalam investigasi tersebut diketahui bahwa kebanyakan bangunan di Banda Aceh merupakan portal kayu atau beton bertulang yang kebanyakan merupakan bangunan *non engineered*. Bangunan di Banda Aceh mengalami kerusakan ketika terjadi gempa pada tahun 2004 dikarenakan desain bangunan yang kurang sesuai dengan metode desain seismik modern. Beberapa kekurangan pada desain bangunan di antara lain *soft*



story, *strong beam-weak column*, *short column*, dan kurangnya tulangan geser pada kolom dan *beam-column joint* dan *masonry* yang tidak terkekang (Ghobarah, dkk., 2006). Ketidakberaturan tingkat lunak dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Keruntuhan Akibat Ketidakberaturan Tingkat Lunak Pasca Gempa Asia Tenggara 2004 (Sumber: Ghobarah, dkk., 2006)

Beam-column joint harus didesain agar dapat mencegah terjadinya kegagalan dari pertemuan balok dan kolom (Cimellaro dan Marasco, 2018). Perencana harus memperhitungkan kemungkinan kegagalan geser pada titik pertemuan balok dan kolom. Menurut Elnashai dan Sarno (2015), kerusakan pada titik pertemuan balok dengan kolom dapat membahayakan stabilitas dari struktur, tidak stabilnya struktur disebabkan oleh *inter-storey drift* yang meningkat. Kegagalan pada titik pertemuan balok dengan kolom pada umumnya adalah pengaruh dari gaya geser. Dengan demikian tulangan geser pada titik pertemuan balok dengan kolom akan berperan penting untuk mengekang balok dan kolom terhadap gaya geser yang terjadi. Kegagalan pada titik pertemuan balok dan kolom dapat menyebabkan runtuhnya bangunan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Kegagalan *Beam-Column Joint* dan Pasca Gempa Asia Tenggara 2004 (Sumber: Ghobarah, dkk., 2006)



Bangunan yang didesain dengan standar yang lama memiliki risiko terjadinya kegagalan yang telah dijabarkan. Adapun hal tersebut dikarenakan adanya sumber-sumber gempa bumi yang sebelumnya belum terekam pada peta gempa sebelumnya maupun besar percepatan gempa yang terbaru dapat menjadi lebih besar dibanding sebelumnya. Standar yang digunakan untuk mendesain bangunan yang telah lama berdiri juga memiliki kecenderungan pendetailan yang tidak seketat standar yang baru. Kurangnya pendetailan yang baik dapat menyebabkan daktilitas bangunan kurang baik. Selain karena adanya perbedaan antara standar yang baru dengan yang lama terdapat juga kendala pada inkonsistensi desain terhadap standar dan inkonsistensi konstruksi terhadap desain yang juga dapat meningkatkan risiko.

Risiko kegagalan struktur akibat beberapa hal yang telah dijabarkan sebelumnya dapat diminimalisir dengan evaluasi ketahanan seismik bangunan. Adapun jika bangunan yang didesain dengan standar yang cukup lama cenderung tidak memenuhi syarat pendetailan dari standar persyaratan desain yang terbaru seperti SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019. Karena secara preskriptif detail bangunan cenderung tidak memenuhi syarat dari standar yang terbaru maka diperlukan metode lain untuk dapat melakukan evaluasi bangunan yang lebih dapat diterima. Adapun metode yang dapat digunakan dalam melakukan evaluasi bangunan yaitu metode evaluasi berbasis kinerja atau *performance based assessment*.

Metode evaluasi berbasis kinerja berbeda dengan metode *prescriptive code approach* karena tujuan akhir yang diperiksa adalah bagaimana perpindahan lateral bangunan terhadap batas perpindahan lateral bangunan. Adapun perpindahan lateral bangunan ditinjau sebagai kinerja bangunan yang akan dibatasi untuk level kegempaan tertentu dan kategori risiko bangunan tertentu. Evaluasi bangunan eksisting dengan metode evaluasi berbasis kinerja dapat dilakukan dengan mengacu pada standar ASCE 41-17 yang ditujukan untuk melakukan evaluasi ketahanan seismik bangunan eksisting.

Pada penyusunan tugas akhir ini, digunakan studi kasus pada Proyek X di Kota Semarang, bangunan gedung tersebut difungsikan sebagai kantor. Bangunan



gedung kantor Proyek X dibangun pada tahun 2020 sampai 2021 dengan luas total bangunan sebesar 10.031 m² dengan tinggi bangunan 38 meter yang didesain 10 lantai + dak atap. Pada bangunan ini digunakan komponen struktur pelat, balok dan kolom dengan material beton bertulang untuk struktur atas dan struktur tangga sedangkan struktur atap menggunakan baja profil. Namun pada penelitian ini struktur atas yang ditinjau adalah balok, kolom dan hubungan balok kolom. Elemen pelat, tangga dan struktur atap tidak ditinjau dalam penelitian ini.

Bangunan ini didesain dengan sistem rangka pemikul momen khusus dengan standar SNI 2847-2013, SNI 1726-2012. Namun berdasarkan standar detail yang digunakan, ditemukan bahwa panjang lewatan pada balok dan kolom masih menggunakan standar PBI 71 yaitu sebesar 40 diameter tulangan. Berdasarkan gambar DED yang diperoleh juga ditemukan adanya kemungkinan jarak bersih antar tulangan balok tidak memenuhi syarat SNI 2847-2013 maupun SNI 2847-2019. Selain itu juga ditemukan bahwa ada kemungkinan syarat pendetailan tulangan kolom pada arah melintang tidak memenuhi persyaratan.

Dengan beberapa temuan tersebut bangunan ini menjadi menarik untuk diperiksa dengan standar terkini seperti SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019. Namun dengan perkembangan metode evaluasi struktur seperti *performance based design* memberikan sebuah metode evaluasi yang lebih adil untuk bangunan yang didesain dengan standar yang lama. Metode *performance based design* digunakan untuk mengetahui apakah kinerja bangunan memenuhi target kinerja yang ditargetkan agar terpenuhi dengan desain yang memenuhi standar SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019.

Sistem pemikul gaya seismik yang digunakan untuk melakukan evaluasi pada bangunan ini yaitu sistem rangka pemikul momen khusus sehingga bangunan juga akan dievaluasi terhadap persyaratan yang diatur untuk bangunan pada tingkat seismisitas yang tinggi. Dalam melakukan evaluasi ketahanan seismik pada komponen struktur atas bangunan ini akan digunakan prosedur non linear statik metode ASCE 41 *Coefficient Method* untuk analisis Tier 3 ASCE 41-17. Karena bangunan yang ditinjau merupakan bangunan baru sehingga bangunan akan



ditinjau terhadap level kinerja BSE-1N dan terhadap SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang pada tugas akhir, maka disimpulkan rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana kekuatan dan pendetailan struktur bangunan gedung Proyek X yang ditinjau berdasarkan SNI 2847-2019, SNI 1726-2019?
- b. Bagaimana level kinerja bangunan Proyek X yang digambarkan dalam perpindahan lateral bangunan terhadap target perpindahan bangunan?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada rumusan masalah pada tugas akhir maka tujuan penelitian ini adalah:

- a. Meninjau kekuatan dan pendetailan elemen-elemen struktural terhadap gaya yang bekerja serta mengetahui kesesuaian pendetailan berdasarkan SNI 2847-2019, SNI 1726-2019 pada bangunan gedung Proyek X.
- b. Meninjau perpindahan lateral bangunan dengan metode *performance based seismic evaluation* dengan prosedur non linear statik ASCE 41 CM,

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

- a. Analisis yang dilakukan yaitu analisis elastik berdasarkan standar SNI 2847-2019, SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020 untuk pembebanan,
- b. Perhitungan penskalaan gaya dihitung namun tidak dimasukkan ke dalam pemodelan,
- c. Pemeriksaan ketidakberaturan dilakukan namun tidak memasukkan konsekuensi ketidakberaturan ke dalam pemodelan,
- d. Analisis performa bangunan dilakukan dengan prosedur non linear statik berdasarkan ASCE 41-17 yang direpresentasikan dalam grafik perpindahan terhadap gaya geser dasar dengan level gempa yang ditinjau adalah BSE 2N,



- e. Evaluasi hanya dilakukan pada struktur atas yang menerima gaya terbesar pada setiap lantai pada masing-masing tipe kolom, balok dan hubungan balok kolom beton bertulang,
- f. Evaluasi dilakukan dengan tanpa mempertimbangkan faktor iregularitas bangunan sehingga beban gempa yang bekerja pada bangunan hanya dipertimbangkan pada arah X dan arah Y,
- g. Evaluasi pada Proyek X di Kota Semarang dengan perangkat Microsoft Excel untuk melakukan perhitungan dan ETABS v18.1.1 untuk melakukan analisis pemodelan dan analisis non linear statik bangunan gedung Proyek X, Structure Point Column (SPColumn) untuk menghitung diagram interaksi kolom dan *software* XTRACT untuk menghitung momen-kurvatur penampang,
- h. Penelitian ini tidak meninjau pengaruh dari kinerja struktur bawah dan kondisi tanah pada bangunan gedung Proyek X di Kota Semarang,
- i. Prosedur analisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kombinasi dari prosedur desain kekuatan dan prosedur desain kapasitas berdasarkan SNI 2847-2019 serta prosedur analisis non linear statik berdasarkan ASCE 41-17.

1.5. Manfaat Penelitian

Evaluasi ketahanan seismik bangunan pada penelitian ini dilakukan untuk dapat memahami analisis ketahanan bangunan terhadap gempa yang mungkin terjadi dengan studi kasus. Adapun evaluasi yang dilakukan pada bangunan eksisting mengacu pada beberapa standar yaitu ASCE 41-17 dan standar SNI 2847-2019, SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020. Penelitian ini dilakukan dengan harapan agar dapat mengetahui bagaimana faktor keamanan dan perpindahan struktur terhadap batas level kinerja dengan prosedur nonlinear statik bangunan gedung kantor pada Proyek X.

1.6. Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan pemaparan mengenai latar belakang penelitian, maka disusunlah sebuah kerangka pikir penelitian. Kerangka penelitian ini digunakan sebagai penggambaran konsep yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini, yang diperlihatkan pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Kerangka Pikir Penelitian

Indonesia merupakan negara yang memiliki intensitas gempa yang sangat tinggi karena letak geografisnya. Potensi gempa bumi yang mungkin terjadi adalah pengaruh dari gempa tektonik dan gempa vulkanik. Adapun bencana gempa dapat menyebabkan kerusakan yang sangat parah hingga menimbulkan korban jiwa. Dengan demikian bangunan didesain untuk dapat tahan terhadap gempa, namun karena adanya gempa-gempa yang baru terjadi sehingga juga dapat meningkatkan potensi gempa baru di berbagai lokasi.

Bangunan yang dibangun dengan standar yang lebih baru cenderung memiliki tahanan terhadap gempa lebih baik dibandingkan bangunan yang didesain dengan standar yang lama. Adapun hal tersebut dikarenakan adanya peningkatan percepatan gempa desain di berbagai daerah sedangkan bangunan yang telah lama dibangun tidak didesain dengan percepatan sebesar perbaruan peta gempa terkini. Selain itu juga bangunan yang didesain dengan standar yang lama cenderung tidak seketat syarat yang ditentukan di standar yang lebih baru.



Karena percepatan gempa yang lebih besar dan syarat pendetailan dan desain yang kurang ketat sehubungan dengan kebutuhan desain dan pendetailan terkini maka dapat meningkatkan risiko kegagalan struktur akibat gempa. Selain itu juga ditemukan inkonsistensi desain terhadap standar yang berlaku saat itu dan inkonsistensi konstruksi terhadap desain yang dapat meningkatkan risiko kerusakan pada struktur yang cukup parah jika terjadi bencana gempa yang besar. Dengan demikian diperlukan evaluasi bangunan khususnya bangunan yang telah dibangun cukup lama untuk mengurangi risiko kegagalan struktur jika terjadi gempa.

Bangunan yang telah dibangun dengan desain dari standar yang lebih lama cenderung tidak memenuhi persyaratan secara preskriptif terhadap standar yang lebih baru. Dengan demikian maka diperlukan peninjauan struktur dengan metode yang lebih dapat diterima dengan beberapa penyesuaian terhadap kondisi bangunan. Adapun metode yang sedang berkembang saat ini untuk desain maupun evaluasi adalah metode *performance based seismic engineering*. Aspek utama yang ditinjau pada metode tersebut adalah pada kinerja bangunan yang direpresentasikan pada perpindahan lateral struktur yang kemudian dibatasi pada masing-masing target level kinerja.

Standar yang dapat dijadikan acuan dalam melakukan evaluasi berbasis kinerja adalah ASCE 41-17. Adapun bangunan ditinjau berdasarkan kategori risiko bangunan, berdasarkan target kinerja dasar bangunan. Dengan demikian bangunan dapat ditinjau dengan pendekatan yang lebih baik karena mempertimbangkan aspek target pemakaian bangunan, kategori risiko bangunan sehingga level kegempaan yang digunakan untuk evaluasi dapat disesuaikan.

1.7. Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Pada bab pendahuluan terdapat beberapa hal yang dipaparkan di antara lain latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, kerangka pikir penelitian, dan sistematika penulisan.



Bab 2 Tinjauan Pustaka

Pada bab tinjauan pustaka akan dipaparkan mengenai dasar teori dan pustaka-pustaka yang ditinjau mengenai subjek yang dibahas di dalam penelitian ini.

Bab 3 Metode Penelitian

Pada bab metode penelitian akan dijabarkan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan. Metode evaluasi yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada ASCE 41-17, SNI 2847-2019, SNI 1726-2019, SNI 1727-2020. Adapun standar ASCE 41-17 digunakan untuk melakukan prosedur non linear statik ASCE 41 *Coefficient Method* dan standar SNI untuk analisis elastik.

Bab 4 Pengolahan data dan Pembahasan

Bab pembahasan disusun mengenai analisis data yang telah dikumpulkan dengan metode yang telah dituliskan dalam Bab 3 kemudian dilakukan pembahasan dari analisis yang telah dilakukan.

Bab 5 Penutup

Pada bab penutup dijabarkan mengenai kesimpulan berdasarkan analisis dan pembahasan data yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.