

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, semakin banyak gedung bertingkat tinggi yang dibangun untuk berbagai tujuan sebagai akibat dari meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan keterbatasan lahan yang tersedia. Saat membangun gedung bertingkat, penting untuk mempertimbangkan faktor gempa bumi karena gempa bumi dapat merusak berbagai bangunan karena getaran gempa bumi yang dapat merusak struktur, dan bangunan yang lebih tinggi memiliki resiko kerusakan gempa bumi yang lebih tinggi (Wahyuningtyas et al., 2020). Menurut laporan World Risk Report 2023, Indonesia menduduki urutan ke-2 dari 193 negara paling rentan bencana alam di dunia dengan indeks risiko 43,50 (Ilona Auer Frege et al., 2023).

Gempa bumi sering terjadi di Indonesia disebabkan oleh letak geologisnya yang berada di kawasan *ring of fire* sepanjang 40.000 km (Utomo & Purba, 2019). *Seismograph* mencatat ratusan gempa bumi setiap tahun akibat dari pergerakan aktivitas sesar dan lempeng tektonik. Gempa bumi dengan kekuatan 5,0 SR ke atas sering terjadi 70 hingga 100 kali setiap tahun. Salah-satu akibat terjadinya gempa bumi yaitu kerusakan pada bangunan. Situasi ini memberikan tantangan pada bidang infrastruktur di Indonesia, terutama pada bangunan bertingkat agar mengoptimalkan kualitas bangunan. (Nasution & Purqon, 2016).

Gelombang akibat gempa bumi mempengaruhi lingkungan sekitar. Hal ini juga berdampak pada struktur bangunan di sekitar episentrum gempa bumi (B. Nasution, 2021). Berdasarkan data BNPB, gempa bumi yang terjadi dari tahun 2016 hingga 2022 menyebabkan kerusakan rata-rata 3.736 bangunan, dengan kerusakan terbesar terjadi pada gedung bertingkat tinggi. Daerah perkotaan sangat memiliki banyak gedung perumahan bertingkat, seperti apartemen, mall, gedung perkantoran, hotel, dan lain-lain. Tujuan dari penggunaan gedung bertingkat ini adalah untuk mengimbangi kekurangan lahan untuk perumahan. Bangunan bertingkat sangat rentan terhadap gempa bumi di Indonesia, bangunan tingkat harus

didesain dengan cermat agar kokoh dan tidak rusak oleh gempa. Selain getaran seismik ketahanan struktur memengaruhi kerusakan struktur (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2016).

Dari berbagai data tersebut, dapat disimpulkan bahwa gempa yang terjadi memberikan dampak yang signifikan terhadap struktur bangunan. Respon struktur bangunan terhadap gempa sangat dipengaruhi oleh bahan penyusun beton yang digunakan dalam konstruksinya (Ahmad et al., 2021). Inovasi teknologi dalam bidang beton selalu penting untuk memenuhi tantangan pada permintaan. Beton yang dihasilkan harus mempunyai mutu yang tinggi terutama dari segi kekuatan dan ketahanannya, tanpa mengabaikan nilai ekonominya. Salah satu inovasi terbaru saat ini yang digunakan dalam campuran beton berkualitas tinggi yaitu material *Slag* dan juga inovasi material dari Karbon Nanotube (CNT).

Dari penelitian Rano Noviana Anwar, Abdul Chalid, dan Chandra Afriade Siregar tahun 2023 dengan judul “Pengaruh *Ground Granulated Blast Furnace (GGBF) Slag* Sebagai Bahan Tambah Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton” diperoleh kesimpulan bahwa penambahan *Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)* sebagai bahan tambah sebagian semen dalam campuran beton memiliki pengaruh terhadap kuat tekan beton pada berbagai umur beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton dengan campuran GGBFS menghasilkan kuat tekan yang bervariasi tergantung pada persentase GGBFS yang digunakan dan umur beton (Anwar et al., 2023). Sedangkan pada penelitian Dinda Arga Putri pada tahun 2024 dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Carbon Nanotube* terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Mortar Beton” diperoleh kesimpulan bahwa penambahan karbon nanotube meningkatkan kepadatan beton, yang menyebabkan porositas beton berkurang secara signifikan (Putri, 2024). Dari pernyataan diatas terlihat bahwa pengaruh *slag* dan karbon nanotube pada beton sangat baik dan dapat meminimalisir kerusakan pada beton.

Getaran seismik membuat bangunan bertingkat bergetar, menghasilkan pola getaran atau goyangan yang dapat mempengaruhi perilaku struktur bangunan saat terjadi gempa. Selain bergetar, tanah di sekitar bangunan bergerak karena getaran seismik. Karena itu, frekuensi yang dihasilkan dari model getaran struktur akan menentukan besarnya simpangan (defleksi) dan gaya geser yang dialami bangunan

selama gempa. Frekuensi yang menyebabkan defleksi atau perpindahan permukaan juga akan dipengaruhi oleh frekuensi besarnya gaya geser. (Dewobroto & Harapan, 2016). Penelitian ini menggunakan metode numerik untuk mengamati pengaruh beton campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube pada struktur bangunan bertingkat akibat getaran seismik. Metode numerik yang digunakan adalah metode beda hingga terpusat untuk menghubungkan konsep gempa bumi dengan getaran. Metode numerik ini merepresentasikan perilaku seismik bangunan bertingkat pada saat gempa bumi ditinjau dari pola goyangan (*mode shape*) pada struktur bangunan bertingkat, perpindahan struktur bangunan bertingkat dan besarnya gaya geser yang dialami bangunan bertingkat.

Penelitian ini menganalisis respons struktur bangunan terhadap gempa bumi dengan menggunakan beberapa parameter seperti kekakuan, redaman, massa, dan data gempa bumi *El Centro*. Data ini digunakan karena gempa *El Centro* memiliki accelerogram lengkap dan memiliki kekuatan gempa yang sama dengan kekuatan gempa bumi merusak rata-rata di Indonesia, yaitu 7,1 skala *richter* (Yusra et al., 2018).

Respon struktur bangunan terhadap gempa bumi akan dianalisis dan disajikan dalam bentuk grafik. Banyaknya grafik goyangan, simpangan dan gaya geser sama dengan jumlah tingkat bangunan yang diteliti, dari grafik tersebut dapat terlihat bagaimana respon struktur bangunan menggunakan beton campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube terhadap gempa bumi. Beberapa metode numerik yang dapat digunakan untuk mengetahui respon struktur bangunan akibat gempa bumi antara lain yaitu metode Simpson (Daniels et al., 2013), metode elemen hingga (B. Nasution & Purqon, 2016), metode beda hingga (Nasution, 2022). Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode beda hingga (*finite difference*), metode beda hingga ini digunakan karena metode ini lebih mudah dari segi pemrograman dengan komputer (Yulianto et al., 2016). *Software* yang digunakan untuk menampilkan hasil respon struktur bangunan bertingkat terhadap gempa bumi adalah aplikasi Matlab. Matlab digunakan karena data Matlab berbasis tabel (*array*), sehingga memudahkan dalam menyelesaikan permasalahan komputasi, khususnya permasalahan yang berkaitan dengan matriks dan vektor, dalam waktu singkat. Matlab juga bagus untuk menyajikan grafik, dengan hasil

grafik yang bagus sehingga Matlab tidak perlu menggunakan aplikasi tambahan untuk menampilkan grafik.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Restu Faizah, 2015 dengan judul “Pengaruh frekuensi gempa terhadap respons bangunan bertingkat”, penelitian ini menjelaskan tentang gaya horizontal tingkat, simpangan tingkat, dan gaya geser bangunan bertingkat 5, 10 dan 15. Frekuensi gempa bumi dibagi menjadi 5 frekuensi gempa salah satunya adalah gempa *El Centro*. Namun penelitian ini hanya terfokus pada pengaruh frekuensi gempa pada bangunan bertingkat, tidak mempertimbangkan material bangunan yang digunakan, dan tidak menganalisis pola goyangan (*mode shape*) struktur bangunan bertingkat (Faizah & Yogyakarta, 2015). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Budiman Nasution pada tahun 2021 berjudul “Analisis pengaruh massa pada struktur bangunan bertingkat pada saat gempa bumi menggunakan metode elemen hingga”, penelitian ini juga menggunakan data seismik *El Centro* sebagai data percepatan gempa bumi. Penelitian ini memaparkan pola goyangan (*mode shape*), simpangan dan gaya geser dari bangunan 8 lantai, namun pada penelitian ini hanya mempertimbangkan pengaruh massa pada bangunan bertingkat terhadap gempa bumi tanpa memperhitungkan material konstruksi bangunan yang digunakan. Kemudian pada penelitian yang dilaksanakan oleh Dina Alfariza Nasution tahun 2022 dengan judul “Simulasi respon struktur bangunan bertingkat dengan beton campuran nanosilika terhadap gempa bumi menggunakan metode beda hingga”, penelitian ini menggunakan bangunan bertingkat 5 dengan memperhitungkan material penyusun beton yang digunakan untuk bangunan bertingkat yaitu material yang digunakan adalah material nanosilika. Penelitian memperhitungkan arah perpindahan dan gaya geser yang terjadi sedangkan pada penelitian sebelumnya belum memperhitungkan arahnya. Pada penelitian ini juga menganalisis nilai periode bangunan yang akan berhubungan dengan standar SNI sedangkan pada penelitian sebelumnya hanya membahas frekuensi dan tidak mengaitkannya dengan standar SNI.

Berdasarkan pada penelitian diatas maka dalam penelitian ini berbeda dengan memperhitungkan inovasi material lain dalam penyusun beton untuk bangunan bertingkat. Adapun pada penelitian ini menggunakan 2 varian material yang berbeda sebagai campuran beton, yaitu yang pertama material slag sebagai

campuran beton dan yang kedua menggunakan material karbon nanotube untuk campuran beton. Dan perbedaan pada penelitian ini yaitu menggunakan bangunan bertingkat 12. Maka berdasarkan latar belakang di atas penulis melakukan penelitian mengenai “Analisis respon struktur bangunan bertingkat dengan beton campuran slag dan karbon nanotube menggunakan metode beda hingga”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka identifikasi masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pola goyangan struktur bangunan bertingkat dapat mempengaruhi kestabilan dan keamanan bangunan pada saat terjadi gempa.
2. Pengaruh perpindahan struktur tiap lantai bangunan dengan menggunakan beton campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube terhadap kestabilan dan keamanan bangunan pada saat terjadi gempa.
3. Besarnya gaya geser yang dialami setiap lantai suatu bangunan yang terbuat dari beton campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube pada saat terjadi gempa *El Centro* dapat mempengaruhi kestabilan dan keamanan bangunan.

1.3 Ruang Lingkup Masalah

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini berfokus pada:

1. Pola goyangan struktur bangunan bertingkat.
2. Perpindahan struktur dari masing-masing tingkat bangunan dengan beton dengan campuran *slag* dan beton dengan campuran karbon nanotube.
3. Besarnya gaya geser yang dialami oleh masing-masing tingkat bangunan dengan beton campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube saat terjadi gempa bumi *El Centro*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi cakupan permasalahan yang akan dibahas dalam studi ini, maka dibuat batasan yaitu:

1. Respon struktur bangunan bertingkat yang akan diteliti hanya terhadap gempa bumi yang memiliki data percepatan, terkhususnya data akselerogram yang lengkap seperti gempa *El Centro*.
2. Parameter dinamika karakteristik bangunan yang digunakan adalah massa, kekakuan, dan redaman dari material beton dengan campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube.
3. Pola goyangan berkaitan dengan frekuensi goyangan bangunan, perpindahan dan gaya geser setiap tingkat bangunan.
4. Bangunan bertingkat 12 yang digunakan dalam penelitian ini. Dimana tinggi setiap tingkatan yaitu 3,4 meter.

1.5 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pola goyangan (mode shape) struktur bangunan bertingkat dengan beton campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube?
2. Bagaimana perpindahan maksimum dan minimum bangunan dengan beton campuran *slag* dan beton dengan campuran karbon nanotube saat terjadi gempa bumi?
3. Bagaimana gaya geser maksimum dan minimum bangunan dengan beton campuran *slag* dan beton dengan campuran karbon nanotube saat terjadi gempa bumi?

1.6 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pola goyangan (mode shape) struktur bangunan bertingkat dengan beton campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube.
2. Mengetahui perpindahan maksimum dan minimum bangunan dengan beton campuran *slag* dan beton dengan campuran karbon nanotube saat terjadi gempa bumi.

3. Mengetahui besar gaya geser maksimum dan minimum bangunan dengan beton campuran *slag* dan beton dengan campuran karbon nanotube saat terjadi gempa bumi.

1.7 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis
 - a. Penelitian ini memberikan informasi dan pengetahuan mengenai respon struktur bangunan bertingkat dengan beton campuran *slag* dan beton dengan campuran karbon nanotube terhadap gempa bumi.
 - b. Penelitian ini memberikan pengetahuan tentang bagaimana efek penggunaan campuran *slag* dan karbon nanotube pada ketahanan bangunan bertingkat terhadap gempa bumi.
2. Manfaat Praktis
 - a. Penelitian tentang simulasi struktur bangunan bertingkat dengan beton campuran *slag* dan beton dengan campuran karbon nanotube terhadap gempa bumi diharapkan akan menunjukkan hasil yang nyata terhadap perbaikan material struktur dari beton sehingga dengan penggunaan *slag* dan karbon nanotube diharapkan kekuatan beton terhadap gempa bumi akan meningkat.
 - b. Diharapkan mampu memberikan perbandingan perilaku seismik bangunan bertingkat dengan penggunaan beton campuran *slag* dan beton campuran karbon nanotube

