

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan getaran atau pergeseran yang berasal dari dalam struktur bumi. Pergeseran ini terjadi karena adanya pelepasan gelombang energi seismik secara tiba-tiba hal ini terjadi karena didalam kerak bumi terjadi deformasi lempeng tektonik (Christianto, 2011). Posisi geografik Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng utama yaitu lempeng Pasifik di bagian Timur, lempeng Eurasia di bagian Utara dan lempeng Indo-Australia di bagian Selatan. Lempeng-lempeng ini bergerak aktif terhadap satu sama lain (Zakaria, 2007). Lempeng Eurasia didesak oleh lempeng Indo-Australia yang bergerak kearah Utara hal ini menyebabkan banyaknya patahan dan sesar (Daryono, 2010). Selain itu, Indonesia juga terletak dijalur gunung api (*ring of fire*) yang merupakan bagian dari cincin api pasifik. Kedua kondisi tersebut menjadi aspek utama penyebab tingginya kekuatan gempa di Indonesia.

Dalam waktu satu tahun dapat terjadi lebih dari 4000 gempa bumi di Indonesia baik dengan magnitudo besar maupun magnitudo kecil. Berdasarkan data BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) setiap tahunnya terjadi gempa bumi dengan magnitudo besar di Indonesia, dari tahun 2016 hingga tahun 2022 rata-rata magnitudo gempa besar yang terjadi di Indonesia adalah 7,05 skala richter. Aktivitas gempa yang terjadi di Indonesia pada tahun 2021 sebanyak 4.701, dan perbulannya terjadi gempa dengan rata-rata 783 kali gempa. Di Indonesia peristiwa gempa merusak telah terjadi sebanyak 14 kali pada periode Januari hingga Agustus 2021, hal ini mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya, karena sebelumnya gempa merusak (magnitudo  $\geq 5$  skala richter) di Indonesia rata-rata hanya 10 kali pertahun (Setiyono dkk, 2019).

Kerugian yang disebabkan oleh gempa bumi tentunya sangat banyak, salah satunya adalah banyaknya bangunan yang retak, roboh, bahkan hancur terutama bagi wilayah yang berjarak 160 km dari pusat gempa bumi. Berdasarkan data BNPN (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) rata-rata kerusakan bangunan yang disebabkan oleh gempa bumi dari tahun 2016 hingga tahun 2022 adalah

sebanyak 3.736 bangunan yang rusak akibat gempa bumi, diantara bangunan tersebut bangunan bertingkat tinggi yang mengalami paling banyak kerusakan (Amri dkk, 2016). Di daerah perkotaan sangat banyak ditemukan bangunan bertingkat tinggi, bangunan-bangunan bertingkat tersebut digunakan untuk tempat tinggal yaitu apartemen, pusat perbelanjaan, gedung perkantoran, hotel dan lain-lain, penggunaan bangunan bertingkat tersebut dilakukan untuk mengatasi kurangnya lahan untuk pemukiman. Bangunan-bangunan bertingkat ini tentunya akan beresiko tinggi terhadap gempa bumi sehingga bangunan di Indonesia harus didesain dengan perhitungan yang baik agar tahan dan tidak mengalami kerusakan akibat gempa bumi. Kerusakan bangunan selain disebabkan oleh getaran gempa juga dipengaruhi oleh kekuatan dari bangunan itu sendiri.

Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan bangunan bertingkat adalah dengan cara memilih bahan yang tepat dalam penyusunan beton yang digunakan untuk membangun gedung bertingkat (Ahmad, 2021). Semakin bertambahnya pembangunan gedung bertingkat, perkembangan teknologi dibidang konstruksi pun semakin pesat untuk menemukan material penyusun beton yang terbaik. Inovasi terbaru saat ini adalah penggunaan material nanosilika untuk campuran beton. Pada penelitian Kakara SJ Kumar dkk tahun 2020 dengan judul "*Performance Evaluation of Nano-Silica Concrete*" diperoleh kesimpulan bahwa penambahan nanosilika meningkatkan kepadatan beton, yang menyebabkan porositas beton berkurang secara signifikan (Kumar dkk, 2020). Nanosilika merupakan material yang teknik pengolahannya menggunakan teknologi nano, dan bahan material nanosilika ini merupakan jenis material yang ketersediannya masih berlimpah di Indonesia (Fauziyah, 2015). Pada penelitian Taherkhani, H dan Afroozi, S tahun 2017 dengan judul "*Investigating the Performance Characteristics of Asphaltic Concrete Containing Nano-Silica*" menjelaskan bahwa penambahan nanosilika pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton, meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan, dan meningkatkan ketahanan retak leleh (Taherkhani, 2017). Dari pernyataan di atas diperoleh pengaruh nanosilika terhadap beton sangat bagus dan dapat meminimalisir kerusakan beton.

Getaran gempa bumi mengakibatkan bangunan bertingkat bergetar sehingga akan diperoleh pola dari getaran atau goyangan dari bangunan tersebut.

Pola goyangan tersebut merupakan respon pertama yang akan diteliti, karena dengan menganalisis pola goyangan dari bangunan akan terlihat bagaimana respon bangunan bertingkat tersebut terhadap gempa bumi apakah mengalami goyangan yang ekstrem atau tidak (Respati, 2001). Selain bergetar, lantai bangunan juga bergeser atau berpindah akibat getaran gempa bumi, maka akan diperoleh juga besar simpangan dan gaya geser yang dialami bangunan akibat gempa bumi. Dari pola goyangan bangunan akan diperoleh frekuensi, frekuensi inilah yang menyebabkan adanya simpangan atau perpindahan, selain frekuensi besarnya gaya geser juga akan mempengaruhi simpangan atau perpindahan tingkat (Faizah, 2015). Oleh karena itu untuk mengetahui bagaimana respon struktur bangunan bertingkat terhadap gempa bumi perlu mengetahui bagaimana pola goyangan (*mode shape*), simpangan tingkat, dan gaya geser tingkat bangunan. Untuk menganalisis respon struktur bangunan terhadap gempa bumi penelitian ini menggunakan beberapa parameter yaitu kekakuan, redaman, massa dan data gempa bumi *El Centro* yang digunakan sebagai data percepatan gempa bumi karena gempa *El Centro* merupakan salah satu gempa bumi yang memiliki *accelerogram* yang lengkap dan kekuatan gempa yang dimiliki gempa *El Centro* sama dengan kekuatan rata-rata gempa bumi merusak di Indonesia yaitu 7,1 skala richter.

Respon struktur bangunan terhadap gempa bumi yang akan dianalisis adalah dalam bentuk grafik. Jumlah grafik dari pola goyangan, perpindahan (simpangan) dan gaya geser sama dengan jumlah tingkat bangunan yang diteliti, dari grafik tersebut akan terlihat bagaimana respon struktur bangunan yang menggunakan beton campuran nanosilika terhadap gempa bumi. Metode yang dapat digunakan untuk mengetahui respon struktur bangunan akibat gempa bumi antara lain, metode runge kutta (Sukoyo, 2012), metode elemen hingga (*finite element*) (Nasution, 2021) dan metode beda hingga (*finite difference*) (Faizah, 2015). 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 (Hasan dkk, 2016). Software yang digunakan untuk menampilkan hasil respon struktur bangunan bertingkat terhadap gempa bumi adalah aplikasi Matlab. Matlab ini digunakan karena data Matlab berbasis *array*, sehingga memudahkan untuk memecahkan masalah

perhitungan, khususnya yang melibatkan matriks dan vektor dengan waktu yang lebih singkat. Matlab juga bagus digunakan untuk memunculkan grafik, selain hasil grafiknya yang bagus Matlab tidak perlu menggunakan aplikasi tambahan untuk menampilkan grafik (Pujiriyanto, 2004).

Pada penelitian sebelumnya oleh Restu Faizah, 2015 dengan judul “Pengaruh Frekuensi Gempa Terhadap Respons Bangunan Bertingkat” penelitian ini memaparkan simpangan tingkat, gaya horizontal tingkat, dan gaya geser bangunan bertingkat 5, 10 dan 15 terhadap frekuensi gempa bumi yang divariasikan menjadi 5 frekuensi gempa salah satunya adalah gempa *El Centro*. Namun, pada penelitian ini hanya melihat pengaruh frekuensi gempa terhadap bangunan bertingkat, tidak memperhitungkan material bangunan yang digunakan, serta tidak menganalisis pola goyangan (*mode shape*) bangunan bertingkat. Pada penelitian oleh Budiman Nasution tahun 2021 dengan judul “Analisis Pengaruh Massa Pada Struktur Bangunan Bertingkat Pada Saat Gempa Bumi Menggunakan Metode Elemen Hingga” penelitian ini juga menggunakan data gempa *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 melihat pengaruh massa pada bangunan bertingkat terhadap gempa bumi tanpa memperhitungkan material bangunan yang digunakan.

Penelitian ini merujuk pada kedua penelitian sebelumnya, namun pada penelitian ini 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. Penelitian ini menggunakan bangunan bertingkat 5, bangunan bertingkat 5 tersebut digunakan berdasarkan pada penelitian Nelson Hutahean, dkk (2020) dengan judul “Analisis Dinamis Gaya Gempa Pada Bangunan Berdasarkan SNI 03-1726-2012”, penelitian Nelson Hutahean, dkk digunakan sebagai sumber literatur dari data massa bangunan pada penelitian ini. Selain data massa bangunan penelitian ini juga

menggunakan data kekakuan, modulus elastisitas, redaman dari material nanosilika berdasarkan literatur yang digunakan, untuk frekuensi dan percepatan gempa penelitian ini juga menggunakan akselerogram gempa *El Centro* yang telah direkam pada tanggal 15 Mei 1940 di California (SNI-1726-2022). Berdasarkan latar belakang di atas penulis melakukan penelitian mengenai “Simulasi Respon Struktur Bangunan Bertingkat dengan Beton Campuran Nanosilika terhadap Gempa Bumi Menggunakan Metode Beda Hingga.”

## 1.2 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini berfokus pada:

1. Pola goyangan struktur bangunan bertingkat (*mode shape*).
2. Perpindahan dari masing-masing tingkat bangunan.
3. Besarnya gaya geser tingkat yang dialami oleh masing-masing tingkat bangunan.
4. Percepatan gempa yang digunakan adalah percepatan gempa *El Centro*.

## 1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pola goyangan (*mode shape*) struktur bangunan bertingkat dengan beton campuran nanosilika terhadap gempa bumi ?
2. Bagaimana perpindahan dari masing-masing tingkat bangunan dengan beton campuran nanosilika saat terjadi gempa bumi?
3. Berapa besar gaya geser yang dialami oleh masing-masing tingkat bangunan dengan beton campuran nanosilika saat terjadi gempa bumi ?

## 1.4 Batasan Masalah

1. Respon struktur bangunan bertingkat yang akan diteliti hanya terhadap salah satu bencana alam yaitu gempa bumi, terkhususnya terhadap gempa bumi *El Centro*.
2. Material bangunan yang digunakan pada penelitian ini adalah beton dengan campuran material nanosilika dengan parameter dinamika karakteristik bangunan yang digunakan adalah massa, kekakuan, dan redaman.
3. Pola goyangan berhubungan dengan frekuensi dari goyangan yang dialami bangunan, perpindahan dan gaya geser dari masing-masing tingkat

bangunan yang akan dilihat adalah seberapa jauh perpindahan maksimum dan minimum bangunan, dan seberapa besar gaya geser tingkat maksimum dan minimum yang dialami bangunan.

4. Bangunan bertingkat yang digunakan adalah bangunan bertingkat 5.

### 1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi pola goyangan (*mode shape*) struktur bangunan dengan beton campuran nanosilika bertingkat terhadap gempa bumi.
2. Mengidentifikasi perpindahan dari masing-masing tingkat bangunan dengan beton campuran nanosilika saat terjadi gempa bumi.
3. Mengetahui besar gaya geser yang dialami oleh masing-masing tingkat bangunan dengan beton campuran nanosilika saat terjadi gempa bumi

### 1.6 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis
  - a. Penelitian ini memberikan informasi dan pengetahuan tentang respon struktur bangunan bertingkat dengan beton campuran nanosilika terhadap gempa bumi.
  - b. Penelitian ini memberikan pengetahuan tentang bagaimana efek penggunaan campuran nanosilika pada ketahanan bangunan bertingkat terhadap gempa bumi.
2. Manfaat Praktis

Penelitian tentang simulasi struktur bangunan bertingkat dengan campuran nanosilika terhadap gempa bumi diharapkan akan menunjukkan hasil yang nyata terhadap perbaikan material struktur dari beton sehingga dengan penggunaan nanosilika diharapkan kekuatan beton terhadap gempa bumi akan meningkat.

### 1.7 Definisi Operasional

1. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran atau pergeseran yang berasal dari dalam struktur bumi. Pergeseran ini terjadi karena adanya pelepasan

gelombang energi seismik secara tiba-tiba hal ini terjadi karena didalam kerak bumi terjadi deformasi lempeng tektonik (Christianto, 2011).

## 2. Bangunan Bertingkat

Bangunan bertingkat adalah bangunan dengan lebih dari satu lantai secara vertikal. Gedung bertingkat ini dibangun karena keterbatasan dan tingginya harga tanah perkotaan serta tingginya permintaan tempat untuk berbagai kegiatan (Idham, 2012).

## 3. Nanosilika

Nanosilika adalah silika yang berukuran nano ( $10^{-9}$ m) yang saat ini sangat banyak digunakan pada bidang industri (Rahman, 2017).

## 4. Matlab

Matlab adalah sebuah komputasi numerik dan bahasa pemrograman komputer generasi ke-empat yang dikembangkan oleh Mathworks (Wikipedia).

## 5. Simulasi

Simulasi adalah suatu proses yang meniru suatu kondisi atau sistem yang nyata (riil) (Bankset al, 2004). Pemodelan simulasi merupakan alternatif yang tepat untuk menggambarkan suatu sistem yang kompleks, terutama ketika sulit untuk melakukan model matematis analitiknya (Hukum, 2007).

## 6. Gempa *El Centro*

Gempa *El Centro* adalah salah satu gempa terkuat yang melanda California, AS. Gempa *El Centro* yang berkekuatan 7,1 skala Richter, menyebabkan kerusakan parah pada sekitar 80% bangunan di kota California utara. Kerugian yang ditimbulkan saat itu sekitar US\$6 juta (Yusra et al., 2015).

## 7. Pola Goyangan (*Mode shape*)

Beban lateral yang diakibatkan oleh gempa bumi menjadikan struktur bangunan bertingkat bergetar. Gerakan ini menghasilkan *mode shape* (pola goyangan). Jumlah pola goyangan sama dengan jumlah tingkat struktur bangunan (Nasution, 2016).



#### 8. Perpindahan (Simpangan)

Perpindahan (simpangan) adalah perpindahan yang dialami oleh bangunan diakibatkan oleh gerakan yang ditimbulkan oleh getaran bumi (Nasution, 2016).

#### 9. Gaya Geser Tingkat

Gaya geser tingkat merupakan gaya tak sejajar yang mendorong salah satu bagian struktur dalam satu arah, sedangkan bagian struktur lainnya dalam arah yang berlawanan. (Prasetyo, 2000).

