

Analisis *Displacement* Gedung Beton Bertulang *Mid-Rise* Terhadap Beban Gempa Sesuai Buku Peta Gempa Indonesia 2017 dengan Analisis *Time History*

Displacement Analysis of Mid-Rise Building under Earthquake Load Based on Indonesian Seismic Hazard Map 2017 Using Time History Analysis

Muhammad Ikhsan Gunaidi, Taufiq Ilham Maulana

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Indonesia termasuk negara yang rentan bencana, terutama bencana gempa bumi. Gempa bumi di Indonesia menjadi masalah yang serius sejak banyak korban jiwa yang terus meningkat setiap tahun. Bangunan di Indonesia memiliki klasifikasi ketinggian yang berbeda-beda, mulai dari tingkat rendah, tingkat menengah, dan tingkat tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perpindahan pada struktur gedung tingkat menengah terhadap beban gempa sesuai dengan buku Peta Gempa Indonesia 2017 dengan analisis riwayat respons. Analisis linier merupakan metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini. Penelitian ini menggunakan program SAP 2000 versi 21 sebagai pemodelan struktur tinjauan. Model bangunan tingkat menengah pada penelitian ini memiliki 5 lantai dengan ketinggian 16 m, 4 m pada lantai dasar dan 3 m pada lantai 2-5. Struktur tersebut menggunakan beton bertulang dengan mutu beton $f'_c = 30$ MPa, mutu baja tulangan = 240 MPa untuk tulangan polos berdiameter < 12 mm, dan 390 MPa untuk tulangan ulir berdiameter ≥ 12 mm. Model diberikan beban gempa yang memiliki sembilan sejarah waktu yang berbeda untuk tiga kelas situs (*SC*, *SD*, dan *SE*) disesuaikan dengan spektrum respons yang diolah dari peta bahaya gempa untuk 99 kota besar di Indonesia. Perpindahan pada setiap lantai dibandingkan dengan batas izin sebesar 2 % setiap lantai tingkat. Dari hasil studi didapatkan 8 dari 99 kota besar mengalami perpindahan pada struktur bangunan tinjauan melebihi batas izin, dapat disimpulkan bahwa terdapat 8 kota besar di Indonesia yang memasuki persentase tidak aman dari evaluasi penelitian ini. Persentase tidak aman terkecil terdapat di kota Gunung Sitoli yaitu sebesar 2,926 %, sedangkan persentase tidak aman terbesar terdapat pada kota Padang Sidempuan sebesar 168,558 %.

Kata kunci: Perpindahan, Bangunan tingkat menengah, Peta Bahaya Seismik 2017, 99 Kota Besar, Batas Izin

Abstract. Indonesia is a country that is vulnerable to disasters, especially the earthquake disaster. Earthquakes in Indonesia have become a serious problem since many deaths continue to increase every year. Buildings in Indonesia have different altitude classifications, ranging from low, middle and high levels. Therefore, this study was conducted to analyze the displacement in middle-level building structures to earthquake loads in accordance with the 2017 Indonesian earthquake map book with response history analysis. Linear analysis is the research method used in this thesis. This study uses the SAP 2000 version 21 program as a review structure model. The mid-level building model in this study has 5 floors with a height of 16 meters, 4 meters on the ground floor and 3 meters on floors 2-5. The structure uses reinforced concrete with f'_c concrete quality = 30 MPa, and reinforced steel quality = 240 MPa for plain reinforcement < 12 mm in diameter and 390 MPa for threaded reinforcement with diameter ≥ 12 mm. Models given earthquake loads that have nine different time histories for three site classes (*SC*, *SD*, and *SE*) are adjusted to the response spectrum processed from earthquake hazard maps to 99 major cities in Indonesia. Displacement on each floor is compared to the permit limit which is 2 percent high. From the results of the study, 8 of the 99 major cities experienced displacement in the review building structure exceeded the permit limit, it can be concluded that there were 8 major cities in Indonesia that entered the unsafe percentage of the evaluation of this study. The smallest unsafe percentage is in the city of Gunung Sitoli that is equal to 2,926%, while the largest unsafe percentage is in the city of Padang Sidempuan of 168,558%.

Keywords: *Displacements, Mid Rise, Seismic Hazard Map 2017, 99 Major Cities, Permission Limit*

1. Pendahuluan

Indonesia dikenal memiliki 4 lempeng bumi aktif, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Filipina. Indonesia termasuk pada daerah Lingkaran Api Pasifik (*Ring of Fire*), yang artinya Negara Indonesia sangat rentan terhadap bencana gempa bumi, sehingga beban gempa menjadi syarat wajib dalam perencanaan pembangunan struktur bangunan gedung yang menggunakan peraturan pembebanan gempa yang masih berlaku. Pemodelan bangunan gedung dilakukan menggunakan aplikasi *software* SAP2000 dirancang gedung tipikal menengah (*middle-rise*) untuk mendapatkan parameter perpindahan (*displacement*) dengan memodelkan gedung tersebut pada 99 kota besar di Indonesia berdasarkan nilai S_S dan S_I dari peta percepatan spektrum respons 0,2 detik yang diambil dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017.

Lin dkk. (2019) melakukan penelitian evaluasi bangunan tidak beraturan vertikal dengan lantai bawah yang kuat atau kokoh seperti bangunan struktur pada umumnya. Selain analisis riwayat respons *nonlinier*, penelitian tersebut juga menggunakan metode analisis seismik sederhana yang sesuai dengan jenis bangunan tersebut. Penelitian ini mengeksplorasi sistem modal dua derajat kebebasan (2DOF) untuk mewakili setiap mode getaran bangunan tersebut. Bagian atas dan bawah dari derajat sistem modal 2DOF masing-masing dibuat simulasi berupa respons modal dari dua bagian yang berbeda, yaitu lantai bawah dan lantai atas dari sebuah bangunan dengan lantai bawah yang kokoh atau kuat. Pada sistem modal tunggal dengan kebebasan tunggal, sistem modal 2DOF digunakan dalam respons modal analisis sejarah bangunan dengan penyimpangan vertikal tertentu. Metode analisis dilakukan dengan menginvestigasi empat gedung berlantai 9 dan 20, yaitu struktur bangunan tersebut memiliki tingkat lebih rendah yang lebih kuat daripada struktur yang lebih tinggi. Masing-masing dari delapan bangunan tersebut diberikan tiga catatan rekaman gerakan tanah. Naqi & Saito (2017) juga telah melakukan evaluasi penelitian pada struktur bangunan tipe *mid-rise* yang

berlokasi di Afghanistan. Penelitian ini memeriksa kapasitas seismik dari enam bangunan yang dibangun sebelum 2012 di Kabul dengan menerapkan seismik prosedur penyaringan disajikan oleh standar Jepang. Diantara tiga prosedur penyaringan dengan kemampuan berbeda, semakin sedikit prosedur penyaringan terperinci, tingkat penyaringan pertama, diterapkan. Studi ini menemukan indeks seismik (rata-rata = 0,21) dari struktur bangunan tersebut yang kemudian, hasilnya dibandingkan dengan prosedur evaluasi seismik yang lebih akurat. Evaluasi struktur yang digunakan adalah metode kapasitas Spektrum (*CSM*) dan Analisis Sejarah Waktu (*THA*).

Munafi (2012) melakukan evaluasi struktur bangunan gedung yang memiliki empat lantai berlokasi di Wonogiri, Jawa Tengah dengan menggunakan analisis statik nonlinier (*pushover analysis*) dengan konsep *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE). Penelitian tersebut merupakan pilihan yang cocok dan relatif mudah untuk mengevaluasi kinerja seismik. Penelitian tersebut mendapatkan hasil berupa parameter titik kinerja (*performance point*), kurva kapasitas (*pushover curve*), dan mengetahui tahap-tahap terbentuknya sendi plastis (skema kelelahan) hingga gedung tersebut runtuh. Metode penelitian tersebut menggunakan prosedur B analisis *pushover* metode *capacity spectrum* ATC 40. Analisis perhitungan dilakukan dengan memberikan pola beban lateral statik pada struktur dan meningkatkan faktor pengali secara berurutan sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai.

Tata dkk. (2018) juga melakukan evaluasi struktur beton gedung Fakultas Ekonomi Unkhair menggunakan analisis *pushover* ATC-40. Pada saat struktur bangunan menerima beban gempa, diharapkan bangunan tersebut mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada struktur atau jika struktur tersebut harus mengalami keruntuhan dan mampu memberikan perilaku nonlinier pada kondisi pasca-elastik sehingga tingkat keamanan

bangunan terhadap gempa dan keselamatan penghuni di dalam bangunan lebih terjamin. Penelitian tersebut dilakukan untuk menentukan level kinerja gedung dalam menahan gaya gempa dan mengetahui kapasitas gempa terhadap struktur serta perilakunya dengan memperlihatkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen balok dan kolom. Metode yang dipakai adalah analisis *static nonlinier pushover* disesuaikan dengan peraturan *code Applied Technology Council (ATC-40)* dengan menggunakan aplikasi program ETABS.

Adhikari dkk. (2019) juga melakukan penelitian untuk penilaian kapasitas seismik untuk beton bertulang pada bangunan tipe rendah dan sedang yang representatif (RC) struktur bangunan yang ada di Nepal. Perilaku struktural bangunan dipelajari dengan berbagai teknik analisis. Perilaku non-linear dari sembilan struktur bangunan tempat tinggal dievaluasi dengan analisis elemen hingga. Kinerja struktural disajikan dalam hal kekuatan, kekakuan, kurva kapasitas, dan drift antar lantai. Model bangunan dianalisis sebagai kerangka, dan *drift profiles* dibandingkan dengan beberapa batas drift standar untuk menggambarkan kerentanan. Bangunan tersebut tercatat rentan setelah analisis dimodifikasi sebagai retrospeksi menggunakan teknik *jacketing* kolom, dan analisis elemen hingga dilakukan kembali. Perbandingan dibuat dalam hal kinerja seismik bangunan yang dibangun. Jumlah pengamatan disimpulkan bahwa ukuran kolom secara langsung mempengaruhi kerentanan bangunan. Selain itu, metode *jacketing* kolom memperbaiki kinerja seismik bangunan RC bertingkat rendah hingga menengah secara signifikan oleh perbandingan antara struktur yang dibangun kembali dan dipasang kembali dalam hal pergeseran antar lantai dan periode fundamental. Heffernan dkk. (2017) penelitian ini memberikan pemahaman tentang konteks peraturan di mana pembangunan perumahan tingkat menengah di negara Australia dilakukan. Keterbatasan kerangka efisiensi energi saat ini disorot pada negara tersebut. Hasil dari penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman tentang status quo dalam peraturan efisiensi energi untuk bangunan tempat tinggal bertingkat menengah

di Australia. Ibrahim (2018) melakukan penelitian menganalisis kurva kerapuhan analitis untuk beton bertulang *mid-rise* yang berlokasi di Kerajaan Arab Saudi (KSA), dianggap sebagai daerah dengan tingkat kegempaan rendah. Kurva kerapuhan dikembangkan untuk struktur 12 lantai beton bertulang yang dirancang sesuai dengan *Saudi Building Code* termasuk beban mati, hidup dan seismik. Tiga kota dengan intensitas seismik yang berbeda, yaitu; Abha, Jazan dan Al-Sharaf dipilih untuk mencakup berbagai nilai percepatan spektral yang dipetakan di KSA. 0,2 detik percepatan spektral berkisar dari 0,21 g hingga 0,66 g sedangkan spektral 1,0 detik akselerasi berkisar dari 0,061 g hingga 0,23 g. Analisis dinamis tambahan, IDA, menggunakan 12 catatan rekaman gempa dengan program SeismoStruct. Lima tingkat kinerja; Operasional, Hunian Segera, Pengendalian Kerusakan, Keselamatan Jiwa dan Pencegahan Keruntuhan, yang menentukan berbagai kemungkinan kerusakan bangunan setelah gempa dipertimbangkan dan dimonitor dalam analisis. Berdasarkan hasil IDA dan statistik analisis, probabilitas untuk mencapai atau melampaui keadaan kerusakan spesifik dihitung untuk masing-masing model struktural di tiga kota. Hasil pada penelitian tersebut sesuai dengan yang direncanakan.

Bojórquez dkk. (2017) juga melakukan penelitian dengan prosedur yang disederhanakan untuk memprediksi permintaan *drift* antar-lantai maksimum bertingkat bangunan dalam hal ukuran intensitas gerak tanah berbasis spektral yang direncanakan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan penyimpangan maksimum antara lantai baja dan beton bertulang (R/C) dengan bangunan berlantai 4, 6, 8 dan 10 yang dikenai beberapa gerakan tanah diestimasi sebagai fungsi spektral akselerasi pada mode pertama getaran struktur $S_a(T_1)$. Oleh karena itu, pendekatan baru digunakan untuk mengusulkan persamaan untuk menghitung permintaan drift antar-lantai maksimum dan seismik ketidakpastian pada *frame mid-rise* sebagai fungsi dari I_{Np} . Hasil disimpulkan bahwa persamaan yang direncanakan memberikan akurasi yang baik untuk menghitung kurva kerapuhan baja dan R/C struktur di bawah gerakan tanah gempa pita

sempit dalam hal dari ukuran intensitas berbasis spektral (I_{Np}).

Mamesah dkk. (2014) juga melakukan analisis struktur gedung dengan pushover analysis. Analisis pushover atau analisis beban dorong statik merupakan suatu analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap gempa. Penelitian dilakukan menggunakan program SAP2000 untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan struktur serta besar perpindahan maksimum struktur. Melalui program SAP2000 dapat diketahui pula level kinerja struktur bangunan tersebut. Tipe struktur bangunan yang dimodelkan berupa bangunan non soft story, soft first story 1 dan soft first story 2. Bangunan terbuat dari beton bertulang, jarak bentang 6 meter, dengan ketinggian 10 lantai, tinggi tiap lantai 4 meter, dengan variasi ketinggian lantai dasar 6 meter untuk soft first story 1 dan 7 meter untuk soft first story 2. Penelitian mengacu pada SNI 1726-2012, FEMA-356 dan ATC-40.

Manalip dkk. (2014) melakukan penelitian untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang ditahan oleh struktur, level kinerja, dan pola keruntuhan struktur gedung bertingkat tipe podium, akibat beban gempa. Pemodelan struktur yang dibuat berupa bangunan non podium, podium I, podium II, podium III, dan podium IV. Struktur bangunan dari beton bertulang, berlantai 12, tinggi tiap lantai 4 meter, dan jarak antara bentang 6 meter. Standar analisis mengacu pada tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk gedung SNI 1726:2012, ATC 40 dan FEMA 356. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program SAP2000. Penelitian ini menghasilkan, gaya geser dasar maksimum yang menentukan dari kelima tipe gedung yang terbesar, yaitu gedung non podium 2165 ton dengan perpindahan maksimum 0,97m, dan yang terkecil adalah gedung podium III yaitu 1614 ton, dengan perpindahan maksimum 0,63 m. Level kinerja berdasarkan ATC 40 masuk dalam kategori Immediate Occupancy, berdasarkan FEMA 356 masuk kategori level B, dan berdasarkan SNI 1726:2012 memenuhi batasan simpangan antar lantai. Pola keruntuhan gedung sesuai dengan prinsip kolom kuat balok lemah. Faizah (2015) juga

melakukan penelitian pada bangunan yang memiliki 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 lantai dengan membandingkan hasil pembebanan gempa staktik ekuivalen dan dinamik *time history* yang dilakukan dengan program bantu Matlab dan penggunaan akselelogram gempa Yogyakarta tahun 2006 sebagai input gempa. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa hasil perhitungan pembebanan statik ekuivalen cukup akurat pada struktur 5 lantai disebabkan persyaratan yang lebih banyak pada desain struktur dibandingkan dengan analisis dinamik *time history*. Pada perhitungan beban statik ekuivalen untuk struktur 10 lantai atau lebih dianggap tidak akurat, karena memberikan persyaratan yang lebih kecil dalam mendesain struktur dibandingkan dengan analisis dinamik *time history* dari beban seismik.

Maulana (2015) juga melakukan penelitian merancang ulang struktur gedung 5 dan 6 lantai Palagan Hotel Yogyakarta dengan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013. Perancangan ulang dilakukan pada penelitian ini disebabkan pada struktur gedung tinjauan masih menggunakan peraturan lama. Penentuan jenis tanah atau klasifikasi situs dilakukan dengan perhitungan nilai hasil pengujian NSPT rerata yang didapat dari gedung terdekat. Metode pembebanan yang digunakan adalah respons spektrum yang diikuti dengan pengecekan persyaratan terhadap nilai gaya gempa hasil dari metode static ekuivalen. Hasil penelitian menunjukkan nilai S_s sebesar 1,036 dan S_1 sebesar 0,393, dengan kategori resiko II dan faktor keutamaan gempa 1, klasifika sisitus tanah sedang (SD) dan termasuk kategori desain seismik D. Pada perancangan digunakan jenis struktur SRPMK dan diijinkan sesuai SNI 1726-2012. Dari analisis pada SAP2000, periode alami gedung 5 lantai sebesar 0,622 detik dan 6 lantai sebesar 0,730 detik. Perancangan ulang berdasar SNI 1726-2012 dan 2847-2013 menghasilkan peningkatan kebutuhan penampang struktur. Pada balok, perubahan dimensi beton mencapai 212,5%, perubahan tulangan longitudinal mencapai 304,54%, perubahan tulangan sengkang mencapai 134,48%. Pada kolom, perubahan dimensi beton mencapai 150%, perubahan tulangan longitudinal mencapai 220,41%, perubahan tulangan sengkang mencapai 296,27%. Hal ini dimungkinkan

akibat persyaratan SRPMK pada SNI 2847-2013 lebih ketat dibandingkan sebelumnya, peningkatan respons spektra di lokasi tinjauan, dan terdapat batasan minimal terhadap dimensi struktur yang pada beberapa penampang elemen struktur hasil perancangan owner kurang dari persyaratan tersebut.

2. Landasan Teori

Beban Mati

Semua struktur terkhusus bangunan gedung seharusnya memiliki beban mati. Beban mati merupakan berat yang membebani struktur selama struktur tersebut tetap berdiri. Beban mati meliputi berat struktur sendiri dan beban mati tambahan (*Additional Dead Load*).

Beban Hidup

Menurut SNI 03-1727-2013, beban hidup merupakan berat yang diakibatkan oleh penghuni bangunan gedung dan pengguna atau struktur lain yang tidak termasuk beban lingkungan dan beban struktur seperti beban gempa, beban mati, beban angin, ataupun beban banjir.

Beban Gempa

Beban gempa adalah seluruh beban statik ekuivalen yang diterima oleh gedung atau sebagian gedung yang menyamakan pengaruh akibat dari gerakan tanah oleh gempa (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, PPURG-1987). Beban gempa memiliki banyak gaya-gaya yang bekerja, yaitu gaya horizontal, gaya vertikal ataupun kombinasi dari keduanya. Gaya dari beban gempa tersebut perlu dicegah agar tidak mengakibatkan *collapse* (kegagalan struktur bangunan).

Analisis Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 dalam merencanakan suatu bangunan struktur gedung harus memerlukan penentuan nilai respons spektral pada percepatan getaran perioda pendek (F_a) yaitu 0,2 detik dan percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). parameter tersebut dapat dilihat pada SNI 03-1726-2012 atau pada situs Kementerian Pekerjaan Umum bagian Pusat Pengembangan dan Penelitian Permukiman.

Simpangan Antar Lantai

Dalam menentukan simpangan antar lantai desain (Δ) dapat diperoleh dari pemodalan pada program SAP2000. Simpangan setiap lantai tingkat tidak diperbolehkan melebihi dari simpangan izin antar tingkat (Δ_a) sesuai dengan kategori risikonya. parameter ditentukan berdasarkan tipe struktur bangunan yang ditinjau seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Simpangan Antai Lantai Tingkat Izin, Δ_a (BSN, 2012)

Tipe Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat/kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	0,025 _{hsx}	0,020 _{hsx}	0,015 _{hsx}
Struktur dinding geser kantilever dedngan batu bata	0,010 _{hsx}	0,010 _{hsx}	0,010 _{hsx}
Struktur dinding dengan batu bata lainnya	0,007 _{hsx}	0,007 _{hsx}	0,007 _{hsx}
Semua struktur lainnya	0,020 _{hsx}	0,015 _{hsx}	0,010 _{hsx}

3. Metode Penelitian

Tahapan Penelitian

Penelitian harus dilaksanakan secara sistematis dengan menggunakan tahapan yang teratur dan lugas, sehingga didapatkan hasil yang sesuai diharapkan. Oleh sebab itu, pelaksanaan penelitian ini dibagi dalam beberapa tahap, sebagai berikut.

1) Tahap Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan merupakan data struktur gedung, lokasi pembangunan

struktur, pengambilan data percepatan spektrum respons 1 detik dan pendek.

2) Tahap Studi Literatur

Pada tahap ini perlu dilakukan studi literatur untuk menambah dan memperluas wawasan ilmu yang berkaitan dengan penelitian.

3) Pemodelan dan Pembebanan

Dari gambar kerja yang telah direncanakan, penulis memodelkan gambar kerja tersebut menggunakan *software* SAP2000 versi 21 sesuai aturan SNI yang berlaku.

4) Analisis Riwayat Respon

Prosedur analisis pada penelitian ini menggunakan analisis *time history* dengan menggunakan 3 catatan pasang gerak tanah pada setiap kelas situs. Penelitian ini menggunakan 3 kelas situs yaitu *SC*, *SD*, dan *SE*.

5) Penentuan Data Gempa pada Buku Peta Gempa 2017

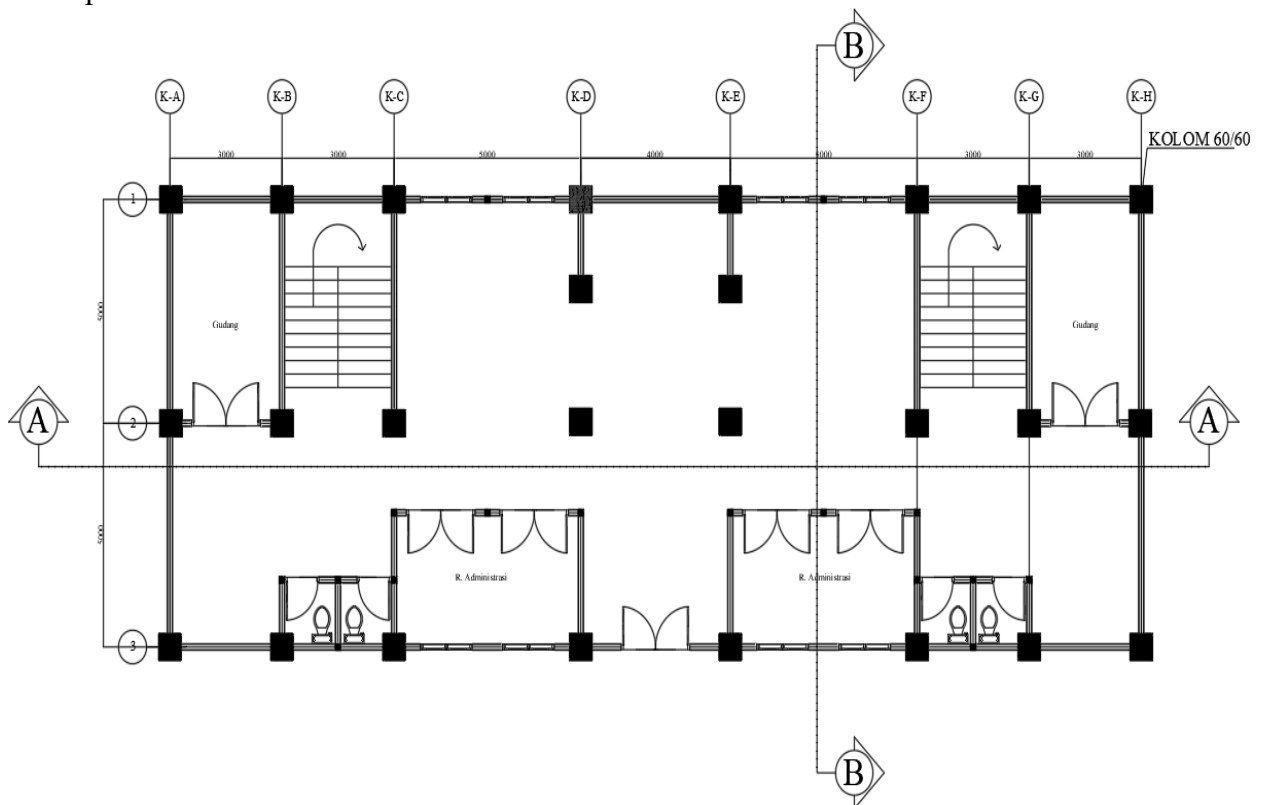
Penentuan data gempa pada penelitian ini berupa tanggal, koordinat, kedalaman gempa, *magnitude*, dan durasi gempa.

6) Evaluasi Nilai Perpindahan dan Penulisan Laporan

evaluasi parameter *displacement* dari hasil analisis *running* program SAP2000. Perbandingan *displacement* berdasarkan hasil *running* yang dihitung secara manual dengan program Microsoft Excel pada kota-kota besar di Indonesia.

Data Teknis Bangunan

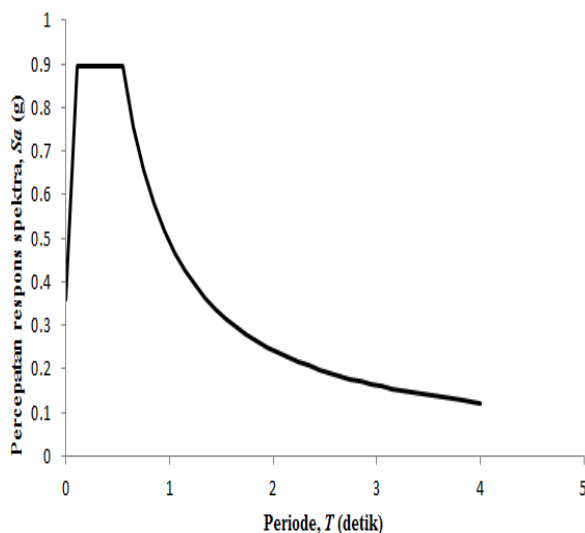
Penelitian ini dilakukan pada struktur bangunan gedung 5 lantai yang direncanakan dibangun pada 99 kota besar di Indonesia. Gedung ini mempunyai fungsi sebagai gedung perkantoran dengan struktur beton bertulang dimana struktur gedung ini mempunyai jumlah 5 lantai dengan atap berupa rangka baja. Data-data yang digunakan pada penelitian ini data primer, yaitu seluruh data perencanaan struktur berdasarkan perencanaan peneliti. Mutu rencana beton sebesar 30 Mpa, mutu baja tulangan yang digunakan sebesar 400 Mpa. Dimensi balok induk 350×450 mm, balok anak 200×300 mm, dan balok sloof sebesar 200×350 mm. Dimensi kolom yang digunakan seluruhnya sama yaitu sebesar 500 mm. Denah rencana bangunan dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 1 Denah rencana bangunan

Pembebanan

Pembebanan berdasarkan SNI 03-1726-2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” SNI 03-2847-2013 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”, dan SNI 03-1727-2013 “Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain”. Bangunan Perkantoran yang telah direncanakan peneliti, menggunakan 3 jenis tanah berupa tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak yang disesuaikan dengan syarat analisis riwayat respon diharuskan menggunakan 3 pasang gerak tanah. Untuk mencari nilai S_s dan S_l bisa didapatkan pada SNI 1726:2012 atau situs Kementerian Pekerjaan Umum bagian Pusat Pengembangan dan Penelitian Permukiman. Beban gempa respons spektrum didapatkan dari analisis desain spektral pada 99 kota besar yang telah ditentukan dengan nilai S_s dan nilai S_l ditentukan berdasarkan SNI Gempa 2012 dengan interpolasi liner. Setelah semua parameter percepatan respons spektrum dan percepatan spektrum desain telah didapatkan langkah selanjutnya yaitu membuat grafik respons spektrum seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik respons spektrum (BSN, 2012)

Tahapan selanjutnya setelah analisis pembebanan struktur bangunan yaitu dimasukkan hasil analisis kedalam program SAP2000 versi 21 kemudian *running* program lalu didapatkan hasil *output* berupa parameter perpindahan yang kemudian parameter tersebut dievaluasi pada setiap lantainya.

4. Hasil dan Pembahasan

Analisis Displacement (Perpindahan)

Perpindahan (*Displacement*) merupakan seberapa besar bangunan struktur khususnya gedung bergerak/berpindah pada setiap lantainya. Setelah proses *running* pada SAP2000 kemudian didapatkan parameter *displacement U1* dan *U2* dari catatan rekaman gempa yang sudah dipilih sesuai dengan perencanaan. Dari parameter tersebut kemudian dilakukan pemilahan nilai *displacement* pada setiap catatan rekaman gempa sebagai pengelompokan dari parameter tersebut pada setiap joint per tiap lantai. Setelah pengelompokan tersebut kemudian dilakukan pengecekan terhadap setiap sudut struktur untuk mendapatkan parameter *displacement* terbesar yang diterima oleh struktur gedung *middle rise* usulan.

Simpangan antar Lantai

Sesuai dengan SNI-03-1726-2012 Pasal 7.12.1 batasan simpangan antar lantai tingkat dengan kategori risiko II dengan struktur rangka pemikul momen khusus, dipilih jenis struktur Semua Struktur Lainnya dengan $0,020_{hx}$ setiap tinggi per lantai tingkat. pada penelitian ini batas simpangan izin menggunakan akumulasi dari setiap ketinggian tiap lantai. Pada Tabel 4.2 merupakan hasil akumulasi dari batas simpangan izin antar lantai tersebut. Pada Tabel 2 diperlihatkan batasan simpangan izin antar lantai.

Tabel 2 Simpangan izin antar lantai

NO	Lantai	Simpangan Izin (mm)
1	Dasar	40
2	1	120
3	2	180
4	3	240
5	4	300
6	5	360

Dari parameter tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara *displacement* dengan jumlah lantai dengan batas simpangan antar lantai izin sebagai acuan dalam menentukan apakah struktur tersebut aman atau tidak. Dengan membagi per sebelas kota dalam satu grafik bertujuan untuk mempermudah dan efisiensi parameter dalam pembacaan grafik. Pada penelitian didapatkan grafik hubungan antaran

perpindahan dengan jumlah lantai berdasarkan jenis klasifikasi situsnya.

Dari grafik hubungan antara *displacement* dengan jumlah lantai terdapat 7 dari 99 kota besar di Indonesia di mana struktur gedung tersebut mengalami *displacement* yang melebihi simpangan antar lantai izin. Berikut merupakan nama-nama dari kota tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Daftar nama kota yang melebihi *displacement* izin

NO	Nama Kota yang Melebihi Displacement izin
1	Gunung Sitoli
2	Bukittinggi
3	Padang Sidempuan
4	Sungai Penuh
5	Palu
6	Jayapura
7	Tual

Setelah melakukan analisis *displacement* Gedung perkantoran tipikal *middle-rise* yang memiliki 5 lantai untuk 99 kota besar di Indonesia terdapat 7 kota yang telah disebutkan pada Tabel 3 tergolong tidak aman menggunakan struktur bangunan usulan pada kota-kota tersebut. Dengan menselisih nilai *displacement* yang melebihi batasan izin dengan batasan simpangan izin kemudian hasil tersebut dibagi dengan batasan simpangan izin kemudian dikalikan 100%. Berikut merupakan perhitungan yang dipilih dari 99 kota besar yaitu Padang Sidempuan ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5 merupakan persentase tidak aman pada 7 kota yang melebihi simpangan izin.

Tabel 4 Perhitungan dalam mendapatkan persentase tidak aman

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak Aman (%)	Keterangan
5	360	621,192	72,553	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	300	568,898	89,633	
3	240	495,979	106,658	
2	180	391,441	117,467	
1	120	258,451	115,375	
0	40	43,604	9,010	

Tabel 5 Perhitungan dalam mendapatkan persentase tidak aman

Nama Kota	Persentase Tidak aman (%)
Gunung Sitoli	25,06
Bukittinggi	71,45
Padang Sidempuan	117,47
Sungai Penuh	108,76
Palu	69,84
Jayapura	94,26
Tual	110,27

5. Kesimpulan

- Dari hasil parameter-parameter nilai hubungan antara *displacement* dengan jumlah lantai didapatkan informasi bahwa 7 kota besar yang direncanakan pada penelitian ini melebihi dari simpangan antar lantai tingkat izinnya. Kota-kota tersebut adalah Gunung Sitoli, Bukittinggi, Padang Sidempuan, Sungai Penuh, Palu, Jayapura, dan Kota Tual.
- Dari parameter yang telah didapatkan, terdapat 7 kota besar di Indonesia yang memasuki persentase tidak aman dari evaluasi pada penelitian ini. Persentase terkecil adalah pada kota Gunung Sitoli yaitu sebesar 25,06 %, sedangkan persentase tidak aman terbesar terdapat pada kota Padang Sidempuan sebesar 117,47 %.

6. Saran

- Struktur pada penelitian ini belum mampu untuk didirikan pada 99 kota besar di Indonesia, maka dapat dilakukan dengan memperbesar dimensi penampang struktur agar struktur dapat menahan beban gempa yang ditentukan.
- Pemberian dinding geser untuk struktur gedung pada penelitian ini agar mampu menahan beban gempa.
- Penambahan analisis *non linier* untuk evaluasi parameter *displacement* pada struktur bangunan beraturan dan tidak beraturan.
- Pengecekan kapasitas elemen struktur gedung yang mendetail dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

7. Daftar Pustaka

- Adhikari, A., Rao, K. R. M., Gautam, D., & Chaulagain, H. (2019). *Seismic vulnerability and retrofitting scheme for low-to-medium rise reinforced concrete buildings in Nepal*. *Journal of Building Engineering*, 21, 186–199.
- Bojórquez, E., Baca, V., Bojórquez, J., Reyes-Salazar, A., Chávez, R., & Barraza, M. (2017). *A simplified procedure to estimate peak drift demands for mid-rise steel and R/C frames under narrow-band motions in terms of the spectral-shape-based intensity measure I*. *Engineering Structures*, 150, 334–345.
- BSN, 1989, SNI 17277:1989: *Tata Cara Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2012, SNI 1726:2012: *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2013a, SNI 1727:2013: *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2013b, SNI 2847:2013: *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Faizah, R. (2015). *Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta*. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 18(2), 190-199.
- Heffernan, E., Beazley, S., McCarthy, T. J., & Sohel, M. I. (2017). *Energy efficiency within mid-rise residential buildings: A critical review of regulations in Australia*. *Energy Procedia*, 121, 292–299.
- Ibrahim, Y. E. (2018). *Seismic risk analysis of multistory reinforced concrete structures in Saudi Arabia*. *Case Studies in Construction Materials*, 9, e00192.
- Lin, J.-L., Tsaur, C.-C., & Tsai, K.-C. (2019). *Two-degree-of-freedom modal response history analysis of buildings with specific vertical irregularities*. *Engineering Structures*, 184, 505–523.
- Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). *Analisis Pushover Pada Bangunan dengan Soft First Story*, *Jurnal Sipil Statik*, 2, 214-224.
- Manalip, H., Reky, S., Windah, S. dan Dapas, O. S (2014) *Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium*, *Jurnal Sipil Statik*, 2, 201-213.
- Maulana, T. I. (2014), *Perencanaan Ulang Struktur Gedung dengan SNI-03-1726-2012 dan SNI-03-1727-2013 (Studi Kasus Gedung 5 Lantai dan 6 Lantai Palagan Gallery Hotel Yogyakarta)*, Tugas Akhir, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Muntafi, Y., 2012, *Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis Pushover*, *Publikasi Ilmiah*, TS, 68-75.
- Naqi, A., & Saito, T. (2017). *A proposal for seismic evaluation index of mid-rise existing RC buildings in Afghanistan*. 120003.
- Özel, A. E., & Güneyisi, E. M. (2011). *Effects of eccentric steel bracing systems on seismic fragility curves of mid-rise R/C buildings: A case study*. *Structural Safety*, 33(1), 82–95.
- Saruddin, S. N. A., & Nazri, F. M. (2015). *Fragility Curves for Low- and Mid-rise Buildings in Malaysia*. *Procedia Engineering*, 125, 873–878.
- Tata, A., Imran. dan Imron, F., 2019 *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Ekonomi Unkhair Dengan Analisis Pushover ATC-40*, *Jurnal Sipil Sains*, 8, 1-10.