



Perbandingan Pembebanan Gempa Bangunan Bertingkat Menggunakan Analisis *Static Equivalent* dan Analisis *Dynamic Time History* di Kab. Garut

Hafid Mohamad Fadilah¹, Eko Walujodjati²

Jurnal Konstruksi
Sekolah Tinggi Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@sttgarut.ac.id

¹hafid.fadilah18@gmail.com

²eko.walujodjati@sttgarut.ac.id

Abstrak – Pembebanan gempa dengan menggunakan metode analisis *static equivalent* dan analisis *dynamic time history*, memiliki perubahan pembebanan yang sangat mendasar diantara kedua metode. Pada penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa “perubahan mendasar terjadi pada struktur 5 dan 10 tingkat”. Penelitian ini bertujuan menganalisis perbedaan pembebanan, menganalisis perubahan pembebanan yang sangat mendasar dan menganalisis metode yang cocok dalam perencanaan pembebanan pada bangunan dengan rentan 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 tingkat. Studi kasus dilakukan menggunakan data *respons spectrum* Kabupaten Garut dan *time history El Centro* 1940 (seismik frekuensi menengah). Fungsi bangunan sebagai hotel sebagai acuan untuk menentukan kategori risiko. Klasifikasi situs tanah keras dan menggunakan mutu beton yang digunakan $f_c' = 30$ MPa. Untuk menghitung analisis statik ekuivalen digunakan standar perhitungan SNI 1726-2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan pembebanan gempa yang terjadi pada struktur 5 dan 6 lantai menggunakan analisis statik ekuivalen dinilai akurat karena menghasilkan pembebanan gempa yang mendekati dengan hasil dari perhitungan analisis dinamik *time history*, tetapi dalam analisis ini pada struktur 7 lantai atau lebih untuk melakukan perhitungan pembebanan gempa lebih disarankan karena menghasilkan pembebanan yang jauh lebih besar dari perhitungan analisis statik ekuivalen. Nilai gaya geser pada analisis statik ekuivalen dinilai lebih linier peningkatannya dibandingkan dengan analisis dinamik *time history*.

Kata Kunci – Dinamik *Time History*; Gaya Geser; Statik Ekuivalen.

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kerentanan yang tinggi untuk terjadi bencana alam gempa bumi. Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa bergoncang atau bergetarnya bumi karena adanya pergeseran/pergerakan secara tiba-tiba lapisan batuan pada kulit bumi akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik maupun akibat gunung berapi yang aktif. Bergoyang dan bergetarnya bangunan-bangunan di permukaan bumi diakibatkan oleh getaran seismik tersebut. Bangunan juga sulit menyesuaikan diri secara penuh ketika terjadi goyangan dikarenakan oleh sifat kaku pada material bahan bangunan. Namun sangat terbatasnya bahan dengan karakteristik material bahan bangunan yang mampu berubah bentuk tanpa mengalami kerusakan pada suatu bangunan. Ketika gelombang seismik mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan harta benda. Melihat dari letak geografisnya, negara Indonesia sangat rentan terjadi gempa karena negara Indonesia dikelilingi oleh lempengan-lempengan besar dunia (lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia), berada di jalur gunung berapi aktif dunia atau biasa disebut cincin api pasifik (*ring of fire*) dan berada di jalur sabuk Alpine atau *Alpine belt* yang membentang dari pulau Jawa sampai pulau Sumatera. Oleh karena itu khususnya

di wilayah Indonesia perencanaan struktur bangunannya harus sangat memperhatikan aspek gempa itu sendiri. Standar perencanaan bangunan gempa SNI 1726-2019 tentang "Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung" yang telah diresmikan pada tanggal 19 Desember 2019 [1], peraturan tersebut merupakan hasil dari revisi SNI 1726-2012 [2]. Perhitungan struktur bangunan respon gempa dibagi menjadi dua bentuk analisis (analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik *time history*/respon spektrum). Analisis statik ekuivalen merupakan suatu metode analisis struktur pada bangunan gedung dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekuivalen terhadap pembebanan gempa. Analisis dinamik *time history*/respon spektrum adalah metode analisis yang sangat memperhatikan beban dinamis yang mempengaruhi bangunan seperti titik pangkatnya (*point of application*), arahnya (*direction*) dan besarnya (*magnitude*). Kekakuan (*stiffness*), redaman struktur, massa dan percepatan gempa menjadi hal yang sangat mempengaruhi dalam metode analisis pembebanan gempa pada struktur dinamik. Itulah yang menjadi pembeda antara metode dalam analisis statis dan dinamis. Beban seismik telah mengalami perubahan mendasar pada struktur bangunan pada 5 dan 10 tingkat [3]. Namun dalam penelitian ini tidak jelas diketahui pada jumlah tingkat struktur berapa (5, 6, 7, 8, 9 dan 10 tingkat) terjadi perubahan. Oleh karena itu, perhitungan dengan menggunakan analisis statik ekuivalen pada struktur bangunan 5 tingkat jika dibandingkan dengan pembebanan gempa dinamik *time history* karena memberikan persyaratan yang lebih besar dalam perancangan struktur. Namun perhitungan analisis dinamik *time history* lebih cocok dilakukan untuk perhitungan beban seismik pada struktur 10 tingkat atau lebih karena analisis ini memberikan nilai persyaratan yang lebih besar dalam perancangan struktur dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen. Pada bangunan yang relatif tinggi, rendahnya frekuensi seismik yang mempengaruhi bangunan menyebabkan simpangan tingkat maksimum dan gaya geser dasar (*V*) yang tinggi, tetapi gaya horizontal tingkat pada bangunan yang relatif rendah akan semakin tinggi ketika rendahnya frekuensi seismik yang mempengaruhi bangunan [3]. Perubahan ukuran kolom/balok yang berbeda dapat meningkatkan simpangan tingkat, tetapi dapat mengurangi gaya geser dasar bangunan dan gaya horizontal tingkat.

Terdapat penelitian yang melakukan perbandingan *displacement*, simpangan antar lantai, dan respon struktur pada balok/kolom dengan menggunakan analisis dinamik respon spektrum dan dinamik *time history* [4]. Dalam penelitian yang dilakukan ini rekaman gempa yang digunakan adalah rekaman gempa *El-Centro* 1979 (gempa frekuensi tinggi), rekaman gempa *El-Centro* 1940 (gempa frekuensi menengah) dan rekaman gempa *Duzce* (gempa frekuensi rendah). Kesimpulan dalam penelitian ini menyebutkan bahwa nilai dari hasil analisis dinamik *time history El-Centro* 1940 (gempa frekuensi menengah) menghasilkan nilai respon yang maksimum. Semakin tinggi bangunan semakin kecil nilai *displacement* [5]. Pada penelitian ini juga disebutkan bahwa analisis statik ekuivalen lebih besar menghasilkan nilai *displacement* dan gaya gesernya, jadi pada rentan tingkat 5, 10 dan 15 hasil dari analisis statik ekuivalen dirasa aman dalam merencanakan pembebanan gempa. Kemudian penelitian selanjutnya menghasilkan nilai simpangan horizontal tertinggi pada arah X dengan nilai 0,032 m lebih besar dibandingkan pada arah Y dengan nilai 0,0042 m, karena analisis ini dilakukan pada satu arah yaitu arah X dengan persentase beban gempa yang diterima menggunakan sistem ortogonal dimana struktur gedung arah X menerima beban gempa sebesar 100% sedangkan arah Y sebesar 30% dari beban gempa hasil perhitungan metode analisis respons spektrum [6]. Nilai simpangan horizontal yang dihasilkan berada dibawah batas keamanan simpangan yang diizinkan berdasarkan pada SNI 1726 Tahun 2012 [2]. Dengan persentase arah X sebesar 56,7% sedangkan arah Y sebesar 92,3%.

Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, harus dilakukan perhitungan pembebanan gempa dengan menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan dinamik *time history* untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan pembebanan gempa yang dihasilkan dari kedua metode dan untuk mengetahui seberapa jauh perhitungan dengan menggunakan analisis statik ekuivalen masih bisa dilakukan. Dengan pemikiran dasar tersebut maka dalam penelitian ini menjadikan fokus dalam perbandingannya yaitu dari gaya lateral tingkat (*F_i*) dan gaya geser (*V*) dari hasil analisis statik ekuivalen dan dinamik *time history* dengan menggunakan standar peraturan SNI 1726-2019 [1].

II. METODE PENELITIAN

A. Analisis Statik Ekuivalen

Statik ekuivalen adalah suatu representasi beban gempa yang telah disederhanakan dan juga telah dimodifikasi, dimana gaya inersia yang mempengaruhi struktur bangunan berupa massa akibat gempa disederhanakan menjadi gaya horizontal. Bangunan statik ekuivalen dianggap berdiri utuh dan tidak bergerak, kemudian pada setiap titik pusat massa lantai bangunan diberikan gaya yang besarnya berbeda. Menurut SNI 1726-2019 [1], analisis statik ekuivalen dapat dihitung dengan cara berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad \dots(1)$$

Keterangan:

T_a = periode fundamental pendekatan (detik)

h_n = ketinggian struktur (meter)

C_t dan x = koefisien sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2019

Gaya geser seismik, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V = C_s \cdot W \quad \dots(2)$$

Persyaratan, $C_{s \min} < C_s < C_{s \max}$:

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad \dots(3)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad \dots(4)$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)} \quad \dots(5)$$

Keterangan:

- V = geser dasar seismik (kN)
- C_s = koefisien respons seismik
- W = berat seismik efektif seluruh beban mati dan beban lainnya bangunan (kN)
- S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda sebesar 0,2 detik
- R = faktor modifikasi respons
- I_e = faktor keutamaan gempa
- T = periode fundamental struktur (detik)
- S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda sebesar 1,0 detik

Dalam menentukan distribusi vertikal seismik harus ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad \dots(6)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad \dots(7)$$

Keterangan:

- F_x = gaya seismik lateral (kN)
- V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
- w_i dan w_x = Bagian berat gempa efektif total struktur (W) yang dikenakan atau ditempatkan pada tingkat i atau x
- h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
- k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:
 - untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
 - untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
 - untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

B. Analisis Dinamik *Time History*

Dinamik *time history* adalah analisis untuk menentukan respon dinamik struktur pada bangunan gedung yang berperilaku linear/nonlinier terhadap gerakan tanah/percepatan tanah yang diakibatkan oleh riwayat gempa yang pernah terjadi. Dalam perhitungan beban gempa dengan respon dinamis bangunan, dalam perhitungannya akan memberikan 'riwayat waktu' dari *displacement* (juga percepatan dan percepatan jika diinginkan) dan gaya-gaya yang berhubungan dengan derajat kebebasan. Digunakan persamaan dasar dalam perhitungan ini adalah:

$$[M]\{\ddot{u}_t\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad \dots(8)$$

$$[M]\{\ddot{u}_t\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\} \ddot{u}_g(t) \quad \dots(9)$$

$$\{u\} = [\phi]\{Y\} \quad \dots(10)$$

Keterangan:

- $[M], [C], [K]$ = matriks massa, redaman dan kekakuan
- $\{u\}$ = perpindahan relatif
- $\{u_t\}$ = perpindahan total
- $\{u_g(t)\}$ = perpindahan tanah dasar
- $\{P(t)\}$ = beban yang bekerja, untuk gempa $\{P(t)\} = 0$
- $\ddot{u}_g(t)$ = percepatan tanah dasar
- $\{r\} = \begin{pmatrix} 1,0 \\ 1,0 \\ 1,0 \end{pmatrix}$
- $\{\phi\}$ = amplitudo matriks
- $[Y]$ = modal matriks

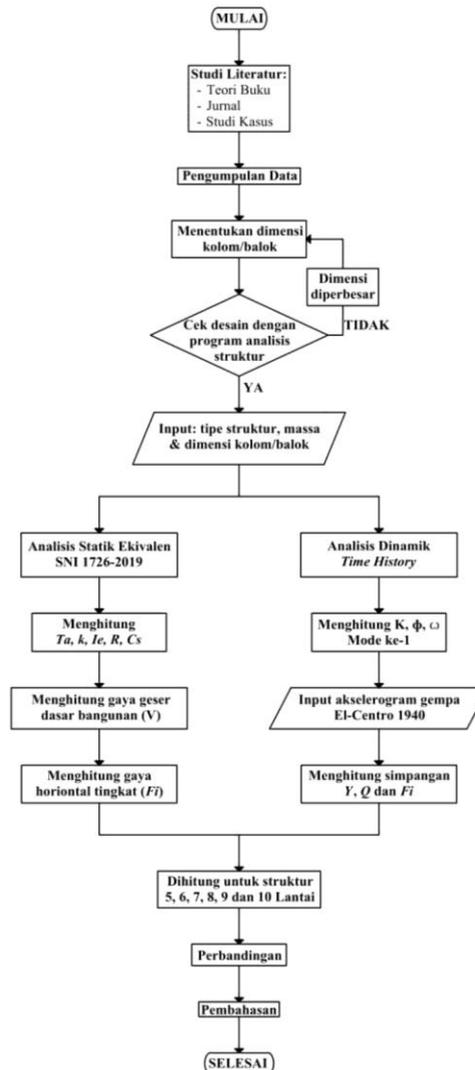
C. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

- 1) Menentukan ukuran/dimensi model dari struktur portal beton bertulang dengan variasi tingkat yang berbeda, dengan cara coba-coba menggunakan bantuan dari program analisis struktur.
- 2) Menentukan massa/beban yang membebani struktur bangunan dan juga kekakuan pada struktur.
- 3) Analisis statik ekuivalen menurut peraturan SNI 1726-2019 [1], meliputi tahapan perhitungan:
 - a. Menghitung perioda fundamental struktur bangunan (T_a);
 - b. Menentukan nilai koefisien reduksi beban gempa (R) dan faktor keutamaan struktur bangunan (I);
 - c. Menghitung gaya geser dasar bangunan statik ekuivalen (V);
 - d. Menghitung gaya horizontal/gaya lateral tingkat statik ekuivalen (F_i).
- 4) Analisis dinamik *time history*, meliputi tahap sebagai berikut:
 - a. Mencari kekakuan struktur (K);
 - b. Mencari nilai frekuensi sudut (ω) dan *mode shape* (ϕ);
 - c. Input akselerogram gempa;
 - d. Menghitung mode ke-1;
 - e. Menghitung *participation factor* dan amplitudo maksimum;
 - f. Menghitung *displacement* per lantai (Y);
 - g. Menghitung gaya geser dasar bangunan yang terjadi dinamik *time history* (Q);
 - h. Menghitung gaya *horizontal*/gaya lateral tingkat dinamik *time history* (F_i).
- 5) Membandingkan hasil perhitungan dari kedua metode analisis (statik ekuivalen dan dinamik *time history*) berupa gaya geser dasar bangunan dan gaya lateral tingkat (mode ke-1 & gaya lateral statik ekuivalen).
- 6) Pembahasan dan kesimpulan.

D. Bagan Alir Penelitian

Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1 sebagai berikut:

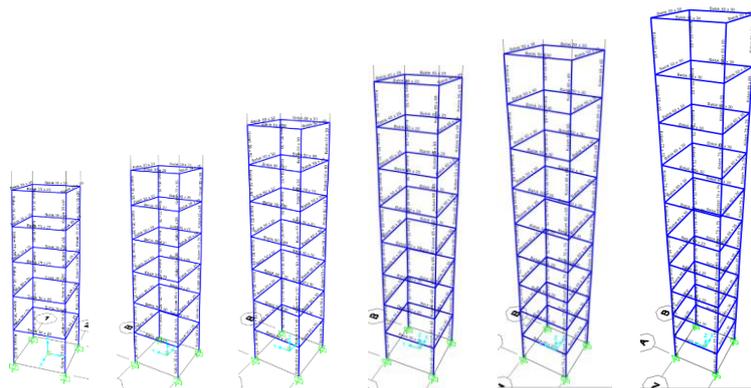


Gambar 1: Bagan Alir Metodologi Penelitian

E. Objek Penelitian

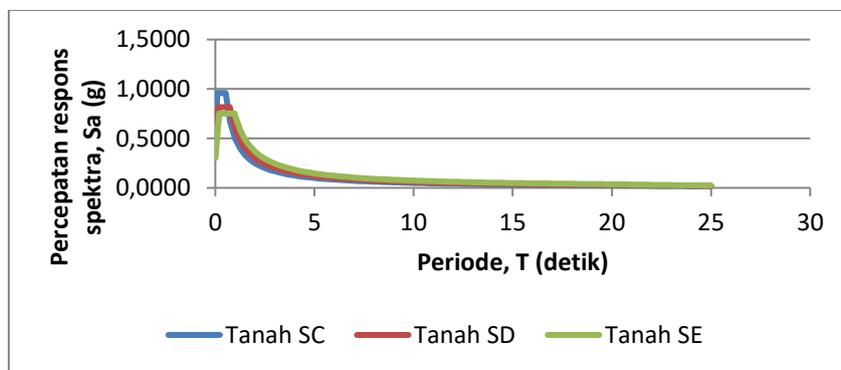
Pada penelitian ini yang menjadi objek penelitian adalah bangunan gedung dengan fungsi bangunan hotel. Bangunan tersebut dibuat dengan variasi tingkat yang berbeda. Berikut spesifikasi bangunan gedung yang akan dibuat:

- 1) Variasi jumlah tingkat struktur 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 lantai;
- 2) Perbedaan ketinggian setiap tingkat adalah 4 meter;
- 3) Lebar bentang bangunan adalah 6 meter;
- 4) Bangunan Sistem Rangka Beton Pemikul Momen;
- 5) Kelas Situs yang digunakan yaitu Tanah Sedang (SD);
- 6) Spesifikasi bahan yang digunakan dalam penelitian:
 - a. Mutu Beton, $f_c' = 30$ MPa.
 - b. Tulangan, BJ-41 $f_y = 250$ MPa.
- 7) Gambar rencana:



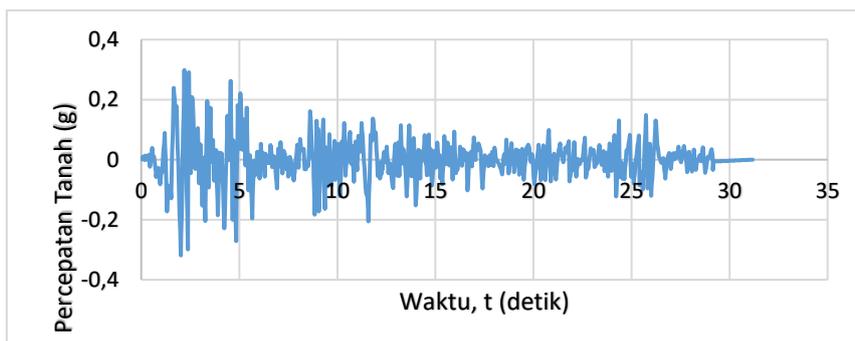
Gambar 2: Pemodelan Struktur

8) Grafik Respon Spektrum Kabupaten Garut:



Gambar 3: Grafik Respon Spektrum Kabupaten Garut

9) Akselerogram riwayat gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah *El Centro* 1940 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4: Akselerogram *El Centro* 1940 [7]

IV. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisis Statik Ekuivalen

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan analisis statik ekuivalen maka didapatkan nilai pembebanan gempa atau gaya seismik lateral per lantai, untuk nilai gaya seismik lateral dengan variasi jumlah tingkat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Gaya Lateral Tingkat Statik Ekvivalen

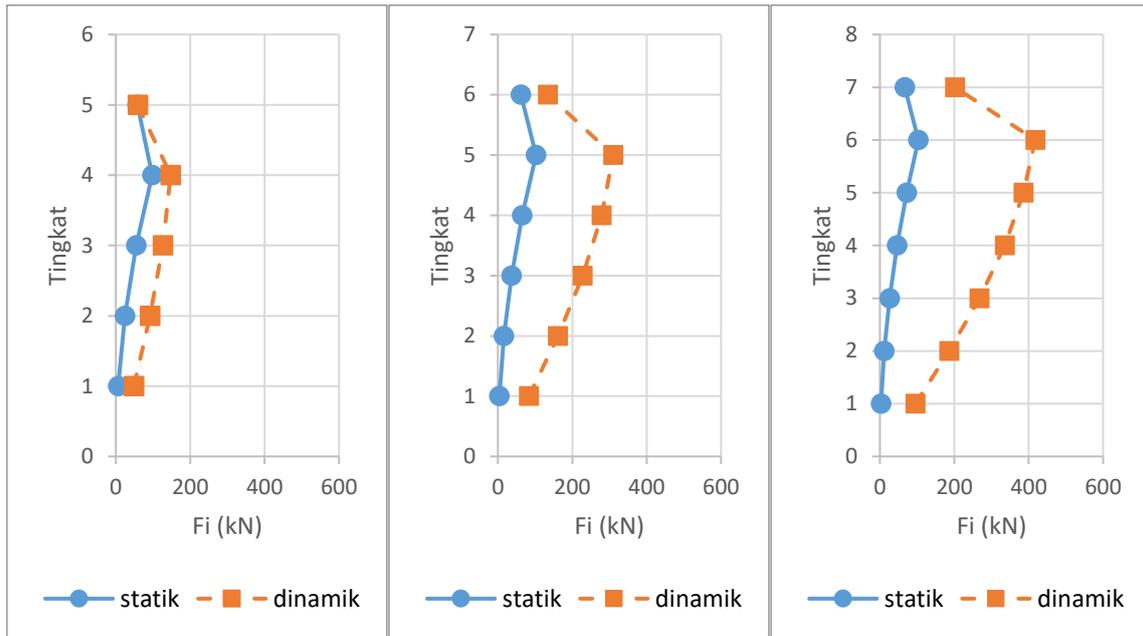
Tingkat ke-	Jumlah Tingkat					
	5	6	7	8	9	10
1	6,099	4,098	2,873	2,256	1,813	1,493
2	24,297	16,393	11,490	9,023	7,251	5,974
3	54,893	36,885	25,853	20,302	16,315	13,441
4	97,587	65,574	45,962	36,093	29,005	23,895
5	58,288	102,459	71,815	56,396	45,320	37,335
6		62,065	103,414	73,487	58,056	48,285
7			66,445	100,024	79,020	65,721
8				61,670	103,210	85,840
9					68,220	98,781
10						63,690

B. Analisis Dinamik *Time History*

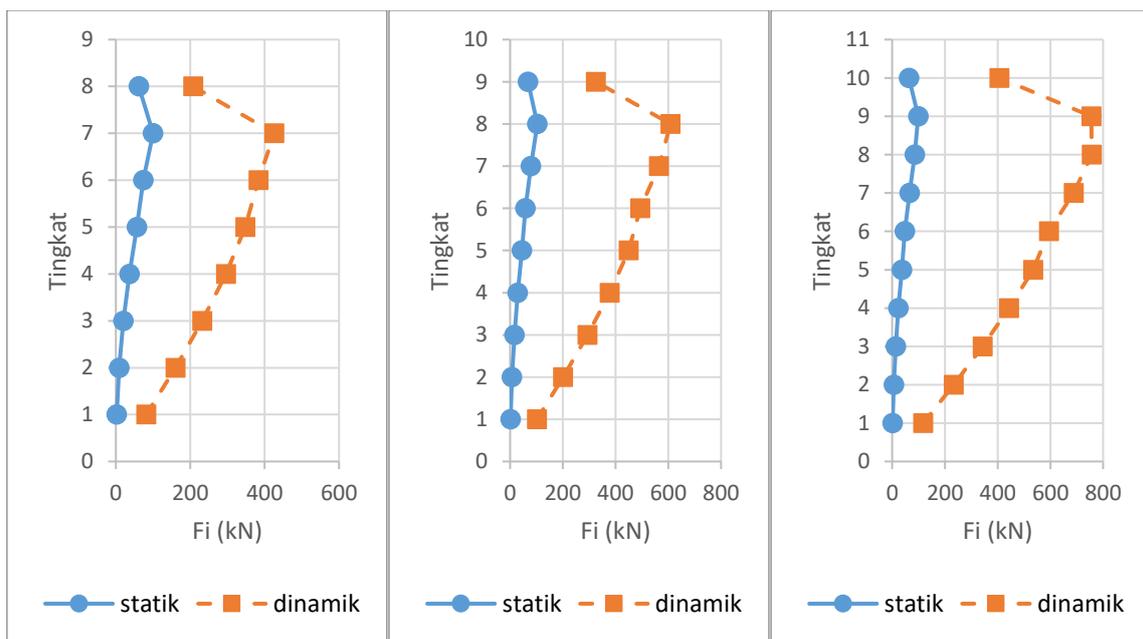
Dari analisis dinamik *time history* didapatkan nilai pembebanan gempa atau gaya seismik lateral per lantai, untuk nilai gaya seismik lateral dengan variasi jumlah tingkat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Gaya Lateral Tingkat Dinamik *Time History*

Tingkat ke-	Jumlah Tingkat					
	5	6	7	8	9	10
1	48,568	83,727	95,547	81,513	101,773	117,935
2	92,001	161,596	186,267	159,915	200,514	233,016
3	126,071	228,160	267,574	232,209	293,282	342,458
4	147,199	278,757	335,359	295,637	377,313	443,612
5	58,568	309,846	386,195	347,774	450,103	534,030
6		134,295	417,509	383,287	494,044	594,438
7			201,903	426,028	564,464	687,940
8				207,720	608,359	756,767
9					325,714	755,261
10						406,721



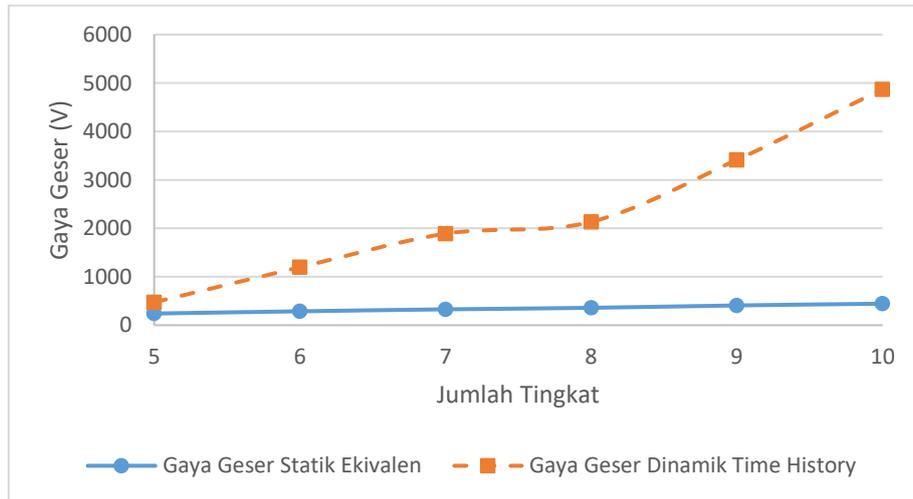
(a) 5 Tingkat (b) 6 Tingkat (c) 7 Tingkat
 Gambar 5: Gaya Lateral Horizontal Tingkat (kN) untuk Struktur 5, 6 dan 7 Tingkat



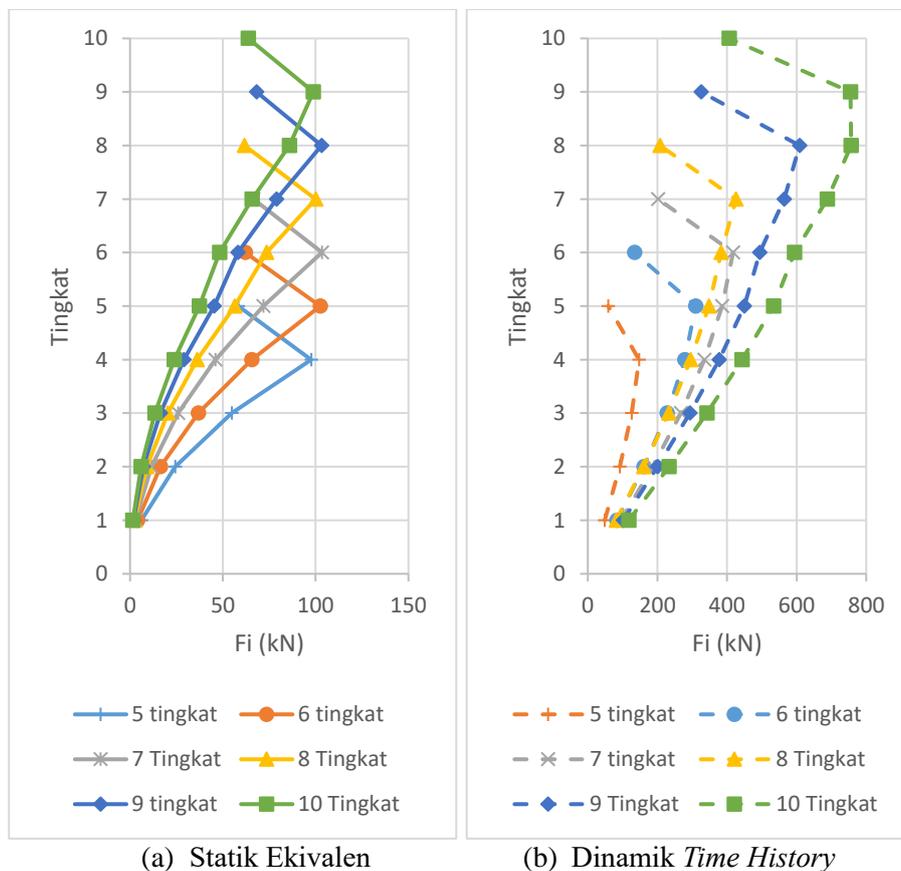
(a) 8 Tingkat (b) 9 Tingkat (c) 10 Tingkat
 Gambar 6: Gaya Lateral Horizontal Tingkat (kN) untuk Struktur 8, 9 dan 10 Tingkat

Analisis yang dilakukan pada struktur 5 tingkat (Gambar 5a) menghasilkan besaran gaya lateral yang terjadi dari hasil perhitungan pembebanan gempa analisis statik ekuivalen dan dinamik *time history* menunjukkan hasil yang tidak berbeda jauh dibandingkan dengan struktur yang lebih tinggi dengan perbandingan pembebanan pada lantai ke-1 = 12,39%, pada lantai ke-2 = 26,41%, pada lantai ke-3 = 43,54%, pada lantai ke-4 = 66,29% dan pada lantai ke-5 = 99,52% dari beban yang dihasilkan oleh analisis pembebanan gempa dinamik *time history*. Gaya lateral analisis statik ekuivalen lebih kecil dari gaya lateral analisis dinamik *time history*. Dari perhitungan analisis pada struktur 6 tingkat yang ditunjukkan Gambar 5b gaya lateral dinamik *time history* memiliki nilai yang lebih besar dari gaya lateral pada semua tingkat, pada gambar tersebut menunjukkan

semakin tinggi struktur tingkatnya gaya lateral yang dihasilkan terus meningkat jauh kecuali pada tingkat ke-6 dengan perbandingan yang terjadi pada lantai ke-6 = 46,22% dari beban yang dihasilkan oleh analisis pembebanan gempa dinamik *time history*. Pada struktur 7 sampai dengan 10 tingkat yang ditunjukkan pada Gambar 5c dan Gambar 6, menghasilkan pembebanan yang hampir sama seperti yang terjadi pada perhitungan struktur 6 tingkat, dimana gaya lateral hasil analisis statik ekuivalen memiliki nilai yang lebih kecil dari gaya lateral pada semua tingkat. Perbedaannya juga sangat jauh dibandingkan dengan yang terjadi pada struktur 5 dan 6 tingkat.



Gambar 7: Gaya Geser (kN) Statik Ekuivalen dan Dinamik *Time History*



Gambar 8: Gaya Lateral Horizontal Tingkat Statik Ekuivalen dan Dinamik *Time History*

Meskipun dalam perancangan struktur statik ekuivalen yang diizinkan pada SNI 1726-2002 yaitu “struktur dengan ketinggian tidak lebih dari 40 meter atau 10 tingkat”. Tetapi dalam penelitian ini hasil dari analisis statik ekuivalen yang mendekati dari hasil dinamik *time history* hanya pada struktur 5 tingkat saja. Maka dalam analisis statik ekuivalen hasil yang paling akurat yaitu pada struktur 6 tingkat, karena ketika lebih dari 6 tingkat perbedaannya semakin besar. Dari Gambar 5a terlihat gaya lateral hasil perhitungan analisis statik ekuivalen lebih seragam dibandingkan hasil perhitungan dari analisis dinamik *time history* yang nilainya lebih beragam. Dengan ini analisis statik ekuivalen lebih cocok digunakan untuk struktur di bawah 6 tingkat. Gaya lateral dari hasil analisis statik ekuivalen yang ditunjukkan Gambar 5c semakin tinggi struktur bangunan yang dianalisis, maka semakin rendah pula gaya lateral pada struktur paling bawah. Pada Gambar 6a perbedaan pola gaya lateral terjadi pada hasil perhitungan analisis dinamik *time history* yang terdapat pada variasi tingkat 8 sampai 10 dibandingkan dengan pola pada variasi tingkat 5 sampai 7 tingkat, hal tersebut diakibatkan oleh pada bangunan 8 sampai 10 memiliki dimensi kolom dan balok yang tidak seragam.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data, diperoleh kesimpulan dari penelitian mengenai “Perbandingan Pembebanan Gempa Bangunan Bertingkat Menggunakan Analisis *Static Equivalent* dan Analisis *Dynamic Time History* di Kab. Garut” adalah sebagai berikut:

- 1) Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan dua metode yang berbeda, yaitu analisis statik ekuivalen dan dinamik *time history* yang dilakukan dengan menggunakan pemodelan struktur 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 lantai. Dari kedua metode tersebut menghasilkan pembebanan yang berbeda, dengan hasil pembebanan yang dihasilkan analisis dinamik *time history* dengan data Akselerogram gempa *El-Centro* 1940 memiliki nilai pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan metode analisis statik ekuivalen. Ini disebabkan karena dalam analisis dinamik *time history* sangat dipengaruhi banyak sekali faktor, diantaranya: kekakuan, massa, redaman struktur dan faktor dari percepatan gempa yang mempengaruhi bangunan;
- 2) Perbandingan yang dihasilkan dari hasil perhitungan analisis statik ekuivalen dan dinamik *time history* menghasilkan pada struktur 5 lantai memiliki nilai pembebanan yang tidak terlalu jauh diantara kedua metode. Dalam perhitungan struktur 6 lantai nilai pembebanan mulai terjadi perbedaan yang jauh, dengan nilai pembebanan gempa dari analisis statik ekuivalen lebih kecil dari analisis dinamik *time history*. Pada struktur 7 atau lebih peningkatan pembebanan gempa yang terjadi dari analisis dinamik *time history* meningkat lebih besar dari perhitungan struktur 5 dan 6 dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen;
- 3) Perhitungan pembebanan gempa pada struktur 5 tingkat dengan menggunakan metode analisis statik ekuivalen dinilai akurat karena menghasilkan pembebanan gempa yang mendekati dengan hasil analisis dinamik *time history* yang menghasilkan pembebanan gempa lebih besar dalam perancangan struktur. Pada struktur 6 tingkat analisis statik ekuivalen masih memungkinkan untuk dipakai karena hasil pembebanan relatif tidak terlalu jauh dengan analisis dinamik *time history*. Analisis dinamik *time history* lebih disarankan digunakan pada perencanaan struktur 7 tingkat atau lebih karena memberikan persyaratan yang lebih besar dalam perancangan struktur bangunan dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen.

B. Saran

Saran yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Dalam pemodelan struktur digunakan dimensi kolom dan balok yang semakin tinggi variasi tingkatnya semakin besar dimensinya, sehingga membuat hasil perhitungan gaya gesernya semakin meningkat tajam. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisis serupa dengan menggunakan dimensi kolom dan balok yang sama di setiap variasi tingkatnya;
- 2) Dalam penelitian perhitungan analisis dinamik *time history* digunakan rekaman gempa *El-Centro* 1940, untuk lebih membuat kesesuaian dengan lokasi Kabupaten Garut gunakan rekaman gempa yang terjadi di sekitar lokasi penelitian, contohnya gempa Tasikmalaya 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2012.
- [3] R. Faizah, “Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik Time History pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta,” vol. 18, no. 2, pp. 190–199, 2015.
- [4] G. A. Pratiwi and Widodo, “Analisis Dan Desain Struktur Beton Bertingkat Banyak Berdasarkan Perbandingan Analisis Respons Spektrum Dan Dinamik Riwayat Waktu,” *J. Tek.*, vol. 22, no. 1, pp. 281–293, 2017.
- [5] R. O. F. Wantalangie, J. Pangouw, and R. Windah, “Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat,” *J. Sipil Statik*, vol. 4, no. 8, pp. 471–480, 2016, [Online]. Available: ejournal.unsrat.ac.id.
- [6] E. Walujodjati, R. Roestaman, I. Farida, and M. a. Agesti, “Analysis of horizontal deviation values on shearwalls in building structure according to earthquake load design,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1402, no. 2, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1402/2/022005.
- [7] vibrationdata, “Vibration Data El Centro Earthquake Page,” *vibrationdata.com*, 1940. <http://www.vibrationdata.com/elcentro.htm> (accessed Jul. 02, 2019).
- [8] K. A. Chopra, *Dynamic of Structures*, 4th ed. California: Prentice Hall, 2012.
- [9] R. R. Lathuru and R. Prasojo, “Analisa Statik dan Dinamik Gedung 8 Lantai,” *J. Kaji. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 130–141, 2017.
- [10] J. A. Tjondro, *Struktur Tahan Gempa*. Bandung: Universitas Katholik Parahyangan, 2018.
- [11] I. Satyarno, P. Nawanglaras, and R. I. P. P, *Belajar SAP 2000 Analisis Gempa*. Yogyakarta: Zamil Publishing, 2012.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2013.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2012.