



EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI DENGAN MENGGUNAKAN METODE ANALISIS RESPONS SPEKTRA DAN ANALISIS RIWAYAT WAKTU (STUDI KASUS: GEDUNG KULIAH BERSAMA A19 UNIVERSITAS NEGERI MALANG)

Yolanda Kevin Pradana¹, Mohammad Sulton², Roro Sulaksitaningrum³

¹Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

²Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

³Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

Yolanda Kevin Pradana, yolandakevinp@gmail.com: author@gmail.com

Abstrak

Evaluasi terkait performa struktur suatu bangunan saat menerima gaya gempa penting dilakukan mengingat gaya gempa bersifat menghancurkan bangunan. Dengan adanya evaluasi tersebut, kerugian material dan korban jiwa akibat gempa dapat diminimalisir. Pada penelitian terdahulu mengenai evaluasi kinerja struktur menggunakan analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu, sering kali didapatkan hasil berbeda yang diperoleh dari kedua analisis tersebut. Berdasarkan hasil penelitian-penelitian tersebut dengan menggunakan studi kasus bangunan yang berbeda-beda, maka Gedung Kuliah Bersama (GKB) A19 perlu dievaluasi kinerja strukturnya guna mengidentifikasi tingkat keamanan struktur dalam menahan gaya gempa dan menjamin keselamatan pengguna bangunan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui respon struktur GKB A19 berdasarkan hasil analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu apabila ditinjau dari *displacement*, *storey drift*, dan *base shear*. *Storey drift* hasil kedua analisis digunakan untuk menentukan *performance level* bangunan sesuai dengan ketentuan ATC-40. Setelah *displacement*, *storey drift*, *base shear*, dan *performance level* dari kedua analisis didapatkan, dilakukan perbandingan untuk mengidentifikasi perbedaan hasil analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu. Setelah mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam proses analisis maka selanjutnya dilakukan analisis dengan bantuan software ETABS 2018. Pembebanan struktur menggunakan ketentuan SNI 1727:2013. Hasil analisis software ETABS yang ditinjau adalah *displacement*, *storey drift*, dan *base shear*. Hasil yang didapat dari ETABS kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel. Respon struktur terhadap beban gempa dikontrol dengan SNI 1726:2019 dan *performance level* struktur bangunan dikategorikan sesuai ketentuan ATC-40.

Base shear respons spektra sebelum penskalaan gaya pada arah-x bernilai 63% lebih kecil dari riwayat waktu Chi-Chi; 65% lebih kecil dari riwayat waktu Imperial Valley; 63% lebih kecil dari riwayat waktu Irpinia dan pada arah-y bernilai 62% lebih kecil dari riwayat waktu Chi-Chi; 60% lebih kecil dari riwayat waktu Imperial Valley; 59% lebih kecil dari riwayat waktu Irpinia. Setelah dilakukan penskalaan gaya *base shear* yang didapat dari kedua analisis relatif sama. Di sisi lain, *performance level* yang didapatkan dari hasil kedua analisis sama yaitu *immediate occupancy*.

Kata kunci: Respons Spektra, Riwayat Waktu, *Displacement*, *Storey Drift*, *Base Shear*, *Performance Level*

1. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu negara yang berada pada area cincin api pasifik (*ring of fire*), di mana merupakan zona bertemunya tiga lempeng tektonik sekaligus yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Hal tersebut menyebabkan sebagian besar wilayah di Indonesia rawan mengalami gempa bumi. Gempa bumi yang melanda Indonesia sering kali

menimbulkan korban jiwa (Suharjanto, 2013). Angka korban jiwa akibat keruntuhan bangunan pada saat gempa dapat diminimalisir dengan meneliti aspek gempa dan perhitungannya pada saat tahap perencanaan bangunan. Dengan adanya evaluasi tersebut, kerugian material dan korban jiwa akibat gempa dapat diminimalisir.

Berdasarkan SNI 1726:2019 terdapat dua jenis analisis, yaitu analisis statis dan analisis dinamis. *Performance level* struktur yang didapat dari hasil analisis riwayat waktu dan analisis respons spektra bisa diperoleh hasil yang berbeda pada beberapa penelitian terdahulu. Contohnya pada analisis respons spektra dan riwayat waktu dengan studi kasus Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga yang menggunakan rekaman gempa Irpinia, L' Aquila, dan El Centro. Pada riwayat waktu Irpinia diperoleh *performance level immediate occupancy*, sedangkan pada respons spektra dan riwayat waktu L'Aquila dan El Centro diperoleh *performance level damage control* (Hidayat, 2018). *Performance level* tinjauan arah x dan y dari analisis riwayat waktu menggunakan rekaman gempa yang sama bisa didapatkan hasil yang berbeda. Pada analisis riwayat waktu menggunakan rekaman *ground motion* gempa Chi-Chi 1999 dengan studi kasus Apartemen Kingland Avenue Serpong didapat *performance level damage control* untuk arah-x dan *immediate occupancy* untuk arah-y (Putra, dkk., 2021).

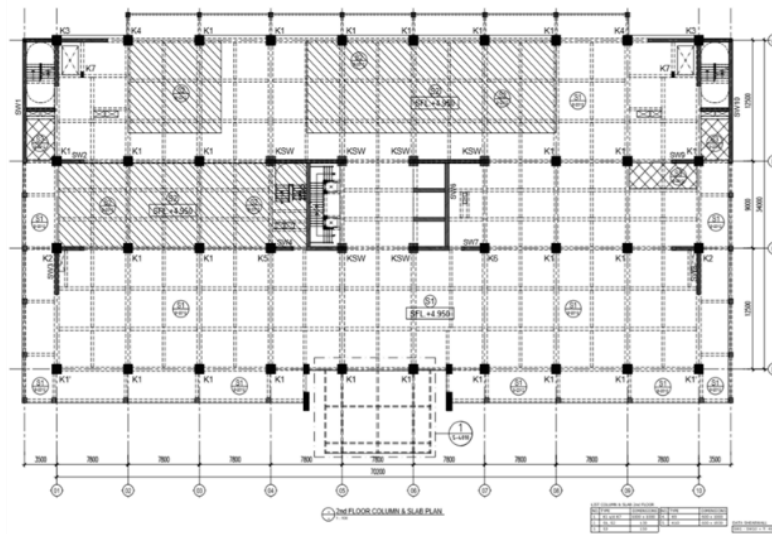
Keluaran analisis yang berupa *base shear* pada hasil analisis riwayat waktu dan analisis respons spektra pada penelitian yang dilakukan oleh Bayyinah & Faimun (2017) diperoleh perbedaan yang signifikan. *Base shear* pada analisis riwayat waktu menggunakan gempa Imperial Valley tiga kali lebih kecil dibandingkan *base shear* hasil analisis respons spektra. Berdasarkan hasil penelitian-penelitian tersebut dengan menggunakan studi kasus bangunan yang berbeda-beda, maka Gedung Kuliah Bersama (GKB) A19 perlu dievaluasi kinerja strukturnya berdasarkan SNI 1726:2019 guna mengidentifikasi tingkat keamanan struktur dalam menahan gaya gempa dan menjamin keselamatan pengguna bangunan.

2. Metode

2.1. Pengumpulan Data

Gedung yang akan dievaluasi memiliki total sembilan lantai ditambah satu lantai untuk ruang mesin, dan terdapat tiga tingkat portal lantai atap. Adapun data umum dari Gedung Kuliah Bersama A19 Universitas Negeri Malang adalah sebagai berikut:

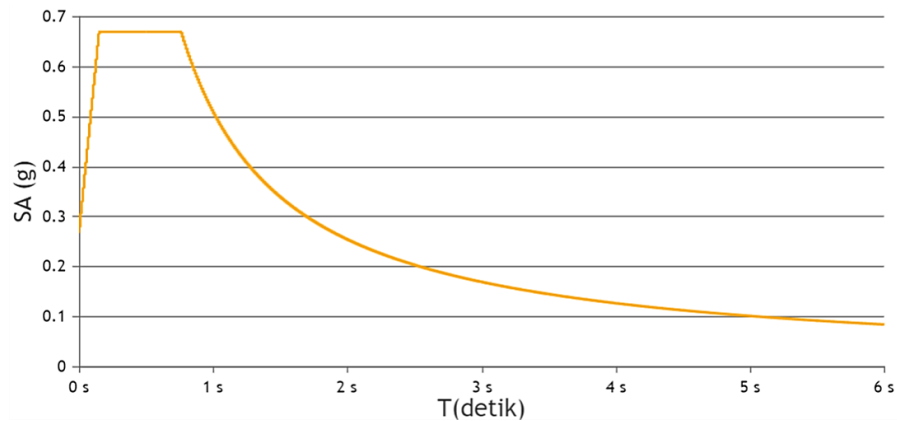
- Nama Bangunan : Gedung Kuliah Bersama A19 Universitas Negeri Malang
- Lokasi Bangunan : Jalan Simpang Bogor, Penanggungan, Malang
- Fungsi Bangunan : Bangunan fasilitas pendidikan
- Jumlah Lantai : Sembilan lantai
- Panjang Bangunan : 77,2 meter
- Lebar Bangunan : 34 meter
- Tinggi Bangunan : 53,7 meter



Gambar 1. Denah Struktur Gedung Kuliah Bersama A19 UM

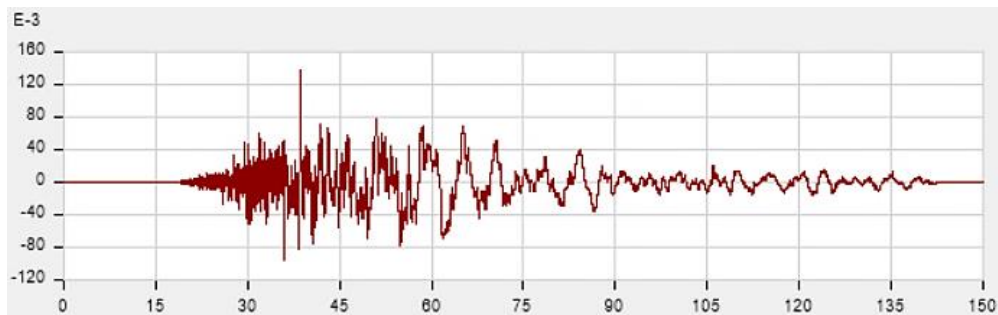
Sumber: IsDB Universitas Negeri Malang

Pada analisis respons spektra, parameter yang digunakan dalam input beban gempa didapatkan dari software RSA Binary 2019. Data rekaman percepatan gerak tanah yang digunakan dalam analisis riwayat waktu didapatkan melalui website PEER *Ground Motion Database* oleh Universitas California.



Gambar 2. Grafik Respons Spektra GKB A19

Sumber: rsa.ciptakrya.pu.go.id



Gambar 3. Input Beban Gempa Riwayat Waktu pada ETABS

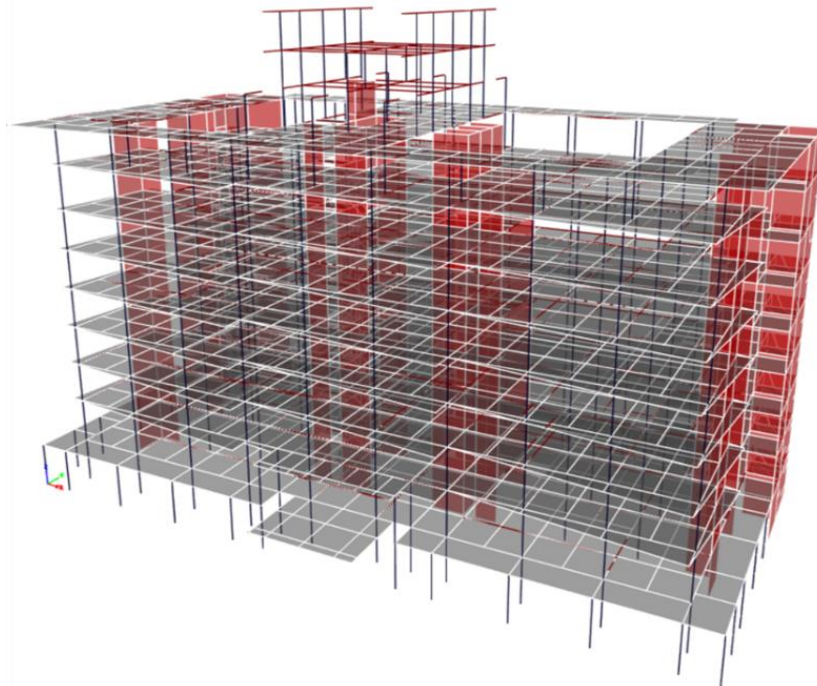
2.2. Tahap Pemodelan dan Pembebanan Struktur

Struktur gedung dimodelkan dengan menggunakan *software* ETABS 2018. Pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1727:2013, Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (PPPURG 1987), serta Peraturan Pembebanan

Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983). Jenis beban yang digunakan adalah beban hidup, beban mati, dan beban gempa.

2.3. Tahap Analisis Respons Spektra dan Analisis Riwayat Waktu

Pada analisis respons spektra, tahapan yang dilakukan adalah menentukan faktor keutamaan gempa, menentukan parameter-parameter spektral, dan menentukan klasifikasi situs. Sedangkan pada analisis riwayat waktu, tahapan yang dilakukan adalah menentukan rekaman percepatan gerak tanah, menyesuaikan grafik riwayat waktu dengan respons spektra, dan penskalaan beban gempa masukkan. Hasil analisis berupa *storey drift* dikontrol berdasarkan SNI 1726:2019 dan *performance level* dikategorikan sesuai dengan ketentuan yang termuat dalam ATC-40.



Gambar 4. Pemodelan 3D Struktur GKB A19 Software ETABS 18.1.1

2.4. Pengolahan Data

Hasil analisis software ETABS yang ditinjau adalah displacement, storey drift, dan base shear. Hasil yang didapat dari ETABS kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel. Respon struktur terhadap beban gempa dikontrol dengan SNI 1726:2019 dan performance level struktur bangunan dikategorikan sesuai ketentuan ATC-40.

3. Hasil

3.1. Hasil Displacement

Pada masing-masing metode diambil hasil *displacement* terbesar dari setiap lantai bangunan pada arah-x dan arah-y. *Displacement* terbesar yang diperoleh pada analisis respons spektra bernilai sebesar 0,843 mm untuk arah-x yang terdapat pada lantai ruang mesin. Adapun untuk arah-y, *displacement* terbesar hasil analisis respons spektra bernilai sebesar 8,613 mm yang terdapat pada lantai tiga.

Displacement dari gempa Chi-Chi, Imperial Valley, dan Irpinia yang digunakan dalam analisis riwayat waktu tidak berbeda jauh antar satu sama lain. Pada gempa Imperial Valley, diperoleh *displacement* arah-x terbesar dari ketiga gempa yang digunakan yaitu sebesar 0,268 mm yang terdapat pada lantai ruang mesin. Adapun untuk arah-y,

diperoleh *displacement* terbesar dari gempa Irpinia yaitu sebesar 2,908 mm yang terdapat pada lantai tiga.

Tabel 1. Hasil *Displacement*

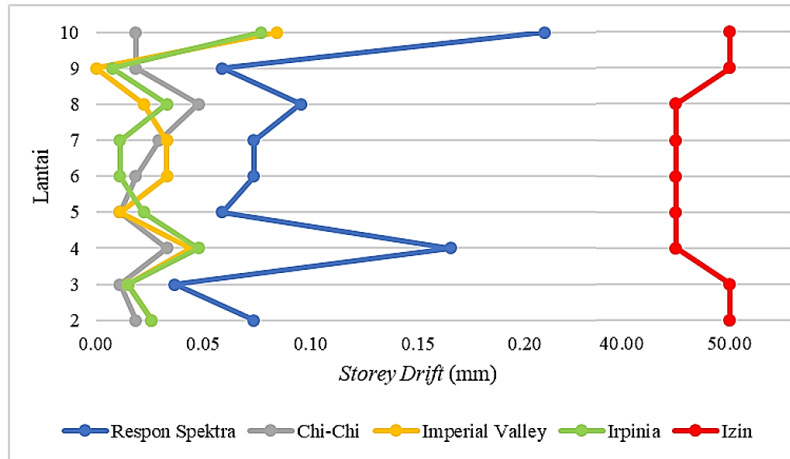
Input Gempa	Arah Tinjauan	<i>Displacement</i> Terbesar (mm)	Lantai
Respons Spektra	Arah-X	0,843	Lantai Ruang Mesin
	Arah-Y	8,613	Lantai Tiga
Chi-Chi	Arah-X	0,205	Lantai Ruang Mesin
	Arah-Y	2,581	Lantai Tiga
Imperial Valley	Arah-X	0,268	Lantai Ruang Mesin
	Arah-Y	2,750	Lantai Tiga
Irpinia	Arah-X	0,249	Lantai Ruang Mesin
	Arah-Y	2,908	Lantai Tiga

3.2. Hasil Storey Drift

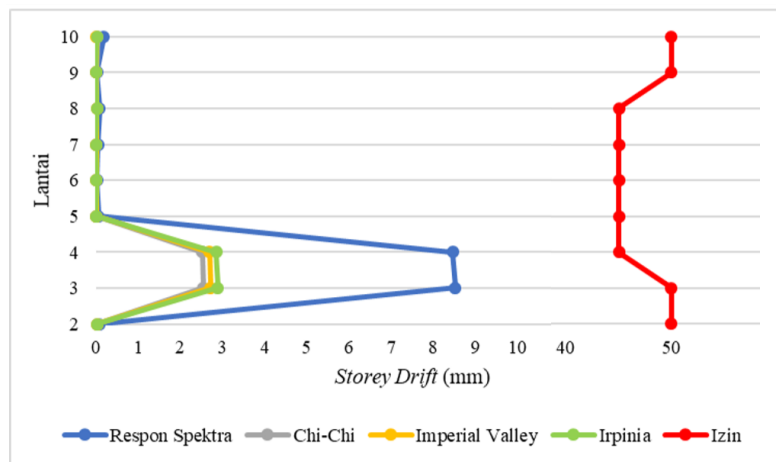
Tabel 2. Hasil *Storey Drift*

Input Gempa	Arah Tinjauan	<i>Storey Drift</i> Terbesar (mm)	Lantai
Respons Spektra	Arah-X	0,209	Lantai Ruang Mesin
	Arah-Y	8,521	Lantai Tiga
Chi-Chi	Arah-X	0,048	Lantai Delapan
	Arah-Y	2,552	Lantai Tiga
Imperial Valley	Arah-X	0,084	Lantai Ruang Mesin
	Arah-Y	2,724	Lantai Tiga
Irpinia	Arah-X	0,077	Lantai Ruang Mesin
	Arah-Y	2,886	Lantai Tiga

Nilai *storey drift* terbesar arah-x hasil analisis respons spektra bernilai sebesar 0,209 mm yang terdapat pada lantai ruang mesin. Adapun untuk arah-y, diperoleh *storey drift* terbesar hasil analisis respons spektra bernilai sebesar 8,521 mm yang terdapat pada lantai tiga. Pada gempa Imperial Valley, diperoleh *storey drift* arah-x terbesar dari ketiga gempa yang digunakan yaitu sebesar 0,084 mm yang terdapat pada lantai ruang mesin. Adapun untuk arah-y, diperoleh *storey drift* terbesar dari gempa Irpinia yaitu sebesar 2,886 mm yang terdapat pada lantai tiga.



Gambar 5. Diagram Perbandingan Storey Drift Arah-X



Gambar 6. Diagram Perbandingan Storey Drift Arah-Y
Catatan: Lantai 10 adalah lantai ruang mesin

3.3. Hasil Base Shear

Tabel 3. Hasil Base Shear

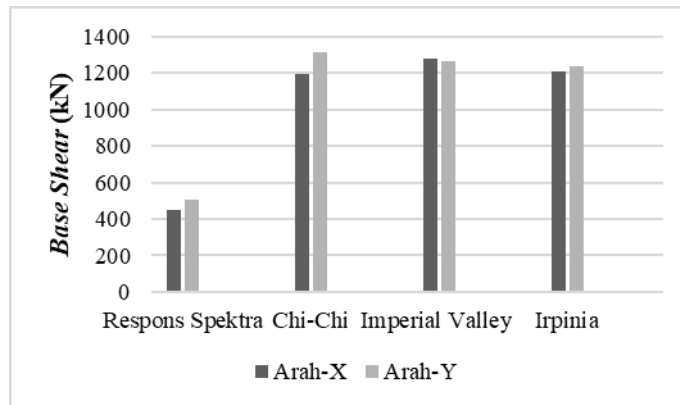
Input Gempa	Arah Tinjauan	Gaya (kN)	
		Sebelum Penskalaan	Setelah Penskalaan
Respons Spektra	Arah-X	449,08	2137,61
	Arah-Y	503,25	2532,63
Chi-Chi	Arah-X	569,92	2137,60
	Arah-Y	626,14	2532,66
Imperial Valley	Arah-X	1281,93	2137,59
	Arah-Y	1262,42	2532,64
Irpinia	Arah-X	1212,41	2137,59
	Arah-Y	1240,73	2532,64

Analisis struktur oleh ETABS memunculkan nilai *base shear* awal yang kemudian dilakukan penskalaan gaya sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019. *Base shear* dari hasil kedua analisis setelah diskalasi kemudian dikontrol ulang apakah telah memenuhi ketentuan SNI 1726:2019. Berdasarkan SNI tersebut *base shear* analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu harus lebih besar atau sama dengan *base shear* analisis statik ekuivalen.

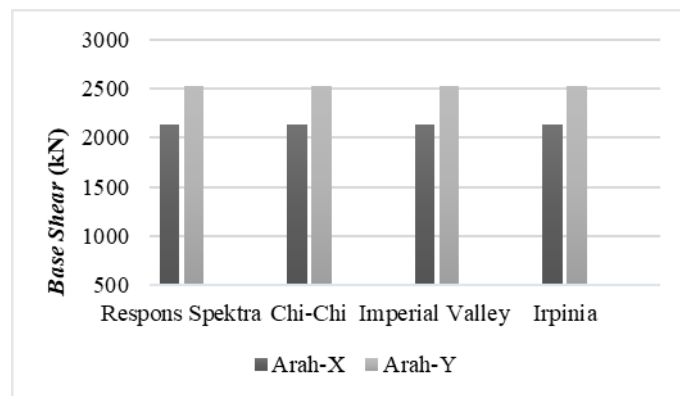
Tabel 4. Base Shear Statik Ekivalen

Input Gempa	Vx (kN)	Vy (kN)
Statik Ekivalen	2137,59	2532,63

Keterangan: Vx: base shear arah-x, Vy: base shear arah-y.



Gambar 7. Perbandingan Base Shear Sebelum Penskalaan Gaya



Gambar 8. Perbandingan Base Shear Setelah Penskalaan Gaya

3.4. Hasil Performance Level

Performance level ditentukan berdasarkan total storey drift yang telah didapatkan sebelumnya. Performance level GKB A19 dari hasil masing-masing analisis dikategorikan sesuai dengan ketentuan dalam ATC-40. Hn merupakan tinggi lantai bangunan dan Dt merupakan total storey drift pada seluruh lantai bangunan. Nilai Dt/Hn yang didapatkan dari analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu kurang dari 0,01, sehingga performance level struktur GKB A19 berdasarkan hasil analisis respons spektra termasuk dalam kategori immediate occupancy.

Tabel 5. Hasil Performance Level

Input Gempa	Tinjauan	Hn (mm)	Dt (mm)	Dt / Hn	Performance Level
Respons Spektra	Arah-X	42000	0,843	0,00002	Immediate Occupancy
	Arah-Y	42000	17,523	0,00042	Immediate Occupancy
Chi-Chi	Arah-X	42000	0,205	0,0000049	Immediate Occupancy
	Arah-Y	42000	5,229	0,0001245	Immediate Occupancy
Imperial Valley	Arah-X	42000	0,268	0,0000064	Immediate Occupancy
	Arah-Y	42000	5,522	0,0001315	Immediate Occupancy
Irpinia	Arah-X	42000	0,249	0,0000059	Immediate Occupancy
	Arah-Y	42000	5,852	0,0001393	Immediate Occupancy

4. PEMBAHASAN

4.1. Respon Struktur Hasil Analisis Respons Spektra

Nilai *displacement* terbesar terletak pada lantai ruang mesin untuk arah-x sebesar 0,843 mm dan pada lantai tiga untuk arah-y sebesar 8,613 mm. Nilai *storey drift* terbesar arah-x sebesar 0,209 mm yang terletak pada lantai ruang mesin dan *storey drift* terbesar arah-y sebesar 8,521 mm yang terletak pada lantai tiga. Setelah dikontrol dengan ketentuan SNI 1726:2019 dimana *storey drift* izin sebesar 0,01hsx, *storey drift* GKB A19 hasil analisis respons spektra telah memenuhi syarat tersebut. *Base shear* arah-x nilainya sebesar 79% lebih kecil dari *base shear* statik ekuivalen dan *base shear* arah-y nilainya sebesar 80% lebih kecil dari *base shear* statik ekuivalen sehingga diperlukan penskalaan gaya sebesar V/V_t agar memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 yang mana $V_{Dinamik} \geq 100\% V_{Statik}$. Didapatkan *base shear* setelah penskalaan gaya arah-x sebesar 2137,61 kN dan arah-y sebesar 2532,63 kN.

4.2. Respon Struktur Hasil Analisis Riwayat Waktu

Rata-rata *displacement* analisis riwayat waktu bernilai sebesar 0,241 mm untuk arah-x dan 2,746 mm untuk arah-y. Apabila ditinjau dari lokasinya, *displacement* terbesar analisis riwayat waktu untuk arah-x terletak di lantai ruang mesin sedangkan untuk arah-y terletak di lantai tiga. Rata-rata *storey drift* analisis riwayat waktu bernilai sebesar 0,070 mm untuk arah-x dan 2,721 mm untuk arah-y. Apabila ditinjau dari lokasinya, *storey drift* terbesar analisis riwayat waktu untuk arah-x terletak di lantai ruang mesin sedangkan untuk arah-y terletak di lantai tiga. Rata-rata *base shear* dari ketiga gempa yang digunakan dalam analisis riwayat waktu berturut-turut untuk arah-x dan arah-y adalah sebesar 1230,79 kN dan 1273,12 kN.

4.3. Performance Level Analisis Respons Spektra dan Riwayat Waktu

Menurut ATC-40, *performance level* arah-x dan arah-y GKB A19 hasil analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu termasuk dalam kategori *immediate occupancy* yang artinya pada saat terjadi gempa, struktur mampu memikul gaya gempa yang terjadi. Kekakuan dan kekuatannya kurang lebih sama dengan sebelum terjadinya gempa. Bangunan hanya mengalami kerusakan struktur yang sangat ringan dan dapat langsung beroperasi kembali sebagaimana mestinya.

4.4. Perbandingan Hasil Analisis Respons Spektra dan Riwayat Waktu

Rata-rata *displacement* analisis riwayat waktu bernilai sebesar 0,241 mm untuk arah-x dan 2,746 mm untuk arah-y. Apabila rata-rata tersebut dibandingkan dengan respons spektra dalam bentuk persentase, maka *displacement* terbesar analisis riwayat waktu arah-x dan arah-y berturut-turut bernilai sebesar 29% dan 32% dari *displacement* terbesar respons spektra. Rata-rata *storey drift* analisis riwayat waktu bernilai sebesar 0,241 mm untuk arah-x dan 2,746 mm untuk arah-y. Apabila rata-rata tersebut dibandingkan dengan respons spektra dalam bentuk persentase, maka *storey drift* terbesar analisis riwayat waktu arah-x dan arah-y berturut-turut bernilai sebesar 33% dan 32% dari *storey drift* terbesar respons spektra.

Rata-rata *base shear* dari ketiga gempa yang digunakan dalam analisis riwayat waktu berturut-turut untuk arah-x dan arah-y adalah sebesar 1230,79 kN dan 1273,12 kN. Jika dibandingkan dalam bentuk persentase, *base shear* respons spektra bernilai 36% dari *base shear* analisis riwayat waktu untuk arah-x dan bernilai 40% dari *base shear*

analisis riwayat waktu untuk arah-y. Berdasarkan hasil analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu, *performance level* struktur Gedung Kuliah Bersama A19 Universitas Negeri Malang pada arah-x dan arah-y termasuk dalam kategori *immediate occupancy*.

5. KESIMPULAN

Respon struktur GKB A19 berdasarkan hasil analisis respons spektra apabila ditinjau dari *displacement*, *storey drift* dan *base shear* adalah diperoleh *displacement* terbesar untuk arah-x sebesar 0,843 mm dan untuk arah-y sebesar 8,613 mm. *Storey drift* terbesar arah-x sebesar 0,209 mm dan arah-y sebesar 8,521 mm. Nilai *storey drift* apabila dikontrol terhadap SNI 1726:2019 telah memenuhi syarat. *Base shear* analisis respons spektra sebelum penskalaan gaya bernilai 79% dari statik ekuivalen untuk arah-x yaitu sebesar 449,08 kN dan bernilai 80% dari statik ekuivalen untuk arah-y sebesar 503,25 kN sedangkan setelah penskalaan gaya arah-x sebesar 2137,64 kN dan arah-y sebesar 2532,72 kN

Respon struktur GKB A19 berdasarkan hasil analisis riwayat waktu apabila ditinjau dari *displacement*, *storey drift* dan *base shear* adalah diperoleh *displacement* rata-rata dari ketiga gempa tersebut adalah sebesar 0,241 mm untuk arah-x dan 2,746 mm untuk arah-y. *Storey drift* rata-rata dari ketiga gempa tersebut didapatkan sebesar sebesar 0,070 mm untuk arah-x dan 2,721 mm untuk arah-y. Nilai *storey drift* analisis riwayat waktu gempa Chi-Chi, gempa Imperial Valley, dan gempa Irpinia apabila dikontrol terhadap SNI 1726:2019, telah memenuhi syarat. Rata-rata *base shear* dari hasil analisis riwayat waktu gempa Chi-Chi, Imperial Valley, dan Irpinia sebelum penskalaan gaya berturut-turut untuk arah-x dan arah-y adalah sebesar 1230,79 kN dan 1273,12 kN. Setelah penskalaan gaya, hasil analisis riwayat waktu gempa Chi-Chi, Imperial Valley, dan Irpinia relatif sama.

Performance level GKB A19 Universitas Negeri Malang berdasarkan keluaran metode analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu adalah *immediate occupancy*. Perbandingan *displacement*, *storey drift*, *base shear*, dan *performance level* dari hasil analisis respons spektra dan analisis riwayat waktu adalah *displacement* dan *storey drift* analisis respons spektra lebih besar dibandingkan analisis riwayat waktu. *Base shear* respons spektra sebelum penskalaan gaya pada arah-x bernilai 63% lebih kecil dari riwayat waktu Chi-Chi; 65% lebih kecil dari riwayat waktu Imperial Valley; 63% lebih kecil dari riwayat waktu Irpinia dan pada arah-y bernilai 62% lebih kecil dari riwayat waktu Chi-Chi; 60% lebih kecil dari riwayat waktu Imperial Valley; 59% lebih kecil dari riwayat waktu Irpinia. Setelah dilakukan penskalaan gaya *base shear* yang didapat dari kedua analisis relatif sama. Di sisi lain, *performance level* yang didapatkan dari hasil kedua analisis sama yaitu *immediate occupancy*.

Daftar Rujukan

- Applied Technology Council. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: California Seismic Safety Commission.
- Bayyinah, D. A. L. N., & Faimun, F. 2017. Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan Riwayat waktu untuk Desain Gedung. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 33-38. Dari <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21617>.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (*PPIUG*). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (*PPPURG*). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Kementrian PUPR. 2021. Desain Spektra Indonesia. Ditjen Cipta Karya (online), (<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>), diakses 29 Januari 2023.
- Hidayat, L. F. K. 2018. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 11 Lantai dengan Analisis Riwayat Waktu dan Respon Spektra Ditinjau pada *Drift Ratio*, *Displacement*, dan Keruntuhan Gempa (Studi Kasus: Gedung Fakultas Farmasi Universitas Airlangga). Skripsi tidak diterbitkan. Malang: FT UM.

- Putra, M. P., Isneini, M., & Noorhidana, V. A. 2021. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis Riwayat waktu (Studi Kasus: Apartemen Kingland Avenue Serpong). *JRSDD UNILA*, 9(1), 167-176. ISSN: 2715-0690.
- Standar Nasional Indonesia 1726. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia 1727. 2013. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Suharjanto. 2013. *Rekayasa Gempa (Dilengkapi dengan Analisis Beban Gempa Sesuai SNI 03-1726:2002)*. Yogyakarta: Kepel Press.