

ANALISIS DAN DESAIN STRUKTUR BETON BERTINGKAT BANYAK BERDASARKAN PERBANDINGAN ANALISIS RESPONS SPEKTRUM DAN DINAMIK RIWAYAT WAKTU

Galuh Ayu Pratiwi¹, Widodo²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
email: galuhhpratiwi@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
email: widodonz@yahoo.com

ABSTRACT

Indonesia is a country that has vulnerability to the earthquake. During the earthquake, the building has vertical and horizontal motion. Horizontal earthquake forces attack the weak points on structure that not strong enough and cause building collapse. To reduce the losses and casualties caused by the collapse of building especially multistory building, many seismic analyzes of structures are developed. This research explains the comparison of structural response between response spectrum and dynamic time history analysis to an irregular 9-story building. The building located in Yogyakarta with medium soil type and used as a hotel. The earthquake record that used for dynamic time history is El Centro 1979 earthquake (high frequency), El Centro 1940 earthquake (medium frequency), and Duzce earthquake (low frequency). Furthermore, the maximum result of structural response between them will be used for design purposes. The analysis in this research was done with ETABS version 9.6. The result shows that the maximum value of structural response such as displacement, story drift, momen force, shear force, and axial force caused by El Centro 1940 earthquake load. The next value caused by response spectrum load, Duzce earthquake load, and the smallest value caused by El Centro 1979 earthquake. The structural design was done by using the result of dynamic time history analysis that caused by El Centro 1940 earthquake load because the load has the maximum response value.

Keywords: *Response Spectrum, Dynamic Time History, Structural response, Design*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang berpotensi mengalami bencana gempa bumi. Hal tersebut disebabkan karena Indonesia berada di wilayah jalur gempa Pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*). Menurut Widodo (2012), gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah atau slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Secara alamiah, gempa bumi yang terjadi disertai dengan pelepasan energi yang telah terperangkap pada waktu yang lama. Energi yang terakumulasi terjadi karena terkuncinya gerakan sesar atau dua lempeng dalam mekanisme subdaksi. Energi mekanik saat terlepasnya kuncian kemudian

berubah menjadi energi getaran yang merambat ke segala arah sampai pada permukaan tanah.

Getaran tersebut akan mengakibatkan bangunan-bangunan bergetar atau bergoyang. Material bangunan pada umumnya bersifat kaku sehingga kurang mampu atau sulit menyesuaikan diri secara penuh dengan goyangan. Selain itu, kemampuan bahan untuk berubah bentuk tanpa mengalami kerusakan pada umumnya relatif terbatas. Oleh karena itu, goyangan yang cukup besar dapat mengakibatkan kerusakan struktur (Widodo, 2012).

Selama gempa bumi terjadi, bangunan mengalami gerakan vertikal dan horizontal. Gaya arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur biasanya direncanakan

terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai. Oleh karena itu, struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa horizontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan langsung menyebabkan keruntuhan (Muto, 1963).

Untuk mengurangi adanya kerugian dan korban jiwa yang terjadi akibat runtuhnya bangunan terutama bangunan bertingkat, maka analisis-analisis gempa terhadap struktur banyak dikembangkan. Secara umum, analisis gempa dibagi menjadi dua, yaitu analisis gempa statik ekuivalen dan dinamik. Analisis dinamik sendiri dibagi menjadi analisis dinamik respons spektrum dan riwayat waktu (*time history*).

Rumusan Masalah

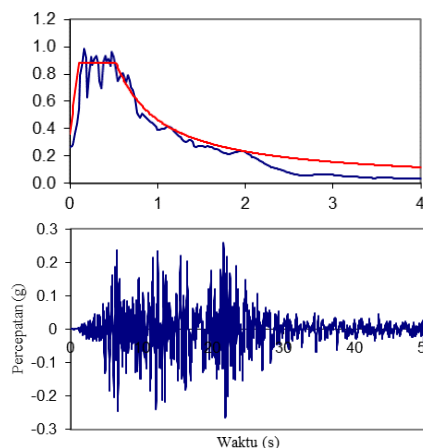
1. Bagaimana perbandingan respons struktur bangunan akibat beban gempa dengan analisis respons spektrum dan analisis dinamik riwayat waktu (*time history*)?
2. Bagaimana hasil desain perancangan struktur akibat respons maksimum dari dua macam analisis seperti yang disebut di atas?

METODOLOGI PENELITIAN

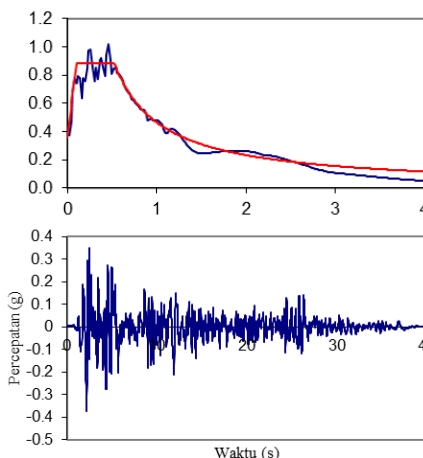
Lokasi struktur gedung direncanakan berada di Yogyakarta dan terletak di atas tanah sedang, dengan $f'_c = 27,5$ MPa, $f_y = 400$ MPa, dan $f_{ys} = 240$ MPa.

Rekaman gempa yang digunakan adalah gempa El Centro 1979 (frekuensi tinggi), gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah), dan gempa Duzce (frekuensi rendah) yang disesuaikan dengan respons spektra kota Yogyakarta. Rekaman tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 3 berikut.

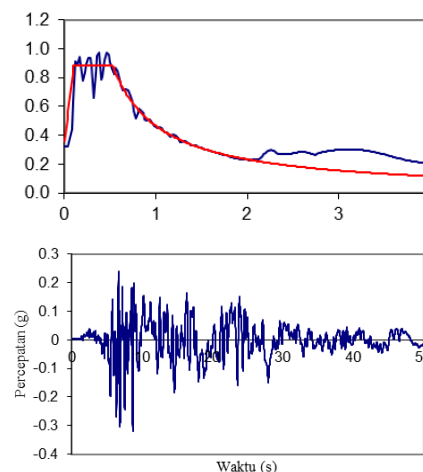
Denah struktur bangunan yang digunakan mempunyai bentuk tidak beraturan (*irregular*) dan berjumlah 9 lantai. Denah dan potongan struktur bangunan dapat dilihat pada Gambar 4 sampai Gambar 10



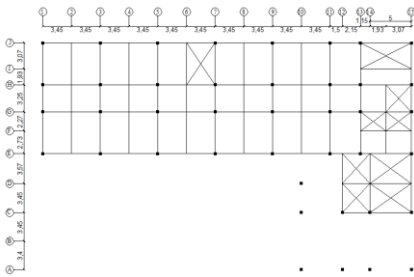
Gambar 1 Rekaman Gempa El Centro 1979 (Frekuensi Tinggi)



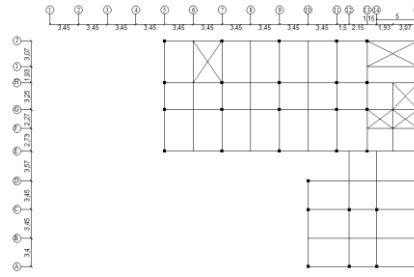
Gambar 2 Rekaman Gempa El Centro 1940 (Frekuensi Sedang)



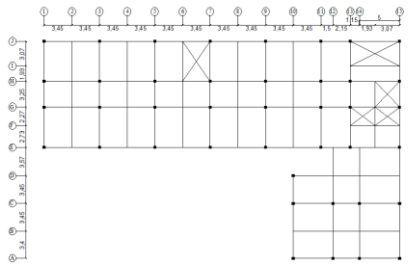
Gambar 3 Rekaman Gempa Duzce (Frekuensi Rendah)



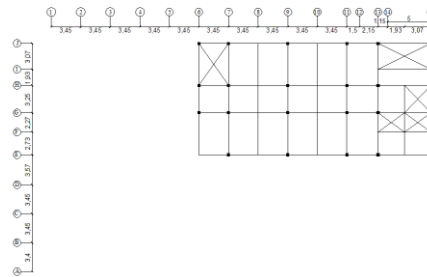
Gambar 4 Denah Lantai 1



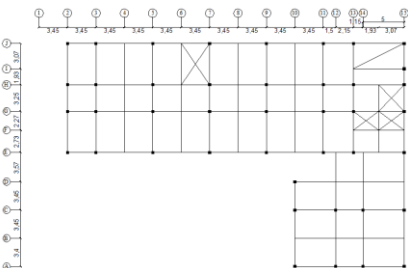
Gambar 9 Denah Lantai 8



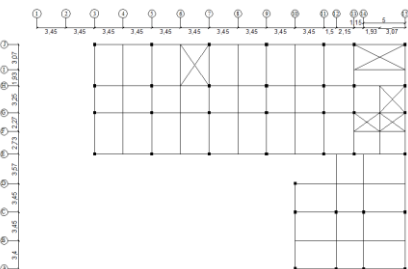
Gambar 5 Denah Lantai 2-4



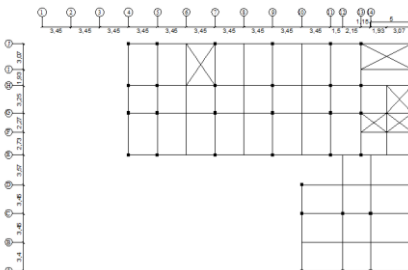
Gambar 10 Denah Lantai 9



Gambar 6 Denah Lantai 5



Gambar 7 Denah Lantai 6



Gambar 8 Denah Lantai 7

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Estimasi Dimensi

Estimasi dimensi balok, kolom, dan pelat yang digunakan seperti pada Tabel 1 sampai Tabel 3.

Tabel 1 Estimasi Dimensi Balok

| Tipe Balok | Lebar balok (b) mm | Tinggi balok (h) mm |
|------------|--------------------|---------------------|
| B1 | 350 | 700 |
| B2 | 300 | 600 |
| B3 | 250 | 500 |
| Ba1 | 300 | 600 |
| Ba2 | 250 | 500 |

Tabel 2 Estimasi Dimensi Kolom

| Tipe Kolom | Lebar kolom (b) mm | Tinggi kolom (h) mm |
|------------|--------------------|---------------------|
| K1 | 800 | 800 |
| K2 | 700 | 700 |
| K3 | 600 | 600 |
| K4 | 500 | 500 |
| K5 | 400 | 400 |

Tabel 3 Estimasi Dimensi Pelat

| Tipe Pelat | Tebal (h)mm | Tipe Pelat | Tebal (h)mm |
|------------|-------------|------------|-------------|
| PL1 | 120 | PA1 | 100 |
| PL2 | 120 | PA2 | 100 |
| PL3 | 120 | PA3 | 100 |
| PL4 | 120 | PA4 | 100 |

Berat Total Struktur

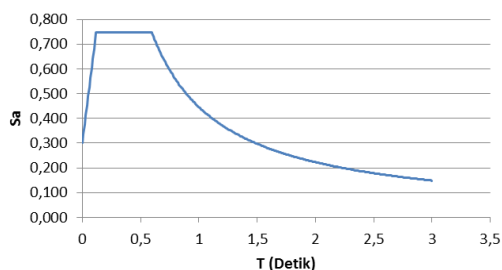
Berat total struktur yang didapatkan dari ETABS dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Berat Total Struktur

| Lantai | Berat (Ton) |
|--------|--------------|
| 9 | 274,1375 |
| 8 | 609,3795 |
| 7 | 703,0042 |
| 6 | 759,3960 |
| 5 | 808,8208 |
| 4 | 862,5825 |
| 3 | 864,8104 |
| 2 | 864,8104 |
| 1 | 667,8452 |
| Total | 6414,7865 |

Spektrum Respons Desain

Grafik spektrum respons desain dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Grafik Spektrum Respons Desain

Gaya Horizontal Tingkat (F)

Hasil perhitungan gaya horizontal tingkat dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Gaya Horizontal Tingkat

| | W Ton | H m | H ^k | WH ^k | CVx | F Ton |
|---|----------|--------|----------------|-----------------|------|----------|
| 9 | 274,13 | 28,6 | 80,75 | 22138,72 | 0,09 | 31,67 |
| 8 | 609,37 | 25,4 | 69,13 | 42129,65 | 0,18 | 60,28 |
| 7 | 703,00 | 22,2 | 57,95 | 40745,01 | 0,18 | 58,30 |
| 6 | 759,39 | 19 | 47,27 | 35897,16 | 0,16 | 51,36 |
| 5 | 808,82 | 15,8 | 37,12 | 30029,89 | 0,13 | 42,96 |
| 4 | 862,58 | 12,6 | 27,60 | 23811,73 | 0,10 | 34,07 |
| 3 | 864,81 | 9,4 | 18,80 | 16265,99 | 0,07 | 23,27 |
| 2 | 864,81 | 6,2 | 10,90 | 9431,862 | 0,04 | 13,49 |
| 1 | 667,84 | 3 | 4,2 | 2815,075 | 0,01 | 4,02 |
| Σ | 6414,7 | | | 223265,1 | | 319,4 |

Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Gaya geser (*base shear*) yang dihasilkan pada analisis statik ekuivalen (V) dan dinamik respons spektrum (V_s) dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Gaya Geser Dasar (Base Shear)

| Arah | Base Shear (T) | | |
|------|----------------|------------------|--------------------------------------|
| | V Statik (V) | 85% V Statik (V) | V Respons Spektrum (V _s) |
| x | 319,47 | 271,5495 | 262,34 |
| y | 319,47 | 271,5495 | 255,8 |

Berdasarkan Tabel 6 di atas diperoleh V_t < 0,85V pada arah x dan y sehingga belum memenuhi syarat seperti di SNI 1726-2012 pasal 7.9.4.1, dan perlu dikalikan dengan faktor skala.

$$\text{Faktor skala } x = 0,85 \frac{V}{V_t} = 0,85 \cdot \frac{319,47}{262,34} = 1,035$$

$$\text{Faktor skala } y = 0,85 \frac{V}{V_t} = 0,85 \cdot \frac{319,47}{255,8} = 1,062$$

Ketidakteraturan Torsi

Ketidakteraturan torsi yang terjadi pada lantai 1 sampai lantai 5 arah y adalah ketidakteraturan torsi 1a, sebagaimana disajikan pada SNI 1726-2012 pasal 7.3.3.4. Hasil pemeriksaan pengaruh torsi arah x dan y dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 berikut.

Tabel 7 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah x

| Lantai | δ arah x (mm) | | | | | | Ket |
|--------|----------------------|------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| | δ_b | δ_a | δ_{maks} | δ_{avg} | 1,2 δ_{avg} | 1,4 δ_{avg} | |
| 9 | 14,9 | 16 | 16 | 15,45 | 18,54 | 21,63 | Tidak ada |
| 8 | 14,4 | 15,6 | 15,6 | 15 | 18 | 21 | Tidak ada |
| 7 | 13,4 | 14,5 | 14,5 | 13,95 | 16,74 | 19,53 | Tidak ada |
| 6 | 12,1 | 13 | 13 | 12,55 | 15,06 | 17,57 | Tidak ada |
| 5 | 10,3 | 11,1 | 11,1 | 10,7 | 12,84 | 14,98 | Tidak ada |
| 4 | 8,3 | 9 | 9 | 8,65 | 10,38 | 12,11 | Tidak ada |
| 3 | 6,1 | 6,5 | 6,5 | 6,3 | 7,56 | 8,82 | Tidak ada |
| 2 | 3,6 | 4 | 4 | 3,8 | 4,56 | 5,32 | Tidak ada |
| 1 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,35 | 1,62 | 1,89 | Tidak ada |

Tabel 8 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y

| Lantai | δ arah y (mm) | | | | | | Ket |
|--------|----------------------|------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| | δ_b | δ_a | δ_{maks} | δ_{avg} | 1,2 δ_{avg} | 1,4 δ_{avg} | |
| 9 | 16,6 | 21 | 21 | 18,8 | 22,56 | 26,32 | Tidak ada |
| 8 | 15,3 | 20,6 | 20,6 | 17,95 | 21,54 | 25,13 | Tidak ada |
| 7 | 13,6 | 19,3 | 19,3 | 16,45 | 19,74 | 23,03 | Tidak ada |
| 6 | 11,7 | 17,4 | 17,4 | 14,55 | 17,46 | 20,37 | Tidak ada |
| 5 | 9,5 | 15 | 15 | 12,25 | 14,7 | 17,15 | Ada, 1a |
| 4 | 7,2 | 12,1 | 12,1 | 9,65 | 11,58 | 13,51 | Ada, 1a |
| 3 | 5,2 | 8,9 | 8,9 | 7,05 | 8,46 | 9,87 | Ada, 1a |
| 2 | 3 | 5,5 | 5,5 | 4,25 | 5,1 | 5,95 | Ada, 1a |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | Ada, 1a |

Ketidakteraturan torsi 1a terjadi pada lantai 1 sampai lantai 5 arah y, didapat dari hasil pemeriksaan pengaruh torsi sesuai pada tabel di atas. Selanjutnya pada lantai

tersebut dihitung besarnya eksentrisitas untuk kemudian dianalisis kembali menggunakan program ETABS. Hasil perhitungan eksentrisitas dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9 Eksentrisitas Lantai 1-5

| Lantai | e_{oy} (m) | L (m) | A_y (m) | e_y (m) |
|--------|--------------|-------|-----------|-----------|
| 1 | 1,236 | 20,27 | 1,235 | 2,487 |
| 2 | -1,456 | 27,12 | 1,163 | 0,121 |
| 3 | -1,276 | 27,12 | 1,107 | 0,225 |
| 4 | -1,172 | 27,12 | 1,092 | 0,309 |
| 5 | -1,332 | 27,12 | 1,041 | 0,079 |

Ketidakteraturan Sudut Dalam

Ketidakteraturan sudut dalam terjadi pada lantai 1 sampai lantai 8, sebagaimana disajikan pada SNI 1726-2012 pasal 7.3.3.4. Hasil perhitungan ketidakteraturan sudut dalam dapat dilihat pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10 Ketidakteraturan Sudut Dalam

| Lantai | P_x (m) | P_y (m) | L_x (m) | L_y (m) | 0,15 L_x (m) | 0,15 L_y (m) | Ketidakteraturan sudut dalam | |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|------------------------------|-----|
| | | | | | | | x | y |
| 1 | 36 | 7,0 2 | 44, 3 | 20, 27 | 6,64 | 3,04 | Ada | Ada |
| 2 | 36 | 13, 87 | 44, 3 | 27, 12 | 6,64 | 4,06 | Ada | Ada |
| 3 | 36 | 13, 87 | 44, 3 | 27, 12 | 6,64 | 4,06 | Ada | Ada |
| 4 | 36 | 13, 87 | 44, 3 | 27, 12 | 6,64 | 4,06 | Ada | Ada |
| 5 | 32,5 5 | 13, 87 | 40, 85 | 27, 12 | 6,12 | 4,06 | Ada | Ada |
| 6 | 29,1 | 13, 87 | 37, 4 | 27, 12 | 5,61 | 4,06 | Ada | Ada |
| 7 | 25,6 5 | 13, 87 | 33, 95 | 27, 12 | 5,09 | 4,06 | Ada | Ada |
| 8 | 22,2 | 13, 87 | 30, 5 | 27, 12 | 4,57 | 4,06 | Ada | Ada |

Analisis Dinamik Riwayat Waktu

Gaya geser (*base shear*) yang dihasilkan pada analisis statik ekuivalen (V) dan dinamik riwayat waktu (V_i) dapat dilihat pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11 Gaya Geser (*Base Shear*)

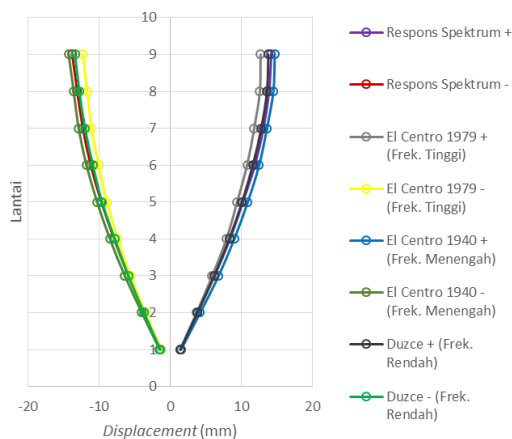
| Arah | Base Shear (T) | | | | |
|------|----------------|------------|----------------|----------------|--------|
| | Statik | 85% Statik | El Centro 1979 | El Centro 1940 | Duzce |
| x | 319,47 | 271,5495 | 256,52 | 279,63 | 279,15 |
| y | 319,47 | 271,5495 | 255,04 | 235,38 | 261,01 |

Hasil yang diperoleh berdasarkan Tabel 11 di atas adalah gempa El Centro 1979 arah x dan y, El Centro 1940 arah y, dan Duzce arah y tidak memenuhi syarat SNI 1726-2012 pasal 7.9.4.1, sehingga perlu dikalikan dengan faktor skala.

Perbandingan Respons Struktur Akibat Beban Gempa Respons Spektrum dan Dinamik Riwayat Waktu

Displacement

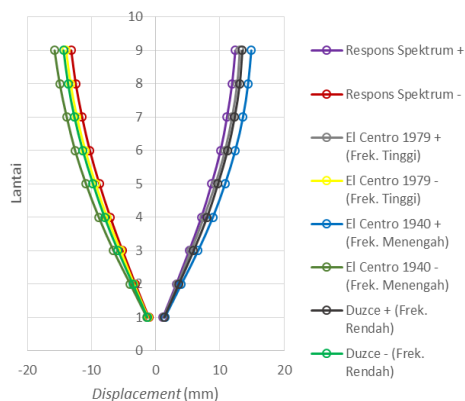
Hasil dari perbandingan *displacement* dengan analisis respons spektrum dan dinamik riwayat waktu (*time history*) arah x dan y dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13 berikut.



Gambar 12 Perbandingan *Displacement Joint 60* Arah x Akibat Beban Kombinasi Maksimum

Hasil yang didapatkan dari Gambar 12 dan Gambar 13 adalah *displacement* arah x pada *joint 60* akibat beban respons spektrum mempunyai nilai yang lebih kecil dari beban gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah) tetapi lebih besar dari beban

gempa El Centro 1979 (frekuensi tinggi) dan Duzce (frekuensi rendah). Sedangkan pada arah y *displacement* akibat beban gempa respons spektrum mempunyai nilai yang terkecil. Hal ini disebabkan karena beban gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah) mempunyai percepatan gempa lebih besar dibandingkan dengan respons spektrum.

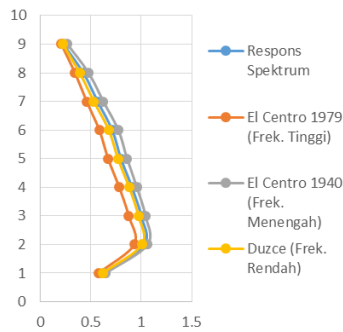


Gambar 13 Perbandingan *Displacement Joint 60* Arah y Akibat Beban Kombinasi Maksimum

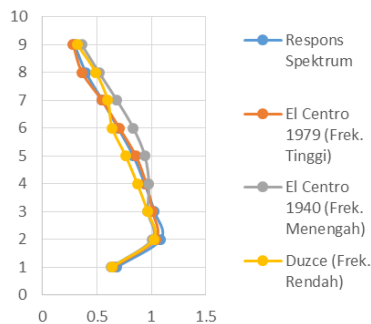
Simpangan Antar Lantai (Drift)

Hasil dari perbandingan simpangan antar lantai (*drift*) akibat beban gempa respons spektrum dan dinamik riwayat waktu (*time history*) arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15 berikut.

Hasil yang didapatkan dari Gambar 14 dan Gambar 15 adalah simpangan antar lantai akibat beban respons spektrum mempunyai nilai yang lebih kecil dari beban gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah) tetapi lebih besar dari beban gempa El Centro 1979 (frekuensi tinggi) dan Duzce (frekuensi rendah). Pada arah x simpangan lantai terkecil disebabkan oleh beban gempa El Centro 1979 (frekuensi tinggi), sedangkan pada arah y disebabkan oleh beban gempa Duzce (frekuensi rendah). Hal ini disebabkan karena beban gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah) mempunyai percepatan gempa lebih besar dibandingkan dengan respons spektrum.



Gambar 14 Perbandingan Simpangan Antar Lantai (*Drift*) Arah x Akibat Beban Kombinasi Maksimum



Gambar 15 Perbandingan Simpangan Antar Lantai (*Drift*) Arah y Akibat Beban Kombinasi Maksimum

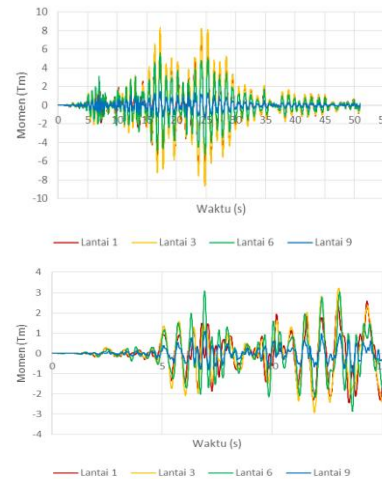
Respons Struktur Pada Balok

Perbandingan respons struktur pada balok akibat beban gempa respons spektrum dan dinamik riwayat waktu (*time history*) diambil pada salah satu balok B1 di portal E dengan bentang 6,9 m.

1. Momen Balok

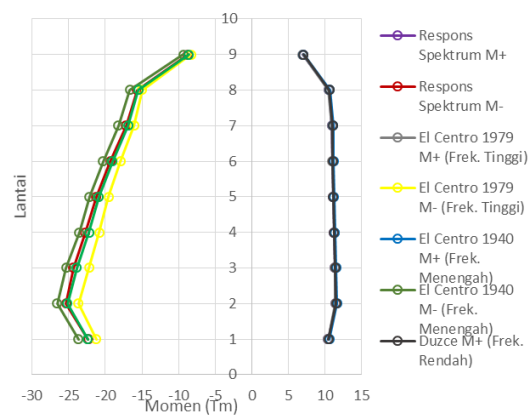
Contoh hasil respons momen pada salah satu balok B1 di portal E akibat beban dinamik riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 16.

Akibat beban gempa El Centro 1979 (frekuensi tinggi) yang membebani struktur tersebut, dihasilkan respons struktur momen balok yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa analisis yang dilakukan sudah benar, karena pada dasarnya beban gempa yang cenderung fluktuatif menghasilkan respons pada struktur yang fluktuatif juga.



Gambar 16 Momen Balok B1 Portal E akibat Beban Gempa El Centro 1979 (Frekuensi Tinggi)

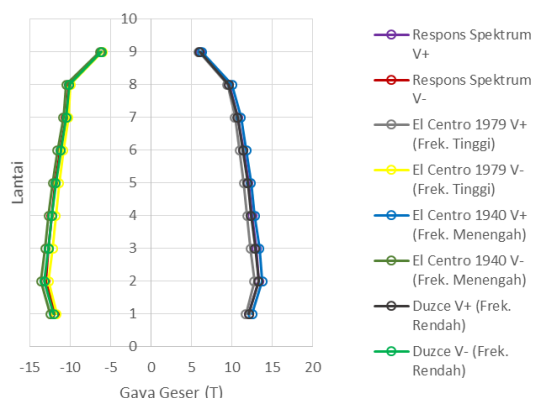
Untuk perbandingan momen pada salah satu balok B1 di portal E akibat beban respons spektrum dan dinamik riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 17 berikut.



Gambar 17 Perbandingan Momen Balok B1 Portal E Akibat Beban Kombinasi Maksimum

2. Gaya Geser Balok

Perbandingan gaya geser pada salah satu balok B1 di portal E akibat beban respons spektrum dan dinamik riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18 Perbandingan Gaya Geser Balok B1 Portal E Akibat Beban Kombinasi Maksimum

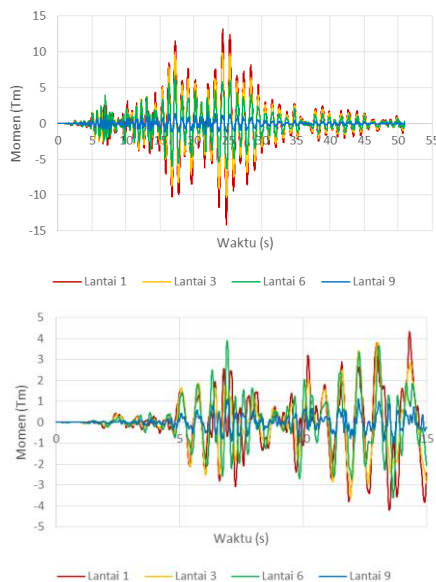
Hasil yang didapatkan dari perbandingan momen dan gaya geser balok di atas adalah momen dan gaya geser balok akibat beban gempa repons spektrum nilainya cenderung lebih kecil dibandingkan dengan momen dan gaya geser balok akibat beban gempa El Centro 1940 (gempa frekuensi menengah), tetapi lebih besar dari beban gempa El Centro 1979 (gempa frekuensi tinggi) dan Duzce (gempa frekuensi rendah). Sedangkan momen dan gaya geser balok yang paling kecil diakibatkan oleh beban gempa El Centro 1979 (gempa frekuensi tinggi). Hal ini disebabkan karena beban gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah) mempunyai percepatan gempa lebih besar dibandingkan dengan respons spektrum.

Respons Struktur Pada Kolom

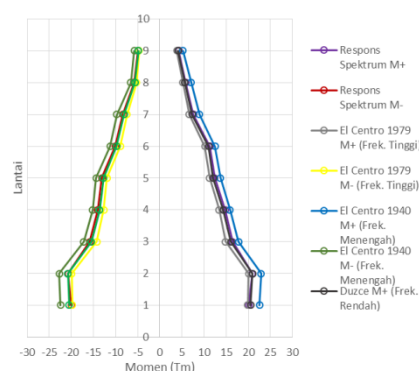
Perbandingan respons struktur pada kolom akibat beban gempa respons spektrum dan dinamik riwayat waktu diambil pada salah satu kolom K3 portal E.

1. Momen Kolom

Hasil respons momen pada salah satu kolom K3 portal E menggunakan ETABS 9.6 akibat beban dinamik riwayat waktu (*time history*) adalah sebagai berikut.



Gambar 19 Momen Kolom K3 Portal E akibat Beban Gempa El Centro 1979 (Frekuensi Tinggi)

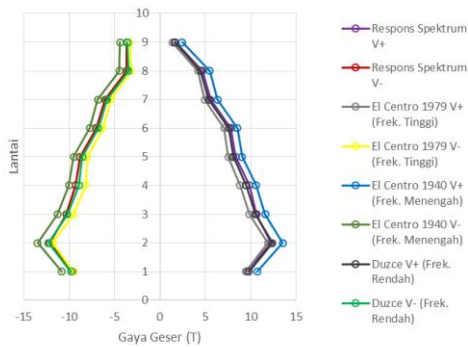


Gambar 20 Perbandingan Momen Kolom K3 Portal E Akibat Beban Kombinasi Maksimum

Untuk perbandingan momen pada salah satu kolom K3 portal E akibat beban respons spektrum dan dinamik riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 20.

2. Gaya Geser Kolom

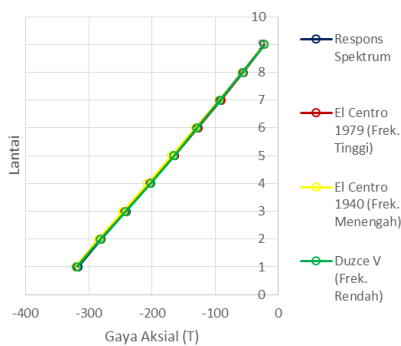
Perbandingan gaya geser kolom K3 akibat beban respons spektrum dan dinamik riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21 Perbandingan Gaya Geser Kolom K3 Portal E Akibat Beban Kombinasi Maksimum

3. Gaya Aksial Kolom

Perbandingan gaya aksial kolom akibat beban respons spektrum dan dinamik riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22 Perbandingan Gaya Aksial Kolom K3 Portal E Akibat Beban Kombinasi Maksimum

Dari perbandingan momen, gaya geser, dan gaya aksial kolom di atas didapatkan hasil bahwa momen dan gaya geser kolom akibat beban gempa respons spektrum nilainya juga cenderung lebih besar dibandingkan dengan momen dan gaya geser kolom akibat beban gempa El Centro 1979 (gempa frekuensi tinggi) dan Duzce (gempa frekuensi rendah), tetapi lebih kecil dari beban gempa El Centro 1940 (gempa frekuensi menengah). Sedangkan momen dan gaya geser yang paling kecil diakibatkan oleh beban gempa El Centro 1979 (gempa frekuensi tinggi). Untuk gaya aksial, nilai terbesar disebabkan oleh beban

gempa El Centro 1940 (gempa frekuensi menengah) dan nilai terkecil disebabkan beban respons spektrum. Hal ini disebabkan karena beban gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah) mempunyai percepatan gempa lebih besar dibandingkan dengan respons spektrum.

Perencanaan Elemen Struktur

Berdasarkan perbandingan respons struktur akibat beban respons spektrum dan dinamik riwayat waktu (*time history*), didapatkan hasil bahwa respons struktur terbesar diakibatkan oleh beban dinamik riwayat waktu (*time history*), yaitu akibat beban gempa El Centro 1940 (gempa frekuensi menengah). Sehingga untuk selanjutnya perencanaan struktur dihitung berdasarkan gaya-gaya yang dihasilkan oleh analisis beban gempa El Centro 1940 (gempa frekuensi menengah).

Perencanaan Pelat

Hasil dari perhitungan perencanaan pelat dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13 Rekapitulasi Perencanaan Pelat

| Type | Tebal (h) mm | Tulangan | Arah x (mm) | | Arah y (mm) | |
|------|--------------|----------------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| | | | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan | Lapangan |
| PL 1 | 120 | Pokok Susut | D10-200 P8-200 | D10-200 | D10-200 P8-200 | D10-200 |
| PL 2 | 120 | Pokok Susut | D10-200 P8-200 | D10-200 | D10-200 P8-200 | D10-200 |
| PL 3 | 120 | Pokok Susut | D10-200 P8-200 | D10-200 | | |
| PL 4 | 120 | Pokok Susut | D10-200 P8-200 | D10-200 | D10-200 P8-200 | D10-200 |
| PA 1 | 100 | Pokok Susut | D10-150 P8-250 | D10-150 | D10-150 P8-250 | D10-150 |
| PA 2 | 100 | Pokok Susut | D10-150 P8-250 | D10-150 | D10-150 P8-250 | D10-150 |
| PA 3 | 100 | Pokok Susut | D10-250 P8-250 | D10-250 | | |
| PA 4 | 100 | Pokok Susut | D10-150 P8-250 | D10-150 | D10-150 P8-250 | D10-150 |

Perencanaan Balok

1. Tulangan Longitudinal Balok

Hasil dari perhitungan perencanaan tulangan longitudinal balok dapat dilihat pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13 Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Balok

| Tipe | B (mm) | H (mm) | Momen | Tump | Lap | D |
|------|--------|--------|---------|------|-----|-----|
| B1-1 | 300 | 600 | Negatif | 6 | 2 | D22 |
| | | | Positif | 3 | 3 | |
| B1-2 | 300 | 600 | Negatif | 5 | 2 | D22 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B1-3 | 300 | 600 | Negatif | 5 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 3 | |
| B1-4 | 250 | 500 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 3 | |
| B2-1 | 300 | 600 | Negatif | 6 | 2 | D22 |
| | | | Positif | 3 | 4 | |
| B2-2 | 300 | 600 | Negatif | 5 | 2 | D22 |
| | | | Positif | 2 | 4 | |
| B2-3 | 250 | 500 | Negatif | 6 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 3 | 4 | |
| B2-4 | 250 | 500 | Negatif | 2 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B3-1 | 250 | 500 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B3-2 | 250 | 500 | Negatif | 2 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B4-1 | 300 | 600 | Negatif | 4 | 2 | D22 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B4-2 | 250 | 500 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B5-1 | 300 | 600 | Negatif | 5 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 3 | 2 | |
| B5-2 | 250 | 500 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B6-1 | 300 | 600 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 4 | 2 | |
| B6-2 | 300 | 600 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B6-3 | 250 | 500 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B6-4 | 250 | 500 | Negatif | 2 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B7-1 | 300 | 600 | Negatif | 5 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |

Tabel 13 Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Balok (lanjutan)

| Tipe | B (mm) | H (mm) | Momen | Tump | Lap | D |
|------|--------|--------|---------|------|-----|-----|
| B7-2 | 300 | 600 | Negatif | 3 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 3 | 2 | |
| B7-3 | 250 | 500 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B8-1 | 250 | 500 | Negatif | 5 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 3 | 2 | |
| B8-2 | 250 | 500 | Negatif | 4 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B8-3 | 250 | 500 | Negatif | 2 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B9-1 | 300 | 600 | Negatif | 6 | 2 | D22 |
| | | | Positif | 3 | 4 | |
| B9-2 | 300 | 600 | Negatif | 5 | 2 | D22 |
| | | | Positif | 2 | 4 | |
| B9-3 | 300 | 600 | Negatif | 5 | 2 | D22 |
| | | | Positif | 2 | 2 | |
| B9-4 | 250 | 500 | Negatif | 6 | 2 | D19 |
| | | | Positif | 3 | 4 | |
| B10 | 250 | 500 | Negatif | 2 | 2 | D19 |

2. Tulangan Transversal Balok

Hasil dari perhitungan perencanaan tulangan transversal balok dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14 Rekapitulasi Tulangan Transversal Balok

| Balok | Jarak Sengkang (mm) | | D |
|-------|---------------------|--------------------|-----|
| | Sendi Plastis | Luar Sendi Plastis | |
| B1-1 | 100 | 200 | P10 |
| B1-2 | 100 | 200 | P10 |
| B1-3 | 100 | 200 | P10 |
| B1-4 | 90 | 150 | P10 |
| B2-1 | 100 | 200 | P10 |
| B2-2 | 100 | 200 | P10 |
| B2-3 | 90 | 150 | P10 |
| B2-4 | 90 | 150 | P10 |
| B3-1 | 90 | 150 | P10 |
| B3-2 | 90 | 150 | P10 |
| B4-1 | 100 | 200 | P10 |
| B4-2 | 90 | 150 | P10 |
| B5-1 | 100 | 200 | P10 |
| B5-2 | 90 | 150 | P10 |
| B6-1 | 100 | 200 | P10 |

Tabel 14 Rekapitulasi Tulangan Transversal Balok (lanjutan)

| Balok | Jarak Sengkang (mm) | | D |
|-------|---------------------|--------------------|-----|
| | Sendi Plastis | Luar Sendi Plastis | |
| B6-2 | 100 | 200 | P10 |
| B6-3 | 90 | 150 | P10 |
| B6-4 | 90 | 150 | P10 |
| B7-1 | 100 | 200 | P10 |
| B7-2 | 100 | 200 | P10 |
| B7-3 | 90 | 150 | P10 |
| B8-1 | 90 | 150 | P10 |
| B8-2 | 90 | 150 | P10 |
| B8-3 | 90 | 150 | P10 |
| B9-1 | 100 | 200 | P10 |
| B9-2 | 100 | 200 | P10 |
| B9-3 | 100 | 200 | P10 |
| B9-4 | 90 | 150 | P10 |
| B10 | 90 | 150 | P10 |

Perencanaan Kolom

1. Tulangan Longitudinal Kolom

Hasil dari perhitungan perencanaan tulangan longitudinal kolom dapat dilihat pada Tabel 15 berikut.

Tabel 15 Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Kolom

| Kolom | B (mm) | H (mm) | Jumlah tulangan | D | ρ (%) |
|-------|--------|--------|-----------------|-----|------------|
| K1-1 | 650 | 650 | 16 | D22 | 1,4396 |
| K1-2 | 650 | 650 | 16 | D22 | 1,4396 |
| K1-3 | 650 | 650 | 16 | D22 | 1,4396 |
| K2-1 | 600 | 600 | 12 | D22 | 1,2671 |
| K2-2 | 600 | 600 | 12 | D22 | 1,2671 |
| K2-3 | 600 | 600 | 12 | D22 | 1,2671 |
| K3-1 | 600 | 600 | 10 | D22 | 1,0559 |
| K3-2 | 600 | 600 | 10 | D22 | 1,0559 |
| K3-3 | 600 | 600 | 10 | D22 | 1,0559 |
| K4-1 | 600 | 600 | 10 | D22 | 1,0559 |
| K4-2 | 600 | 600 | 10 | D22 | 1,0559 |
| K4-3 | 600 | 600 | 10 | D22 | 1,0559 |
| K5 | 600 | 600 | 10 | D22 | 1,0559 |

2. Tulangan Transversal Kolom

Hasil dari perhitungan perencanaan tulangan longitudinal kolom dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16 Rekapitulasi Tulangan Transversal Kolom

| Kolom | Jarak Sengkang (mm) | | D |
|----------|---------------------|---------|----|
| | Lo | Luar Lo | |
| K1-dasar | 70 | 120 | 10 |
| K1-1 | 90 | 120 | 10 |
| K1-2 | 100 | 120 | 10 |
| K1-3 | 100 | 120 | 10 |
| K2-dasar | 70 | 120 | 10 |
| K2-1 | 100 | 120 | 10 |
| K2-2 | 100 | 120 | 10 |
| K2-3 | 100 | 120 | 10 |
| K3-dasar | 70 | 120 | 10 |
| K3-1 | 70 | 120 | 10 |
| K3-2 | 70 | 120 | 10 |
| K3-3 | 70 | 120 | 10 |
| K4-dasar | 70 | 120 | 10 |
| K4-1 | 70 | 120 | 10 |
| K4-2 | 70 | 120 | 10 |
| K4-3 | 70 | 120 | 10 |
| K5 | 100 | 120 | 10 |

Perencanaan Pondasi

Pondasi direncanakan menggunakan pondasi tiang bor dengan panjang tiang sedalam 18 m dan jumlah tiang sebanyak 4 buah dengan diameter tiang 0,6 m. Ukuran *pile cap* direncanakan 3,3 m x 3,3 m dengan tebal 1 m. Dari hasil perhitungan didapatkan tulangan lentur *pile cap* dengan D25-130 dan tulangan susut D16-100. Sedangkan pada tiang bor didapatkan tulangan pokok dengan 8D16 dan tulangan sengkang P12-40.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis terhadap struktur bangunan akibat beban gempa dengan analisis respons spektrum dan dinamik riwayat waktu (*time history*) maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *displacement* akibat beban respons spektrum mempunyai nilai yang lebih kecil dari beban gempa dinamik riwayat waktu El Centro 1940 (frekuensi menengah).
2. Simpangan antar lantai akibat beban respons spektrum mempunyai nilai yang lebih kecil dari beban gempa El Centro 1940 (frekuensi menengah).
3. Secara umum momen dan gaya geser balok dan kolom akibat beban gempa respons spektrum nilainya juga cenderung lebih kecil dibandingkan dengan momen dan gaya geser balok akibat beban gempa El Centro 1940 (gempa frekuensi menengah).
4. Perhitungan desain dilakukan dengan menggunakan hasil analisis dinamik riwayat waktu (*time history*) akibat beban gempa El Centro 1940 (gempa frekuensi menengah) karena beban tersebut menghasilkan nilai respons yang maksimum.

Saran

Saran untuk pengembangan penelitian yang lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan peraturan-peraturan analisis gedung yang terbaru.
2. Melengkapi analisis dengan perletakan dinding geser.
3. Melengkapi analisis dengan ketidakberaturan horisontal dan vertikal struktur lainnya.
4. Mencoba analisis dengan bangunan yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Budiono, B. (2011). Konsep SNI Gempa 1726-201X. *Seminar HAKI 2011*, Jakarta Pusat, 26-27 Juli.
- Muto, K. (1963). *Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa*. Terjemahan oleh Wira. 1990. Erlangga. Jakarta.
- Nasution, F. dan Teruna, D.R. (2014). Perbandingan Analisis Statik Ekuivalen

dan Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons pada Struktur Beraturan dan Ketidakberaturan Massa Sesuai RSNI 03-1726-201X, *Jurnal Teknik Sipil USU*, Vol.3, No.1.

PPURG. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.

Prakoso, S.A. (2012). Pengaruh Peraturan Kegempaan Baru (SNI 03-1726-20XX) Terhadap Kebutuhan Tulangan pada Bangunan Beton Bertingkat Banyak Tahan Gempa. *Tugas Akhir*, (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Prasetyaningrum, A. (2006). Efek Penempatan Dinding Geser Terhadap Biaya Struktur Bangunan Framel-Walled Bertingkat Banyak Tidak Beraturan Akibat Beban Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik. *Tugas Akhir*, (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

PPURG. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.

Priastiwi, Y.A. (2005). Studi Komparasi antara Analisis Statis dan Dinamis 3D pada Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan. *Tesis*, (Tidak Diterbitkan). Universitas Diponegoro. Semarang.

SNI 1726. (2012). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 2847. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Tarigan, M. dan Teruna, D.R. (2014). Perbandingan Respon Struktur Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa dengan Menggunakan Analisis Statik

- Ekivalen dan Time History. *Jurnal Teknik Sipil USU*, Vol.3, No.1.
- Widodo. (2000). *Respons Dinamik Struktur Elastik*. UII Press. Yogyakarta.
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Widodo. (2015). *Hand Out Materi Kuliah Desain Portal Beton Tahan Gempa*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.