

PERBANDINGAN DEFORMASI STRUKTUR SRPM BAJA YANG MENGALAMI GETARAN GEMPA MENGANDUNG PULSE DAN FLING (LITERATUR)

EGA RISWANDA LUBIS

¹Fakultas Teknik, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara.

egariswanda@gmail.com

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan bencana alam yang disebabkan pergerakan lempeng bumi untuk melepaskan energi. Semakin besar energy yang dikeluarkan semakin besar pula gempa yang terjadi. Pada gempa yang terjadi tidak jarang mengakibatkan perpindahan pada permukaan bumi. Dari efek tersebut maka dapat diklasifikasikan gempa menjadi gempa pulse dan gempa fling. Oleh karena itu diperlukan struktur bangunan yang mampu meminimalisir resiko kerusakan akibat gempa pulse dan gempa fling. Dalam hal tersebut struktur baja sangat direkomendasikan karena struktur baja lebih elastis dibandingkan dengan struktur beton bertulang. Pada tugas akhir ini direncanakan sebuah struktur dengan 4 lantai yang dimodelkan terhadap 4 jenis penskalaan rekaman gempa yaitu penskalaan DBE linear, MCE linear, DBE non linear dan MCE non linear. Dari hasil analisis yang didapatkan dari hasil memodelkan struktur baja dengan kondisi tanah lunak terhadap gempa pulse, gempa fling serta gempa biasa (regular) didapatkan nilai interstory drift dimana hasil penskalaan DBE lebih kecil dibandingkan dengan nilai penskalaan MCE. Hasil analisis juga didapatkan nilai simpangan inelastik dimana rasio penskalaan DBE untuk gempa fling adalah 3,0951, untuk gempa pulse adalah 2,6868 dan untuk gempa regular adalah 2.9585. Nilai rasio simpangan inelastik untuk penskalaan MCE untuk gempa fling adalah 2.9065, untuk gempa pulse adalah 2.2112 dan untuk gempa regular adalah 2.4116.

Kata Kunci: Gempa bumi, baja, gempa pulse, fling dan regular.

COMPARISON OF SRPM STEEL STRUCTURE DEFORMATION THAT EXPERIENCE AN EARTHQUAKE VIBRATION CONTAINS PULSE AND FLING (LITERATURE)

ABSTRAK

Earthquakes are natural disasters caused by the movement of the earth's plates to release energy. The greater the energy released, the greater the earthquake that occurs. In earthquakes that occur often result in displacement of the earth's surface. From this effect, it can be classified as a pulse earthquake and a fling earthquake. Therefore a building structure is needed that is able to minimize the risk of damage due to pulse and fling earthquakes. In this case, steel structures are highly recommended because steel structures are more elastic than reinforced concrete structures. In this final project, a 4-story structure is designed to be modeled against 4 types of earthquake recording scaling, namely linear DBE, linear MCE, non-linear DBE and non-linear MCE. From the analysis results obtained from the results of modeling steel structures with soft ground conditions against pulsed earthquakes, fling earthquakes and regular earthquakes, the interstory drift value is obtained where the DBE scaling result is smaller than the MCE scaling value. The results of the analysis also showed that the inelastic deviation value where the DBE scaling ratio for fling earthquakes is 3.0951, for pulsed earthquakes is 2.6868 and for regular earthquakes is 2.9585. The inelastic deviation ratio value for the MCE scaling for fling earthquakes is 2.9065, for pulse earthquakes it is 2.2112 and for regular earthquakes is 2.4116.

Keywords: earthquake, steel, pulse, fling dan regular earthquake.

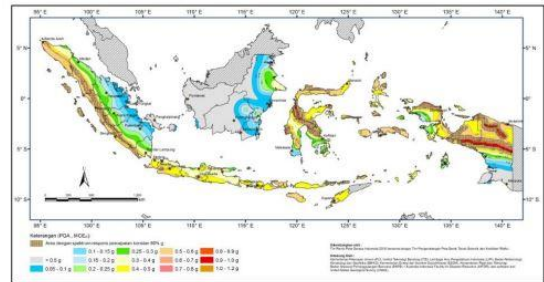
PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan potensi gempa yang cukup besar. Peristiwa gempa dapat menyebabkan semua yang ada di atas bumi termasuk infrastruktur bergerak ke segala arah. Pergerakan ini akan menyebabkan kerusakan bagi struktur dan membahayakan manusia yang berada di dalamnya. Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting di Indonesia, mengingat sebagian besar wilayahnya terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi.

Gempa bumi merupakan bencana alam yang disebabkan terjadinya pelapasan energi yang ada di dalam perut bumi. Semakin besar energi yang di keluarkan semakin besar pula gempa yang terjadi. Gempa bumi juga didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi di daerah tertentu dan menyebar luas dari daerah tersebut. Getaran pada bumi terjadi akibat adanya proses pergeseran secara tiba-tiba (sudden slip) pada kerak bumi. Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (force), baik yang bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (artificial earthquakes). Gempa bumi merupakan bergetarnya suatu permukaan tanah yang ada di dalam perut bumi karena pelepasan energi secara tiba-tiba yang akibat dari pergeseran pada kerak bumi (Pawirodikromo, 2012).

Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah rawan bencana gempa bumi. Hal ini disebabkan letak geografis yang menempati zona tektonik sangat aktif. Indonesia terletak pada batas

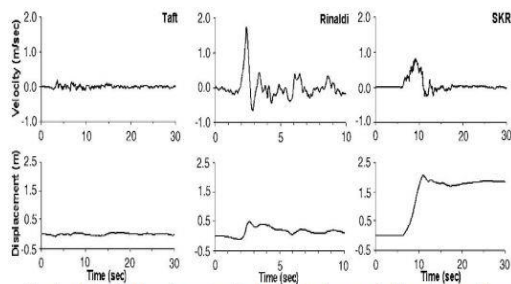
pertemuan tiga lempeng besar dunia yang sangat aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia serta satu lempeng mikro yaitu lempeng mikro Filipina. Zonasi gempa yang terdapat di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1: Peta zonasi gempa Indonesia.

Penggunaan material baja untuk konstruksi bangunan bisa mengurangi risiko bangunan roboh saat diguncang gempa bumi dikarenakan tingkat fleksibilitasnya yang cukup tinggi dibandingkan material beton. Struktur baja sendiri banyak digunakan sebagai struktur penahan gaya gempa pada gedung-gedung bertingkat di wilayah yang rawan terhadap gempa.

Getaran gempa dapat dibagi kedalam 2 jenis getaran yaitu getaran akibat gempa jauh dan akibat gempa dekat. Getaran akibat gempa dekat dibagi lagi menjadi getaran yang mengandung pulse (tanpa fling), getaran yang mengandung pulse dengan fling, dan getaran tanpa pulse, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2.

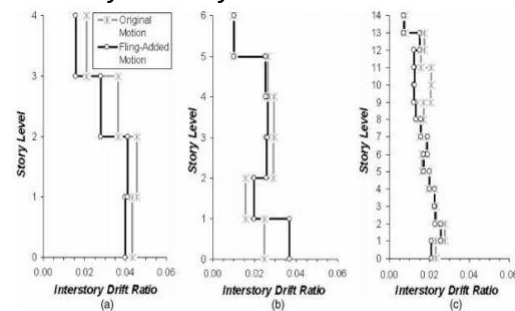


Gambar 1.2: Ciri khas riwayat waktu kecepatan dan perpindahan dari gerakan tanah (a) gempa jauh (tanpa pulse), (b) gempa dekat (mengandung *pulse* tanpa *fling*), and (c) gempa dekat (mengandung *pulse* dan *fling*) (Kalkan dan Kunnath, 2006).

Dari gambar dapat dilihat bahwa gempa jauh (a) memiliki kecepatan dan displacement (simpangan) yang kecil dan fluktuasi osilasi getarannya cenderung stabil. Sedangkan untuk gempa dekat (b) memiliki osilasi kecepatan yang tiba-tiba naik dan turun secara signifikan lalu disusul oleh osilasi kecepatan yang lebih kecil serta memiliki displacement yang lebih besar dibandingkan dengan gempa jauh. Untuk gempa dekat fling (c) memiliki kecepatan yang tinggi untuk waktu yang lama dan setelah turun kecepatannya cenderung stabil, gempa fling sama-sama memiliki displacement yang tinggi dibandingkan dengan gempa jauh.

Untuk bangunan yang mengalami gempa dekat, tentu mengalami kehancuran yang lebih besar daripada gempa jauh hal itu karena letak titik pusat gempa itu sendiri mempengaruhi nilai kerusakan bangunan itu sendiri. Akan tetapi, bukan berarti gempa jauh tidak memiliki nilai kerusakan sama sekali karena gempa jauh sendiri juga memiliki gempa yang mengandung pulse. Oleh karena itu, kita perlu untuk mengetahui kinerja struktur yang terjadi pada suatu bangunan yang mengalami gempa regular, gempa pulse dan gempa fling agar kita dapat merencanakan

ketahanan bangunan dengan sebaiknya-baiknya.



Gambar 1.3: Perbandingan respon dari (a) 4-lantai, (b) 6-lantai, and (c) 13-lantai bangunan yang diberi gempa biasa dan di beri *fling* (Kalkan dan Kunnath, 2006).

Dari hasil studi yang ada dapat dilihat bahwa bangunan yang mengalami getaran gempa mengandung fling akan berdeformasi lebih besar dibandingkan bangunan yang mengalami getaran gempa biasa. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2 dimana simpangan antar tingkat SRPM baja yang mengalami getaran mengandung fling lebih dominan dibanding bangunan yang mengalami getaran gempa biasa dan getaran yang mengandung pulse.

LANDASAN TEORI

Pengertian Gempa Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah atau slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Gempa bumi adalah suatu peristiwa/kejadian bencana alam yang berasal dari dalam bumi dan merambat ke permukaan tanah dari suatu daerah tertentu dan menyebar luas dari titik tersebut ke segala arah. Selain itu gempa bumi merupakan getaran atau guncangan yang terjadi di dalam bumi dan merambat ke permukaan tanah yang disebabkan oleh patahan aktif aktifitas gunung api, tanah longsor,

maupun tumbukan antar lempeng bumi(Pawirodikromo, 2012).

Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Getaran pada bumi terjadi akibat dari adanya proses pergeseran secara tiba-tiba (sudden slip) pada kerak bumi. Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (force) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (artificial earth-quakes). Selain disebabkan oleh sudden slip, getaran pada bumi juga bisa disebabkan oleh gejala lain yang sifatnya lebih halus atau berupa getaran kecil-kecil yang sulit dirasakan manusia(Nugraha & Fauzy, 2014).

Gempa pulse

Getaran gempa dekat yang mengandung efek pulse dapat menyebabkan bangunan yang tidak direncanakan secara baik akan mengalami kerusakan. Bangunan yang tidak simetris sebidang termasuk yang memiliki resiko rusak bila mengalami gempa dekat.

Respon Spektrum Desain

Menurut teori dinamika struktur (structural dynamics) salah satu cara untuk menentukan/menghitung simpangan, gaya-gaya dinamik pada struktur derajat kebebasan banyak (Multi Degree of Freedom, MDOF) adalah dengan menggunakan metode respons spectrum. Respon spektrum adalah suatu spectrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu (Pawirodikromo, 2012).

Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktail namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekuatan lateral, khususnya untuk bangunan-bangunan yang tinggi. Umumnya SRPM cukup efektif dipakai sampai < 25 tingkat.

Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

Berikut yang termasuk bangunan tahan gempa adalah:

1. Apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding retak, genting dan langit-langit 14 jatuh, kaca pecah dan sebagainya) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dan lainnya).
2. Apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.
3. Apabila terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar/mengungsi ke tempat aman.

Ketahanan Korosi

Korosi merupakan adalah kerusakan atau penurunan mutu material baja yang bereaksi dengan

lingkungan secara langsung dalam hal ini bisa juga disebut dengan interaksi secara kimiawi. Sedangkan menurunnya kualitas mutu dari material yang berintraksi secara fisik bukan di sebut korosi, secara umum lebih di kenal sebagai erosi atau keausan. Keausan didefinisikan sebagai hilangnya material atau menghilangnya sejumlah material dari permukaan satu dan permukaan lainnya. Air dikatakan sebagai air payau jika konsentrasinya 0,05% sampai 3% atau menjadi saline jika konsentrasinya 3smpai 5%. Lebih dari 5 disebut brine. Selain memiliki kadar garam yang tinggi, air payau juga mengandung bahan organik (Anwar & Widodo, 2017) Korosi juga didefinisikan sebagai kerusakan atau penurunan mutu suatu material yang diakibatkan oleh reaksi antar lingkungan dan material itu sendiri (Kurnia dkk, 2014).

Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa

(Pandaleke, Pangouw, & Khosama, 2013) mengatakan ada beberapa hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu struktur tahan gempa yaitu dalam menghadapi gempa besar, kinerja struktur tahan gempa diupayakan dapat menyerap energi gempa secara efektif melalui terbentuknya sendi plastis pada bagian tertentu, dengan kriteria sebagai berikut:

1. Kekuatan, kekakuan, daktilitas, disipasi energi yang dapat dipenuhi oleh struktur baja.
2. Disipasi energi melalui plasifikasi komponen struktur tertentu, tanpa menyebabkan keruntuhan structural yang terpenuhi dengan perencanaan Capacity Design.

Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

Parameter Percepatan Gempa

Parameter SS (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 SNI 1726:2012 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2% dalam 50 tahun) dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S1 \leq 0,04g$ dan $SS \leq 0,15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A dan cukup memenuhi persyaratan.

Simpangan Lantai (Drift)

Akibat Gempa Simpangan (drift) adalah sebagai perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (horizontal story to story deflection).

Sementara itu Richard (1987) berpendapat bahwa dalam perencanaan bangunan tinggi selalu dipengaruhi oleh pertimbangan lenturan (deflection), bukannya oleh kekuatan (strength).

Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada dibawahnya. Untuk menjamin agar kenyamanan para penghuni gedung tidak terganggu maka dilakukan pembatasan-pembatasan terhadap simpangan antar tingkat pada bangunan. Pembatasan ini juga bertujuan untuk mengurangi momen-momen sekunder yang

terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial di dalam kolom-kolom (yang lebih dikenal dengan P-delta).

Perioda Alami Struktur

Perioda adalah besarnya waktu yang diperlukan untuk mencapai satu getaran. Perioda alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Budiono dan Supriatna, 2011).

Pembebanan

Beban kerja pada struktur atau komponen struktur ditetapkan berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku. Berdasarkan PPPURG (1987), beban pada struktur atau komponen struktur dikelompokkan menjadi 5 jenis beban, yaitu:

1. Beban mati, yaitu berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu seperti pipa-pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai/atap, plafon, dan sebagainya.
2. Beban hidup, yaitu semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian

yang tak terpisahkan dari 22 gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

3. Beban angin, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
4. Beban gempa, yaitu semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.
5. Beban khusus, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

Program Ruaumoko

Program Ruaumoko dirancang oleh Prof. Athol J Carr, yang berasal dari University of Canterbury, New Zealand. Program ini dirancang untuk melakukan analisa struktur, seperti bangunan dan/atau jembatan, yang mengalami gempa dan eksitasi dinamis lainnya. Program ini digunakan untuk studi eksitasi gempa termasuk pemodelan sistem base-isolation. Program ini juga dapat digunakan untuk menganalisa push over, baik statis maupun dinamis.

METODE PENELITIAN

Analisis dilakukan terhadap 1 model dengan sistem rangka pemikul momen khusus pada bagian luar dan sistem rangka pemikul gravitasi pada bagian dalam. Model bangunan tersebut dianalisis secara Linear dan Non-Linear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (Response Spectrum Analysis) dengan menggunakan Program Analisa Struktur serta Analisis Riwayat Waktu (Time History Analysis) dengan menggunakan software RUAUMOKO versi 04, untuk mendapatkan nilai simpangan antar tingkat (interstory drift) dan simpangan atap (top displacement) ketika bangunan telah dikenakan gempa pulse, fling dan gempa biasa (regular) Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan dengan dengan gempa di hasilkan.

HASIL DAN PENELITIAN

Hasil Model Linear Dan Non Linear

Respon Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS. Syarat : SRSS > 15% , CQC < 15%

Analisa menggunakan metode CQC (Complete Quadratic Combination), hasil persentase perioda rata-rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan SRSS (Square

Root of the Sum of Square) lebih besar dari 15%. Pada hasil analisa diperoleh hasil model 4 lantai didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak dibawah 15 %.

Koreksi Gempa Dasar

Nominal Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

$$0,85 \frac{V_1}{V_t} \geq 1$$

dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V_1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum *output* Program Analisa Struktur V_t .

Struktur	Arah Gempa	V_1 (KN)	V_t (KN)
Lantai 4	Gempa X	3289,28	141,16

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

Koreksi Faktor Redundansi

Berdasarkan sub Bab 2.5.11, nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35 persen gaya geser dasar dengan redundansi 1. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Dari hasil koreksi untuk setiap gaya geser diperoleh beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat 35 persen gaya geser dasar.

Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V_1 dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada Tabel 4.2. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat, yaitu: Syarat : $V_t \geq 0,85 C_s .W$ Berdasarkan Tabel 4.2 nilai V_t sb. x diperoleh :

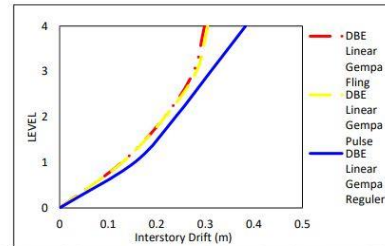
Struktur	Arah Gempa	V_t (KN)	$0,85 C_s .W$	Cek
Lantai 4	Gempa X	141,16	2795,89	Not Oke

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (V_t) lebih besar dari nilai $C_s.W$, sehingga simpangan antar lantai tidak perlu dikalikan dengan faktor skala.

Nilai Simpangan Gedung

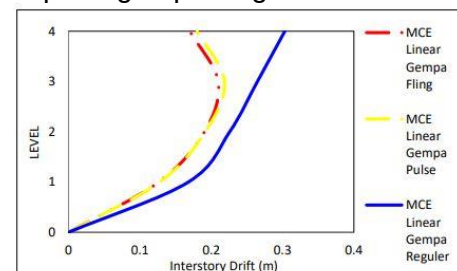
Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat.

Berdasarkan analisa menggunakan aplikasi Ruaumoko 2D didapatkan nilai simpangan antar lantai dan simpangan atap berdasarkan dari groundmotion yang diskalakan berdasarkan respon spektrum wilayah Indonesia. Pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.4 menunjukkan beberapa grafik interstory drift dengan perbedaan skala respon gempa yang diberikan. Pada grafik interstory drift diambil nilai rata-rata tiap groundmotion.



Gambar 4.1: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 dengan penskalaan DBE linear terhadap gempa tunggal dengan jenis gempa fling, pulse dan gempa biasa (regular).

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan DBE linear nilai interstory drift terbesar terjadi pada level-level awal (level 1-4) pada gambar dapat terlihat kenaikan nilai interstory drift untuk ketiga jenis gempa baik gempa fling, pulse dan gempa biasa (regular). Nilai terbesar pada penskalaan DBE linear terjadi pada gempa biasa (regular), sedangkan gempa terkecil terjadi pada gempa fling.



Gambar 4.2: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 dengan penskalaan MCE linear terhadap gempa tunggal dengan jenis gempa fling, pulse dan gempa biasa (regular).

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE linear nilai interstory drift terbesar terjadi pada level-level awal (level 1-4) pada gambar dapat terlihat kenaikan nilai interstory drift untuk ketiga jenis gempa baik gempa fling, pulse dan gempa biasa (regular). Nilai terbesar pada penskalaan MCE linear terjadi pada gempa biasa (regular), sedangkan gempa terkecil terjadi pada gempa fling. Pada gambar 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa pada penskalaan DBE linear maupun MCE linear nilai interstory drift gempa biasa (regular) lebih

dominan ketimbang gempa fling dan gempa pulse.

Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)

Berdasarkan SNI 1726:2012, kekakuan tingkat lunak (soft story) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan di atas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami Soft Story.

Pengaruh Efek P-Delta

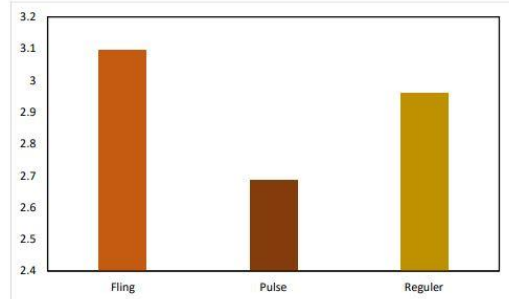
Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai stability ratio lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai stability ratio dibawah nilai 1 untuk semua model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya efek p-delta dapat diabaikan jika syarat stability ratio sudah terpenuhi.

Hasil Analisa Non Linier

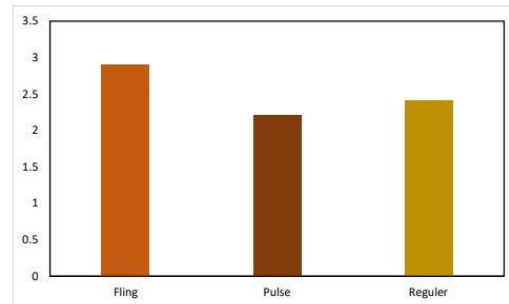
Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur baja yang telah di desain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan jenis gempa, dan penskalaan rekaman gempa. Jenis gempa yang diberikan pada struktur baja yaitu gempa tunggal dan gempa berulang 2 kali yang dibedakan menjadi 2 jenis penskalaan yaitu DBE dan MCE. Setiap model struktur akan diambil data interstory drift dan top displacement setelah dianalisis, nilai tersebut dibandingkan terhadap

faktor-faktor yang telah disebutkan diatas.

Hasil Analisa Simpangan Inelastic



Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa berdasarkan diagram batang hasil analisis simpangan inelastic bahwa rasio simpangan akibat dari gempa fling lebih besar dibandingkan dengan gempa pulse dan reguler. Gempa reguler lebih besar dari pada gempa pulse dan dapat disimpulkan bahwa gempa fling memiliki nilai rasio simpangan inelastic yang paling besar dan gempa pulse memiliki nilai rasio simpangan inelastic yang paling kecil.



Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa berdasarkan diagram batang hasil analisis simpangan inelastic bahwa rasio simpangan akibat dari gempa fling lebih besar dibandingkan dengan gempa pulse dan reguler. Gempa reguler lebih besar dari pada gempa pulse dan dapat disimpulkan bahwa gempa fling memiliki nilai rasio simpangan inelastic yang paling besar dan gempa pulse memiliki nilai rasio

simpangan inelastic yang paling kecil.

Tabel 4.3: Nilai perbandingan *top displacement* untuk masing-masing gempa

Model	T(s)	Pulse	Fling	Regular
DBE linier	1,35	100%	97.52568769	100.0998
MCE linier	1,35	100%	97.51909569	100.0962
DBE non linier	1,35	100%	112.3463077	110.2219
MCE non linier	1,35	100%	128.1798283	109.164

Pada tabel 4.4 terdapat beberapa nilai perbandingan *top displacement* untuk ketiga jenis gempa dalam setiap penskalaannya. Besarnya kenaikan yang terjadi dapat dilihat dengan nilai gempa pulse sebagai acuan (100%), dalam tabel tersebut nilai interstory drift penskalaan MCE non linier < penskalaan DBE linier < penskalaan MCE linier < penskalaan DBE non linier untuk setiap gempa yang dimodelkan terhadap 4 pemodelan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis linear dan non linear yaitu pembahasan mengenai perbandingan simpangan antar tingkat dan simpangan atap sistem rangka pemikul momen (SRPM) terhadap getaran gempa mengandung pulse dan fling, maka dapat diambil kesimpulan bahwa hasil analisa pada struktur terhadap rekaman gempa mengandung pulse dan fling berdasarkan penskalaan DBE linier, MCE linier, DBE non linier dan MCE non linier didapati bahwa nilai simpangan antar tingkat terbesar pada penskalaan rekaman gempa DBE linier dan MCE linier berada pada lantai 4. Sedangkan pada penskalaan DBE non linier dan MCE non linier nilai simpangan antar tingkat terbesar berada pada lantai rendah.

Pada hasil analisa pada struktur terhadap rekaman gempa pulse dan fling berdasarkan penskalaan DBE

linier, MCE linier, DBE non linier dan MCE non linier didapati bahwa nilai *top displacement* diplot menjadi diagram analisis simpangan inelastic dimana pada diagram tersebut menunjukkan bahwa rasio dari penskalaan rekaman gempa berdasarkan DBE linear dan non linear rekaman gempa fling memiliki nilai rasio simpangan inelastic paling besar dari rekaman gempa pulse dan regular yang disebabkan dari nilai scale factor pada masing-masing model. Nilai tersebut didapatkan dari nilai rata-rata simpangan atap yang dimodelkan terhadap 20 rekaman gempa fling dan 20 rekaman gempa pulse dan 20 rekaman gempa regular.

DAFTAR PUSTAKA

BUKU

- ANSI, A. (2012). AISC Seismic Design Manual. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago.
- Dewobroto, W. (2016). Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain–AISC 2010 Edisi ke-2. Tangerang: Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH.
- Moestopo, M. (2012). Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa. In Short Course Seminar Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI), Hotel Borubudur, Indonesia.
- Nugraha, & Fauzy. (2014). Interval_Konfidensi_Untuk_Satu_P arameter.
- Pawirodikromo, W., 2012, Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan, Pustaka Pelajar., Yogyakarta.
- Putri, F. R., & Permata, A. D. (2016). putri. Desain Struktur Gedung Apartemen Candiland 21 Lantai.
- Salim, M. A., & Siswanto, I. A. B. (2018). Rekayasa gempa.

JURNAL

- Abdollahzadeh, G., Mohammadgholipour, A., & Omranian, E. (2018). Seismic evaluation of steel moment frames under Mainshock–aftershock sequence designed by elastic design and PBPD methods. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-24.
- Amiri, S., & Bojórquez, E. (2019). Residual displacement ratios of structures under mainshock-aftershock sequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121, 179-193
- ANSI, A. (2005). AISC 358–05 prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago..
- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.
- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.
- Adam, M. (2020). Unjuk Kerja Generator Clok Sinyal Low Pass Filter, Pam Multiplexing Pada Rangkaian Percobaan Pulse Code Mudulation (PCM) Aplikasi pada Laboratorium Dasar Sistem Telekomunikasi. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 51-57.
- Adam, M. (2019, October). Pemanfaat Mikrokontroller Atmega8 Sebagai Pengaman Pintu Menggunakan Metode Sidik Jari (Fingerprint). In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, pp. 279-289).
- Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo BI 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6. 0. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(2), 62-69.
- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu KripiK Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah TanggaDi Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 123-128.
- Anwar, M. J., & Widodo, E. (2017). Karakterisasi Laju Korosi Baja ST 40 Berlapis Polyester Putty dalam Lingkungan Air Payau. 2(2), 69–76.
- Asfiati, S., & Mutiara, D. T. (2021). STUDI KESELAMATAN DAN KEAMANAN TRANSPORTASI DI PERLINTASAN SEBIDANG ANTARA JALAN REL DENGAN JALAN UMUM (Studi Kasus Perlintasan Kereta Api Di Jalan Padang, Bantan Timur, Kecamatan Medan Tembung). *PROGRESS IN*

- CIVIL ENGINEERING JOURNAL, 1(2).
- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu Kripik Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah Tangga Di Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 123-128.
- Ariani, R., & Riza, F. V. (2019, October). Peningkatan Derajat Kesehatan Melalui Sosialisasi Perilaku Hidup Bersih Dan Sehat Sejak Dini. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, pp. 319-322).
- Azis, Z., Panggabean, S., & Sumardi, H. (2021). EFEKTIVITAS REALISTIC MATHEMATICS EDUCATION TERHADAP HASIL BELAJAR MATEMATIKA SISWA SMP NEGERI 1 PAHAE JAE. *Journal Mathematics Education Sigma [JMES]*, 2(1), 19-24.
- Azmi, N., Budi, T., & Muttaqin, A. (2019). Studi Kuat Geser Beton Mutu Tinggi dengan Variasi Jenis Superplasticizer Menggunakan Bahan Tambah Abu Cangkang Sawit. 1(2), 71–77.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Bhagat, S., Wijeyewickrema, A. C., & Subedi, N. (2018). Influence of Near-Fault Ground Motions with Fling-Step and Forward-Directivity Characteristics on Seismic Response of Base-Isolated Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-20.
- Damanik, W. S., Pasaribu, F. I., Lubis, S., & Siregar, C. A. (2021). Pengujian Modul Solar Charger Control (SCC) Pada Teknologi Pembuangan Sampah Pintar. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 89-93.
- Eftekhari, G., & Nouri, G. (2018). Seismic Performance Assessment of High-Rise Buildings with Different Lateral Load Resisting Systems Under Near-Field Earthquakes with Fling Step. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(4), 361-370.
- Elkady, A., & Lignos, D. G. (2015). Effect of gravity framing on the overstrength and collapse capacity of steel frame buildings with perimeter special moment frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(8), 1289-1307.
- Elim, I., Saerang, D. P. E., & Manongga, C. L. (2014). Efektivitas Pajak Penerangan Jalan Dan Kontribusinya Terhadap Pendapatan Asli Daerah Di Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 2(2), 1318–1326
- Faisal, A. (2019). Perilaku Nonlinear Struktur Gedung Baja Dengan Bentuk Denah L, T Dan U Akibat Gempa. *Progress In Civil Engineering Journal*, 1(1), 63-73.
- Febriana, A., & Wibowo, A. (2016). Analisis Pushover Untuk Performance Based Design (Studi Kasus n Gedung B Program Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), PP-676.
- Francisco, A. R. L. (2013). 濟無NoTitle No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gunawan, S., Hasan, H., & Lubis, R. D. W. (2020). Pemanfaatan Adsorben dari Tongkol Jagung sebagai Karbon Aktif untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 38-47.

- Lubis, S., Damanik, W. S., & Siregar, M. A. (2021, January). DESIGN OF QIBLAT DIRECTION USING HMC 5883L SENSOR. In *Proceeding International Seminar of Islamic Studies* (Vol. 2, No. 1, pp. 178-184).
- Lubis, S., Pasaribu, F. I., Harahap, P., Damanik, W. S., Siregar, R. S., Siregar, M. A., ... & Batubara, S. S. (2020). Pelatihan Penggunaan Sensor HMC 5883L Sebagai Petunjuk Arah Kiblat Sumatera Utara. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 229-237.
- Lubis, S. (2018). Analisa Tegangan Keluaran Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif. *RELE: Rekayasa Elektrikal dan Energi Jurnal Teknik Elektro* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE>.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 8 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 44-53.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 2 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(2), 104-114.
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(2), 85-92.
- Lubis, S., Siregar, C. A., Siregar, I., & Hasibuan, E. S. (2020). Kajian Eksperimen Deffoormasi Tekanan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 01-10.
- Lubis, S., Siregar, A. M., Siregar, C. A., & Siregar, I. (2021). Kajian Eksperimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Yang Diuji Secara Statis. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 4(1), 64-72.
- Lubis, R. D. W., Syam, B., & Gunawan, S. (2020). Simulasi Respon Mekanik Komposit Busa Polimer Diperkuat Serat Tkks Dengan Variasi Konsentrasi Al₂O₃. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 29-37.
- Ngantung, N. M. (2015). Analisis Peran Pajak Penerangan Jalan Umum Terhadap Pendapatan Asli Daerah Kota Tomohon the. 4(3), 32–43.
- Siregar, M. A., & Riawansyah, R. (2018). Simulasi Perpindahan Panas Pada Heater Injection Molding Menggunakan Software Solidworks. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 1(1), 39-46.
- Purnawati, D. (2012). Formulasi Kebijakan Pengalokasian Anggaran (Earmarked) Pajak Penerangan Jalan Untuk Penerangan Jalan Umum Di Kota Depok (Earmarked) Pajak Penerangan Jalan Untuk. *Kelistrikan, A., Penerangan, L., & Umum, J.* (2015). *D INAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin KAWASAN PERKANTORAN KABUPATEN KONAWE SELATAN*. 7(1), 33–40.
- Risdiara, S., Rangkuti, C., Teknik, J., Fakultas, M., Industri, T., Trisakti, U., & Savonius, T. (2018). MENGGUNAKAN SUMBER DAYA LISTRIK KOMBINASI DARI SOLAR. 357–362.
- S, Harry Sudibyo; W, Amelinda Arum; Nugraha, Gde Dharma; Wibisono, G. (2015). Rancang Bangun Sistem Lampu Jalan Pintar Nirkabel Berbasis Teknologi Zigbee. *Tesla*, 17, 45–51. Retrieved from <http://journal.untar.ac.id/index.php/tesla/article/view/271>

- Sihombing, D. T. (2013). Menggunakan Teknologi Tenaga Surya. 118–123.
- Widodo, A. (2016). Kajian Manajemen Optimalisasi Penerangan Jalan Umum Kota Semarang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 18(2), 87–96. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v18i2.7476>
- Vitri, G., & Herman, H. (2019). Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton. 6(2), 78–87. <https://doi.org/10.21063/JTS.2019.V602.06>
- Sitorus, L. R. (2018). Analisis Kuat Tekan Terhadap Umur Beton dengan Menggunakan Admixture Superplasticizer Viscocrete-3115 N.