

Pengaruh Kinerja Keruntuhan Srpm Baja Akibat Gempa Pulse Dan Fling (Literatur)

FAHMI¹

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

fahmi123@gmail.com

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir. Gempa itu sendiri terdiri dari gempa tunggal yang mana terdiri dari gempa regular, pulse, fling. Oleh karena itu diperlukan struktur bangunan yang mampu meminimalisir resiko kerusakan akibat gempa regular, pulse dan 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 penskalaan rekaman gempa yaitu penskalaan MCE yang disandingkan dengan 20 groundmotion untuk masing masing jenis gempa regular, pulse, fling untuk analisis linier dan analisis non linier. Dari hasil analisis yang didapatkan dari hasil memodelkan struktur baja dengan kondisi tanah lunak terhadap gempa tunggal didapatkan nilai incremental displacement analysis dimana hasil kurva IDA tersebut menunjukkan gempa regular lebih besar daripada gempa pulse dan fling dimana gempa regular lebih dominan untuk mendapatkan kinerja keruntuhan lebih cepat dibandingkan gempa pulse dan fling. Hasil analisis didapatkan bahwa interstory drift pada gempa regular memiliki nilai drift sebesar 0.539, gempa pulse 0.442, dan gempa fling 0.726 dan analisis kemungkinan keruntuhan di buat dengan kategori 10% collapse, 5% CP (collapse prevention), 2.5% LS (life safety) dan 0.7% IO (immediate occupancy)

Kata Kunci: *Gempa, kinerja struktur, baja.*

The Effect Of Performance Level Of Steel Special Moment Frame Due To Pulse And Fling Earthquakes (Literature)

ABSTRACT

Earthquakes are a natural phenomenon caused by the release of elastic stretch energy of rocks in the lithosphere. The earthquake itself consists of a single earthquake which consists of an ordinary earthquake, pulse, swing. Therefore we need a building structure that is able to minimize the damage caused by earthquakes on a regular basis, pulse and fling. In this regard, steel structures are highly valued because steel structures are more elastic than reinforced concrete structures. In this final project, a 4-story structure is designed to be modeled against the earthquake recording scaling, namely the MCE scaling coupled with 20 groundmotion for each type of earthquake, pulse, fling for linear analysis and non-linear analysis. From the analysis results obtained from the results of modeling steel structures with soft ground conditions against earthquakes obtained from the value displacement analysis where the results of the IDA curve show earthquakes that are bigger than earthquakes and earthquakes where the earthquake is more dominant to get faster collapse performance than pulse and fling earthquakes. . The results of the analysis showed that interstory drift in the earthquake had a drift value of 0.539, earthquake 0.442 earthquake, earthquake 0.442 earthquake, and earthquake 0.726 earthquake and the analysis of the probability of collapse was made with the category of 10% collapse, CP 5% (collapse prevention), 2.5% LS (life safety) and 0.7% IO (direct occupancy).

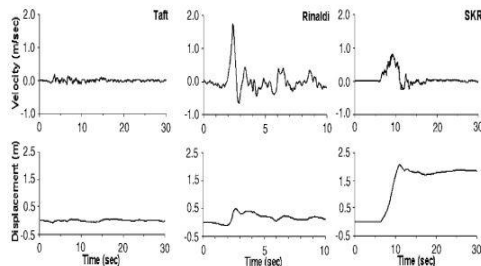
Keyword: *Earthquake, structural performance, steel.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang mempunyai potensi gempa yang 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 sendiri terbagi atas 2 yaitu gempa jauh dan gempa dekat, gempa jauh sendiri terbagi atas gempa yang regular dan yang mengandung pulse sedangkan gempa dekat adalah gempa yang mengandung regular, pulse dan fling.

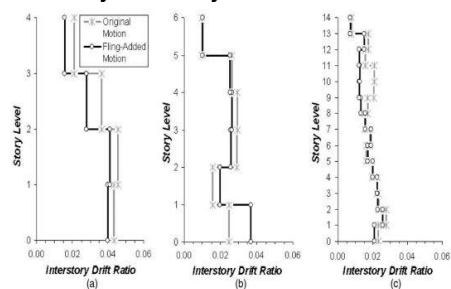


Gambar 1.1 Tipe kecepatan dan perpindahan dari (a) gempa jauh, (b) gempa dekat (*forward-directivity*), and (c) gempa dekat (*fling-step*) ground motions (Kalkan dan Kunnath, 2006).

Dari gambar dapat dilihat bahwa gempa jauh (a) memiliki kecepatan dan displacement yang sangat kecil dan grafiknya cenderung stabil, untuk gempa dekat (b) memiliki kecepatan yang tiba-tiba naik kemudian turun dan disusul oleh kecepatan lainnya yang lebih kecil dan dilihat dari grafiknya gempa dekat memiliki displacement yang besar dibandingkan 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 1.2. 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 penelitian yang pernah dilakukan dapat dilihat bahwa bangunan yang diberi pergerakan fling lebih kuat berdeformasi dari pada bangunan yang hanya diberi pergerakan biasa hal itu jelas karena fling sendiri memiliki simpangan yang lebih besar sehingga membuat getaran yang lebih kuat dari pada original motions itu sendiri.

Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non struktural maupun pada komponen

strukturalnya. Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non strukturalnya, akan tetapi komponen strukturalnya tidak boleh mengalami kerusakan. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Gempa

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Rofika dkk, 2018).

Pembangkit utama gempa bumi adalah pergerakan lempeng tektonik. Akibat pergerakan lempeng maka disekitar perbatasan lempeng akan terakumulasi energi. Jika lapisan batuan telah tidak mampu menahannya maka energi akan terlepas yang menyebabkan terjadinya deformasi pada lapisan kerak bumi yang disebut gempa tektonik.

Bentuk energi yang dilepaskan saat terjadi gempa bumi antara lain adalah energi deformasi gelombang. Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk volume sesudah terjadinya gempa bumi, seperti misalnya tanah naik, tanah 8 turun, pergeseran batuan, dan lain-lain. Sedangkan energy gelombang akan menggetarkan medium elastis disekitarnya dan akan menjalar ke segala arah.

Jalur Gempa Bumi Indonesia

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng pasifik yang tetap bergerak satu sama lainnya. Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai daerah tektonik aktif dengan tingkat seismisitas atau kegempaan yang tinggi (Syafitri dkk, 2018). Lokasi tektonik aktif di Indonesia secara sepintas sudah dapat dipastikan berada di perbatasan lempeng tektonik. Namun efeknya bias dirasakan pada jarak tertentu tergantung pada peluruhan energy dan geologi setempat.

Tektonik Indo-Australia dan Eurasia berada di laut merupakan sumber gempa dangkal dan menyusup ke arah utara sehingga di bagian barat berturut-turut ke utara dan di sekitar Jawa-Nusa Tenggara merupakan sumber gempa menengah dan dalam. Gempa-gempa dangkal di bagian timur Indonesia selain berasosiasi dengan pertemuan lempeng juga disebabkan oleh patahan-patahan aktif. Seperti patahan palu-koro, patahan Gorontalo, patahan Sorong dan patahan Seram. Beberapa tempat di pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku, Sulawesi dan Papua rentan terhadap bencana gempa bumi baik yang bersifat langsung maupun tidak langsung seperti tsunami dan longsor.

Parameter Gempa Bumi

Setiap kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah melalui proses manual atau non manual akan menjadi data bacaan fase (phase reading data) Informasi

seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis sehingga menjadi parameter gempa bumi. Parameter-parameter dasar gempa bumi tersebut meliputi:

1. Origin Time (OT) Waktu kejadian gempa bumi (Origin Time) adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan (stress) yang berbentuk penjalaran gelombang seismic.
2. Kedalaman Sumber Gempa (h) Kedalaman sumber gempa adalah jarak hiposenter dihitung tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalamannya dinyatakan oleh besaran jarak dalam satuan km.
3. Jarak Episenter (Δ) Jarak episenter (Δ) dihitung dengan selisih S-P dalam tabel waktu jalar IASPEI 91 untuk kedalaman pusat gempa diasumsikan Brustle (1986) memperkirakan Δ (km) ~ 8 (ts-tp) detik.
4. Magnitude Gempa Ukuran kekuatan gempa bumi berdasarkan energy yang dilepaskan di pusat gempa bumi atau hiposenter disebut magnitude. Magnitude dinyatakan dalam Skala Richter (SR) dan dilambangkan dengan M. Kekuatan gempa bumi dinyatakan dengan besaran magnitude dalam skala logaritma basis 10. Suatu harga magnitude diperoleh sebagai hasil analisis tipe gelombang seismic tertentu (berupa rekaman getaran tanah yang tercatat paling besar) dengan memperhitungkan jarak stasiun pencatat ke episenter.

Ground Motion

Ground motion adalah pergerakan permukaan bumi yang diakibatkan adanya gempa atau ledakan. Di dalam ilmu teknik gempa, ground motion juga populer dengan sebutan strong motion untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respon-respon tanah yang lain. Pada umumnya, pengertian pergerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditujukan pada percepatan tanah Khususnya untuk keperluan teknik, percepatan tanah akibat gempa merupakan data yang sangat penting (Pawirodikromo, 2012).

Respon gempa sensitif terhadap karakteristik getaran tanah, besar frekuensi gempa, pola pulse, durasi getaran, mekanisme fault-rupture, dan lainnya. Berdasarkan pola pulse nya, gempa dibagi menjadi 3, yaitu near field (gempa dekat, yaitu gempa dengan pulse), far field (gempa jauh, yaitu gempa tanpa pulse/no-pulse), dan gempa berulang.

Gempa Dekat

Gempa dekat adalah suatu respon tanah akibat dari aktivitas gempa pada suatu daerah yang tercatat dan dihitung pada stasiun gempa yang dekat dengan epicenter/pusat gempa tersebut (Pawirodikromo, 2012). Pawirodikromo menyatakan bahwa Kalkan dkk. (2004) memberikan batasan bahwa rekaman gempa near-fault adalah gempa yang direkam ≤ 15 km dari patahan (fault rupture), Stewart dkk. (2001) membuat definisi bahwa gempa near-fault umumnya adalah gempa-gempa antara 20-60 km dari pusat gempa, Wang dkk. (2006) memaknai near fault earthquake adalah gempa-gempa yang direkam pada jarak ≤ 90

km, Martinez-Pereira dan Bomber (1998) dalam Meniatakis dkk (2008) mengatakan bahwa near fault dimaknai sebagai suatu daerah dari pusat gempa sampai daerah yang intensitas gempa $IMM \geq VIII$. Untuk daerah yang intensitas $IMM < VIII$ maka gempa near fault kurang memberikan efek yang signifikan.

Material Baja

Bahan material baja unggul jika ditinjau dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya. Jadi tidaklah mengherankan jika di setiap proyek-proyek konstruksi, baik jembatan atau gedung, maka baja selalu dibutuhkan, meskipun tentu saja volume yang digunakan tidak selalu harus mendominasi atau mayoritas.

Tinjauan dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitas, sangat cocok dipakai untuk mengevaluasi struktur yang memikul pembebanan. Tetapi perlu diingat bahwa selain kondisi tersebut, aka nada juga pengaruh lingkungan yang mempengaruhi kelangsungan hidup struktur bangunannya . jadi pada suatu kondisi tertentu, bisa saja suatu bangunan mengalami kerusakan meskipun belum diberi beban (belum berfungsi). Itu berarti perilaku ketahanan material terhadap kondisi lingkungan sekitarnya adalah penting untuk diketahui juga dan diantisipasi dengan baik sebelumnya.

Kelebihan material baja dibanding beton atau kayu adalah karena material tersebut buatan pabrik, yang tentunya mempunyai kontrol produksi yang baik, dan sebagai akibatnya mutu produknya terjaga . oleh karena itu dapat dipahami mengapa kualitas material baja yang dihasilkannya relative homogen dan konsisten dibanding material material lain, yang berarti

juga lebih dapat diandalkan mutunya.

Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

Suatu bangunan yang baik pada daerah yang terletak berdekatan dengan daerah pertemuan lempengan benua seperti di Indonesia hendaknya didesain terhadap kemungkinan beban gempa yang akan terjadi di masa yang akan datang yang waktunya tidak dapat diketahui secara pasti. 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 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 ketempat aman.

Sulit untuk menghindari kerusakan bangunan akibat gempa, bila digunakan perencanaan konvensional, karena hanya bergantung pada kekuatan komponen struktur itu sendiri, serta

perilaku respon pasca elastisnya. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam perencanaan bangunan tahan gempa telah dikembangkan suatu pendekatan disain alternatif untuk mengurangi resiko kerusakan bangunan saat terjadi gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non-struktural terhadap gempa kuat.

Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Prosedur analisis yang paling sederhana dan yang langsung dapat digunakan untuk menentukan pengaruh dari beban gempa terhadap struktur bangunan adalah prosedur analisis statik. Analisis statik hanya boleh dilakukan untuk struktur-struktur bangunan dengan bentuk yang sederhana dan beraturan atau simetris, yang tidak menunjukkan perbandingan yang menyolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan pada tingkat-tingkatnya (Agus Bambang Siswanto, 2018). Prosedur analisis statik ini hanyalah suatu cara pendekatan yang menirukan pengaruh dinamik dari beban gempa yang sesungguhnya. Untuk struktur-struktur bangunan gedung lainnya yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan perilakunya terhadap pengaruh gempa (struktur dengan bentuk yang tidak beraturan), harus di analisis dengan prosedur analisis dinamik. Struktur-struktur bangunan yang beraturan, dapat juga dianalisis dengan prosedur analisis dinamik jika diinginkan.

Beban Gempa Statik Ekuivalen

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horisontal yang bekerja

pada struktur bangunan akibat pengaruh pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan gaya-gaya statik yang ekuivalen.

Besarnya beban Gempa Nominal statik ekuivalen yang digunakan untuk perencanaan struktur ditentukan oleh tiga hal, yaitu oleh besarnya Gempa Rencana, oleh tingkat daktilitas yang dimiliki struktur, dan oleh nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur. Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002).

Perilaku Sistem Struktur yang Diharapkan

Untuk pembebanan gravitasi (akibat beban sendiri, beban mati tambahan dan beban hidup), beban angin dan beban gempa sedang (gempa yang sering terjadi) maka diharapkan struktur dapat berperilaku elastis (beban hilang deformasi hilang). Tetapi pada gempa besar, yaitu suatu kondisi gempa sedemikian sehingga jika struktur didesain secara elastis akan sangat tidak praktis dan mahal, maka diijinkan mengalami kondisi inelastis.

Oleh karena itu, dan juga karena tidak adanya jaminan bahwa gempa yang akan terjadi pasti selalu di bawah gempa rencana yang ditetapkan code, maka cara perencanaan struktur tahan gempa adalah didasarkan pada metodologi capacity design. dengan cara tersebut, struktur direncanakan sedemikian sehingga bila terjadi kondisi inelastis, hanya terjadi pada tempat yang ditentukan yang memang telah terencana. Kondisi inelastis yang terjadi juga terkontrol, sebagai tempat disipasi energy.

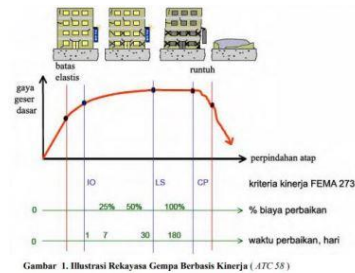
Sedangkan bagian struktur yang lainnya tetap diusahakan berperilaku elastis. Jadi cara kerjanya seperti alat sekering (fuse) pada peralatan listrik disaat menerima overload. Jika rusak bangunan tersebut diperbaiki.

Adanya bagian yang terpisah-pisah, ada yang bekerja elastis dan bagian lain ada yang sampai inelastis, dapat dengan mudah diterapkan pada konstruksi baja, yang memang dari awalnya bersifat modul atau segmen terpisah yang tidak monolit.

Perencanaan Berbasis Kinerja

Perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja (performance-based seismic design) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada (bangunan eksisting), dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan, kesiapan pakai dan kerugian harta benda yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang (Pangemanan, 2017).

Peraturan perencanaan bangunan (building codes) digunakan sebagai acuan prosedur desain bangunan tahan gempa. Dengan mengacu pada building codes maka keselamatan penghuni dapat terjamin, kerusakan dapat dikurangi pada saat gempa besar. Namun, dengan prosedur tidak dapat menunjukkan kinerja bangunan secara langsung. Runtuhnya material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.



Gambar 1. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (ATC 58)

Gambar 2.5: Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Dewobroto, 2005).

Dengan kurva hubungan gaya perpindahan makin terlihat secara kualitatif level kinerjanya secara menyeluruh. Kurva tersebut dihasilkan dari analisis pushover. Pada kurva pushover digambarkan secara kualitatif kerusakan tiap kinerja, agar orang awam tahu seberapa besar kerusakan yang terjadi.

Analisis Pushover

Analisa statik nonlinier (Static Pushover Analysis) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa pushover atau analisa beban dorong statik (Dewobroto, 2005). Analisis Pushover menghasilkan kurva Pushover, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D).

Waktu Getar Alami Efektif (Periode Alami)

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan di mana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Rizkiani 2019).

Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen/elemen dihitung terhadap “perpindahan tertentu” di titik kontrol yang disebut sebagai “target perpindahan” dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana (Dewobroto, 2005).

Untuk mendapatkan perilaku struktur pasca keruntuhan maka perlu dibuat analisa pushover untuk membuat kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral titik kontrol sampai minimal 150% dari target perpindahan, δ_t .

Ada beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah Displacement coefficient method atau Metoda Koefisien Perpindahan (FEMA 273/274, FEMA 356/440 dan ATC 40) dan capacity spectrum method atau Metoda Spektrum Kapasitas (FEMA 274/440, ATC 40). Selain itu ada persyaratan perpindahan dari SNI 1726-2002 yang dapat dijadikan sebagai kriteria kinerja, akan dibahas pula.

Sistem Pemikul Momen

Dalam perencana konstruksi saat ini dikenal dua bahan material yang cukup populer dalam perencanaan konstruksi gedung bertingkat yaitu beton dan baja. Struktur yang dihasilkan kedua material ini cukup baik, tapi pada kesempatan ini peneliti ingin membuat perencana dengan menggunakan struktur baja. Itu disebabkan karena struktur baja memiliki struktur yang stabil, cukup kuat, mampu layan, awet serta memberikan kemudahan dalam pelaksanaan.

Di Indonesia ada 3 (tiga) macam struktur yang digunakan yaitu

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 1 dan 2 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 3 dan 4 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan sedang.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 5 dan 6 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi.

Sistem Portal (Moment-Frame Systems)

Ini adalah jenis struktur rangka yang didesain untuk bekerja secara inelastis penuh. Oleh karena itu pada bagian yang akan mengalami sendi-plastis perlu disiapkan secara khusus. Sistem ini cocok dipakai untuk perencanaan gedung tinggi yang masih memungkinkan dengan sistem portal. Umumnya ketinggian bangunan akan dibatasi oleh persyaratan deformasi lateral. Hal paling penting, struktur rangka harus didesain berperilaku strong-columnweak-beam untuk memastikan tidak terjadi sendi plastis di kolom, yang dapat menyebablam story mechanism.

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 Analisa Struktur Non Linear, untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal berupa pulse dan fling. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan dengan dengan gempa di hasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa Linier

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 (Vt) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

$$0,85 \frac{V1}{Vt} \geq 1$$

Dimana:

V1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

Vt = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Koreksi Faktor Redundansi

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 V1 dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (Vt) dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat,yaitu:

Syarat :

$$V_t \geq 0,85 C_s W$$

Berdasarkan Tabel 4.2 nilai Vt sb. x diperoleh :

Struktur	Arah Gempa	Vt (KN)	0.85. Cs. w	Cek
Lantai 4	Gempa X	2876.54	2795.89	Oke

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (Vt) 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.

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 didesain terhadap beban

gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan jenis gempa. Jenis gempa yang akan diberikan pada struktur baja yaitu gempa Reguler, gempa pulse, dan gempa fling. Faktor R pada gedung merupakan faktor reduksi gedung yang telah didesain pada sistem struktur baja. Model struktur akan diambil data interstory drift dan dianalisa. **Incremental Dynamic Analysis (IDA)**

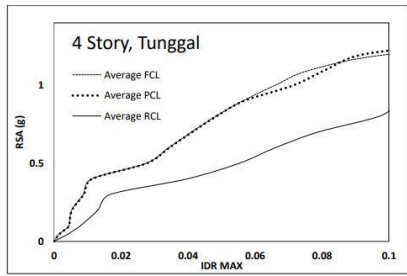
Incremental Dynamic Analysis yang dilakukan pada model struktur menghasilkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur yang selanjutnya dapat digunakan untuk membentuk kurva kerapuhan struktur sebagai metode dalam asamen kerapuhan seismik. Hasil IDA menggunakan 20 set rekaman gempa. Grafik IDA adalah hasil dari interstory drift Ratio.

Interstory Drift

Jika masing-masing node mengalami perpindahan akibat gaya gempa, maka perpindahan tersebut dapat menghasilkan simpangan antar tingkat. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh kekakuan dari struktur tersebut. Tabel 4.3 menunjukkan perbedaan nilai simpangan antar tingkat gempa reguler, pulse dan fling.

Pengaruh Gempa Tunggal

Nilai rata-rata grafik IDA pada gempa tunggal reguler, pulse, fling. Nilai IDR dari lantai 4 lebih besar pada gempa reguler daripada 2 gempa lainnya. Pada nilai $RSA(T1) = 1$ gempa regular memiliki nilai $IDR = 0.132$, gempa pulse dengan nilai $IDR = 0.071$, gempa fling dengan nilai $IDR = 0.065$.



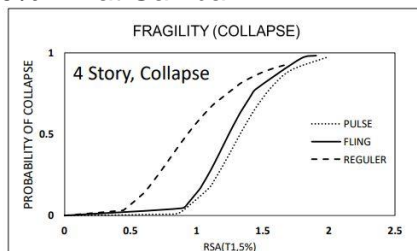
Gambar 4.1: Grafik IDA perbandingan gempa tunggal regular, pulse, fling terhadap lantai 4

Dari gambar grafik 4.1 dapat dilihat bahwa pada $RSA(T1) = 1$ gempa regular mempunyai IDR lebih besar daripada gempa pulse dan fling. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan nilai perioda alami struktur dari setiap Model dimana perioda alami struktur mempengaruhi lamanya waktu gempa yang bekerja terhadap struktur.

Analisis Probability of Collapse

Dari proses Incremental Dynamic Analysis (IDA) didapatkan nilai IDR ratio pada RSA tertentu yang kemudian akan digunakan dalam menganalisa probabilitas keruntuhan struktur gedung terhadap nilai RSA.

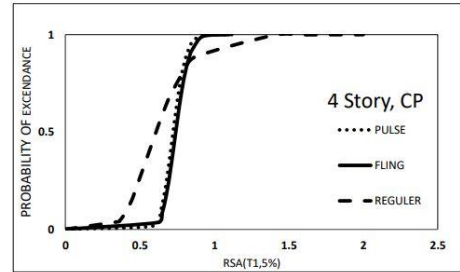
Kurva kerapuhan dari ketiga jenis gempa tunggal terhadap model lantai 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi grafik yang didapat maka semakin kecil nilai $RSA(T1)$ yang dibutuhkan untuk mencapai nilai Probability of collapse = 0,1 atau 10%. Lihat Gambar 4.2.



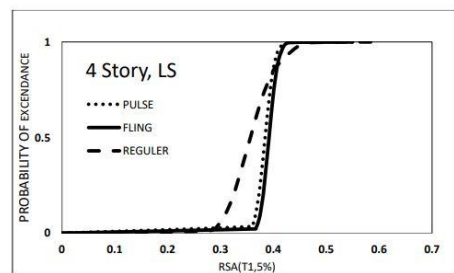
Gambar 4.2: Grafik kurva kerapuhan (collapse) gempa tunggal regular, pulse, fling terhadap lantai 4

Nilai keruntuhan struktur menurut FEMA (273) untuk kategori resiko adalah Collapse 10%, CP (Collapse Prevention) 5%, LS (Life

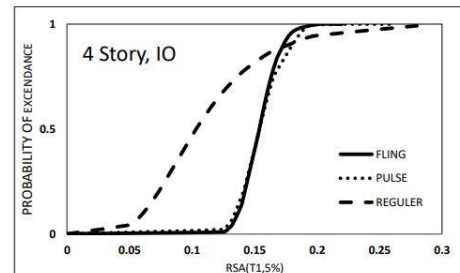
Safety) 2.5%, IO (Immediate Occupancy) 0.7%.



Gambar 4.3: Grafik kurva kerapuhan (collapse prevention) gempa tunggal regular, pulse, fling terhadap lantai 4



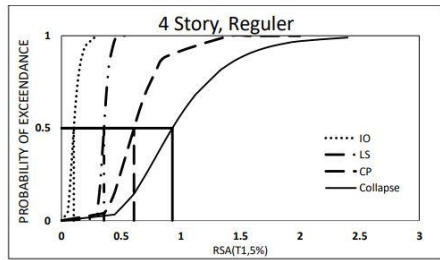
Gambar 4.4: Grafik kurva kerapuhan (Life Safety) gempa tunggal regular, pulse, fling terhadap lantai 4



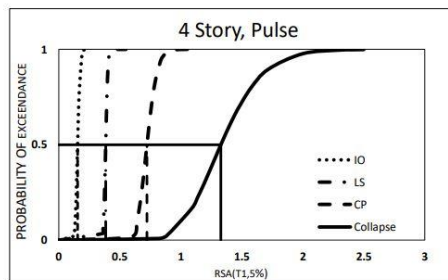
Gambar 4.5: Grafik kurva kerapuhan (immediate occupancy) gempa tunggal regular, pulse, fling terhadap lantai 4

Pada gambar 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 dapat dilihat ketiga gempa yaitu gempa tunggal regular, pulse, fling mengalami tingkat kerapuhan dengan nilai $RSA(T1)$ pada gempa regular lebih kecil dari pada gempa pulse dan gempa fling, artinya pada gempa regular membutuhkan nilai $RSA(T1)$ yang lebih kecil untuk mencapai nilai kerapuhan dengan kategori collapse, collapse prevention (CP), Life Safety (LS), Immediate Occupancy (IO).

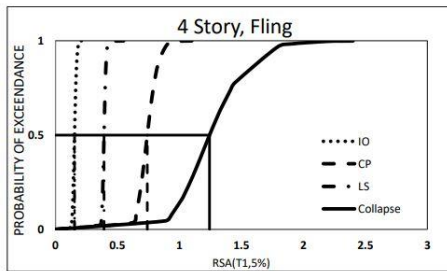
Perbandingan Median kurva fragility



Gambar 4.6: Grafik perbandingan median kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa reguler



Gambar 4.7: Grafik perbandingan median kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa pulse



Gambar 4.8: Grafik perbandingan median kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa fling

Dari tabel 4.6, 4.7, 4.8 dapat dilihat nilai median 50% keruntuhan untuk kategori resiko collapse, CP (Collapse Prevention), LS (Life Safety) dan IO (Immadiate Occupancy) pada gempa reguler, gempa pulse dan fling. Kondisi Keruntuhan Struktur Nilai keruntuhan struktur Collapse, CP (Collapse Prevention), LS (Life Safety), IO (Immadiate Occupancy) pada nilai 50% probability of collapse. Lihat tabel 4.5.

Kondisi Keruntuhan Struktur

Nilai keruntuhan struktur Collapse, CP (Collapse Prevention), LS (Life Safety), IO (Immadiate Occupancy) pada nilai 50% probability of collapse. Lihat tabel 4.5.

Tabel 4.5: Nilai RSA(T1) untuk kondisi keruntuhan.50%

Kondisi Keruntuhan	REGULER	PULSE	FLING
	RSA(T1)	RSA(T1)	RSA(T1)
Collapse	0.93	1.328	1.242
CP	0.608	0.722	0.74
LS	0.356	0.384	0.39
IO	0.103	0.154	0.153

Dari tabel 4.5 dapat dilihat nilai keruntuhan untuk kategori resiko collapse, CP, LS dan IO pada gempa reguler memiliki RSA(T1) yang lebih kecil dari pada gempa pulse dan fling. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai RSA, maka semakin tinggi pula probabilitas keruntuhan pada struktur.

KESIMPULAN

Dari studi ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut bahwa Menurut hasil analisis Incremental Dynamic Analysis perilaku struktur bila terkena gempa tunggal terlihat pada RSA(T1) yang diperoleh masing masing gempa, gempa reguler selalu memberikan nilai IDR atau simpangan yang lebih besar daripada gempa pulse dan gempa fling.

Menurut hasil analisis, diperoleh probabilitas keruntuhan struktur gedung SRPMK struktur baja bila terkena gempa tunggal: a. Probabilitas keruntuhan struktur gedung SRPMK baja menunjukan bahwa pada model struktur gempa reguler memiliki RSA(T1) yang lebih kecil dari pada gempa pulse dan fling, maka semakin kecil nilai RSA(T1) semakin cepat mencapai kondisi keruntuhan tersebut. b. Untuk kondisi keruntuhan menurut kategori resiko FEMA 2000 yaitu Collapse, (CO) Collapse Prevention, LS (Life Safety), IO (Immadiate Occupancy) pada nilai probability 50% nilai RSA(T1) yang didapat pada gempa reguler adalah Collapse

= 0.93, CP = 0.608, LS = 0.356, IO = 0.103. Pada gempa pulse memiliki RSA (T1) Collapse = 1.328, CP = 0.722, LS = 0.384, IO = 0.154. Pada gempa pulse memiliki RSA (T1) Collapse = 1.328, CP = 0.722, LS = 0.384, IO = 0.154.

DAFTAR PUSTAKA

BUKU

- Davoodi, M., Sadjadi, M., Goljahani, P., & Kamalian, M. (2012, September). Effects of near-field and far-field earthquakes on seismic response of sdof system considering soil structure interaction. In 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisbon, Portugal.
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Universitas Pelita Harapan.
- Faisal, A. (2019). (Turnitin) Pengaruh Getaran Gempa Yang Mengandung Efek Pulse Dan Tanpa Pulse Pada Struktur Tidak Simetris Sebidang. Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- (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 Modulation (PCM) Aplikasi pada Laboratorium Dasar Sistem Telekomunikasi. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 2(2), 51-57.
- Adam, M. (2019, October). Pemanfaat Mikrokontroler 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 Etap 12.6. 0. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 1(2), 62-69.

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 Modulation (PCM) Aplikasi pada Laboratorium Dasar Sistem Telekomunikasi. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 2(2), 51-57.
- Adam, M. (2019, October). Pemanfaat Mikrokontroler 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 Etap 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.
- 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 TanggaDi 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.
- 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.
- Eftekhar, 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.
- 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.
- Goda, K., & Taylor, C. A. (2012). Effects of aftershocks on peak ductility demand due to strong ground motion records from shallow crustal earthquakes. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 41(15), 2311- 2330.
- Khatami, M., Gerami, M., Kheyroddin, A., & Siahpolo, N. (2020). The effect of the mainshock–aftershock on the estimation of the separation gap of regular and irregular adjacent structures with the soft story. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 14(02), 2050008.
- Faisal, A. (2019). Influence of repeated earthquakes on the ductility demand of inelastic RC buildings. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*.
- Fitra, M., & Nasution, E. S. (2019, October). Pengembangan Produksi Dodol Mangrove Melalui Penerapan Teknologi Tepat Guna. In Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 350-354).
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada*.
- Frapanti, S. (2018). Analisa Portal yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata dari Beberapa Negara Pada

- Bangunan Bertingkat Dengan Pushover. Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- 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.
- 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.
- 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.