

EFEKTIVITAS TUMPUAN ISOLATOR KARET UNTUK MENGURANGI AKSELERASI SEMU GEMPA BUMI

Andri Budiadi^{1*}

¹ Civil Engineering Departement, Politeknik Negeri Bandung.

Jalan Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Bandung Barat.

* Corresponding author : andri.budiadi@polban.ac.id

Abstract: This research paper is to study the effect of using Rubber Bearing as Base Isolator. Two analyses are performed in this study. The first analysis is using a whole building structure to be calculated its period and to be estimated its pseudo acceleration for both fixed and isolated bases. The second analysis, period calculation and estimation of pseudo acceleration is using a single frame of the building structure. Method of analysis is using basic vibration formulas. The calculated parameters are stiffness of the structure, damped frequency, undamped natural frequency and period of vibration. Using response spectra of the building, pseudo acceleration is estimated by plotting vibration period for both fixed and isolated supports. Trial-and-Error processes are needed to find where along response spectra three lines segments two pairs of the coordinate of period and pseudo acceleration reveal the increasing value of period and decreasing value of acceleration. Comparing the pseudo acceleration of fixed and isolated base, for the first analysis, the pseudo acceleration decreases up to 53,85 %. Pseudo acceleration decreases by 51,79 % for the second analysis. The decreasing value of earthquake acceleration is only possible when both fixed and isolated base structural periods fall in the Curved down line in the response spectrum diagram.

Keywords: earthquake, pseudo acceleration, isolated base

Abstrak: Makalah penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penggunaan bantalan karet sebagai tumpuan isolator karet. Dua analisis dilakukan dalam penelitian ini. Analisis pertama menggunakan seluruh struktur bangunan untuk menghitung periodenya dan memperkirakan percepatan semu untuk tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Analisis kedua, perhitungan periode dan estimasi percepatan semu, menggunakan satu portal dari struktur bangunan. Metode analisis menggunakan rumus getaran dasar. Parameter yang dihitung adalah kekakuan struktur, frekuensi teredam, frekuensi alami tak teredam, dan periode getaran. Dengan menggunakan spektrum respons bangunan, percepatan semu diperkirakan dengan melakukan plot periode getaran untuk tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Proses coba-coba diperlukan untuk menemukan di mana sepanjang spektrum respons tiga segmen garis dua pasang koordinat periode dan percepatan semu menunjukkan peningkatan nilai periode dan penurunan nilai percepatan. Perbandingan antara percepatan semu tumpuan jepit dan tumpuan isolator, untuk analisis pertama, percepatan semu menurun hingga 53,85%. Percepatan semu menurun sebesar 51,79% untuk analisis kedua. Penurunan nilai percepatan gempa hanya mungkin terjadi ketika periode struktur tumpuan jepit dan tumpuan isolator berada pada garis lengkung menurun dalam diagram spektrum respons.

Kata Kunci: gempa bumi, percepatan semu, tumpuan isolator

1. PENDAHULUAN

Daripada memiliki struktur yang besar dan kuat, alternatif untuk menghindari kerusakan struktural akibat gempa bumi adalah dengan membatasi getarannya. Kita tidak dapat membuat struktur yang sepenuhnya tahan gempa, tetapi kita akan mengurangi kerusakannya dan membuat struktur tahan gempa. (Thakur, 2022). Salah satu cara untuk melakukan ini adalah dengan menggunakan tumpuan isolator, yaitu tumpuan yang berfungsi

sebagai isolator. Tumpuan isolator telah banyak digunakan di daerah dengan kejadian gempa bumi yang tinggi. Untuk mempelajari efek bagaimana tumpuan isolator mengurangi gaya akibat pengaruh gempa bumi, penelitian ini dilakukan untuk memahami cara kerjanya. Sistem isolasi seismik dan disipasi energi merupakan teknologi penting untuk meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan bangunan dan infrastruktur akibat gerakan tanah akibat gempa bumi. (Al-Janabi, 2025).

Tumpuan Isolator saat ini sebagian besar terbuat dari bahan dasar karet. Pada awalnya tumpuan isolator dibuat dari karet padat berbentuk silinder atau kubus. Seiring bertambahnya pengetahuan tentang pembuatan tumpuan isolator, pelat baja ditempatkan di antara lapisan karet. Baja berkekuatan tinggi ditempatkan pada inti isolator untuk memperkuat isolator dan sebagai mekanisme untuk mengurangi energi getaran.

Desain tahan gempa merupakan aspek penting dalam memastikan keselamatan dan integritas struktural bangunan tinggi di daerah rawan gempa. Seiring dunia terus menyaksikan gempa bumi yang dahsyat, pemahaman tentang strategi desain yang efektif untuk struktur tinggi menjadi sangat penting (Gunal, 2023). Secara teoritis, penggunaan tumpuan isolator akan meningkatkan periode alami dan dengan cara tertentu akan mengurangi percepatan tanah akibat gempa pada struktur yang ditopangnya dibandingkan dengan struktur dengan tumpuan jepit. Tantangan utama bagi setiap insinyur sipil saat ini adalah mengatasi gempa dan mengembangkan beberapa metode untuk membuat struktur bangunan tahan gempa. Bagian pertama dan terpenting dari bangunan yang sangat terpengaruh oleh gempa adalah pondasi yang berada di tanah (Raj, 2022). Berdasarkan spektrum respons gempa bumi yang pada umumnya, periode waktu gempa yang lebih panjang akan mengurangi percepatan struktur. Deformasi struktur akan terjadi sebagai akibat dari resistensi tumpuan isolator terhadap deformasi. Mekanisme pengurangan deformasi dihasilkan dari peredaman struktur. Bangunan dengan pondasi terisolasi telah membentuk mekanisme peredaman sendiri. Pondasi isolator dengan lapisan karet dan pelat baja bekerja dengan baik di bawah beban vertikal dan memiliki fleksibilitas yang baik untuk menahan beban lateral. Hal ini dikenal sebagai peredaman, dan karena nilai peredaman alami karet rendah, oleh karena itu ditambahkan penyumbat dari timbal di dalam bantalan karet sebagai peredam mekanis. Peredaman berfungsi untuk memperlambat dan akhirnya menghentikan gaya yang bekerja ketika gaya diterapkan pada sistem struktur. Terminologi yang tepat untuk peredaman adalah rasio peredaman, di mana dua amplitudo getaran yang berdekatan dan menurun diambil rasionya. Ketika gaya gempa bumi diinduksi dalam sistem

pondasi isolator, penyumbat dari timbal akan mengalami deformasi. Hal ini akan membuka tahap nonlinier untuk pondasi isolator. Oleh karena itu, sistem peredaman akan melepaskan gaya gempa bumi sehingga disipasi energi gempa akan terjadi. Nilai peredaman yang diukur dalam persen dapat didekati dalam uji laboratorium. Untuk mendapatkan nilai peredaman adalah dengan menerapkan perpindahan pada sistem struktur. Sebagai respons struktural terhadap gerakan satu derajat kebebasan, perpindahan terhadap waktu adalah fungsi dari peredaman. Respons struktural terhadap peredaman yang menurun, menunjukkan bahwa terjadi disipasi energi. Fungsi redaman adalah tidak linier dan tidak proporsional terhadap kecepatan (Wilson, 1997). Rasio redaman tipikal adalah lima persen, dengan nilai minimum dua persen dan nilai redaman maksimum dapat mencapai hingga 10 persen.

2. METODE PENELITIAN

Bantalan karet dengan laminasi dipelajari untuk mengidentifikasi pengaruhnya dalam mengurangi getaran gempa bumi pada struktur bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan verifikasi pengurangan percepatan semu gempa pada bangunan dengan tumpuan isolator karet. Penelitian ini awalnya dilakukan pada model gedung yang dikembangkan dan diteliti saat ini di Indonesia, yaitu Gedung Demonstrasi Indonesia. Gedung uji tersebut adalah gedung empat lantai yang digunakan sebagai mess karyawan (*housing*). Data awal yang diperoleh dari analisa Gedung Demonstrasi Indonesia adalah perpindahan lantai (*story drift*), redaman (*damping*) dan frekuensi alami gedung.

Pengurangan getaran gempa terutama akan dilihat dari penurunan nilai percepatan tanah dan peningkatan periode getaran. Untuk mempelajari topik ini, dua analisis akan dilakukan untuk memverifikasi dengan hasilnya. Analisa dilakukan dengan data awal yang ada. Analisis pertama menggunakan model desain struktural keseluruhan bangunan uji. Keterbatasan data dari model gedung uji, menuntut data tambahan dari model struktur yang lain. Model struktur harus mempertimbangkan bangunan sipil pada umumnya. Lansekap teknologi bangunan yang berubah, pemahaman teknik seismik, data, strategi rehabilitasi inovatif, dan efisiensi komputasi telah mengubah bidang teknik gempa

struktural dan bidang yang terkait, menjadi salah satu bidang teknik sipil yang paling dinamis dan berkembang, baik dalam penelitian maupun praktik. (Ruphakethy, 2024). Model kedua berupa struktur portal satu tingkat dan satu bentang sebagai pembanding yang digunakan untuk analisa tambahan. Kedua model analisis dilakukan dengan dua jenis tumpuan, yaitu tumpuan jepit dan tumpuan isolator (sendi). Analisis masing-masing model struktur dengan dua jenis tumpuan ini bertujuan untuk memperkirakan perubahan nilai periode dan percepatan tanah akibat gempa antara tumpuan jepit dan tumpuan isolator.

Selama gempa bumi, kelemahan dalam konstruksi dapat terlihat dan bahkan struktur yang tampak kokoh pun dapat runtuh. (Chandrikka, 2023). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan salah satu cara untuk menghindari kelemahan tersebut. Ada dua teori yang telah dipertimbangkan untuk analisis pada penelitian ini. Teori yang pertama adalah analisis modal dan gerakan dengan derajat kebebasan tunggal atau ganda. Analisis modal yang digunakan adalah analisis modal non-klasik dengan persamaan gerak yang mampu memverifikasi respons struktur terhadap gerakan tanah seperti yang dikarakterisasi oleh spektrum respons gempa bumi. Analisis modal dan persamaan derajat kebebasan tunggal atau ganda pada dasarnya dapat digunakan untuk memodelkan gerakan gempa bumi untuk tumpuan dasar tetap dan terisolasi. Namun, (Chopra, 1995) menganggap bahwa analisis modal tidak berlaku untuk sistem peredaman non-klasik. Teori yang kedua untuk menganalisis efek getaran gempa bumi adalah gerakan dengan derajat kebebasan tunggal atau ganda. Karena hanya satu metode analisis yang akan digunakan di sini, maka teori yang kedua atau gerakan dengan derajat kebebasan tunggal atau ganda dipilih sesuai hasil yang diharapkan dari penelitian ini.

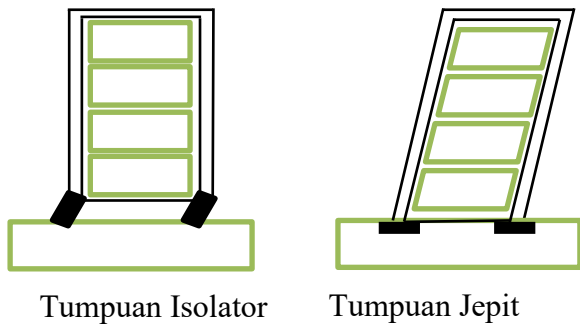
Prinsip-prinsip desain tahan gempa bukan tentang membuat struktur sepenuhnya kebal terhadap kerusakan seismik (tahan gempa), tetapi bagaimana memastikan struktur tersebut dapat menahan gempa bumi tanpa runtuh, bahkan tidak terjadi beberapa kerusakan serius. Tujuan utamanya adalah melindungi nyawa manusia dengan mencegah keruntuhan struktur, membatasi kerusakan struktural dan non-struktural, memastikan kemampuan layanan pasca gempa (Petrova, 2025). Analisa pada gedung uji

menggunakan jenis tumpuan isolator karet, yang populer disebut *Natural High Damping Rubber Bearing*. Jenis bantalan karet ini merupakan model yang dikembangkan dan diteliti saat ini di Indonesia di Gedung Demonstrasi Indonesia. Beberapa investigasi tentang sistem isolasi struktural telah dilakukan. Dalam artikel ini, tinjauan singkat beberapa studi diberikan untuk memahami perbedaan antara respons struktur dengan tumpuan jepit dan tumpuan isolator, untuk memastikan efisiensi isolator, dan untuk mengeksplorasi atribut isolator secara mendalam (Latha, 2023).

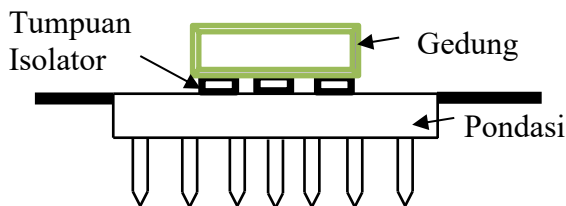
Pergerakan akibat gempa dapat secara sederhana dinyatakan sebagai osilator sederhana sebagai fungsi variabel waktu. Alternatif untuk menganalisis gempa adalah dengan memilih apakah akan menggunakan analisis dinamis atau statis. Analisis dinamis dilakukan dengan menerapkan spektrum respons dinamis pada struktur. Analisis yang lebih sederhana adalah dengan hanya menghitung efek gempa sebagai gaya geser dasar menggunakan Analisis Beban Statik Ekuivalen dan mendistribusikan gaya geser dasar sepanjang ketinggian struktur. Sebelum pengembangan banyak program komputer struktural, pemahaman tentang gaya gempa hanya pada arah utama dengan gaya utama dan arah minor tegak lurus dengan gaya minor (Budiadi, 2023). Dalam analisis gempa, jika arah utama gaya gempa menghadap ke Utara atau Selatan, arah minor dengan gaya yang lebih kecil menghadap ke arah Timur atau Barat. Ramesh (2025) secara unik mengintegrasikan material canggih seperti beton berkinerja tinggi, polimer yang diperkuat serat, dan komposit semen rekayasa dengan teknologi mutakhir seperti pemantauan kesehatan struktural berbasis IoT dan prediksi respons seismik berbasis AI. Hal ini menekankan pentingnya kode bangunan yang ketat, sistem isolasi dasar, dan perangkat disipasi energi dalam meningkatkan ketahanan struktural. Makalah ini membahas pendekatan terbaru desain seismik berbasis kinerja, strategi kontrol adaptif, dan metode terintegrasi untuk menghadapi tantangan yang dihadirkan dalam lingkungan multi-bahaya. Dengan menggunakan konsep ini, studi ini dilakukan untuk mengetahui penurunan nilai gaya gempa dengan mengubah tumpuan jepit menjadi tumpuan isolator.

Hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah bentuk silinder atau kubus dari tumpuan isolator karet memiliki kemampuan untuk bergerak ke

segala arah. Oleh karena itu, asumsi bahwa tumpuan isolator karet menerima dan menahan gerakan satu derajat kebebasan masih berlaku jika gaya gempa bekerja dengan konsep arah utama dan tegak lurus. Rumus getaran sederhana akan diadopsi untuk menentukan perubahan besaran periode dan percepatan gempa. Penerapan pergeseran lantai yang diberikan pada analisis pertama untuk mendapatkan periode merupakan langkah awal dari metodologi penelitian ini.



Gambar 1. Perbedaan antara Tumpuan Isolator dan Tumpuan Jepit



Gambar 2. Gedung dengan Tumpuan Isolator

Langkah selanjutnya adalah menggunakan nilai periode untuk diplot dalam diagram respons spektra untuk mendapatkan percepatan gempa. Pada analisis pertama digunakan rasio redaman 10%, sedangkan pada analisis kedua digunakan rasio redaman 5%. Hal ini dilakukan untuk menerapkan rasio redaman yang lebih besar pada model bangunan tiga dimensi. Pada analisis kedua, kekakuan kolom dihitung dengan menggunakan Momen Inersianya dan dibagi dengan panjang kolom. Nilai kekakuan ini adalah titik awal untuk menghitung frekuensi alami dan periode teredam. Langkah yang sama pada analisis pertama, juga dilakukan pada analisis kedua.

Dengan fokus pada pengaruh penggunaan tumpuan isolator pada bangunan yang terkena gaya gempa, keputusan mengenai penggunaan rumus getaran dasar harus dibuat. Teori ini sesuai dengan penggunaan Beban Ekuivalen Statika untuk memverifikasi Gaya Geser Dasar

dari gaya gempa pada struktur bangunan. Untuk menghitung gaya geser dasar, Mauludin (2001) menggunakan Kode Gempa Indonesia SNI 1987 dengan analisis dan model strukturnya. Bangunan uji memiliki Wilayah Spektrum Respons 2, Faktor Penting I satu, dan Faktor Struktur K satu. Gaya geser dasar adalah perkalian faktor-faktor tersebut dengan berat bangunan W_t . Dengan mengetahui gaya geser dasar, kekakuan struktur dapat ditemukan. Frekuensi alami dan periode redaman ditemukan menggunakan nilai kekakuan. Perlu dicatat bahwa rumus getaran dasar yang digunakan di sini berlaku untuk struktur baik analisis pertama maupun kedua dengan tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Rumus-rumus getaran berikut dibuat dengan mengacu pada Paz (1922) yang terdiri dari periode alami T , frekuensi alami ω , kekakuan k , dan frekuensi redaman ω_D :

$$T = \frac{2\pi}{\omega_D}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{F}{\Delta}$$

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \tag{1}$$

Di mana k adalah kekakuan material, m adalah massa struktur, F adalah gaya horizontal, Δ adalah perpindahan, ω adalah frekuensi alami, ω_D adalah frekuensi redaman, dan ξ adalah rasio redaman. Hasil perhitungan berupa periode getaran T diplotkan ke Respon Spektrum diagram untuk memperoleh percepatan tanah SA akibat gempa. Spektrum respons yang digunakan diambil dari situs web Kementerian Pekerjaan Umum (2021). Pada analisis pertama tumpuan jepit dan tumpuan isolator dimodelkan menggunakan batasan (constraint) dan kekangan (restraint) dari program komputer. Adopsi rumus kekakuan kolom dengan kondisi jepit dan sendi untuk analisis kedua didasarkan pada rumus-rumus dari Muto (1998). Tumpuan isolator karet dianggap sebagai tumpuan sendi dengan koefisien a_{RB} . Berikut ini adalah rumus-rumus untuk koefisien distribusi geser kolom dan koefisien tumpuan jepit dan sendi.

$$\begin{aligned}
 a_f &= \frac{0,5+3\bar{k}}{2+3\bar{k}} \\
 a_{RB} &= \frac{0,5 \bar{k}}{1 + 2\bar{k}} \\
 \bar{k} &= \frac{k_b}{k_k} \\
 D &= \frac{a_{RB} \cdot k_k \cdot E}{h^2} \\
 k_k &= \frac{l_k}{l} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Di mana k_b adalah kekakuan balok dan k_k adalah kekakuan kolom dan \bar{k} adalah rasio kekakuan balok dan kolom. a_f and a_{RB} adalah koefisien tumpuan jepit dan tumpuan sendi; di mana tumpuan sendi dimodifikasi untuk tumpuan isolator karet. D adalah Koefisien Distribusi Geser. I adalah Momen Inersia dan E adalah Modulus Elastisitas dan l adalah panjang kolom atau balok yang dihitung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Zhang (2023) menemukan bahwa sejumlah besar pengalaman bencana gempa bumi menunjukkan bahwa bangunan yang dirancang berdasarkan konsep desain seismik tradisional mengalami kerusakan signifikan selama gempa bumi, dengan beton hancur di bagian bawah kolom, dan baja tulangan pada sambungan mengalami deformasi. Deformasi sisa yang parah setelah gempa bumi membuat pekerjaan perbaikan pasca gempa menjadi sulit, meskipun tujuan "tidak runtuh dalam gempa bumi besar" tercapai. Berdasarkan pengalaman ini, untuk mempelajari efek penggunaan tumpuan isolator untuk bangunan yang terkena getaran gempa bumi, digunakan bangunan uji bernama Gedung Demonstrasi Indonesia. Bangunan tersebut terletak di Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia. Bangunan ini terdiri dari empat lantai dengan panjang 18 meter, lebar 7,2 meter, dan tinggi 12,8 meter. Bangunan tersebut ditopang oleh 16 buah bantalan karet, dengan 10 buah tipe H berkapasitas 59 ton dan 6 buah tipe S berkapasitas 33 ton. Bangunan tersebut memiliki redaman 9% dengan Frekuensi Alami 0,5 Hertz. Frekuensi fundamental untuk tumpuan isolator dan tumpuan jepit adalah 1,4 Hertz.

Gedung Demonstrasi Indonesia memiliki berat 875 ton. Berdasarkan Kode Gempa Indonesia, Gaya Geser Dasar dapat dihitung menggunakan data seismik. Gedung tersebut

termasuk dalam Kategori Area 2 pada Zonasi Gempa Indonesia, dengan Koefisien Gaya Geser Dasar $c = 0,007$. Faktor Penting $I = 1,0$. Faktor Tipe Struktur $K = 1,0$. (Departemen Pekerjaan Umum, 1987). Dengan berat struktur bangunan $W_t = 875$ ton, Gaya Geser Dasar V dapat dihitung sebagai berikut:

$$V = c \cdot I \cdot K \cdot W_t$$

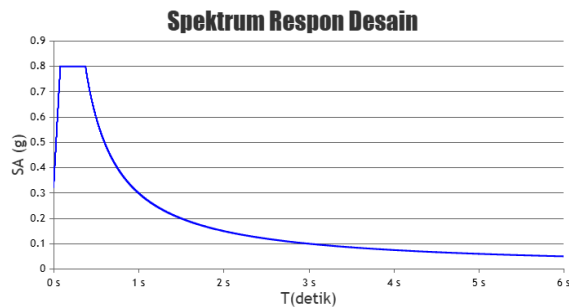
$$= 0,007 \times 1,0 \times 1,0 \times 875 = 61,25 \text{ ton}$$

Jenis tumpuan isolator yang digunakan pada gedung demonstrasi adalah Bantalan Karet Alam Peredam Tinggi. Bantalan karet tersebut memiliki 15 lapisan karet dan 14 pelat baja pengisi. Dimensi diameter bantalan karet adalah 250 mm dan tingginya 176,5 mm. Bantalan karet memiliki kekakuan horizontal 0,33 kN/mm dan kekakuan vertikal 264 kN/mm (Mauludin, 2001). Penelitian lain oleh Wijaya (2019) menyajikan topik sistem ramah gempa berbiaya rendah, yaitu isolasi dasar berbiaya rendah yang menggunakan karet lokal Indonesia dan perkuatan serat (fiber).

Efektivitas tumpuan karet dalam mengurangi dampak gempa bumi secara teoritis dimungkinkan dengan kondisi di mana periode getaran meningkat sementara percepatan menurun. Kriteria ini digunakan ketika membandingkan struktur tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Periode tumpuan isolator meningkat dibandingkan dengan tumpuan jepit. Percepatan tumpuan isolator menurun dibandingkan dengan tumpuan jepit. Dengan menggunakan rumus getaran dasar, dua analisis masing-masing dengan struktur bangunan menggunakan tumpuan jepit dan tumpuan isolator dilakukan. Analisis pertama dengan model gedung menunjukkan bahwa periode getaran struktur meningkat dari 0,42 detik jika menggunakan tumpuan jepit menjadi 0,93 detik jika menggunakan tumpuan isolator. Analisis kedua dengan model struktur portal menunjukkan periode juga meningkat dari 0,50 detik jika menggunakan tumpuan jepit menjadi 1,10 detik jika menggunakan isolator. Penurunan periode ini diikuti oleh penurunan frekuensi redaman. Membandingkan frekuensi redaman antara tumpuan jepit dan tumpuan isolator, pada analisis pertama frekuensi redaman menurun dari 15,05 rad/detik jika menggunakan tumpuan jepit menjadi 6,74 rad/detik jika tumpuan diubah menjadi tumpuan isolator. Analisis kedua juga menunjukkan bahwa frekuensi redaman menurun dari 12,59 rad/detik dengan tumpuan

jepit menjadi 5,74 rad/detik dengan tumpuan isolator. Nilai-nilai yang menurun ini menunjukkan bahwa frekuensi redaman tumpuan dengan tumpuan isolator memiliki nilai yang lebih rendah daripada tumpuan jepit.

Dalam penelitian ini ditemukan bahwa untuk mendapatkan percepatan tanah akibat gempa bumi, penggunaan diagram spektrum respons dapat dicapai. Proses coba-coba diperlukan untuk menemukan di mana sepanjang spektrum respons dengan tiga segmen garis, dua pasang koordinat periode dan percepatan yang menunjukkan peningkatan nilai periode dan penurunan nilai percepatan antara tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Sesuai tujuan dari penelitian ini maka dilakukan analisa untuk kedua kondisi perubahan periode dan percepatan. Dengan melakukan plot periode dan percepatan pada spektrum respons Gedung Demonstrasi di Sukabumi, Jawa Barat, koordinat gabungan periode dan percepatan untuk struktur dengan tumpuan jepit dan tumpuan isolator disajikan dalam diagram dan tabel berikut.



Gambar 3. Periode and Percepatan Semu Diplotkan pada Diagram Response Spectrum

Tabel 1. Period and Acceleration Values Plotted on the Response Spectrum Diagram

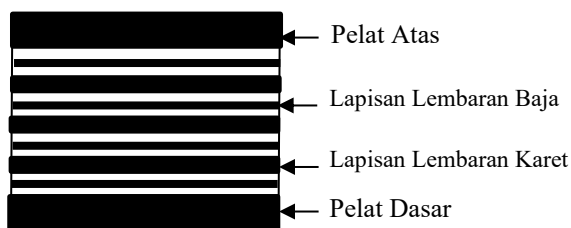
No	Tipe Tumpuan	Periode (Detik)	Percepatan Semu (g)
1	Jepit	0,42	0,65
2	Isolator	0,93	0,30
3	Jepit	0,50	0,56
4	Isolator	1,10	0,27

Untuk memperkirakan percepatan tanah puncak, solusi grafis digunakan di sini. Prosedurnya adalah dengan melakukan plot periode yang dihitung ke diagram spektrum respons pada sumbu garis horizontal. Kemudian digambar garis vertikal hingga berpotongan dengan garis spektrum respons dan menariknya secara horizontal sampai menyentuh sumbu vertikal.

Nilai pada sumbu vertikal itulah nilai dari percepatan tanah. Percepatan tanah dalam diagram spektrum respons sebenarnya bukanlah percepatan nyata melainkan percepatan semu. Percepatan nyata diukur menggunakan Seismograf, sedangkan percepatan semu dikembangkan dari data Seismograf menggunakan prosedur dan formulasi teoretis. Dalam studi ini, estimasi penurunan percepatan semu diukur dengan menghitung perbedaan antara struktur dengan tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Pada analisis pertama, plot periode 0,42 detik dan digambar garis vertikal sejajar dengan sumbu percepatan hingga menyentuh garis spektrum respons, kemudian digambar garis horizontal. Ketika garis horizontal menyentuh sumbu percepatan semu vertikal, ditemukan bahwa percepatan sama dengan 0,65 g untuk struktur tumpuan jepit. Prosedur yang sama dilakukan untuk periode 0,93 detik untuk mendapatkan percepatan 0,30 g untuk tumpuan isolator. Pada analisis pertama, percepatan semu menurun sebesar 53,85% antara struktur dengan tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Prosedur yang sama dilakukan dengan melakukan plot periode 0,50 detik untuk mendapatkan percepatan semu 0,56 g untuk struktur dengan tumpuan jepit. Untuk struktur dengan tumpuan isolator, periode 1,1 detik akan memiliki percepatan semu 0,27 g. Membandingkan struktur dengan tumpuan jepit dan tumpuan isolator, percepatan semu berkurang sebesar 51,79%.

Efektivitas penggunaan tumpuan isolator dari bantalan karet diperkirakan dengan menggunakan diagram spektrum respons gempa. Bangunan uji bernama Gedung Demonstrasi Indonesia yang berada di Sukabumi, Jawa Barat, sesuai untuk menggunakan spektrum respons Sukabumi yang tepat. Spektrum respons ini diperoleh dari situs web Kementerian PUPR (2021). Dalam diagram spektrum respons, terdapat tiga segmen garis: segmen garis menanjak AB, segmen garis datar BC, dan segmen garis melengkung ke bawah CDE. Pada segmen garis menanjak AB, setiap peningkatan periode getaran akan diikuti oleh peningkatan percepatan. Penggunaan tumpuan isolator dengan bantalan karet untuk koordinat periode dan percepatan yang berada di segmen garis ini tidak disarankan, karena peningkatan periode juga akan meningkatkan percepatan. Dalam kasus ini, energi gempa tidak akan tersebar tetapi terus berlanjut. Ketika koordinat periode dan percepatan

jatuh pada segmen garis naik AB, baik periode maupun percepatan meningkat ketika tumpuan tetap diubah menjadi tumpuan isolator. Segmen garis AB ini adalah kondisi terburuk untuk menggunakan tumpuan isolator. Segmen garis respons spektrum BC adalah garis datar. Perubahan periode apa pun tidak memengaruhi percepatan. Penggunaan isolator bantalan karet juga tidak baik ketika koordinat periode dan percepatan jatuh pada segmen garis ini. Dibandingkan dengan segmen garis naik AB; namun, segmen garis datar BC ini lebih baik, karena peningkatan periode tidak akan memengaruhi besarnya percepatan tanah gempa. Ini berarti bahwa energi gempa tidak akan tersebar, meskipun struktur mengalami periode getaran yang lebih lama. Inilah alasan mengapa penggunaan bantalan karet juga tidak disarankan ketika koordinat periode dan percepatan jatuh pada segmen garis datar BC ini. Bantalan karet paling cocok jika koordinat periode dan percepatan jatuh pada segmen garis melengkung ke bawah CDE. Peningkatan periode diikuti oleh penurunan percepatan. Pengurangan percepatan berarti energi gempa berkurang. Namun, tidak semua segmen garis ini memiliki keuntungan menggunakan tumpuan isolator karet. Pada segmen garis ini, peningkatan periode dan penurunan percepatan antara tumpuan jepit dan tumpuan isolator merupakan tanda kondisi yang baik untuk menggunakan tumpuan isolator karet. Efektivitas penggunaan tumpuan isolator karet bergantung pada perhitungan yang membuktikan kondisi peningkatan periode dan penurunan percepatan antara tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Secara khusus, hal ini terletak pada segmen CDE di dekat titik D. Titik koordinat periode dan percepatan semu di dekat kiri dan kanan Titik D pada diagram respons spektrum adalah nilai periode terbaik yang dihitung untuk menggunakan tumpuan isolator karet. Berikut ini adalah ilustrasi tumpuan isolator karet dari Gedung Demonstrasi.



Gambar 4. Ilustrasi Tumpuan Isolator Karet Konvensional

4. KESIMPULAN

Efektivitas penggunaan tumpuan isolator dipelajari untuk memperoleh verifikasi parameter getaran apa yang perlu diamati untuk meminimalkan guncangan gempa. Pengurangan guncangan gempa hanya mungkin jika percepatan tanah akibat gempa berkurang. Dengan meminimalkan percepatan gempa, gaya gempa yang dikenakan pada bangunan juga akan berkurang. Ini sebagai akibat dari pengurangan gaya gempa dasar. Pengurangan gaya gempa dasar berhubungan langsung dengan penurunan gaya yang ditimbulkan pada suatu bangunan. Selanjutnya, tegangan dan efek lain akibat gempa pada elemen bangunan akan berkurang. Secara teori, percepatan berhubungan langsung dengan periode getaran. Peningkatan periode getaran biasanya memiliki efek buruk terhadap penurunan percepatan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif tumpuan isolator dalam meningkatkan periode dan mengurangi percepatan getaran gempa. Penelitian ini akan mencakup temuan kedua kondisi pada tumpuan jepit dan tumpuan isolator. Pengamatan terhadap bagaimana peningkatan periode dan penurunan percepatan terjadi dalam perubahan dari tumpuan jepit ke tumpuan isolator. Karena sebagian besar bangunan dibuat dengan menggunakan tumpuan jepit, perubahan tumpuan jepit menjadi tumpuan isolator dievaluasi di sini. Tumpuan isolator yang dipelajari di sini terkait dengan tumpuan dari bahan karet, dan tidak mempertimbangkan jenis tumpuan isolator lainnya. Terlepas dari inovasi-inovasi ini, tantangan terkait biaya, inkonsistensi regulasi, dan akses terbatas terhadap teknologi mutakhir tetap ada, terutama di wilayah berkembang (Shahjalal, 2024).

Sebagian besar guncangan gempa didominasi oleh komponen gaya horizontal daripada komponen vertikalnya. Meskipun komponen vertikal gempa telah ditemukan di beberapa lokasi gempa. Komponen vertikal yang jarang dan komponen horizontal yang dominan adalah merupakan hasil dari tumbukan antara dua lempeng tektonik litosfer, yang sebagian besar bekerja pada arah horizontal. Mekanisme bagaimana tumpuan isolator akan mengisolasi struktur bangunan dari guncangan gempa adalah dengan membuatnya sedemikian rupa sehingga ketika gaya gempa menggetarkan struktur di atasnya, struktur tersebut hanya akan menerima sebagian kecil dari efeknya. Dengan kata lain,

tumpuan isolator meminimalkan transmisi gaya dari tanah tempat gaya gempa berasal ke bangunan atau struktur lain di atas tanah. Guncangan akibat gempa dapat dikurangi dengan memasang tumpuan isolator. Tumpuan isolator juga dapat menstabilkan struktur ketika tanah digetarkan oleh getaran gempa. Percepatan struktur bangunan akan berkurang dan pada akhirnya akan terlindungi dari goyangan atau efek deformasi lainnya. Lebih jauh lagi, kerusakan akibat gempa bumi dapat dikurangi.

Melakukan plot periode alami pada diagram spektrum respons akan memberikan nilai percepatan semu. Membandingkan percepatan semu antara struktur dengan tumpuan jepit dan tumpuan isolator akan memberikan perkiraan perubahan persentasenya. Dengan menggunakan model analisis struktur gedung demonstrasi, percepatan semu berkurang sebesar 53,85% jika tumpuan jepit diubah menjadi tumpuan isolator. Dalam analisis portal tunggal, dengan mengganti tumpuan jepit dengan tumpuan isolator, percepatan semu berkurang sebesar 51,79%. Angka penurunan persentase ini cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa sangat efektif untuk mengurangi gaya gempa dengan menggunakan tumpuan isolator khususnya isolator karet.

Penelitian ini juga menemukan bahwa efektivitas penggunaan tumpuan isolator berbahan karet terlihat ketika koordinat periode dan percepatan diplot ke diagram spektrum respons, khususnya terletak di segmen CDE dekat titik D. Dengan menentukan besaran periode dan percepatan semu pada saat mengubah tumpuan jepit menjadi tumpuan isolator, akan diperoleh keuntungan dari penggunaan tumpuan isolator berbahan karet. Teknik ini membutuhkan proses iterasi dan coba-coba untuk menemukan di segmen mana di sepanjang garis spektrum respons, kondisi peningkatan periode dan penurunan percepatan semu dapat terjadi. Ketika kondisi ini terjadi, penggunaan isolator berbahan karet memberikan keuntungan untuk mengurangi guncangan gempa. Karena hanya wilayah tertentu dari garis spektrum respons yang dapat mengalami kondisi ini, pemilihan geometri struktur yang sesuai dengan peningkatan periode dan penurunan percepatan ketika tumpuan jepit diubah menjadi tumpuan isolator harus dilakukan sebagai langkah pertama. Langkah selanjutnya adalah melakukan modifikasi geometri struktur.

Tumpuan isolator berbahan karet digunakan karena memiliki kekakuan horizontal yang rendah dan kekakuan vertikal yang cukup tinggi. Penggunaan tumpuan isolator berbahan karet akan membuat bangunan atau struktur lain bergoyang tanpa mengalami deformasi besar. Hal ini berbeda dengan bangunan yang ditopang dengan tumpuan jepit. Goyangan yang berlebihan akan menghasilkan deformasi yang besar pula. Tumpuan isolator dari karet, dibandingkan dengan tumpuan jepit, menghasilkan periode yang lebih tinggi dan percepatan tanah gempa yang lebih rendah. Secara umum, tumpuan isolator karet lebih baik daripada tumpuan jepit dalam meredam getaran gempa. Karakteristik ini sesuai dengan tujuan untuk menghentikan perpindahan getaran gempa dari tanah ke bangunan di atasnya. Fleksibilitas tumpuan isolator karet dalam menerima gaya horizontal merupakan kunci untuk mengurangi atau meminimalkan gaya gempa yang dipindahkan ke bangunan di atasnya. Karena karakteristiknya, tumpuan isolator dapat digunakan dan dikembangkan secara luas. Hal ini termasuk melakukan verifikasi segmen terbatas dalam garis spektrum respons di mana penerapan pemanfaatan tumpuan isolator karet dapat dilakukan. Walaupun demikian, studi lebih lanjut masih diperlukan untuk menjelaskan kelanjutan dari temuan ini.

5. REFERENSI

- Al - Janabi, D. Al - Jeznawi, TY. Yang, LFA Bernardo, JM de Almeida Andrade. "Enhancing Structural Resilient for Sustainable Infrastructure : A Global Review of Seismic Isolation and Energy Dissipation Practices". *MDPI Journal Sustainability* 2025, 17(16):7314. August,2025.<https://www.mdpi.com/20711050/17/16/7314>
- Budiadi, A. Rekayasa Gempa pada Struktur Gedung dan Jembatan. *Diktat Kuliah untuk Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung*. Politeknik Negeri Bandung. Bandung, Indonesia. 2003.
- Chandrikka, V; D S Rajkumar . " Development of Sustainable Earthquake Resistance Building for Future Generation". *Conference Paper*. Vol 388. Pp. 239-249.November,2023. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-6233-4_22
- Chopra, AK. Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice Hall. New Jersey, USA. 1995.

- Badan Standardisasi Nasional. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. BSN. Jakarta. 2019. Departemen Pekerjaan Umum. Previous edition : Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung. SKBI-1.3.53-1987 UDC 699.841. Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. 1987.
- Gunat, AY; M. Jamo. "Review of Earthquake Resistance Design Strategies for Tall Structure : Lesson from Global Case Studies". *Research Gate, Gaziantep University*. June, 2023. <https://www.researchgate.net/publication/371807331>
- Response Spectra Gempa Kota Sukabumi. [https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.4983 & ss = 1.1209&sl = 0.4928 & tl = 20 & kelas = 2#grafik](https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.4983&ss=1.1209&sl=0.4928&tl=20&kelas=2#grafik).
- Latha A; M A. Dhevi, K A. Henrietta, V. Pavatharani. "Earthquake Resistance Structure : A Review". *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*. Vol. 10. Issue 4. pp. 496-499. October, 2023. <https://ijrar.org/papers/IJRAR1DDP072.pdf>.
- Mauludin, L M. Permana, R. Aplikasi dan Metode Perencanaan Sistem Bantalan Karet Konvensional Sebagai Penahan Gempa. *Study Kasus D IV Konstruksi Bangunan Gedung*. Jurusan Teknik Sipil Polban. Bandung, Indonesia. 2001.
- Muto, K. A Seismic Design Analysis of Buildings. Maruzen Company, Ltd. , Tokyo . Jepang, 1974.
- Paz, M. Structural Dynamics. Theory and Computation. Second Edition. CBS Publishers and Distributors. Delhi, India. 1987.
- Petrova, O. "Latest Technology in the Design of Earthquake Resistent Structure". *International Journal of Revolutionary Civil Engineering*. Vol. 01. Issue 01. Pp. 07-09. Jan. - Feb. 2025. https://www.civilresearchjournals.com/uploads/archives/20250619102301_3.pdf
- Raj, A. AK.Singh, A.Goel, A.Jeena. "Modern Techniques for Earthquake Resilient Building:A Review". *Conference Paper Vol. 199*. Pp 11-19. March, 2022. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-6647-6_2
- Ramesh, V; MI Ambrasan , B. Mathuramu . " Advance Strategies in Earthquake Resistant Structural Engineering : Seismic Design , Materials, and Innovations. *Asian Journal of Civil. Engineering*. Vol 26. Pp. 1413-1428. March, 2025. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42107-025-01298-8>
- Ruphakethy, R; D. Gautam, "Seismic Impact on Building Structures : Assesment, Design and Strengthening". *Building 2024*. 14(6). 1545. May, 2024. <https://doi.org/10.3390/buildings14061545>.
- Shahjalal, M; AKM Yahia, M. Yahia, Asm Marshed, NI Tanha. " Earthquake Resistance Building Design : Innovations and Challenges". *Global Mainstream Journal of Innovation, Engineering and Emerging Technology*. <https://www.researchgate.net/publication/384936731> Vol. 03. Issue 04. Pp. 101-109. September, 2024. DOI:10.62304/jieet.v3i04.209.
- SNI T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2005.
- Thakur, A; N. Kumar, S. Rana, S. Kaith. "Case Study of Earthquake Resistant Structure and Its Recent Innovation in Construction". *International Journal in Innovation Research in Engineering and Management*. Vol. 09. Issue 2. April, 2022. <https://www.researchgate.net/publication/362546643>. DOI:10.55524/ijirem.2022.9.2.89
- Wijaya, BTW; Tavo, T. Mechanical Properties of Indonesian Rubber for Low Cost Base Isolation. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. Vol. 10. Issue 1. January, 2019. pp884_890. https://www.researchgate.net/publication/331161057_Mechanical_properties_of_Indonesian_rubber_for_low-cost_base_isolation
- Wilson, E L. Three Dimensional Dynamic Analysis of Structures with Emphasis on Earthquake Engineering. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA. 1997.
- Zhang, RT; Research Review on Earth Resilient Structures Highlight in Science, Engineering and Technology. Vol. 52. 2023. <https://pdfs.semanticscholar.org/a1a3/0738c79d69020771c1ce6d23f281bf42c2d6.pdf>.