

Kontrol Deformasi Berlebih akibat Beban Gempa pada Struktur Gedung Bertingkat dengan Penambahan *Curved Damper* pada Bangunan

Alfinna Mahya Ummati*

Teknik Sipil, Jurusan Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera
E-mail: Alfinna.ummati@si.itera.ac.id

Andrew Putra Hasundungan

Teknik Sipil, Jurusan Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera

Abstrak

Pada tahun 2017, Hsu dkk memperkenalkan peran *curved damper* untuk mengurangi deformasi pada struktur portal penahan momen dengan beban siklik, *curved damper* dapat meningkatkan performa struktur yang bergantung pada Panjang dan sudut lengkung kurva damper. Terinspirasi dari model ini, penelitian ini mempelajari tentang peran dari *curved damper* jika diaplikasikan pada struktur bangunan bertingkat dengan beban gempa yang pernah terjadi. *Curved damper* yang diasumsikan dengan *multilinear link element* ditempatkan pada setiap sudut kerangka bangunan pada setiap lantai, deformasi yang terjadi dibandingkan baik sebelum dan setelah terpasangnya *curved damper*. Sebanyak lima titik ditinjau untuk mengamati perubahan deformasi yang terjadi dan penelitian yang dilaksanakan telah menunjukkan bahwa *curved damper* dapat menurunkan deformasi struktur hingga 63% akibat beban gempa yang telah dinormalisasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa *curved damper* dapat dipertimbangkan untuk digunakan dalam rangka pembangunan struktur resilien terhadap gempa. Penelitian ini merupakan penelitian awal untuk selanjutnya *curved damper* disimulasikan dengan *curved frame* pada struktur.

Kata-kata Kunci: *Bangunan, curved damper, deformasi, gempa, link element*

Abstract

The previous study proposed the role of *curved damper* to reduce deformation of the moment resisting frame subjected to the cyclic load, *curved damper* able to improve the structure performance regarding the length and arc angle. Inspired by this model, this research studied about the role of *curved damper* if it applied to the real structure with the real seismic loading. *Curved damper* which assumed as *multilinear link element* placed on the corner of the frame of each story then compared before and after the damper existing. 5 locations point out to observed the structure deformation and it was shown that the *curved damper* capable in reducing the deformation subjecting the normalized earthquake loading up to 63%. This research shows that *curved damper* is considerable to use in order to build the earthquake resilient building. This simplified modelling of the *curved damper* as the preliminary analysis for the *curved geometry* of the *curved damper* for further research.

Keywords: *Building, curved damper, deformation, earthquake, link element*

1. Pendahuluan

Pembangunan dengan konsep bangunan tahan gempa sudah harus mulai diterapkan dalam setiap pembangunan di Indonesia. Melihat kondisi geografis dan geologis Indonesia yang merupakan daerah dengan intensitas gempa yang tinggi, sangat rawan jika konsep bangunan konvensional masih tetap digunakan tanpa adanya pertimbangan terhadap beban gempa yang kemungkinan besar akan menjadi faktor kerusakan tertinggi.

Struktur bangunan baja sangat tinggi diminati dalam pembangunan, mempertimbangkan efisiensi yang tinggi dalam waktu pembangunan, biaya, dan

kemudahan instalasi. Namun tingkat daktilitas yang tinggi akan berpengaruh pada kemampuan bangunan. Bangunan berstruktur baja sangat rentan terhadap getaran dan fatigue, yang menyebabkan elemen baja akan mudah mencapai titik leleh dalam kurun waktu tertentu.

Struktur baja sering digunakan pada daerah dengan intensitas gempa yang tinggi namun biasanya bangunan dengan struktur baja memiliki titik perlemahan pada area sambungan akibat terlalu rigid, terlebih jika struktur tersebut menggunakan sambungan las. Untuk itu sambungan semi rigid sering digunakan untuk menghindari kerusakan tiba-tiba pada sambungan las. Namun kelemahan dari sambungan semi rigid ini yaitu sambungan diizinkan untuk

* Penulis Korespondensi: Alfinna.ummati@si.itera.ac.id

mengalami sedikit pergerakan, akibatnya jika terjadi gempa, sambungan ini akan memiliki deformasi berlebih.

Curved damper ditempatkan di daerah sambungan dengan model sambungan semi rigid ini dengan kekakuannya lebih rendah dari kekakuan struktur utama, dengan alasan bahwa pada saat gempa terjadi, energi gempa akan terpusat pada elemen terlemah pada bangunan. Energi gempa yang ada akan terpusat pada *curved damper*, dan jika *curved damper* tidak dapat menahan kelebihan gaya yang ada akan menuju ke elemen lemah selanjutnya setelah *curved damper* mengalami kegagalan.

Dengan kata lain, *curved damper* akan menjadi elemen yang dikorbankan pertama pada saat gempa terjadi untuk mengalami kegagalan sebelum struktur utama. Hal ini dapat menjadi indikator kerusakan bangunan untuk menyelamatkan diri atau untuk melaksanakan retrofitting bangunan sebelum struktur utama mengalami kegagalan. Disisi lain, dengan menjadikan *curved damper* sebagai indikator kegagalan struktur, akan menambah waktu penyelamatan diri bagi para pengguna sebelum struktur utamanya mengalami keruntuhan.

Mempertimbangkan demand yang tinggi dan capacity yang terbatas, maka usaha untuk meningkatkan performa struktur bangunan baja dilakukan untuk memperpanjang usia layanan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk: Mengaplikasikan dan membuktikan apakah *curved damper* juga dapat menambah performa struktur jika dipasangkan pada struktur dan beban sesungguhnya, mengidentifikasi perubahan deformasi struktur sebelum dan setelah adanya *curved damper*, dan mengetahui tingkat efisiensi *curved damper* jika terpasang pada bangunan struktur baja empat lantai dengan beban gempa tertentu

2. Dasar Teori

Penggunaan peredam dalam bangunan telah banyak dikembangkan dalam dunia konstruksi di berbagai tempat (Son L., Bur M., Satria E., Rizfa E.A., 2020). Penelitian-penelitian dalam bidang kegempaan pada bangunan juga sudah banyak dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas struktur jika dikenakan gaya gempa, Maer, 2008, meneliti tentang bangunan joglo yang merupakan salah satu contoh bangunan konvensional yang masih ada ditengah masyarakat terhadap kapasitasnya dalam menahan beban gempa dengan memanfaatkan konsep peredam pada sendi yang terpasang pada umpak bangunan (Maer B.W., 2008). Penggunaan *base isolator* dan *Tuned Mass Damper* untuk memperpanjang periode struktur (Cahyani R.O., 2021) (Ariadi Deni., 2015).

Beam column joint atau sambungan pada balok kolom merupakan lokasi kritis bangunan. Pada bagian ini terdapat sambungan yang merupakan bagian perlemahan struktur. Pada bangunan dengan struktur baja, sambungan pada balok dan kolom pada mulanya banyak menggunakan sambungan las. Namun, sambungan las memiliki tingkat kegetasan yang tinggi

dan jika mengalami leleh, kerusakan akan terjadi secara tiba-tiba. Tipikal kerusakan dari sambungan las ini adalah terjadinya keretakan pada daerah las yang kemudian merambat pada elemen utama bangunan, baik pada badan ataupun sayap balok/kolom (Dubina D., Stratan A., 2002).

Dengan konstruksi seperti ini, tidak akan ada waktu banyak untuk menyelamatkan diri pada saat struktur mengalami kerusakan. Oleh karena hal tersebut, sambungan semi rigid atau sambungan baut lebih direkomendasikan mengingat sambungan ini mengizinkan adanya pergerakan struktur yang dibatasi. Namun, kelemahan dari sambungan semi rigid ini adalah terjadinya deformasi yang tidak terkontrol pada saat terjadinya gempa. Untuk itu penelitian-penelitian mulai dilakukan untuk mengembangkan alat-alat yang dapat ditambahkan untuk meningkatkan kapasitas bangunan pada daerah sambungan balok kolom sekaligus sebagai Energy Disipation Device (EDD).

Hsu & Halim pada tahun 2017 memperkenalkan *curved damper* dalam meningkatkan performa dari struktur portal baja dengan beban siklik, dalam penelitian tersebut menyebutkan jika performa dari struktur portal baja akan meningkat berbanding terbalik dengan sudut kelengkungan damper. *Curved damper* mampu mendisipasi energi hingga 2.62 kali dengan meningkatkan kekuatan hingga 3.19 kali dan meningkatkan kekakuan struktur hingga 2.36 kali dari struktur tanpa peredam (Hsu H.L., Halim H., 2017).

Fathizadeh dkk mengkombinasikan *curved damper* dengan truss moment frame (CDTMF) dan membandingkannya dengan conventional steel trusses, hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa dengan push over analysis, CDTMF dapat meningkatkan efisiensi dalam mengontrol puncak dari respon dinamik, sehingga pada hazard level, CDTMF dapat mengendalikan deformasi dan akselerasi struktur (Fathizadesh S.F. dkk., 2020) (Dehghani S. dkk., 2021).

Kombinasi dari braced-knee damper dan *curved damper* juga dikaji untuk memaksimalkan kerja dari bresing yang dipasang menyilang dengan *curved damper* pada ujungnya, kombinasi dari kedua damper ini efektif untuk meningkatkan performa struktur portal pada gempa tingkat tinggi (Ghabussi A., Marnani J.A., 2021).

Sebagaimana prinsip kerja pada *special moment resisting frames (SMRF)* dan *centrically braced frames (CBF)* sebagai upaya penerapan bangunan tahan gempa dengan pengaruh gaya lateral, daktilitas bangunan dapat tercapai dengan baik apabila sambungan pada balok dan kolom mencukupi untuk menahan gaya akibat gempa yang ada. Sambungan yang paling banyak terdapat sambungan balok kolom ini akan menjadi bagian perlemahan struktur, dimana gaya lateral yang mengenai bangunan pertama kali akan menuju dan terfokus pada titik paling lemah bangunan yaitu pada sambungan (Hsu H.L., Li Z.C., 2015). Sambungan balok dan kolom merupakan titik kritis bangunan, pada lokasi ini lah kerusakan

bangunan akibat gempa sering terjadi. Penambahan peredam pada lokasi ini akan mengalihkan lokasi perlemahan struktur, dengan membuat kekakuan pada peredam lebih rendah dari kekakuan sambungan balok dan kolom, maka bagian terlemah akan berpindah dari yang pada mulanya berada pada sambungan balok kolom beralih pada bahan peredam tambahan yang ditambahkan, seiring berpindahnya lokasi elemen paling lemah pada bangunan.

Hsu dan Li, 2015 menempatkan knee braced dengan posisi inplane dan outplane pada sambungan balok dan kolom, Pada tahun 2016, Hsu dan Hendra menempatkan *curved damper* pada lokasi yang sama. Kedua damper yang terpasang akan menjadi elemen yang akan dikorbankan pada saat adanya gaya lateral dari gempa, sehingga elemen tersebut akan melindungi struktur utama untuk mengalami kerusakan. Konsep ini lah yang diajukan pada penelitian ini untuk meningkatkan performa bangunan dengan penambahan *curved damper* pada sambungan balok dan kolom bangunan.

Seluruh penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya membuktikan bahwa *curved damper* yang ditambahkan sebagai elemen peredam gempa dapat meningkatkan ketahanan struktur dalam menahan beban siklik yang diberikan.

Dengan landasan teori yang ada, penggunaan *curved damper* sebagai alat peredam tunggal pada struktur sebenarnya belum dengan menggunakan beban gempa pernah dikaji, hal ini yang melatarbelakangi penelitian ini dilaksanakan.

3. Metodologi

Pada tahun 2018, Gedung Kuliah Umum 1 (GKU 1) dibangun di lingkungan Institut Teknologi Sumatera. Merupakan Gedung kuliah empat lantai dengan konstruksi baja. Gedung terbangun dengan luas bangunan 2688 m² yang diperuntukkan sebagai Gedung kuliah dan aula di lantai paling atasnya.

GKU 1 berlokasi di Provinsi Lampung yang merupakan wilayah di Pulau Sumatera dengan intensitas gempa yang tinggi, percepatan tanah akibat gempa yang berasal dari pergerakan tanah kemudian disalurkan pada bangunan melalui pondasi dan terus menuju ke posisi teratas bangunan. Keberadaan device peredam getaran gempa atau earthquake isolation device diperlukan untuk mengurangi gaya lateral yang disalurkan oleh gempa. Dengan demikian, adanya seismic isolation device ini akan membuat Gedung memiliki resilien untuk bertahan dan menurunkan tingkat kerusakan pada saat gempa terjadi.

Pada saat gempa terjadi, percepatan total merupakan kombinasi dari percepatan gempa dan percepatan dari struktur akibat beban sendiri bangunan

$$\ddot{u}_{total} = \ddot{u} + \ddot{u}_g \quad (1)$$

Total gaya yang terjadi pada bangunan tanpa adanya peredam struktur merupakan penjumlahan dari inertial force dan *resisting force*.

$$m.(\ddot{u} + \ddot{u}_g) + k.u = 0 \quad (2)$$

$$m.\ddot{u} + k.u = -m.\ddot{u}_g \quad (3)$$

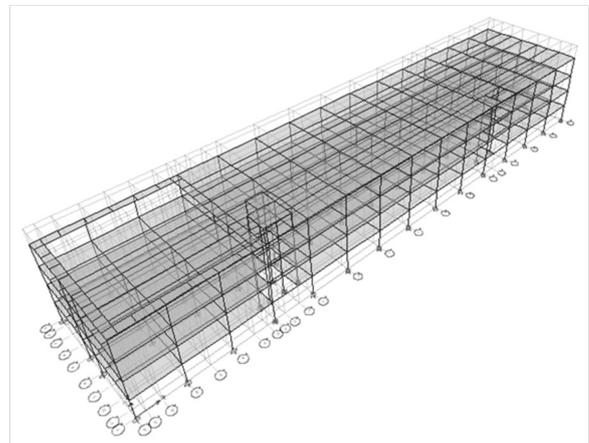
Total gaya pada sisi kiri merupakan gaya yang harus dihasilkan oleh struktur untuk melawan gaya gempa yang ada. Jika total gaya struktur kurang dari gaya gempa yang terjadi, maka kerusakan akan mulai muncul, dan apabila perbedaannya cukup signifikan, maka Gedung akan mengalami keruntuhan. Untuk mempertahankan posisinya, adanya peredam dapat menyumbangkan *damping force* sebesar $c.\dot{u}$, dimana keduanya berturut-turut merupakan koefisien redaman yang berasal dari material peredam dan kecepatan struktur. Sehingga **Persamaan (3)** menjadi:

$$m.\ddot{u} + c.\dot{u} + k.u = -m.\ddot{u}_g \quad (4)$$

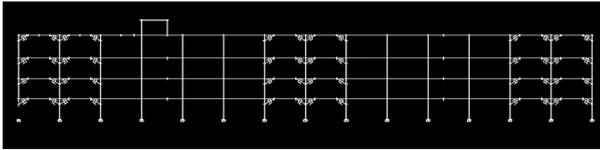
Pada penelitian ini, *damping force* merupakan kontribusi dari *curved damper* yang akan dipasang pada lokasi-lokasi tertentu, sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hsu dan Halim pada tahun 2017, *curved damper* terbukti dapat meningkatkan performa struktur dalam memperpanjang waktu kerusakan pada struktur moment *resisting frame* dalam penelitiannya.

Curved damper yang terpasang merupakan device tambahan yang mudah untuk dipasang dan diganti jika mengalami kerusakan. Kekakuan dari *curved damper* akan didesain untuk lebih lemah dari struktur utamanya, dengan harapan bahwa *curved damper* merupakan elemen pertama yang akan mengalami kerusakan pada saat terjadinya gempa. Dengan demikian, kerusakan dari *curved damper* ini juga akan menjadi parameter untuk menginstruksikan aksi penyelamatan pengguna bangunan, sehingga memperpanjang waktu penyelamatan diri dan akan memperkecil adanya korban jiwa pada saat bangunan mengalami keruntuhan.

GKU 1 ITERA dipilih sebagai obyek penelitian, yang akan dimodelkan dalam software analysis Etabs dengan kondisi saat ini yaitu tanpa *curved damper*, dan selanjutnya akan dibandingkan dengan analisis struktur dengan pemasangan *curved damper*. **Gambar 1** merupakan tampak dari bangunan asli, dan **Gambar 2** merupakan posisi penempatan *curved damper* pada bangunan. Posisi dari *curved damper* ditempatkan dalam posisi 3 frame paling kanan, kiri, dan tengah



Gambar 1. 2D frame element dari GKU 1



Gambar 2. Penempatan *curved damper*

bangunan, hal ini mempertimbangkan kestabilan bangunan terhadap momen dan rotasi. Struktur gedung memiliki 4 lantai (termasuk lantai atap). Gedung GKU 1 memiliki 14 ruangan pada arah sumbu x (memanjang), dengan 14 balok sepanjang 8 meter. Pada arah sumbu y (memendek), bangunan terdiri dari 7 ruangan yang terbagi 2 kategori dengan Panjang balok 4 dan 3 meter. Total jumlah kolom pada bangunan adalah 125 kolom dengan tinggi seragam yaitu 4 meter.

Mempertimbangkan efek sendi plastis yang terjadi pada bangunan dengan geometri persegi Panjang, story drift yang terjadi pada bangunan dengan denah seperti ini akan lebih besar dari pada bangunan dengan denah persegi (Rahmantyo A., Andayani R., 2019). Untuk beberapa kasus, sendi plastis dihindari untuk terjadi pada kolom, untuk itu penggunaan dari *curved damper* juga akan membantu bangunan dalam memperpanjang usia layan bangunan dengan menjadi tempur sendi plastis pertama saat terjadinya gempa.

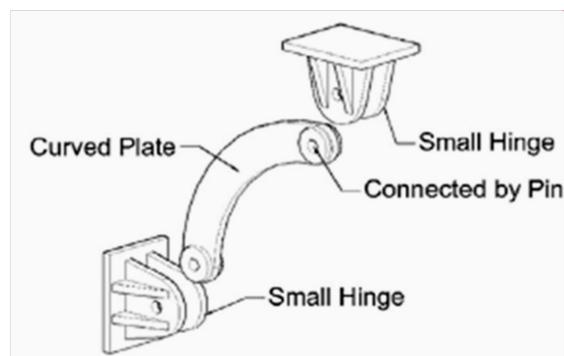
Pembebanan pada Gedung GKU 1 merupakan beban sendiri, beban guna bangunan, dan beban gempa yang telah disesuaikan dengan kondisi setempat. Analisis pertama dilaksanakan untuk meninjau lokasi kritis bangunan sebelum adanya damper, kemudian pada lokasi-lokasi kritis tersebut dipasang damper dan pada analisis kedua adalah analisis pengaruh adanya damper dalam mengatasi kerusakan pada titik kritis yang ada.

Curved damper merupakan salah satu alat yang ditambahkan pada bangunan untuk menyerap energi berlebih akibat gempa sebelum menyerang struktur utama. *Curved damper* akan membuat kekakuan bangunan lebih fleksibel untuk bergerak seirama dengan ritme gempa. Sehingga, bangunan tidak terlalu kaku untuk menerima seluruh energi gempa yang ada, sehingga kerusakan dini dapat dihindari. *Curved damper* termasuk dalam kategori *passive seismic device* (PSD). PSD bekerja seiring bertambahnya energi yang masuk, semakin besar energi gempa yang ada, semakin PSD akan bekerja dengan baik hingga *device* tidak mampu lagi mengisolasi energi dan mengalami kerusakan. PSD dibagi menjadi dua kategori yaitu *seismic isolation* dan *seismic damper*. Keduanya bekerja dengan menyerap energi berlebih dengan meredam getaran dan menyerap energi, sehingga energi yang tersalurkan pada struktur utama menjadi berkurang. *Seismic isolation* biasanya bekerja di daerah peralihan antara *sub structure* dan *superstructure*, sedangkan *damper* biasanya terpasang pada *superstructure* bangunan.

Sebagai elemen yang dikorbankan pertama kali pada saat gempa terjadi, *curved damper* merupakan device tambahan yang mudah untuk dipasang dan digantikan

dengan yang baru, *curved damper* yang juga merupakan salah satu bentuk energy dissipation device (EDD) memungkinkan untuk menyerap energi berlebih tanpa mempengaruhi struktur utama dengan lokalisasi gaya yang terjadi (Rai D.C., Annam P.K., Pradhan T., 2013). Untuk itu kerusakan bangunan akibat gempa dapat diminimalisir dan aka nada waktu yang cukup untuk menyelamatkan diri pada saat struktur utama mengalami kerusakan.

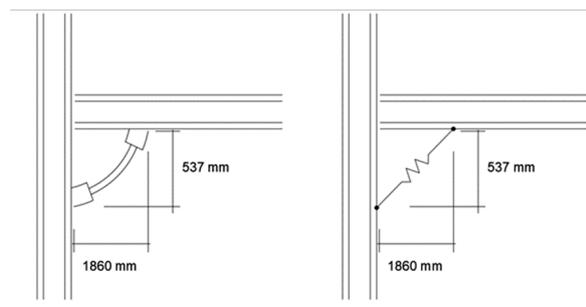
Curved damper dengan hasil terbaik pada penelitian Hsu dan Halim, 2017 merupakan specimen dengan kode L2-60 dengan kekakuan 3492 kN/m dan damping ratio sebesar 5%. Dimensi damper disesuaikan dengan ukuran bangunan, kelengkungan terbentuk dari Panjang arah horizontal dan vertikal 1860 mm x 537 mm. Gambar 3 merupakan geometri modelling dari *curved damper* oleh penelitian sebelumnya.



Gambar 3. *Curved damper* (Hsu & Halim, 2017)

Pada pemodelan numerik, *curved damper* dimodelkan menggunakan multilinear link element. Dengan parameter link properties yang sama dengan eksperimen *curved damper* dengan performa terbaik yang telah dijelaskan sebelumnya. Geometri modelling *curved damper* dideskripsikan pada Gambar 4.

Analisis pertama merupakan analisis bangunan tanpa damper, hal ini dilakukan untuk mengetahui perilaku dan respon bangunan asli yaitu tanpa adanya damper yang terpasang. Setelah mendapatkan hasil, dilakukan analisis kedua dengan pemasangan damper di titik-titik kritis yang dihasilkan dari Analisa pertama. Pemodelan balok dan kolom dengan konsep *open frame*, dimana gaya-gaya yang bekerja akan dibebankan pada elemen-elemen tersebut.



Gambar 4 Pemodelan *curved damper*: (kiri) eksperimental, (kanan) pemodelan numerik

Pembebanan yang paling dominan merupakan beban gempa. Beban gempa yang digunakan adalah beban gempa *nonlinear time history*. Pembebanan dikombinasikan sesuai dengan peraturan pembebanan yang ada pada SNI 1726 tahun 2019. Beban mati dan beban guna bangunan menyesuaikan dengan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung.

Beban mati dan beban hidup bangunan disesuaikan dengan fungsi bangunan tersebut yaitu sebagai gedung kuliah. Bangunan juga akan dibebani dengan beban gempa Kobe 1995 yang telah dinormalisasikan sesuai dengan kondisi tanah setempat menjadi 8.8 m/s^2 . Gempa Kobe dipilih karena gempa tersebut dipilih dari rekaman gempa kategori near fault yang memiliki pola shocking yang lebih berbahaya dari gempa yang lain. Dengan potensi kerusakan gempa yang tinggi diharapkan analisis yang didapatkan merupakan hasil yang paling maksimal dari potensi kerusakan bangunan. **Gambar 5** merupakan time history gempa Kobe 1995 yang digunakan.

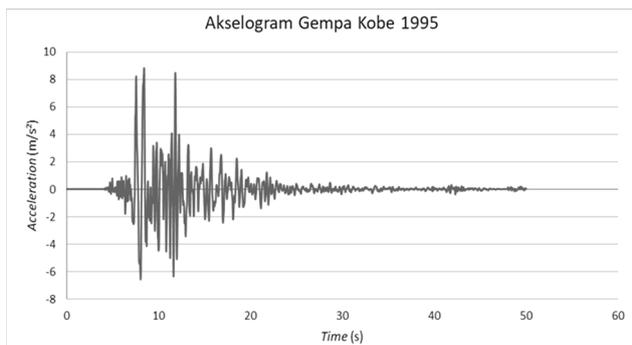
Peak Ground Acceleration (PGA) dari rekaman gempa diatas terjadi pada detik ke 8.44 sebesar 8.807 g . Puncak respon struktur akan terjadi tepat setelah PGA tercapai, karena struktur memerlukan sedikit waktu untuk mempertahankan berat sendirinya sebelum akhirnya bergerak akibat gempa. Pada rentang waktu inilah respon diamati. Gempa dibebankan pada sumbu utama bangunan yaitu pada arah memanjang (x). Deformasi akan diamati pada arah yang sama. Terdapat lima titik yang terdapat pada setiap ujung kolom bangunan yang akan diamati yaitu deformasi pada lantai 1, 2, 3, 4, dan 5 (atap).

Metode numerik yang digunakan dalam analisis menggunakan software berbasis Finite Element ETABS dengan metode Newmark yang pertama kali diperkenalkan oleh Nathan M. Newmark tahun 1959. Newmark memperkenalkan dua metode integrasi secara numerik yaitu:

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u} + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u} + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (5)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0,5 - \beta)(\Delta t)^2]\ddot{u} \quad (6)$$

β dan γ merupakan koefisien yang berhubungan dengan variasi dari percepatan dalam fungsi waktu, serta menentukan akurasi dan kestabilan dari metode tersebut. Koefisien γ merupakan variasi yang berbanding lurus antara percepatan saat ini (\ddot{u}_i) dan percepatan selanjutnya (\ddot{u}_{i+1}), kedua nilai percepatan ini dibandingkan dengan



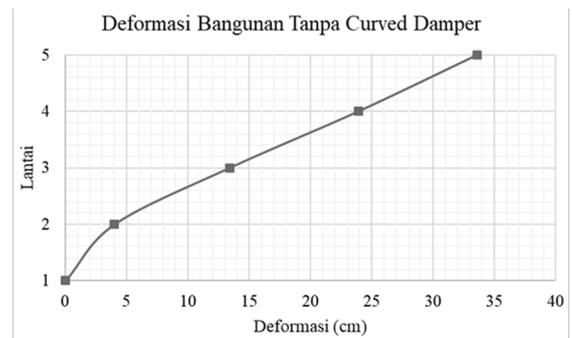
Gambar 4. Beban gempa Kobe 1995

perubahan dari kecepatan yang terjadi ($\Delta \dot{u}_i$). Sedangkan β berhubungan dengan perubahan percepatan ($\Delta \ddot{u}_i$) dan perubahan simpangan (Δu).

Dalam studi yang telah dilakukan, koefisien γ mempengaruhi nilai dari *artificial damping*. Nilai $\gamma = 1/2$ adalah rekomendasi nilai γ untuk analisis sistem derajat kebebasan tunggal, jika nilai γ tersebut dikombinasikan dengan koefisien β sebesar $\beta = 1/4$ analisis berdasarkan prinsip metode percepatan rata-rata, jika nilai $\beta = 1/6$, maka analisis berdasarkan pada prinsip percepatan linear terhadap waktu.

4. Pembahasan

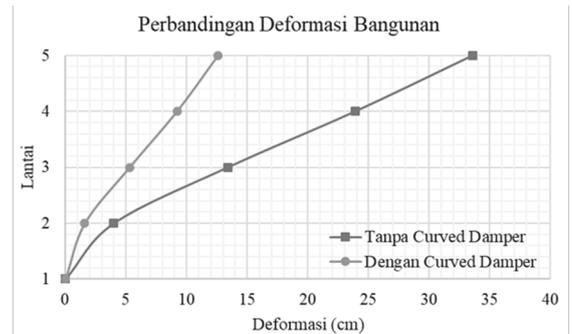
Analisis struktur Gedung GKU 1 dengan beban gempa yang dijelaskan dalam bab metodologi diatas dilakukan secara numerik menggunakan software ETABS. Metode iterasi menggunakan metode Newmark dengan mempertimbangkan non-linear analisis, p-delta effect, dan large displacement. Analisis dilakukan dalam dua tahap: Analisis GKU 1 dengan struktur asli, dan analisis GKU 1 dengan penambahan *curved damper* di titik-titik tertentu.



Gambar 6. Deformasi bangunan tanpa *curved damper*

Damper dipasang sebagaimana tergambar pada **Gambar 2** selanjutnya dianalisis dengan metode yang sama dengan tahapan analisis pertama. Gambar berikut merupakan perbandingan deformasi di titik tinjau yang sama antara bangunan sebelum dan setelah adanya *curved damper*.

Pada **Gambar 1**, pada sisi terdepan searah sisi memanjang, kolom paling kiri merupakan kolom 1, dan kolom paling kanan merupakan kolom 15. Deformasi



Gambar 7. Perbandingan deformasi bangunan tanpa dan dengan adanya *curved damper*

diamati pada kolom 1 yang merupakan kolom terluar dan memiliki deformasi paling besar.

Deformasi ditinjau mulai dari dasar bangunan pada titik 1, ujung lantai 1 hingga pada atap bangunan yaitu pada titik 5. Dari dasar bangunan, deformasi yang terjadi sebelum adanya *curved damper* adalah sebesar 0 cm, 4 cm, 13.4 cm, 23.9 cm, dan 33.6 cm. Setelah damper dengan lokasi tergambar pada **Gambar 2**, bangunan mengalami penurunan deformasi secara signifikan dari posisi yang sama menjadi 0 cm, 1.6 cm, 5.3 cm, 9.21 cm, dan 12.6 cm.

Gambar 6 dan **Gambar 7** merupakan deformasi struktur sebelum dan setelah terpasangnya *curved damper* pada bangunan. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa *curved damper* mampu mengurangi deformasi berlebih akibat gempa dengan pola getaran yang tinggi (*strong motion earthquake*), sehingga dengan adanya *curved damper* ini bangunan akan lebih tahan terhadap gempa, dan mendukung terciptanya bangunan resilien gempa dan teknologi yang tepat untuk diterapkan dalam dunia konstruksi di Indonesia.

Untuk mengetahui efektifitas dari *curved damper*, besarnya deformasi yang dapat dikendalikan dibandingkan dengan deformasi awal diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1**. Pada sisi memanjang bangunan, sisi depan dan sisi belakang juga ditinjau besarnya deformasi yang terjadi untuk memastikan pergerakan strukturnya sama. Perubahan deformasi merupakan selisih antara deformasi sebelum dan sesudah adanya damper pada bangunan. **Tabel 2** merupakan tabel efektifitas pada sisi depan dan belakang yang dimaksud.

Tabel 2 menunjukkan presentase efektifitas dari *curved damper* dalam mengontrol deformasi berlebih pada GKU 1 dengan beban gempa yang ada yaitu sebesar 63%, dilanjutkan dengan lantai-lantai dibawahnya

Tabel 1. Efektifitas *curved damper* dalam mengontrol deformasi berlebih akibat gempa

Lantai	Ux (cm)		Penurunan deformasi struktur
	Tanpa Curved Damper	Dengan Curved Damper	
5	33.6	12.6	63%
4	23.9	9.21	61%
3	13.4	5.3	60%
2	4	1.6	60%
1	0	0	0

Tabel 2. Efektifitas pada sisi depan dan sisi belakang bangunan

Lantai	Sisi depan bangunan		Sisi belakang bangunan	
	Perubahan deformasi (cm)	Efektifitas	Perubahan deformasi (cm)	Efektifitas
5	21	63%	21	63%
4	14.69	61%	14.69	61%
3	8.1	60%	8.1	60%
2	2.4	60%	2.4	60%
1	0	0	0	0

sebesar 61% dan 60%. Efektifitas tertinggi dihasilkan pada titik tinjau 5 yaitu pada lantai atap bangunan. Hal ini sangat beralasan melihat deoformasi tertinggi pada mode pertama bangunan akan terjadi pada titik tertinggi bangunan, serta adanya p-delta efek juga akan mempengaruhi besarnya deformasi pada titik ini.

Hal ini sangat berkaitan dengan waktu pengguna bangunan untuk menyelamatkan diri dari lantai teratas bangunan pada saat gempa terjadi lebih lama dari pada pengguna yang ada di lantai 1, jika *curved damper* memiliki efektifitas tertinggi pada lantai paling atas, *curved damper* dapat meningkatkan keselamatan pengguna bangunan.

5. Kesimpulan

1. Curved damper dipasang di beberapa titik pada bangunan 4 lantai dan di tinjau pada kolom 1, yaitu kolom terluar bangunan dengan 5 titik tinjau mulai dari dasar kolom lantai 1 hingga lantai atap bangunan. Analisis dilaksanakan dalam dua tahapan, tahapan pertama tanpa adanya curved damper, dan tahapan kedua dengan adanya curved damper.
2. Analisis struktur dilakukan dengan software ETABS dengan beban gempa Kobe 1995 yang telah dinormalisasi.
3. Hasil yang ditunjukkan bahwa curved damper dapat mengurangi deformasi berlebih pada bangunan akibat beban gempa. Hal ini terbukti bahwa curved damper dapat mengontrol deformasi berlebih pada GKU 1, dengan tingkat efektifitas pengurangan deformasi hingga 63% dari struktur tanpa curved damper.
4. Penggunaan curved damper sangat disarankan untuk bangunan konstruksi baja di Indonesia, mempertimbangkan Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan tingkat gempa yang tinggi. Curved damper sangat mudah diproduksi baik fabrikasi atau dengan metode laser cut yang dapat diproduksi sendiri. Sehingga untuk menambahkan jenis damper ini tidaklah memerlukan biaya yang tinggi.
5. Penelitian ini merupakan analisis penempatan curved damper yang disimplifikasi dengan menggunakan multilinear link pada software analisis struktur, dengan alasan untuk mengurangi kesalahan dalam hal geometry modelling, penelitian ini menunjukkan hasil yang dapat dipertimbangkan karena terbukti curved damper dapat memberikan pengaruh terhadap pengurangan deformasi bangunan

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Hendra Halim merupakan researcher dari National Central Univeristy yang telah menyediakan data penelitian sebelumnya dan Nugraha Bintang Wirawan merupakan dosen Teknik Sipil Institut Teknologi Sumatera yang turut memberikan masukan yang bermanfaat dalam penelitian.

Daftar Pustaka

- Ariadi Deni, 2015, *Optimasi Tuned Mass Damper pada Bangunan di Daerah Gempa Menggunakan Algoritma Genetika*, E-Journal Universitas Atma Jaya: 1-10.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019, *Standar Nasional Indonesia No. 1726 Tahun 2019*. BSN: Jakarta.
- Cahyani R.O., 2021, *Sitanggang A.N., Efek Penggunaan Base Isolator terhadap Periode Natural Bangunan Gedung Bertingkat yang Tereksitasi oleh Gempa*, Journal of Civil Engineering and Planning, Vol.2: 162-171.
- Chopra A.K., 2012, *Dynamic of Structure Theory and Applications to Earthquake Engineering*. USA: Prentice Hall.
- Dehghani S. dkk., 2021, *Performance Evaluation of Curved damper Truss Moment Frames Designed using Equivalent Energy Design Procedure*, Elsevier Engineering Structures, 226: 111363-111374.
- Dubina D., Stratan A., 2002, *Behavior of welded connections of moment resisting frames beam-to-column joints*. Engineering Structures, 24: 1431-1440.
- Fathizadesh S.F. dkk, 2020, *Trade-off Pareto Optimum Design of an Innovative Curved damper Truss Moment Frame Considering Structural and Non-Structural Objectives*, Elsevier Structures 28: 1338-1353.
- Ghabussi A., Marnani J.A., 2021, *Rohanimesh M.S., Seismic Performance Assesment of a Novel Ductile Steel Braced Frame Equipped with Steel Curved damper*, Elsevier Structures, 31: 87-97.
- Clough R.W., Penzien J., 2003, *Dynamic of Structure*. USA: Computer and Structure inc.
- Hsu H.L., Halim H., 2017, *Improving Seismic Performance of Framed Structures with Steel Curved dampers*, Elsevier Engineering Structures, 130: 99-111.
- Hsu H.L., Li Z.C., 2015, *Seismic performance of steel frames with controlled buckling mechanism in knee braces*. Journal of Construction Steel Research 107: 50-60.
- Maer B.W., 2008, *Respon Pendopo Joglo Yogyakarta terhadap Getaran Gempa Bumi*, Dimensi Teknik Arsitektur, Vol. 36:1-9.
- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983, *Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*: Bandung, Indonesia.
- Rahmantyo A., Andayani R., 2019, *Analisis Story Drift dan Kondisi Sendi Plastis Berbasis Performa pada Gedung Bertingkat dengan Konfigurasi Struktur Persegi Panjang, U, L, H, dan T*. Media Komunikasi Teknik Sipil, 25(1): 38-47.
- Rai D.C., Annam P.K., Pradhan T., 2013, *Seismic testing of steel braced frames with aluminum shear yielding dampers*. Engineering Structures, 46:737-747.
- Son L., Bur M., Satria E., Rizfa E.A., 2020, *Kaji Teoritik Efektifitas Peredam Getaran Hibrid pada Struktur Bangunan*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke 9: MIII53-MIII58.
- Ummati A.M. dkk., 2018, *Design Spectra Analysis of Chi-Chi Earthquakes 1999 as a Normalized Ground Motions Input of Taichung City, Taiwan*. International Research Journal of Advanced Engineering and Science, 3(3): 157-163.
- Ummati A.M. dkk., 2022, *Analysis of general functional bearing model in a single span bridge to identify structure response and suitable friction coefficient under near- and far-fault earthquakes*, Journal of Mechanics, 38: 491-508
- Ummati A.M. dkk., 2022, *Stress analysis of four-story building to detect the crack location under the earthquake loading*, Journal of Infrastructure Planning and Engineering, 1(2): 60-67.
- Ummati A.M. dkk., 2024, *Curved damper as structural retrofitting element to improve the performance of steel truss bridge*, Jurnal Rekayasa Sipil, 18 (1): 1-6.

