

## TINJAUAN STUDI KINERJA SEISMIK PLAFON SECARA NUMERIK DAN UJI *SHAKING TABLE*

A.R. Ikhwanti<sup>1\*</sup>, A. Triwiyono<sup>2</sup>, I. Satyarno<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

\*Email: ayunda.rahma@mail.ugm.ac.id

### Abstrak

*Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang dapat menimbulkan korban jiwa dan kerusakan bangunan. Korban jiwa yang ditimbulkan salah satunya berasal dari kerusakan bangunan yang runtuh setelah terjadi gempa. Pada bangunan vital, seperti rumah sakit, harus tetap berfungsi sesaat setelah terjadi gempa. Semua komponen struktur dan non struktur tidak boleh terdapat kerusakan dan harus tetap berfungsi. Komponen non struktural yang paling sering rusak antara lain adalah plafon dan perlu dilakukan evaluasi kinerja seismik plafon untuk meminimalisir potensi terhentinya operasional rumah sakit pasca gempa. Oleh karena itu, dalam tinjauan ini akan dibahas beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya terkait analisis eksperimental di laboratorium dan numerik dari beberapa jenis plafon dengan modifikasi bentuk, perkuatan, dan beban gempa dengan tujuan mendapatkan kesimpulan tentang kinerja seismik plafon secara numerik dan uji shaking table. Dari hasil tinjauan analisis masing-masing penelitian memberikan output berupa frekuensi alami, percepatan dan regangan. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa masing-masing sistem plafon dengan modifikasi perkuatan berbeda dinilai mampu dalam meningkatkan ketahanan seismik plafon.*

**Kata kunci:** *evaluasi kinerja, non struktural, plafon, shaking table*

### PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir telah terjadi banyak gempa di Indonesia yang menimbulkan banyak korban jiwa dan kerusakan bangunan. Gempa bumi yang terjadi diantaranya terjadi di Jawa Timur (10 April 2021), Lombok (29 Juli 2018 dan 5 Agustus 2018), Tasikmalaya (15 Desember 2017), dan banyak kejadian gempa lainnya. Korban jiwa yang ditimbulkan salah satunya berasal dari kerusakan bangunan yang runtuh setelah terjadi gempa. Pada bangunan vital seperti rumah sakit harus tetap berfungsi sesaat setelah terjadi gempa. Oleh karena itu, semua komponen struktur dan non-struktural tidak boleh terdapat kerusakan dan harus tetap berfungsi. Pada bangunan rumah sakit, komponen non struktural sama pentingnya dengan komponen struktur. Kerusakan komponen non-struktural juga dapat mempengaruhi fungsionalitas bangunan pasca gempa secara signifikan. Komponen non-struktural yang paling sering rusak antara lain adalah plafon seperti dapat dilihat pada Gambar 1. Maka dari itu perlu dilakukan evaluasi kinerja seismik plafon untuk meminimalisir potensi terhentinya operasional rumah sakit pasca gempa.



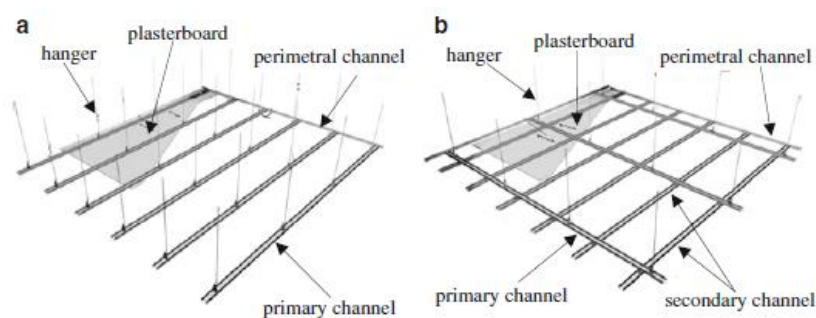
**Gambar 1.** Kerusakan komponen non struktural gempa Tasikmalaya, 2017 (Zakaria, 2017)

Sejauh ini telah dilakukan beberapa penelitian yang meninjau ketahanan seismik plafon dengan uji *shaking table* tetapi belum populer diterapkan di Indonesia. Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan maka perlu dilakukan analisis eksperimental di laboratorium dan numerik dengan studi kasus dari beberapa jenis plafon dengan modifikasi bentuk, perkuatan, dan beban gempa dengan tujuan untuk mendapatkan kesimpulan tentang kinerja seismik plafon secara numerik dan uji *shaking table*.

**RISET TENTANG KINERJA SEISMIK PLAFON SECARA NUMERIK DAN UJI SHAKING TABLE**

Telah dilakukan beberapa penelitian uji *shaking table* pada plafon. Uji ini dilakukan guna mengukur kinerja seismik plafon untuk mengetahui frekuensi alami, percepatan dan regangan. Modifikasi perkuatan pada plafon dinilai mampu mempengaruhi kinerja seismik plafon. Berikut beberapa ringkasan mengenai uji kinerja seismik plafon dalam beberapa tahun terakhir.

Magliulo, G, dkk. (2012) melakukan pengujian dua jenis sistem plafon di laboratorium, yaitu *single frame ceiling* (SFC) dan *double frame ceiling* (DFC) seperti dapat dilihat pada Gambar 2 dengan dimensi total keduanya masing-masing 2,2 m x 2,2 m. Kerangka uji berukuran 2,42 m x 2,71 m x 2,72 m dengan sistem rangka bresing konsentris tipe V dan dibaut pada sambungannya. Akselerometer dan pengukur regangan dipasang untuk memantau respon rangka uji dan plafon. Input beban gempa dengan respon spektrum sesuai ICBO 2000. Dibuat model elemen hingga menggunakan *software* SAP2000 yang diimplementasikan sebagai balok elastis. Model elemen hingga dilakukan untuk mendapatkan estimasi periode dan percepatan.



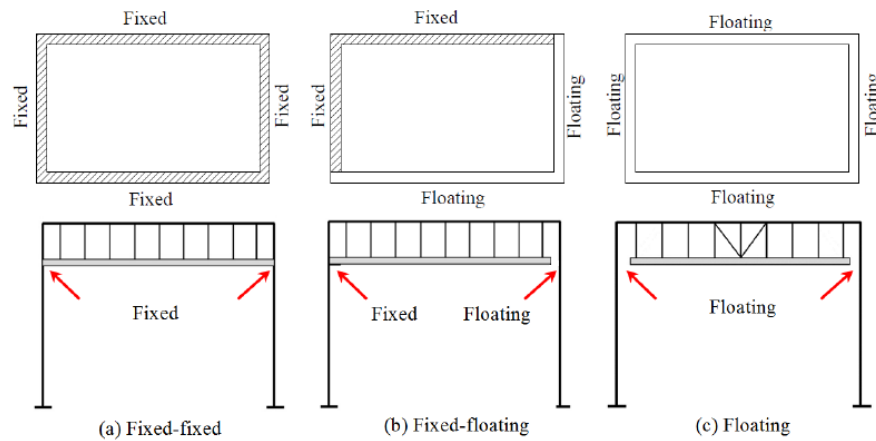
**Gambar 2. a. Single frame ceiling (SFC); b. Double frame ceiling (DFC) (Magliulo, 2012)**

Hasil pengujian di laboratorium menghasilkan nilai frekuensi sekitar 30 Hz atau 0,03 s. Hasil tersebut mendekati hasil analisis numerik dan komponen plafon diklasifikasikan sebagai komponen non struktural yang kaku ( $16,7 z < f < 33,3$  Hz) dalam arah horizontal. Nilai percepatan maksimum benda uji dalam perilaku yang diharapkan. Meskipun nilai percepatannya tinggi namun tidak ada kerusakan yang tercatat dan nilai regangan rendah dicatat selama pengujian. Deformasi yang tercatat kurang dari 0,005%.

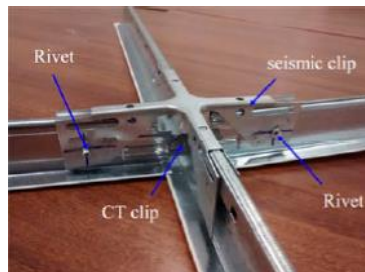
Dhakal dkk. (2016) melakukan penelitian dengan meninjau kegagalan plafon gantung yang digunakan di Selandia Baru terhadap gempa dengan mempertimbangkan pembebanan pada tegangan tarik, tekan dan geser. Dilakukan studi kasus pada bangunan 5 lantai dengan 3 sistem plafon gantung yang berbeda. Ketiga sistem plafon gantung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Hasil eksperimental dan analitis mengenai kapasitas plafon gantung di Selandia Baru berupa pengujian statik yaitu kurva kerapuhan komponen. Disimpulkan bahwa komponen paling kritis terjadi pada sambungan paku keling tunggal (3,2 mm), sambungan *cross tee* yang mengalami tekan, sambungan *tee* utama mengalami tegangan, dan sambungan paku keling ganda (3,2 mm). Ditemukan bahwa pengencang ujung paku keling tunggal dan sambungan *cross tee* adalah elemen paling penting dari plafon yang mengatur kapasitas sistem.

Pourali, dkk. (2016) melakukan studi eksperimental pengaruh klip seismik terhadap grid join pada sistem plafon yang ditanggung. Mekanisme kegagalan yang berbeda diidentifikasi dalam eksperimen monotonik. Kapasitas tarik dan tekan sambungan grid dengan dan tanpa klip seismik di setiap mode kegagalan dihitung dan dibuat perbandingan antara sambungan yang diperkuat. Uji tegangan dan kompresi monotonik dilakukan pada spesimen sambungan *main tees* (MT) dan *cross tees* (CT) yang dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 3. Skema sistem plafon gantung (Dhakil dkk., 2016)**

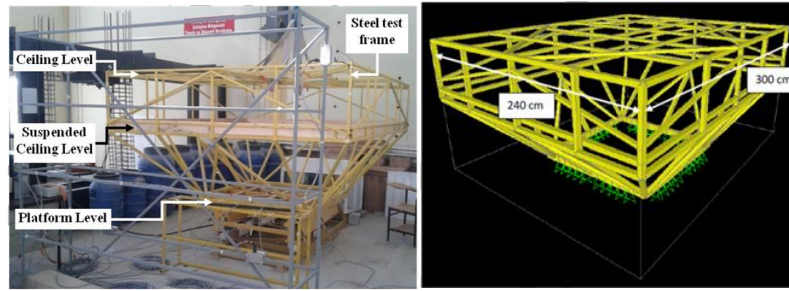


**Gambar 4. Sambungan spesimen CT-MT dengan klip seismik dan 2 paku keling pada CT (Pourali dkk., 2016)**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan klip seismik meningkatkan kinerja sambungan CT-MT dalam dua cara: a) meningkatkan kapasitas, dan b) menambah deformabilitas. Pada pengujian ini, mode kegagalan yang berbeda diamati pada titik sambungan. Ketika klip seismik ditambahkan, kegagalan awal selalu terjadi pada klip CT, diikuti dengan deformasi yang lebih besar dan pembengkokan pada klip seismik. Perbandingan menunjukkan bahwa menggunakan klip seismik meningkatkan gaya kegagalan di sambungan. Namun peningkatan ini harus disertai dengan penguatan sambungan pada MT dan meningkatkan ukuran atau jumlah paku keling di ujung. Dengan peningkatan ini, jika klip seismik ditambahkan, kapasitas sistem akan meningkat dan mode kegagalan tidak lagi rapuh.

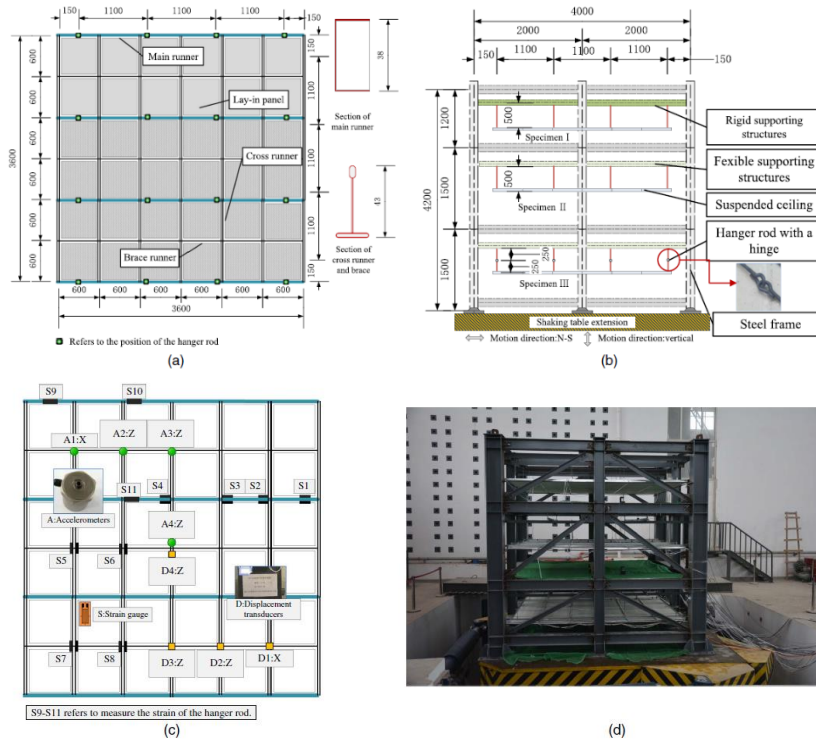
Ozcelik, dkk. (2016) mengevaluasi kinerja sistem plafon gantung menggunakan *shaking table* untuk memberikan kondisi batas yang realistis untuk sistem plafon yang akan di uji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kerangka uji rangka baja dimensi 3,0 x 2,4 m dengan membuat juga model elemen hingga yang dapat dilihat pada Gambar 5. Bingkai uji dirancang sekaku mungkin untuk meminimalkan interaksi dinamis yang mungkin terjadi antara *shaking table* dan kerangka uji.

Hasil evaluasi pada pengujian dan analisis didapat kualitas bahan dan pengerjaan merupakan parameter terpenting dalam mempengaruhi kinerja dinamis sistem plafon gantung, sistem grid *clip-in* memiliki kinerja yang lebih baik daripada sistem grid tipe T24 (sistem *lay-on*), klip seismik sedikit meningkatkan kinerja dinamis sistem kisi suspensi tipe T24. Dalam sistem kualitas tinggi baik untuk T24 dan *clip-in*, tingkat kinerja yang ditetapkan oleh kode IHBC terpenuhi.



Gambar 5. Kerangka uji dan model elemen hingga rangka baja (Ozcelik dkk., 2016)

Yan Lu, dkk. (2018) melakukan studi eksperimental kinerja seismik plafon gantung yang dipasang pada struktur pendukung kaku dan fleksibel menggunakan *shaking table*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku seismik plafon gantung yang dipasang pada struktur pendukung yang kaku dan fleksibel. Digunakan kerangka uji ketinggian 4 x 4 m seperti dapat dilihat pada Gambar 6. dengan rangka baja tiga lantai yang dipasang ke simulator menggunakan baut berdiameter 26 mm. Simulator gempa yang digunakan mampu menghasilkan percepatan tanah horizontal puncak hingga 2,0 g (PGA) dengan kapasitas muatan 30 ton.



Gambar 6. Pengaturan pengujian dan instrumentasi: (a) rencana benda uji; (b) skema pengaturan pengujian; (c) instrumentasi; dan (d) benda uji dipasang pada kerangka uji (Yan Lu dkk., 2018)

Berdasarkan rangkaian pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil untuk  $PGA \leq 0,22$  g tidak terjadi kerusakan pada plafon. Untuk  $PGA = 0,62$  g *brace runner* jatuh di tepi bingkai dari plafon gantung yang dipasang ke struktur pendukung yang kaku. Dan untuk  $PGA 3,0$  g, jumlah panel yang jatuh paling banyak terdapat pada plafon gantung yang dipasang pada struktur pendukung kaku.

Jiang, dkk. (2020) melakukan pengujian seismik sistem plafon gantung dengan *shaking table*. Pengujian dilakukan dengan dua plafon dimensi 12,52 x 5,32 m yaitu Plafon A tanpa klip seismik dan Plafon B dengan klip seismik. Plafon diuji untuk membandingkan mode kegagalan, sifat dinamis, dan respon termasuk percepatan dan respon regangan. Digunakan kerangka uji dua lantai dengan rangka

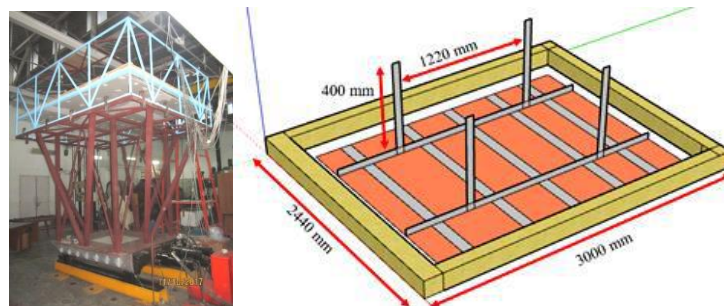
baja memiliki dimensi 12,84 x 11,64 m dan tinggi 5,4 m seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Akselerometer, transduser perpindahan dan pengatur regangan dipasang pada benda uji untuk mengukur respon sistem plafon. Untuk mengeksplorasi mekanisme kegagalan plafon, dimasukkan juga respon percepatan di berbagai lantai struktur bangunan super tinggi yang diperoleh dengan analisis *time history*.



**Gambar 7. Tampilan kerangka uji (Jiang dkk., 2020)**

Berdasarkan hasil pengujian dapat diambil kesimpulan dibandingkan dengan Plafon A, kerusakan Plafon B jauh lebih kecil. Rasio jatuh panel terhadap total panel mencapai 71,03% untuk Plafon A. Frekuensi alami Plafon A dalam arah X dan Y masing-masing 4,0 Hz dan 3,7 Hz. Untuk Plafon B, hasil dalam arah X dan Y berturut-turut adalah 2.4 Hz dan 2.2 Hz. Frekuensi alami Plafon A lebih besar karena efek hantakan yang kuat antara plafon dan balok. Kinerja seismik plafon gantung sangat dipengaruhi oleh kondisi batas. Dengan pemasangan klip seismik di perbatasan, kinerja seismik meningkat secara signifikan.

Kumar, dkk. (2020) menyajikan sebuah studi tentang *set-up test* menggunakan *shaking table* yang terdiri dari kerangka uji yang mewakili bangunan satu lantai dan sistem plafon gantung eternit (PSCS) yang mengalami getaran seismik arah horizontal. Pengujian menggunakan *shaking table* berukuran 1,5 x 1,5 m dengan tinggi 3 m. Plafon PSCS digantung pada bagian atap rangka uji dengan 4 suspender dari baja ulir. Sudut plafon berbentuk L dengan dimensi 25 x 10 mm dan tebal 0,5 mm. Dipasang akselerometer, LVDT dan pengukur regangan pada kerangka uji dan benda uji. *Set-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 8. Respon spektrum yang digunakan sesuai dengan standar gempa India.

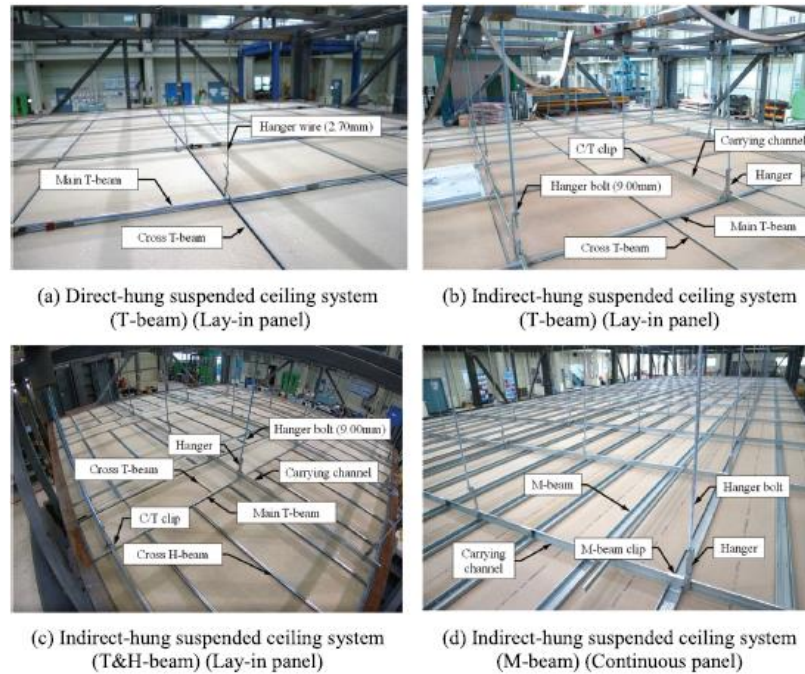


**Gambar 8. Set-up pengujian PSCS (Kumar dkk., 2020)**

Dari hasil pengujian diperoleh nilai periode dasar getaran yang terkait dengan kerangka uji sekitar 0,05 detik di salah satu arah horizontal, sedangkan periode dasar getaran yang terkait dengan plafon PSCS adalah 0,3 detik dan 0,9 detik dalam dua arah horizontal arah panjang dan pendek. Redaman pada kerangka uji 1,5% dan 1,3%, sedangkan pada plafon PSCS masing-masing 6% dan 8% pada arah panjang dan pendek. Pada akhir percobaan, periode alami plafon PSCS meningkat dengan meningkatnya intensitas gerakan tanah menjadi 1.0 detik dalam arah panjang dan pendek. Perubahan periode alami dikaitkan dengan kerusakan di ujung bawah suspender.

Jun, dkk. (2020) melakukan pengujian *shaking table* dari berbagai jenis sistem plafon gantung, plafon gantung langsung dan tidak langsung yang dapat dilihat pada Gambar 9, dengan menggunakan benda uji uniaksial ukuran besar dan enam benda uji multi arah ukuran kecil. Kerangka uji ukuran

besar memiliki dimensi keseluruhan 13,1 x 5,1 m dengan tinggi 3 m dengan 2 *shaking table* masing-masing berukuran 5 x 5 m dan segmen penyambung berukuran 4,1 x 5,1 m. Kerangka uji ukuran kecil memiliki dimensi 4,1 x 4,1 m dengan tinggi 3,2 m dengan *shaking table* berukuran 4 x 4 m. Akselerometer, LVDT, dan pengukur regangan dipasang untuk memantau respon dari kerangka uji dan benda uji. Digunakan respon spektrum sesuai dengan *Korean Design Standard* (KCSC 2019).



**Gambar 9. Sistem plafon gantung yang digunakan di Korea Selatan (Jun dkk., 2020)**

Berdasarkan hasil pengujian dapat diambil kesimpulan; (1) Analisis frekuensi alami benda uji dengan jelas menunjukkan bahwa perilaku plafon gantung sangat bergantung pada detail sambungan penggantung, plafon gantung yang digantung tidak langsung menunjukkan frekuensi alami yang lebih tinggi karena karakteristik sambungan yang menahan rotasi dari sambungan; (2) Sistem plafon gantung tidak langsung menunjukkan rasio redaman yang lebih tinggi ( $\xi = 7\%$ ) dibandingkan dengan sistem plafon gantung langsung ( $\xi = 1\%$ ); (3) Faktor percepatan amplifikasi yang terukur lebih tinggi daripada yang disyaratkan oleh ASCE 7-16, baik arah horizontal maupun vertikal. Nilai masing-masing faktor percepatan amplifikasi untuk arah horizontal dan vertikal adalah 1,8 dan 1,75.

## PEMBAHASAN

Uji eksperimental dan pemodelan numerik direncanakan untuk mengetahui kinerja seismik plafon dengan studi kasus beberapa jenis plafon yang dimodifikasi bentuk, perkuatan, dan beban gempa. Magliulo, G, dkk. (2012) telah melakukan uji eksperimental dan numerik dengan input beban gempa respon spektrum sesuai ICBO 2000 dan membuat model elemen hingga menggunakan *software* SAP2000. Akan dilakukan penelitian serupa dengan memasukkan beban gempa respon spektrum sesuai ASCE 7-16 dan studi kasus komponen plafon yang terdapat pada rumah sakit di Yogyakarta. Kriteria penerimaan komponen plafon juga akan dievaluasi sesuai ASCE 41-17. Desain dan evaluasi berdasarkan pemodelan numerik atau eksperimental dengan nilai gaya yang bekerja pada komponen ( $F_p$ ) dihitung dari persamaan 1 dan persamaan 2.

$$F_p = \frac{0,4a_p S_{XS} W_p \left(1 + \frac{2x}{h}\right)}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \quad (1)$$

$$F_p = \frac{a_i a_p W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} A_x \quad (2)$$

dengan :

$W_p$	= berat operational komponen;
$a_p$	= faktor amplifikasi komponen;
$S_{XS}$	= parameter percepatan spectral respon pada periode pendek;
$h$	= tinggi rata-rata struktur diukur dari dasar hingga level atap;
$R_p$	= faktor modifikasi elemen;
$x$	= tinggi struktur tempat elemen terpasang diukur dari dasar bangunan;
$I_p$	= faktor keutamaan elemen;
$a_i$	= percepatan maksimum;
$A_x$	= faktor amplifikasi torsional, $A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}}\right)^2$

## KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan pustaka ini dibahas beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya terkait analisis eksperimental di laboratorium dan numerik dari beberapa jenis plafon dengan modifikasi bentuk, perkuatan, dan beban gempa. Dari hasil tinjauan analisis masing-masing penelitian memberikan output berupa frekuensi alami, percepatan dan regangan. Oleh karena itu dari penelitian ini disimpulkan bahwa masing-masing sistem plafon dengan modifikasi perkuatan berbeda dinilai mampu dalam meningkatkan ketahanan seismik plafon.

Untuk penelitian lebih lanjut disarankan untuk melakukan studi kasus sesuai dengan standar atau metode evaluasi kinerja seismik plafon yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASCE/SEI 41-17. 2017. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Virginia: The American Society of Civil Engineers.
- ASCE/SEI 7-16. 2016. *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. Virginia: The American Society of Civil Engineers.
- Dhakar, R.P., MacRae, G.A., Pourali, A., Paganotti, G., 2016, Seismic Fragility of Suspended Ceiling Systems Used in New Zealand Based on Components Test, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Vol. 49, No. 1.
- Jiang, H.J., Wang, Y., Kasai, K., Motoyui, S., Chhat, T., 2020, Shaking Table Test on Chinese Style Suspended Ceiling Systems, *17<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Sendai, Japan.
- Jun, S.c., Lee, C.H., Bae, C.j., Lee, K.J., 2020, Shake-Table Seismic Performance Evaluation of Direct and Indirect-Hung Suspended Ceiling Systems, *Journal of Earthquake Engineering*, ISSN: 1559-808X.
- Kumar, M., Matala, S., Rai, D.C., 2020, Influence of Perimeter Supports on The Seismic Response of Plasterboard Suspended Ceiling Systems, *17<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Sendai, Japan.
- Lu, Y., Mosqueda, G., Han, Q., Zhao, Y., 2018, Shaking Table Test Examining Seismic Response of Suspended Ceilings Attached to Large-Span Spatial Structures, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 144, Issue 9.
- Magliulo, G., et al, 2018, Shake Table Test for Seismic Assessment of Suspended Continuous Ceilings, *Bulletin of Earthquake Engineering*, DOI: 10.1007/s10518-012-9383-6.
- Ozcelik, O., Misir, I.S., Saridogan, S., 2016, Performance Evaluation of Suspended Ceiling Systems using Shaking Table Test, *Journal of Structural Engineering & Mechanics*, 121-142.
- Pourali, A., Dhakar, R.P., MacRae, G., Tasligedik, A.S., 2016, Experimental Evaluation of The Influence of Seismic Clips on Grid Joints in a Suspended Ceiling Systems, *Conference: 16<sup>th</sup> US-Japan-NZ Workshop on the Improvement of Structural Engineering and Resiliency*, Nara, Japan.

- Ryu, K.P., Reinhorn, A.M., Filiatrault, A., 2012, Full Scale Dynamic Testing of Large Area Suspended Ceiling System, *15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal.
- Zakaria, I., 2017, An interior view of damage hospital is seen after an earthquake hit the city of Banyumas, Indonesia, <https://www.hindustantimes.com/world-news/earthquake-of-6-5-magnitude-hits-indonesia-s-s-java-least-2-dead/story-P81GRb2ThDQvXyWEbVRyMK.html>, diakses tanggal 3 Mei 2021.