

Kajian Potensi *Pounding* pada Dua Gedung Rumah Sakit dengan Jembatan Penghubung Berdasarkan *Checklist Tier 1 ASCE 41-17*

S A Liliani¹, I Satyarno¹, A Aminullah¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: imansatyarno@mail.ugm.ac.id

INTISARI

Efek *pounding* antarbangunan berdekatan merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan kerusakan saat gempa bumi. Kondisi ini berpotensi terjadi pada dua gedung rumah sakit yang dihubungkan oleh jembatan penghubung, terutama apabila jarak antarbangunan tidak mencukupi. Keberadaan jembatan penghubung pada rumah sakit memiliki fungsi vital sebagai jalur konektivitas pasien, tenaga medis, serta peralatan penunjang, sehingga gangguan pada bagian ini dapat berdampak langsung terhadap kelancaran pelayanan kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi awal terjadinya *pounding* menggunakan metode *Tier 1 Screening* sesuai dengan ASCE 41-17. Evaluasi dilakukan melalui observasi visual, pemeriksaan dokumen perencanaan, pengukuran jarak aktual di lapangan serta pemodelan struktur. Berdasarkan gambar kerja, jarak pemisah antarbangunan direncanakan 7,5 cm, sedangkan hasil pengukuran lapangan, jarak aktual antarbangunan hanya sebesar 4,5 cm. Jarak minimum yang disyaratkan menurut ASCE 41-17 adalah 53,55 cm untuk tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Rasio jarak antarbangunan terhadap tinggi bangunan sebesar 0,25 – 0,42%, jauh di bawah batas aman 4%, sehingga bangunan dikategorikan berisiko tinggi mengalami *pounding* selama peristiwa gempa. Terdapat defisiensi pada aspek jarak antarbangunan, sehingga struktur berpotensi mengalami *pounding* saat terjadi gempa. Sehingga diperlukan evaluasi lanjutan menggunakan metode *Tier 2* atau *Tier 3* untuk memperoleh analisis yang lebih rinci.

Kata kunci: Efek *pounding*, *adjacent building*, *hospital building*, *Tier 1*, *quick checklist*

1 PENDAHULUAN

Indonesia termasuk salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tinggi karena berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik (Harijoko et al., 2024). Kondisi ini menuntut bangunan memiliki ketahanan terhadap gempa, terutama bangunan vital seperti rumah sakit. Rumah sakit memiliki peran penting karena harus tetap berfungsi setelah gempa untuk mendukung pelayanan medis darurat. Kerusakan pada elemen struktural maupun non-struktural rumah sakit dapat mengakibatkan fasilitas tidak berfungsi setelah gempa, yang pada akhirnya berdampak signifikan terhadap proses penanganan korban bencana (Satyarno, 2011).

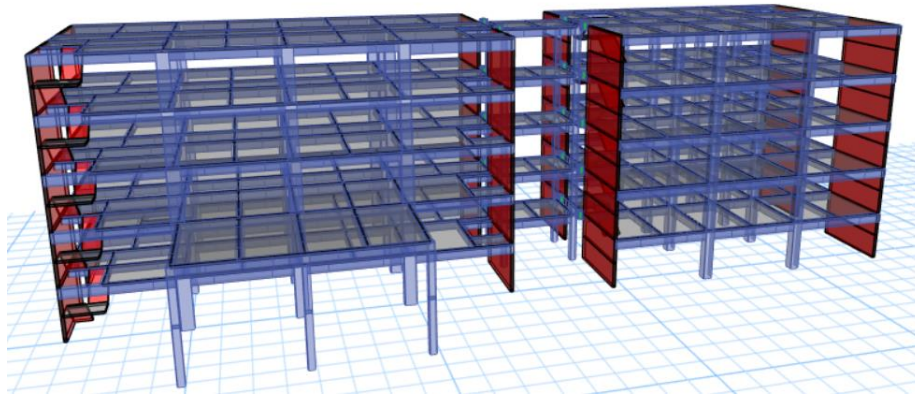
Pada kompleks rumah sakit, jembatan penghubung antargedung merupakan elemen struktural sekaligus fungsional yang sangat penting. Keberadaannya memungkinkan pergerakan pasien, tenaga medis, obat-obatan, serta peralatan penunjang dilakukan dengan cepat tanpa harus keluar gedung. Jembatan penghubung mempermudah konektivitas antarunit layanan, misalnya antara instalasi gawat darurat (IGD) dan ruang Poliklinik. Dengan demikian, jembatan penghubung memiliki nilai strategis dalam menjaga kelancaran pelayanan kesehatan, terutama pada kondisi darurat pascagempa. Elemen jembatan penghubung antargedung memiliki kerentanan terhadap beban gempa, terutama terkait fenomena *pounding*. Kondisi ini terjadi ketika simpangan lateral akibat gempa melebihi jarak pemisah (*separation gap*) antarbangunan. Interaksi tersebut menimbulkan tumbukan yang dapat menyebabkan peningkatan gaya internal pada elemen struktural maupun non-struktural. Apabila jarak antargedung lebih kecil dari simpangan inelastis yang diperkirakan, maka kondisi tersebut dikategorikan tidak memenuhi persyaratan dan berpotensi menimbulkan efek *pounding* saat gempa terjadi.

Evaluasi awal bangunan eksisting berdasarkan ASCE 41-17 dilakukan melalui metode *Tier 1 Screening* dengan pendekatan *Basic Performance Objective for Existing Buildings* (BPOE). Tahap ini menggunakan daftar periksa (*checklist*) untuk mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian terhadap kriteria minimum kinerja seismik. Salah satu aspek adalah *Adjacent Building Checklist*, yang memfokuskan pada verifikasi kecukupan jarak pemisah antarbangunan. Hasil evaluasi awal berfungsi sebagai dasar analisis awal dalam mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian atau defisiensi struktur, khususnya terkait risiko *pounding* pada bangunan berdekatan dengan jembatan penghubung. Apabila teridentifikasi defisiensi, maka diperlukan evaluasi lanjutan menggunakan metode *Tier 2* atau *Tier 3* sesuai ketentuan ASCE 41-17, sehingga diperoleh gambaran kinerja seismik yang lebih komprehensif dan dapat mendukung perencanaan langkah mitigasi yang tepat

2 METODE

2.1 Pemodelan Struktur Gedung

Berdasarkan ASCE 41-17, evaluasi *Tier 1* pada umumnya tidak mensyaratkan pemodelan numerik, karena pendekatannya lebih menekankan pada penilaian kualitatif melalui daftar periksa (*checklist*). Pada penelitian ini, pemodelan struktur tetap dilakukan untuk memberikan representasi visual sistem struktur gedung serta memperjelas potensi interaksi antarbangunan yang mungkin terjadi saat gempa. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS dengan tujuan untuk menghasilkan visualisasi tiga dimensi bangunan dan mendukung evaluasi interaksi dinamis antargedung. Hasil pemodelan disajikan dalam bentuk model 3D seperti terlihat pada Gambar 1 dan denah bangunan beserta posisi jembatan penghubung ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1 Pemodelan 3D bangunan

2.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan sistematis. Penelitian dimulai dengan studi literatur terkait evaluasi kinerja struktur bangunan terhadap gempa berdasarkan standar ASCE 41-17, serta pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak ETABS. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data sekunder yang mencakup gambar kerja bangunan. Berdasarkan data tersebut, dilakukan pemodelan struktur untuk memperoleh representasi visual dan simulasi tiga dimensi gedung. Tahap berikutnya adalah evaluasi awal menggunakan metode *Tier 1* (*Screening*) sesuai ASCE 41-17, yang dilakukan melalui pemeriksaan daftar periksa (*checklist*) terhadap komponen struktural dan sistem bangunan, serta pengamatan visual elemen-elemen struktural. Hasil evaluasi digunakan untuk mengidentifikasi adanya defisiensi struktural, yang kemudian menjadi dasar penyusunan rekomendasi perbaikan atau tindak lanjut guna meningkatkan kinerja struktural bangunan.

2.3 Data Penelitian

Data penelitian mencakup dokumen perencanaan gedung, seperti gambar arsitektur dan struktur (denah, tampak, potongan, detail teknis) serta spesifikasi material, yang digunakan sebagai dasar pemodelan struktur dan evaluasi kinerja seismik terhadap risiko *pounding* antarbangunan. Data teknis bangunan yang diperoleh dari dokumen perencanaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data teknis

Data Gedung	Keterangan
Fungsi Bangunan	Instalasi Gawat Darurat & Rawat Jalan
Sistem Struktur	Sistem Ganda
Kategori risiko	IV
Jenis tanah	Tanah sedang (SD)
Jumlah Lantai	5 lantai
Tinggi Bangunan	17,85 m
Kuat tekan beton, f'_c	25 MPa
Modulus elastisitas beton	$4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{25} = 23500$ MPa
Kuat leleh baja, f_y	390 MPa

2.4 Metode Evaluasi

Evaluasi *Tier 1* pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode daftar periksa (*checklist*) untuk menilai kondisi elemen struktural maupun non-struktural gedung. Setiap item dalam *checklist* diklasifikasikan sebagai "*Compliant*" (C) apabila elemen memenuhi kriteria standar, "*Non-compliant*" (NC) jika terdapat ketidaksesuaian, dan "*Not Applicable*" (N/A) untuk elemen yang tidak relevan. Penilaian ini dilengkapi dengan perhitungan sederhana berdasarkan ketentuan ASCE 41-17, seperti pengecekan pada *adjacent building requirement*, *minimum separation* dan risiko *pounding* untuk memastikan bahwa kondisi struktur memenuhi persyaratan minimum. Proses penilaian mempertimbangkan interaksi antarelemen serta karakteristik struktural sesuai ketentuan ASCE 41-17. Pendekatan ini diterapkan pada gedung rumah sakit lima lantai untuk mengidentifikasi potensi defisiensi struktural dan menentukan langkah perbaikan atau mitigasi yang diperlukan.

2.5 Adjacent Building Requirement

Menurut ASCE 41-17, jarak bersih antarbangunan yang dievaluasi dengan bangunan terdekat harus lebih besar daripada rasio tertentu dari tinggi bangunan terpendek di antara keduanya. Rasio ini tergantung pada tingkat seismisitas lokasi bangunan dan tingkat kinerja yang ditinjau. Bangunan yang ditinjau pada penelitian ini adalah rumah sakit sebagai bangunan dengan fungsi vital termasuk dalam kategori fasilitas penting (*essential facilities*) sehingga memiliki dua target kinerja utama, yaitu *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Namun, pada evaluasi *Adjacent Building Requirement* yang tercantum dalam ASCE 41-17 perhitungan jarak minimum antar bangunan hanya disediakan untuk target kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Pada target kinerja *Life Safety* (LS) tidak terdapat ketentuan eksplisit untuk pada aspek jarak antar bangunan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai Rasio Jarak Bersih Antarbangunan

<i>Seismicity</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Very Low</i>	0,15%
<i>Low</i>	0,5%
<i>Moderate</i>	1,0%
<i>High</i>	3,0%

Berdasarkan tabel Tabel 2 untuk wilayah dengan tingkat seismisitas tinggi, jarak antarbangunan minimal yang disyaratkan adalah 3% dari tinggi bangunan terpendek untuk kinerja *Immediate Occupancy*.

2.6 Minimum Separation

Selain pendekatan rasio tinggi bangunan, ASCE 41-17 juga menyediakan formulasi matematis untuk menentukan jarak minimum antarbangunan pada ketinggian tertentu. Persamaan ini mempertimbangkan simpangan lateral dari masing-masing bangunan terhadap tanah, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$s_i = \sqrt{A_{i1}^2 + A_{i2}^2} \quad (1)$$

keterangan :

- A_{i1} = simpangan lateral bangunan 1 terhadap tanah pada level i ,
- A_{i2} = simpangan lateral bangunan 2 terhadap tanah pada level i ,
- s_i = jarak minimum antarbangunan untuk mencegah tumbukan.

Evaluasi ini dilakukan pada bangunan eksisting tanpa menggunakan analisis dinamis mendetail seperti *nonlinear time history analysis*, maka pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode rasio tinggi bangunan sesuai dengan ASCE 41-17. Metode ini memberikan estimasi konservatif terhadap kebutuhan jarak minimum antarbangunan dan digunakan untuk tahap evaluasi awal atau *Tier 1 Screening*.

2.3 Risiko Pounding

Efek *pounding* merupakan salah satu bentuk interaksi dinamis antarbangunan yang terjadi ketika dua struktur berdekatan saling bertumbukan selama peristiwa gempa bumi. Menurut ASCE 41-17, *pounding* didefinisikan sebagai aksi dua bangunan yang berdekatan saling bersentuhan akibat eksitasi gempa karena jarak pemisah yang tidak memadai dan perbedaan karakteristik dinamis di antara keduanya. Dampak dari efek ini dapat berupa peningkatan gaya dalam lokal, deformasi berlebih, maupun kerusakan signifikan pada elemen struktural di titik tumbukan.

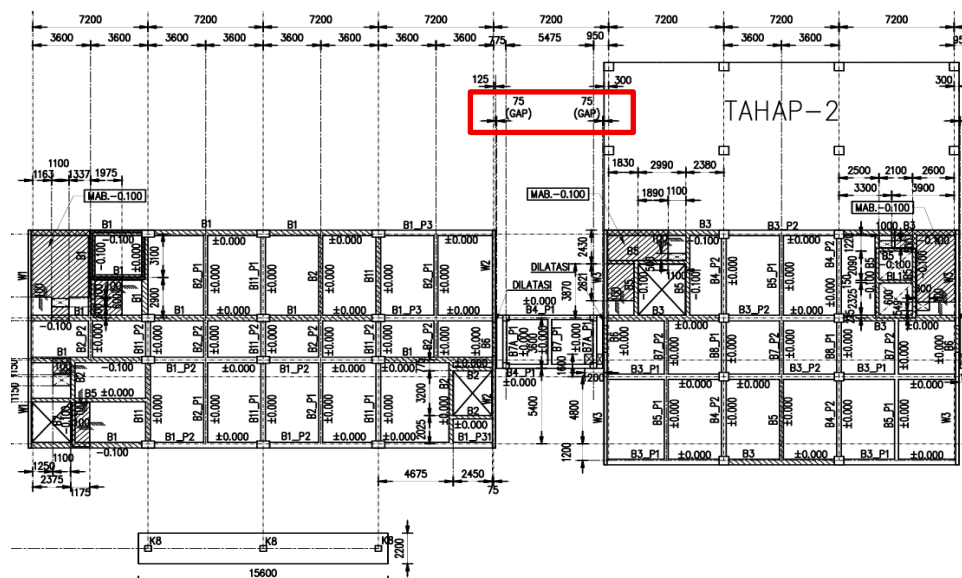
ASCE 41-17 juga mengharuskan pengumpulan data yang cukup mengenai konfigurasi dan jarak antarbangunan untuk mengevaluasi potensi interaksi tersebut, khususnya apabila jarak antarbangunan kurang dari 4% dari tinggi bangunan di atas permukaan tanah pada lokasi potensi tumbukan. Miari et al. (2019) menyoroti bahwa *pounding* sering kali terjadi di kawasan perkotaan padat akibat jarak pemisah yang tidak memadai antarbangunan. Benturan dapat terjadi antarelemen struktural seperti lantai ke kolom, antarbangunan dengan massa berbeda (*heavier-lighter slab*), maupun antarbangunan dengan tinggi berbeda (*taller-shorter building*). Jankowski (2009) menunjukkan bahwa *pounding* akibat gempa pada *Olive View Hospital* menyebabkan peningkatan respons dinamis, seperti perpindahan lateral, torsi, dan regangan inelastik pada menara tangga, sedangkan bangunan utama dengan massa lebih besar relatif tidak terpengaruh secara signifikan. Sementara itu, KPFF Consulting Engineers (2019) melakukan evaluasi seismik terhadap *Petersburg Medical Center* di Alaska berdasarkan standar ASCE 41-13, dengan fokus pada penilaian interaksi antarbagian bangunan rumah sakit. Hasilnya menegaskan bahwa evaluasi jarak antarbangunan menjadi aspek penting dalam tahap awal penilaian seismik (*seismic evaluation*).

Secara konseptual, *pounding* tidak hanya disebabkan oleh jarak yang tidak memadai, tetapi juga oleh perbedaan periode getar alami (T) dan karakteristik massa antarbangunan yang menyebabkan respons dinamis tidak serempak. Ketidaksinkronan ini mengakibatkan satu bangunan bergerak lebih cepat dibanding bangunan disebelahnya, sehingga terjadi benturan saat simpangan lateral melebihi jarak pemisah. Oleh karena itu ASCE 41-17 merekomendasikan perhitungan jarak minimum antarbangunan berdasarkan simpangan seismik desain (*seismic design displacement*), yang dalam evaluasi awal (*Tier 1*) dapat diaproksimasi dengan metode rasio tinggi bangunan. Pendekatan ini memberikan estimasi konservatif untuk menilai potensi *pounding* dan menjadi dasar pengambilan keputusan pada tahap evaluasi lanjutan *Tier 2* atau *Tier 3*. Menurut Chopra (2012), tumbukan ini dapat menyebabkan peningkatan gaya internal yang signifikan, memicu kerusakan pada elemen struktural maupun non-struktural, dan pada kasus tertentu dapat menyebabkan ketidakstabilan lokal. Dampak paling umum dari *pounding* meliputi retak pada dinding pengisi, deformasi lokal pada kolom, hingga kegagalan sambungan antar elemen struktur. Oleh karena itu, evaluasi kinerja seismik tidak hanya terbatas pada komponen struktural, tetapi juga perlu mencakup elemen non-struktural seperti dinding pengisi (*infill walls*), plafon, partisi, sistem pipa, dan peralatan kritis, karena kerusakan pada komponen ini dapat berdampak langsung pada keselamatan penghuni serta fungsi operasional gedung pasca-gempa.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Evaluasi *Adjacent Building*

Evaluasi terhadap kondisi bangunan berdekatan (*adjacent building*) dilakukan untuk mengetahui kecukupan jarak antarbangunan dalam mencegah terjadinya *pounding* selama peristiwa gempa. Berdasarkan gambar perancangan *Detail Engineering Design* (DED), jarak pemisah (*seismic gap*) antara kedua bangunan direncanakan sebesar 75 mm (7,5 cm) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Area yang diberi tanda kotak merah menunjukkan lokasi jarak pemisah (*gap*) antarbangunan dengan lebar 75 mm atau 7,5 cm, yang menjadi fokus evaluasi terhadap potensi terjadinya *pounding*.



Gambar 2 Denah bangunan

Pada hasil observasi visual di lapangan menunjukkan bahwa jarak aktual antar bangunan hanya sekitar 45 mm (4,5 cm) seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran jarak aktual pemisah antarbangunan.

Perbedaan antara jarak pada gambar perencanaan dan kondisi eksisting ini menunjukkan adanya penyusutan celah dari yang di rencanakan, yang kemungkinan besar diakibatkan oleh penambahan lapisan *finishing* seperti plesteran dan acian pada kedua sisi elemen struktur. Penyempitan celah ini menyebabkan jarak antar bangunan menjadi lebih kecil dari yang direncanakan, sehingga berpotensi mengurangi kemampuan bangunan dalam berdeformasi secara bebas saat terjadi gempa. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko terjadinya tumbukan (*pounding*) antar gedung, terutama pada area sambungan antara bangunan utama dan jembatan penghubung. Berdasarkan gambar perencanaan dan hasil pengukuran di lapangan, diketahui parameter geometrik disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Parameter nilai rasio jarak bersih antarbangunan

Parameter	Nilai
Tinggi bangunan (H)	17,850 m
Jarak antarbangunan (S_{DED})	0,075 m (7,5 cm)
Jarak antarbangunan (S_{Aktual})	0,045 m (4,5 cm)
Kategori Seismisitas	Tinggi (<i>High Seismicity</i>)

3.1.1 Perhitungan kebutuhan jarak minimum

$$S_{IO} = 3\% \times H$$

$$S_{IO} = 0,03 \times 17,850 = 0,5355 \text{ m} = 53,55 \text{ cm}$$

Hasil perhitungan kebutuhan jarak minimum ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan Kebutuhan Jarak Minimum

Parameter	Jarak Antarbangunan (cm)	Jarak Minimum (cm)	Keterangan
S_{DED}	7,5	53,55	Tidak Memenuhi
S_{Aktual}	4,5	53,55	Tidak Memenuhi

Dengan demikian, jarak aktual antarbangunan sebesar 7,5 cm berdasarkan dokumen DED maupun 4,5 cm berdasarkan kondisi eksisting di lapangan belum memenuhi ketentuan minimum untuk tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Hasil ini menandakan bahwa terdapat potensi tinggi terjadinya tumbukan (*pounding*) selama eksitasi gempa.

3.2 Pembahasan Potensi *Pounding*

Efek *pounding* terjadi ketika dua bangunan berdekatan saling bertumbukan akibat perbedaan respons dinamis, seperti perbedaan periode getar alami, massa, dan kekakuan lateral. Kondisi ini umum terjadi di kawasan perkotaan padat dengan ruang antarbangunan yang terbatas. Menurut definisi ASCE 41-17, apabila rasio jarak antarbangunan kurang dari 4% tinggi bangunan pada lokasi potensial tumbukan, maka perlu dilakukan evaluasi mendetail terhadap efek *pounding*. Berikut perhitungan rasio jarak antarbangunan terhadap tinggi bangunan :

- Jarak antarbangunan berdasarkan gambar perencanaan

$$S_{DED} / H = 0,075 / 17,85 = 0,42\%$$

- Jarak antarbangunan berdasarkan kondisi aktual

$$S_{Aktual} / H = 0,45 / 17,85 = 0,25\%$$

Nilai rasio menurut perhitungan ini jauh di bawah 4%, sehingga bangunan dikategorikan berisiko tinggi mengalami *pounding*.

3.3 Hasil Evaluasi *Checklist Tier 1*

Evaluasi kinerja seismik pada tahap *Tier 1* atau tahap *screening* dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah dijelaskan sebelumnya. Tahapan ini bertujuan untuk menilai kondisi awal bangunan terhadap target kinerja yang ditetapkan berdasarkan tingkat bahaya gempa. Ditetapkan bahwa target kinerja untuk BSE-1E adalah *Immediate Occupancy* (IO), sedangkan untuk BSE-2E adalah *Life Safety* (LS). *Checklist* yang digunakan pada tahap *Tier 1* disesuaikan dengan kombinasi target kinerja dan tingkat bahaya gempa.

Dalam konteks evaluasi seismik menggunakan ASCE 41-17 *Tier 1*, *defisiensi* didefinisikan sebagai kondisi saat elemen struktural maupun non-struktural tidak memenuhi kriteria minimum kinerja seismik untuk tingkat kinerja tertentu, seperti *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Elemen dianggap mengalami defisiensi apabila hasil pemeriksaan *checklist* menunjukkan status *Not Compliant* (NC), atau karena keterbatasan data pada dokumen *as-built drawing* maka di kategorikan *Unknown* (U). Sedangkan elemen dengan status *Compliant* (C) menunjukkan bahwa elemen tersebut telah memenuhi persyaratan kinerja seismik yang ditetapkan

3.3.1 *Checklist* Komponen Struktural

Rekapitulasi hasil pemeriksaan *Tier 1* mencakup penilaian terhadap *Basic Structural Configuration* dan *Immediate Occupancy* (IO) *Checklist* sesuai klasifikasi tipe sistem struktur C2 – *Concrete Moment Frame* berdasarkan ASCE 41-17. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian pada elemen-elemen utama sistem struktur yang dapat mempengaruhi kinerja seismik bangunan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Rekapitulasi hasil evaluasi komponen struktural berdasarkan *Tier 1 checklist*

No	Komponen evaluasi	Kriteria Penilaian	Kondisi Bangunan	Hasil evaluasi
<i>Basic configuration checklist</i>				
1	<i>Load path</i>	Jalur distribusi beban dan lateral kontinu	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
2	<i>Adjacent Buildings</i>	Jarak antar bangunan $\geq 4\%$ tinggi bangunan	Jarak antar bangunan hanya 0,42% tinggi bangunan	<i>Not Compliant (NC)</i>
3	<i>Mezzanines</i>	Struktur <i>mezzanine</i> diintegrasikan secara kaku	Tidak terdapat <i>mezzanine</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
4	<i>Weak story</i>	Rasio kekakuan antar lantai $\geq 70\%$	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
5	<i>Soft story</i>	Rasio kekakuan vertikal $\geq 80\%$ dari lantai	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>

Tabel 5 Rekapitulasi hasil evaluasi komponen struktural berdasarkan *Tier 1 checklist* (Lanjutan)

No	Komponen evaluasi	Kriteria Penilaian	Kondisi Bangunan	Hasil evaluasi
6	<i>Vertical irregularities</i>	Elemen penahan gaya berlanjut hingga pondasi	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
7	<i>Geometry</i>	Perubahan dimensi horizontal $\leq 30\%$	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
8	<i>Mass</i>	Perubahan massa tiap lantai $\leq 50\%$	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
9	<i>Torsion</i>	Eksentrisitas massa dan kekakuan minimal	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
<i>Immediate Occupancy structural checklist for building types C2</i>				
1	<i>Deflection compatibility</i>	Diperlukan bila ada elemen sekunder non-struktural	Tidak terdapat elemen sekunder	<i>Not Applicable (N/A)</i>
2	<i>Flat slabs</i>	Pelat tanpa balok pengikat antar kolom	Pelat beton tanpa balok penghubung	<i>Not Compliant (NC)</i>
3	<i>Coupling beams</i>	Diperlukan bila terdapat balok kopel antar dinding geser	Tidak terdapat balok kopel	<i>Not Applicable (N/A)</i>
4	<i>Overturning</i>	Rasio aspek dinding $\leq 4:1$	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
5	<i>Confinement reinforcing</i>	Diperlukan bila rasio aspek $(h_n/l_n) \geq 2$	Tidak diperlukan	<i>Not Applicable (N/A)</i>
6	<i>Wall reinforcing at openings</i>	Bila ada bukaan besar pada dinding	Tidak ada bukaan besar pada dinding	<i>Not Applicable (N/A)</i>
7	<i>Wall thickness</i>	Ketebalan ≥ 101 mm	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
8	<i>Diaphragm continuity</i>	Diafragma harus kontinyu	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
9	<i>Openings at shear walls</i>	Bila ada bukaan pada dinding geser	Tidak ada bukaan pada dinding geser	<i>Not Applicable (N/A)</i>
10	<i>Plan irregularities</i>	ketidakberaturan geometri	Denah tiap lantai beraturan	<i>Not Applicable (N/A)</i>
11	<i>Diaphragm reinforcement at openings</i>	Bila bukaan $> 50\%$ lebar bangunan	Tidak ada bukaan besar	<i>Not Applicable (N/A)</i>

3.3.2 Checklist Komponen nonstruktural

Selain elemen struktural, evaluasi *Tier 1* juga mencakup komponen nonstruktural, yaitu elemen-elemen bangunan yang tidak berkontribusi langsung terhadap kekuatan sistem penahan gaya gempa, namun dapat memengaruhi keselamatan penghuni serta fungsi operasional bangunan pasca gempa. Komponen nonstruktural meliputi elemen arsitektural, mekanikal, elektrik, dan sistem utilitas penting seperti plafon gantung, partisi, dinding pengisi (*infill walls*), sistem pipa, tangki air, maupun peralatan kritis pada fasilitas khusus seperti rumah sakit. Rekapitulasi hasil pemeriksaan *Tier 1* untuk komponen nonstruktural disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Rekapitulasi hasil evaluasi komponen non-struktural berdasarkan *Tier 1 checklist*

No	Komponen evaluasi	Kriteria Penilaian	Kondisi Bangunan	Hasil evaluasi
<i>Life safety system</i>				
1	<i>Fire suppression pipping</i>	Pipa proteksi kebakaran harus memenuhi NFPA-13	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
2	<i>Flexible couplings</i>	Sambungan fleksibel harus tersedia di jaringan pipa proteksi	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
3	<i>Emergency powder</i>	Sistem proteksi kebakaran harus memiliki daya cadangan	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
4	<i>Stair and smoke ducts</i>	Berlaku bila ada tangga darurat dengan sistem pengendali asap	Tidak terdapat tangga dengan sistem pengendali asap	<i>Not Applicable (N/A)</i>
5	<i>Sprinkler ceiling clearance</i>	Jarak <i>sprinkler</i> terhadap plafon sesuai NFPA-13	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
6	<i>Emergency lighting</i>	Penerangan darurat harus tersedia untuk evakuasi	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>

Tabel 6 Rekapitulasi hasil evaluasi komponen non-struktural berdasarkan *Tier 1 checklist* (lanjutan)

No	Komponen evaluasi	Kriteria Penilaian	Kondisi Bangunan	Hasil evaluasi
<i>Hazardous material</i>				
1	<i>Hazardous material equipment</i>	Peralatan berisiko harus dilengkapi pengekan	Tidak terdapat peralatan berisiko	<i>Not Applicable (N/A)</i>
2	<i>Hazardous material storage</i>	Penyimpanan bahan berbahaya harus sesuai standar	Tidak ada fasilitas penyimpanan bahan berbahaya	<i>Not Applicable (N/A)</i>
3	<i>Hazardous material distribution</i>	Distribusi bahan berbahaya diamankan	Tiada data sistem distribusi	<i>Unknown (U)</i>
4	<i>Shutoff valves</i>	Katup isolasi harus tersedia untuk memutus aliran darurat	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
5	<i>Flexible couplings</i>	Jalur pipa bahan berbahaya memiliki sambungan fleksibel	Detail sambungan tidak tercantum pada <i>as-built drawing</i>	<i>Unknown (U)</i>
6	<i>Piping or ducts crossing seismic joints</i>	Pipa melewati sambungan seismik	Tidak ada data pipa melewati sambungan seismik	<i>Unknown (U)</i>
<i>Ceilings</i>				
1	<i>Suspended lath and plaster</i>	Berlaku bila plafon menggunakan sistem <i>lath-plaster</i>	Plafon menggunakan <i>sandwich panel</i> EPS/PIR	<i>Not Applicable (N/A)</i>
2	<i>Suspended gypsum board</i>	Berlaku bila plafon <i>gypsum</i> gantung	Plafon bukan <i>gypsum</i> , tetapi <i>sandwich panel</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
3	<i>Integrated ceilings</i>	Harus ada pengekan lateral	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
4	<i>Edge clearance</i>	Harus ada jarak bebas tepi	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
5	<i>Continuity across</i>	Tidak boleh melintas sambungan seismik	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
6	<i>Edge support</i>	Harus ada tumpuan tepi plafon	Detail tumpuan tidak tercantum	<i>Not Applicable (N/A)</i>
7	<i>Seismic joints</i>	Harus ada sambungan fleksibel bila melewati <i>joint</i>	Sistem plafon <i>sandwich panel</i> , tidak relevan	<i>Not Applicable (N/A)</i>
<i>Light fixtures</i>				
1	<i>Independent support</i>	Lampu berat harus ditopang mandiri	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
2	<i>Pendant supports</i>	Lampu gantung harus diberi jarak bebas/stabil	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
3	<i>Lens covers</i>	Lampu harus punya penutup lensa pengaman	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
<i>Cladding and glazing</i>				
1	<i>Cladding anchors</i>	Titik jangkar $\leq 1,2$ m	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
2	<i>Multi-story panels</i>	Panel antar-lantai harus akomodasi <i>drift</i>	Tidak ada panel antar-lantai	<i>Unknown (U)</i>
3	<i>Threaded rods</i>	Digunakan bila perlu akomodasi deformasi	Sistem fasad tanpa batang ulir	<i>Not Applicable (N/A)</i>
4	<i>Panel connections</i>	Tiap panel ≥ 4 titik sambungan	Memenuhi	<i>Compliant (C)</i>
5	<i>Bearing connections</i>	Sambungan bantalan ≥ 2 koneksi/panel	Tidak ada sambungan bantalan	<i>Not Applicable (N/A)</i>
6	<i>Inserts</i>	Sisipan <i>cladding</i> harus terikat ke tulangan	Tidak ada info detail	<i>Unknown (U)</i>
<i>Masonry veneer</i>				
1	<i>Ties</i>	<i>Veneer</i> harus diikat ke dinding pendukung	Tidak ada komponen <i>veneer</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
2	<i>Shelf angles</i>	Diperlukan untuk menopang <i>veneer</i>	Tidak ada komponen <i>veneer</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
3	<i>Weakened planes</i>	Angkur <i>veneer</i> dipasang pada bidang lemah	Tidak ada komponen <i>veneer</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>

Tabel 6 Rekapitulasi hasil evaluasi komponen non-struktural berdasarkan *Tier 1 checklist* (lanjutan)

No	Komponen evaluasi	Kriteria Penilaian	Kondisi Bangunan	Hasil evaluasi
4	<i>Unreinforced masonry backup</i>	<i>Veneer</i> dengan dinding pendukung URM	Tidak ada komponen <i>veneer</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
5	<i>Stud tracks</i>	Diperlukan pada sistem <i>Stud tracks</i>	Tidak digunakan sistem <i>Stud tracks</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
6	<i>Anchorage</i>	Angkur <i>veneer</i> ke struktur utama sesuai jarak standar	Tidak ada komponen <i>veneer</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
7	<i>Weep holes</i>	<i>Veneer</i> harus memiliki <i>weep holes</i> dan <i>base flashing</i>	Tidak ada <i>veneer</i> yang memerlukan <i>weep holes</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
8	<i>Openings</i>	Bukaan pada <i>veneer</i> baja harus memenuhi ketentuan sambungan	Tidak ada <i>veneer</i> berbasis baja atau bukaan sejenis	<i>Not Applicable (N/A)</i>
<i>Parapets, cornices, ornamentation, and appendages</i>				
1	<i>Urm parapets or cornices</i>	Parapet URM memenuhi rasio tebal $\leq 1,5-2,5$	Tiada <i>unreinforced masonry</i>	<i>Not Applicable (N/A)</i>
2	<i>Canopies</i>	Kanopi luar diangkur ke struktur utama	Tidak ada kanopi terpisah	<i>Not Applicable (N/A)</i>
3	<i>Concrete parapets</i>	Parapet rasio tinggi $> 2,5$ bertulangan vertikal	Tidak parapet beton rasio tinggi $>2,5$	<i>Not Applicable (N/A)</i>
4	<i>Appendages</i>	Ornamen/petunjuk harus ditambatkan ke struktur dengan jarak $\leq 1,8$ m	Tidak tersedia detail ornamen atau elemen tambahan	<i>Not Applicable (N/A)</i>

4 KESIMPULAN

1. Evaluasi terhadap kondisi bangunan berdekatan (*adjacent building*) didapatkan hasil pengukuran menunjukkan jarak antarbangunan aktual sebesar 4,5 cm, lebih kecil dari jarak rencana sebesar 7,5 cm. Nilai ini jauh di bawah jarak minimum 53,55 cm yang dipersyaratkan oleh ASCE 41-17 untuk tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Rasio jarak antarbangunan terhadap tinggi bangunan hanya sebesar 0,25–0,42%, jauh di bawah batas aman 4%, sehingga bangunan dikategorikan memiliki risiko tinggi terhadap terjadinya *pounding* selama peristiwa gempa.
2. Evaluasi *Tier 1 Screening* menunjukkan bahwa sebagian besar komponen struktural utama telah memenuhi kriteria kinerja seismik (*Compliant*). Namun, pada aspek *Adjacent Building* ditemukan ketidaksesuaian (*Not Compliant*), yang mengindikasikan adanya defisiensi terhadap standar ASCE 41-17.
3. Komponen nonstruktural menunjukkan bahwa sebagian besar telah memenuhi ketentuan standar dan berstatus *Compliant*. Namun, beberapa elemen masih berstatus *Unknown* akibat keterbatasan data pada dokumen perencanaan.
4. Defisiensi pada jarak antarbangunan rumah sakit yang berfungsi sebagai fasilitas vital kategori risiko IV menunjukkan potensi tinggi terjadinya *pounding*, yang dapat mengganggu konektivitas jembatan penghubung serta menurunkan keandalan kinerja seismik bangunan secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi lanjutan menggunakan metode Tier 2 atau Tier 3

REFERENSI

ASCE, 2017. ASCE 41-17: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. Virginia: American Society of Civil Engineers.

BMKG, (2019) Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak Tahun 1821-2018. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Eldhose, E., & Remanan, M. (2023). Evaluation of Seismic Pounding Effect on Two Regular Adjacent RC Buildings with Three Different Alignments. In K. K. Hau, A. K. Gupta, T. Gupta, & S. Chaudhary (Eds.), *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 277, pp. 297–308). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4040-8_25

- Hamid, M., Rahman, F., Ali, Q., (2022). The Effects of pounding on the behavior of reinforced concrete frame structures in seismic zone 2B. *Journal of Engineering Research (Kuwait)* 10, 99–114. <https://doi.org/10.36909/jer.11029>
- Harijoko, A., Anggraini, A., Setianto, A., Hendratno, A., Solikhin, A., Omang, A., Islamiyati, D. (2024). *Geologi Gempa Bumi Indonesia*. Gadjah Mada University Press.
- Jankowski, R. (2009). Non-linear FEM analysis of earthquake-induced pounding between the main building and the stairway tower of the Olive View Hospital. 1851–1864. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.03.001>
- KPFF Consulting Engineers. (2019). *Petersburg Medical Center Seismic Evaluation Report*. Petersburg, Alaska: KPFF.
- Lin, J. H. (2014). Peak story drift of a building structure subjected to earthquakes. *Applied Mechanics and Materials*, 580–583, 1439–1442. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.1439>
- Miari, M., & Jankowski, R. (2023). Analysis of the effect of the seismic gap on the response of buildings experiencing pounding during earthquakes. In L. Rodriguez-Tembleque, E. Correa, & F. Aliabadi (Eds.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2848). American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/5.0145034>
- Satyarno, I., (2010) *Keamanan Rumah Sakit Terhadap Bahaya Gempa (Kenyataan Pada Beberapa Gempa Terakhir)*. Universitas Gadjah Mada.
- Tjandra, K. (2018). *Empat bencana geologi yang Paling Mematikan*. Gadjah Mada University Press.
- Yun, J.-W., & Han, J.-T. (2021). Evaluation of soil spring methods for response spectrum analysis of pile-supported structures via dynamic centrifuge tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106537>