

Korelasi Antar Tingkat Kerusakan Bangunan Akibat Gempa pada Sistem Struktur Reinforced Concrete Sebagai Preferensi Arsitek

Correlation Between Levels of Building Damage Due to Earthquake on Reinforced Concrete Structural System as Architect's Preference

Rita Laksmi^{1*}, Yulita Hanifah²

¹ Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Indraprasta PGRI

² Fakultas Teknik
Universitas Pancasila

E-mail: ^{1*} ritalexmi@gmail.com

² ylthnfh@gmail.com

(* corresponding author)

Abstract

Indonesia is one of the countries that have the potential to experience an earthquake. Most of the high-rise buildings use a reinforced concrete structural system design. Architects need to understand the level of damage to non-structural elements that affect the level of damage to structural elements in buildings that use reinforced concrete structural system designs. The research method used is a quantitative method by looking for a relationship or correlation between the level of damage to structural elements and the level of damage to non-structural elements. In the early stages, this research uses data processing techniques - document content analysis. Documents are analyzed systematically, integrated, and intact. The next stage, the results of the analysis of the contents of the document are used as data in the next process, namely looking for relationships between variables that have been found. The purpose of this study was to find a relationship between the level of damage to non-structural elements and the level of damage to structural elements in buildings with a reinforced concrete structural system design. The results of the study found a relationship between the level of damage to non-structural elements and the level of damage to structural elements for buildings with reinforced concrete designs. The novelty obtained in this study is that the building did not experience damage to structural elements but tended to have slight damage to non-structural elements leading to moderate damage. Recommendations for architects are buildings with reinforced concrete structural system designs that require building stiffeners (core, bracing, shear wall) as structural elements.

Keywords : Structural elements, Non-structural elements, Reinforced concrete, Damage level

Abstrak

Indonesia salah satu negara yang berpotensi mengalami bencana gempa. Sebagian besar bangunan bertingkatnya menggunakan disain sistem struktur *reinforced concrete*. Arsitek perlu memahami tingkat kerusakan elemen non struktural yang mempengaruhi tingkat kerusakan

elemen struktural pada bangunan yang menggunakan desain sistem struktur *reinforced concrete*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan mencari hubungan atau korelasi antara tingkat kerusakan elemen struktural dan tingkat kerusakan elemen non struktural. Pada tahap awal, penelitian ini menggunakan teknik pengolahan data - analisis isi dokumen. Dokumen dianalisis dengan sistematis, terpadu, dan utuh. Tahap selanjutnya, hasil analisis isi dokumen digunakan sebagai data pada proses selanjutnya, yaitu mencari hubungan antar variabel yang telah ditemukan. Tujuan penelitian ini adalah mencari hubungan antara tingkat kerusakan elemen non struktural dan tingkat kerusakan elemen struktural pada bangunan dengan desain sistem struktur *reinforced concrete*. Hasil penelitian terdapat hubungan antara tingkat kerusakan elemen non struktural dan tingkat kerusakan elemen struktural untuk bangunan dengan desain *reinforced concrete*. Kebaruan didapat pada penelitian ini adalah bangunan tidak mengalami kerusakan pada elemen struktural, tetapi cenderung bangunan mengalami tingkat kerusakan elemen non struktural *slight damage* (kerusakan ringan) yang mengarah ke *moderate damage*. Rekomendasi bagi arsitek adalah bangunan gedung dengan desain sistem struktur *reinforced concrete* membutuhkan pengaku bangunan (*core, bracing, shear wall*) sebagai elemen struktural.

Kata kunci : Elemen structural, Elemen non struktural, Reinforced concrete, Tingkat Kerusakan

1. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk daerah rawan gempa bumi karena Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Indo Australia, dan Lempeng Eurasia. Lempeng-lempeng ini berada di sepanjang sisi Timur Indonesia membentang dari timur ke selatan dan berada sepanjang sisi selatan Bali - Jawa, dan terus menuju sisi barat Pulau Sumatera. Gempa dengan kekuatan gempa minimal magnitude 5 SR dan kedalaman kurang dari 100 km atau dalam skala Modified Mercalli Intensity (MMI) bervariasi mulai III MMI sampai VI MMI telah mengguncang lebih dari 200 kali gempa bumi di Indonesia selama 10 tahun terakhir (2011-2021) [1].

Berbagai dampak gempa bumi bagi masyarakat seperti hilangnya harta benda, rusak infrastruktur, dan keselamatan manusia. Untuk itu perlu peran masyarakat dalam merespon bencana tersebut dengan memberdayakan sarana dan prasarana secara maksimal [2]. Gempa bumi merupakan salah satu faktor penyebab kerusakan bangunan gedung selain faktor mekanis, dan faktor pelaksanaan [3]. Kesiapsiagaan bangunan gedung dan masyarakat bagian dari resiliensi terhadap gempa bumi. Bangunan gedung bertingkat pada bangunan hunian bagian dari keberlangsungan kehidupan masyarakat sebelum, saat, dan setelah bencana terjadi. Aspek fisik bangunan tahan gempa terdiri dari elemen struktural dan elemen non struktural - arsitektural. Penentuan sistem struktur yang digunakan pada bangunan gedung sesuai dengan bentuk dan fungsi bangunan serta kaitannya dengan sistem lain [4].

Elemen non struktural – elemen arsitektur yang menjadi elemen penilaian pada *quick assessment* PU adalah dinding pengisi dengan rangka, dinding pengisi tanpa rangka, penutup atap, tangga, kusen dan daun pintu/jendela, plesteran dan finishing [5], serta langit-langit [6]. Elemen non struktural termasuk dalam kategori *Operational and Functional Components* (OFC). Perbedaan tipe bangunan berdasarkan fungsi dan desain bangunan yang berbeda memberikan perbedaan pola pada OFC bangunan. Begitu pula perbedaan konstruksi antar negara dalam standar industri setempat [7]. Elemen struktur bangunan pada desain sistem struktur *reinforced concrete* terdiri dari kolom, balok, join antar kolom dengan plat lantai.

Kerusakan bangunan gedung dapat terjadi pada elemen struktural dan elemen non struktural. Elemen arsitektural salah satu elemen non struktural yang sering mengalami

kerusakan pertama kali pada saat gempa terjadi. Beberapa contoh elemen arsitektural mengalami kerusakan yaitu: langit-langit baik penutup dan rangka, dinding pengisi begitu pula pintu jendela beserta kusenya, penutup atap, dan lantai [5]. Pada *quick assessment* bangunan pasca gempa, elemen struktural menjadi penilaian utama. Kerusakan elemen struktural dengan tingkat tertentu akan mempengaruhi kerusakan elemen non struktural bangunan. Tingkat kerusakan bangunan gedung berupa peringkat dari penilaian kerusakan elemen struktural dan kerusakan elemen non struktural. Pada *European Macroseismic Scale* (EMS) menjelaskan hubungan antara tingkat kerusakan elemen struktural dan elemen non struktural. Pada tingkat kerusakan bangunan *moderate damage* maka tingkat kerusakan elemen struktural pada tingkat *slight damage* dan tingkat kerusakan elemen non struktural pada penilaian tingkat kerusakan *moderate damage* [8].

Sebagian besar bangunan gedung bertingkat di Indonesia menggunakan desain sistem struktur *reinforced concrete* berupa struktur rangka beton bertulang dengan dinding pengisi pasangan bata. Penggunaan desain sistem struktur *reinforced concrete* mempengaruhi tingkat kerusakan elemen non struktural terhadap tingkat kerusakan elemen struktural. Lebih dari 25 jurnal yang ditelaah, belum ada penelitian yang mencari hubungan antara tingkat kerusakan non struktural dan tingkat kerusakan struktural untuk desain sistem struktur *reinforced concrete*. Hal ini dipandang perlu bagi arsitek sebagai perancang, agar dapat mengantisipasi kerusakan elemen non struktural – elemen arsitektural dapat mempengaruhi kerusakan struktural dalam menjaga keselamatan jiwa pengguna bangunan gedung.

Ruang lingkup penelitian ini adalah korelasi antara elemen non struktural dengan elemen struktural pada bangunan gedung yang menggunakan desain sistem struktur *reinforced concrete*. Tingkat kerusakan berapa pada elemen non struktural akan menyebabkan tingkat kerusakan elemen struktural *substantial to heavy damage*? Tingkat kerusakan struktural *substantial to heavy damage* (tingkat ke 3) pada bangunan gedung dengan desain sistem struktur *reinforced concrete* merupakan kerusakan berat (kerusakan struktur sedang, kerusakan non-struktural berat). Secara visual terlihat adanya retak pada sambungan kolom dan balok kolom pada rangka di dasar dan pada sambungan dinding kopel [9]. Pada beberapa kasus elemen struktural mengalami kerusakan sedang dan elemen non struktural mengalami kerusakan berat dengan lepasnya dinding pengisi. Kerusakan berat pada elemen non struktural dapat membahayakan keselamatan jiwa manusia. Beberapa contoh kerusakan berat pada elemen non struktural diantaranya: retak tembus penampang, dinding mengalami retak diagonal, atap miring, deformasi, dan terpisah dari struktur, kusen dan daun jendela hampir jatuh [10].

Tujuan penelitian ini adalah mencari hubungan antara tingkat kerusakan elemen non struktural dan tingkat kerusakan elemen struktural pada bangunan dengan desain sistem struktur *reinforced concrete*. Hipotesis penelitian ini adalah terdapat hubungan antara tingkat kerusakan elemen non struktural dan tingkat kerusakan elemen struktural. Bahkan pada saat elemen non struktural tidak mengalami kerusakan akibat gempa, tingkat kerusakan elemen struktur mengalami kerusakan dengan tingkat tertentu. Inovasi teknologi dapat diterapkan oleh masyarakat khususnya arsitek sebagai perancang untuk memperhatikan desain sistem struktur yang digunakan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Gaya gempa sebagai gaya luar akan memberikan pengaruh terhadap kestabilan bangunan. Desain sistem struktur terutama elemen struktural harus mampu merespon gaya gempa yang diprediksi akan datang. Kinerja struktur bangunan gedung dipengaruhi oleh prediksi gaya gempa dan kemampuan sistem struktur bertahan. Untuk itu kemampuan sistem struktur dalam merespon gaya gempa sebesar 1,5 kali dari kemungkinan atau prediksi gaya gempa tersebut datang [11]. Pada bangunan terdapat diafragma yang berguna untuk mendistribusikan gaya

horizontal termasuk gaya gempa ke elemen penahan gaya vertikal seperti dinding geser dan rangka. Seterusnya gaya tersebut dipindahkan ke fondasi dan menuju ke tanah pendukung. Beban gempa sebagai gaya inersia yang tergantung pada berat massa, kekakuan bangunan, dan energi-menyerap (misal redaman dan daktilitas) struktur [12]. Gaya yang bekerja pada elemen struktural baik gaya luar maupun gaya dalam akan bekerja sepanjang usia bangunan. Elemen struktural pada desain reinforced concrete akan mempengaruhi tingkat kerusakan bangunan pada saat terjadi gempa. Gaya gempa mempengaruhi kerusakan pada bangunan [13].

Terdapat beberapa skala tingkat kerusakan bangunan, seperti NILIM 2002, Pedoman Teknis PU tahun 2006, European Macroseismic Scale (EMS), dan Quick Assessment PU. Bangunan bertingkat atau bangunan lebih dari 1 lantai, skala kerusakan bangunan menggunakan NILIM 2002. Pada table 1 terlihat 5 tingkat kerusakan bangunan menurut NILIM 2002, yaitu *slight damage*, *light damage*, *medium damage*, *heavy damage*, *collaps*. *European Macroseismic Scale (EMS)* memiliki 5 skala, yaitu *slight damage*, *moderate damage*, *substantial to heavy damage*, *heavy damage*, dan *destruction*. Pada pemeriksaan cepat atau *quick assessment* dari Departemen Pekerjaan Umum menggunakan tingkat kerusakan bangunan rusak ringan, rusak sedang, dan rusak berat [5].

Tabel 1. Tingkat kerusakan bangunan pada beberapa tingkat penilaian

No	NILIM 2002	European Macroseismic Scale (EMS)	Quick Assessment PU
1	Slight damage	Slight damage	Rusak ringan
2	Light damage		
3	Medium damage	Moderate damage	Rusak sedang
4	Heavy damage	Substantial to heavy damage	
		Heavy damage	Rusak berat
5	Collaps	Destruction	

Bangunan gedung mengalami tingkat kerusakan *slight damage* untuk elemen struktural maka bangunan tersebut mengalami tingkat kerusakan *moderate damage* untuk kerusakan elemen non struktural. Tingkat kerusakan elemen non struktural satu tingkat lebih tinggi dibanding tingkat kerusakan elemen struktural. Bangunan yang mengalami tingkat kerusakan *moderate damage* untuk elemen struktural maka bangunan akan mengalami tingkat kerusakan *substantial to heavy damage*. Begitu pula bangunan yang memiliki tingkat kerusakan *substantial to heavy damage* untuk elemen struktural, maka tingkat kerusakan elemen non struktural memiliki tingkat kerusakan *destruction* (Tabel 2).

Tabel 2. Posisi tingkat kerusakan elemen struktural dan tingkat kerusakan elemen non struktural

Tingkat Kerusakan struktural	Gambar kerusakan elemen struktural	Gambar kerusakan elemen arsitektural	Tingkat Kerusakan elemen arsitektural
Slight damage	Retakan halus pada plester di atas rangka atau pada dinding. Retakan halus pada partisi dan dinding pengisi	 https://www.jawapos.com/jpg-today/07/04/2018/gedung-rusak-pelayanan-cuci-darah-rsud-sleman-tersendat/	Moderate damage
Moderate damage	Retak pada kolom dan balok pada rangka dan pada dinding struktural. Retak pada dinding partisi dan pengisi; jatuhnya <i>cladding</i> dan plester yang rapuh. Mortar jatuh dari sambungan panel dinding		Substantial to heavy damage

<https://www.tribunnews.com/regional/2021/04/11/tiga-ruang-pasien-di-paviliun-rsud-mardi-waluyo-blitar-berantakan-akibat-gempa>

Substantial to heavy damage



(EMS 1998)



<https://radarkudus.jawapos.com/read/2021/01/06/233921/duh-baru-setahun-dibangun-plafon-rsud-blora-ambrol>

Heavy damage

Heavy damage



(EMS 1998)

Destruction

Destruction



(EMS 1998)

3. METODE PENELITIAN

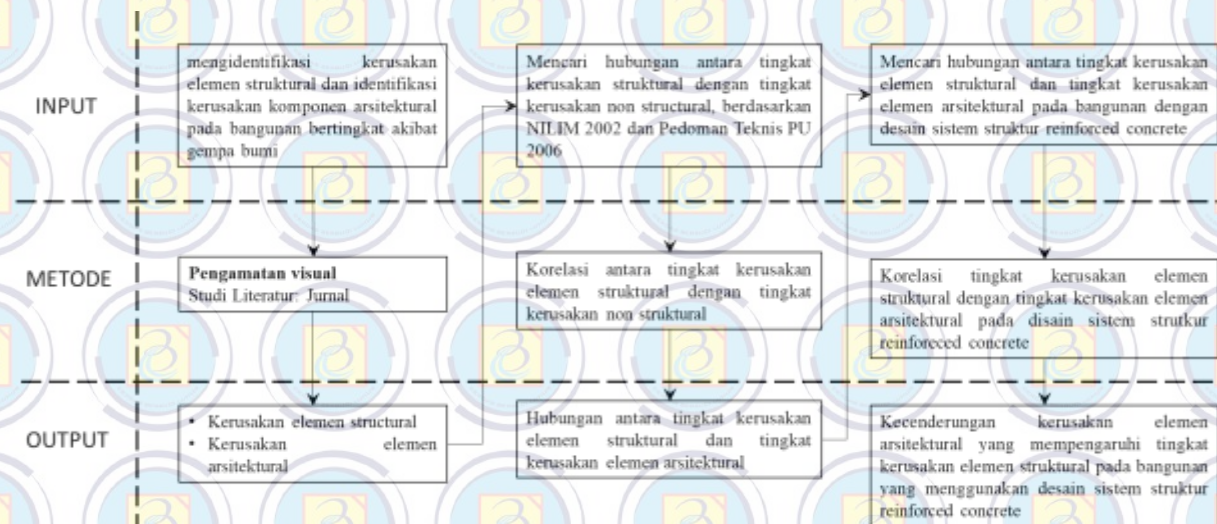
3.1 Pengambilan data

Pengumpulan data menggunakan metode studi literatur. Pengumpulan data secara terbuka untuk mendapatkan kemungkinan informasi. Data dikumpulkan sebanyak mungkin sampai jenuh dengan lingkup sesuai tujuan penelitian. Teknik identifikasi visual dari foto foto yang berada pada jurnal dan media sebagai studi literatur. Terdapat 163 kasus bangunan dari 28 literatur jurnal yang berhubungan dengan gempa dan terbit dari tahun 2017 sampai tahun 2021. Terdapat 6 jenis kasus bangunan yaitu bangunan hunian (69 kasus), sekolah (22 kasus), rumah sakit (21 kasus), komersial (20 kasus), multifungsi (8 kasus), dan fungsi lainnya (15 kasus).

3.2 Tahap Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis isi dokumen dan korelasi. Pada tahap analisis isi dokumen, hasil pengumpulan data dari literatur dikelompokkan sesuai kategori dengan pemaknaan awal dan berdasarkan teori yang mendukung. Pengambilan data berdasarkan observasi visual dari foto dan keterangan dalam artikel pada jurnal. Pada tahap ini termasuk proses pengujian yang dilakukan dengan sistematis pada bagian tertentu untuk menentukan hubungan antar bagian, dan hubungan setiap bagian dengan keseluruhan. Tahap analisis ini bertujuan mencari pola [14]. Beberapa langkah yang dilakukan pada proses metode analisis isi dokumen, yaitu memastikan dokumen bersifat obyektif dan sistematis sehingga dapat ditarik kesimpulan yang sah [15].

Hasil pada tahap ini berupa identifikasi kerusakan bangunan. Tingkat kerusakan bangunan dimasukkan dalam kriteria penilaian dalam EMS dan NILIM sebagai parameter penilaian. Tahap selanjutnya menggunakan korelasi untuk mendapatkan hubungan antara tingkat kerusakan elemen struktural dan tingkat kerusakan elemen non struktural – arsitektur (gambar 1). Pada tahap ini, terlihat adanya hubungan antara tingkat kerusakan elemen struktural dengan tingkat kerusakan elemen non struktural. Tahap ke 3, mencari hubungan antara tingkat kerusakan elemen non struktural dengan tingkat kerusakan elemen struktural untuk bangunan yang menggunakan desain sistem struktur *reinforced concrete*.

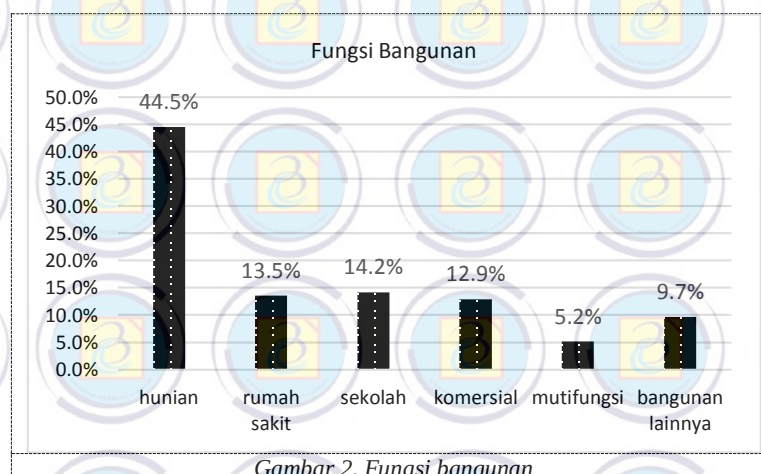


Gambar 1. Tahap Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

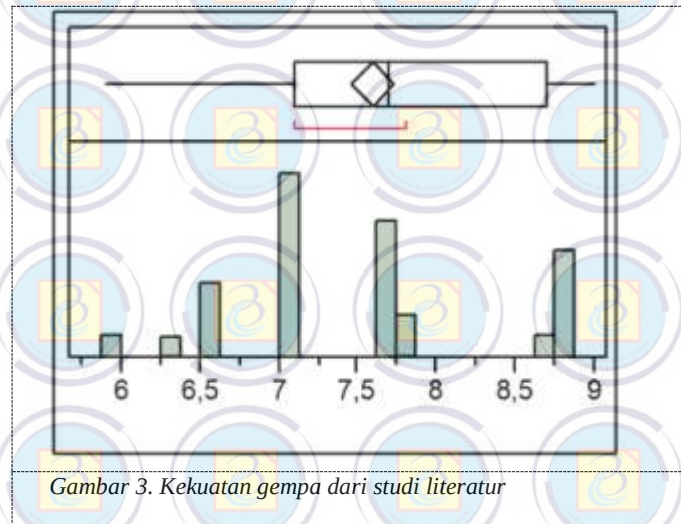
4.1 Hasil

Lokasi gempa yang diteliti dari beberapa literatur terjadi di beberapa negara di dunia, seperti Mexico, Jepang, Indonesia, Iran, Italia, New Zealand, India, dan lainnya. Pada gambar 2 terlihat sebagian besar fungsi bangunan adalah hunian, yaitu 44,5% terletak di beberapa negara, seperti Mexico dan Taiwan. Fungsi bangunan sekolah sebanyak 14,2% diantaranya terletak di Italia, Iran, dan Chile. Bangunan gedung rumah sakit sebanyak 13,5% tersebar di beberapa negara yaitu Chile, Taiwan, New Zealand, dan Italia. Pada beberapa jurnal juga menjelaskan beberapa bangunan komersial di India, Mexico, dan Taiwan sebanyak 12,9% terdampak gempa (gambar 2).



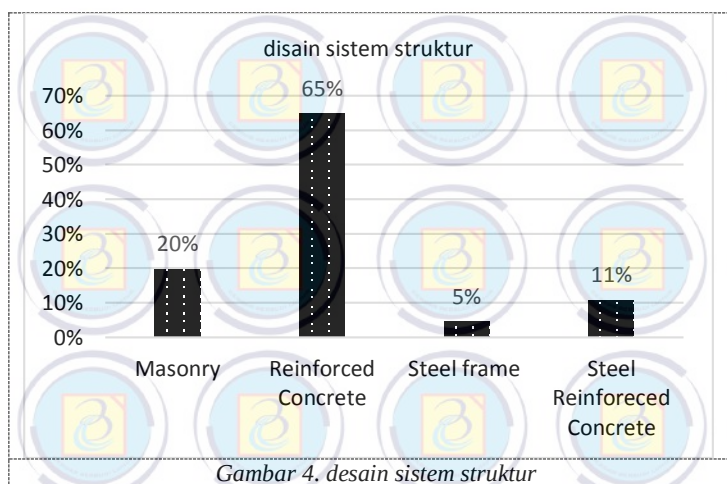
Gambar 2. Fungsi bangunan

Kekuatan gempa yang terjadi pada data berkisar antara 5,9 Mw sampai 9 Mw. Rata-rata kekuatan gempa 7,5 Mw dengan rentang terbanyak pada kekuatan gempa 7 Mw sampai 7,5 Mw (gambar 3). Mulai kekuatan gempa 5 Mw yang dapat mengakibatkan kerusakan bangunan dengan skala ringan atau skala VI Modified Mercalli Intensity (MMI) – getaran dirasakan dan plesteran berjatuh. Semakin meningkatnya kekuatan gempa maka skala MMI pun akan meningkat, dengan kondisi paling berat atau skala MMI IX sampai XII atau Skala Intensitas Gempa bumi (SIG) – BMKG berwarna merah [16].



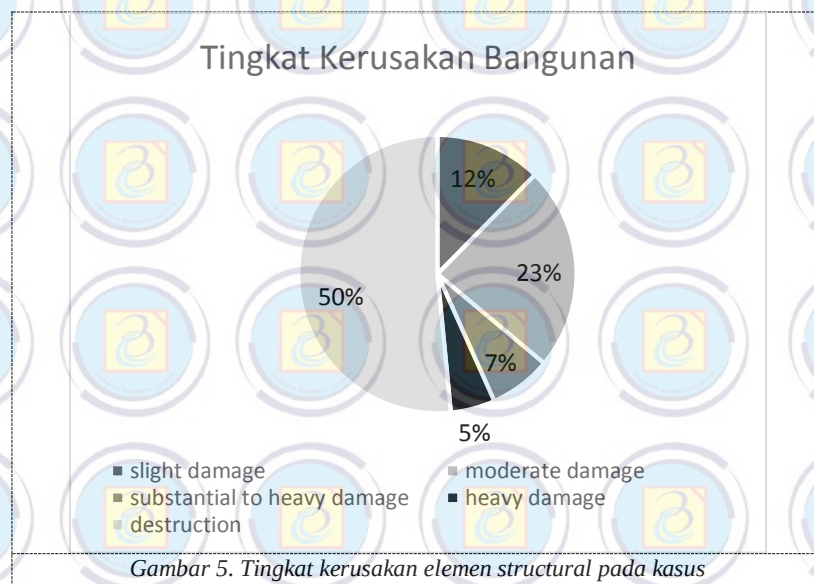
Gambar 3. Kekuatan gempa dari studi literatur

Terdapat beberapa kriteria sistem struktur bangunan di daerah rawan gempa [17], yaitu: 1. struktur bangunan harus berbentuk sederhana, kompak dan simetris, 2. struktur bangunan tidak boleh terlalu ramping sehingga memiliki kekakuan yang cukup, 3. distribusi beban, kekakuan dan kekuatan di sepanjang ketinggian bangunan, dan 4. elemen vertikal dari struktur (kolom) harus dibuat lebih kuat dari elemen struktur horizontal (balok), sehingga terbentuk sistem *strong column - weak beam*. Dari data didapatkan banyak bangunan gedung tahan gempa menggunakan desain sistem struktur *reinforced concrete* cukup banyak atau sebanyak 65%, masonry sebanyak 20% (gambar 4). Data dapat mewakili kondisi yang sama dengan bangunan gedung bertingkat di Indonesia.



Gambar 4. desain sistem struktur

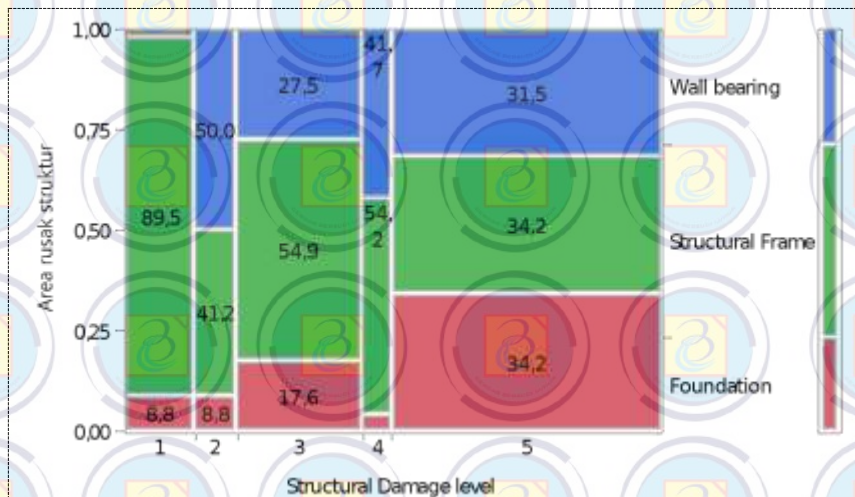
Pada gambar 5 terlihat tingkat kerusakan bangunan gedung akibat gempa terbanyak mengalami tingkat kerusakan *slight damage* (30%) atau kerusakan ringan. Peringkat kedua bangunan gedung juga mengalami tingkat kerusakan sedang (25%) dan bangunan dengan tingkat kerusakan *substantial to heavy damage* (23%). Tingkat kerusakan *destruction* dialami oleh bangunan gedung akibat gempa. Tingkat kerusakan bangunan sedang (moderate) maka bangunan mengalami tingkat kerusakan *substantial heavy damage* untuk kerusakan non struktural. Sesuai parameter di EMS, *moderate damage* mengakibatkan elemen non struktural mengalami retak pada dinding partisi dan pengisi; jatuhnya cladding dan plester yang rapuh. Mortar jatuh dari sambungan panel dinding (tabel 2). Tingkat kerusakan bangunan *substantial to heavy damage* mengakibatkan elemen non struktural mengalami *heavy damage* atau retakan besar pada dinding partisi dan pengisi, kegagalan panel pengisi.



Gambar 5. Tingkat kerusakan elemen struktural pada kasus

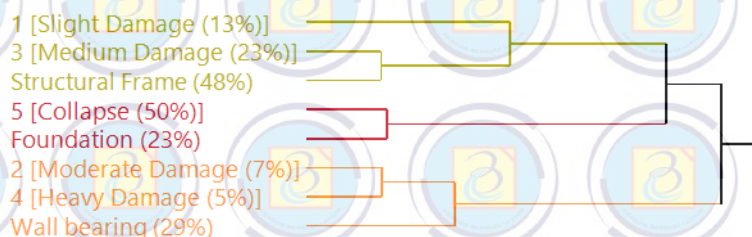
4.2 Pembahasan

Kecenderungan area kerusakan akibat gempa terhadap tingkat kerusakan elemen struktur bangunan bertingkat berada pada *wall bearing*, *structural frame*, dan fondasi. Dari ketiga area kerusakan (*wall bearing*, *structural frame*, fondasi) terbanyak kerusakan terjadi pada *structural frame* di setiap tingkat kerusakan. *Design reinforced concrete* menggunakan rangka sebagai elemen strukturnya banyak mengalami tingkat kerusakan 1, diikuti tingkat kerusakan 3, dan kerusakan 5. Tingkat kerusakan 2 dan 4 tidak memiliki kasus yang terlalu banyak. Bangunan mengalami tingkat kerusakan 1 terbanyak disebabkan oleh rangka struktur sebesar 89,5%. Pada tingkat kerusakan 3 dan 5, kerusakan paling banyak diakibatkan oleh kerusakan rangka struktur yaitu secara berturut sebesar 54,9% dan 34,2%. Kerusakan rangka struktur pada bangunan dengan tingkat kerusakan 3 atau *substantial to heavy damage* cukup banyak yaitu 5,9% (gambar 6). Kerusakan yang dapat membutuhkan perbaikan mayor dan bangunan tidak dapat berfungsi kembali dengan cepat sebelum diperbaiki. Bahkan bangunan tidak dapat digunakan sebagai shelter yang aman bagi pengungsi sebelum dipastikan dapat digunakan kembali.



Gambar 6. Kecenderungan area kerusakan terhadap tingkat kerusakan bangunan.

Pada gambar 7 terlihat kerusakan pada *wall bearing* cenderung mengalami tingkat kerusakan 2 dan tingkat kerusakan 4. Kerusakan pada fondasi cenderung mengalami tingkat kerusakan 5 atau *destruction* atau *collaps*. Kerusakan pada fondasi berkaitan erat dengan kerusakan pada *structural frame* dibandingkan dengan *wall bearing*. Meskipun sebagian besar kerusakan *structural frame* berada pada tingkat kerusakan 1 dan tingkat kerusakan 3, tetapi kerusakan pada *structural frame* berada terbesar di seluruh tingkat kerusakan dan memiliki kecenderungan dekat pada tingkat kerusakan 5. Selain itu, diantara ketiga area lainnya, *structural frame* memiliki kasus yang paling banyak yaitu sebesar 48% dibandingkan kasus pada fondasi (23%) dan *wall bearing* (29%).



Gambar 7. Kedekatan antar variabel area kerusakan akibat gempa pada bangunan bertingkat

Terdapat hubungan yang signifikan antara tingkat kerusakan elemen struktural dengan tingkat kerusakan elemen arsitektur pada bangunan bertingkat yang menggunakan desain sistem struktur *reinforced concrete*. Pada gambar 8 terlihat 5 cluster, yaitu tingkat kerusakan elemen non struktural 1 maka bangunan cenderung mengalami tingkat kerusakan elemen struktural 1 dan 2. Jika bangunan mengalami tingkat kerusakan nonstruktural 2 maka cenderung bangunan akan mengalami tingkat kerusakan struktural 3. Jika bangunan mengalami kerusakan elemen non struktural pada tingkat 4 maka cenderung bangunan mengalami tingkat kerusakan structural 1 dan 3. Bangunan yang mengalami tingkat kerusakan non struktural 1,6 maka bangunan tidak mengalami tingkat kerusakan elemen struktural (0). Atau dapat dikatakan jika bangunan tidak mengalami tingkat kerusakan elemen struktural (0) maka cenderung bangunan

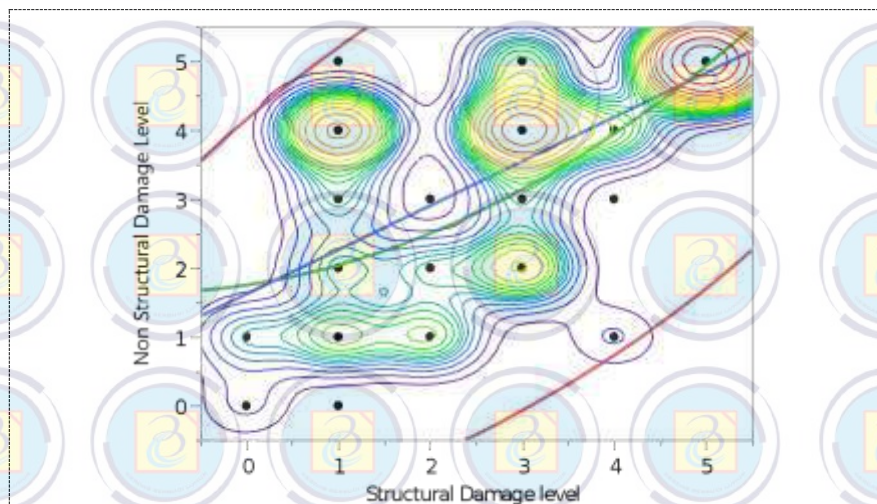
mengalami tingkat kerusakan elemen non struktural 1,6. Kerusakan bangunan berada pada tingkat kerusakan antara *slight damage* dan *moderate damage* (mendekati kerusakan sedang). Persamaan hubungan antara tingkat kerusakan elemen struktural dengan tingkat kerusakan elemen non struktural pada bangunan yang menggunakan *reinforced concrete* adalah:

$$y = 1,61111 + 0,6428571x \quad (1)$$

y = tingkat kerusakan elemen struktural

x = tingkat kerusakan elemen non struktural

Tingkat kerusakan elemen struktural 0 dan tingkat kerusakan elemen non struktural 1,611, menjelaskan kerusakan elemen non struktural kemungkinan terjadi karena ada beberapa penyebab, seperti: pemilihan bahan bangunan tidak sesuai dengan fungsi, pemasangan tidak memperhatikan prosedur pemasangan [18], perawatan dan pemeliharaan kurang baik, usia elemen non struktural, dan lainnya.



Gambar 8. Klaster hubungan antara tingkat kerusakan elemen structural dengan tingkat kerusakan elemen non struktural untuk bangunan dengan desain *reinforced concrete*

Simpulan

Akibat gempa, bangunan mengalami kerusakan pada area struktural frame mulai dari tingkat kerusakan 1 sampai tingkat kerusakan 5. Dengan minimal gempa 5, bangunan dapat dipastikan mengalami kerusakan. Hubungan antara tingkat kerusakan bangunan dan area kerusakan dipengaruhi oleh faktor lain seperti usia, ketinggian bangunan, bentuk bangunan, dan lainnya. Perlu dipastikan kembali bangunan tahan gempa memenuhi beberapa kriteria sebagai bangunan tahan gempa.

Terdapat pengaruh yang signifikan antara kerusakan elemen non struktural – elemen arsitektural terhadap tingkat kerusakan elemen struktural pada bangunan bertingkat. Pada bangunan yang menggunakan desain sistem struktur *reinforced concrete* dengan kekuatan gempa antara 5,9 sampai 9 akan cenderung mengalami kerusakan elemen non struktural mendekati *moderate damage* (1,6) meskipun bangunan tidak mengalami kerusakan pada elemen struktural (tingkat kerusakan elemen struktural = 0). Tingkat kerusakan non struktural 4 (*heavy damage*) memberikan hasil signifikan terhadap tingkat kerusakan elemen struktural 1 (*slight damage*) dan tingkat kerusakan 3 (*substantial to damage*). Kemungkinan bangunan mengalami tingkat kerusakan elemen non struktural 4 tetapi secara kerusakan struktural masih termasuk *slight damage*. Pada EMS 98, tingkat kerusakan struktural 1 (*slight damage*) terdapat retakan halus pada plester di atas rangka pada partisi dan dinding pengisi.

Saran

Arsitek sebagai perancang dapat meminimalkan tingkat kerusakan tersebut dengan memberikan pengaku pada bangunan dengan desain sistem struktur *reinforced concrete* yang mampu menahan lateral dan memperhatikan konfigurasi massa atau bentuk massa. Bentuk bangunan yang tidak simetris cenderung mengalami tingkat kerusakan yang tinggi. Perlu memperhatikan konstruksi elemen non struktural – elemen arsitektural, material yang digunakan, perawatan dan pemeliharaan sehingga elemen non struktural tidak mengalami kerusakan pada kondisi elemen structural tidak mengalami kerusakan.

Daftar Pustaka

- [1] BMKG, (2022, Maret 30). Retrieved Maret 31 2022): from <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-mmi.bmkg>
- [2] Heidaranlu, E., Khankeh, H., Ebadi, A., dan Ardalan, A. (2017): An Evaluation of Non-Structural Vulnerabilities of Hospitals Involved in the 2012 East Azerbaijan Earthquake. *Trauma*, 22(2): e28590.
- [3] A.S. Ariyanto, Analisis Jenis Kerusakan Pada Bangunan Gedung Bertingkat (Studi Kasus pada Gedung Apartemen dan Hotel Candiland Semarang), *Bangun Rekaprima Vol.06*, No 1, p 45-57, 2020
- [4] Idham, Noor Cholis. (2013): *Merancang Bangunan Gedung Bertingkat Rendah*, Yogyakarta, Graha Ilmu.
- [5] Dirjen Cipta Karya - PUPR (2022, Februari 23): Seri 1#: Pemeriksaan Cept (Quick Assessment) Struktur Bangunan Gedung Pasca Gempa Bumi [Video file]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=0eonFq22Dc0>
- [6] N.M. Samsuddin, R. Takim, A. H. Nawawi., M.R. Rosman., dan S.N.A. SyedAlwee, Non-structural Components influencing Hospital Disaster Preparedness in Malaysia, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 140, 1-10, 2018
- [7] Yao, G. C., dan Lin, Chi-Chang. (2000): Identification of Earthquake Damaged Operational and Functional Components in Hospital Buildings. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 23, 409-416.
- [8] Dolce, M., Kappos, A., Masi, A., Penelis, A., Vona, M. (2006): Vulnerability Assessment and Earthquake Damage Scenarios of The Building Stock of Potenza (Southern Italy) Using Italian And Greek Methodologies. *Engineering Structures*, 28, 375,371
- [9] ESC Working Group Macroseismic Scales. *European Macroseismic Scale 1998*. GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany, 1998

- [10] Kamisono T., Kumazawa F., Nakano, Y. (2002): Quick Inspection Manual for Damage Reinforced Concrete Buildings Due to Earthquakes, Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Tokyo.
- [11] Juwana, J.S. (2005): Panduan Sistem Bangunan Bertingkat Tinggi, Erlangga. Jakarta.
- [12] Taranath, B.S., (2005): Wind and Earthquake Resistant Buildings Structural Analysis and Design, Marcel Dekker, New Jersey.
- [13] T. Winarsih, Asesmen Struktur Bangunan Gedung, Studi Kasus Bangunan Gedung Unit Gawat Darurat (UGD) dan Administrasi Rumah Sakit Umum Daerah Banyudono Kabupaten Boyolali, Tesis Program Pascasarjana Teknik Rehabilitasi dan Pemeliharaan Bangunan Sipil, Universitas Sebelas Maret, 2010
- [14] Sugiyono. (2014): Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Alfabeta, Bandung
- [15] Nilamsari, N. (2014): Memahami Studi Dokumen dalam Penelitian Kualitatif, Wacana, Vol XIII No 2, p 117-181
- [16] BMKG, (2022, Maret 30). Retrieved Maret 31 2022): from <https://www.bmkg.go.id/gempabumi-dirasakan.html>
- [17] Siswanto, A. B., dan Salim, M. A. (2018): Basic Criteria Design of Earthquake Resistant Building Structures, International Journal of Civil Engineering and Technology, 9, 1426–1436.
- [18] Rahayu, R.L., Triyadi S., Tambunan, L. (2022): Relationship of Damage Causes and Ceiling Damage Levels in Indonesia Hospital, Civil Engineering and Architecture, Vol 1 No 1: page 163-174