

## **MANAGEMENT OF HAZARD FROM NON-STRUCTURAL ELEMENTS OF MULTI-STORY BUILDINGS IN THE FACE OF EARTHQUAKE: A LITERATURE REVIEW**

### **MANAJEMEN BAHAYA ELEMEN NONSTRUKTURAL GEDUNG BERTINGKAT DALAM MENGHADAPI GEMPABUMI: SEBUAH PENELAAHAN LITERATUR**

**Akhmadi Puguh Raharjo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Perekayasa Muda pada Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Alamat: Gedung 820, Kompleks Perkantoran PUSPIPTEK, Setu 15314. email: akhmadi.puguh@bppt.go.id*

#### **Abstract**

*Non-structural elements of multi-story buildings need to be taken into consideration within earthquake disaster mitigation in order to ensure the safety of the occupants. The purpose of this study is to obtain information related to the hazard management from non-structural elements of multi-story buildings. This qualitative study focused on reviewing the information that is relevant for future adaptation in Indonesia. The collected literature was then analyzed descriptively and the results of this review underlined the three most important stages that became the focus of hazard management from non-structural elements of multi-story buildings, namely: the process of identification, the process of prioritization and the process of determining mitigation actions that need to be taken. Future research should be focused on developing a methodology that can be used to calculate the risk level of building occupants by considering the number of occupants and the level of danger of each object present with the occupant's mobility pattern in a certain area and time.*

**Keywords:** *Earthquake, Non-Structural Element, Multistory Building, Hazard Management*

#### **Abstrak**

Elemen nonstruktural gedung bertingkat perlu turut dipertimbangkan dalam mitigasi bencana gempabumi dalam rangka menjamin keselamatan manusia yang berada di dalamnya. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mendapatkan informasi terkait manajemen bahaya dari elemen nonstruktural gedung bertingkat dari otoritas yakni FEMA dan SPRINT-Lab. Kajian ini adalah kajian kualitatif yang difokuskan pada penelusuran dan penelaahan informasi yang relevan bagi adaptasi di Indonesia di masa yang akan datang. Literatur yang terkumpul kemudian dianalisis secara deskriptif. Dari hasil penelaahan literatur dari kedua sumber tersebut ditemukan bahwa tiga tahapan yang menjadi fokus manajemen bahaya dari elemen nonstruktural gedung bertingkat, yakni: proses identifikasi, proses penentuan skala prioritas dan proses penentuan tindakan mitigasi yang akan diambil. Penelitian lanjutan di masa yang akan datang sebaiknya difokuskan pada pengembangan metodologi yang dapat digunakan untuk menghitung tingkat risiko penghuni gedung dengan mempertimbangkan jumlah

penghuni, tingkat bahaya tiap objek dengan level mobilitas penghuni pada area dan waktu tertentu.

**Kata kunci:** Gempabumi, Elemen Nonstruktural, Gedung Bertingkat, Manajemen Bahaya.

## 1. PENDAHULUAN

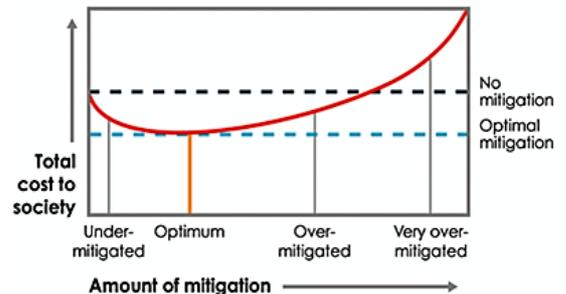
### 1.1. Latar Belakang

Tidak seperti badai dan beberapa bahaya alam lainnya, gempa bumi menyerang secara tiba-tiba dan tanpa peringatan. Sebuah bangunan dapat dikatakan aman hanya ketika bangunan tersebut dapat bertahan dari guncangan gempa tanpa ada kerugian, baik dari sisi keselamatan penghuninya maupun dari sisi konten, layanan dan utilitas yang berada di dalam bangunan tersebut (Murny *et al.*, 2013).

Negara-negara dengan inisiatif keamanan seismik yang maju telah belajar untuk mengurangi potensi kerugian, baik dari mencegah bangunan agar tidak roboh (aspek struktural) dan juga dari perlindungan terhadap konten, utilitas, layanan dan aspek arsitektural yang ada di dalam bangunan tersebut (aspek nonstruktural). Hal tersebut tentu berbeda dengan kondisi di Indonesia, dimana fokus utama masih berada pada aspek struktural bangunan.

Elemen nonstruktural gedung bertingkat mengacu pada seluruh bagian dari bangunan tersebut diluar sistem struktur (kolom, balok, plat lantai, pondasi, dinding struktur). Secara umum, komponen struktural dari gedung bernilai 15-25% dari nilai bangunan tersebut, sementara komponen nonstruktural (mekanikal, elektrik, perpipaan, arsitektural dan konten bangunan) bernilai 75-85% dari total (FEMA, 2012). Sehingga jelas, porsi investasi terbesar dalam suatu gedung bertingkat adalah dari komponen nonstrukturalnya.

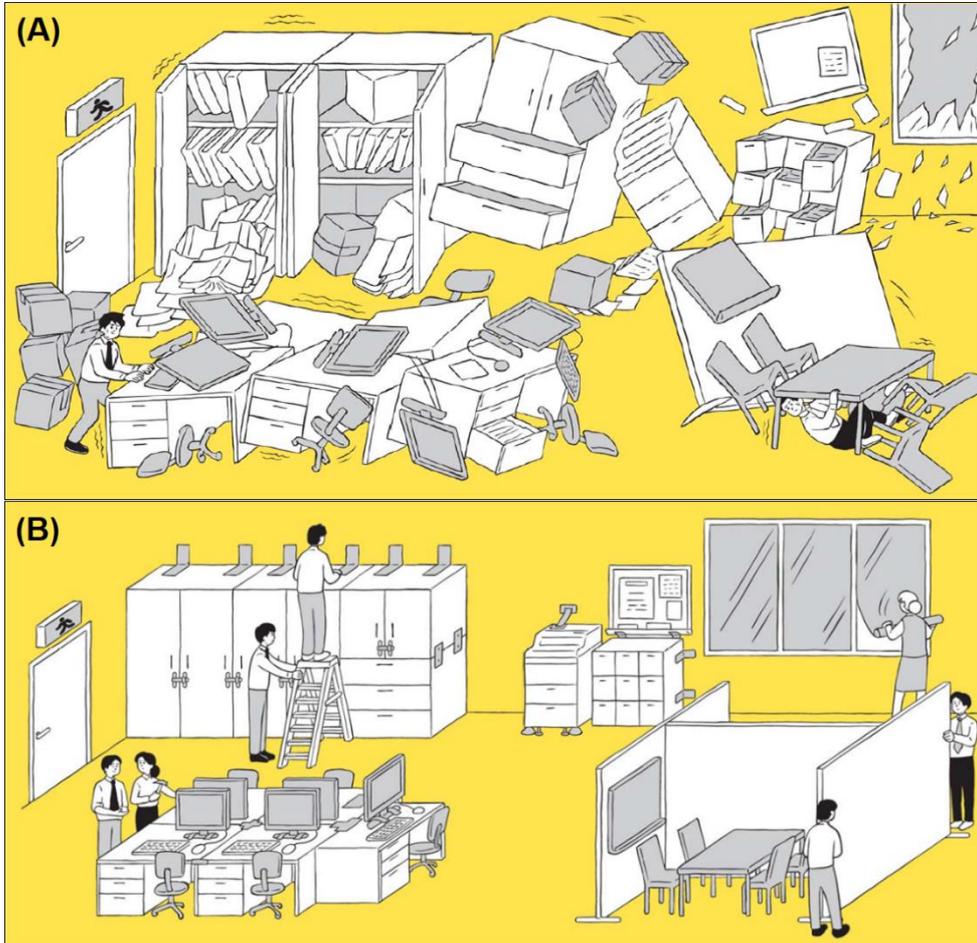
Tanpa adanya investasi untuk melindungi elemen nonstruktural gedung bertingkat maka akan dapat dipastikan bahwa beban kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (pemilik dan penghuni gedung) akan semakin besar (Gambar 1).



Gambar 1. Hubungan antara jumlah investasi mitigasi dan beban biaya total akibat bencana yang ditanggung masyarakat (Stein dan Stein, 2014).

Kondisi dimana tidak ada investasi oleh pemilik dan pengguna gedung dalam bentuk tindakan mitigasi untuk meminimalisir bahaya dari elemen nonstruktural gedung bertingkat dalam kondisi gempa bumi, seperti yang umum ditemui pada gedung bertingkat di Indonesia, adalah kondisi yang amat disayangkan. Alasannya adalah karena keberadaan investasi dalam bentuk mitigasi ini akan menurunkan beban biaya yang harus ditanggung oleh masyarakat pada kondisi pascabencana, meskipun pada level investasi yang berada di bawah standar. Sedikit investasi adalah lebih baik daripada tidak ada sama sekali (Stein dan Stein, 2014).

Ada banyak hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi potensi korban cedera atau jiwa bagi penghuni gedung bertingkat akibat bahaya dari elemen nonstruktural yang tidak diamankan. Mulai dari pengaturan layout yang tidak mengeluarkan biaya hingga pemasangan pengamanan tambahan yang memerlukan biaya yang tidak terlalu mahal (Gambar 2). Namun demikian, karena semua mitigasi ini termasuk dalam koridor kesiapsiagaan, mereka harus dilakukan sebelum gempa bumi terjadi untuk menjadi efektif.



Gambar 2. (A) Ilustrasi perilaku elemen nonstruktural yang tidak diamankan pada perkantoran; dan (B) Upaya mitigasinya (Tokyo Metropolitan Government, 2015)

## 1.2. Tujuan

Tujuan dari kajian ini adalah untuk mendapatkan informasi terkait manajemen bahaya dari elemen nonstruktural gedung bertingkat dalam menghadapi gempa bumi yang bersumber dari penelusuran literatur. Sumber utama penelusuran literatur dalam kajian ini adalah dari *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) dan dari *Safety and Protection Intersectoral Laboratory* (SPRINT-Lab).

## 2. METODA PENELITIAN

### 2.1. Tempat dan waktu penelitian

Penelusuran literatur ini telah dilakukan pada bulan Januari hingga Mei 2019. Kajian

yang merupakan *desk study* ini dilakukan di gedung Geotech, PUSPIPTEK Serpong.

### 2.2. Kebutuhan data dan metode analisis

Kajian ini adalah kajian kualitatif yang difokuskan pada penelusuran informasi yang relevan bagi adaptasi manajemen bahaya dari elemen nonstruktural gedung bertingkat dalam menghadapi gempa bumi. Data utama yang dibutuhkan adalah literatur dari FEMA dan SPRINT-Lab dengan literatur lain sebagai penunjang. Analisis literatur yang terkumpul kemudian dilakukan secara deskriptif.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil

**Metodologi VISUS**

VISUS (*Visual Inspection for defining Safety Upgrading Strategies*) merupakan metodologi yang dikembangkan sebagai prosedur berbasis pakar dalam mengkaji keamanan bangunan publik, khususnya fasilitas sekolah (Grimaz dan Malisan, 2016). Metodologi ini dikembangkan oleh para peneliti di SPRINT-Lab yang berada di bawah Universitas Udine di Italia.

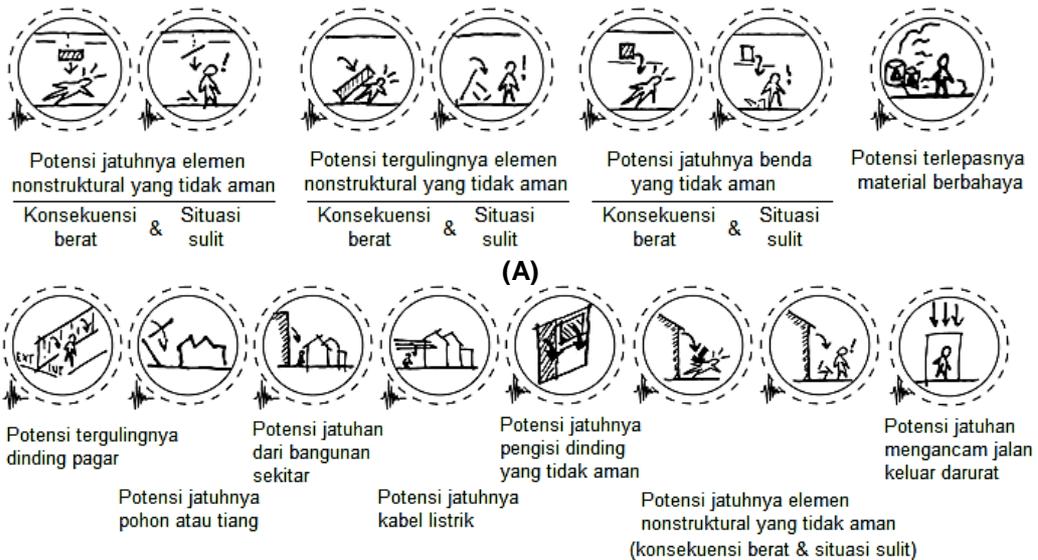
Tujuan di balik pengembangan metodologi VISUS adalah untuk memudahkan implementasi perangkat pendukung sistem pengambilan keputusan dalam mendefinisikan dan memberikan panduan terkait strategi mitigasi risiko untuk fasilitas sekolah ke dalam kerangka penilaian keselamatan yang komprehensif dan melalui prosedur pragmatis berdasarkan triase (*triage*) teknis berbasis pakar (Grimaz dan Malisan, 2016).

Ide awal metodologi VISUS ini berasal dari pengamatan bahwadi sektor medis terdapat metodologi triase terkonsolidasi yang digunakan untuk menilai pasien dalam jumlah besar secara cepat dan pragmatis, untuk mengevaluasi kebutuhan mereka serta mengarahkan mereka ke arah intervensi atau

perawatan yang diperlukan (Iserson dan Moskop, 2007). Muara akhir dari metodologi VISUS pada awal pembuatannya adalah menyediakan informasi yang dapat mendukung proses pengambilan keputusan terkait skala prioritas retrofit gedung sekolah yang rusak pasca kejadian gempa bumi.

Karakteristik elemen nonstruktural yang menjadi fokus dalam metodologi VISUS umumnya berupa efek potensial dari elemen nonstruktural, yang mungkin saja jatuh hingga menyebabkan cedera atau kematian. Dalam metodologi ini skenario dasar (Gambar 2) mengacu pada potensi masalah di dalam dan di luar bangunan, termasuk apabila ada elemen tertentu yang memiliki potensi untuk jatuh, bergeser atau terguling dan menimpa manusia (Grimaz dan Malisan, 2016).

Pada Gambar 3 dapat dilihat berbagai skenario dasar elemen nonstruktural dalam metodologi VISUS, baik untuk kejadian di dalam maupun di luar ruangan. Berbagai skenario jatuh dan tergulingnya elemen nonstruktural dalam gambar tersebut perlu menjadi perhatian dalam proses identifikasi potensi bahaya dari elemen nonstruktural pada gedung bertingkat.



Gambar 3. Skenario dasar terkait ancaman dari elemen nonstruktural terhadap penghuni gedung untuk kejadian (A) dalam ruangan; dan (B) luar ruangan menurut metodologi VISUS.



Pada Tabel 1 disajikan contoh pertanyaan/*checklist* yang ditanyakan atau diamati saat melakukan survei elemen non struktural gedung bertingkat. Umumnya hal-hal yang ditanyakan tersebut berkisar pada langkah-langkah pengamanan komponen non struktural dalam menghadapi gempa bumi.

Apabila metodologi VISUS memberi gambaran terkait skenario dasar yang mungkin terjadi pada elemen nonstruktural gedung bertingkat saat terjadi gempa bumi, maka metodologi FEMA E-74 memberikan gambaran terkait komponen-komponen yang

perlu mendapat perhatian dalam proses identifikasi bahaya tersebut.

Pada Tabel 2 di bawah ini disajikan komponen-komponen yang memiliki potensi untuk mencapai tingkat risiko tinggi pada intensitas gempa sedang dan tinggi. Hal ini dianggap sebagai sebuah proses pemfokusan dimana komponen lain yang tidak disajikan pada Tabel tersebut (namun tertera dalam panduan metodologi FEMA E-74) dianggap memiliki prioritas yang lebih rendah dikarenakan memiliki risiko rendah hingga sedang pada intensitas gempa tinggi.

Tabel 2. Komponen-komponen elemen nonstruktural yang perlu mendapat perhatian khusus dalam proses identifikasi elemen nonstruktural gedung bertingkat (FEMA, 2012)

Architectural Components	Mechanical, Electrical, & Plumbing Components	Furniture, Fixtures, & Equipment Components
<b>Exterior Wall Components<sup>1</sup></b>	<b>Mechanical Equipment</b>	<b>Storage racks</b>
Adhered veneer	Suspended equipment	Light duty shelving
Anchored veneer		Industrial storage racks
Prefabricated panels	<b>Storage Tanks and Water Heaters</b>	<b>Bookcases, Shelving</b>
Glazed exterior wall system	Diesel fuel tank	Bookshelves
Glass blocks	Propane tank	Library and other shelving
Overhead glazing or skylights	Compressed gas cylinders	<b>Computer &amp; Communications Equipment</b>
<b>Partitions<sup>2</sup></b>	Gas water heaters	Television and video monitors, cameras, wall-mounted
Heavy (CMU, brick, hollow clay tile)	<b>Fluid Piping, not Fire Protection</b>	Suspended speakers
<b>Interior Veneers<sup>2</sup></b>	Hazardous materials	<b>Hazardous materials storage</b>
Stone and tile	Fuel line	Hazardous materials storage, cabinet and contents
<b>Ceilings</b>	<b>Light Fixtures</b>	Chemical, laboratory, medical supplies
Soffits (stucco, gypsum board, plaster)	Recessed	<b>Miscellaneous FF&amp;E</b>
Suspended heavy ceilings	Surface-mounted lighting	File cabinets, tall vertical or lateral files
<b>Parapets, Appendages, Roof Tiles</b>	Pendant light fixtures	Lockers, vending machines
Unreinforced masonry parapet	Heavy light fixtures	Freestanding wood stove
Parapets, cornices, decoration	<b>Elevators and Escalators</b>	<b>Miscellaneous Contents</b>
Hanging appendages	Cables, counterweights and guide rails	Shelf-mounted items
<b>Canopies, Marquees, Signs</b>	Escalator	Tall sculptures (over 5 ft)
Canopies, Marquees, Signs		
Heavy signs or exterior billboards		
<b>Chimneys and Stacks</b>		
Unreinforced masonry chimney		
Stacks, small		
<b>Stairways</b>		
Stairways		

Keterangan:

Kuning = objek akan mencapai tingkat risiko tinggi pada intensitas gempa sedang dan tetap demikian hingga intensitas gempa tinggi; Merah = objek hanya akan mencapai tingkat risiko tinggi pada intensitas gempa tinggi. Objek lain yang tidak disajikan pada tabel di atas tidak akan mencapai tingkat risiko tinggi (hanya rendah hingga sedang) bahkan pada intensitas gempa tinggi.

### 3.2. Pembahasan

Dari penelusuran literatur dari kedua sumber tersebut, dapat disarikan bahwa terdapat tiga tahapan yang menjadi fokus

utama manajemen bahaya dari elemen nonstruktural gedung bertingkat, yakni: proses identifikasi, proses penentuan skala prioritas dan proses penentuan tindakan mitigasi. Proses identifikasi menempati posisi tertinggi

karena tanpa adanya kemampuan identifikasi yang baik, maka bahaya eksisting pada suatu gedung bertingkat bisa terabaikan dan menjadi membahayakan pada waktu terjadi gempa bumi. Pembahasan detail dari ketiga

tahapan tersebut disajikan pada sub bagian selanjutnya sementara ilustrasi ketiga tahapan tersebut apabila disajikan dalam suatu lembar pengamatan/laporan maka akan nampak seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Contoh lembar laporan hasil survei identifikasi elemen nonstruktural gedung bertingkat (Dimodifikasi dari *Department of Disaster Management, 2017*).

Dalam ruangan / Luar ruangan				
Nama Ruangan		: Ruang Kerja Lantai 1		
1. Daftar objek yang memiliki potensi bahaya		: Unit AC <i>Indoor</i> , rak besi, lemari berkas		
2. Apa yang mungkin terjadi pada objek tersebut				
<p>a. <b>Unit AC <i>Indoor</i> dan rak.</b> Apabila tidak diamankan, pada saat terjadi gempa yang cukup kuat, ada kemungkinan unit AC dan rak tersebut dapat jatuh dan menimpa penghuni gedung yang berada di dekatnya. Konfigurasi <i>layout</i> seperti yang nampak pada foto memperkuat kekhawatiran tersebut di atas.</p>				
<p>b. <b>Lemari berkas dan dokumen</b> Pada kondisi darurat, penempatan lemari berkas pada lorong dapat mengganggu proses evakuasi yang mengandalkan mobilitas penghuni gedung tanpa gangguan. Konfigurasi <i>layout</i> seperti pada foto menunjukkan penempatan lemari berkas &amp; dokumen di tengah-tengah lorong yang menuju pintu darurat. Hal ini memperkuat kekhawatiran tersebut di atas.</p>				
c. Objek selanjutnya...		Foto objek selanjutnya		
3. Identifikasi dan Prioritas				
No. berkas	Nama Objek	Tipe Risiko*	Usulan Prioritas**	Solusi (Hal. No.)***
1.	Unit AC <i>Indoor</i>	KJ/KC	T	Pengamanan
2.	Rak besi	KJ/KC	T	Pengamanan
3.	Lemari berkas	KE	T	Relokasi
4.	Dan seterusnya...			
Keterangan: *KJ = Korban Jiwa, KC = Korban Cidera, KE = Kesulitan Evakuasi.				
**T = Tinggi, S = Sedang, N = Normal.				
*** Diisi dengan nomor halaman pada laporan hasil identifikasi yang memuat langkah mitigasi/solusi teknis atas masalah yang ada.				

### 3.2.1. Proses Identifikasi

Identifikasi objek-objek yang termasuk dalam elemen nonstruktural gedung bertingkat harus dilakukan dengan cara yang sistematis. Dalam metodologi VISUS, terdapat pembagian dan progresi yang jelas antara pengamatan di luar dan di dalam bangunan gedung. Secara logis, pengamatan selalu dimulai dari luar halaman gedung lalu menuju ke dalam halaman yang kemudian dilanjutkan dengan mengamati bangunan dari luar dan diakhiri dengan masuk ke dalam bangunan untuk pengamatan dari dalam. Hal ini dapat diadaptasikan dalam manajemen bahaya elemen nonstruktural gedung bertingkat di Indonesia.

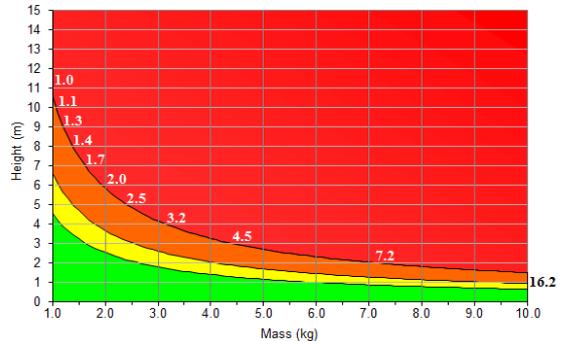
Proses identifikasi ini juga berhubungan erat dengan sensitifitas pengamat untuk dapat mengenali komponen-komponen elemen nonstruktural yang memiliki potensi untuk menimbulkan bahaya (seperti telah tercantum dalam panduan praktis FEMA E-74) yang dihubungkan dengan skenario dasar yang mungkin terjadi pada komponen nonstruktural tersebut (seperti dicontohkan oleh metodologi VISUS).

Sebagai patokan lain, dapat pula digunakan hubungan antara berat objek, jarak jatuh benda dengan tingkat fatalitas/cidera yang mungkin diderita oleh manusia yang tertimpa (Gambar 5) yang diadopsi dari DROPS (2015). Pada gambar tersebut merah menandakan kondisi fatal, jingga berarti cidera berat, kuning berarti cidera sedang dan hijau berarti cidera ringan.

Sebagai panduan praktis dari grafik yang disajikan pada Gambar 5, suatu objek yang berada 1 meter di atas kepala manusia harus memiliki berat minimal sebesar 16,2 Kg untuk dapat menyebabkan kematian. Sementara itu, benda dengan berat 1 Kg harus berada pada ketinggian minimal 11 meter di atas kepala manusia untuk dapat menyebabkan kematian.

Hal ini didukung oleh hasil penelitian oleh Ikuta et al. (2004) dan Takahashi et al. (2012) yang membuktikan melalui pengujian pada meja getas, bahwa perabotan yang berat apabila menimpa kepala atau dada manusia sudah hampir dipastikan selalu berujung kepada kematian. Dalam skenario pengujian

mereka tersebut (dalam skema kubikal dan kamar tidur) sebuah lemari berat dijatuhkan kepada *crash test dummies* yang sedang duduk dan berbaring.



Gambar 5. Konsekuensi potensial objek jatuh bagi keselamatan manusia dilihat dari berat objek (Kg) dan ketinggian objek dari tubuh manusia (m) (DROPS, 2015).

Dalam lembar survei/identifikasi elemen nonstruktural yang disajikan pada Tabel 3, tipe risiko yang dapat dituliskan dapat berupa Korban Jiwa (KJ), Korban Cidera (KC) dan Kesulitan Evakuasi (KE). Apabila proses identifikasi dimaksudkan untuk mencatat potensi berhentinya kegiatan operasional gedung tersebut maupun potensi kerugian dari sisi finansial, maka dapat pula dituliskan Kerugian Operasional (KO) maupun Kerugian Finansial (KF) pada format seperti pada Tabel 3. Panduan lebih lanjut terhadap risiko tiap komponen elemen nonstruktural untuk menyebabkan kerugian operasional maupun kerugian finansial dapat dilihat pada FEMA (2012).

Sebagai contoh, seperti yang disajikan pada Tabel 3, ditemukan potensi bahaya pada tiga buah objek berupa unit AC *indoor*, rak besi dan lemari berkas. Dikarenakan bobotnya yang berat, unit AC *indoor* dan rak besi yang dipenuhi oleh barang memiliki potensi untuk menyebabkan cidera ataupun korban jiwa apabila menimpa manusia sehingga dituliskan tipe risiko KC/KJ. Sementara itu lemari berkas yang menutupi jalan memiliki potensi untuk menghalangi proses evakuasi sehingga dituliskan tipe risiko KE.

### 3.2.2. Proses Penentuan Skala Prioritas

Penentuan skala prioritas adalah penting kedudukannya karena alasan pragmatis yang umum ditemui pada tiap organisasi, yakni keterbatasan finansial. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dalam metodologi VISUS metode triase umum dilakukan untuk menentukan mana objek yang memerlukan intervensi terlebih dahulu (karena sifatnya yang mendesak) dan mana yang dapat ditunda intervensinya (Grimaz dan Malisan, 2016).

Dalam usulan prioritas seperti yang tertera pada Tabel 3, dapat diisikan tipe usulan prioritas sebagai berikut:

- **Tinggi (T).** Setiap objek yang memiliki potensi untuk menyebabkan cedera, kematian maupun yang memiliki potensi

untuk menghambat proses evakuasi dimasukkan ke dalam prioritas tinggi.

- **Sedang (S).** Setiap komponen yang memiliki potensi untuk mengakibatkan kerugian operasional dapat dimasukkan ke dalam kriteria ini.
- **Normal (N).** Setiap komponen yang hanya akan menyebabkan sedikit kerugian finansial dapat dimasukkan ke dalam prioritas normal

Sebagai contoh, sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3, usulan prioritas untuk ketiga objek yang ditemukan sebelumnya tersebut kemudian dituliskan sebagai T (Tinggi) dikarenakan memiliki potensi untuk menyebabkan cedera atau kematian (unit AC *indoor* dan rak besi) dan atau menghambat proses evakuasi (lemari berkas).



Gambar 6. Contoh pengamanan pada unit AC *indoor* (kiri) dan rak (tengah) dan contoh relokasi pada lemari berkas (kanan) dari posisi sebelumnya ke posisi yang lebih aman.

### 3.2.3. Proses Penentuan Tindakan Mitigasi/Solusi

Langkah mitigasi bagi objek yang telah diidentifikasi dapat berupa relokasi, yakni memindahkan suatu objek dari lokasi sebelumnya ke lokasi yang lebih baik/aman, maupun berupa pengamanan objek yang bersangkutan dalam meminimalisir risiko jatuh maupun terguling ketika terjadi gempa. Sebagai contoh, sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3, usulan mitigasi untuk ketiga obyek tersebut dituliskan berupa pengamanan (unit AC *indoor* dan rak besi) dan relokasi (lemari berkas). Gambaran bentuk mitigasi dari ketiga objek tersebut disajikan pada Gambar 6.

Langkah mitigasi detail untuk berbagai tipe elemen nonstruktural gedung bertingkat dapat dilihat pada FEMA (2005), FEMA (2012) dan DDR (2017). Sementara pengetahuan dasar terkait tipe pengamanan yang semestinya diterapkan untuk tiap objek tersebut dilihat dari sensitivitas objek yang bersangkutan terhadap percepatan atau terhadap deformasi dapat dilihat lebih lanjut pada Gillengerten (2001).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelaahan literatur ini dapat disimpulkan bahwa tiga tahapan penting yang harus ada pada manajemen bahaya elemen nonstruktural gedung bertingkat dalam

menghadapi gempa bumi adalah proses identifikasi, proses penentuan skala prioritas dan proses penentuan tindakan mitigasi. Untuk penelitian lanjutan di masa yang akan datang diperlukan suatu metodologi yang dapat digunakan untuk menghitung tingkat risiko dari elemen nonstruktural gedung bertingkat dengan mempertimbangkan jumlah penghuni terdampak, tingkat bahaya tiap komponen, dan level mobilitas penghuni gedung pada area dan waktu tertentu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Department of Disaster Management (DDM). 2017. Manual on Non-Structural (Falling Hazards) Mitigation for Schools. Department of Disaster Management, Ministry of Home and Cultural Affairs, Royal Government of Bhutan. 71p
- Dropped Objects Prevention Scheme (DROPS). 2015. Electronic Drops Calculator. [terhubung berkala] <https://www.dropsonline.org/assets/documents/Dropped-Object-Consequence-Calculator-2018.zip> [30 April 2019].
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2012. Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A Practical Guide. FEMA E-74. 885p.. 2005. Earthquake Hazard Mitigation for Nonstructural Elements. FEMA Field Manual 74-FM. 50p.
- Gillengerten, J.D. 2001. 13. Design of Nonstructural Systems and Components. Dalam F. Naeim (Eds). The Seismic Design Handbook (pp. 681-721). New York: Springer Science+Business Media.
- Grimaz, S., dan P. Malisan. 2016. VISUS: a pragmatic expert-based methodology for the seismic safety triage of school facilities. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 57(2), 91-110.
- Ibrahim, E. 2007. High-Rise Buildings: Needs & Impacts. CIB World Building Congress 2007
- Ikuta, E., M. Miyano, F. Nagashima, A. Nishimura, H. Tanaka, Y. Nakamori, K. Kajiwara & Y. Kumagai. 2004. Measurement of The Human Body Damage Caused by Collapsed BUILDING. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver Canada.
- Iseron K.V. and Moskop J.C. 2007. *Triage in medicine, part I: concept, history, and types*. Ann. Emergency Med., 49, 275-281.
- Marano, K.D., D.J. Wald & T.I. Allen. 2010. Global earthquake casualties due to secondary effects: a quantitative analysis for improving rapid loss analyses. *Nat Hazards* 53 (2010), 319-328.
- Murty, C.V.R., R. Goswami, A.R. Vijayanarayanan, R.P. Kumar dan V.V. Mehta. 2013. Introduction to Earthquake Protection of Non-Structural Elements in Buildings. Gujarat State Disaster Mangement Authority, Government of Gujarat. 176p.
- Stein, S., and J. L. Stein. 2014. *Playing Against Nature: Integrating Science and Economics to Mitigate Natural Hazards in an Uncertain World*, AGU, Washington, D.C., <https://doi.org/10.1002/9781118620786>.
- Takahashi, T., S. Watanabe, H. Nakaizumi & T. Saito. 2012. Shaking Table Test for Evaluation of Human Loss by Furniture during Strong Motion. 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisboa, Portugal.
- Tokyo Metropolitan Government. 2015. Disaster Preparedness Tokyo / Let's get prepared. Tokyo Metropolitan Government. 324p.

## PERSANTUNAN

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari kegiatan DIPA PTRRB-BPPT 2018. Penulis berterima kasih kepada Dr. Ir. Mulyo Harris Pradono, M.Sc, Drs. Bambang Marwanta, MT. dan Dr. Dra. Odilia Rovara, MS. atas bimbingan, bantuan dan kerjasamanya selama proses penelitian.