

POTENSI *DUAL-USE BUILDING* DALAM MENDUKUNG DARURAT BENCANA

Ndaru Sukmono Aji¹, Luluk Kristanto²

¹Prodi Teknik Sipil Pertahanan, Akademi Militer, Jl. Gatot Subroto No. 1 Magelang
Jawa Tengah

ndarusukmono@gmail.com¹⁾

²Prodi Teknik Sipil Pertahanan, Akademi Militer, Jl. Gatot Subroto No. 1 Magelang
Jawa Tengah

lulukkristanto@niksipilhan.akmil.ac.id²⁾

ABSTRAK

Saat ini, beberapa bencana akibat gempa bumi, banjir, terorisme hingga peperangan, silih berganti terjadi di beberapa negara, menimbulkan dampak negatif yang cukup signifikan yang mengancam keselamatan makhluk hidup hingga infrastruktur penting negara. Penerapan bangunan *dual-use* dapat menjadi solusi ketahanan dan titik lemah kerawanan dalam penanganan kebencanaan. Penelitian secara literasi ini bertujuan untuk menampilkan implikasi potensi bangunan *dual-use* pada aktivitas darurat akibat bencana alam dan bencana sosial meliputi integrasi fungsional dan teknologi, keamanan dan ketahanan, kemudahan pemeliharaan dan kerawanan. Integrasi fungsional *dual-use* (tujuan sipil dan tujuan militer) dan teknologi pintar IoT berdampak signifikan dalam efektifitas penanganan bencana. Listrik dan internet sebagai sumber daya utama, rentan *cyber criminal* dan perlu ketangguhan keamanan siber secara berkelanjutan. Inovasi teknologi konstruksi meningkatkan karakteristik struktural dan nonstruktural *dual-use building* untuk tujuan mitigasi maupun saat bencana. Teknologi IoT dan teknologi konstruksi berdampak penghematan jangka panjang bangunan serta peningkatan fungsional yang berkelanjutan. Kerawanan bangunan *dual-use* dapat dianggap sebagai sasaran militer secara keseluruhan atau entitas yang terpisah dan bahkan berbeda. Penggunaan *dual-use* pada bangunan yang dilindungi sebagai objek sipil berakibat kehilangan fungsi perlindungannya.

Kata-kunci: bencana alam; bencana sosial; *dual-use building*; potensi

ABSTRACT

Currently, several disasters due to earthquakes, floods, terrorism and wars have occurred in several countries, causing significant negative impacts that threaten living things safety and the main country's infrastructure. The application of *dual-use buildings* can be a solution to resilience and a weak point of vulnerability in disaster management. This literary research aims to show the *dual-use buildings* potential implications in emergency activities due to natural and social disasters including functional and technological integration, building security and hardiness, ease of maintenance and the vulnerabilities. The *dual-use functional integration* (civilian and military purposes) and IoT smart technology has a significant impact on the effectiveness of disaster management. Electricity and the internet as primary resources are vulnerable to cyber crime and require sustainable cybersecurity resilience. Construction technology innovation improves the structural and non-structural characteristics of *dual-use buildings* for mitigation and during disasters purpose. IoT technology and construction technology have an impact on long-term building savings and sustainable functional improvements. The vulnerability of *dual-use buildings* can be considered as military targets as a whole or separate and even different entities. The use of *dual-use building* that are protected as civilian object may impacts in their protective loss function.

Keywords: *dual-use building*; natural disaster; potential; social disaster

PENDAHULUAN

Saat ini, beberapa bencana akibat gempa bumi, banjir, serangan teroris hingga peperangan, saat ini silih berganti terjadi di beberapa negara, menimbulkan dampak negatif yang cukup signifikan dan mengancam keselamatan makhluk hidup hingga infrastruktur penting suatu negara (Hathaway. et.al., 2025; Renjith, et.al. 2024; Gromek, 2023). Berbagai koordinasi dan langkah-langkah kesiapsiagaan personel dan materiil dilaksanakan guna menekan kerugian yang diakibatkan, memaksimalkan peralatan dan infrastruktur yang ada sehingga berpotensi menjadi *dual-use* (*military use* dan *civil use*) (Hathaway. et.al., 2025; Ortega, 2022), hingga rancangan pembangunan infrastruktur *dual-use* (*military use* dan *civil use*) memanfaatkan inovasi teknologi yang terus berkembang (Niinisto, 2024).

Guna mengoptimalkan upaya tersebut, pemerintah melalui regulasi yang ada, perlu mengkolaborasikan antara sipil dan militer, sehingga dapat diambil langkah-langkah penting dalam menangkal ancaman yang dapat mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat akibat faktor alam, faktor non-alam dan faktor sosial (Gromek, 2023; Setyorini, 2023; Heryana, 2020).

Meningkatnya intensitas bencana saat ini maka setiap negara hendaknya memiliki potensi daya tangkal ancaman bencana yang tinggi, seperti bangunan pintar dan kokoh, sehingga memiliki ketahanan pada kondisi darurat bencana (Tabibi, 2024; Gromek, 2023). Sinergi yang kuat dari pihak sipil dan militer sebagai unsur pelaksana di lapangan dapat mejadi kekuatan keberhasilan penanganan, namun strategi pemerintah dalam

ketahanan terhadap bencana yang adaptif seperti infrastruktur *dual-use* atau bahkan *multi-use* dengan desain kekuatan struktur yang terencana dan terintegrasi teknologi pintar, akan menjadi kunci penanganan yang vital, efektif dan efisien. Hal tersebut tentu saja tidak hanya berlaku untuk jangka pendek, namun dirancang untuk jangka panjang yang lebih kompleks (Renjith, et.al. 2024; Gromek, 2023).

Disamping keuntungan yang didapatkan, penerapan bangunan *dual-use* dapat menjadi titik lemah dan menimbulkan kerawanan dari segi keamanan terutama faktor sosial seperti teroris, perang dan lainnya. Akibat adanya penggunaan fungsional tambahan untuk kepentingan militer, objek bangunan *dual-use* akan menjadi pemantauan dan target penting infrastruktur (*critical infrastructure*) yang dapat dilumpuhkan sehingga operasional keseluruhan akan terhambat dan menemui kegagalan (Hathaway. et.al., 2025; Ortega, 2022).

Menurut Youwe (2014), Potensi adalah kemampuan yang mempunyai kekuatan untuk dikembangkan melalui usaha-usaha terencana dan terprogram melalui strategi-strategi perencanaan yang tepat agar memperoleh hasil yang maksimal yang sesuai ditargetkan (Rusby, 2019).

Teknologi IoT menawarkan pemantauan *real-time*, sistem peringatan dini, dan mekanisme respons yang efisien. Seperti jaringan sensor, jaringan pintar, dan sistem darurat otomatis dalam mendukung fungsi respons dan pemulihan bencana. Melalui analisis data, sistem dapat memprediksi dan menilai resiko sehingga memungkinkan terjadinya respon tindakan yang perlu diambil (Tabibi, 2024; Shotwell, 2024).

Teknologi IoMDT dapat memperkuat sistem pertahanan Indonesia dalam memaksimalkan komunikasi, kendali, dan pengawasan, meningkatkan kemampuan fisik dan kognitif tentara, serta mempercepat pengambilan keputusan di medan perang. Implementasi IoMDT membawa tantangan signifikan, terutama terkait dengan keamanan siber, ketergantungan pada teknologi asing, dan keterbatasan infrastruktur (Dwipratama, 2025).

Teknologi pintar yang diterapkan dalam desain bangunan turut menghasilkan penghematan jangka panjang serta adanya peningkatan yang keberlanjutan (Tabibi, 2024). Perancangan infrastruktur *dual-use* hendaknya perlu mengintegrasikan konsep *green energy* dengan memanfaatkan keuntungan geografis wilayah, sehingga mempermudah proses perawatan dan efisiensi pemilihan bahan bangunan (Huda. et.al., 2022).

Adanya beberapa perbedaan pendapat sebuah bangunan yang digunakan untuk keperluan sipil dan sisi lain untuk keperluan militer dapat dianggap sebagai sasaran militer secara keseluruhan atau entitas yang terpisah dan bahkan berbeda. Masih dijumpai adanya interpretasi seluruh bangunan sebagai satu kesatuan, sementara pemahaman lain, merupakan suatu kesatuan yang nyata dan berbeda, dimana berbagai kesatuan tersebut terhubung secara fisik tidak menghalangi untuk memperlakukannya sebagai kesatuan yang terpisah (Schmitt, 2021).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu ditinjau lebih dalam tentang potensi bangunan *dual-use* dalam mendukung darurat bencana, memanfaatkan teknologi yang berkembang saat ini dan

kedepannya, sehingga keuntungan penanganan bencana yang lebih efektif dan efisien dapat tercapai serta meminimalisir kerugian yang dihadapi.

METODE

Penelitian secara literasi ini bertujuan untuk menampilkan implikasi potensi bangunan *dual-use* di beberapa wilayah dalam mendukung aktivitas darurat akibat bencana alam dan sosial, sehingga dapat memberikan referensi yang lebih mendalam dan manfaat dari aplikasi bangunan *dual-use*.

Pembahasan dibatasi pada potensi ketahanan dari bangunan *dual-use* dalam mendukung darurat bencana, yakni integrasi dari fungsional dan teknologi, keamanan dan ketahanan struktur, pemeliharaan dan kerawanan yang dapat ditimbulkan.

PEMBAHASAN

Dalam konteks infrastruktur untuk ketahanan lingkungan dan militer, *Center of Gravity* tidak hanya terletak pada kekuatan tempur atau aset senjata, tetapi pada ketersambungan strategis antara sumber daya, mobilitas logistik, sistem informasi, dan keberlanjutan lingkungan. Pembangunannya bersifat multi fungsi mendukung kebutuhan sipil sekaligus memenuhi fungsi militer. Desain dan pembangunan infrastruktur wajib berbasis *climate risk assessment* dan *security vulnerability mapping*, yang mampu bertahan dari gangguan (*disruptive shocks*) akan memperkecil risiko kerugian akibat bencana alam maupun serangan non-konvensional (Maulina, 2025).

Strategi bangunan yang dikembangkan secara *dual-use*, khususnya dalam mendukung darurat bencana, diarahkan memiliki kekuatan dan kemampuan lanjutan guna mengakomodasi beberapa pengembangan fungsional dan layanan baik pada penggunaan sipil maupun penggunaan militer. *Dual-use building*, atau bangunan fungsi ganda, memiliki potensi vital dalam memberikan perlindungan dan penanganan darurat bencana, baik akibat alam maupun perang (Niinisto, 2024).

Selain fungsi civil-used seperti bangunan sekolah, bangunan *dual-use* dapat melaksanakan fungsi khusus militer dalam kedaruratan (*military-used*) sebagai pusat evakuasi, layanan kesehatan, pusat informasi darurat dan memungkinkan sebagai sarana respons cepat bencana, serta membantu adaptasi warga selama krisis. Fungsional yang lebih kompleks, perancangan dan pengoperasionalan hendaknya tidak hanya memiliki ketahanan akibat bencana alam tetapi juga akibat manusia, seperti serangan teroris maupun serangan siber. Desain ketahanan hendaknya lebih meluas terhadap berbagai macam ancaman (Tabibi, 2024).

Dual-use building memiliki potensi yang sangat terbuka bila dikembangkan secara terencana meninjau tingginya pemanfaatan teknologi pintar IoT disegala aspek kehidupan dan inovasi teknologi konstruksi sehingga upaya mitigasi dan penanganan bencana dapat berjalan lebih efektif dan meminimalisir kerugian. Beberapa potensi bangunan *dual-use* yang dibahas pada penulisan ini diantaranya kemampuan integrasi terhadap fungsional dan teknologi,

keamanan dan ketahanan yang memadai, kemudahan pemeliharaan serta kerawanan yang ditimbulkan.

Integrasi Fungsional dan Teknologi

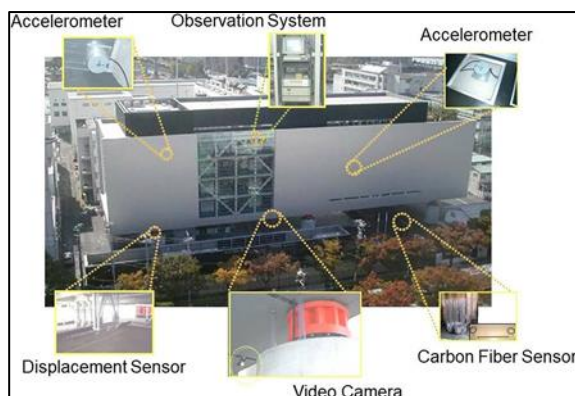
Tak bisa dipungkiri, permasalahan makin menyempitnya tata ruang wilayah akibat makin bertumbuhnya populasi dan pemukiman manusia yang berujung makin tingginya mobilisasi bidang sosial, ekonomi serta kebudayaan (Huda. et.al., 2022). Hal ini merupakan salah satu efek akibat modernisasi yang kian meningkat dan merambah hingga ke pelosok desa serta hutan.

Aktifitas yang makin meningkat dan kecenderungan tidak adanya inovasi tata kewilayahan, maka akan berbanding lurus dengan besarnya kebutuhan energi yang dikonsumsi untuk menjalankannya. Beberapa pendekatan infrastruktur dalam bentuk bangunan fungsi ganda yakni menempatkan beberapa fungsional aktivitas dalam satu bangunan (*military use* dan *civil use*), sehingga akan memberikan potensi efisiensi, kemudahan mobilitas, kenyamanan dan keamanan (Huda. et.al., 2022).

Integrasi teknologi pintar khususnya yang mendukung sistem kebencanaan, yang tersemat dalam desain maupun operasi bangunan telah terbukti berperan penting dalam ketahanan bencana (Tabibi, 2024; Shotwell, 2024). Teknologi ini menawarkan pemantauan *real-time*, sistem peringatan dini, dan mekanisme respons yang efisien. Seperti jaringan sensor, jaringan pintar, dan sistem darurat otomatis dalam mendukung fungsi respons dan pemulihan bencana. Sistem pemantauan *real time* (sensor deteksi aktivitas seismik, pola cuaca,

ketinggian air, sistem darurat hemat energi) dan analisis data yang bekerja secara bersama memainkan peranan penting dalam peringatan dini dan respon. Melalui analisis data, sistem dapat memprediksi dan menilai resiko sehingga memungkinkan terjadinya respon tindakan yang perlu diambil (Tabibi, 2024; Shotwell, 2024). Gedung *The Edge* di Amsterdam dan *The Pearl River Tower* di Guangzhou, China merupakan implementasi nyata penerapan *smart building* yang dirancang memiliki ketahanan terhadap bencana (Tabibi, 2024).

Dua dari lima kategori IoT yang berkaitan dengan darurat bencana yakni *Infrastructure Internet of Things* dan *Internet of Military Things (IoMT)* (Rizki, 2024), dimana aplikasi-aplikasi didalamnya terus dikembangkan guna lebih meningkatkan tujuan dan keuntungan pemakaian yang lebih spesifik. Aplikasi IoT pada infrastruktur saat ini makin menyodorkan kenyamanan fungsi bangunan dan infrastruktur bagi publik.

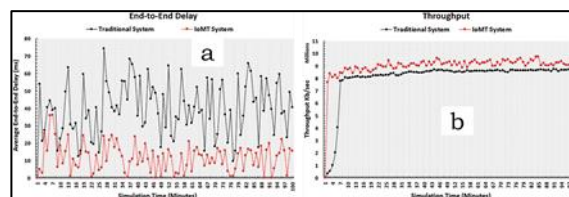


Gambar 1. *Structural Health Monitoring* Gedung di Jepang
(Sumber: Nakamura, 2019)

Penggunaan sensor pendeteksi retakan atau deformasi sangat membantu dalam pemeliharaan dan perbaikan sebelum masalah serius muncul. Okada et al. (2009), *Structural*

Health Monitoring diaplikasikan dengan berbagai jenis sensor, guna memantau kesehatan harian bangunan secara *real time* hingga pemantauan kerusakan setelah gempa bumi, terhadap getaran segala arah, pergerakan struktur, kamera, dan sistem observasi pada bangunan terisolasi seismik di tengah lantai (**Gambar 1**) untuk memantau status (Nakamura, 2019).

The Internet of Military Defense Things (IoMDT) pada *IoMT* merupakan revolusi teknologi pertahanan saat ini yang mengintegrasikan sistem militer canggih guna meningkatkan efisiensi operasional, kewaspadaan situasional, kemampuan pengambilan keputusan di medan perang (**Gambar 2**).



Gambar 2. Perbandingan Kinerja Tradisional dan Kinerja IoMT: (a) Kebutuhan Waktu Trasmisi Data (Sumber: Tempo, 2023); (b) Ketepatan Pengiriman dan Penerimaan (Sumber: Said, et.al., 2021)

Hadirnya *smart sensors* dan *autonomous vehicle*, hingga pengamanan jaringan komunikasi, IoMDT telah mengubah ruang lingkup pertempuran dan strategi pertahanan modern di beberapa negara termasuk Indonesia (**Gambar 3**), dengan tetap memperhatikan kapasitas dan kondisi negara (Hidayat, 2023; Tempo, 2023). AS dan Rusia selangkah lebih maju dengan mengembangkan *eksoskeleton* dan teknologi *Brain-Computer Interface (BCI)* yang terintegrasi, memungkinkan prajurit memiliki mobilitas dan ketahanan fisik yang lebih baik, bergerak lebih cepat, membawa lebih banyak beban, dan bertahan lebih

lama dalam kondisi ekstrim (Dwipratama, 2025).



Gambar 3. (a) Peran *Cyber* Memantau Perkembangan Jajaran TNI AD (Sumber: Tempo, 2023); (b) Pemantauan Penggunaan *Cyber* (Sumber: Hidayat, 2023)

Energi utama dalam operasional sistem menggunakan kelistrikan, bila terjadi gangguan jaringan listrik di tengah operasional, perangkat jaringan cerdas secara otomatis menyeimbangkan distribusi listrik dan memanfaatkan sumber energi terbarukan, sehingga infrastruktur penting yang dibutuhkan dalam mendukung darurat ketahanan bencana dipastikan tetap beroperasi selama krisis (Shotwell, 2024).

Penggunaan yang lebih meluas ke arah militer, dihadapkan desrupsi teknologi yang tak terbatas, perangkat canggih yang tersemat saat ini masih terdapat celah dan rentan dari serangan. Oleh karenanya, sistem penggunaan ganda yang baru harus tangguh dan mampu mengatasi kerentanan siber, dengan menangani enkripsi data, perlindungan gangguan, pemadaman GNSS, dan penyembunyian parameter pengawasan (Eurocontrol, 2023).

Integrasi yang kuat antara fungsional *dual-use* (tujuan sipil dan tujuan militer) dan teknologi pintar IoT memberikan dampak yang cukup signifikan dalam efektifitas penanganan bencana alam dan bencana sosial. Namun, listrik dan internet sebagai jaringan operasi utama sistem, berdampak meningkatnya ancaman *cyber crime*

seperti *cyber terrorism*. Pentingnya keamanan siber dalam jaringan, saat ini dikembangkan teknologi penangkal dalam jaringan pula berupa *cyber security* (Rizki, 2024; Asri, et.al., 2024).

Keamanan dan Kekuatan Struktur

Pada kondisi pra bencana, dengan adanya kekuatan struktur yang memadai dalam melayani fungsi ganda dalam satu bangunan, masyarakat sipil dapat tetap melakukan aktivitas sehari-hari seperti sekolah, bekerja, berbelanja, atau beristirahat di tempat yang aman. Pada kondisi pasca bencana, Desain bangunan *dual-use* yang kuat dan memenuhi standar kesehatan, keamanan dan keselamatan, membantu menjaga semangat dan moral selama masa krisis serta dapat memberikan perlindungan bagi warga selama evakuasi, khususnya bagi warga terdampak yang tidak memiliki tempat tinggal yang aman. Kerjasama antara pemerintah, pihak swasta, dan masyarakat sangat penting untuk memastikan efektivitas penggunaan *dual-use building* sebagai pusat evakuasi (**Gambar 4**).



Gambar 4. *Dual-use* Bangunan Olah Raga Outdoor sebagai Pusat Evakuasi (Sumber: Cruz, 2024)

Hal yang paling utama dalam merancang bangunan yang tahan bencana adalah dengan mengurangi dampak yang dapat ditimbulkan oleh

bencana itu sendiri (Salelatu, 2020; Niazi, et.al., 2020). Perencanaan bangunan *dual-use* harus mempertimbangkan faktor-faktor keamanan dan keselamatan yang sesuai dengan kondisi bencana. Ditinjau dari kerusakan kegagalan fungsi bangunan akibat bencana alam, ancaman gempa di Indonesia tercatat memiliki dampak tertinggi dari risiko yang dihadapi. Indeks Risiko Bencana, tercatat 59,14 % kota/kabupaten memiliki tingkat kerawanan tertinggi pada rentang 4 – 7,9 SR (Rachmawati, 2024).

Peraturan standar perancangan skala nasional maupun internasional dengan dikombinasikan perangkat lunak desain bangunan diterapkan untuk menghasilkan sebuah bangunan yang memiliki karakteristik sesuai persyaratan, termasuk didalamnya bangunan *dual-use*. Persyaratan yang dimaksud yakni memiliki sistem pemikul gaya lateral atau vertikal, kekuatan, kekakuan, dan kemampuan menyerap energi yang cukup untuk menahan gaya gerak desain tanah seismik (SNI 1726-2019). Di Indonesia, SRPM dalam SNI merupakan sistem desain struktur penahan gempa yang diterapkan, dimana desain struktur SRPMB, SRPMM dan SRPMK harus diperhitungkan sesuai dengan kelompok atau zonasi gempa wilayah. Mengacu desain struktur tersebut, selanjutnya struktur dikembangkan dan diterapkan sesuai karakteristik tanah daerah gempa guna lebih meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa meliputi Sistem Dinding Penumpu, Hybrid Structures, Struktur Portal Baja, Tube Composite Shearwall serta Sistem Interaksi Dinding Geser dengan Rangka (Sugesty, et.al., 2024; Leoprasetya, A., 2021). Terdapat kelebihan dan

kekurangan dalam penggunaannya namun masih memenuhi konsep dimana bangunan mampu bertahan dan tidak runtuh jika terjadi gempa. Bukan berarti tidak boleh mengalami kerusakan sama sekali, bangunan tahan gempa boleh mengalami kerusakan asalkan masih memenuhi persyaratan yang berlaku (Dicky, 2024).

SNI *code* dalam desain struktur bangunan serta metode *Pushover* diterapkan dalam analisis static dengan didasari peraturan ATC-40 (*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*) yang merupakan representatif dari ASCE dalam desain bangunan ketahanan gempa (Dicky, 2024).

Disisi lain, penerapan konsep *confined masonry* terbukti dapat mengurangi tingkat kerusakan akibat gempa bumi. Peristiwa gempa bumi di Indonesia tahun 2017-2019, bangunan konsep *confined masonry* hanya mengalami 0,8 % kerusakan dari total 243.852 kerusakan bangunan. Konsep tersebut telah diterapkan di berbagai daerah di Indonesia, seperti kantor lurah bendung di kota Serang, bangunan gedung sekolah di Cianjur yang mengacu pada *Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings*. Konsep ini diterapkan pula di negara lain pada daerah dengan aktivitas seismik tinggi yakni negara Mediterania, Amerika Latin, Iran dan China (Rachmawati, 2024).

Semakin berat massa struktur bangunan, efek momentum pendulumnya pun akan semakin besar, dan akan menjadi semakin besar pula resiko keruntuhan bangunannya (B-panel, 2012). Maka, perlu adanya efektifitas penggunaan berat komponen struktural dan komponen nonstruktural. Inovasi

teknologi konstruksi saat ini yang mengedepankan ringan dan kuat, seperti penggunaan UHPC pada komponen struktural, selain mengurangi volume dan massa beton secara signifikan namun juga terbukti memiliki karakteristik jauh lebih impresif dibandingkan beton konvensional (Kristanto, et.al., 2024). Pada kapasitas peningkatan kekuatan struktur *existing* guna melayani bertambahnya fungsional bangunan (**Gambar 5**), dapat pula diterapkan sistem *Retrofitting* tanpa menambah dimensi struktur berlebihan dan tanpa mengurangi dimensi ruangan secara signifikan (Kristanto, 2024; Kristanto, et.al., 2023). Selain itu, penggunaan b-panel sebagai nonstruktural dinding juga telah terbukti memiliki karakteristik yang lebih ringan, stabil, isothermal dan isoakustik dibandingkan dinding bata pada umumnya (B-panel, 2012).

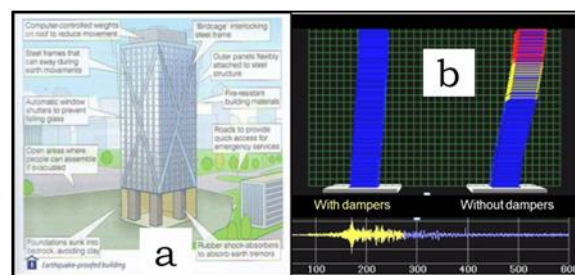


Gambar 5. (a) *Retrofit* Isolasi Seismik di National Museum of Western Art (Sumber: Nakamura, 2019); (b) Metode *Retrofit* pada Struktur Bangunan (Sumber: Mahajan, Civiconcepts)

Pada bangunan tahan gempa memerlukan peningkatan kemampuan fleksibilitas lateral struktur agar beban seismik yang diterima struktur berkurang (Chen, 2024). Penggunaan peredam tipe Friction Pendulum Sistem (FPS) maupun Lead Rubber Bearing (LRB) (sesuai kelompok zona gempa) pada struktur bawah dengan metode *system base isolator*, membuktikan dapat mereduksi gaya

gempa dengan menyerap sebagian besar energi gempa yang masuk ke bangunan di atasnya dan hanya sebagian kecil yang akan dipikul komponen struktur bangunan itu sendiri (**Gambar 6b**), sehingga waktu getar akan lebih besar dan percepatan gempa menjadi lebih kecil (Aziz, 2024; Tranggono, 2024).

Pada bagian struktur atas, teknologi Tuned Mass Damper (TMD) dipasang guna mengurangi respons getaran efek seismik gempa bumi dan angin dengan memperhatikan interaksi struktur tanah dibawahnya. Tak hanya pada gedung tinggi seperti yang diaplikasikan di Taiwan, AS, Jepang dan Australia, TMD juga telah diuji pada bangunan gedung satu lantai dan terbukti mengurangi simpangan yang terjadi (Sosrodinaryo, R.M.B., 2023; Suryadi, et.al., 2021).



Gambar 6. (a) Earthquake-proofed Building (Sumber: Tabibi, 2024); (b) Simulasi Respon Gempa Gedung Bertingkat Menggunakan Peredam Viskoelastis (Sumber: Nakamura, 2019)

Inovasi teknologi konstruksi saat ini telah terbukti mampu meningkatkan kapasitas bangunan gedung khususnya memperkuat tujuan *dual-use* baik mitigasi maupun saat bencana alam terjadi. Hal ini akan memberikan keuntungan pula dalam menghadapi darurat bencana akibat perang. Lebih spesifik lagi, akan sangat memungkinkan penggunaan teknologi cerdas membentuk bangunan cerdas dalam menjalankan

fungsi *dual-use* yang memiliki ketahanan (**Gambar 6a**).

Pemeliharaan

Penggunaan *green energy* yang tepat akan memberikan kesempatan bagi teknologi pintar untuk berintegrasi dan berkontribusi secara maksimal dalam menjalankan fungsi ganda bangunan khususnya dalam memberikan kemudahan pemeliharaan dan perawatan. Perancangan infrastruktur *dual-use* hendaknya perlu mengintegrasikan konsep *green energy* dengan memanfaatkan keuntungan geografis wilayah seperti iklim tropis, panas matahari, curah hujan dan lainnya, sehingga mempermudah proses perawatan dan efisiensi pemilihan bahan bangunan (Huda. et.al., 2022). Seperti penggunaan material kaca *double glass* ataupun *low-e glass* dalam komponen arsitektural bangunan dapat mengurangi tingkat kebisingan, sekaligus menerima cahaya matahari dari luar secara maksimal sehingga dapat meningkatkan kenyamanan dan produktifitas penghuni, meminimalisir penggunaan lampu pada siang hari, daya listrik dapat dihemat serta memperpanjang usia komponen pencahayaan dan kelistrikan (Berlina, 2021).

Penggunaan *light-emitting cement*, yang merupakan material semen yang telah diubah struktur mikronya menjadi material yang menyerap energi matahari di siang hari dan memancarkannya di malam hari selama 12 jam. Banyak manfaat yang bisa didapat dari semen ini yaitu memberikan ketahanan lebih lama dibandingkan semen jenis biasanya dan menghemat penerangan listrik pada malam hari (Putri, et.al., 2021).

Pemeliharaan *dual-use building* dapat memanfaatkan ketahanan *smart building*, termasuk berkurangnya waktu henti, biaya perawatan yang lebih rendah, namun tetap dapat meningkatkan keselamatan penghuni selama dan pasca bencana. Teknologi pintar yang diterapkan dalam desain bangunan turut menghasilkan penghematan jangka panjang serta adanya peningkatan yang keberlanjutan (Tabibi, 2024). Sensor pendeteksi retakan atau deformasi, pendeteksi suhu sangat membantu dalam pemeliharaan dan perbaikan sebelum masalah serius muncul, sehingga mengurangi dampak kerusakan fatal dan mendadak serta biaya *unpredictable*.

Kerawanan

Ditinjau dari dampak bencana akibat sosial khususnya peperangan, peran *dual-use building* seharusnya juga memberikan keuntungan dalam operasional. Pada perang modern saat ini, dengan merebaknya pengetahuan penerapan dual fungsi bangunan di berbagai negara maka akan menjadi titik rawan sebagai sasaran penyerangan. Aktivitas warga sipil dapat menjadi kamuflase bagi berlangsungnya kegiatan militer didalamnya. Hal ini menjadi wacana yang tak berkesudahan dimana pada satu sisi adanya hukum perlindungan keselamatan warga sipil dan pada sisi lain adanya tujuan peperangan yang ingin dicapai. Terdapat beberapa perbedaan pendapat saat ini dimana sebuah bangunan yang digunakan untuk keperluan sipil dan sisi lain untuk keperluan militer dapat dianggap sebagai sasaran militer secara keseluruhan atau entitas yang terpisah dan bahkan berbeda. Fakta di lapangan dijumpai adanya interpretasi

yang memberlakukan seluruh bangunan sebagai satu kesatuan. Sebaliknya apabila dipahami, merupakan suatu kesatuan yang nyata dan berbeda. Berbagai kesatuan tersebut terhubung secara fisik tidak menghalangi untuk memperlakukannya sebagai kesatuan yang terpisah (Schmitt, 2021).

Pada kondisi pencapaian tujuan berupa keuntungan peperangan, banyak militer mengambil tindakan yang sama atau sedikit variasinya dimana pada objek ataupun bangunan *dual-use*, keseluruhannya merupakan sasaran militer, dengan kata lain cenderung menganggap target sebagai bangunan yang digunakan dan bukan bangunan secara keseluruhan. Menurut hukum internasional, kerusakan pada objek dengan fungsi ganda atau *dual-use* tidak dianggap sebagai jaminan baik secara keseluruhan maupun sebagian jika objek tersebut secara efektif tidak dapat dibagi (Schmitt, 2021). Objek dengan fungsi ganda mudah dikenali namun tetap sulit untuk diidentifikasi, khususnya ketika harus memisahkannya dari sasaran militer (Capone, 2025). Kerusakan pada aspek bangunan secara *de facto* merupakan milik sipil, tetapi secara *de jure* merupakan bagian dari sasaran militer dan tidak akan berperan dalam proporsionalitas (Schmitt, 2021).

Pandangan berikutnya diluar fungsional bangunan dan mendapat sorotan dari para akademisi yakni seluruh struktur bangunan *dual-use* dianggap sebagai objek sasaran militer dengan pertimbangan secara hukum, dimana suatu objek adalah sasaran militer atau objek sipil dan tidak ada kategori fungsi ganda (Schmitt, 2021). Apabila terdapat keraguan mengenai suatu objek yang biasanya digunakan untuk aktivitas warga sipil, seperti

rumah atau tempat tinggal, tempat ibadah, ataupun sekolah, pihak yang bertikai harus memiliki asumsi bahwa objek yang dimaksud tidak digunakan untuk tujuan militer (Médecins Sans Frontières, 2023).

Pada akhirnya ditinjau dari aturan proporsionalitas berupa larangan dari sebuah serangan yang menyebabkan kerugian insidental nyawa warga sipil, kerusakan objek sipil atau kombinasinya yang sifatnya berlebihan dalam mencapai keuntungan militer secara langsung (Médecins Sans Frontières, 2023; Schmitt, 2021). Potensi hilangnya perlindungan berdasarkan *International Human Law (IHL)* jika warga sipil dalam objek sipil tersebut berpartisipasi langsung dalam permusuhan, seperti personel medis dalam fasilitas medis yang melakukan tindakan yang merugikan musuh di luar fungsi medis mereka (Médecins Sans Frontières, 2023). Pada sisi lain penggunaan bangunan *dual-use* memungkinkan pandangan penggunaan manusia (warga sipil) sebagai perisai (Hathaway, 2025), menggunakan sebuah bangunan yang sudah dilindungi sebagai objek sipil sehingga kehilangan fungsi perlindungannya (Schmitt, 2021).

Ditinjau dari dampak bencana akibat sosial khususnya peperangan, peran *dual-use building* seharusnya juga memberikan keuntungan dalam operasional. Pada perang modern saat ini, dengan merebaknya pengetahuan penerapan dual fungsi bangunan di berbagai negara maka akan menjadi titik rawan sebagai sasaran penyerangan. Aktivitas warga sipil dapat menjadi kamufase bagi berlangsungnya kegiatan militer didalamnya. Hal ini menjadi wacana yang tak berkesudahan dimana pada satu sisi adanya hukum perlindungan

keselamatan warga sipil dan pada sisi lain adanya tujuan peperangan yang ingin dicapai. Terdapat beberapa perbedaan pendapat saat ini dimana sebuah bangunan yang digunakan untuk keperluan sipil dan sisi lain untuk keperluan militer dapat dianggap sebagai sasaran militer secara keseluruhan atau entitas yang terpisah dan bahkan berbeda. Fakta di lapangan dijumpai adanya interpretasi yang memberlakukan seluruh bangunan sebagai satu kesatuan. Sebaliknya apabila dipahami, merupakan suatu kesatuan yang nyata dan berbeda. Berbagai kesatuan tersebut terhubung secara fisik tidak menghalangi untuk memperlakukannya sebagai kesatuan yang terpisah (Schmitt, 2021).

Pada kondisi pencapaian tujuan berupa keuntungan peperangan, banyak militer mengambil tindakan yang sama atau sedikit variasinya dimana pada objek ataupun bangunan *dual-use*, keseluruhannya merupakan sasaran militer, dengan kata lain cenderung menganggap target sebagai bangunan yang digunakan dan bukan bangunan secara keseluruhan. Menurut hukum internasional, kerusakan pada objek dengan fungsi ganda atau *dual-use* tidak dianggap sebagai jaminan baik secara keseluruhan maupun sebagian jika objek tersebut secara efektif tidak dapat dibagi (Schmitt, 2021). Objek dengan fungsi ganda mudah dikenali namun tetap sulit untuk diidentifikasi, khususnya ketika harus memisahkannya dari sasaran militer (Capone, 2025). Kerusakan pada aspek bangunan secara *de facto* merupakan milik sipil, tetapi secara *de jure* merupakan bagian dari sasaran militer dan tidak akan berperan dalam proporsionalitas (Schmitt, 2021).

Pandangan berikutnya diluar fungsional bangunan dan mendapat sorotan dari para akademisi yakni seluruh struktur bangunan *dual-use* dianggap sebagai objek sasaran militer dengan pertimbangan secara hukum, dimana suatu objek adalah sasaran militer atau objek sipil dan tidak ada kategori fungsi ganda (Schmitt, 2021). Apabila terdapat keraguan mengenai suatu objek yang biasanya digunakan untuk aktivitas warga sipil, seperti rumah atau tempat tinggal, tempat ibadah, ataupun sekolah, pihak yang bertikai harus memiliki asumsi bahwa objek yang dimaksud tidak digunakan untuk tujuan militer (Médecins Sans Frontières, 2023).

Pada akhirnya ditinjau dari aturan proporsionalitas berupa larangan dari sebuah serangan yang menyebabkan kerugian insidental nyawa warga sipil, kerusakan objek sipil atau kombinasinya yang sifatnya berlebihan dalam mencapai keuntungan militer secara langsung (Médecins Sans Frontières, 2023; Schmitt, 2021). Potensi hilangnya perlindungan berdasarkan *International Human Law (IHL)* jika warga sipil dalam objek sipil tersebut berpartisipasi langsung dalam permusuhan, seperti personel medis dalam fasilitas medis yang melakukan tindakan yang merugikan musuh di luar fungsi medis mereka (Médecins Sans Frontières, 2023). Pada sisi lain penggunaan bangunan *dual-use* memungkinkan pandangan penggunaan manusia (warga sipil) sebagai perisai (Hathaway, 2025), menggunakan sebuah bangunan yang sudah dilindungi sebagai objek sipil sehingga kehilangan fungsi perlindungannya (Schmitt, 2021).

KESIMPULAN

1. Integrasi antara fungsional *dual-use* (tujuan sipil dan tujuan militer) dan teknologi pintar IoT berdampak cukup signifikan dalam efektifitas penanganan bencana alam dan bencana sosial. Listrik dan internet sebagai sumber daya utama, rentan ancaman *cyber crime*, sehingga perlu ketangguhan keamanan siber secara berkelanjutan dalam jaringan yang terintegrasi.
2. Inovasi teknologi konstruksi dapat meningkatkan karakteristik struktural dan nonstruktural bangunan *dual-use* untuk tujuan mitigasi maupun saat bencana alam dan bencana sosial terjadi.
3. Teknologi pintar IoT dan teknologi konstruksi yang diterapkan turut menghasilkan penghematan jangka panjang bangunan serta peningkatan fungsional yang keberlanjutan.
4. Kerawanan bangunan *dual-use* (keperluan sipil dan keperluan militer) dapat dianggap sebagai sasaran militer secara keseluruhan atau entitas yang terpisah dan bahkan berbeda. Penggunaan *dual-use* pada sebuah bangunan yang sudah dilindungi sebagai objek sipil berakibat kehilangan fungsi perlindungannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini, khususnya kepada Akademi Militer selaku pemberi dana, sehingga Penulis dapat menyelesaikan sesuai waktu dan tujuan yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asri, A., Simarmata, L.N., Atmaja, A.C.K., Wendra, A., 2024, Anti Terorisme Siber: Upaya Antisipatif Penanggulangan Terorisme Siber di Indonesia, Media Online, ISSN 2656-4041, Pp: 1-13.
- Aziz, M.A., 2024, Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Menggunakan *Lead Rubber Bearing (LRB)* dan *Friction Pendulum System (FPS)*, Skripsi, Politeknik Negeri Jakarta.
- B-panel, 2012, Penurunan Berat Bangunan dengan b-panel, Posted in News: Februari 2012.
- Berlina, S., 2021, Perancangan Bangunan Mixed Use di Kota Bekasi: Penekanan pada Coworking Space dengan Interior Open Layout, Studio Akhir Desain Arsitektur: 44.
- Capone, F., 2025, *Dual-use Objects under International Humanitarian Law: Towards a Paradigm Shift*, Edition Number 1: 17 July 2025, T.M.C. Asser Press The Hague.
- Chen, V., 2024, Perbandingan Respons Seismik Struktur Gedung Sistem Konvensional (*Fixed Base*) dengan Sistem Isolasi Dasar *Double Friction Pendulum*, Skripsi, Universitas Lampung.
- Cruz, R.D.L., 2024, DepEd Tells LGUs to Provide Evacuation Centers, <https://marketmonitor.com.ph/deped-tells-lgus-to-provide-evacuation-centers/>, The Market Monitor: Top News (24 Mei 2024), diakses pada 26 Mei 2025).
- Dicky, F.H., 2024, Studi Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Berbasis Kinerja (*Performance Based Analysis*) dengan Variasi Arah Susunan

- Balok, Thesis, Universitas Andalas.
- Dwipratama, G.P., 2025, *The Internet of Military Defense Things (IoMDT): Tantangan, Peluang dan Ancaman Bagi Indonesia*, <https://www.kemhan.go.id/pothan/2025/04/09/the-internet-of-military-defense-things-iomdt-tantangan-peluang-dan-ancaman-bagi-indonesia.html>, Kementerian Pertahanan Republik Indonesia: Pothan (9 April 2025), diakses pada 24 Mei 2025.
- Eurocontrol, 2023, *Dual-use CNS: The Civil-Military Interoperability Multiplier, Think Paper #20 – 25 May 2023*, Published by Eurocontrol.
- Gromek, 2023, *Armed Forces and Disaster Risk Reduction: A Theoretical Approach*, *Athenaeum-Polish Political Scene Studies*, vol. 79(3)/2023, Pp: 47–69.
- Hathaway, O.A., Khan, A., Revkin, M., 2025, *The Dangerous Rise of “Dual-Use” Objects in War*, *Yale Law Journal*, Pp: 1-97.
- Heryana, A., 2020, Pengertian dan Jenis Bencana, Universitas Esa Unggul, Article: Januari 2020.
- Hidayat, D., 2023, Pembentukan Angkatan Siber TNI Harus Mengesampingkan Ego, <https://www.rri.co.id/kepulauan-riau/nasional/321065/pembentukan-angkatan-siber-tni-harus-mengesampingkan-ego>, Radio Republik Indonesia: Nasional (15 Aug 2023), diakses pada 26 Mei 2025).
- Huda. M.K., Hapsari, O.E., Suriani, E., 2022, Perancangan *Mixed Use Building* dengan Pendekatan Arsitektur Tropis di Kota Surabaya, *MOZAIK-Buletin Perancangan Arsitektur*, Vol. 1, No. 1 (Maret 2022), Pp: 1-8.
- Kristanto, L., Prapsetyo, A., 2024, *Ultra-High-Performance Concrete (UHPC): Material Behavior Review for Military Field Prospects*, *Jurnal Teknik Sipil Pertahanan*, Vol. 12 No.1 (Juli 2024), Pp: 1-11.
- Kristanto, L., 2024, Implementasi *Retrofit* pada Kerusakan Struktur Beton Bertulang, *Jurnal Teknik Sipil Pertahanan*, Vol. 11 No.1 (Januari 2024), Pp: 1-11.
- Kristanto, L., Iqbal, M., 2023, Analisis Kekuatan Struktur Pasca Retrofitting pada Kerusakan Struktur Balok Beton Bertulang, *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, Jilid 22, Terbitan 1, Pp: 53-64.
- Leoprasetya, A., 2021, Sistem Dinding Penumpu, *Scribd*, Pp: 1-2.
- Mahajan, B., 2019-2024, What Is Retrofitting | Methods of Retrofitting of Building, <https://civiconcepts.com/blog/retrofitting>, Civiconcepts: Retrofitting, diakses pada 26 Mei 2025.
- Maulina, 2025, Infrastruktur Pendukung Ketahanan Lingkungan dan Militer, <https://rri.co.id/nasional/1513771/infrastruktur-pendukung-ketahanan-lingkungan-dan-militer#:~:text=Selanjutnya%20ada%20fasilitas%20kesehatan%20dual,dapat%20dioperasikan%20dalam%20kondisi%20krisis.>, Radio Republik Indonesia: Nasional (13 Mei 2025), diakses pada 16 Mei 2025.
- Médecins Sans Frontières, 2023, *The Practical Guide to Humanitarian Law: Military Objectives*, <https://guide-humanitarian-law.org/content/article/3/milita>

- [ry-objectives/](#), diakses pada 22 Mei 2025.
- Nakamura, Y., Okada, K., 2019, Review on Seismic Isolation and Response Control Methods of Buildings in Japan, *Geoenvironmental Disasters*, Vol. 6, No. 7 (29 July 2019).
- Niazi, 2020, Design and Technology for Disaster-resilient, Environmentally Responsible Buildings in Mountain Regions (Uttarakhand) - Habitat Package, New Delhi: Development Alternatives.
- Niinisto, S., 2024, *Scale up Europe's Defense Efforts and Unlock Its Dual-Use Potential: Safer Together-Strengthening Europe's Civilian and Military Preparedness and Readiness*, European Union: Oktober 2024.
- Ortega, A.A., 2022, *Dual-use and dual-purpose objects: Topic 3: Current and future space-to-space threats by States to space systems*, Unidir.
- Putri, D.A., Harun, I.B., Sigalingging, R.C.P., 2021, Perancangan Mixed Use Building dengan Pendekatan Arsitektur Hijau di Kota Bandar Lampung, e-proceeding Vol. 1 No. 1 (September 2021), Pp: 1-12.
- Rachmawati, M., 2024, Mewujudkan Bangunan yang Lebih Tahan Gempa dengan Konsep *Confined Masonry*, <https://greennetwork.id/kabar/mewujudkan-bangunan-yang-lebih-tahan-gempa-dengan-konsep-confined-masonry/#:~:text=Dua%20komponen%20struktural%2C%20yaitu%20dinding,menahan%20gaya%20gravitasi%20dan%20gempa.&text=Di%20Indonesia%2C%20konsep%20ini%20juga,menentukan%20jenis%20fondasi%20yang%20tepat.>, Green Network: Kabar Unggulan (4 Desember 2024), diakses pada 16 Mei 2025.
- Renjith, T., Anjana, W., Anupama, A., 2024, *Strengthening Disaster Preparedness: Insights from Recent Literature*, *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*, Vol. 31 No. 04 (2024), Pp: 1630-1635.
- Rizki, A., 2024, 5 Jenis IoT (*Internet of Things*) dan Penerapannya, <https://techarea.co.id/jenis-iot/>, Techarea (November 9, 2024), diakses pada 24 Mei 2025.
- Rusby, Z., Arif, M., 2019, Potensi Wisata Kuliner Dalam Pengembangan Wisata Syariah di Kota Pekanbaru, Laporan Kemajuan Penelitian Multi Tahun, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.
- Said, O., Tolba, A., 2021, A Reliable and Scalable Internet of Military Things Architecture, *Computers, Materials and Continua*, Vol. 67 Issue 3 (21 January 2021), Pp: 3887-3906.
- Salelatu, D.Y., 2020, Perancangan *Minahasa Volcano Center* di Tomohon *Architecture Disaster Response*, Arsitektur UNSRAT, Pp: 164-174.
- Schmitt., M.N., 2021, *Targeting Dual-Use Structures: An Alternative Interpretation*, *Lieber Institute, Articles of War*, <https://lieber.westpoint.edu/targeting-dual-use-structures-alternative/>, diakses pada 6 Mei 2025.
- Setyorini, F.A., 2023, Menakar Paradigma Penanggulangan Bencana Melalui Analisis

- Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, *Journal of Social Politics and Governance (JSPG)*, Vol. 5 No. 2 (Desember 2023), Pp: 97-113.
- Shotwell, B., 2024, *Building Resilient Smart Cities: Leveraging Technology for Disaster Preparedness*, <https://microspace.com/building-resilient-smart-cities-leveraging-technology-for-disaster-preparedness/>, Microspace.com (25 September 2024), diakses pada 30 Maret 2025.
- Sosrodinartyo, R.M.B., 2023, Mahasiswa Bersuara: Menerapkan *Wind Damper* ala Taipei 101 untuk Mengurangi Dampak Gempa pada Gedung Tinggi, <https://bandungbergerak.id/article/detail/158907/mahasiswa-bersuara-menerapkan-wind-damper-ala-taipei-101-untuk-mengurangi-dampak-gempa-pada-gedung-tinggi#:~:text=Tidak%20hanya%20untuk%20bangunan%20tinggi,satu%20lantai%20atau%20rumah%20tinggal.> bandungbergerak.id: Opini (9 Oktober 2023), diakses 24 Mei 2025.
- Sugesty, R., Tirta, S.D.Y., 2024, Perancangan Ulang Struktur Tahan Gempa Gedung Fasilitas Pendidikan 10 Lantai dengan Struktur Utama Portal Baja, Skripsi, Universitas Islam Sultan Agung.
- Suryadi, D., Ridlo, R., Daratha, N., Agustian, I., 2021, Pengaruh *Tuned Mass Damper (TMD)* Terhadap Respons Getaran pada Struktur, *Jurnal Semesta Teknik*, Vol. 24 No. 2 (November 2021), Pp: 84-92.
- Suzzan, A.O., 2024, Studi Komparasi Penggunaan *Base Isolation Tipe Lead Rubber Bearing* dan *Friction Pendulum Bearing* pada Bangunan Gedung Anutapura Medical Center Palu, *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 22(4):393.
- Tabibi, A., 2024, Smart Buildings and Disaster Resilience: Lessons from Natural Disasters, <https://green.org/2024/01/30/smart-buildings-and-disaster-resilience-lessons-from-natural-disasters/>, Green.org (30 Januari 2024), diakses pada 30 Maret 2025.
- Tempo, 2023, TNI Integratif Berbasis Teknologi, <https://www.tempo.co/info-tempo/tni-integratif-berbasis-teknologi-818718>, Info Tempo (27 November 2023), diakses pada 26 Mei 2025.
- Tranggono, H.A., 2024, Analisis Perbandingan Penggunaan *Single Friction Pendulum System (SFPS)* dan *Non SFPS* pada Bangunan Beton Bertulang, Skripsi, Universitas Lampung.