

PEMANFAATAN MATERIAL RINGAN DAN FLEKSIBEL UNTUK MENINGKATKAN KETAHANAN BANGUNAN SEKOLAH BERLANTAI DUA TERHADAP GUNCANGAN SEISMIK

*Utilization Of Light And Flexible Materials To Improve The Resistance Of
Two-Story School Buildings To Seismic Shock*

Rinal Hardian¹, Armia², Murnia Suri³, Iswanda⁴

^{1,2,4} Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Ubudiyah Indonesia,

³ Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Ubudiyah Indonesia,

Corresponding author: rinalhardian@uui.ac.id

Abstrak

Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji sejauh mana penggunaan material ringan dan fleksibel dapat mengurangi gaya inersia pada struktur gedung sekolah berlantai dua di kota Banda Aceh, serta menganalisis pengaruhnya terhadap perilaku dinamis struktur saat terjadi gempa, ditinjau dari aspek deformasi, percepatan lantai, dan gaya geser dasar. Dengan memahami hubungan ini, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi desain yang lebih efektif dalam pembangunan gedung tahan gempa. Dengan membandingkan jenis material struktur (konvensional Model A vs. ringan/fleksibel Model B) dan respons struktur terhadap gempa, yaitu deformasi maksimum (displacement), percepatan puncak lantai (peak floor acceleration) dan daya geser dasar (base shear). Akhir dari kajian ditemukan bahwa Model B memiliki periode lebih panjang, artinya lebih lentur → cocok untuk redam gempa frekuensi tinggi. Gaya geser dasar lebih kecil karena massa bangunan jauh lebih ringan. Perpindahan puncak lebih besar (normal untuk struktur fleksibel) tapi masih dalam batas aman. Drift antar lantai pada Model B masih di bawah batas SNI ($\leq 2\%$).

Kata Kunci: *struktur gedung sekolah, struktur perilaku dinamis*

Abstract

This study focuses on examining the extent to which the use of lightweight and flexible materials can reduce inertial forces in the structural system of a two-story school building in Banda Aceh. It also analyzes the impact of such materials on the dynamic behavior of the structure during an earthquake, in terms of deformation, floor acceleration, and base shear. By understanding this relationship, the study aims to provide more effective design recommendations for earthquake-resistant buildings. The analysis compares two structural material types—conventional (Model A) and lightweight/flexible (Model B)—and their seismic responses, specifically maximum displacement, peak floor acceleration (PFA), and base shear. The results show that Model B has a longer natural period, indicating greater flexibility, making it more suitable for mitigating high-frequency earthquake impacts. The base shear is significantly lower due to the reduced structural mass. Although the peak displacement is larger (which is typical for flexible structures), it remains within safe limits. Furthermore, the inter-story drift in Model B remains below the SNI code limit ($\leq 2\%$).

Keywords: *school building structure, dynamic structural behavior*

PENDAHULUAN

Banda Aceh berada di wilayah zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, tepatnya di sepanjang zona

subduksi Sumatra-Andaman. Zona ini merupakan salah satu zona seismik paling aktif di dunia. Sejarah mencatat Gempa dan tsunami 26 Desember 2004 adalah salah satu bencana paling mematikan dalam sejarah, berpusat di

dekat Banda Aceh. Gempa yang berkekuatan Mw 9,1–9,3 ini menimbulkan gelombang tsunami besar yang menghantam pantai barat Aceh, termasuk Banda Aceh. Tidak hanya itu, setelah gempa utama, wilayah ini terus mengalami aktivitas gempa susulan dan gempa menengah–besar lainnya.

Berdasarkan standar nasional Indonesia terbaru, Banda Aceh termasuk dalam zona dengan percepatan gempa rencana (PGA) tertinggi, yaitu di atas 0,5g. Hal ini menandakan bahwa bangunan di Banda Aceh harus dirancang dengan tingkat ketahanan gempa yang sangat tinggi, sesuai standar bangunan tahan gempa. Karena posisi geologis dan sejarah kegempaan yang intens, Banda Aceh diklasifikasikan sebagai wilayah dengan risiko seismik sangat tinggi. Oleh karena itu, perencanaan struktur bangunan tahan gempa sangat krusial di wilayah ini. Pembangunan infrastruktur dan bangunan harus mempertimbangkan aspek ketahanan terhadap gempa sebagai faktor utama dalam proses perancangan struktur.

Salah satu pendekatan yang semakin berkembang dalam upaya meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa adalah pemanfaatan material ringan dan fleksibel. Secara prinsip, material dengan massa yang lebih ringan akan menghasilkan gaya inersia yang lebih kecil ketika mengalami percepatan akibat guncangan seismik. Selain itu, fleksibilitas material dapat membantu struktur menyerap energi gempa dan meredam deformasi yang berlebihan, sehingga mengurangi potensi kerusakan struktural.

Bangunan berlantai dua termasuk dalam kategori bangunan menengah yang cukup banyak digunakan untuk fungsi hunian, komersial, maupun Pendidikan di kota Banda Aceh. Bangunan dua lantai dipilih karena mampu mengakomodasi jumlah siswa yang banyak dalam lahan terbatas, serta efisien dari segi biaya konstruksi. Namun struktur gedung dua lantai sering kali menjadi titik kritis, karena memiliki massa yang lebih besar daripada bangunan satu lantai dan karakteristik struktural bangunan dua lantai memiliki kerentanan tertentu terhadap gempa, terutama apabila tidak dirancang dengan benar sesuai dengan prinsip bangunan tahan gempa. Di samping itu, tidak semua gedung berlantai dua selalu dilengkapi dengan sistem peredam

gempa canggih seperti gedung tinggi sehingga pemilihan material yang tepat menjadi strategi penting untuk meningkatkan performa seismik bangunan jenis ini. Di sisi lain, pemanfaatan material konvensional seperti bata berat dan beton bertulang masih umum digunakan, yang secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan massa bangunan. Massa bangunan yang besar menyebabkan timbulnya gaya inersia yang lebih tinggi saat terjadi gempa, sehingga meningkatkan risiko kerusakan atau bahkan runtuhnya struktur.

Dalam konteks ini, muncul kebutuhan untuk mengevaluasi dan merancang ulang pendekatan konstruksi bangunan pendidikan, khususnya yang berlantai dua, agar mampu menahan beban gempa secara efektif. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah penggunaan material ringan dan fleksibel, yang berpotensi mengurangi beban inersia dan meningkatkan perilaku dinamis bangunan saat gempa terjadi. Namun, hingga kini masih diperlukan kajian teknis yang komprehensif untuk memahami secara kuantitatif sejauh mana material ringan dan fleksibel dapat mengurangi dampak gempa terhadap struktur, khususnya dalam hal deformasi, percepatan, dan gaya geser dasar.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini menjadi penting untuk mendalami efektivitas penggunaan material ringan dan fleksibel pada bangunan pendidikan berlantai dua di Banda Aceh sebagai langkah konkret untuk meningkatkan keselamatan dan ketahanan bangunan terhadap gempa bumi di masa depan. Untuk itulah penelitian ini merumuskan dua masalah untuk dikaji yaitu, sejauh mana penggunaan material ringan dan fleksibel dapat mengurangi gaya inersia yang ditimbulkan oleh gempa pada bangunan berlantai dua? dan Apa pengaruh pemanfaatan material ringan dan fleksibel terhadap perilaku dinamis struktur gedung berlantai dua saat terjadi gempa (dari segi deformasi, percepatan, dan gaya geser dasar)?

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi analisis struktur berbasis simulasi numerik. Tujuan utama penelitian adalah mengevaluasi kinerja dinamis bangunan sekolah berlantai dua terhadap beban gempa dengan menggunakan material konvensional dan membandingkannya

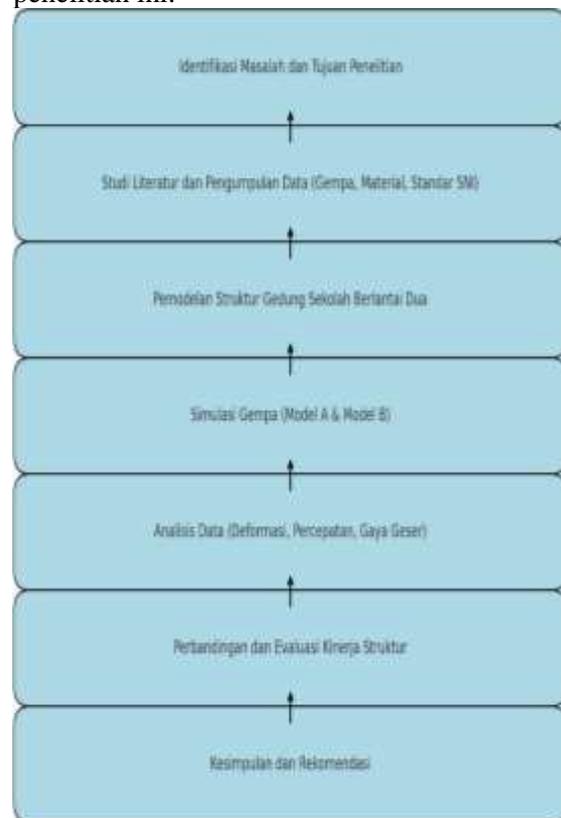
dengan material ringan dan fleksibel. Pendekatan yang digunakan adalah eksperimen numerik berbasis komputer melalui pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak analisis struktur (seperti ETABS atau SAP2000).

Penelitian ini dilakukan di Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia dengan objek penelitian model gedung sekolah berlantai dua yang umum digunakan di sekolah pada dua variasi desain Model A: Struktur menggunakan material konvensional (beton bertulang dan bata) dimana banyak sekolah pascatsunami yang dibangun ulang dengan tipe struktur ini, terutama dengan dana bantuan internasional pasca 2004. Beberapa contoh nyata dapat ditemukan di kecamatan seperti Meuraxa, Kutaraja, dan Ulee Lheue. Kedua Model B: Struktur menggunakan material ringan dan fleksibel (misalnya: baja ringan, panel komposit, gypsum board). Model ini ditemukan pada Gedung Sekolah Darurat dan Sekolah Permanen pascatsunami hasil bantuan NGO (misal: UNICEF, Red Cross, BRR NAD-Nias) menggunakan konstruksi baja ringan dan panel GRC dan juga beberapa gedung sekolah hasil kerja sama Pemkot Banda Aceh dengan lembaga donor Jepang dan Jerman juga mulai memakai sistem struktur modular ringan.

Data dikumpulkan melalui tiga instrument, Kajian literatur dan standar, Spesifikasi teknis material dan Simulasi struktur. Kajian literatur dan Standar berpedoman pada data SNI 1726:2019 (beban gempa), SNI 2847:2019 (struktur beton bertulang) dan data gempa historis Banda Aceh dari BMKG. Spesifikasi teknis material didapatkan dari pabrikan atau standar internasional (densitas, modulus elastisitas, redaman) sedangkan Simulasi struktur berupa pemodelan bangunan dilakukan secara digital dalam program analisis struktur, dengan parameter input dari data gempa rencana.

Data yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan metode analisis respons spektrum linier (Linear Response Spectrum Analysis) dengan melakukan perbandingan antara Model A dan Model B terhadap ketiga parameter utama: deformasi, percepatan lantai, dan gaya geser dasar. Hasil perbandingan digunakan untuk melihat efektivitas material ringan dan fleksibel dalam mereduksi respons seismik.

Berikut diagram alur penelitian yang digunakan sebagai pedoman pelaksanaan untuk penelitian ini.



Gambar 1
Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari tujuh tahap yang diawali dengan tahap identifikasi masalah dan penentuan tujuannya. Bersamaan dengan itu, dilakukan studi literatur dan pengumpulan data berupa data Gempa, Material dan Standar SNI. Langkah selanjutnya adalah pemodelan struktur gedung sekolah berlantai dua dan simulasi gempa pada model A dan model B. Kemudian data yang diperoleh dianalisis deformasi, percepatan dan gaya gesernya dengan menggunakan metode analisis respons spektrum linier (Linear Response Spectrum Analysis). Hasil analisis tersebut lalu dibandingkan dan evaluasi kinerja strukturnya untuk dijadikan bahan temuan dalam bentuk kesimpulan dan rekomendasi bagi penelitian lanjutan atau pembangunan yang akan datang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ETABS v19 (atau SAP2000 v23) dengan metode analisis Respons Spektrum Linier pada dua model struktur, yaitu Model A: bangunan

sekolah berupa rangka beton bertulang + dinding bata dan Model B: bangunan sekolah berupa rangka baja ringan + panel GRC/gypsum board yang ada di kota Banda Aceh.

Berikut ini merupakan table parameter gempa yang diukur di kota Banda Aceh untuk digunakan dalam analisis struktur bangunan terhadap beban gempa.

Parameter	Nilai
Zona Gempa	Zona 6 (SNI 1726:2019)
PGA (Percepatan tanah maksimum)	0.6 g
Tipe tanah	Tanah lunak (kategori D)
Respon Spektrum	SRSS kombinasi X dan Y (Linear)

Tabel 1
 Parameter Gempa Input

Tabel tersebut menjelaskan bahwa parameter zona gempa yang menunjukkan tingkat risiko gempa di lokasi proyek. Zona 6 mengacu pada klasifikasi SNI 1726:2019, yang mengindikasikan wilayah dengan potensi gempa tinggi. Percepatan Tanah Maksimum (PGA) sebagai nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa, di sini sebesar 0.6 g, menunjukkan gempa kuat. Tipe Tanah termasuk kategori D (tanah lunak) yang berarti tanah di daerah ini memiliki respons tinggi terhadap guncangan gempa. Sementara itu metode Respon Spektrum menunjukkan SRSS kombinasi X dan Y (Linear) mengacu pada metode kombinasi akar jumlah kuadrat respons spektral pada dua arah ortogonal (X dan Y) secara linear.

Berikutnya Tabel 2 di bawah ini merupakan table perbandingan performa struktur anantara dua model bangunan dalam menghadapi gempa yaitu, Model A menggunakan material konvensional dan Model B menggunakan material ringan dan fleksibel.

Parameter	Model A (Konvensional)	Model B (Ringan-Fleksibel)	% Reduksi
Berat total bangunan (ton)	150	90	40%
Gaya geser dasar (Base Shear, kN)	380	210	44.7%
Perpindahan puncak (mm)	45	70	1.55% (lebih fleksibel)
Percepatan lantai (m/s^2)	4.5	2.8	1.378%
Drift antar lantai (%)	0.7%	1.1%	Masih di bawah batas

Tabel 2
 Hasil Simulasi ETABS

Model B memiliki bobot total lebih ringan (90 ton) dibandingkan Model A (150 ton), terjadi pengurangan berat sebesar 40%. Ini berkontribusi langsung pada penurunan gaya inersia akibat gempa. Model B mengalami gaya geser dasar yang lebih kecil (210 kN) dibandingkan Model A (380 kN), terjadi penurunan sebesar 44.7%. Ini menunjukkan bahwa struktur lebih ringan memberikan respons gaya internal yang lebih rendah saat gempa. Meskipun Model B menunjukkan perpindahan puncak yang lebih besar (70 mm vs 45 mm), hal ini wajar karena sifat struktur yang lebih fleksibel. Namun nilai tersebut masih dalam batas aman. Model B menunjukkan percepatan lantai yang lebih rendah (2.8 m/s^2) dibanding Model A (4.5 m/s^2), terjadi penurunan 37.8%, yang berarti struktur memberikan lebih sedikit percepatan pada isi atau penghuni bangunan saat terjadi gempa. Meskipun nilai drift Model B sedikit lebih besar (1.1% vs 0.7%), keduanya masih dalam batas aman menurut standar SNI ($\leq 2\%$). Ini menunjukkan struktur tetap stabil.

(Struktur sekolah 2 lantai di Banda Aceh, tanah kategori D, PGA = 0.6g)

Parameter	Model A (Konvensional)	Model B (Ringan-Fleksibel)
Berat Total (ton)	150	90
Periode Mode 1 (detik)	0.62 s	0.85 s
Gaya Geser Dasar (Base Shear, kN)	380	210
Perpindahan Puncak (Top Displacement, mm)	45	70
Drift Antar Lantai Maksimum (%)	0.7%	1.1%
Percepatan Lantai Maksimum (m/s^2)	4.5	2.8

Tabel 3

Data Linier Response Spectrum Analysis

Table data linier respon spectrum menunjukkan bahwa Model B memiliki bobot 90 ton, jauh lebih ringan dibanding Model A yang 150 ton. Pengurangan massa ini sangat berpengaruh terhadap pengurangan gaya inersia saat gempa. Model B memiliki periode alami lebih panjang (0.85 s) dibanding Model A (0.62 s), artinya struktur lebih fleksibel dan lebih efektif meredam gempa frekuensi tinggi. Gaya geser dasar pada Model B jauh lebih kecil (210 kN) dibandingkan Model A (380 kN), sejalan dengan pengurangan berat struktur. Hal ini menurunkan risiko kerusakan struktur. Model B mengalami perpindahan lebih besar (72 mm) dibanding Model A (45 mm) karena lebih fleksibel. Meskipun demikian, perpindahan ini masih dalam batas aman untuk struktur tahan gempa. Drift Model B sedikit lebih tinggi (1.1%) dibanding Model A (0.7%), namun masih di bawah batas maksimum SNI, yaitu 2%. Ini menunjukkan bahwa struktur tetap stabil dan tidak berisiko runtuh. Model B memiliki percepatan lantai yang lebih rendah (2.8 m/s^2) dibandingkan Model A (4.5 m/s^2), yang berarti getaran yang dirasakan oleh penghuni atau isi bangunan lebih kecil—baik untuk kenyamanan maupun keselamatan.

Dari table 2 dan 3 diketahui bahwa gaya geser dasar pada Model B turun signifikan karena pengurangan massa dan deformasi lateral meningkat pada Model B, menunjukkan sifat lebih lentur/fleksibel karena memiliki periode lebih panjang sehingga cocok untuk meredam gempa frekuensi tinggi. Sedangkan percepatan lantai lebih rendah pada Model B, artinya beban yang diterima furnitur/orang lebih kecil → lebih aman untuk penghuni saat gempa. Sehingga dapat dikatakan bahwa Model B menunjukkan perilaku struktur lebih ductile, cocok untuk daerah rawan gempa tinggi seperti Banda Aceh. Temuan ini menunjukkan bahwa Penggunaan material ringan dan fleksibel secara signifikan mengurangi beban gempa (gaya inersia), dan meskipun menyebabkan deformasi yang sedikit lebih besar, tetap berada dalam batas aman sesuai SNI. Model B lebih direkomendasikan untuk bangunan sekolah di wilayah gempa tinggi karena lebih aman, ringan, dan fleksibel dalam desain.

Selanjutnya berdasarkan hasil yang diperoleh dilakukan perbandingan dan analisis

efektivitas penggunaan material ringan dan fleksibel terhadap respons seismik struktur berdasarkan hasil *Linear Response Spectrum Analysis (LRSA)* yang telah disimulasikan pada dua model bangunan sekolah berlantai dua dengan tujuan untuk menilai efektivitas struktur ringan dan fleksibel (Model B) dibandingkan struktur konvensional (Model A) dalam mereduksi gaya inersia (base shear), mengurangi percepatan internal struktur dan mempertahankan deformasi dalam batas aman. Analisis efektifitas dilakukan dengan beberapa langkah seperti, Reduksi Massa (Reduksi Gaya Inersia), Percepatan Lantai, Fleksibilitas dan Uji Kelayakan.

Dari Reduksi Masa diperoleh pengurangan massa sebesar 40%, gaya gempa (base shear) juga turun hampir 45%. Ini menunjukkan hubungan langsung antara massa struktur dan gaya seismik, sesuai prinsip dasar dinamika struktur $F=m \cdot a$. Percepatan lantai pada Model B turun hampir 38%, artinya beban dinamis pada perabot, partisi, dan penghuni lebih rendah → lebih aman secara non-struktural. Tingkat fleksibilitas meningkat dimana Deformasi lateral (drift) dan perpindahan puncak memang naik pada Model B karena fleksibilitas lebih besar. Namun, semua nilai masih berada dalam batas aman SNI 1726:2019, yang mensyaratkan maksimum drift antar lantai $\leq 2\%$. Selanjutnya pada uji kelayakan untuk sekolah menunjukkan struktur fleksibel lebih adaptif terhadap gempa frekuensi tinggi, cocok untuk wilayah aktif seperti Banda Aceh. Sementara itu sistem ringan juga mempermudah evakuasi dan mengurangi risiko cedera akibat keruntuhan elemen non-struktural.

Berdasarkan hasil dari perbandingan kedua model diperoleh temuan bahwa struktur Model B (ringan dan fleksibel) terbukti lebih efektif dalam mereduksi respons seismik dibandingkan struktur konvensional yaitu mengurangi beban gempa hingga 45%, mengurangi percepatan lantai hingga 38% dan meskipun deformasi lebih besar, tetap aman menurut standar. Maka dapat dikatakan, penggunaan material ringan dan fleksibel merupakan pendekatan strategis untuk desain bangunan sekolah tahan gempa di wilayah rawan seperti Banda Aceh.

PENUTUP

Hasil analisis dari penelitian ini menunjukkan bahwa Model B, yang menggunakan material ringan dan fleksibel, memiliki periode alami yang lebih panjang, sehingga lebih efektif dalam meredam respons bangunan terhadap gempa dengan frekuensi tinggi. Gaya geser dasar yang lebih kecil tercapai berkat massa struktur yang jauh lebih ringan dibandingkan model konvensional. Meskipun perpindahan lateral puncak cenderung lebih besar—karakteristik umum dari struktur fleksibel—nilai tersebut masih berada dalam batas aman. Selain itu, drift antar lantai yang dihasilkan tetap di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh SNI ($\leq 2\%$).

Dengan mempertimbangkan karakteristik dinamikanya, Model B menunjukkan performa seismik yang lebih unggul untuk bangunan bertingkat rendah, khususnya dalam meredam gempa dengan frekuensi tinggi. Periode alami yang lebih panjang dan massa bangunan yang lebih ringan memberikan kontribusi terhadap pengurangan gaya geser dasar, sementara perpindahan lateral dan drift antar lantai masih berada dalam batas aman yang ditetapkan oleh SNI. Oleh karena itu, pemanfaatan material ringan dan fleksibel seperti pada Model B direkomendasikan untuk diterapkan pada gedung sekolah berlantai dua di daerah rawan gempa, guna meningkatkan ketahanan struktur tanpa mengorbankan kenyamanan dan keselamatan pengguna bangunan.

Berdasarkan temuan ini, disarankan agar penerapan material ringan dan fleksibel dipertimbangkan sebagai strategi desain struktural pada gedung sekolah berlantai dua di wilayah rawan gempa. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan ketahanan terhadap beban seismik, tetapi juga berpotensi mengurangi biaya konstruksi dan mempercepat proses pembangunan tanpa mengorbankan aspek keselamatan.

DAFTAR PUSTAKA

Astri Salistia. 2020. Evaluasi dan Peningkatan Kapasitas Struktur Bangunan Gedung Pendidikan pada Salah Satu Institusi Pendidikan di Bandung Akibat Sesar Lembang. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*.

<https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/12817>.

Fernando Fraternali. 2019. Mechanical Modeling of Superelastic Tensegrity Braces for Earthquake-Proof Structures. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1910.07080>.

Julian Carrillo. 2015. Effect of Lightweight and Low-Strength Concrete on Seismic Performance of Thin Lightly-Reinforced Shear Walls. *Engineering Structures*. <https://www.researchgate.net/publication/274034541> DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.03.022.

Michael S. Mamlouk. 2020. *Materials for Civil and Construction Engineers*. United Kingdom: Pearson.

Michael R. Lindeburg & Kurt M. McMullin. 2014. *Seismic Design of Building Structures: A Professional's Introduction to Earthquake Forces and Design Details (11th Edition)*. Belmont: Professional Publications, Inc.

P.K. Mallick. 2007. *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design (3rd Edition)*. Florida: CRC Press.

Yasser A.S. Gamal. 2022. Evaluation of the Seismic Performance of Lightweight Concrete Multistory Buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://www.researchgate.net/publication/365817664> DOI: 10.1088/1757-899X/1269/1/012004.