

DESAIN *LEAD RUBBER BEARING* PADA PERENCANAAN GEDUNG RUMAH SAKIT “X” DI KOTA PADANG DENGAN *LAYOUT* MEMANJANG

Fara Dilla Shandy¹, Fajri Yusmar², Nevy Sandra³

^{1,2,3}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: farads2701@gmail.com

Abstrak: Rumah sakit merupakan bangunan vital yang memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap gangguan luar, hal ini disebabkan oleh kerentanan struktur bangunan rumah sakit terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh gangguan-gangguan luar seperti bencana alam terutama gempa bumi. Kota Padang yang merupakan salah satu wilayah yang berada di sekitaran zona patahan lempeng/Sesar Sumatera menjadikannya sebagai wilayah yang memiliki resiko kegempaan yang tinggi. Disamping itu bangunan objek penelitian terdampak ketidakberaturan (*irregularity*) karena keterbatasan lahan sehingga *layout* berbentuk memanjang yang rentan terhadap torsi, selain itu bangunan dengan konfigurasi persegi panjang memiliki kekakuan dan inersia yang berbeda-beda di setiap sumbu, yang dapat menyebabkan respons struktural yang berbeda terhadap beban lateral seperti angin dan gempa, selain itu geometri struktur mempengaruhi besarnya kekakuan serta inersia bangunan sehingga beban gempa yang diterimapun juga berbeda. Penelitian dilakukan dengan tujuan merencanakan desain isolator tipe Lead Rubber Bearing (LRB) terhadap Perencanaan Gedung Rumah Sakit “x” di Kota Padang dengan *layout* memanjang. Sehingga diperoleh jenis atau karakteristik komponen LRB yang sesuai dengan kebutuhan struktur. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh desain LRB yaitu dengan diameter isolator 600 mm, diameter *lead plug* 80 mm, tinggi isolator 400 mm mampu memberikan sumbangan kekakuan efektif arah vertikal sebesar 1670 kN/mm, kekakuan efektif arah-x dan arah-y sebesar 0,66 kN/mm dan redaman efektif sebesar 11,14 pada arah-x dan 11,15% pada arah-y.

Kata Kunci : Rumah sakit, struktur terjepit, struktur terisolasi, isolasi dasar, Desain *Lead Rubber Bearing*

Abstract : A hospital is a vital building with high sensitivity to external disturbances due to its structural vulnerability to damage caused by external factors such as natural disasters, especially earthquakes. Padang, a city located near the Sumatra Fault Zone, is an area with a high seismic risk. Additionally, the building under study is affected by irregularity due to land constraints, resulting in an elongated layout that is susceptible to torque. Furthermore, buildings with a rectangular configuration have different stiffness and inertia along each axis, which can lead to varying structural responses to lateral loads such as wind and earthquakes. The geometry of the structure also influences the magnitude of stiffness and inertia, causing variations in the earthquake loads experienced. This research aims to design a Lead Rubber Bearing (LRB) isolator for the planning of the "x" hospital building in Padang with an elongated layout. The goal is to determine the type or characteristics of LRB components that meet the structural requirements. Based on the analysis, the LRB design includes an isolator diameter of 600 mm, a lead plug diameter of 80 mm, and an isolator height of 400 mm, which provides an effective vertical stiffness of 1670 kN/mm, effective stiffness in the x and y directions of 0.66 kN/mm, and effective damping of 11.14% in the x direction and 11.15% in the y direction.

Keyword : Hospital, fixed base structure, isolated structure, base isolation, Lead Rubber Bearing Design

PENDAHULUAN

Rumah sakit adalah penyedia layanan kesehatan yang diharuskan memenuhi persyaratan teknis

berupa Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2016 yang meliputi aspek tata bangunan dan keandalan bangunan.

Sementara itu induk organisasi dunia atau World Health Organization (WHO) memiliki pedoman untuk meninjau aspek keselamatan rumah sakit (Heidaranlu et al., 2017).

Rumah sakit sebagai bangunan vital memiliki masalah keselamatan terutama kerentanan atau tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap gangguan luar dan bencana seperti gempa bumi. Salah satu isu utama yang perlu dipertimbangkan khusus dalam evaluasi pengendalian fasilitas kesehatan adalah selain untuk mencegah keruntuhan, namun juga untuk menjamin penyelamatan nyawa terhadap penghuni dan harta benda yang ada di rumah sakit, serta layanan kesehatan dan perawatan medis dapat berjalan selama dan segera setelah bencana gempa bumi terjadi dikarenakan rumah sakit memiliki peran penting untuk dapat memberikan perawatan intensif kepada para korban secara aman, cepat, tepat dan berkualitas. Selain itu level kinerja bangunan rumah sakit harus memenuhi syarat kriteria penerimaan yang disyaratkan FEMA 356.

Secara koordinat Sumatera Barat khususnya Kota Padang merupakan salah satu wilayah yang berada di sekitaran zona patahan Sesar Sumatera yang memiliki ancaman terhadap gempa yang bersifat destruktif dan dapat menjadi pemicu terjadinya bencana lain.

Selain permasalahan yang ada objek penelitian terkait terpapar oleh ketidakberaturan akibat keterbatasan lahan yang menghasilkan perencanaan dengan *layout* berbentuk persegi panjang. Struktur dengan geometri yang tidak simetris memiliki kekakuan yang berbeda di setiap sumbu nya yang dapat menyebabkan respons struktur menjadi berbeda terhadap gaya lateral berupa beban angin dan gempa. Hal ini dikarenakan geometri struktur mempengaruhi besarnya kekakuan serta inersia bangunan sehingga beban gempa yang diterimapun juga berbeda. Bangunan dengan konfigurasi persegi panjang cenderung mengalami puntir (Nurlina et al., 2016).

Metode yang umum digunakan untuk mengatasi dan menjadikan struktur bangunan stabil terhadap gaya gempa adalah dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) yang memiliki kapasitas untuk menahan beban gempa melalui kuat lentur dari komponen struktural. Namun metode tersebut cenderung mengalami keterbatasan dalam meningkatkan kinerja struktur terutama untuk mencegah kerusakan parah pada elemen struktural dan non-struktural. Solusi yang umum digunakan

sebagai pendukung SRPM adalah perkuatan dengan menggunakan rangka pemikul momen (momen (*moment resisting frame*), rangka kaku (*rigid frame*), rangka bresing (*braced frame*) dan dinding geser (*shear wall*). Namun jenis perkuatan tersebut tidak selalu menjadi alternatif yang solutif mengingat penambahan jenis perkuatan tersebut akan berpengaruh terhadap peningkatan massa struktur dan mempengaruhi perioda alami struktur yakni berupa implikasi perioda struktur yang meningkat sehingga mempengaruhi akselerasi yang berdampak pada semakin besarnya beban gempa yang mempengaruhi struktur.

Berdasarkan kombinasi dari permasalahan yang ada menjadi pertimbangan khusus untuk dapat merencanakan struktur dan jenis perkuatan yang sesuai dan tepat guna. Perkuatan yang dapat diterapkan sebagai pelengkap SRPM yaitu metode isolasi dasar (*base isolation*) yang dapat mengurangi dan mendisipasi sebagian gaya gempa yang mempengaruhi struktur melalui mekanisme pemisahan atau pengisolasian antara struktur atas dengan struktur bawah (pondasi) yang mengalami gesekan langsung dengan tanah sehingga ketika bangunan dipengaruhi oleh gaya lateral yang cukup besar, *base isolation* yang menjadi pemisah akan menerima dan meredam sebagian gaya sehingga gaya gempa tidak seluruhnya tersalurkan ke struktur atas.

Base isolation diterapkan guna melindungi struktur dan komponen non-struktural dari resiko kerusakan dan kegagalan. Analisis dilakukan terhadap struktur dengan perletakan terjepit (*fixed base*) dengan memperoleh berat seismik struktur dan respons struktur, untuk selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan desain *base isolation*

Penelitian dilakukan terhadap suatu rumah sakit di Kota Padang yang saat ini berada dalam tahap perencanaan dengan tujuan untuk memperoleh desain komponen base isolation tipe Lead Rubber Bearing sehingga diperoleh LRB dengan spesifikasi dan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan struktur Perencanaan Gedung Rumah Sakit “x” di Kota Padang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan bentuk studi literatur terkait perencanaan desain teknologi berupa disipator energi pada arah lateral berupa angin maupun *demand* gempa. Penelitian dilakukan terhadap perencanaan suatu rumah sakit di Kota Padang. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur, pengumpulan data terkait lokasi serta mempedomani acuan dan aturan-aturan yang

berkaitan dengan perencanaan seperti perencanaan spesifikasi data material, *preliminary design* elemen struktur, analisis pembebanan, kombinasi pembebanan dan analisis respons spektrum berdasarkan lokasi objek penelitian. Selanjutnya dilakukan tahapan pemodelan struktur, penginputan dengan memanfaatkan bantuan *software* SAP2000 v22.

Pemodelan yang dilakukan adalah berupa pemodelan pada bangunan terjepit (*fixed base*). Setelah dilakukan analisis selanjutnya hasil yang diperoleh berupa beban seismik dan massa struktur serta perioda digunakan untuk perencanaan desain LRB melalui tahapan iterasi dengan analisis *Equivalent Lateral Force* (ELF) sehingga diperoleh *displacement* asumsi dan jenis LRB yang digunakan menghasilkan *displacement* akhir yang *iterative*.

Tahapan analisis data dari penelitian ini terdiri dari 2 tahap, yaitu tahap analisis, dan desain

1. Analisis

Analisis dilakukan terhadap struktur *fixed base* dan analisis akhir dilakukan terhadap struktur *base isolation*

a. Analisis struktur

Analisis struktur dilakukan terhadap bangunan *fixed base* untuk memperoleh perioda natural struktur, gaya-gaya dalam struktur berupa gaya aksial yang digunakan untuk merencanakan dimensi LRB yang akan digunakan

b. Analisis Akhir

Analisis akhir dilakukan terhadap struktur bangunan yang telah memodelkan LRB sesuai dengan dimensi yang telah dihitung melalui perhitungan yang iteratif.

2. Desain

Tahapan desain dilakukan dengan menggunakan hasil perolehan analisis struktur berupa gaya-gaya dalam, gaya geser dasar, simpangan antar lantai (*drift ratio*) untuk dilakukan perbandingan terhadap penerapan LRB pada struktur bangunan Rumah Sakit "X". Sehingga diperoleh spesifikasi tipe LRB yang ekonomis namun memiliki kekuatan sesuai dengan standar dan kebutuhan struktur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan yang dilakukan agar diperoleh hasil analisis yaitu perencanaan awal dan pemodelan

struktur terjepit (*fixed base*) dan struktur terisolasi (*base isolation*).

Data Penelitian

1. Data umum bangunan

Nama bangunan : Rumah Sakit "x" di Kota Padang
 Lokasi : Padang Utara, Kota Padang

Elevasi bangunan struktur

Tabel 1 Elevasi dan Luas Lantai Struktur

Lantai	Elevasi (m)	Luas bersih (m ²)
Lt. Dasar (<i>base floor</i>)	±0,00	1209
Lt. 1	+4,00	635
Lt. Mezzanine	+7,00	308
Lt. 2	+10,50	1135
Lt. 3	+14,50	765
Lantai Dak Atap	+18,50	494
Top Dak Atap	+21.20	188,44

2. Properties Material

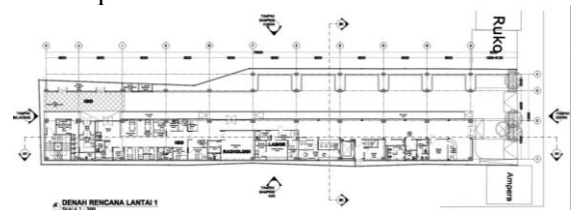
a. Beton

Berat jenis : 2400 kg/m³
 Mutu beton, *f_c'* : 28,5 Mpa
 Modulus elastisitas, *E_c* : 4700 √*f_c'*
Poisson ratio : 0,2

b. Baja tulangan

Berat jenis : 7850 kg/m³
 Modulus elastisitas, *E_c* : 200000 MPa
Poisson ratio : 0,3
 Tulangan utama, Ø > 12 : BJTS 420B
 Ø < 12 : BJTS 280

3. Denah perencanaan struktur



Gambar 1 Denah Perencanaan Struktur Bangunan Rumah Sakit "x"

Dimensi Elemen Struktur

Detail penampang elemen struktur diperoleh melalui perhitungan desain perencanaan awal (*preliminary design*). Berikut hasil perolehan rencana awal elemen struktural berupa dimensi dan tulangan rencana

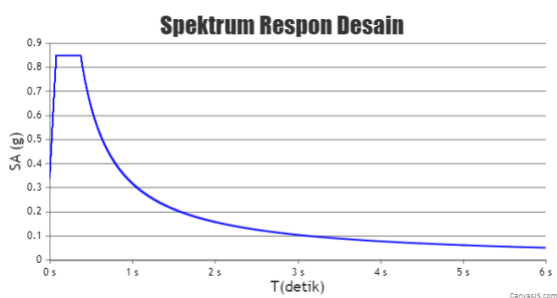
Tabel 2 Dimensi Elemen Struktur

Jenis elemen struktur	Dimensi penampang (mm)	Tulangan utama	Tulangan geser
Kolom lt. dasar (K01)	650 x 800	32D25	D16-150
Kolom lt. dasar (K02)	750	27D25	D16-120

Jenis elemen struktur	Dimensi penampang (mm)	Tulangan utama	Tulangan geser
Kolom 1 (K1)	600 x 650	28D25	D16-150
Kolom 2 (K2)	400 x 500	13D25	D16-150
Kolom 3 (K3)	500	24D25	D16-150
Kolom 4 (K4)	300 x 300	6D25	D16-150
Balok 1 (B1)	400 x 600	-	-
Plat lantai 150	-	150	-
Plat lantai 120	-	120	-

Parameter Analisis Respon Spektrum

Beban gempa dimodelkan dengan analisis respon spektrum. Pada analisis respon spektrum, nilai percepatan tanah akibat gempa didapatkan dari lokasi bangunan dengan menginput data koordinat dan kalsifikasi tanah lokasi bangunan pada website Respon Spektra Indonesia (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021) atau pada aplikasi RSA2019.



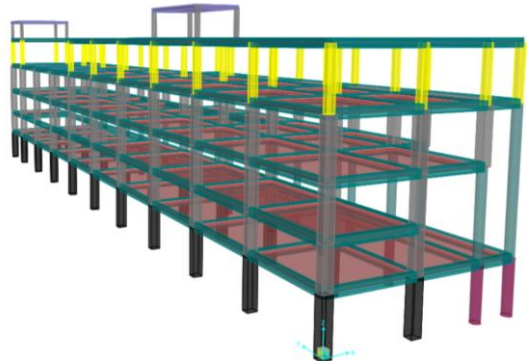
Gambar 2 Grafik Respon Spektrum Lokasi Perencanaan Gedung Rumah Sakit "X" Di Kota Padang

Parameter-parameter yang didapatkan, yaitu sebagai berikut :

PGA	: 0.580111 g
PGAm	: 0.638122 g
CRs	: 0.000000
CR1	: 0.000000
Ss	: 1.446586 g
S1	: 0.600000 g
TL	: 20 detik
Fa	: 1
Fv	: 1.7
S _{MS}	: 1.446586 g
S _{M1}	: 1.02 g
S _{DS}	: 0.964390 g
S _{D1}	: 0.68 g
T ₀	: 0.141022 detik
T _s	: 0.705109 detik

Pemodelan Struktur Terjepit (*fixed base*)

Untuk analisis struktur Perencanaan Pembangunan Gedung Rumah Sakit "x" di Kota Padang, digunakan program analisis struktur SAP2000 V.22. Tahap awal analisis struktur yang dilakukan adalah penginputan material dan karakteristik elemen struktur yang digunakan, selanjutnya dilakukan permodelan struktur bangunannya. Untuk kolom dan balok dimodelkan sebagai *frame*, dan pelat dimodelkan sebagai slab. Gambar permodelan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3 Pemodelan 3D Struktur Terjepit (*fixed base*) menggunakan SAP2000 v22

Pembebanan Struktur

Beban-belan yang diperhitungkan bekerja pada struktur yaitu :

Beban mati/berat sendiri struktur

Beban mati tambahan

Beban pada lantai

1. Non atap

Beban mati tambahan : 146 kg/m²

Dinding bata 15 cm : 250 kg/m²

Beban hidup (rumah sakit)

Ruang operasi : 2,87 kN/m²

Ruang pasien : 1,92 kN/m²

Beban hidup di atas

lantai pertama

2. Atap dak

Beban mati tambahan : 158 kg/m²

Dinding parapet : 0,72 kN/m²

Beban hidup atap : 150 kg/m²

Analisis Struktur Terjepit (*fixed base*)

Analisis struktur dilakukan terhadap bangunan *fixed base* untuk memperoleh parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan desain LRB, berupa berat efektif struktur, percepatan percepatan respons spectral lokasi penelitian.

Desain Lead Rubber Bearing

Tahapan desain yang dilakukan pada studi ini mengacu pada SNI 1726-2019 Pasal 12 dan ASCE

41-17 tentang *Seismic Evaluation & Retrofit of Existing Buildings*

Analisis yang digunakan dalam merancang LRB yang akan digunakan adalah prosedur *Equivalent Lateral Force* (ELF) adapun tahapan-tahapan dalam mendesain Struktur LRB yaitu :

1. Menentukan kekakuan efektif, (K_{eff})

$$K_{eff} = K_{d\ total} + \frac{Q_{d\ total}}{D_M} \quad (1)$$

Dengan :

- K_{eff} = Kekakuan efektif (*effective stiffness*)
- K_d = Kekakuan pasca leleh (*post yield stiffness*)
- Q_d = Sifat kekuatan (*characteristic strength*)
- D_M = Desain perpindahan (design displacement)

2. Menentukan perioda efektif, (T_M)

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{K_{eff} * g}} \quad (2)$$

Dengan :

- T_M : *effective period (second)*
- W_{eff} : berat efektif struktur (kN)
- g : percepatan gravitasi (9806 mm/s²)
- K_{eff} : Kekakuan efektif (kN/mm)

3. Menentukan redaman efektif, (β)

$$\beta = \frac{2(Q_{d,j}(d_{iso,j} - d_{y,j})}{2\pi K_{eff} D_M^2} \times 100 \quad (3)$$

Dengan :

- β : *equivalent viscous damping ratio (%)*
- d_{iso} : *Displacement isolator (mm)*
- $d_y = \frac{Q_{d,j}}{K_u - K_d} \quad (4)$

Dengan :

- K_u : *Initial stiffness (kN/mm)*

4. Menentukan faktor redaman (β_M)

B_M adalah faktor redaman yang mampu disumbangkan oleh LRB, yang dapat ditentukan berdasarkan nilai redaman efektif nya. Nilai koefisien/faktor redaman dapat dilihat pada SNI 1726-2019

Tabel 3 Koefisien redaman

Redaman efektif, β_M (persentase dari redaman kritis)	Faktor β_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

Sumber : SNI 1726-2019

5. Menentukan perpindahan desain (D_M)

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (5)$$

Dengan :

- S_{M1} : Parameter respons spektra percepatan pada periode 1 detik

Prosedur iterasi Perpindahan Maksimum dengan Respon Spektra

Setelah dilakukan pemilihan spesifikasi LRB yang akan digunakan, selanjutnya dilakukan proses perancangan melalui prosedur iterasi perpindahan maksimum (D_M). Iterasi dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai kekakuan efektif dan redaman yang mampu disumbangkan isolator. Pada kondisi awal, perpindahan maksimum (D_M) diasumsikan hingga bernilai sama dengan perpindahan maksimum hasil perhitungan dengan metode *Equivalent Lateral Force* (ELF). Dari hasil iterasi pertama tersebut diperoleh nilai kekakuan efektif, dan redaman efektif yang merupakan input data awal pada model struktur terisolasi.

Berikut properties LRB hasil perhitungan iterasi awal :

Tabel 4 Propertis Mekanis LRB pada Iterasi Pertama

Characteristic	Nilai
Outer diameter	600 mm
Lead plug diameter	80 mm
Total height	400 mm
Total weight	0,67 ton
Compression stiffness	1670 kN/mm
Initial stiffness	7,14 kN/mm
Post-yield stiffness	0,549 kN/mm
Characteristic strength	40 kN
Effective stiffness x-direction dan y-direction	0,59 kN/mm
Effective damping x-direction	5,211 %
Effective damping y-direction	5,213 %

Setelah dilakukan penginputan properties LRB hasil perhitungan iterasi pertama tersebut pada struktur diperoleh hasil analisis berupa *displacement* yang memiliki galat lebih besar dari 3% terhadap displacement hasil analisis ELF sehingga diperlukan iterasi selanjutnya, dengan *displacement* hasil output tersebut sebagai input perpindahan (*displacement*) awal.

Berdasarkan tahapan iterasi yang telah dilakukan hingga konvergen, diperoleh desain LRB dengan propertis sebagai berikut :

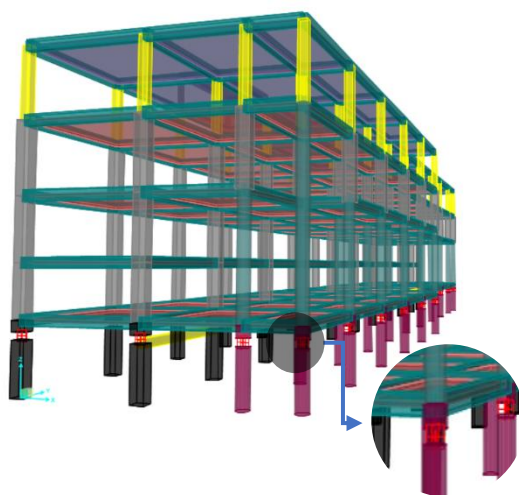
Tabel 5 Propertis Mekanis LRB pada Iterasi Akhir

Characteristic	Nilai
Outer diameter	600 mm
Lead plug diameter	80 mm
Total height	400 mm
Total weight	0,67 ton
Compression stiffness	1670 kN/mm

Characteristic	Nilai
Initial stiffness	7,14 kN/mm
Post-yield stiffness	0,549 kN/mm
Characteristic strength	40 kN
Effective stiffness x-direction dan y-direction	0,66 kN/mm
Effective damping x-direction	11,14 %
Effective damping y-direction	11,15 %

Pemodelan Struktur Terisolasi (*base isolation*)

Isolator tipe LRB pada struktur terisolasi dimodelkan sebagai *general link element* dengan tipe *rubber isolator*



Gambar 4 Pemodelan 3D Struktur Terisolasi (*base isolation*)

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap struktur terjepit (*fixed base*) diperoleh desain LRB sesuai dengan kebutuhan struktur Bangunan Rumah Sakit “x” di kota Padang dengan karakteristik yang diperoleh yaitu memiliki diameter isolator 600 mm, diameter *lead plug* 80 mm, dengan tinggi isolator 400 mm mampu memberikan sumbangan kekakuan efektif arah vertikal sebesar 1670 kN/mm, kekakuan efektif arah-x dan arah-y sebesar 0,66 kN/mm dan redaman efektif sebesar 11,14 pada arah-x dan 11,15% pada arah-y.

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute. (2013). ACI 374–2R-13: *Guide for Testing Reinforced Concrete Structural Elements Under Slowly Applied Simulated Seismic Loads*. ACI Committee

American Society of Civil Engineers - ASCE 7-16. (2017). *Minimum Design Loads And Associated Criteria A For Buildings And*

Other Structures. American Society of Civil Engineers.

American Society of Civil Engineers - ASCE 41–17. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*. American Society of Civil Engineers

Badan Standarisasi Nasional (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019)*. Jakarta: BSN

Badan Standarisasi Nasional (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019)*. Jakarta: BSN

Building Seismic Safety Council. 1997. *Komentar NEHRP Tentang Pedoman Rehabilitasi Seismik Gedung (FEMA P-356)*. Badan Manajemen Darurat Federal. Washington DC

Heidaranlu, E., Khankeh, H., Ebadi, A., & Ardalan, A. (2017). *Evaluasi Kerentanan Non-Struktural Rumah Sakit yang Terlibat dalam Gempa Bumi Azerbaijan Timur 2012*. 22(2), 1–6.

<https://doi.org/10.5812/traumamon.28590>. Ar tikel

Imran, Iswandi., Dionysius M. Siringoringo, dan Salma S. Rainaya. *Seismic Evaluation and retrofit of a typical reinforced hospital building in Indonesia with DCFP Isolation System*. Structures, Vol. 64. Elsevier,;2024 May. p. 1065-93

Nurlina, S., Setyowulan, D., Nuralinah, D., Badiuzzamani, A., Timur, J., & Timur, J. (2016). 360-881-1-Pb. 10(167), 222–229.

Yusmar, F., Prita Melinda, A., & Sandra, N. (2021). Studi Komparasi Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen Menggunakan Software Sap 2000 Dengan Sni 1726 2019. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 114–123. <https://doi.org/10.24815/jts.v10i2.22767>