



IDENTIFIKASI LIMBAH BAN BEKAS MODIFIKASI PADA *BASE ISOLATION* SEBAGAI PROTEKSI GEMPA PADA BANGUNAN BERTINGKAT SEDERHANA

Yulita Rahmi*, Yuri Inseun Salena

Jurusan Teknik Sipil Universitas Teuku Umar, Meulaboh

*Corresponding author, email address: yulita.civil@utu.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17 December 2023

Accepted 13 March 2024

Online 30 March 2024

Keywords:

Base Isolation

Used Tire Waste

Steel plate

ABSTRACT

Base Isolation is a technology for protecting structures and has proven its efficiency as earthquake protection in the last few decades. This system aims to isolate the structure from the supporting soil, generally in a horizontal direction, to reduce the transmission of earthquake movements to the structure. Most existing insulation systems are generally large, heavy, expensive, and not suitable for residential buildings or simple multi-story buildings. This study used modified Isolator from Recycled Waste Tires glued with steel plates to increase lateral loads with different thicknesses, layers, and brands of recycled tires. Thus, this research aims to investigate the potential of using modified recycled waste tires as an earthquake-resistant system in low-rise buildings in earthquake-prone zones in Indonesia. Base Isolation will be prepared using rubber tire sheets bonded with steel plates to increase lateral loads and tested with compressive strength. The results obtained from BS-1, BS-2, and BS-3 are from the compressive strength test results, namely 76 MPa, 81.5 MPa, and 85.5 MPa. The results show that the layer and dimensions, the greater the compressive strength obtained is BS-3. By using this modified recycled tire, base isolation is made from materials that are easily available at an affordable cost and reduces the problem of tire disposal in the environment.

©2024 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi yang terjadi baru-baru ini di Turki pada tahun 2023 menunjukkan lebih dari 160.000 bangunan berisi 520.000 apartemen runtuh atau rusak parah, dan ribuan orang terluka dan meninggal dunia. Selain itu, Indonesia berada diantara 2 lempeng bumi, yang sering terjadi gempa tiap tahunnya. Banyak bangunan yang runtuh tampaknya dibangun tanpa standar sistem seismik yang memadai pada bangunan bertingkat rendah hingga sedang. Karena terjadinya gempa bumi tidak dapat diprediksi waktu dan intensitasnya, maka sistem base isolation ini sangat diperlukan sebagai desain tahan gempa pada konstruksi. Banyak sistem isolasi telah dikembangkan dan tersedia seperti elastomer multilayer yang diperkuat baja dan bantalan geser, meskipun ada juga sistem yang menggabungkan kedua perangkat, seperti isolator elastomer dengan kristalisasi yang diinduksi regangan (Van Engelen, 2019; Sheikh dkk., 2022). Sistem isolasi seismik menggunakan Elastomer mahal untuk digunakan (Munoz dkk., 2019), terutama di negara berkembang, untuk melindungi bangunan yang tidak dikategorikan sebagai bangunan penting, seperti perumahan, atau struktur kecil lainnya, hampir tidak mungkin untuk menggunakan jenis ini. Oleh sebab itu, base isolation dari limbah ban bekas yang dimodifikasi ini sangat perlu untuk

dilakukan, untuk digunakan sebagai base isolation yang ekonomis dan berkelanjutan untuk melindungi bangunan dari beban gempa pada bangunan bertingkat rendah.

Sistem isolasi seismik telah terbukti efisiensinya dalam melindungi bangunan terhadap gempa bumi dalam beberapa dekade terakhir (Almusbahi dan Gungor, 2019). Tujuan penggunaan sistem ini adalah untuk menambah periode struktur sehingga getaran dapat diminimalkan dan mengurangi gaya geser dasar yang terjadi pada struktur. Hal ini dimungkinkan dengan memasang isolator dengan kekakuan vertikal dan lentur yang cukup serta fleksibilitas horizontal yang tinggi (Sierra dkk., 2020). Biaya tinggi adalah karena proses pembuatannya yang sangat padat karya, dengan material karet dan beton serta baja (Losanno dkk., 2022). Dalam mengurangi biaya dan berat, isolator dapat dipenuhi baik dengan mengurangi ketebalan pelat baja tulangan atau dengan mengganti pelat baja. Solusi untuk masalah di atas adalah pengembangan sistem *base isolation* yang efektif dalam mengurangi seismik struktur dan terbuat dari bahan yang mudah tersedia dengan biaya yang terjangkau (Kumar dkk., 2019). Studi sebelumnya telah menyelidiki beberapa material *base isolation* yang berbiaya rendah untuk bangunan bertingkat rendah, seperti STRP (*Scrap Tire Rubber Pad*), Isolator Seismik Karet Daur Ulang (RRSI), Isolator Ban Daur Ulang (RTI), dll. Analisis nonlinier dan analisis biaya bangunan dengan *base isolation* STRP telah dilakukan (Raj dkk., 2022). Secara substansial, dihasilkan bahwa terdapat pengurangan biaya yang signifikan dengan penerapan *base isolation* STRP sekitar 12% hingga 25%. Selanjutnya, Wang dan Zhang (2023) mengembangkan STRP (*Scrap Tire Rubber Pad*) untuk konstruksi pedesaan. Jenis ban tersebut meliputi ban salju dan ban segala musim (ST dan AST). Berbagai tekanan permukaan (4, 5 dan 6 MPa) dan amplitudo perpindahan dipertimbangkan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kekakuan vertikal STRP meningkat seiring dengan peningkatan S1, S2 dan tekanan permukaan. Hasilnya menunjukkan bahwa percepatan puncak, simpangan antar lantai dan geser struktur terisolasi STRP berkurang masing-masing sebesar 56,64%, 30,00% dan 26,61% dibandingkan dengan respon bangunan pondasi tetap (Wang dan Zhang, 2023). Selanjutnya, RRSI diamati memiliki deformasi vertikal yang besar selama uji pembebanan pembalikan lateral karena tidak adanya pelat baja dimana kawat baja yang ada di dalam karet tidak mampu menahan beban yang diberikan. Meskipun RRSI gagal pada sekitar 100% deformasi regangannya, spesimen masih berfungsi dalam mengisolasi struktur (Munoz dkk., 2019). Penelitian lainnya ialah pengujian dinamik RTI-4 memperoleh kekakuan dinamis 83 KN/mm lebih tinggi dibandingkan RTI-5 44,2 kN/mm. RTI-4 yang memiliki lapisan bantalan ban lebih sedikit diharapkan akan lebih kaku dibandingkan RTI-5 atau dengan kata lain semakin banyak jumlah lapisan bantalan ban maka kekakuan vertikal sampel akan semakin berkurang (Sow dkk., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan Isolator Ban Bekas Modifikasi yang direkatkan dengan pelat baja untuk menambah kekakuan vertikal dengan ketebalan dan jumlah lapisan yang berbeda. Hasil pengujian eksperimen yang dilakukan pada disajikan untuk menyelidiki kinerja isolator. Oleh sebab itu, *base isolation* ini akan menjadi solusi yang layak untuk digunakan sebagai isolasi dasar yang ekonomis dan berkelanjutan untuk perlindungan gempa pada bangunan bertingkat rendah.

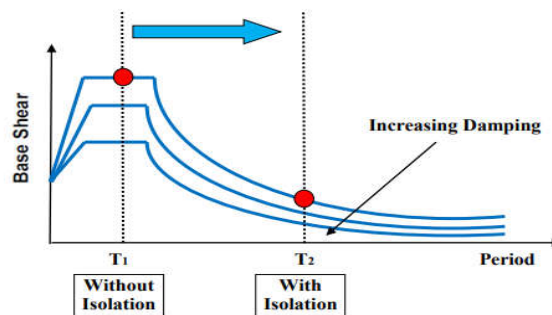
2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Base Isolation*

Base Isolation adalah pendekatan desain inovatif yang bertujuan terutama mengisolasi suatu struktur dari tanah pendukungnya, umumnya dalam arah horizontal, untuk mengurangi transmisi gerakan gempa ke struktur. Sistem isolasi seismik telah membuktikan efisiensinya dalam melindungi bangunan dari gempa bumi dalam beberapa dekade terakhir ini (Almusbahi dan Gungor, 2019) Ciri umum *base isolation* adalah rasio besar antara kekakuan vertikal relatif terhadap kekakuan horizontal. Kekakuan diperoleh dengan menggunakan pelat, yang biasanya menggunakan pelat baja tipis sebagai tulangan. Tulangan baja mencegah penonjolan lateral pada karet namun tetap memungkinkan karet bergerak bebas secara horizontal. Kekakuan vertikal bisa seratus kali lipat kekakuan horizontal. Penggunaan tulangan baja membuat isolator stabil terhadap beban vertikal. Karena bangunan kaku sempurna, maka struktur dan

tanah bergerak dengan jumlah yang sama, maka perpindahan dan periode struktur akan sama dengan nol karena percepatan yang ditimbulkan pada bangunan sama dengan percepatan tanah. Jika bangunan mempunyai fleksibilitas sempurna, maka percepatan yang ditimbulkan oleh struktur adalah nol dan perpindahan relatif antara struktur dan tanah sama dengan perpindahan tanah. Strukturnya tidak akan bergerak tetapi tanahnya yang akan bergerak.

Faktanya, tidak ada struktur yang benar-benar kaku dan fleksibel sempurna. Keadaan sebenarnya dari struktur tersebut berada di antara dua kondisi ekstrim tersebut. Periode struktur antara nol (kaku) dan tak terhingga (fleksibel), percepatan maksimum dan perpindahan relatif terhadap tanah merupakan fungsi dari gempa. Fleksibilitas struktur akan meningkatkan periode dan perpindahan bangunan secara signifikan sehingga mengurangi geser dasar (Gambar 1). Perpindahan relatif umumnya tidak melebihi perpindahan puncak tanah, yaitu perpindahan periode terbatas. Pengecualian dalam hal ini, khususnya pada tanah lunak (seperti terlihat pada Gambar 1) dan lokasi yang dekat dengan sesar yang menimbulkan gempa (Lesmana, 2018).



Gambar 1. Efek dari isolasi seismik (Lesmana, 2018)

2.2 Beban Tekan Aksial

Untuk mengukur perkiraan nilai kekakuan vertikal dan kekakuan lentur, teori elastis linier adalah solusi yang paling umum untuk menyelesaikan masalah ini. Ada dua asumsi yang menggambarkan kasus ini berdasarkan teori kinematik terkait deformasi dan keadaan tegangan, sebagai berikut:

- (i). titik-titik pada garis vertikal sebelum deformasi terletak pada parabola setelah pembebanan.
- (ii). bidang horizontal tetap horizontal.

Kekakuan vertikal penting untuk menentukan total beban vertikal dari bangunan yang dapat ditahan oleh sampel sebelum dan selama kejadian gempa (Sow dkk., 2020). Kekakuan efektif vertikal sampel yang diperlukan berdasarkan persamaan di bawah ini,

$$Kv = \frac{Ec X A}{Tr} \quad (1)$$

Di mana, Kv : kekakuan vertikal, Ec : kuat tekan modulus, A : luas area, dan tr : total tebal dari bantalan ban.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Metode penelitian ini meliputi beberapa tahapan berikut ini:

1. Persiapan benda uji

Studi literatur dilakukan saat awal persiapan benda uji. Selanjutnya Persiapan dan pengadaan bahan benda uji *base isolation*. Sifat karet dan ban daur ulang diklasifikasikan sebagai bahan hiper-elastis.

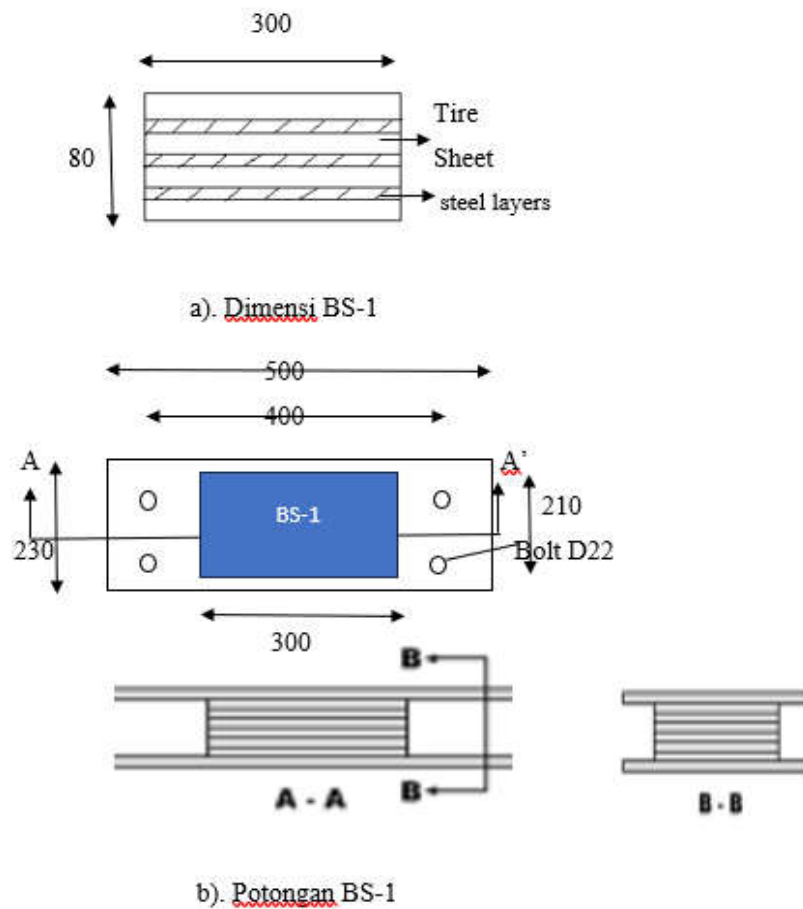
2. Uji Eksperimen *Base Isolation*

Tiga buah benda uji *base isolation* akan diuji kuat tekan dan beban dinamis pada semua permukaannya ditunjukkan pada Tabel 1. Ban bekas dipotong dan dibagi menjadi potongan-potongan kecil bantalan ban dengan dimensi penampang 300 mm × 210 mm dengan ketebalan 10 mm. Masing-

masing benda uji akan dibuat 3 sampel. Geometri base isolation ditunjukkan pada Gambar 2 (a) dan (b). Lembaran ban karet disambung satu sama lain melalui proses kompresi, dengan lapisan karet dan lapisan pelat baja setebal 3 mm. Untuk merakit isolator dengan rangka baja menggunakan lem epoxy. Bagan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

Benda Uji	Dimensi (mm)	Jumlah Lapisan
BS-1	300 mm x 210 mm x 80 mm	4
BS-2	300 mm x 210 mm x 90 mm	5
BS-3	300 mm x 210 mm x 100 mm	6

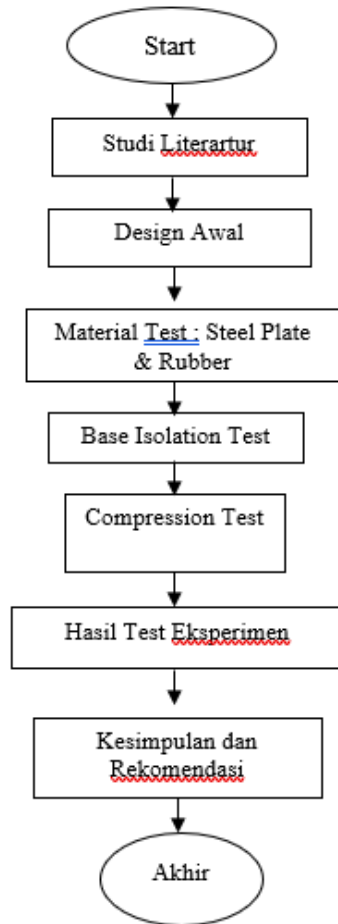


Gambar 2. Gambar Benda Uji (mm)

3.2. Proses Pembuatan Benda Uji

Ban bekas yang dilapisi dengan plat baja merupakan bahan baku yang digunakan untuk membuat BS-1, BS-2, dan BS-3. Untuk mendapatkan bentuk persegi panjang, bagian tapak ban yang dipotong kecil-kecil. Spesimen disiapkan dengan dimensi 300mm x 210mm berbentuk persegi panjang. Ketebalannya masing-masing lapisan bantalan ban kurang lebih 10mm. Adapun tahapan pembuatan benda uji dapat dilihat ada Gambar 4.

- Tapak ban dan dipotong kecil-kecil sesuai ukuran yang dibutuhkan. Hanya tapak ban yang digunakan.
- Potongan bantalan ban kemudian dibersihkan dengan kertas amplas untuk menghilangkan kotoran.
- Permukaan yang rata dan halus perlu dihasilkan sebelum perekat diaplikasikan.
- Bantalan ban dan plat baja kemudian ditumpuk satu sama lain untuk menghasilkan 3 (tiga) benda uji.



Gambar 3. Flowchart Penelitian



Pemotongan Plat Baja



Pemotongan Ban



Penyusunan dan Pengukuran Plat Baja dan Ban Bekas



Pemberian Lubang Pada Ban Bekas dan Plat Baja

Gambar 4. Proses Pembuatan Benda Uji

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Beban Tekan Aksial

Hasil pengujian ini memberikan informasi penting tentang kekuatan, ketahanan, dan perilaku kompresi bahan tersebut, yang sangat penting dalam desain struktur dan material. Ada 3 benda uji yang dilakukan dengan mesin Compression Testing Machine dalam penelitian ini, yaitu BS-1, BS-2, dan BS-3. Kuat tekan axial base isolation dilakukan dengan mesin Compression Testing Machine (CTM) yang diuji sampai mengalami kerusakan pada benda uji. Beban aksial diberikan pada benda uji dengan beban sampai beban ultimit dengan maksimal 100 KN. Hasil pengujian BS-1, BS-2, dan BS-3 dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7. Pengujian dihentikan saat terdengar adanya retakan antara ikatan plat baja dan ban bekas saat dilakukan pengujian.



Gambar 5. Hasil Uji BS-1



Gambar 6. Hasil Uji BS-2



Gambar 7. Hasil Uji BS-3

Benda uji BS-1 dengan 4 lapisan ban bekas dan 3 lapisan plat baja. Setiap plat baja memiliki ketebalan 3 mm. Dimensi benda uji satu sebelum ditekan adalah tebal 80 mm, lebar 210 mm, dan panjang 300 mm. Setelah ditekan dengan Compression Testing Machine, benda uji tersebut mengalami penyusutan tebal dari 80 mm menjadi 70 mm dengan kekuatan tekanan mencapai 76 MPa.

Benda Uji BS-2 dengan 5 lapisan ban bekas dan 3 lapisan plat baja, di mana setiap plat memiliki ketebalan 3 mm. Dimensi benda uji dua sebelum ditekan adalah tebal 90 mm, lebar 210 mm, dan panjang 300 mm. Setelah ditekan menggunakan compression Testing Machine, benda uji tersebut mengalami penyusutan tebal dari 90 mm menjadi 80 mm, dengan kekuatan tekanan mencapai 81,5 MPa.

Benda Uji BS-3 dengan 6 lapisan ban bekas dan 3 lapisan plat baja, setiap plat tebalnya 3 mm. Dimensi benda uji dua sebelum ditekan adalah tebal 100 mm, lebar 210 mm, dan panjang 300 mm. Setelah ditekan menggunakan compression Testing Machine, benda uji tersebut mengalami penyusutan tebal dari 100 mm menjadi 90 mm, dengan kekuatan tekanan mencapai 85,5 MPa. Berikut Tabel 2. Hasil Uji Tekan *base isolation*.

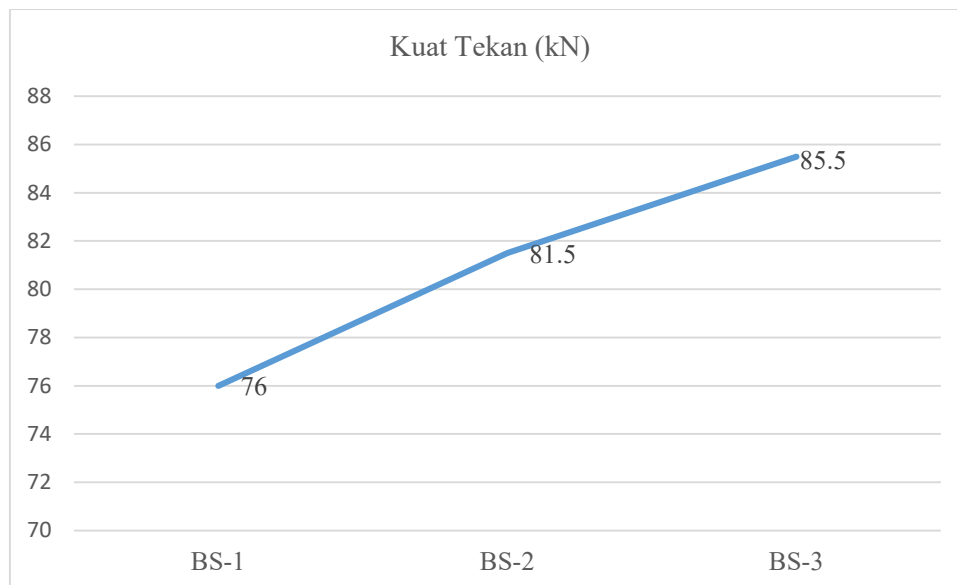
Tabel 2. Hasil Uji Tekan *Base Isolation*

Benda Uji	Dimensi (mm)	Jumlah Lapisan	Strength (MPa)
BS-1	300 x 210 x 80	4	76
BS-2	300 x 210 x 90	5	81,5
BS-3	300 x 210 x 100	6	85,5

Hasil uji kuat tekan axial ketiga sampel base isolation, yaitu BS-1, BS-2, dan BS-3, menunjukkan bahwa masing-masing benda uji memiliki selisih rata-rata sekitar 4,75%. Dari kuat tekan aksial benda uji menunjukkan nilai rata-rata ketiga sampel yaitu 81 MPa.

4.2. Perbandingan Benda Uji *Base Isolation*

Hasil perbandingan ketiga benda uji base isolation menunjukkan bahwa nilai kuat tekan benda uji *base isolation* semakin tinggi saat jumlah lapisan isolator bertambah dan dimensi semakin tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah lapisan dan tinggi dari isolator sangat mempengaruhi kenaikan uji kuat tekan yang dihasilkan. Selain itu, jenis ikatan yang dipilih pada antar lapisan juga sangat mempengaruhi kuat tekan. Memperlihatkan bahwa BS-3 memiliki kuat tekan yang lebih besar daripada BS-1 dan BS-2. Oleh sebab itu, kekuatan dari base isolator ini nantinya dapat digunakan untuk disesuaikan dengan kebutuhan besar-kecilnya ukuran beban yang dimiliki oleh rumah bertingkat. Hasil perbandingan ketiga benda uji base isolation diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hasil Perbandingan Kuat Tekan *Base Isolation*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil yang diperoleh dari BS-1, BS-2, dan BS-3 ini dari hasil uji kuat tekan yaitu 76 MPa, 81.5 MPa, dan 85.5 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan tebal lapisan ban secara efektif meningkatkan kekuatan tekan base isolation rata-rata sebesar 5.68% pada setiap benda uji. BS-3 menghasilkan kuat tekan yang paling besar yaitu 85.5 MPa. Oleh sebab itu, dengan penggunaan *base isolation* dari limbah ban bekas ini dapat mengurangi limbah ban bekas terhadap lingkungan dengan biaya material yang lebih murah dan dapat dengan mudah di temui.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada BIMA Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, dan Ristek Dikti yang telah mendanai penulis melalui Penelitian Dosen Pemula (PDP) pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Almusbahi, S., Gungor, A. 2019. A composite Building isolation System for Earthquake Protection. *Engineering Science and Technology*. 22, 399-404.
- Kumar, M., Madhekar, S.N., Vairagade, H., 2019. Low-cost base isolators from scrap tire rubber pads. In *All India Institution of Engineers Seminar on Waste to Wealth, Raipur*.
- Lesmana, P. 2018. *Development Of Low-Cost Base Isolation System for Residential Housing In High Seismic Zones*. Dissertation. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Losanno, D., Calabrese, A., Madera-Sierra, I.E., Spizzuoco, M., Marulanda, J., Thomson, P. Serino, G. 2022. Recycled versus natural-rubber fiber-reinforced bearings for base isolation: review of the experimental findings. *Journal of Earthquake Engineering*. 26(4), 1921-1940.
- Munoz, A., Miguel. A. D., Roy Reyna. 2019. Applicability Study of a Low-Cost Seismic Isolator Prototype Using Recycled Rubber. *Journal TECNIA*. 29, 65-73
- Raj, J.C.J., Kumar, M.V. 2022. Performance evaluation of eco-friendly scrap tyre base isolation technology in distinct construction quality RC framed buildings located in seismic risk zone. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 53, 102511.
- Sheikh, H., Engelen R. C. V., Ruparathna, R. 2022. A Review of Base isolation System with Adaptive Characteristics. *Structures*. 38, 1542-1555.
- Sierra, I. E. M., Johannio, M. C., Peter T. 2020. Matrix and reinforcement materials for low-cost building isolators: an overview of results from experimental tests and numerical simulations. *Journal of applied research and technology*. 17, 44-56
- Sow, W. J., Siow, Y. T., Anuar, K., Osman, S. A. 2016. Effect of recycle tire isolator as earthquake resistance system for low rise buildings in Malaysia. *Journal of Engineering Science and Technology*. 11(8), 1207-1220.
- Van Engelen, N. C. 2019. Fiber-reinforced Elastomeric Isolators: A Review. *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*. 125.
- Wang, M., Zhang, G. 2023. A low-cost isolator of scrap tire pads in rural construction: Evaluation of the mechanical properties and numerical assessment of the response control effects. *Journal of Building Engineering*. 67, 105996.