

EVALUASI KINERJA RUMAH MODULAR RUSPIN TIPE 27 DENGAN *RUBBER BASE ISOLATION*

Yosafat Aji Pranata^{1,*}, Johnny Rakhman²

¹ Program Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha

² Inspektorat Jenderal, Kementerian Perumahan dan Kawasan Permukiman

*yosafat.ap@maranatha.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mempelajari evaluasi kinerja rumah modular RUSPIN tipe 27 dengan dan tanpa *rubber base isolation* dengan menggunakan metode analisis statik *pushover*. Penelitian ini menggunakan metode analisis numerikal metode elemen hingga untuk membuat pemodelan dan analisis bangunan rumah RUSPIN tipe 27 secara tiga dimensi untuk mendapatkan luaran yaitu kurva kapasitas bangunan gedung dan kurva spektrum kapasitas. Ruang lingkup penelitian yaitu analisis struktur untuk mendapatkan informasi kurva kapasitas dan spektrum kapasitas menggunakan metode analisis statik *pushover*, bangunan terletak di Bali dengan nilai SDs sebesar 0,58g dan SD1 sebesar 0,21g, perilaku dan evaluasi kinerja yang dipelajari adalah kekakuan (deformasi) struktur akibat beban gempa. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa RUSPIN tipe 27 dengan *rubber base isolation* (RBI) menghasilkan perilaku kekakuan yang lebih rendah dibandingkan tanpa RBI, serta gaya dalam yang terjadi pada balok dan kolom lebih rendah juga. RBI berfungsi mereduksi gaya lateral (gempa) yang masuk ke bangunan. Bangunan mempunyai tingkat kinerja Immediate Occupancy (ATC-40). Hal ini mengindikasikan bahwa bangunan dapat difungsikan kembali pasca bencana tanpa terjadi kerusakan struktural.

Kata Kunci : RUSPIN tipe 27, kurva kapasitas, spektrum kapasitas, evaluasi kinerja, RBI.

ABSTRACT

This study aims to study the performance evaluation of RUSPIN type 27 modular houses with and without rubber base isolation using the static pushover analysis method. This study uses the finite element method of numerical analysis to create a three-dimensional modeling and analysis of RUSPIN type 27 houses to obtain outputs, namely the building capacity curve and capacity spectrum curve. The scope of the study is structural analysis to obtain information on capacity curves and capacity spectrum using the static pushover analysis method. The building is located in Bali with SD values of 0.58g and SD1 of 0.21g. The behavior and performance evaluations studied are the stiffness (deformation) of the structure due to earthquake loads. The results indicate that RUSPIN type 27 with rubber base isolation (RBI) produces lower stiffness behavior than without RBI, and the internal forces that occur in the beams and columns are also lower. RBI functions to reduce lateral forces (earthquakes) that enter the building. The building has an Immediate Occupancy (ATC-40) performance level. This indicates that the building can be re-used after a disaster without structural damage.

Keywords : RUSPIN type 27, capacity curve, spectrum capacity, performance evaluation, RBI.

1. PENDAHULUAN

Isolasi untuk meredam gelombang gempa yang merambat melalui permukaan tanah dan mengenai bangunan dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi gaya gempa yang masuk ke bangunan, dengan cara menempatkan isolator pada dasar bangunan. Kajian pemasangan *rubber base isolation* pada bangunan rumah tinggal dilakukan untuk mengetahui tingkat reduksi gaya gempa yang dapat dilakukan oleh isolator secara optimal (Domadzra et al., 2024).

Penempatan isolator di dasar bangunan gedung dapat secara signifikan memperpanjang periode alami bangunan, yang akan memberikan dampak yaitu pengurangan efek resonansi dan meningkatkan kinerja seismik (Ali et al., 2024). Kebutuhan terhadap sistem isolasi dan redaman yang lebih kuat juga dipengaruhi dari kapasitas dan ukuran dimensi isolator (Kumar & Jaiswal, 2022).

Penggunaan isolator seismik adalah metode desain yang melibatkan penyisipan elemen fleksibel di dasar struktur untuk memisahkan pergerakannya dari pergerakan tanah guna mengurangi kerentanan terhadap gempa bumi. Hal ini juga memungkinkan untuk mengurangi kebutuhan gaya dan deformasi pada berbagai elemen struktural (Rafik & Abdelhak, 2023).

Penelitian eksperimental untuk investigasi perilaku kapasitas kekuatan dan kekakuan isolator telah dilakukan sebelumnya (Katsamakos et al., 2022), yaitu studi eksperimental tentang isolator seismik berbiaya rendah yang dapat digunakan untuk perlindungan rumah-rumah bertingkat rendah.

Upaya menghasilkan isolator berbiaya rendah menjadi titik berat perlunya penelitian dan inovasi untuk menghasilkan prototipe isolator dengan kapasitas kekuatan yang mencukupi untuk bangunan bertingkat rendah dan juga mempunyai kapasitas kekakuan yang memenuhi kriteria kategori daktilitas. Teknologi inovasi *rubber base isolation* (RBI) menggunakan ban bekas dalam penelitian ini dikembangkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum (Rakhman et al., 2017). Hal ini untuk mendukung kebijakan pemerintah terkait perlunya bangunan rumah tinggal tahan gempa (KPUPR, 2015).

Perumusan masalah yaitu efektifitas penggunaan isolator dan persentase reduksi

gaya geser dasar pada bangunan modular berbasis panel beton bertulang pracetak RUSPIN tipe 27.

Novelty penelitian ini yaitu kajian penggunaan isolator *rubber base isolation* (RBI) hasil penelitian sebelumnya (Rakhmann et al., 2017) untuk mengurangi gaya geser dasar pada bangunan gedung bertingkat sehingga memberikan kontribusi dalam perancangan bangunan tahan gempa.

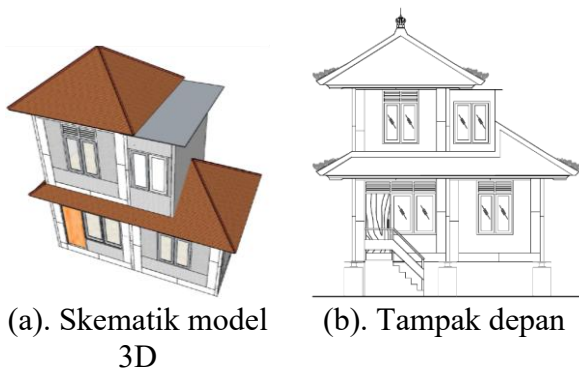
Penelitian ini bertujuan mempelajari evaluasi kinerja rumah modular RUSPIN tipe 27 dengan dan tanpa *rubber base isolation* dengan menggunakan metode analisis statik *pushover*.

Ruang lingkup penelitian yaitu RUSPIN yang ditinjau adalah tipe 27, analisis struktur untuk mendapatkan informasi kurva kapasitas struktur dan spektrum kapasitas dilakukan dengan menggunakan metode analisis statik *pushover*, bangunan terletak di Bali dengan nilai SDs sebesar 0,58 dan SD1 sebesar 0,21, perilaku dan evaluasi kinerja yang dipelajari adalah kekakuan (deformasi) struktur akibat beban lateral (gempa).

2. METODE

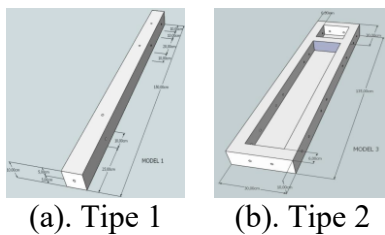
2.1 Rumah modular pracetak yaitu Rumah Unggul Sistem Panel Instan (RUSPIN)

Rumah modular berbasis panel beton bertulang pracetak Rumah Unggul Sistem Panel Instan (RUSPIN) merupakan salah satu produk Kementerian Pekerjaan Umum. RUSPIN merupakan inovasi teknologi konstruksi sistem bangunan rumah tinggal modular dengan beberapa variasi tipe rumah sesuai kebutuhan. Dalam penelitian ini disampaikan rumah tinggal tipe 27 (1,5 lantai) sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1 (BPTPT, 2016). Hal ini sebagai Upaya untuk menghasilkan rumah modular tahan gempa dengan mengacu pada peraturan kegempaan Indonesia SNI 1726:2019 (BSN, 2019) yang efisien dari sisi proses produksi dan perakitan, baik dari jumlah pekerja dan anggaran biaya.



(a). Skematik model 3D (b). Tampak depan

Gambar 1. RUSPIN tipe 27 (BPTPTD, 2019)



(a). Tipe 1 (b). Tipe 2

Gambar 2. Komponen RUSPIN (BPTPTD, 2013)

Komponen panel modular pracetak RUSPIN terdiri dari dua tipe panel. Panel tipe 1 sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.a mempunyai bentuk dan dimensi ukuran penampang yaitu 10 cm x 10 cm x 150 cm, dengan fungsi sebagai kolom. Tipe yang kedua adalah Panel tipe 2 dengan dimensi dan ukuran penampang seperti ditampilkan pada Gambar 2.b yaitu 135 cm x 30 cm x 2 cm, dan terdapat rangka ukuran 6 cm x 10 cm. sistem sambungan antar panel menggunakan baut dan pelat baja, sehingga pada kedua tipe panel tersebut terdapat lubang angkur dengan diameter 16 mm pada di 8 titik, jarak antar antar lubang yaitu 10 cm (BPTPTD, 2013; BPTPTD, 2014; BPTPTD, 2016; BPTPTD, 2019).

Panel modular pracetak RUSPIN dapat dibuat di *workshop* untuk selanjutnya dibawa ke lokasi proyek sesuai kebutuhan, sehingga hal ini dapat menghemat waktu pelaksanaan konstruksi di lokasi proyek. Konsep rumah modular memberikan keuntungan yaitu waktu pelaksanaan konstruksi dan jumlah pekerja konstruksi yang lebih singkat dan efisien (DJCK, 2026).

Penerapan yang telah dilakukan antara lain oleh Pemerintah Kota Semarang sebanyak 90 (sembilan puluh), oleh Pemkot Surakarta di Kampung Semanggi pada tahun 2021, oleh pemerintah Kabupaten Donggala Sulawesi

Tengah pada program Pembangunan rumah pasca bencana, serta pada pembangunan kompleks perumahan Kodim Kefa di Kodam Udayana Kabupaten Kefa, Provinsi Nusa Tenggara Timur (DJCK, 2026).

2.2 Evaluasi Kinerja

Evaluasi kinerja dalam penelitian ini menggunakan metode analisis *pushover*, yaitu suatu metode analisis statik dengan mengaplikasikan beban lateral secara monotonic bertahap sampai dengan bangunan mencapai kapasitas ultimit. Tujuan dari analisis *pushover* adalah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu skema kelelahan (formasi sendi plastis) yang terjadi (Pranata, 2026). Perhitungan titik kinerja struktur dilakukan setelah diperoleh prediksi kurva kapasitas hasil analisis *pushover*. Metode yang digunakan untuk menentukan titik kinerja dalam laporan ini menggunakan metode spektrum kapasitas sesuai ATC40 (ATC40, 1996).

Titik kinerja merupakan titik perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum *demand* (kurva spektrum *demand* menggunakan referensi sesuai wilayah zonasi gempa di Indonesia dimana bangunan tersebut berada), dalam penelitian ini yaitu Desa Angantaka, Bali (BLPW II, 2019). Parameter kurva *demand* dalam hal ini adalah SDs dan SD1 (PusGeN, 2021).

2.3 Rubber Base Isolation

Base isolation merupakan teknologi untuk mendukung bangunan tahan gempa dengan menempatkan instrumen yaitu isolator di atas fondasi dan di bawah struktur atas bangunan gedung. Tujuan penggunaan isolator adalah untuk memperkuat ketahanan bangunan terhadap beban gempa (Antoniou, 2022). Isolator dasar memiliki fungsi yaitu untuk mengisolasi struktur atas dari fondasi dan pergerakan tanah, serta untuk berfungsi sebagai material struktural pendukung bagi struktur atas bangunan (Coulson et al., 2022; Ozer & Inel, 2025). Bangunan penting seperti bangunan yang mempunyai nilai sejarah menjadi pertimbangan utama untuk diperkuat dengan menempatkan isolator pada bangunan eksisting (Usta, 2021).

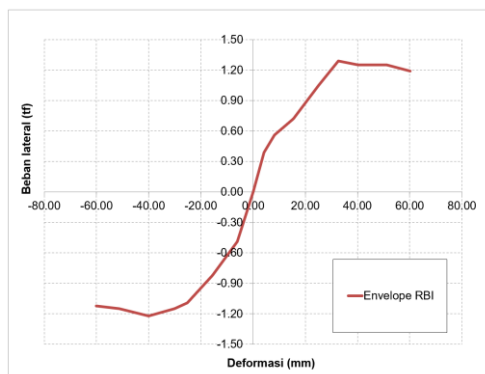
Sistem ini ditujukan untuk mereduksi pergerakan tanah yang mengenai bangunan,

sehingga dapat mereduksi energi gempa dan memungkinkan bangunan bergeser secara horizontal, sehingga dapat mengurangi potensi kerusakan khususnya pada komponen struktural.

Rubber base isolation yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan bahan baku karet ban kenyal *camel shore 70* dengan dipasang per (pegas) baja spiral. Prototipe *rubber base isolation* (RBI) ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Prototipe *rubber base isolation* (Rakhman et al., 2017)



Gambar 4. Kurva hubungan beban dan deformasi (*envelope*) RBI (Rakhman et al., 2017)

Model properti kekakuan diambil dari hasil pengujian eksperimental siklik (Rakhman et al., 2017) yang mana selanjutnya diidealisasikan menjadi model kurva envelope sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4. Data tersebut selanjutnya dipergunakan untuk memodelkan elemen pegas nonlinier pada model struktur 3D bangunan.

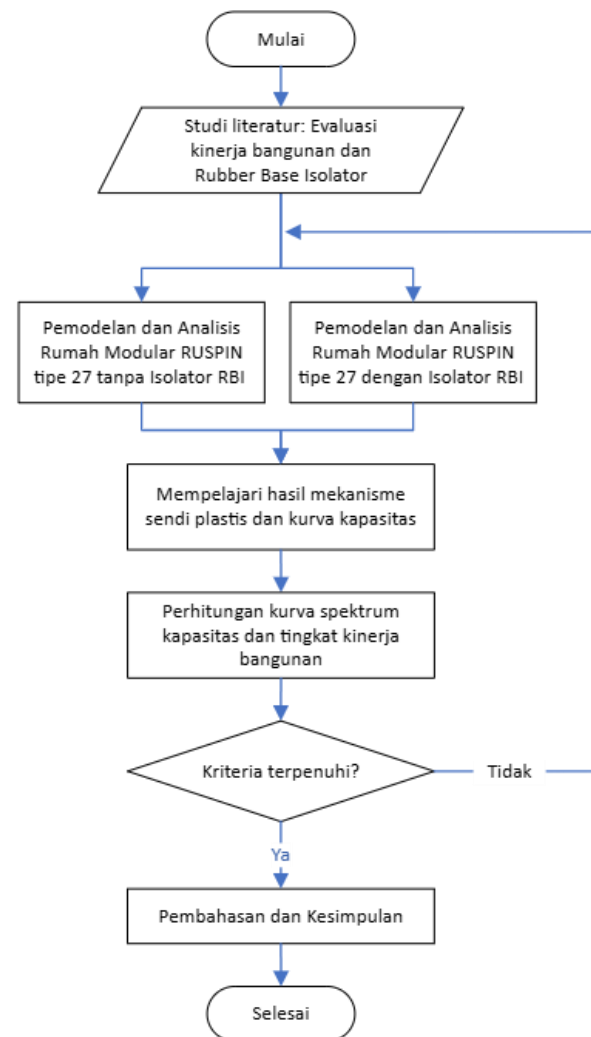
2.4 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis numerikal metode elemen hingga (CSI, 2023) untuk membuat pemodelan dan analisis bangunan rumah RUSPIN tipe 27 secara 3 dimensi. Analisis stuktur 3 dimensi digunakan untuk mendapatkan luaran yaitu kurva kapasitas

bangunan gedung dan kurva spektrum kapasitas, dengan titik kinerja bangunan diperoleh berdasarkan kajian kurva *demand* yaitu kurva respon spektrum wilayah Bali dengan nilai SDs sebesar 0,58g dan SD1 sebesar 0,21g (PusGeN, 2021).

Selanjutnya parameter tingkat kinerja digunakan sebagai justifikasi untuk menentukan kategori tingkat kinerja bangunan secara umum. Hasil evaluasi kinerja RUSPIN tipe 27 selanjutnya menjadi salah satu poin rekomendasi teknis untuk membangun rumah contoh RUSPIN tipe 27. Model struktur 3D dalam penelitian ini terdiri dari 2 tipe, yaitu RUSPIN tipe 27 dengan model perletakan jepit (tanpa RBI) dan model perletakan pegas dengan memasukkan parameter kekakuan RBI (Rakhman et al., 2017) sebagai data masukan.

Diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini, selengkapnya ditampilkan pada Gambar 5.



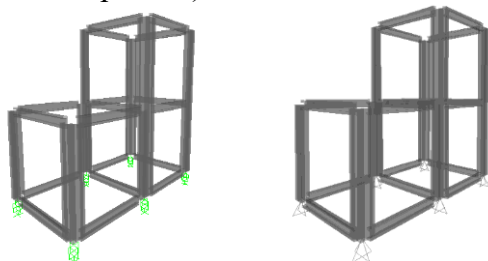
Gambar 5. Diagram alir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Pushover

Analisis *pushover* dilakukan dengan model struktur RUSPIN tipe 27 sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5 dengan idealisasi yaitu pemodelan secara 3D (tiga dimensi) menggunakan perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2018). Komponen struktural balok dan kolom dimodelkan sebagai elemen *frame*, selanjutnya setiap ujung-ujung elemen elemen tersebut dipasang *hinge* (sendi).

Selanjutnya model tumpuan RBI diterapkan sebagai tumpuan dasar yaitu model idealisasi *spring* dengan properti kekakuan RBI (Rakhman et al., 2017). Gambar 6.a memperlihatkan model RUSPIN tipe 27 yang dipasang RBI pada tumpuan bawah kolom (selanjutnya disebut RUSPIN dengan RBI), sedangkan Gambar 6.b memperlihatkan model RUSPIN tipe 27 tanpa RBI (selanjutnya disebut RUSPIN tanpa RBI).



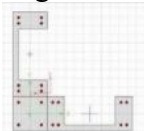
(a). Dengan RBI. (b). Tanpa RBI.

Gambar 6. Skematik 3D RUSPIN tipe 27 dengan SAP2000

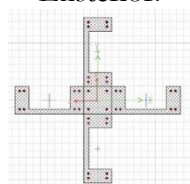
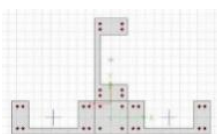
Gambar 7.a menampilkan penampang panel balok dengan detail ukuran telah disampaikan pada Gambar 2. Gambar 7.b menampilkan bentuk penampang kolom bagian tepi eksterior, Gambar 7.c menampilkan bentuk penampang kolom tepi interior, dan Gambar 7.d menampilkan bentuk penampang kolom tengah.



(a). Balok.



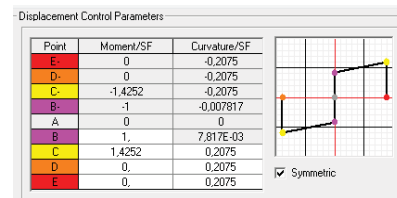
(b). Kolom Tepi Eksterior.



(c). Kolom Tepi Interior. (d). Kolom Tengah.

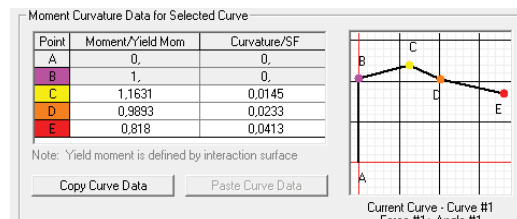
Gambar 7. Variasi bentuk penampang komponen balok dan kolom RUSPIN.

Gambar 8 menampilkan pemodelan kurva hubungan momen dan kurvatur untuk masing-masing elemen balok (Gambar 8.a), kolom tepi eksterior (Gambar 8.b), kolom tepi interior (Gambar 8.c), dan kolom Tengah (Gambar 8.d).

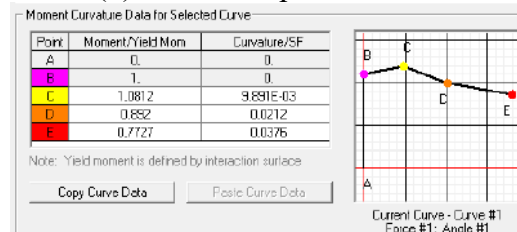


(a). Balok.

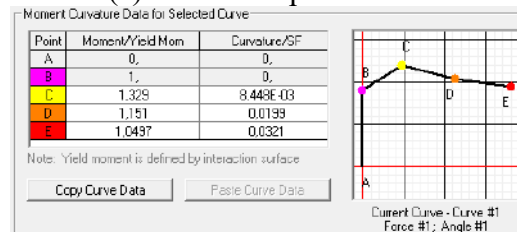
Gambar 8. Pemodelan kurva momen-kurvatur untuk pemodelan properti *hinge*.



(b). Kolom Tepi Eksterior.



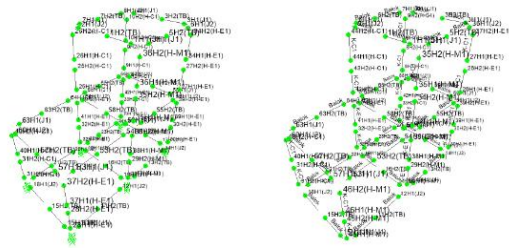
(c). Kolom Tepi Interior.



(d). Kolom Tengah.

Gambar 8. Pemodelan kurva momen-kurvatur untuk pemodelan properti *hinge*. (lanjutan)

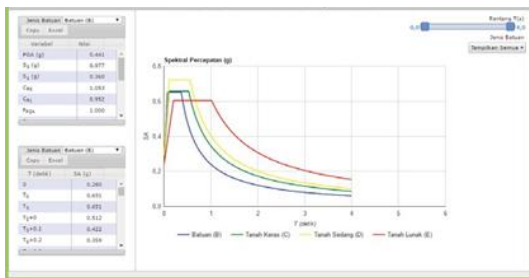
Gambar 9 menampilkan pemasangan sendi pada seluruh elemen kolom dan balok. Analisis *pushover* menggunakan tahapan dimulai dengan analisis beban gravitasi dan dilanjutkan dengan beban lateral bertahap pada arah kedua sumbu utama bangunan (arah-x dan arah-y).



(a). Dengan RBI. (b). Tanpa RBI.

Gambar 9. Lokasi penempatan hinge pada ujung komponen elemen balok dan kolom RUSPIN tipe 27.

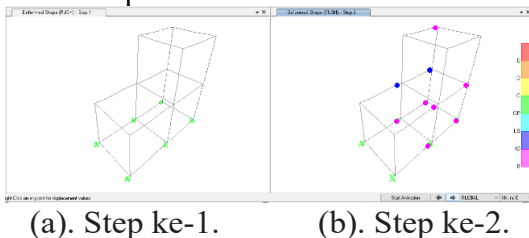
Gambar 10 memperlihatkan kurva spectrum respon untuk daerah Denpasar, lokasi dimana bangunan rumah RUSPIN tipe 27 ditempatkan. Adapun target kinerja yaitu deformasi lateral bangunan rumah dilakukan percobaan secara bertahap dari deformasi antara 0 m sampai dengan 1 m dengan monitor tahap demi tahap pola pembentukan sendi plastis pada balok dan kolom.



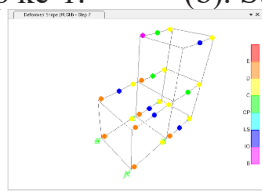
Gambar 10. Kurva spektrum respon lokasi Desa Angantaka, Denpasar, Bali (PusGeN, 2021).

3.2 Hasil Analisis Pushover

Hasil analisis yaitu skematik terbentuknya sendi plastis ditampilkan pada Gambar 11 untuk RUSPIN dengan RBI dan Gambar 12 untuk RUSPIN tanpa RBI.



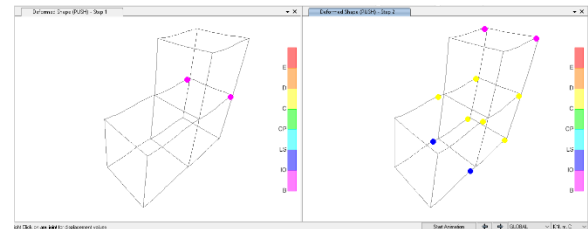
(a). Step ke-1. (b). Step ke-2.



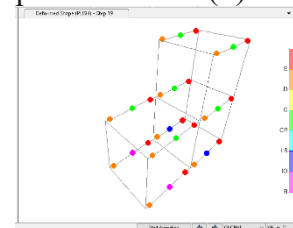
(c). Step ke-7 (terakhir).

Gambar 11. Mekanisme terbentuknya sendi plastis pada RUSPIN tipe 27 dengan RBI

Hasil analisis untuk model bangunan dengan menggunakan RBI ditampilkan pada Gambar 11. Gambar 11.b memperlihatkan sendi plastis mula-mula terbentuk pada elemen balok dan bukan pada elemen kolom. Gambar 11.c memperlihatkan terbentuknya sendi plastis pada step terakhir. Hasil analaiis untuk model bangunan tanpa menggunakan RBI ditampilkan pada Gambar 12. Gambar 12.b memperlihatkan sendi plastis mula-mula terbentuk pada elemen balok dan bukan pada elemen kolom. Gambar 12.c memperlihatkan terbentuknya sendi plastis pada step terakhir. Trend ini memperlihatkan bahwa bangunan tanpa RBI dan dengan RBI mempunyai pola yang sama, yaitu sendi plastis mula-mula terbentuk pada elemen balok.



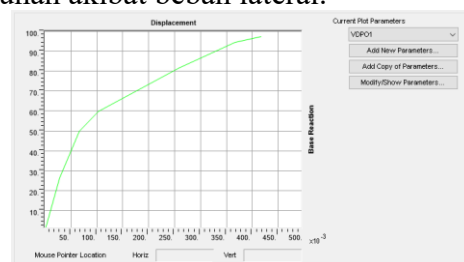
(a). Step ke-1. (b). Step ke-2.



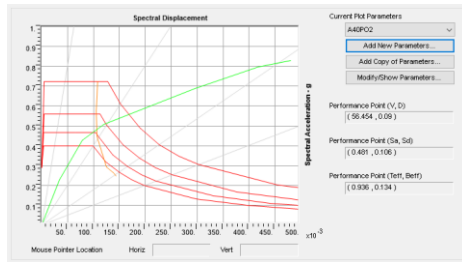
(e). Step ke-19 (terakhir).

Gambar 12. Mekanisme terbentuknya sendi plastis pada RUSPIN tipe 27 tanpa RBI.

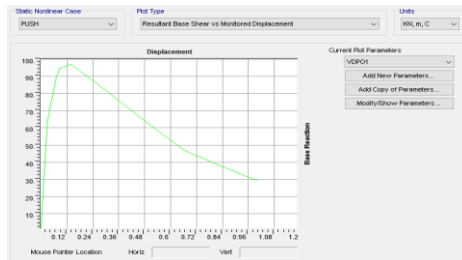
Gambar 13 dan Gambar 14 selanjutnya menampilkan mekanisme terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom (ditampilkan hanya step awal dan step terakhir/collapse). Kurva kapasitas merepresentasikan kurva hubungan antara gaya geser dasar bangunan dan deformasi akibat beban bertahap sampai dengan diperolehnya informasi kapasitas puncak bangunan akibat beban lateral.



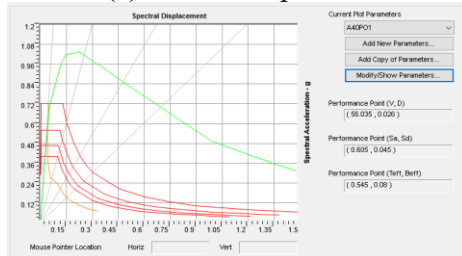
(a). Kurva kapasitas



(b). Kurva spektrum kapasitas.

Gambar 13. Hasil simulasi pushover RUSPIN tipe 27 dengan RBI.

(a). Kurva kapasitas



(b). Kurva spektrum kapasitas.

Gambar 14. Hasil simulasi pushover RUSPIN tipe 27 tanpa RBI.

Kurva kapasitas bangunan rumah RUSPIN dengan sistem isolator RBI hasil analisis pushover ditampilkan pada Gambar 13.a, sedangkan kurva spektrum kapasitas ditampilkan pada Gambar 13.b. sedangkan untuk RUSPIN tanpa RBI hasil analisis ditampilkan pada Gambar 14.a (kurva kapasitas) dan Gambar 14.b (kurva spektrum kapasitas). Hasil

3.2 Pembahasan

Kurva spektrum kapasitas merupakan hasil konversi dari kurva kapasitas (ATC, 1996) sehingga dapat dikomparasikan dengan kurva respons spektrum, untuk mendapatkan titik perpotongan yang selanjutnya digunakan sebagai parameter untuk menentukan tingkat kinerja bangunan. Evaluasi tingkat kinerja bangunan, yaitu tinjauan gaya geser dasar dan *drift* selanjutnya ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Evaluasi kinerja bangunan untuk beberapa wilayah di Indonesia.

No	Tipe	V (kN)	D (mm)	Drift (%)	Tingkat kinerja
1	Dengan RBI	53,41	27,1	0,009	IO
2	Tanpa RBI	64,42	30	0,010	IO

Bangunan RUSPIN tipe 27 tanpa dan dengan menggunakan RBI secara umum mempunyai kurva kapasitas daktail yang mengindikasikan bahwa bangunan tidak serta-merta mengalami kegagalan atau runtuh pasca kapasitas kinerja dan kapasitas maksimum tercapai, sehingga bangunan masih dapat berdeformasi lebih lanjut sebelum mengalami keruntuhan. Tahapan pembentukan sendi plastis cukup panjang yaitu mencapai tahapan *step* ke-19 (bangunan tanpa RBI) dan *step* ke-7 (bangunan dengan RBI).

Bangunan gedung baik bertingkat rendah dan bertingkat tinggi sangat penting untuk dirancang tahan gempa (Alwani & Adianti, 2021; Musthafa & Hindaryanto, 2021). Hal ini berdasarkan pertimbangan sebagian wilayah Indonesia termasuk dalam kategori skala intensitas gempa moderat hingga tinggi.

Penggunaan isolator dapat mengurangi risiko kerusakan bangunan gedung akibat gempa, yaitu melalui fungsi mengurangi gaya gempa yang masuk pada bangunan (Putra & Tavio, 2024). Penggunaan isolator merupakan teknik yang efektif berdasarkan pertimbangan bahwa gerakan tanah akibat gempa dapat diredam dengan menggunakan instrument tersebut (Wang & Qu, 2025). Hasil penelitian sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa penggunaan isolator RBI pada bangunan RUSPIN tipe 27 memberikan dampak yaitu mengurangi atau mereduksi gaya geser dasar bangunan. Bangunan RUSPIN tanpa isolator (RBI) menghasilkan gaya geser 64,42 kN atau lebih tinggi 20,63% dibandingkan bangunan RUSPIN dengan isolator (RBI) yaitu sebesar 53,41 kN.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa deformasi bangunan RUSPIN tipe 27 dengan RBI pada saat titik kinerja tercapai adalah sebesar 78 mm pada elevasi +3.00 meter. Pada bagian tumpuan (elevasi $\pm 0,000$ meter) terjadi deformasi lateral sebesar 50,9 mm, sehingga deformasi relatif dapat dihitung sebesar 78 mm

-50,9 mm atau sebesar 27,1 mm. Maka drift RUSPIN tipe 27 dengan RBI yaitu drift sebesar 78 mm/3000 mm atau 0,026 (*drift* relatif deformasi pada ring-balok terhadap tumpuan awal). Sedangkan jika digunakan acuan deformasi pada ring-balok terhadap perubahan kedudukan RBI akibat berdeformasi, maka diperoleh hasil perhitungan *drift* sebesar 27,1 mm/3000 mm atau 0,009 yaitu *drift* relatif.

Hasil perhitungan *drift* memberikan informasi tingkat kinerja bangunan, dimana dalam penelitian ini diperoleh hasil yaitu bangunan baik itu tanpa penggunaan isolator dan dengan isolator termasuk dalam kategori tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

ATC-40 (1996) menetapkan level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) adalah kondisi dimana tidak terjadi kerusakan pada elemen struktural (balok dan kolom), sedangkan pada elemen non-struktural (struktur rangka atap, kusen pintu dan jendela) mengalami kerusakan minimum, sehingga bangunan dapat berfungsi kembali pada kondisi pasca bencana gempa. Tingkat kinerja seismik *Immediate Occupancy* (IO) mengindikasikan bahwa bangunan tetap aman untuk ditempati, mempertahankan integritas strukturalnya, dan hanya mengalami kerusakan struktural yang sangat terbatas.

Hasil penelitian sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1 memberikan data empiris kinerja struktur dengan isolasi seismik terhadap gempa yang lebih baik daripada struktur dengan pondasi tetap (tanpa isolator). Hasil ini mempunyai trend yang sama dengan penelitian sebelumnya, yaitu penerapan isolasi seismik memastikan integritas struktural serta perlindungan terhadap barang-barang yang ada di dalam struktur tersebut (Usta, 2021).

Hasil penelitian dimana terjadi reduksi gaya geser dasar yang cukup signifikan mempunyai trend yang sama dengan penelitian (Rafik & Abdelhak, 2023; Gupta et al., 2025), yaitu terjadi pengurangan gaya geser di dasar struktur terisolasi dibandingkan dengan struktur dengan dasar tetap.

3.3 Implementasi Penggunaan RBI pada Bangunan RUSPIN tipe 27

Rubber base isolation diimplementasikan penggunaannya pada bangunan RUSPIN tipe 27. Gambar 15 selanjutnya menampilkan foto bangunan RUSPIN tipe 27 yang ditempatkan di

Desa Angantaka, Kabupaten Badung, Provinsi Bali sesuai lokasi penelitian (BLPW II, 2019). Pada seluruh bagian dasar kolom ditempatkan prototipe *rubber base isolation* (RBI).

Berdasarkan riwayat beberapa kali terjadinya gempa bumi di Bali, mengindikasikan bahwa bangunan RUSPIN tipe 27 tidak mengalami kerusakan, baik pada komponen struktural dan non-struktural. Riwayat gempa yang pertama yaitu terjadi pada tanggal 31 Maret 2023 dengan skala M 5,0. Pusat gempa bumi berada di 97 km barat daya Kuta Selatan, Bali (BMKG, 2023a).

Riwayat gempa kedua yaitu gempa bumi yang terjadi pada tanggal 31 Oktober 2023 dengan kekuatan M 3,3 berada pada titik koordinat 8,35 LS 115,01 BT. Pusat gempa berada di darat pada jarak 24 km barat laut Tabanan (BMKG, 2023b).

Selanjutnya riwayat gempa ketiga yaitu pada tanggal 1 Maret 2026 dengan skala M 4,8 dengan pusat gempa berada pada jarak 60 km tenggara Kuta Selatan, Bali, dengan kedalaman 56 km (BMKG, 2026).



Gambar 15. RUSPIN tipe 27 dengan Prototipe RBI terpasang sebagai sistem *base isolation* (BLPW II, 2019)

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa secara umum RUSPIN tipe 27 dengan dipasang *rubber base isolation* (RBI) menghasilkan perilaku kekakuan yang lebih rendah dibandingkan bangunan tanpa isolator, serta menghasilkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada komponen struktur utama (balok dan kolom) lebih rendah juga. Hal ini mengindikasikan bahwa RBI mempunyai fungsi

mereduksi gaya lateral (gempa) yang masuk ke bangunan.

Isolator dapat menyerap 20,63% gaya lateral yang timbul dari gerakan tanah akibat gempa, sehingga dapat mereduksi gaya geser dasar yang mengenai bangunan dibandingkan dengan bangunan tanpa isolator.

Bangunan RUSPIN tipe 27 yang dipelajari dalam penelitian ini mempunyai tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO) berdasarkan klasifikasi ATC-40. Hal ini mengindikasikan bahwa bangunan dapat difungsikan kembali pasca bencana tanpa terjadi kerusakan pada komponen utama atau struktural, sebagai contoh balok dan kolom. Bangunan dengan tingkat kinerja IO pasca bencana tidak memerlukan renovasi pasca bencana.

4.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya yaitu mempelajari pengaruh penggunaan isolator pada bangunan bertingkat dengan pusat massa tidak simetris, dengan tujuan untuk mempelajari korelasi pola penyebaran serapan gaya gempa yang mengenai bangunan terhadap efektifitas penggunaan isolator *rubber base isolation* (RBI).

Saran selanjutnya yaitu kajian eksperimental prototipe isolator dengan kapasitas lebih tinggi untuk penggunaan pada bangunan gedung bertingkat menengah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M.Q., Mandal, K., Navie, D., Shaikh, T., & Motharkar, S. (2024). "Comparative study of different types of base isolators in multistoried building," *International Journal of Innovative Research in Technology*, 11(3), 1144-1152.
- Alwani, A. & Adiarto, A.F. (2021). "Bangunan tinggi di Indonesia yang dirancang tahan gempa," *Journal of Economic, Business and Engineering (JEBE)*, 3(1), 105-112.
- Antoniou, S. (2022). *Seismic Isolation*, Seismosoft.
- ATC-40. 1996. *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings Volume 1*, Applied Technology Council.
- Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar. (2023a). *Gempa Bali 31 Maret 2023*, Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah III Denpasar.
- Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar. (2023b). *Gempa Bali 31 Oktober 2023*, Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah III Denpasar.
- Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar. (2026). *Gempa Bali 1 Maret 2026*, Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah III Denpasar.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa struktur bangunan gedung dan non-gedung*, Badan Standarisasi Nasional.
- Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar. (2013). *Inovasi komponen rumah sederhana sehat sistem bongkar pasang untuk peningkatan efektifitas dan efisiensi*, Laporan Akhir Kegiatan, Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar.
- Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar. (2014). *Kegiatan inovasi rumah unggul sistem panel tahan gempa*, Laporan Akhir Kegiatan, Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar.
- Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar. (2015). *Pengembangan teknologi rumah sistem panel instan (RUSPIN)*, Laporan Akhir Kegiatan, Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar.
- Balai PTPT Denpasar (2016). *Pengembangan teknologi rumah sistem panel instan (RUSPIN) dua lantai di Propinsi Bali*, Laporan Akhir Kegiatan, Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar.
- Balai Penelitian dan Pengembangan Perumahan Wilayah II (BLPW II) Denpasar (2019). *Kegiatan penerapan teknologi RUSPIN untuk rumah murah*, Laporan Akhir Kegiatan, Balai Pengembangan Teknologi Perumahan Tradisional Denpasar.
- Computer and Structures, Inc. 2018. *SAP2000 version 20 Reference*, Computer and Structures, Inc.

- Coulson, R.A., Scheepbouwer, E., & Van Der Walt, J.D. (2022). "Base isolation: mind the gap," *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 9(2), AAE-07-1, DOI: 10.14455/ISEC.2022.9(2).AAE-07.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2026. *Dokumen clearing house RUSPIN*, Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Domadzra, Y., Bhandari, M., & Hasan, M. (2024). "Seismic response of base-isolated buildings: exploring isolator properties," *Asian Journal of Civil Engineering*, 25, 4197-4209, DOI: 10.1007/s42107-024-01041-9.
- Gupta, G., Dabhekar, K., & Mase, D. (2025). "Review on seismic performance of buildings with fixed base and lead rubber bearing base isolator," *Proceeding Innovations in Technologies: Pioneering Sustainable Infrastructure for a Resilient Future, Sustainable Civil Infrastructures*, DOI: 10.1007/978-3-031-82133-2_19.
- Katsamakas, A.A., Belsler, G., Vassiliou, M.F., & Blondet, M. (2022). "Experimental investigation of a spherical rubber isolator for use in low-income countries," *Engineering Structures*, 250, 113522, DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113522.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2015). *Rencana Strategis Kementerian Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2015-2019*, Kementerian Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kumar, S. & Jaiswal, G. (2022). "Effectiveness of different base isolation on stepped buildings," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 10(7), 4345-4353, DOI: 10.22214/ijraset.2022.45997.
- Musthafa, N.F. & Hindaryanto, A. (2021). "Bangunan tinggi dan bencana gempa bumi," *Journal of Economic, Business and Engineering (JEBE)*, 3(1), 50-60.
- Ozer, E. & Inel, M. (2025). "The effect of single and combined use of base isolator and fluid viscous damper on seismic performance in a conventional RC building with torsional irregularity," *Journal of Building Engineering*, 101, 111898, DOI: 10.1016/j.jobee.2025.111898.
- Pranata, Y.A. (2026). "Evaluation of ductility capacity of the two existing joglo timber buildings," *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 14(2), 2317, DOI: 10.22075/jrce.2025.2317.
- PusGeN. 2021. *Desain spektra Indonesia 2021*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Putra, A.F. & Tavio. (2024). "Effect of low-cost base isolator on performance of moderate-story buildings," *Lecture Notes in Civil Engineering*, 466, 59-68, DOI: 10.1007/978-981-97-0751-5_6.
- Rafik, M. & Abdelhak, B. (2023). "The use of seismic isolators to improve building performance," *SSP Journal of Civil Engineering*, 18(1), 1-11, DOI: 10.2478/sspjce-2023-0004.
- Rakhman, J., Hernanti, H.Y. & Pranata, Y.A. (2017). *Kegiatan inovasi model rubber base isolation dari ban bekas*, Pusperkim, Balitbang, Kementerian PUPR.
- Usta, P. (2021). "Investigation of a base-isolator system's effects on the seismic behavior of a historical structure," *Buildings*, 11(5), 217, DOI: 10.3390/buildings11050217.
- Wang, X. & Qu, Z. (2025). "Advantages of base isolation in reducing the reliability sensitivity to structural uncertainties of buildings," *Engineering Structures*, 323, 119235, DOI: 10.1016/j.engstruct.2024.119235.