

# Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Rangka Baja Bertingkat dengan dan Tanpa Perangkat Dissipasi Energi Berbasis Baja LYP (*Low-Yield-Point*)

Sri wanto<sup>1</sup>, Zikra Fauzan Virawan<sup>2</sup>, Aprilia Wulandari<sup>3</sup>, Sherly Devianty<sup>4</sup>, Nurul Firkhati Hidayah<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi  
Jl. Siliwangi No.24, Kahuripan, Kec. Tawang, Kab. Tasikmalaya, Jawa Barat 46115  
www.unsil.ac.id

<sup>2</sup>Teknik Sipil, Fakultas Sains, Teknologi dan Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Lamongan  
Jl. Plalangan No. KM, RW. 02, Wahyu, Plosowahyu, Kec. Lamongan, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur 62218  
www.umla.ac.id

<sup>3,4,5</sup>Teknik Sipil, Komputer Dan Teknik, Universitas Linggabuana PGRI Sukabumi  
Jl. Karamat N0.69, Karamat, Kec. Gunungpuyuh, Kota Sukabumi, Jawa Barat 43142, Indonesia  
www.unlip.ac.id

---

---

## Abstrak

Penelitian ini menganalisis kinerja seismik struktur gedung bertingkat dengan dan tanpa perkuatan baja LYP (*Low-Yield-Point*) menggunakan pendekatan numerik berbasis pemodelan dinamis. Metode yang digunakan mencakup *Dynamic Time History*, *Pushover Analysis*, dan evaluasi kurva kerapuhan (*fragility curve*), dengan input gempa nyata dari data akselerogram Kobe. Pemodelan dilakukan pada struktur baja 5 lantai menggunakan perangkat lunak *SeismoStruct*, dengan variasi mutu baja LYP: LYP100, LYP160, dan LYP235. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan LYP235 secara signifikan meningkatkan kapasitas geser dasar dan mengurangi *interstory drift ratio* hingga di bawah batas aman standar, serta memperbaiki pola kurva histeresis menjadi lebih stabil dan simetris. Spektrum kapasitas dan kurva *fragility* menunjukkan peningkatan kinerja struktur dalam hal disipasi energi, kontrol deformasi, dan penurunan risiko kerusakan untuk berbagai tingkat intensitas gempa. Dengan demikian, baja LYP235 terbukti efektif sebagai solusi retrofit untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap beban seismik.

**Kata kunci:** *Low Yield Point, SeismoStruct, Interstory Drift Ratio, Kurva Fragility, Retrofit Seismik.*

---

---

## I. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia sering terjadi bencana alam seperti gempa yang terjadi pada Provinsi Banten dengan kekuatan yang telah dilaporkan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada tahun 2019 silam dengan kekuatan M 6,9 menyebabkan sebanyak 17 rumah mengalami kerusakan besar, 31 rumah mengalami kerusakan sedang, dan 178 rumah mengalami kerusakan ringan [1][2].

Dikarenakan angka kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi cukup besar, maka perlu dilakukan perancangan struktur dengan baik sehingga dapat menahan beban gempa yang nantinya akan menjadi

infrastruktur berkelanjutan dalam mengantisipasi terjadinya kerusakan fisik pada struktur bangunan seperti yang telah diatur dalam peraturan SNI 1726:2012 dimana Indonesia mengatur perencanaan ketahanan gempa pada struktur bangunan gedung sesuai dengan aturan SNI tersebut. *Pushover analysis* merupakan salah satu metode evaluasi struktur yang terdapat pada suatu konsep baru yang dapat digunakan untuk rekayasa gempa yaitu *Performance Seismic Evaluation (PBSE)* untuk mengetahui kekuatan struktur ketika gempa terjadi [3]. Selain menggunakan *pushover analysis* untuk mengevaluasi struktur ketika gempa, selanjutnya gaya gempa rencana dapat dihitung menggunakan analisis statik ekuivalen, analisis dinamik ragam

respon spektra maupun analisis dinamik *time history* [4].

Menurut Nasution, F dan Teruna, DR (2013) melakukan analisis dengan membandingkan respons parameter berupa *base shear* dan *displacement* dari struktur 7 tingkat baik beraturan maupun tidak beraturan yang kemudian dianalisis secara statik ekuivalen dan dinamik spektrum respons menggunakan software SAP 2000, hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa nilai base shear dan displacement tidak berbeda jauh antara hasil analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik ragam respon spektra [5].

Rekayasa gempa merupakan pengetahuan yang amat luas dan berkaitan dengan efek gempa yang dapat ditimbulkan kepada manusia dan lingkungannya sehingga untuk mengurangi dampak akibat gempa tersebut, maka pada daerah-daerah rawan gempa perlu dilakukan suatu evaluasi dan analisis seismic. Sehingga penelitian ini bertujuan yaitu mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dengan memberikan perkuatan menggunakan baja LYP bervariasi [6][7]. Dalam penelitian ini menggunakan metode Pushover Analysis yaitu ATC-40 [8], Analisis Statik Ekuivalen, Analisis Dinamik Ragam Respon Spektra maupun Analisis Dinamik *Time History*[9]

## II. METODE PENELITIAN

Perencanaan merujuk pada SNI 1726:2012, ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440 pada gedung perkantoran 5-6 lantai [10] [11]. Material sistem yang digunakan dalam analisis ini yaitu material baja Low Yield Point (LYP) bervariasi yaitu LYP100, LY0160, dan LYP235 yang dapat dilihat pada Tabel 1. yang mengacu pada tegangan yang sesuai pada titik terendah selama tahap luluh deformasi baja [12].

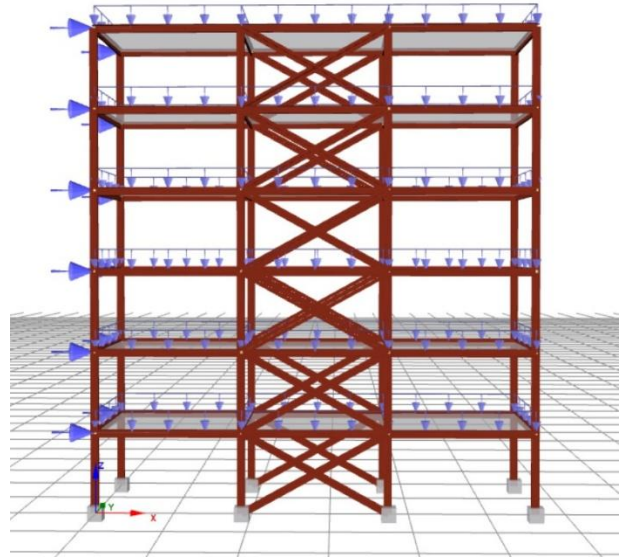
Dalam pemodelan ini menggunakan properti material seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Material Properties*

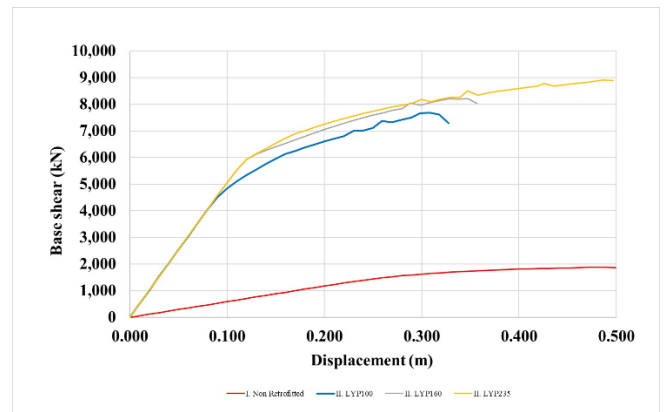
Nama material	Modulus of Elasticity, E (kPa)	Yield Strength, fy (kPa)	Strain hardening parameter, b(-)	Fracture/Buckling strain (-)	Specific Weight (kN/m <sup>3</sup> )
LYP100	200.000.000	100.000	0,02	0,20	78
LYP160	200.000.000	160.000	0,02	0,20	78
LYP235	200.000.000	235.000	0,02	0,20	78

Setelah menentukan material pada penelitian ini kemudian dilakukan pemodelan secara keseluruhan dengan membuat prototype bangunan tersebut pada software *seismostruct* [13][14]. Dengan memberikan beberapa variasi beban kombinasi seperti beban hidup dan beban mati serta nilai LYP yang bervariasi

pada masing-masing lantai sesuai fungsi ruangan dan memberikan beban dinamik dari time history Gempa Kobe untuk memperlihatkan dari bangunan tersebut ketika menerima beban gempa bagaimana respon struktur tersebut.

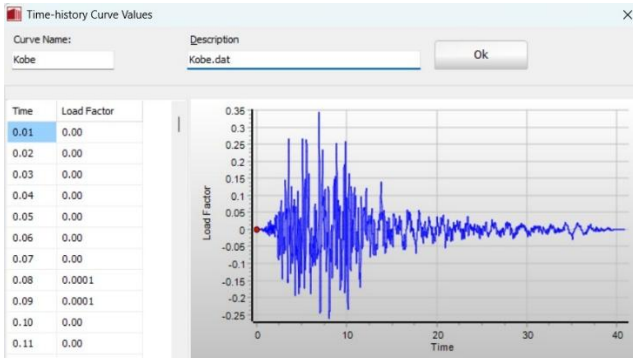


Gambar 1. Pemodelan struktur rangka baja



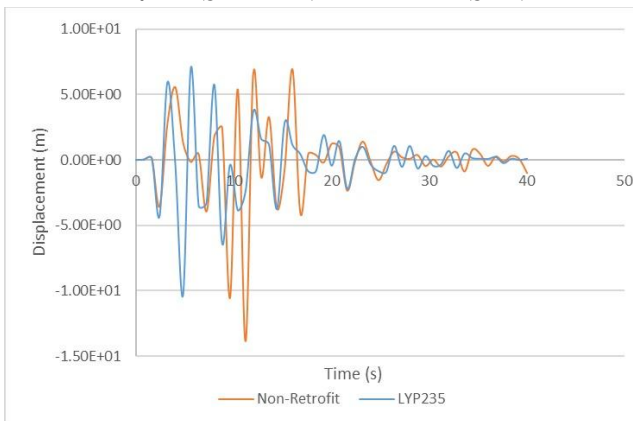
Gambar 2. Kurva Kapasitas Non-retrofit, LYP100, LYP160, dan LYP 235

Berdasarkan kurva kapasitas pada Gambar 2 di atas dapat dilihat bahwa penggunaan material baja LYP untuk retrofit mampu meningkatkan ketahanan gempa bangunan dimana semakin tinggi mutu baja, semakin tinggi pula kapasitas geser dasar dan daktilitas struktur. Sehingga berdasarkan hasil tersebut, dipilih menggunakan LYP235 dalam melakukan analisis beban gempa *dynamic time history*, dalam hal ini yang dipakai yaitu *time history* Gempa Kobe.



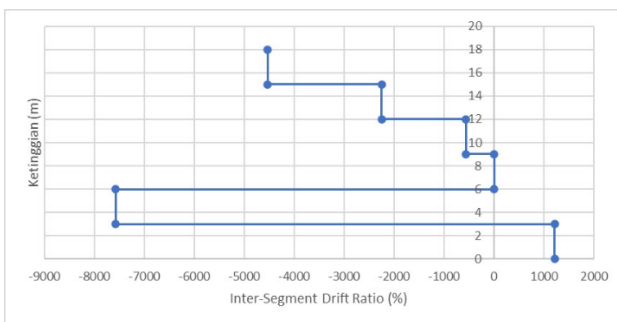
Gambar 3. Kurva Akselorogram Kobe

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN



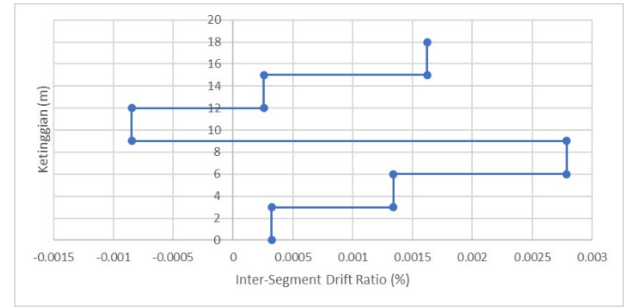
Gambar 4. Kurva Respon Spektrum

Kurva Gambar 4 di atas memperlihatkan bahwa hasil time-history dengan input gempa Kobe, dapat disimpulkan bahwa respon struktur tanpa retrofit memiliki kinerja yang rendah dengan kapasitas geser terbatas dan simpangan yang sangat besar, sedangkan retrofit dengan menggunakan baja LYP235 terbukti dapat meningkatkan kapasitas dan ketahanan struktur.



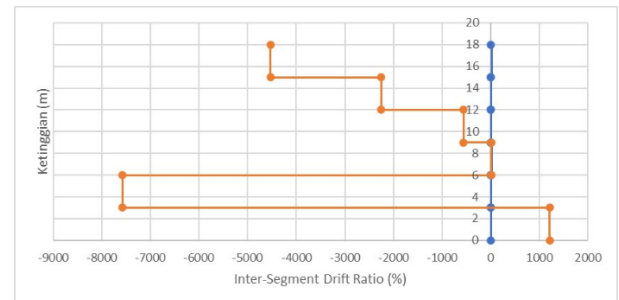
Gambar 6. Kurva Drift Ratio Non-Retrofit (Eksisting)

Kurva drift ratio eksisting untuk menunjukkan bahwa tanpa perkuatan bahwa struktur tidak mampu menahan beban gempa dengan baik, karena drift ratio jauh melampaui batas aman.



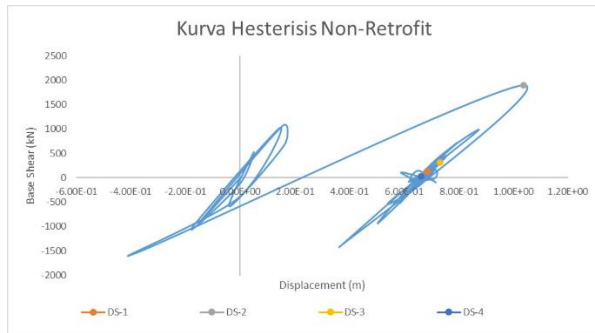
Gambar 5. Kurva Drift Ratio LYP235

kurva pada Gambar 5 di atas menunjukkan distribusi inter-segment drift ratio pada struktur setelah dilakukan perkuatan dengan baja LYP235. Nilai drift ratio yang diperoleh sangat kecil yaitu berkisar antara 0,0005-0,0025 (0,05-0,025%), sehingga masih berada jauh di bawah batas aman yang ditetapkan oleh standar gempa (1-2%) [15][16][17]. Selain itu distribusi drift terlihat relatif merata di sepanjang tinggi struktur tanpa adanya konsentrasi simpangan pada lantai tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan LY235 efektif dalam meningkatkan kekakuan serta menjaga kestabilan struktur sehingga deformasi tetap terkendali.



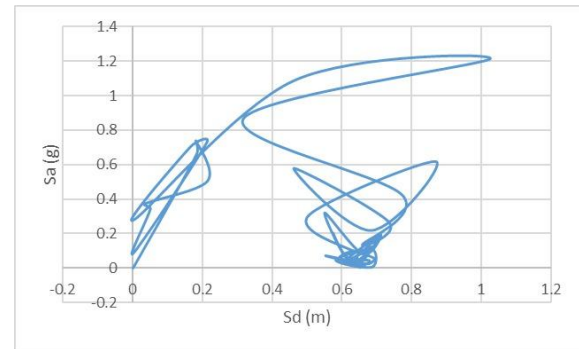
Gambar 6. Kurva Drift Ratio Comparison

Kurva Gambar 6 di atas menunjukkan perbandingan inter-segment drift ratio antara kondisi struktur tanpa perkuatan (Non-Retrofit) dan dengan perkuatan LYP235. Dimana kondisi Non-Retrofit, drift ratio mencapai nilai ekstrim hingga -7000% pada lantai bawah dan -4000% pada lantai menengah dimana nilai tersebut sangat jauh di atas batas toleransi serta menunjukkan adanya mekanisme soft story yang berpotensi menyebabkan keruntuhan struktur. Sebaliknya, setelah dilakukan perkuatan dengan LYP235, nilai drift dapat direduksi secara signifikan hingga berada pada kisaran 0-0,25% dengan distribusi lebih seragam pada seluruh lantai. Hal ini membuktikan bahwa retrofit menggunakan baja LYP235 mampu mereduksi simpangan antar lantai secara drastis dan meningkatkan kinerja seismik struktur.



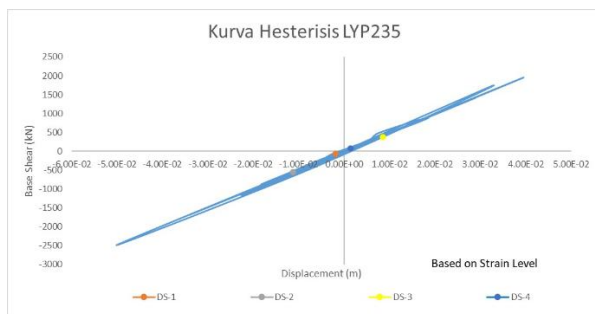
**Gambar 7. Kurva Histerisis Non-Retrofit (Eksisting)**

Kurva Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa pada kondisi non-retrofit respon struktur tidak stabil dengan bentuk kurva melebar dan ketidaksimetrisan antara sisi tarik dan tekan [18][19][20]. Kapasitas maksimum geser dasar mencapai sekitar  $\pm 2000$  kN pada simpangan maksimum sekitar 1,0 m, namun disertai degradasi kekakuan yang signifikan. Hal ini menandakan energi yang terserap relatif terbatas, dengan deformasi inelastik yang besar, sehingga struktur tanpa perkuatan (non-retrofit) berpotensi mengalami kerusakan dini saat menerima beban gempa berulang.



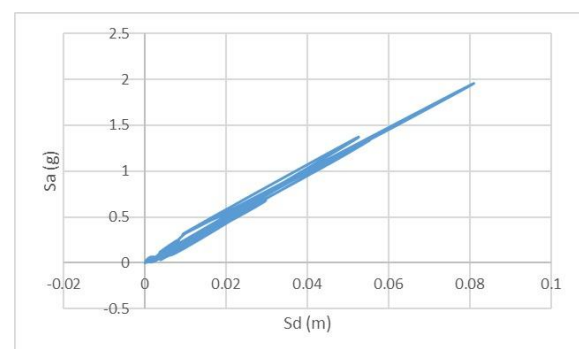
**Gambar 9. Kurva Spektrum Kapasitas Non-Retrofit (Eksisting)**

Berdasarkan Gambar 9 di atas kurva respon spektral pada kondisi non-retrofit menunjukkan bahwa percepatan spektral maksimum ( $S_a$ ) mencapai sekitar 1,3g pada perpindahan spektral ( $S_d$ ) sebesar 0,6-0,8 m. Bentuk kurva tidak stabil serta adanya pola *looping* mengindikasikan respon dinamik yang kacau dengan deformasi residu yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa struktur tanpa perkuatan cenderung mengalami deformasi berlebih sehingga kapasitas disipasi energinya rendah, dan berpotensi mengalami kerusakan signifikan ketika menerima beban gempa [21][8].



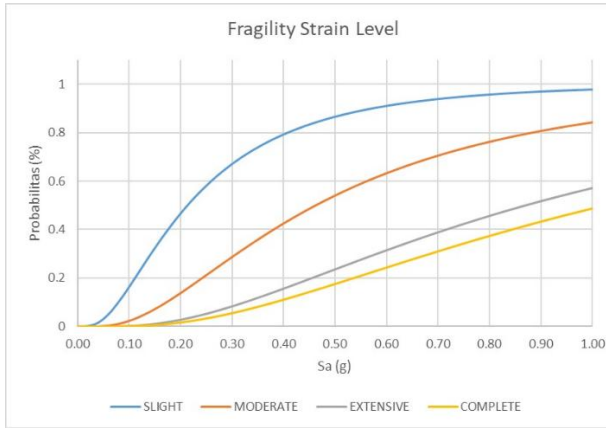
**Gambar 8. Kurva Histerisis LYP235**

Kurva histeristik pada perilaku struktur dengan baja LYP235 seperti Gambar 8 di atas terlihat lebih stabil, ramping, dan simetris. Kapasitas geser dasar tercatat hingga sekitar  $\pm 2500$  kN dengan simpangan hanya sekitar 0,04 m, menunjukkan peningkatan kekakuan dan daktilitas. Pola ini mengindikasikan kemampuan disipasi energi yang lebih baik serta kontrol deformasi yang lebih efektif.



**Gambar 10. Kurva Spektrum Kapasitas LYP235**

Berdasarkan Gambar 10 di atas, struktur yang diperkuat dengan baja LYP235, nilai  $S_a$  meningkat hingga sekitar 2,0 g dengan  $S_d$  yang sangat kecil, yaitu hanya sekitar 0,05 m. Kurva yang terbentuk cenderung linear, rapat, dan stabil, menandakan peningkatan kekakuan dan kontrol deformasi yang lebih baik. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penggunaan LYP235 mampu meningkatkan kinerja seismik dengan mengurangi simpangan struktur secara signifikan, sekaligus meningkatkan kapasitas percepatan yang dapat ditahan. Dengan demikian, retrofit menggunakan baja LYP235 terbukti efektif dalam memperbaiki dinamik struktur, baik dari segi kekakuan, kestabilan, maupun disipasi energi.



**Gambar 11. Kurva Kerapuhan Berdasarkan Strain Level Non-Retrofit (Eksisting)**

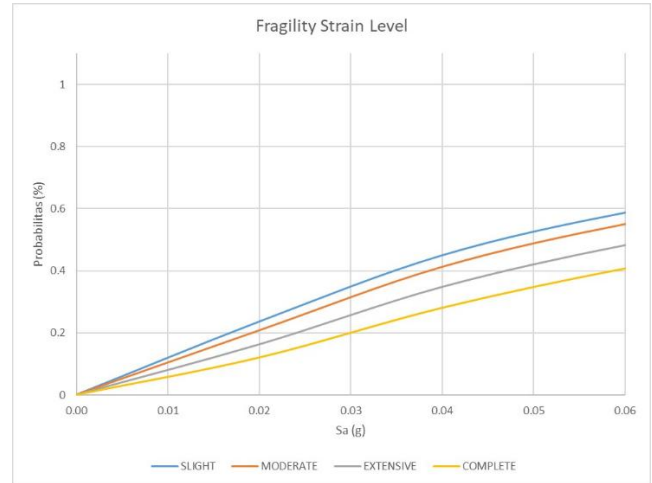
Berdasarkan Gambar 11 di atas, pada kondisi tanpa retrofit, kurva fragility menunjukkan bahwa kerusakan slight mulai muncul pada  $S_a = 0,10$  g dengan probabilitas sekitar 20%, kemudian meningkat tajam hingga mencapai 100% pada  $S_a = 0,30$  g. Kerusakan moderate mulai terlihat pada  $S_a = 0,20$  g dengan probabilitas 20%, lalu meningkat menjadi sekitar 80% pada  $S_a = 0,80$  g. Kerusakan extensive lebih signifikan pada  $S_a = 0,50$  g dengan probabilitas sekitar 30%, dan mencapai 60% pada  $S_a = 1,00$  g. Adapun kerusakan complete mulai terlihat pada  $S_a = 0,40$  g dengan probabilitas 10%, lalu meningkat hingga 50% pada  $S_a = 1,00$  g.



**Gambar 12. Kurva Kerapuhan Berdasarkan Maximum Base Shear Non-Retrofit (Eksisting)**

Kurva fragility untuk kapasitas geser dasar (base shear) tanpa retrofit seperti Gambar 12 di atas menunjukkan bahwa pada kondisi DS1, probabilitas kerusakan mencapai sekitar 50% pada  $S_a = 0,30$  g dan meningkat hampir 100% pada  $S_a = 1,00$  g. Untuk DS2, probabilitas kegagalan hanya sekitar 20% pada  $S_a = 0,30$  g, namun terus naik hingga 60% pada  $S_a = 1,00$  g. Sementara itu, DS3 menunjukkan performa yang relatif lebih baik dengan probabilitas

hanya 10% pada  $S_a = 0,30$  g dan mencapai sekitar 40% pada  $S_a = 1,00$  g.



**Gambar 13. Kurva Kerapuhan Berdasarkan Strain Level LYP235**

Setelah dilakukan retrofit menggunakan baja LYP235 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 di atas, probabilitas kerusakan mengalami penurunan signifikan. Kerusakan slight mulai terlihat pada  $S_a = 0,01$  g dengan probabilitas sekitar 10%, kemudian meningkat menjadi sekitar 60% pada  $S_a = 0,06$  g. Kerusakan moderate muncul pada  $S_a = 0,02$  g dengan probabilitas 10%, dan mencapai sekitar 50% pada  $S_a = 0,06$  g. Untuk kerusakan extensive, probabilitas hanya sekitar 15% pada  $S_a = 0,02$  g dan meningkat hingga 50% pada  $S_a = 0,06$  g. Sedangkan kerusakan complete tetap rendah, yaitu hanya 40% pada  $S_a = 0,06$  g.



**Gambar 14. Kurva Kerapuhan Berdasarkan Maximum Base Shear LYP235**

Kurva base shear setelah retrofit yang ditunjukkan pada Gambar 14 di atas peningkatan kapasitas struktur. Pada kondisi DS1, probabilitas kerusakan hanya sekitar 20% pada  $S_a = 0,03$  g, meningkat

menjadi 60% pada  $S_a = 0,10$  g. Untuk DS2, probabilitas kegagalan mencapai 10% pada  $S_a = 0,03$  g dan meningkat hingga 50% pada  $S_a = 0,10$  g. Sementara itu, DS3 menunjukkan performa paling baik, dengan probabilitas kegagalan hanya sekitar 5% pada  $S_a = 0,03$  g dan meningkat menjadi 40% pada  $S_a = 0,10$  g [22][23][24].

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan baja LYP235 sebagai perangkat perkuatan (retrofit) terbukti mampu meningkatkan kinerja seismik struktur gedung secara signifikan dibandingkan struktur eksisting tanpa perkuatan.
2. Nilai interstory drift ratio pada struktur retrofit menurun drastis hingga hanya 0,0005–0,0025 (0,05%–0,25%), jauh di bawah batas aman yang ditentukan standar gempa (1%–2%). Sementara pada struktur eksisting, drift ratio mencapai nilai ekstrem (hingga >4000%).
3. Kurva histeresis pada struktur dengan LYP235 menunjukkan disipasi energi yang tinggi, stabilitas siklik yang baik, dan deformasi terkendali, sedangkan struktur tanpa retrofit mengalami degradasi kekakuan signifikan dan potensi keruntuhan akibat deformasi berlebih.
4. Kurva fragility menunjukkan bahwa setelah penggunaan LYP235:
  - Probabilitas kerusakan slight dan moderate turun dari 80–100% menjadi <60%.
  - Probabilitas kerusakan extensive dan complete turun dari >50% menjadi <40%.
  - Kapasitas percepatan spektral ( $S_a$ ) meningkat dari 1,3g menjadi 2,0g dengan deformasi spektral ( $S_d$ ) yang jauh lebih kecil.
5. Secara umum, penguatan struktur dengan LYP235 mampu menurunkan risiko kerusakan struktur hingga 40–60%, tergantung kategori kerusakan dan parameter pengamatan (strain atau base shear).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada pihak yang berkontribusi dalam hal pendanaan ataupun fasilitas.

#### REFERENSI

- [1] J. S. Younger, "Factors, Including Disasters, Affecting Sustainable Development- Focus on Indonesia," in *2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*, IEEE, Agu 2019, hal. 1–8. doi: 10.1109/ICSECC.2019.8907189.
- [2] S. Pasari, A. V. H. Simanjuntak, A. Mehta, Neha, dan Y. Sharma, "The Current State of Earthquake Potential on Java Island, Indonesia," *Pure Appl. Geophys.*, vol. 178, no. 8, hal. 2789–2806, Agu 2021, doi: 10.1007/s00024-021-02781-4.
- [3] M. Handana, R. Karolina, dan Steven, "Performance evaluation of existing building structure with pushover analysis," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 309, hal. 012039, Feb 2018, doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012039.
- [4] N. A. Labanda, M. G. Sottile, I. A. Cueto, dan A. O. Sfriso, "Screening of seismic records to perform time-history dynamic analyses of tailings dams: A power-spectral based approach," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 146, hal. 106750, Jul 2021, doi: 10.1016/j.soildyn.2021.106750.
- [5] F. Nasution dan D. R. Teruna, "Perbandingan Analisis Statik Ekuivalen dan Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons pada Struktur Beraturan dan Ketidakteraturan Massa sesuai RSNi 03-1726-201x," *J. Tek. Sipil USU*, vol. 3, no. 1, 2014.
- [6] L. Zhuang, J. Wang, X. Nie, dan Z. Wu, "Experimental study on seismic behaviour of eccentrically braced composite frame with vertical LYP steel shear link," *Eng. Struct.*, vol. 255, hal. 113957, Mar 2022, doi: 10.1016/j.engstruct.2022.113957.
- [7] Y. Guo dan M. Wang, "Experimental study on mechanical behavior and resilient performance of steel frame connection with low-yield-point steel fuses," *Eng. Struct.*, vol. 266, hal. 114599, Sep 2022, doi: 10.1016/j.engstruct.2022.114599.
- [8] S. Wanto, S. Sangadji, dan H. A. Saifullah, "Seismic retrofitting of existing steel structures with X-bracing," 2023, hal. 050020. doi: 10.1063/5.0112776.
- [9] S.- Wanto, "Mengevaluasi Struktur Beton Pada Bangunan Eksisting Dengan Penambahan Sistem Base Isolation Berdasarkan Seismic Fragility," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 9, no. 2, hal. 33, 2024, doi: 10.31544/jtera.v9.i2.2024.33-44.
- [10] S. A. Nurjannah, Y. Megantara, E. Lim, dan I. Imran, "Comparison of structural performance of

- open frame structures based on SNI 03-1726-2002 and SNI 03-1726-2012,” *E3S Web Conf.*, vol. 156, hal. 05006, Mar 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202015605006.
- [11] Y. Nurchasanah, A. Rochman, M. Ujianto, A. S. Fauzi, dan A. H. Nugraha, “Assessments of the Vulnerability and Demand Capacity Ratio of Old Public Buildings Structures,” *E3S Web Conf.*, vol. 517, hal. 05009, Apr 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202451705009.
- [12] E. Saeki, M. Sugisawa, T. Yamaguchi, dan A. Wada, “Mechanical Properties of Low Yield Point Steels,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 10, no. 3, hal. 143–152, Agu 1998, doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10:3(143).
- [13] N. Ahmad, H. Shakeel, dan M. Masoudi, “Design and development of low-cost HDRBs seismic isolation of structures,” *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 18, no. 3, hal. 1107–1138, Feb 2020, doi: 10.1007/s10518-019-00742-w.
- [14] N. K. Psyras dan A. G. Sextos, “Build-X: Expert system for seismic analysis and assessment of 3D buildings using OpenSees,” *Adv. Eng. Softw.*, vol. 116, hal. 23–35, Feb 2018, doi: 10.1016/j.advengsoft.2017.11.007.
- [15] M. Palanci, A. H. Kayhan, dan A. Demir, “A statistical assessment on global drift ratio demands of mid-rise RC buildings using code-compatible real ground motion records,” *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 16, no. 11, hal. 5453–5488, Nov 2018, doi: 10.1007/s10518-018-0384-y.
- [16] H. Abou-Elfath, M. Ramadan, M. Meshaly, dan H. A. Fdiel, “Seismic performance of steel frames designed using different allowable story drift limits,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 56, no. 2, hal. 241–249, Jun 2017, doi: 10.1016/j.aej.2016.08.028.
- [17] M. Zaker Esteghamati, M. Banazadeh, dan Q. Huang, “The effect of design drift limit on the seismic performance of <scp>RC</scp> dual high-rise buildings,” *Struct. Des. Tall Spec. Build.*, vol. 27, no. 8, Jun 2018, doi: 10.1002/tal.1464.
- [18] Q. He, Y. Y. Chen, W. Wang, dan H. Tian, “Hysteretic Features of Low Yield Point Steel and its Influence on Shear Plate Damper Behavior,” *Key Eng. Mater.*, vol. 763, hal. 718–725, Feb 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.763.718.
- [19] Y. Suo, S. Fan, C. Li, S. Zeng, dan C. Liu, “Parametric Analysis on Hysteresis Performance and Restoring Force Model of LYP Steel Plate Shear Wall with Two-Side Connections,” *Int. J. Steel Struct.*, vol. 20, no. 6, hal. 1960–1978, Des 2020, doi: 10.1007/s13296-020-00400-x.
- [20] S. Xu, Y. Hu, Y. Yin, dan C. Guo, “Hysteretic behavior of the segmented buckling-resistant braces with <scp>LYP160</scp>,” *Eng. Reports*, vol. 6, no. 11, Nov 2024, doi: 10.1002/eng2.12916.
- [21] R. Dumaru, H. Rodrigues, dan H. Varum, “Comparative study on the seismic performance assessment of existing buildings with and without retrofit strategies,” *Int. J. Adv. Struct. Eng.*, vol. 10, no. 4, hal. 439–464, Des 2018, doi: 10.1007/s40091-018-0207-z.
- [22] D.-H. Shin, S.-H. Oh, B.-J. Park, dan S.-M. Choi, “Experimental investigation on retrofitting effects of circular steel rod damper systems on non-seismic detailed reinforced concrete frames,” *Structures*, vol. 65, hal. 106642, Jul 2024, doi: 10.1016/j.istruc.2024.106642.
- [23] H. S. Park, S. W. Choi, dan B. K. Oh, “Optimal seismic retrofit model for steel moment resisting frames with brittle connections,” *Earthq. Eng. Eng. Vib.*, vol. 17, no. 4, hal. 835–847, Okt 2018, doi: 10.1007/s11803-018-0479-0.
- [24] M. H. Razmkhah, M. Gerami, dan M. Ghaderi, “Performance Assessment of Retrofitted Drilled Connections Subjected to Ultra-Low Cycle Fatigue Loading,” *J. Earthq. Eng.*, vol. 28, no. 11, hal. 3109–3121, Agu 2024, doi: 10.1080/13632469.2024.2325009.

