



Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Atas Gedung Suzuya Pematangsiantar Menggunakan Metode Pushover

Sionmora Ritonga

Universitas Medan Area

Irwan

Universitas Medan Area

Alamat: Jln. H. Agus Salim Siregar, Kenangan Baru, Kec. Medan Tembung, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

Korespondensi penulis: ritongasion@gmail.com

Abstract. Pushover analysis is a procedure to determine the collapse behavior of a building in an earthquake. The pushover analysis method is widely used by high-level building planners who rely on performance-based planning. The aim of this research is to become a reference in evaluating the collapse performance and behavior of buildings. This research was carried out using SAP2000 software where the structure was modeled in three dimensions. After carrying out the initial load analysis and stress examination, the analysis results showed that the behavior of the building structure was non-linear. This occurs under conditions of higher loads or significant deformation. So the results obtained in the X direction, the maximum displacement value obtained is 0,014410 m achieved with a base shear of 64.746,662 kN. In step 7, collapse (C) occurs in one of the structures marked with a yellow dot. Meanwhile in the Y direction, the displacement obtained is 0,15 m with a base shear of 58.897,495 kN. Based on the structural performance classification according to ATC-40, both in the X direction and Y direction, the building structure is included in the "Immediate Occupancy" category. This means that the structure is able to maintain its function without experiencing significant damage at the given load level. This level of performance is still well below the "Collapse Prevention (CP) limit, meaning that the structure is considered safe under these conditions.

Keywords: *nonlinear pushover, structural behavior, displacement*

Abstrak. Analisis pushover merupakan prosedur untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Metode analisis *pushover* banyak digunakan para perencana bangunan tingkat tinggi yang mengandalkan perencanaan berbasis kinerja. Tujuan dari penelitian ini menjadi acuan dalam mengevaluasi kinerja keruntuhan dan perilaku bangunan. Dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dimana struktur dimodelkan dalam permodelan tiga dimensi. Setelah dilakukan analisis pembebanan awal dan pemeriksaan tegangan maka diperoleh hasil analisis, bahwa perilaku struktur gedung bersifat non-linier. Hal ini terjadi dalam kondisi beban yang lebih tinggi atau deformaasi yang signifikan. Maka diperoleh hasil dalam arah X, nilai *displacement* maksimum yang di peroleh sebesar 0,014410 m dicapai dengan *base shear* sebesar 64.746,662 kN. Pada *step* yang ke-7 terjadi *collapse* (C) pada salah satu struktur yang di tandai dengan titik berwarna kuning. Sementara dalam arah Y, *displacement* yang didapat adalah sebesar 0,15 m dengan *base shear* sebesar 58.897,495 kN. Berdasarkan klasifikasi kinerja struktur sesuai ATC-40, baik dalam arah X maupun arah Y, struktur gedung masuk dalam kategori "*Immediate Occupancy*". Artinya, struktur tersebut mampu mempertahankan fungsinya tanpa mengalami kerusakan yang signifikan pada level beban yang diberikan. Tingkat kinerja ini masih jauh di bawah batas "*Collapse Prevention* (CP), yang berarti bahwa struktur dianggap aman dalam kondisi tersebut.

Kata kunci: *nonlinier pushover, perilaku struktur, displacement*

LATAR BELAKANG

Desain struktur bangunan merupakan perencanaan bangunan yang melalui berbagai tahapan perhitungan dengan mempertimbangkan berbagai variabelnya sehingga didapatkan produk yang berdaya guna sesuai fungsi kegunaannya. Suatu perencanaan struktur tidak hanya meninjau aspek struktural tetapi aspek ekonomi dan estetika juga turut menjadi pertimbangan. Dalam hal ini desain struktural merupakan substansi dari suatu perencanaan bangunan sebab menentukan apakah suatu bangunan dengan rancangan tertentu mampu berdiri atau tidak. Rencana pembebanan merupakan data utama sebagai informasi untuk perencanaan elemen struktural seperti beban mati, beban hidup, beban angin, beban mekanikal elektrik, dan beban gempa.

Analisis pushover merupakan prosedur untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Metode analisis pushover banyak digunakan para perencana bangunan tingkat tinggi yang mengandalkan perencanaan berbasis kinerja. Tujuan dari penelitian ini menjadi acuan dalam mengevaluasi kinerja keruntuhan dan perilaku bangunan. Dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dimana struktur dimodelkan dalam permodelan tiga dimensi. Setelah dilakukan analisis pembebanan awal dan pemeriksaan tegangan, barulah struktur ditambahkan variasi bresing. Penambahan bresing diletakkan di sisi depan dan belakang struktur dengan model bresing konsentrik dan bresing eksentrik. Perilaku keruntuhan struktur dievaluasi dengan menggunakan analisis pushover.

Pushover analysis adalah suatu analisis statik nonlinier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi elastik. Kemudian disusul pelelehan (sendi plastis) dilokasi yang lain distruktur tersebut. Perkembangan teknologi sangat membantu *civil engineer* dalam perencanaan dan analisis terhadap kinerja suatu struktur bangunan. Tersedianya program SAP 2000 dan ETABS mampu menyederhanakan persoalan dalam bentuk pemodelan yang sebelumnya sangat kompleks apabila dikerjakan secara konvensional. Oleh sebab itu penulis melakukan penelitian evaluasi kinerja seismik bangunan gedung dengan analisis pushover menggunakan bantuan program SAP 2000 yang kemudian mengkaji dan membahas output yang dihasilkan program sap2000 tersebut.

KAJIAN TEORITIS

Gempa dapat menyebabkan masalah yang menghambat pada aktivitas makhluk hidup. Gempa bumi terjadi karena pelepasan energi akibat dari tekanan lempeng yang mengalami pergerakan (Tampubolon,2022). Gempa bumi biasanya terjadi pada perbatasan lempeng yang sangat beresiko terjadi pada perbatasan lempengan kompresional serta translasional.

Fatah dkk, 2021 dengan judul penelitian Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desain Berbasis Kinerja (Studi Kasus: Gedung Pendidikan Rangka Beton Bertulang 7 Lantai). Tujuan penelitian adalah Untuk mengevaluasi struktur gedung terhadap gaya gempa sesuai peraturan terkini, digunakan pendekatan desain berbasis kinerja atau lebih dikenal performance-based design. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam desain berbasis kinerja adalah direct-displacement based design yang dipelopori Priestley, Kowalsky, Park dan Pauley. Metode tersebut menggunakan nilai perpindahan sebagai pendekatan untuk menentukan kekuatan gedung dalam menahan gempa (Tavio dan Wijaya, 2018). Selanjutnya, dilakukan analisis statik non-linier atau pushover sesuai prosedur dalam ATC-40 untuk mengetahui pola keruntuhan yang digambarkan sebagai kurva kapasitas sehingga tingkat kinerja dari struktur dapat diketahui berdasarkan FEMA 356 dan FEMA 440. Metode direct displacement-based design pada desain responnya menggunakan redaman efektif ekuivalen yang didapat dengan cara mengubah desain respon spektrum elastis menjadi redaman inelastis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(c), kemudian nilai tersebut digunakan untuk menentukan nilai periode efektif (T_e) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(d) sehingga nilai gaya geser dasar struktur (base shear) pada kondisi inelastis dapat dihitung. Dari hasil, didapatkan Adanya perubahan nilai parameter yang terdapat pada SNI 1726:2002 dan 1726:2019, yang meliputi nilai koefisien situs dan nilai parameter percepatan batuan dasar, tidak menyebabkan indikator kinerja struktur gedung yang dievaluasi tidak terpenuhi. Nilai koefisien modifikasi respon dan nilai faktor kuat lebih yang dihasilkan oleh struktur melebihi nilai minimum yang ditetapkan oleh SNI sehingga struktur tersebut berkinerja baik dan mampu menahan beban gempa berdasarkan aturan terbaru.

METODE PENELITIAN

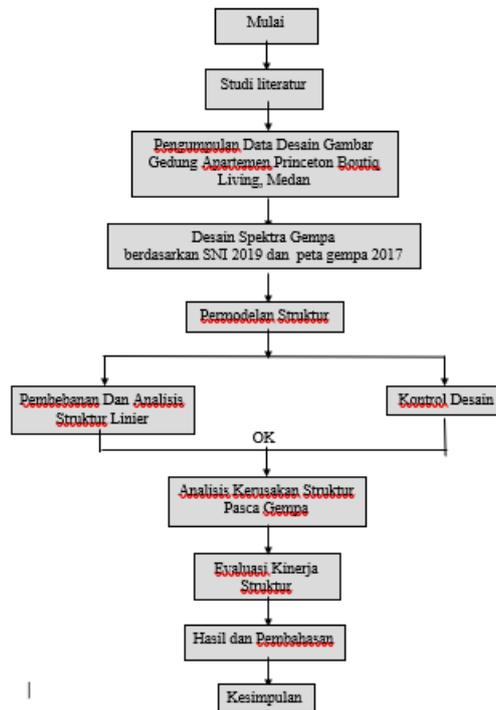
Penelitian ini dilakukan di Proyek Pembangunan Gedung Suzuya, Pematangsiantar, yang tidak terlepas dari kemajuan teknologi. Karena itu dalam menganalisis struktur bangunan digunakan *Software* SAP2000 untuk mempermudah pengolahan data dengan menggunakan metode analisis statik non-linear yang akan menghasilkan kurva kapasitas dimana kurva ini menyatakan hubungan antara gaya geser dasar terhadap peralihan atap struktur bangunan gedung.

Proyek Pembangunan Gedung Suzuya Pematangsiantar berlokasi Jl. Merdeka No.45, Pardomuan, Kec. Siantar Bar, Kota Pematangsiantar, Sumatera Utara.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

Berikut adalah beberapa tahapan pemodelan struktur dan analisis struktur dengan SAP2000 yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

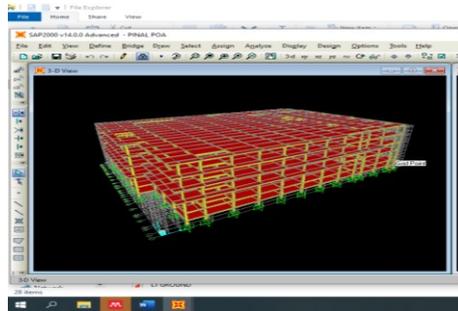
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

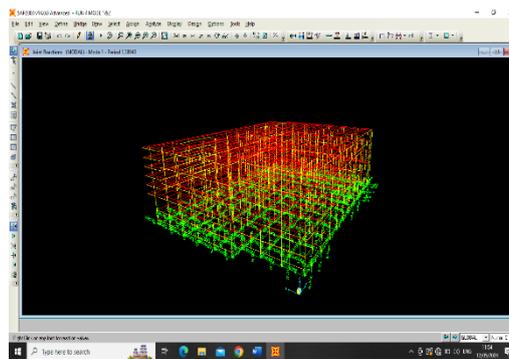
analisis kekakuan gedung juga merupakan aspek penting yang dibahas. Kekakuan adalah kemampuan suatu struktur untuk menahan deformasi akibat beban. Perangkat lunak SAP2000 dapat menghitung kekakuan struktur dengan mempertimbangkan karakteristik material dan geometri elemen-elemen struktural. Respon tahanan terhadap gempa juga menjadi fokus dalam studi ini. SAP2000 memiliki kemampuan untuk melakukan analisis dinamis dan simulasi gempa. Hal ini memungkinkan para insinyur untuk memahami bagaimana gedung akan merespons gempa dengan memperhitungkan dinamika struktur, gaya inersia, dan efek getaran. Dalam konteks kasus ini, gambaran visual hasil analisis struktur gedung SUZUYA di Siantar dapat ditemukan pada Gambar 22. Perangkat lunak SAP2000 mengasumsikan bahwa sumbu Z global selalu merupakan sumbu vertikal, dengan arah ke atas, sedangkan sumbu X dan Y merupakan sumbu horizontal. Hal ini membantu dalam pemodelan dan analisis struktur secara konsisten dengan konvensi umum dalam rekayasa struktural. Namun, penting untuk diingat bahwa interpretasi hasil analisis dan perbedaan nilai yang muncul harus dipahami dengan cermat. Perbedaan hasil bisa saja disebabkan oleh parameter input yang berbeda, karakteristik material yang tidak tepat, atau faktor-faktor lainnya. Oleh karena itu, analisis yang cermat dan pemahaman mendalam tentang

EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR ATAS GEDUNG SUZUYA PEMATANGSIANTAR MENGGUNAKAN METODE PHUSOVER

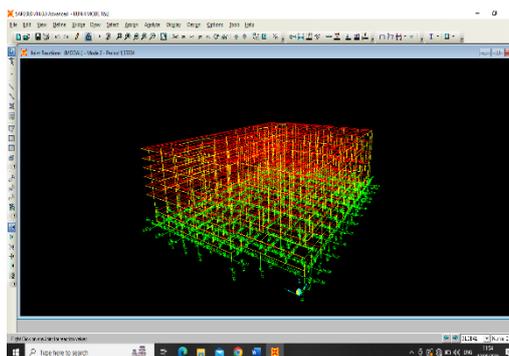
penggunaan perangkat lunak sangat penting untuk mendapatkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan dalam perencanaan struktural. Akhir dari pemodelan sebelum dilakukan penginputan beban dilakukan proses *running* untuk mengetahui periode getar alami struktur untuk dimana dibawah ini ditampilkan yaitu mode 1 sebesar 1,38 detik ditampilkan pada Gambar 4 dan untuk mode 2 sebesar 1,35 detik ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Model Struktur (SAP2000 V 14, 2024)



Gambar 4. Periode Getar Alami Struktur Mode 1 (SAP2000 V 14, 2024)



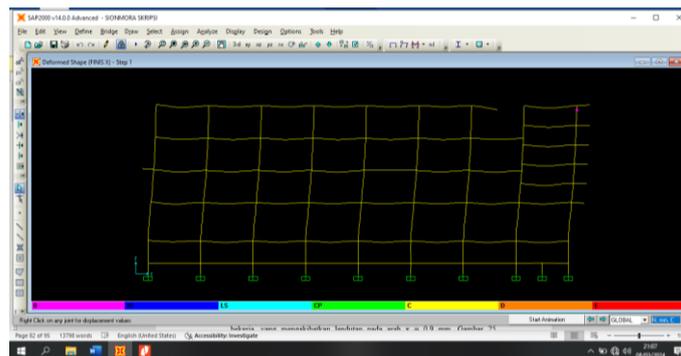
Gambar 5. Periode Getar Alami Struktur Mode 2 (SAP2000 V 14, 2024)

Selanjutnya, hasil dari *output* analisis *pushover* didapatkan kurva kapasitas dari struktur. Dimana kurva kapasitas dapat membantu mengidentifikasi titik di mana struktur mulai mengalami deformasi plastik yang signifikan atau bahkan *colaps*. Informasi dari kurva kapasitas yang diperoleh dapat membantu dalam menentukan gempa desain yang sesuai untuk struktur, sehingga struktur dapat dirancang untuk bertahan dari gempa dengan tingkat

kerusakan tertentu. Ini membantu dalam mengevaluasi tingkat keamanan struktur. Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* untuk masing-masing adalah sebagai berikut.

Kurva Kapasitas arah-X (kurva *Pushover*)

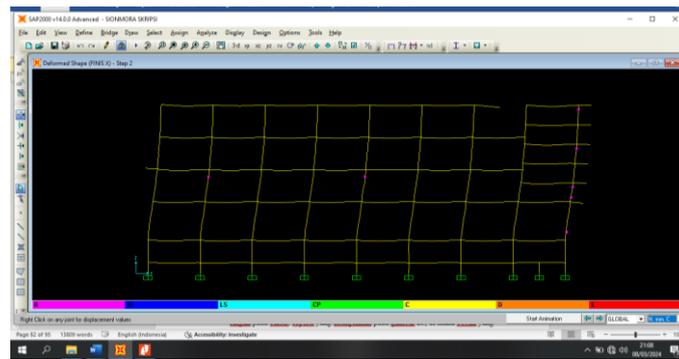
Kurva kapasitas hasil dari analisis statik beban dorong menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan (*displacement*) atap akibat beban lateral yang diberikan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu sampai pada kondisi ultimit atau target peralihan yang diharapkan. Dari hasil *running pushover analysis* dengan *software* SAP2000 untuk arah-didapatkan 7 Step pola beban dorong yang diberikan sehingga struktur mengalami keruntuhan. Dari 7 Step beban dorong tersebut dapat digambarkan grafik hubungan gaya dan perpindahan terhadap struktur. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinier. Perubahan perilaku struktur dari linier menjadi nonlinier berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva akibat terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom. Pada awal beban, struktur akan mengalami deformasi yang masih dalam rentang elastis, di mana struktur dapat kembali ke bentuk semula tanpa perubahan permanen. Hubungan antara gaya dan deformasi pada tahap ini masih mengikuti hukum Hooke yang linear. Ketika beban terus meningkat, pada suatu titik material struktural akan mencapai batas elastisnya. Ini adalah kondisi di mana material mulai mengalami deformasi plastis yang tidak dapat pulih sepenuhnya setelah beban dilepaskan. Kondisi setiap *step* ini dapat dilihat pada gambar 6 – 12 berikut.



Gambar 6. *Push* Arah-X Step ke-1 (SAP2000 V 14, 2024)

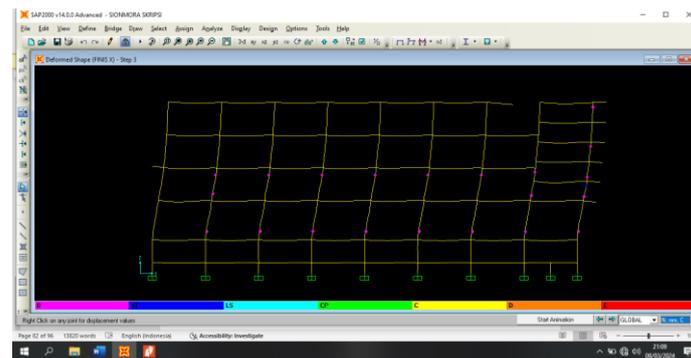
Pelelehan sendi plastis pada portal akibat *push* X pertama kali terjadi pada *step* ke 1 seperti pada gambar 6. Pada *step* ke 1 ini, besar perpindahan adalah sebesar 0,0009 m dan gaya geser dasar sebesar 15046,659 KN. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang ditandai dengan titik pada elemen balok yang berwarna merah muda yang berarti berada pada level B.

EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR ATAS GEDUNG SUZUYA PEMATANGSIANTAR MENGGUNAKAN METODE PHUSOVER



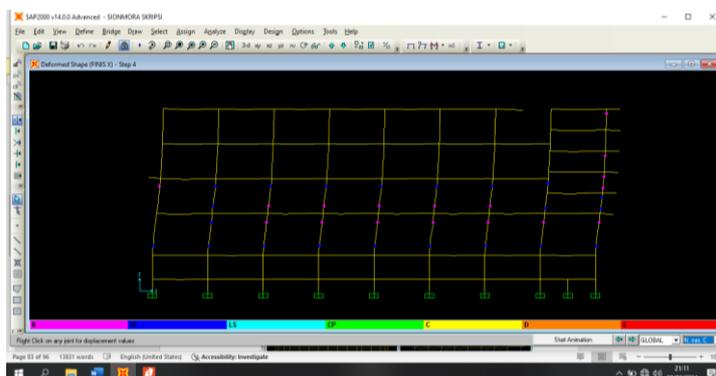
Gambar 7. *Push* Arah-X Step ke -2(SAP2000 V 14, 2024)

Pelehan sendi plastis pada portal akibat *push* X berikutnya terjadi pada *step* ke 2 yang terlihat pada gambar 7. Pada *step* ke 2 ini kondisinya masih sama dengan step 1 namun jumlah struktur yang mengalami kerusakan lebih banyak dengan besar perpindahan adalah sebesar 0,004460 m dan gaya geser dasar sebesar 47611,039 KN. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang di tandai dengan titik pada elemen balok yang berwarna merah muda yang berarti berada pada level B.



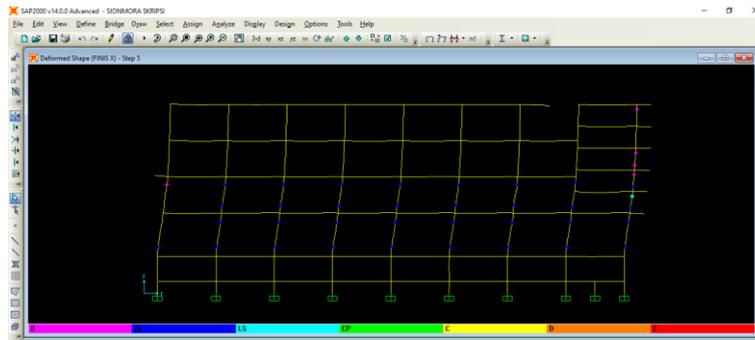
Gambar 8. *Push* Arah-X Step ke-3 (SAP2000 V 14, 2024)

Terjadi peningkatan jumlah pelehan yang terjadi pada portal akibat *push* pada *step* ke 3 yang terlihat pada gambar 8. Ditandai dengan titik merah muda yang lebih banyak daripada *step* sebelumnya dan tanda titik yang berwarna biru ini menandakan bahwa struktur mulai mengalami kerusakan menengah (*Immediate Occupancy*) dengan besar perpindahan adalah sebesar 0,005927 m dan gaya geser dasar sebesar 53851,534 KN.



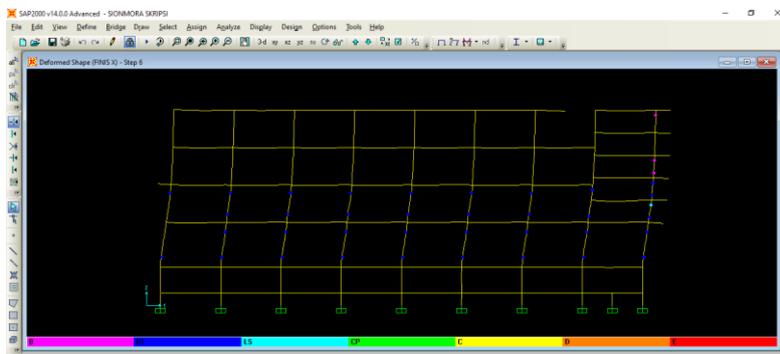
Gambar 9. *Push* arah-X step ke-4 (SAP 2000 V 14, 2024)

Pada *step* ini terjadi peningkatan jumlah pelehan yang terjadi pada portal akibat *push* pada *step* ke 4 yang terlihat pada gambar 9. Ditandai dengan titik merah muda dan tanda titik yang berwarna biru yang lebih banyak daripada *step* sebelumnya ini menandakan bahwa struktur mulai mengalami kerusakan menengah (*Immediate Occupancy*) mendekati kerusakan kategori *life safety* (LS) dengan besar perpindahan adalah sebesar 0,009714 m dan gaya geser dasar sebesar 60368,511 KN.



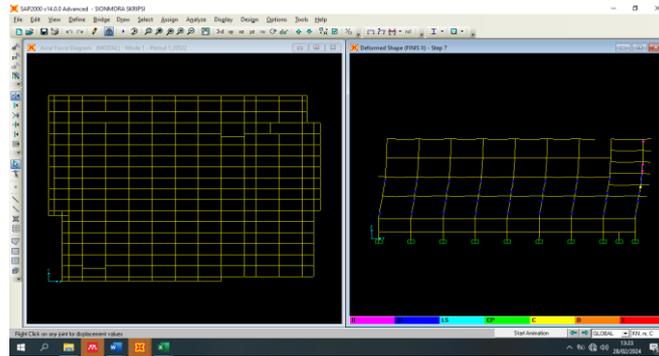
Gambar 10. Push arah-X step ke-5 (SAP 2000 V 14, 2024)

Pada *step* ini terjadi peningkatan jumlah pelehan yang terjadi pada portal akibat *push* pada *step* ke 5 yang terlihat pada gambar 10. Ditandai dengan titik yang berwarna biru muda menandakan bahwa struktur mulai mengalami kerusakan kategori *life safety* (LS) dengan besar perpindahan adalah sebesar 0,013520 m dan gaya geser dasar sebesar 64098,797 KN.



Gambar 11. Push arah-X step ke-6 (SAP 2000 V 14, 2024)

Kerusakan pada *step* ini sama dengan kerusakan yang terjadi pada *step* 5. Ditandai dengan titik yang berwarna biru muda menandakan bahwa struktur mulai mengalami kerusakan kategori *life safety* (LS) dengan besar perpindahan adalah sebesar 0,013910 m dan gaya geser dasar sebesar 64325,621 KN.



Gambar 12. Push arah-X step ke-7 (SAP 2000 V 14, 2024)

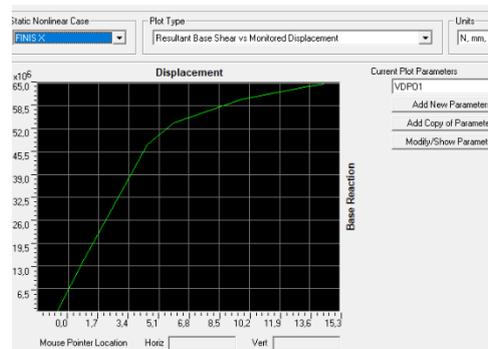
Pada step 7 ini merupakan batas maksimum struktur yang mengalami kondisi *collapse*. Seiring ditingkatkannya gaya dorong terbentuklah sendi-sendi plastis lainnya pada balok yang mulai ada yang berwarna biru (mulai tampak kerusakan struktur ringan pada balok) seperti yang ditunjukkan pada gambar 12, di mana beban yang bekerja, yang mengakibatkan lendutan pada arah $x = 0,9$ mm. Gambar 12 menunjukkan visualisasi perilaku struktur dan terbentuknya sendi-sendi plastis pada posisi-posisi struktur akibat dibebani beban tertentu pada pusat masa dimana besarnya beban tersebut ditingkatkan secara berangsur-angsur.

Setelah mencapai pelelehan struktur akan mengalami deformasi plastis serta perubahan bentuk yang permanen yang dapat terlihat dalam kurva kapasitas. dengan adanya penurunan kemiringan kurva setelah mencapai *yield point*. Selanjutnya, deformasi plastis dapat mengakibatkan terbentuknya sendi plastis atau daerah di dalam struktur yang mengalami perubahan deformasi yang lebih signifikan dari pada daerah sekitarnya. Ini menyebabkan penurunan kekakuan seluruh struktur, yang tergambar dalam penurunan kemiringan kurva kapasitas. Ketika beban terus ditingkatkan, maka deformasi plastis akan terus bertambah, dan struktur akan berperilaku semakin nonlinier. Deformasi akan terus bertambah meskipun beban mungkin tidak bertambah secara linear. Pada titik tertentu, struktur akan mencapai batas ultimatnya, di mana struktur mungkin mengalami kegagalan atau runtuh. *Step* pola dorong hasil *running* dengan program analisis struktur dapat dilihat pada Tabel 28.

Tabel 1. Step by step analisis pushover arah X (SAP 2000 V 14, 2024)

Step	Displacement m	BaseForce KN	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	-0,000667	0	4221	1	0	0	0	0	0	0	4222
1	0,000904	15.046,659	4220	2	0	0	0	0	0	0	4222
2	0,004460	47.611,039	4147	74	1	0	0	0	0	0	4222
3	0,005927	53.851,347	4021	196	5	0	0	0	0	0	4222
4	0,009714	60.368,511	3828	267	127	0	0	0	0	0	4222
5	0,013520	64.098,797	3728	220	273	1	0	0	0	0	4222
6	0,013910	64.325,621	3720	223	278	1	0	0	0	0	4222
7	0,014410	64.746,662	3713	213	295	0	0	1	0	0	4222

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pada setiap kenaikan beban dorong yang diberikan maka kondisi plastis pada elemen juga akan meningkat secara bertahap. Pada Gambar 25 adalah gambar terjadinya sendi plastis maksimum pada elemen struktur untuk arah-X. Pada tahap ini *displacement* maksimum sebesar 0,9 mm dengan *base shear* sebesar 15046,659 kN. Dari Tabel 28 dapat dibuat grafik hubungan gaya dengan perpindahan untuk setiap step beban dorong yang diberikan. Grafik tersebut merupakan kurva kapasitas struktur untuk arah X yang dapat dilihat pada Gambar 26. Gambar 26 menampilkan mekanisme terbentuknya sendi plastis maksimum.



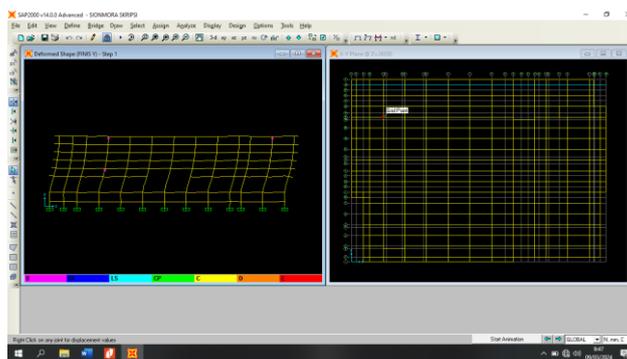
Gambar 13. Kurva kapasitas arah-X (SAP 2000 V 14, 2024)

Pada grafik gambar 13 respon linier dimulai dari titik *displacement* 0,000904 (*unloaded component*) dan kelelahan mulai terjadi pada titik *displacement* 0,014410. Respon dari titik 0,004460 ke titik 0,005927 merupakan respon elastis plastis. Titik 0,014410 merupakan titik yang menunjukkan puncak kekuatan komponen, dan nilai absisnya yang merupakan deformasi menunjukkan dimulainya degradasi kekuatan struktur (garis C-D pada grafik respon linear). Pada titik 0,013910, respon komponen struktur secara substansial

menghadapi pengurangan kekuatan menuju titik 0,001440. Untuk deformasi yang lebih besar dari titik 0,001440, kekuatan komponen struktur menjadi nol .

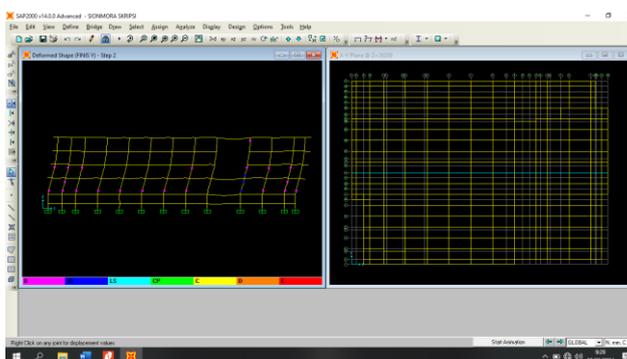
Kurva Kapasitas arah-Y (kurva *Pushover*)

Pada arah-Y, terdapat 5 *Step* pola beban dorong yang diberikan pada struktur hingga mengalami keruntuhan ditampilkan pada Tabel 29. Untuk arah-Y mekanisme terbentuknya sendi plastis maksimum dapat dilihat pada Gambar 37.



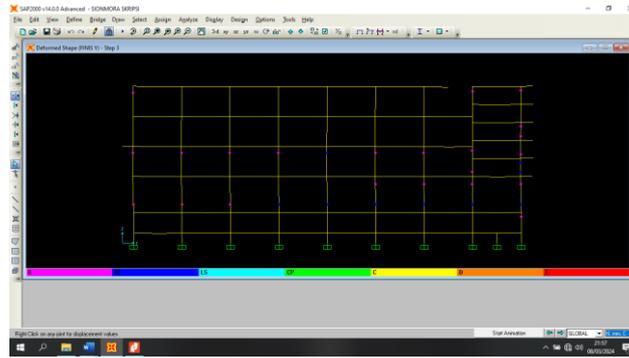
Gambar 14. *Push* arah-Y *step* ke-1 (SAP 2000 V 14, 2024)

Pelelehan sendi plastis pada portal akibat *push* Y pertama kali terjadi pada *step* ke 1 seperti pada gambar 14. Pada *step* ke 1 ini, besar perpindahan adalah sebesar 0,059626 m dan gaya geser dasar sebesar 28017,711 KN. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang ditandai dengan titik pada elemen balok yang berwarna merah muda yang berarti berada pada level B.



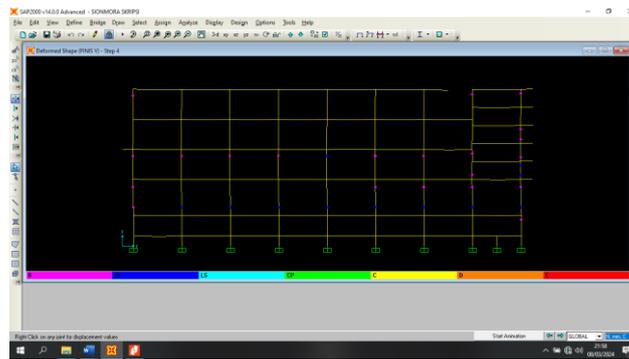
Gambar 15. *Push* arah-Y *step* ke-2 (SAP 2000 V 14, 2024)

Pada *step* ini terjadi peningkatan jumlah kerusakan yang terjadi pada portal akibat *push* pada *step* ke 2 yang terlihat pada gambar 15. Ditandai dengan titik merah muda dan tanda titik yang berwarna biru yang menandakan bahwa struktur mulai mengalami kerusakan menengah (*Immediate Occupancy*) mendekati kerusakan kategori *life safety* (LS) dengan besar perpindahan adalah sebesar 0,120032 m dan gaya geser dasar sebesar 52999,837 KN.



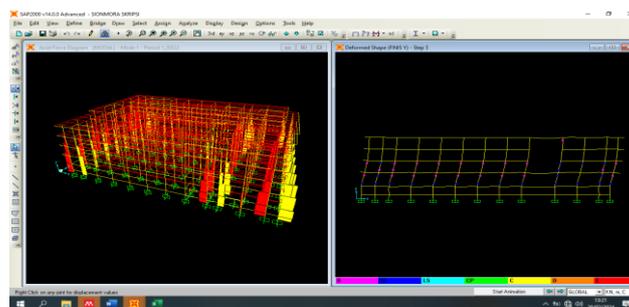
Gambar 16. Push arah-Y step ke-3 (SAP 2000 V 14, 2024)

Pada *step* ini terjadi kerusakan pada portal akibat *push* sama dengan pada *step* ke 3 yang terlihat pada gambar 16. Ditandai dengan titik merah muda dan tanda titik yang berwarna biru yang lebih banyak daripada *step* sebelumnya ini menandakan bahwa struktur mulai mengalami kerusakan menengah (*Immediate Occupancy*) mendekati kerusakan kategori *life safety* (LS) dengan besar perpindahan adalah sebesar 0,146636 m dan gaya geser dasar sebesar 58347,703 KN.



Gambar 17. Push arah-Y step ke-4 (SAP 2000 V 14, 2024)

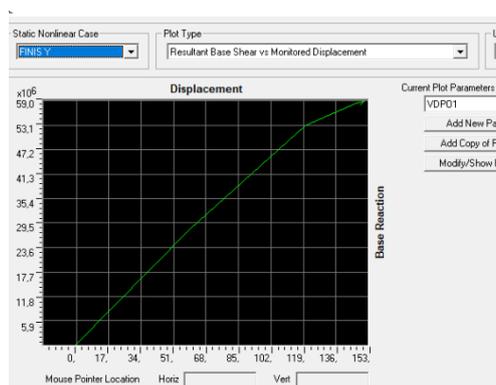
Pada gambar 17 ditandai dengan titik merah muda dan tanda titik yang berwarna biru yang lebih banyak daripada *step* sebelumnya ini menandakan bahwa struktur mulai mengalami kerusakan menengah (*Immediate Occupancy*) mendekati kerusakan kategori *life safety* (LS) dengan besar perpindahan adalah sebesar 0,158066 m dan gaya geser dasar sebesar 58897,495 KN.



Gambar 18. Push arah-Y step ke-5 (SAP 2000 V 14, 2024)

Saat di *step* 5 sendi plastis muncul hampir diseluruh elemen balok dan kolom. Pada tahap ini *displacement* maksimum sebesar 59,6 mm dengan *base shear* sebesar 28017,117 kN, serta terjadi penurunan besarnya gaya geser karena telah memasuki kondisi limit nonlinier. Terlihat pada Gambar 18 terjadi distribusi sendi plastis yang menentukan yaitu yang ditunjukkan dengan berwarna merah muda yang menyatakan terjadi pelelehan pertama akibat gaya geser yang akan mengalami keruntuhan secara perlahan akibat beban dorong yang diberikan.

Mekanisme keruntuhan untuk portal sumbu diawali dengan pembentukan sendi plastis pada balok di lantai terendah dan secara bertahap naik keatas seiring dengan penambahan beban dorong yang diberikan kemudian terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom hingga struktur mengalami keruntuhan. Mekanisme keruntuhan seperti ini menggambarkan bahwa perencanaan struktur bangunan tersebut sesuai dengan konsep desain kolom kuat dan balok lemah (*strong column – weak beam*) yang dikehendaki.



Gambar 19. Kurva kapasitas arah-Y (Sumber, SAP 2000 V 14)

Dari Tabel 2 dapat dibuat grafik hubungan gaya dengan perpindahan untuk setiap step beban dorong yang diberikan. Grafik tersebut merupakan kurva kapasitas struktur untuk arah Y dan dapat dilihat pada Gambar 27. Pada grafik gambar 31 diatas respon linier dimulai dari titik *displacement* -0,006647 (*unloaded component*) dan kelelahan mulai terjadi pada titik *displacement* 0,023641. Respon dari titik 0,023641 ke titik 0,024279 merupakan respon elastis plastis. Titik 0,024279 merupakan titik yang menunjukkan puncak kekuatan komponen, dan nilai absisnya yang merupakan deformasi menunjukkan dimulainya degradasi kekuatan struktur (garis C-D pada grafik respon linear). Pada titik 0,024581, respon komponen struktur secara substansial menghadapi pengurangan kekuatan menuju titik 0,024546. Untuk deformasi yang lebih besar dari titik 0,024546, kekuatan komponen struktur menjadi nol.

Tabel 2. Step by step analisis pushover arah Y (SAP 2000 V 14, 2024)

Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	KN									
0	-0,000667	0,000	4221	1	0	0	0	0	0	0	4222
1	0,059626	28.017,711	4219	3	0	0	0	0	0	0	4222
2	0,120032	52.999,837	3980	213	29	0	0	0	0	0	4222
3	0,146636	58.347,703	3803	272	147	0	0	0	0	0	4222
4	0,150866	58.897,495	3785	265	172	0	0	0	0	0	4222
5	0,148671	57.877,271	3785	265	172	0	0	0	0	0	4222

Pembahasan

Analisis Pada Arah 0 -X

Dari hasil analisis pada software SAP2000 didapat nilai-nilai yaitu:

Sa : 0,421

Sd : 0,085

Base Shear : 64746,662 kN

Displacement : 0,014410 m

Untuk menentukan level kinerja struktur perlu dilakukan perhitungan maksimum total *drift*, yang mana ini mengacu pada ketinggian keseluruhan struktur dari dasar hingga puncaknya. Maksimum total *drift* adalah perbandingan antara nilai simpangan maksimum pada struktur dengan total tinggi struktur. Hasil perhitungan ini akan memberikan rasio yang menggambarkan seberapa besar perpindahan lateral maksimum dibandingkan dengan tinggi struktur. Semakin rendah rasio ini, semakin baik struktur dapat menahan guncangan gempa. Penting untuk diingat bahwa nilai ambang batas untuk maksimum total drift bervariasi tergantung pada tipe struktur, tujuan penggunaan struktur, zona gempa, dan regulasi yang berlaku di wilayah tersebut. Pada umumnya, ada batasan tertentu yang ditetapkan oleh kode bangunan dan regulasi keamanan.

Hasil dari simpangan yang terjadi pada struktur gedung ini dapat dilihat di bawah ini:

$$Drift = \frac{D}{H} = \frac{9 \text{ mm}}{2700 \text{ mm}} = 0,0003 \leq 0,01$$

Maka struktur termasuk ke dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO)

Hasil dari perhitungan ini akan memberikan nilai yang mengindikasikan sejauh mana struktur tersebut mengalami deformasi selama guncangan. Nilai total *drift* ini kemudian dapat

dibandingkan dengan kriteria kinerja yang ditetapkan dalam standar peraturan atau pedoman desain untuk menentukan level kinerja struktur tersebut. Perlu diingat bahwa standar dan pedoman desain berbeda-beda berdasarkan wilayah geografis dan jenis struktur. Dalam praktiknya, pemodelan struktur dan perhitungan total *drift* melibatkan perangkat lunak simulasi gempa atau perangkat analisis struktur yang sesuai.

Analisis Pada Arah-Y

Dari hasil analisis pada aplikasi SAP2000 didapat nilai-nilai yaitu:

$S_a : 0,388$

$S_d : 0,090$

Base Shear : 58897,495 kN

Displacement : 0,150866 m

Untuk menentukan level kinerja struktur perlu dilakukan perhitungan maksimum total *drift*, yaitu dengan membagi nilai simpangan pada struktur dengan total tinggi struktur.

$$Drift = \frac{D}{H} = \frac{59,6 \text{ mm}}{2700 \text{ mm}} = 0,002 \leq 0,01$$

Struktur tersebut aman dan stabil dari segi struktural. Ini berarti struktur memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban yang diantisipasi, seperti beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Ruang atau bangunan tersebut memenuhi fungsi utama yang direncanakan yaitu sebagai kantor dan apartemen, dan aktivitas sehari-hari. Maka struktur termasuk ke dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa perilaku struktur gedung bersifat non-linier, terutama terjadi dalam kondisi beban yang lebih tinggi atau deformaasi yang signifikan. Pada arah X, displacement maksimum mencapai 0,014410 m dengan base shear sebesar 64.746,662 kN, dan terjadi collapse pada step ke-7. Sementara pada arah Y, displacement adalah 0,150866 m dengan base shear 58.897,495 kN. Kedua arah menunjukkan bahwa struktur dapat mempertahankan fungsi tanpa kerusakan signifikan, masuk dalam kategori "Immediate Occupancy" sesuai ATC-40. Dalam kondisi ini, struktur dianggap aman dan memenuhi kriteria "Collapse Prevention (CP)". Kesimpulan ini diperoleh dari analisis pushover baik untuk arah X maupun Y.

DAFTAR PUSTAKA

- Yenny Nurchasanah, W. A. (2020). Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Terhadap Analisis Beban Dorong . Fakultas Teknik UM Makassar.
- MASRIL, Analisis Struktur Atas Empat Lantai Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000 Studi Kasus : Gedung Kantor Bersama Sijunjung, 2019(n.d.).
- Hasibuan, S. A., Karisma, D. A., & Zhafira, T. (2023). Performance Evaluation of the Structure of the Klaten DPRD Building When Affected by a 7.0 Magnitude Earthquake. *AIJ*, 03(01), 50-57
- MASRIL. (2019). Analisis Struktur Atas Empat Lantai Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP2000 Studi Kasus : Gedung Kantor Bersama Sijunjung. *Ensiklopedia Of Journal*, 230-233.
- Masril. (2019). VOL.2. ANALISIS STRUKTUR ATAS EMPAT LANTAI DENGAN ANALISIS PUSHOVER, 230-233.
- MASRIL. (2019). VOL.2. SUMATERA BARAT: UNIVERSITAH MUHAMMADIYAH.
- Yenny Nurchasanah, W. A. (2020). Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Terhadap Analisis Beban Dorong. *Analisis Beban Dorong*, 177-181.
- Yenny Nurchasanah, W. A. (2020). Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Terhadap Analisis Beban Dorong . Fakultas Teknik UM Makassar
- Firdha, R. A., Isneini, M., Husni, H. R., & Widyawati, R. (2021). Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis (Studi Kasus: Gedung Rawat Inap Non-Bedah Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 9(4), 829-840.
- Gunawan, L. Y., & Idris, Y. (2018). Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Hotel Harper Palembang Dengan Pushover Analysis Menggunakan Program Sap2000 (Doctoral Dissertation, Sriwijaya University).
- Habibi, I. (2019). Analisa Pushover Pada Bangunan Gedung Telkomsel Di Kota Pematang Siantar (Studi Kasus) (Doctoral Dissertation).
- Istiono, H., & Ramadhan, A. Y. (2020). Analisis Pengaruh P-Delta Effect Terhadap Perbedaan Ketinggian Struktur Gedung Tahan Gempa (Studi Kasus: Non-Highrise Building). *Rekayasa Sipil*, 14(3), 218-226.
- Nurjaman, H. N. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung. Bsn.
- Nurjaman, H. N. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan. Bsn.

- Potalangi, J. G., Manalip, H., & Wallah, S. E. (2020). Analisis Keruntuhan Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa Dan Beban Angin Dengan Metode Pushover. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1).
- Pramudhita, G., & Buwono, H. K. (2019). Analisis Nonlinier Static Pushover Struktur Gedung Bertingkat Soft Story Dengan Menggunakan Material Beton Bertulang Dan Beton Prategang Pada Balok Bentang Panjang. *Konstruksia*, 10(2), 95-106.
- Septian, N., Turuallo, G., & Sulendra, I. K. (2022). Kinerja Portal Struktur Gedung Tahan Gempa Dengan Sistem Ganda Menggunakan Metode Pushover Analysis. *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal On Research And Development*, 35-42.
- Siswanto, A. B. (2018). Kriteria dasar perencanaan struktur bangunan tahan gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 11, 59-72.
- Sriwahyuningsih, Y. Analisis Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Beban Dorong (Pushover)(Studi Kasus: Hotel Santika Banyuwangi).
- Sodik, A. S. N., & Andayani, R. (2021). Pengaruh Penerapan Sni 1726: 2019 Terhadap Desain Struktur Rangka Momen Beton Bertulang Di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 17(1), 1-12.
- Tampubolon, S. P., Sarasantika, I. P. E., & Suarjana, I. W. G. (2022). Analisis Kerusakan Struktur Bangunan Dan Manajemen Bencana Akibat Gempa Bumi, Tsunami, Dan Likuifaksi Di Palu. *Bentang: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 10(2), 169-186.
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. (2020, November). Analisis Pushover Pada Bangunan Bertingkat Beton Bertulang 7 Lantai Menggunakan Metode Fema-356. In *Seminar Nasional Ilmu Terapan (Vol. 4, No. 1, Pp. C-50)*.