

RESPON DAN KINERJA SENDI PLASTIS BETON POLIMER UNTUK KOLOM DENGAN VINYL ESTER TERHADAP BEBAN STATIS

Muhammad Fauzan Aziz¹, Taufiq Rochman², Bambang Irawan³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang³

fauzan.aziz7@gmail.com¹, taufiq.rochman@polinema.ac.id², bambang.irawan@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Bangunan dengan lantai dasar yang lemah rentan mengalami beberapa kerusakan struktur, dan bahkan runtuh. Metode baru yang digunakan untuk mereduksi pengaruh beban siklis pada struktur kolom bangunan akibat gempa yang lebih tahan gempa dan efektif salah satunya adalah Sendi Plastis Beton Polimer untuk Kolom dengan *Vinyl Ester* Terhadap Beban Siklis. Sehingga, dapat dianalisa pengaplikasian sistem sendi plastis, respon dan kinerja, nilai rasio dan besaran simpangan lateral maksimum, beton polimer untuk kolom dengan *vinyl ester* terhadap beban siklis, serta perbandingan uji kolom yang diberi beton polimer pada sendi plastis dengan beton normal. Hasil penelitian, diperoleh : komposisi terbaik 43,52% *vinyl ester* ; 1,52% *mepoxe* ; 0,65% *cobalt* ; 18,10% *fly ash* ; 36,20% pasir besi lumajang dengan berat jenis 1707,414 kg/m³, kuat tekan sebesar 135,73 MPa, kuat tarik sebesar 13,312 MPa, dan kuat lentur sebesar 5,288 MPa menggunakan metode *precast*. Tegangan puncak dari respon dan kinerja beton polimer *vinyl ester* H-10 sebesar 6 kN, H-15 sebesar 8,5 kN, H-20 sebesar 6 kN dan untuk beton normal sebesar 8 kN. Rasio dan nilai simpangan lateral maksimum pada spesimen H-10 sebesar 6% dan 92,67 mm, spesimen H-15 sebesar 7,6% dan 114,7 mm, dan spesimen H-20 sebesar 7,8% dan 116,64 mm. Perbandingan nilai tegangan puncak, rasio dan nilai simpangan lateral maksimum pada kolom normal dengan kolom yang diberi beton polimer pada spesimen H-10 75% dari tegangan puncak beton normal, 101,70% dari rasio lateral maksimum beton normal, 104,07% dari simpangan lateral maksimum beton normal, spesimen H-15 106,25% dari tegangan puncak beton normal, 128,81% dari rasio simpangan lateral maksimum beton normal, 128,80% dari simpangan lateral maksimum beton normal, spesimen H-20 75% dari tegangan puncak beton normal dan 132,20% dari rasio simpangan lateral maksimum beton normal, 130,98% dari simpangan lateral maksimum beton normal.

Kata kunci : beton bertulang, beton polimer, sendi plastis, *vinyl ester*

ABSTRACT

Buildings with weak ground floors suffered some structural damage, and even collapsed. The new method used to reduce the effect of cyclic loads on earthquake-resistant and effective column structures due to one of them is Polymer Concrete Plastic Joints for Columns with Vinyl Ester Against Cyclic Loads. Thus, it can be analyzed the application of the plastic hinge system, the response and performance, the value of the ratio and the magnitude of the maximum lateral displacement, polymer concrete for columns with vinyl ester against cyclic loads, as well as the test comparison of columns given polymer concrete on plastic hinges with normal concrete. The results, obtained: the best composition is 43,52% vinyl ester; 1,52% mepoxe ; 0,65% cobalt; 18,10% fly ash ; 36,20% lumajang iron sand with a specific gravity of 1707,414 kg/m³, a compressive strength of 135,73 MPa, a tensile strength of 13,312 MPa, and a flexural strength of 5,288 MPa using the precast method. The peak stress of the response and performance of polymer vinyl ester concrete H-10 is 6 kN, H-15 is 8,5 kN, H-20 is 6 kN and for normal concrete is 8 kN. The ratio and value of the maximum lateral deviation on the H-10 specimen is 6% and 92,67 mm, H-15 specimen is 7,6% and 114,7 mm, and H-20 specimen is 7,8% and 116,64 mm. Comparison of peak stress values, ratios and maximum lateral displacement values in normal columns with polymer concrete columns on H-10 specimens 75% of the peak stresses of normal concrete, 101,70% of the maximum lateral ratio of normal concrete, 104,07% of the maximum lateral deviation of normal concrete, H-15 is 106,25% of the peak stress of normal concrete, 128,81% of the maximum lateral displacement ratio of normal concrete, 128,80% of the maximum lateral deviation of normal concrete, H-20 75% of the peak stress of normal concrete and 132,20% of the maximum lateral displacement ratio of normal concrete, 130,98% of the maximum lateral displacement of normal concrete.

Keywords : reinforced concrete, polymer concrete, plastic hinge, *vinyl ester*

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu kepulauan yang berada di kawasan cincin api (*ring of fire*), dimana resiko untuk terjadi bencana sangat tinggi. Menurut Asian Disaster Reduction Centre (2013) dan the United Nation (1992) bencana adalah suatu gangguan serius terhadap fungsi masyarakat yang mengakibatkan kerugian manusia, material atau lingkungan yang luas melebihi kemampuan masyarakat yang terkena dampak dan harus mereka hadapi menggunakan sumber daya yang ada pada mereka.

Gempa bumi merupakan peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba akibat adanya deformasi lempeng tektonik pada kerak bumi (Hartuti, 2009). Hal ini menyebabkan karakteristik dan dampak yang terjadi akibat gempa bumi juga berbeda-beda (Atmojo & Muhandis, 2019). Salah satu dampak yang paling sering terlihat adalah kerusakan pada struktur suatu bangunan gedung. Konstruksi gedung yang harus diperhitungkan saat perencanaan konstruksi gedung antara lain beban angin, beban gempa, beban hidup dan beban gedung itu (Saptonowati & Payogo, 2015). Faktor gempa menjadi salah satu faktor penting dalam perencanaan suatu bangunan gedung terutama pada gedung bertingkat.

Beton bertulang (*reinforced concrete*) mempunyai kekuatan daya dukung yang besar untuk menahan tekan tetapi lemah dalam menahan gaya tarik (Saptonowati & Payogo, 2015). Salah satu komponen struktur gedung yang berpotensi mengalami kegagalan adalah struktur kolom. Potensi kegagalan struktur kolom pada gedung bertingkat lebih besar karena terjadinya gaya lateral akibat beban siklis yang besar pada struktur kolom bangunan tersebut.

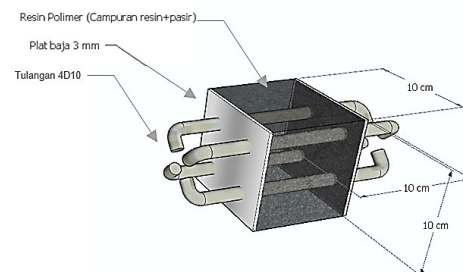
Bangunan dengan lantai dasar yang lemah rentan mengalami beberapa kerusakan struktur, dan bahkan runtuh. Bangunan seperti itu cenderung menunjukkan *slope* negatif pada kurva kapasitas karena mekanisme lantai dasar yang lemah yang dapat menyebabkan ketidakstabilan dinamis pada saat terjadinya aplikasi gempa (JorgeRuiz-García, 2021). Kolom pada lantai dasar merupakan komponen struktur gedung utama yang menyebabkan bangunan tersebut tetap berdiri, apabila terjadi kegagalan pada sendi kolom lantai dasar saat terjadi gempa, maka bangunan tersebut akan mengalami keruntuhan.

Menurut SNI 2847:2019, daerah sendi plastis adalah panjang elemen rangka dimana pelelehan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa. Sehingga diperlukan metode baru menggunakan analisis *Hysteresis Loop*, metode ini berdasarkan pada pendekatan secara ideal untuk mengetahui respon dinamis saat mengalami eksitasi trigonometri (Iwan, 1966). Metode baru untuk mereduksi pengaruh beban siklis pada struktur kolom bangunan akibat

gempa yang lebih tahan gempa dan efektif salah satunya adalah Sendi Plastis Beton Polimer untuk Kolom dengan *Vinyl Ester* Terhadap Beban Siklis.

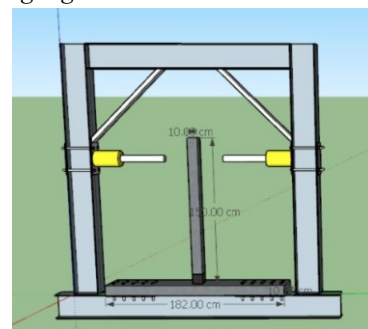
2. METODE

Data primer yang digunakan pada penelitian ini berupa 3 buah desain spesimen berbentuk kubus dengan dimensi 10x10x10cm; 10x10x15cm; 10x10x20cm. Mutu spesimen yang akan digunakan adalah persentase campuran Resin + FA + PBL 45,7%;18,1%;36,2%. Sedangkan data sekunder yang dimaksudkan adalah referensi berupa jurnal, buku-buku, peraturan yang berlaku, serta skripsi yang berjudul “Kinerja Material Baru Dari Beton Polimer Vinil Ester Terhadap Uji Tekan, Tarik, Dan Lentur” oleh Anggara Mahatma Wicaksono (2021) sebagai acuan komposisi terbaik beton polimer.



Gambar 1. Desain Spesimen Tampak Isometri
Sumber: Hasil Perencanaan

Rancangan spesimen adalah sampel awal yang diaplikasikan dengan menggunakan beberapa alat pengujian berupa *dial gauge*, *strain gauge*, *hydraulic hand pump trolley with pressure gauge*.



Gambar 2. Penempatan Spesimen Sambungan Sendi Plastis Pada Kolom Saat Pengujian Statis Siklis Skala Laboratorium
Sumber: Hasil Perencanaan

Setelah itu, pengolahan data-data beban simpangan yang direkam oleh *strain gauge*. Berdasarkan hasil regangan yang direkam, didapatkan data untuk membuat kurva histerisis dari data variasi *strain gauge*. Berdasarkan ASTM E 2126-2011 data beban-beban simpangan lateral dapat diperoleh nilai kekakuan elastis, beban leleh, simpangan leleh, dan kurva EEEP.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Campuran Beton

Pengujian fisik dengan mutu rencana beton f_c' 30 MPa dari material yang akan digunakan sebagai berikut :

1. Hasil Pengujian Kadar Air Pasir

Nilai kadar air yang terdapat dari agregat halus yang akan digunakan sebagai berikut,

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kadar Air Agregat Halus

Pemeriksaan	Spesimen	Rata-Rata	
		I	II
Kadar Air $W_3 - W_5 / W_3 \times 100 \%$	0.26	0.26	0.26

Didapatkan kadar air spesimen 1 memiliki nilai 0,26% dan kadar air spesimen 2 memiliki 0,26% sehingga agregat halus memiliki kadar air rata-rata 0,26%.

2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Pasir

Nilai berat jenis dan penyerapan pasir yang terdapat dari agregat halus yang akan digunakan sebagai berikut,

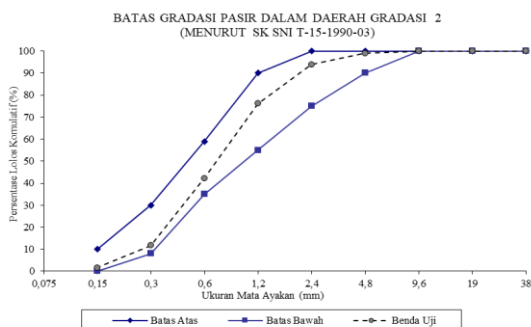
Tabel 2. Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pemeriksaan	Spesimen	Rata-rata		
		I	II	
Berat Jenis Bulk / Kering Oven (Oven Dray)	$\{(Bk / (B+500-Bt))\}$	2.690	2.627	2.658
Berat Jenis Jenuh Permukaan Kering (JPK / SSD)	$\{(500 / (B+500-Bt))\}$	2.713	2.651	2.682
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\{(Bk / (B+Bk-Bt))\}$	2.754	2.691	2.723
Penyerapan	$\{(500-Bk) / Bk \times 100\%$	0.867	0.908	0.888

Didapatkan bahwa agregat halus memiliki berat jenis bulk/kering oven dengan rata-rata 2,658, berat jenis jenuh permukaan kering dengan rata-rata 2,682, berat jenis semu dengan rata-rata 2,723, dan penyerapan dengan rata-rata 0,888%.

3. Hasil Pengujian Gradasi Pasir

Hasil pengujian gradasi agregat halus masuk pada zona 2. Jumlah pasir sebesar 519,90 gram dan angka kehalusan sebesar 2,75.



Gambar 3. Hasil Uji Gradasi Agregat Halus

4. Hasil Pengujian Kadar Organik Pasir



Gambar 4. Hasil Pengujian Kadar Organik Pasir

Warna yang didapatkan setelah didiamkan selama 24 jam berupa warna bening seperti pada nomor 1 dari acuan.

5. Hasil Pengujian Kadar Air Kerikil

Nilai kadar air yang terdapat dari agregat kasar yang akan digunakan sebagai berikut,

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan	Spesimen	Rata-Rata	
		I	II
Kadar Air $\{(W_3 - W_5) / W_3 \times 100 \%$	1,19	1,20	1,19

Didapatkan kadar air spesimen 1 memiliki nilai 1,19% dan kadar air spesimen 2 memiliki 1,20% sehingga agregat halus memiliki kadar air rata-rata 1,19%.

6. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Kerikil

Nilai berat jenis dan penyerapan pasir yang terdapat dari agregat halus yang akan digunakan sebagai berikut,

Tabel 4. Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pemeriksaan	Spesimen	Rata-rata		
		I	II	
Berat Jenis Bulk / Kering Oven (Oven Dray)	$\{(Bk / (B+500-Bt))\}$	2.612	2.628	2.620
Berat Jenis Jenuh Permukaan Kering (JPK / SSD)	$\{(500 / (B+500-Bt))\}$	2.651	2.672	2.661
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\{(Bk / (B+Bk-Bt))\}$	2.718	2.748	2.733
Penyerapan	$\{(500-Bk) / Bk \times 100\%$	1.483	1.667	1.575

Didapatkan bahwa agregat kasar memiliki berat jenis bulk/kering oven dengan rata-rata 2,658, berat jenis jenuh permukaan kering dengan rata-rata 2,682, berat jenis semu dengan rata-rata 2,723, dan penyerapan dengan rata-rata 0,888%.

7. Perencanaan Mix Design Beton

Setelah pengujian fisik selesai dilakukan, selanjutnya merancang *mix design* dari data hasil pengujian fisik agregat.

Rancangan *mix design* dari hasil pengujian fisik agregat dapat dilihat pada tabel berikut :

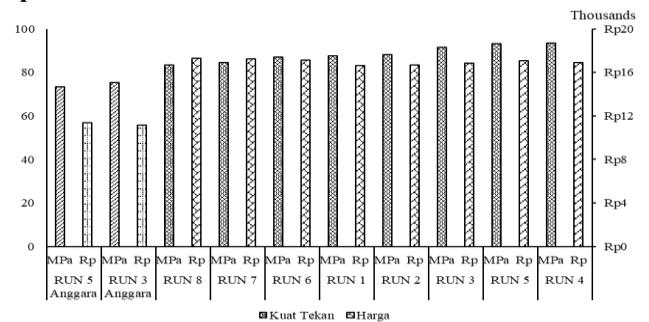
Tabel 5. Rancangan *Mix Design*

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat Tekan	30	MPa
2	Deviasi Standar	7	MPa
3	Nilai Tambah (Margin)	11.5	MPa
4	Kekuatan rata-rata ditargetkan	41.5	MPa
5	Jenis Semen	Semen Portland	
6	Jenis Agregat		
	Kasar	Batu Pecah	
	Halus	Pasir Besi	
7	Faktor Air Semen Bebas	0.5	
8	Faktor Air Semen Maksimum	0.6	
9	Slump	10-30	mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm
11	WH	160	
12	WK	190	
13	Kadar Air Bebas	170	kg/m ³
14	Jumlah Semen	340	kg/m ³
15	Jumlah Semen Maksimum	-	
16	Jumlah Semen Minimum	275	kg
17	Faktor Air Semen Yang Disesuaikan	-	
18	Susunan Besar Butir Agregat Halus	Zona 2	
19	Susunan Agregat Kasar Atau Campuran	-	
20	Persen Agregat Halus	35%	
21	Berat Jenis Relative, Agregat (Kering Permukaan)	2.66	g/cm ³
22	Berat Isi Beton	2350	kg/m ³
23	Kadar Agregat Gabungan	1840	
24	Kadar Agregat Halus	644	kg/m ³
25	Kadar Agregat Kasar	1196	kg/m ³

Analisis Pengujian Kuat Tekan *Trial* Komposisi Resin

- Analisis Pengaruh Komposisi Terhadap Kuat Tekan**
Disimpulkan bahwa komposisi campuran *Vinyl Ester* dalam resin tidak signifikan berpengaruh terhadap kuat tekan dari spesimen tersebut.
- Analisis Pengaruh Komposisi Terhadap Harga 1 Spesimen**
Disimpulkan bahwa komposisi campuran *Vinyl Ester* dalam resin secara signifikan berpengaruh terhadap harga dari spesimen tersebut.
- Analisis Pengaruh Komposisi Terhadap Berat Jenis**
Disimpulkan bahwa komposisi campuran *Vinyl Ester* dalam resin tidak signifikan berpengaruh terhadap berat jenis dari spesimen tersebut.

4. Analisis Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Harga 1 Spesimen



Gambar 5. Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Harga 1 Spesimen
Disimpulkan bahwa harga tidak secara signifikan berpengaruh terhadap kuat tekan.

- Analisis Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Berat Jenis**
Disimpulkan bahwa berat jenis secara signifikan berpengaruh terhadap kuat tekan.
- Analisis Pengaruh Berat Jenis Terhadap Harga 1 Spesimen**
Disimpulkan bahwa harga tidak secara signifikan berpengaruh terhadap berat jenis.
- Pemilihan Komposisi Terbaik**
Diambil variasi komposisi resin terbaik yaitu RUN 4 dengan perbandingan komposisi antara resin *Vinyl Ester* ; *Mepoxe Catalyst* ; *Cobalt* dengan nilai 100 ; 3,5 ; 1,5 gram dan memiliki kuat tekan paling tinggi senilai 93,54 MPa dengan berat jenis 1121,07 kg/m³ serta harga 1 spesimen senilai Rp. 16,900.

Perbandingan Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Polimer dengan Beton Normal

Beban maksimum spesimen 1 sebesar 1051,9 kN dan spesimen 2 sebesar 1080,1 kN. Kuat tekan spesimen 1 sebesar 133,93 MPa dan spesimen 2 sebesar 137,52 MPa. Sehingga kuat tekan rata-rata adalah 135,73 MPa. Didapatkan pula berat jenis beton polimer sebesar 1707,41 kg/m³.

Dibuat spesimen silinder beton normal sebagai pembanding. Spesimen beton normal menggunakan mutu beton *fc'* 30 MPa dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Beban maksimum spesimen 1 sebesar 545,1 kN dan spesimen 2 sebesar 597,7 kN. Kuat tekan spesimen 1 sebesar 30,85 MPa dan spesimen 2 sebesar 33,82 MPa. Sehingga kuat tekan rata-rata adalah 32,34 MPa.

Perbandingan beton polimer dengan kuat tekan rata-rata 135,73 MPa, beton polimer memiliki kuat tekan 4,197 kali lipat dari beton *fc'* 30 yang hanya memiliki 32,34 MPa.

Pengujian Tarik dan Lentur

Spesimen untuk pengujian tarik dan lentur menggunakan komposisi yang sama dengan pengujian tekan silinder.

1. Pengujian Tarik Spesimen *Dogbone*



Gambar 6. Spesimen Tarik *Dogbone*

Didapatkan hasil pengujian mendapatkan spesimen BU 7 memiliki nilai tegangan ultimit paling besar dengan nilai 15,98 MPa dan nilai tegangan ultimit terendah dari semua spesimen dimiliki oleh spesimen 8 dengan nilai 11,90 MPa. Sedangkan untuk mencari nilai modulus elastisitas dapat menggunakan rumus tegangan dibagi dengan regangan dari spesimen tersebut. Nilai rata-rata tegangan maksimal sebesar 13,31 MPa dan rata-rata modulus elastisitas rata-rata sebesar 3448,70 MPa.

2. Pengujian Bending Tiga Titik Spesimen Sumbu Lemah



Gambar 7. Spesimen Lentur Sumbu Lemah

Disimpulkan spesimen 2 memiliki tegangan ultimit paling besar dengan nilai 1,93 MPa dan nilai tegangan ultimit terendah dimiliki oleh spesimen 5 dengan nilai 0,69 MPa. Sehingga apabila dirata-rata akan mendapatkan tegangan maksimal sebesar 1,13 MPa.

3. Pengujian Bending Tiga Titik Spesimen Sumbu Kuat



Gambar 8. Spesimen Lentur Sumbu Kuat

Disimpulkan spesimen 6 memiliki tegangan ultimit paling besar dengan nilai 5,89 MPa dan nilai tegangan ultimit terendah dimiliki oleh spesimen 5 dengan nilai 4,40 MPa. Sehingga apabila dirata-rata akan mendapatkan tegangan maksimal sebesar 5,29 MPa.

Pengujian Spesimen Statis Siklis Sendi Plastis Kolom

Penempatan spesimen sambungan sendi plastis pada kolom saat pengujian statis siklis skala laboratorium menggunakan rancangan awal.



Gambar 9. Penempatan Spesimen Pada *Loading Frame*

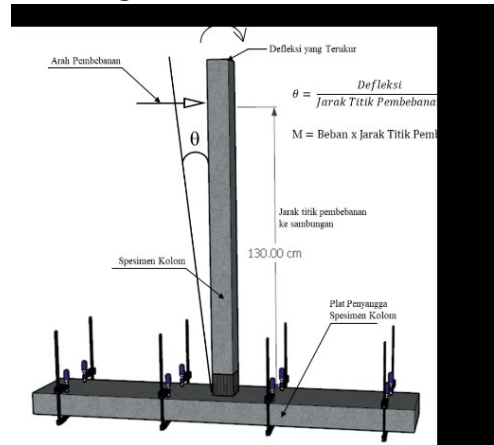
1. Kurva Pengulangan Beban

Dari hasil pengujian pada spesimen beton polimer di didapatkan kurva pengulangan beban sebanyak 2 kurva dari pembacaan *dial gauge*, dan 8 kurva dari pembacaan *strain gauge* pada spesimen

Plot respon gaya perpindahan dengan kapasitas beban lateral spesimen beton polimer pada *dial gauge* 1 diperoleh 2,6% drift dan diperkirakan akan terus naik. Sedangkan, untuk plot respon gaya perpindahan kapasitas beban lateral spesimen beton polimer pada *dial gauge* 2 mampu membawa beban pada sebesar 6,2% drift dan diperkirakan akan terus naik pula.

Berikut merupakan hasil dari pembacaan *strain gauge* yang terdapat pada spesimen,

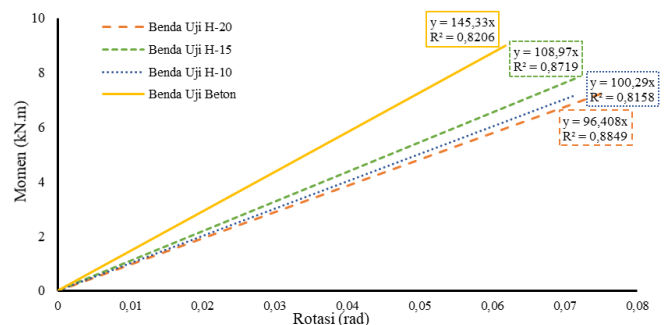
2. Kurva Hubungan Momen dan Rotasi



Gambar 10. Perhitungan Rotasi pada Spesimen Kolom

Nilai rotasi dihitung dengan cara membagi nilai defleksi yang telah dicapai selama pengujian dari hasil pembebanan berulung dengan jarak 130 cm dari titik pembebanan ke sambungan agar didapatkan nilai defleksi maksimum.

Dibuat gambar *trend* kemiringan yang menunjukkan kapasitas kemampuan rotasional dari spesimen tersebut dari kurva momen-rotasi spesimen.



Gambar 11. *Trend* Kemiringan Momen-Rotasi Spesimen

Didapatkan kemiringan spesimen yang memiliki beton polimer pada spesimen lebih landai dibandingkan spesimen beton normal. Spesimen beton normal terlihat dapat menahan momen lebih besar dibandingkan spesimen yang memiliki beton polimer, namun rotasi yang dihasilkan spesimen

dengan beton polimer lebih besar dibandingkan dengan spesimen beton normal.

3. Perbandingan Hasil Pengujian dengan Analisis

Nilai tegangan pengujian menjadi lebih besar dibandingkan nilai tegangan yang dihasilkan dari analisis RSAP 2021. Tegangan maksimum dari spesimen tidak lagi berada pada sambungan antara spesimen dan plat penyangga, sehingga nilai tegangan berkurang.

Pada pengujian maupun analisis keduanya menghasilkan nilai defleksi/lendutan yang lebih besar daripada spesimen yang tidak diberikan beton polimer meskipun beban yang diberikan lebih rendah.

4. Pola Keruntuhan Spesimen

Terjadi kegagalan pada sambungan kolom-*base plate*. Pada saat *dial gauge* 1 menunjukkan angka 32 mm, beban masih dapat bertambah. Terlihat sambungan kolom mengalami keadaan plastis, pada saat *dial gauge* 1 menunjukkan angka 38,5 mm pada arah barat dan 48,3 mm pada arah timur. Tekanan maksimum sebesar 6 kN ke arah barat dan 8,5 kN ke arah timur. Setelah itu, *pressure gauge* pada pompa hidrolik dan angka lendutan pada *dial gauge* tidak bertambah walaupun sudah dipompa secara terus menerus. Sehingga, pengujian dihentikan, spesimen dinyatakan sudah hancur karena tidak dapat menahan beban lagi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut :

1. Dari hasil perencanaan didapatkan beberapa kesimpulan *mix design*. *Mix design* beton polimer *vinyl ester* yang paling ideal dengan persentase komposisi 43,52% *vinyl ester* ; 1,52% *mepoxe* ; 0,65% *cobalt* ; 18,10% *fly ash* ; 36,20% pasir besi lumajang. Berat jenis beton polimer *vinyl ester* sebesar 1707,41 kg/m³. Kuat tekan beton polimer *vinyl ester* sebesar 135,73 MPa. Kuat tarik beton polimer *vinyl ester* sebesar 13,31 MPa. Kuat lentur beton polimer *vinyl ester* sebesar 5,29 MPa. Serta dapat diketahui bahwa beton polimer *vinyl ester* dapat diterapkan dengan metode *precast* karena beton polimer *vinyl ester* sangat encer dan menghasilkan suhu yang panas sehingga harus di cetak terpisah dengan beton normal karena menggunakan bekisting dengan bahan yang berbeda.
2. Dari hasil pengujian didapatkan respon dan kinerja beton polimer *vinyl ester* dapat menahan tegangan puncak sebesar 8,5 kN pada beton polimer. Sedangkan beton normal dapat menahan tegangan puncak sebesar 8 kN.
3. Dari hasil pengujian didapatkan rasio simpangan lateral maksimum dan simpangan lateral maksimum pada beton

polimer untuk kolom dengan nilai simpangan maksimum 7,6% dan simpangan lateral maksimum dengan nilai 114,7 mm.

4. Dari hasil pengujian didapatkan perbandingan antara kolom beton normal dan kolom yang diberikan beton polimer. Tegangan puncak pada beton polimer 106,25% dari tegangan puncak beton normal. Rasio simpangan lateral maksimum pada beton polimer 128,81% dari rasio simpangan lateral maksimum beton normal. Simpangan lateral maksimum pada beton polimer 128,80% dari simpangan lateral maksimum beton normal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM D 638 M Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (Metric). (1996). West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [2] ASTM D 7264/D 7264 M-21 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. (2021). West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [3] Atmojo, S., & Muhandis, I., 2019, *Sistem Informasi Geografis Bencana Gempa Bumi Dengan Pendekatan Pga Untuk Mitigasi Bencana*, Jurnal Ilmiah Edutic, 6(1), 10–14.
- [4] Bakshi Uday A., Ajay V. Bakshi, Kshiteeja Bakshi, 2008, *Electrical Measurements*, ISBN 81 - 8431 - 244 - X, India.
- [5] Bentley John P, 2005, *Principles of Measurement System*, ISBN 0 130 43028 5, London.
- [6] Blaga, A., dan Beaudoin, J. J., 1985, *Polymer Concrete*, Canadian Building Digest published.
- [7] Forsdyke, K. L., & Starr, T. F., 2002, *Thermoset Resins: Market Report*, Shropshire, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
- [8] Fraden, Jacob, 2005, *Handbook of Modern Sensors*, ISBN 978-3-319-19303-8, London.
- [9] Gerard J. O'Reilly., dan Gian Michele Calvi, 2018, *Conceptual seismic design in performance-based earthquake engineering*, Scuola Universitaria Superiore IUSS, Pavia, Italy.
- [10] Iwan, W. D, 1966, *A Distributed-Element Model for Hysteresis and Its Steady-State Dynamic Response*, Journal of Applied Mechanics, 33(4), 893–900. <https://doi.org/10.1115/1.3625199>.
- [11] Izzuddin, B., Vlassis, A., Elghazouli, A., & Nethercot, D, 2008, *Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework*. Engineering structures, 30(5), 1308-1318.
- [12] Jorge Ruiz-García, & Octavio Domínguez-Solórzano,

- 2021, *Collapse strength ratios for weak first-story buildings under soft soil intraslab earthquakes*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Volume 151*, 107004. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.107004>
- [13] Khan, M., 2010, *Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair*. ISBN: 978-0071545921.
- [14] McNally, T., Murphy, W. R., Lew, C. Y., Turner, R. J., & Brennan, G. P. (2003). Polyamide-12 layered silicate nanocomposites by melt blending. *Polymer*, 44(9), 27612772.
- [15] Metelli Giovanni, Consuelo Beschi, Paolo Riva, 2014, *Cyclic Behaviour of a Column to Foundation Joint for Concrete Precast Structures*, University of Brescia, Italy.
- [16] Mikhailov, K. V., et. al., 1992, *Polymer Concrete and Their Structural Uses*, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, No. 1, pp. 311-317.
- [17] Paz, Mario. and Young Hoon Kim., 2019. *Structural Dynamics Theory and Computation Sixth Edition*. Springer Nature, Switzerland. ISBN 978-3-319-94743-3
- [18] Paul, C. V. and E. (n.d.), *Performance of Epoxy and Polyester Polymer Concrete*, ACI Materials Journal, 87(3). <https://doi.org/10.14359/2187>.
- [19] Ratna, D., 2009, *Handbook of Thermoset Resins*. Shropshire, United Kingdom: iSmithers.
- [20] Saptowati, H., & Payogo, K., 2015, *Analisis Gempa pada Struktur Gedung Iradiator Gamma Kapasitas 2 Mci Hasriyanti*, Jurnal Perangkat Nuklir, 09(1978), 80–90.
- [21] SNI 1726, 2019 *Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional.
- [22] SNI 2847, 2019, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional.
- [23] Taranath, Bungale, S., 2009, *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*, ISBN 978-1-4398-0480-3 (alk. paper) .
- [24] Tenda, Gladys Hestika Kalalo Ruddy Tenda, dan Servie O. Dapas, 2014, *Pengaruh eksentrisitas Pusat Massa Bangunan Beton Bertulang Terhadap Respons Struktur Akibat Beban Gempa*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [25] Vagelis Plevris, Georgia Kremmyda, dan Yasin Fahjan, 2017, *Performance-Based Seismic Design of Concrete Structures and Infrastructures*, Engineering Science Reference (an imprint of IGI Global) 701 E. Chocolate Avenue Hershey PA, USA.
- [26] Vigolo, B., Pénicaud, A., Caulon, C., Sauder, C., Pailler, R., Journet, C., . . . Poulin, P, 2000, *Macroscopic fibers and ribbons of oriented carbon nanotubes*, Science, 290(5495), 1331-1334.