

PERILAKU LENTUR PROFIL BALOK H DAN KANAL C DARI BETON POLIMER VINYL ESTER – FLY ASH

Handra Adhi Wardhana¹, Taufiq Rochman², Agus Sugiarto³

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

handraadhi1@gmail.com, taufiq.rochman@polinema.ac.id, agussugiarto1030@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan konstruksi yang semakin besar menyebabkan maraknya penelitian mengenai konstruksi yang ringan namun tidak kalah kuat. Material baja memiliki karakteristik yang kuat terhadap tarik namun berat dan mudah korosif sedangkan material beton memiliki karakteristik yang kuat terhadap tekan namun brittle. Salah satu alternatif dari kedua material tersebut adalah beton polimer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku beton polimer dari vinyl ester – fly ash yang diaplikasikan pada profil profil H dan kanal C. Penelitian ini berupaya untuk mencari komposisi yang efisien baik dari sisi kuat tekan, berat jenis, harga, dan sifat fisiknya yang nantinya diaplikasikan terhadap profil H dan kanal C dengan variasi terhadap bentang. Hasil penelitian ini didapat komposisi VE : FA = 0,3 : 0,7 adalah komposisi yang paling efisien dengan kuat tekan sebesar 66,19 MPa pada umur 3 hari, berat jenis sebesar 1.881,61 kb/m³, harga sebesar Rp 8.390 untuk 125 cm³ volume, dan sifat fisik benda uji yang mudah untuk dibuat dengan sedikit perubahan suhu dan permukaan yang rata setelah beton polimer mengeras. Beton polimer memiliki 2 jenis kehancuran yaitu kehancuran elastis dan kehancuran plastis pada saat ditekan. Komposisi ini memiliki kuat tarik sebesar 11,55 MPa dan kuat lentur sebesar 53,74 MPa pada posisi berdiri dan 57,69 MPa pada posisi tidur. Didapat hasil bahwa semakin panjang bentang, balok H dan Kanal C mampu mendapat 3 - 4 siklus dengan masing-masing siklus mampu menaha beban rata-rata sebesar 7 kN. Balok H dengan panjang 155 cm mampu mendapatkan 4 siklus dengan beban rata-rata tiap siklus 7 kN dan lendutan maksimal sepanjang 60,55 mm.

Kata kunci : beton polimer; vinyl ester; fly ash; kuat tekan; kuat tarik; kuat lentur; three point bending; Profil H; Kanal C.

ABSTRACT

The development of increasingly large construction has led to widespread research on lightweight but no less strong construction. Steel material has characteristics that are strong in tension but heavy and easily corrosive, while concrete material has characteristics that are strong in compression but brittle. One alternative to the two materials is polymer concrete. This thesis aims to determine the behavior of polymer concrete from vinyl ester – fly ash which is applied to the H beam profile and C channel. This study seeks to find an efficient composition in terms of compressive strength, specific gravity, price, and physical properties which will later be applied to H beams and C Channels with variations in span to. The results of this study obtained that the composition of VE : FA = 0.3 : 0.7 is the most efficient composition with a compressive strength of 66.19 MPa at the age of 3 days, a specific gravity of 1,881.61 kb/m³, a price of Rp. 8,390 for 125 cm³ volume, and the physical properties of the test object that is easy to make with little change in temperature and flat surface after the concrete hardens. Polymer concrete has 2 types of destruction, namely elasticity of destruction and plastic destruction when pressed. This composition has a tensile strength of 11.55 MPa and a flexural strength of 53.74 MPa in a standing position and 57.69 MPa in a sleeping position with. The results showed that the increase in span length, the H beam and Channel C were capable of 3 - 4 cycles with each cycle able to withstand an average load of 7 kN. The H beam with a length of 155 cm is able to get 4 cycles with an average load of 7 kN for each cycle and a maximum lending length of 60.55 mm.

Keywords : polymer concrete, vinyl ester, fly ash, compressive strength, tensile strength, flexural strength, three point bending, H profile, C channel.

1. PENDAHULUAN

Balok profil H dan kanal C merupakan contoh profil struktur dari material. Material baja kuat terhadap gaya tarik dengan mengalami kondisi leleh terlebih dahulu sebelum patah, namun profil baja sangat berat dan mudah korosif. Umumnya profil baja balok H dan kanal C sering digunakan sebagai struktur balok dan kolom pada bangunan. Balok merupakan struktur yang mengalami momen lentur dominan sedangkan kolom akan mengalami beban axial dominan (Chen, W & Atsuta, T. 2008). Momen lentur yang dialami oleh struktur tersebut berasal dari panjang bentang dan beban baik dari luar dan juga beban dari struktur itu sendiri.

Selain material baja, material yang umum digunakan adalah beton. Beton memiliki berat jenis sebesar 2400 kg/m³ (SNI 1727-2020). Beton memiliki kuat tekan yang tinggi tetapi lemah terhadap tarik dan geser sehingga menunjukkan kegagalan retak hingga keruntuhan atau *brittle* (Barzack. 2017). Beton yang telah mengalami keretakan, lebar retak akan bergerak bebas sejalan dengan menyusutnya beton (Shickert, M & Krause, M. 2010).

Perencanaan struktur ringan berbahan beton polimer juga mulai menjadi sorotan para peneliti karena berat material yang digunakan cenderung lebih ringan. Barbuta et al (2016) menyatakan bahwa beton polimer adalah material komposit modern pada industri konstruksi dengan sifat yang lebih unggul dibandingkan beton semen portland biasa pada kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap bahan kimia. Keunggulan lainnya juga meliputi pengeringan yang cepat pada suhu kamar, daya rekat yang baik ke sebageian besar permukaan, daya tahan jangka panjang yang baik sehubungan dengan siklus pembekuan dan pencairan, permeabilitas air yang rendah dan larutan agresif, ketahanan yang baik terhadap korosi, ringan, dapat digunakan dalam rangka kayu dan baja biasa, dan dapat digetarkan untuk mengisi rongga (Harja et al, 2009).

Material utama yang digunakan pada pembuatan beton polimer adalah polimer. Polimer dibagi menjadi dua macam, yaitu termoplastik dan termoset. Polimer termoplastik apabila diberi suhu tinggi maka akan berubah wujud menjadi lunak dan memasuki keadaan cair kental, setelah itu bertransformasi menjadi padatan keras pada saat memasuki proses pendinginan (Masy 2017). Berbanding terbalik, sifat resin termoset tidak bergantung pada suhu. Polimer termoset tidak dapat berubah atau kembali ke bentuk semula walaupun diberi suhu tinggi. Beberapa polimer organik seperti epoksi, vinyl ester, polyester, metil metakrilat, dan polimer organik seperti belerang biasanya digunakan untuk memproduksi beton polimer (Taha et al, 2019). Cassis & Talbot (1998) menyatakan bahwa vinil ester yang merupakan polimer termoset memberikan sifat mekanik yang baik dan dikombinasikan dengan ketangguhan terhadap panas yang

luar biasa dan ketahanannya terhadap kimia. Keunikan dari vinyl ester yang lain adalah daya ikat resin terhadap permukaan lain yang bagus.

Dalam pembuatan beton polimer vinyl ester, *fly ash* diyakini mampu berkehendak sebagai filler beton polimer. *Fly ash* dapat meningkatkan workability karena teksturnya yang halus dan dapat meningkatkan kuat tekan beton, durabilitas beton, meningkatkan kepadatan beton, dan mengurangi terjadinya penyusutan beton. Berat jenis *fly ash* sebesar 1430 kg/m³ jauh lebih ringan dibanding kerikil yang memiliki berat 1800 kg/m³.

Dengan pemaparan diatas, banyak keunggulan dari penggunaan beton polimer seperti ringan, tidak mudah retak, tahan terhadap korosif dan bahan kimia sehingga menjadi udara segar bagi perkembangan dunia konstruksi. Sedikitnya riset mengenai beton polimer, melatar belakangi penelitian ini dengan mengangkat judul “PERILAKU LENTUR PROFIL BALOK H DAN KANAL C DARI BETON POLIMER VINYL ESTER – FLY ASH”. Dengan harapan dapat menentukan komposisi yang efisien untuk beton polimer vinyl ester dengan *fly ash* sebagai agregat halus serta mengetahui perilaku yang terjadi pada balok profil H dan kanal C berbahan beton polimer vinyl ester – *fly ash* tersebut.

2. METODE

Penelitian ini dimulai dari pembuatan spesimen tekan kubus dengan komposisi pada **Tabel 1** untuk didapatkan komposisi yang efisien. Spesimen tekan kubus berdimensi 5x5x5 cm sesuai dengan peraturan SNI 6835-2002. Pengujian tekan kubus dilaksanakan pada saat spesimen berumur 3 hari tanpa *curing*. Penilaian efisiensi spesimen tekan kubus berdasarkan kuat tekan, berat jenis, harga, dan sifat fisik beton.

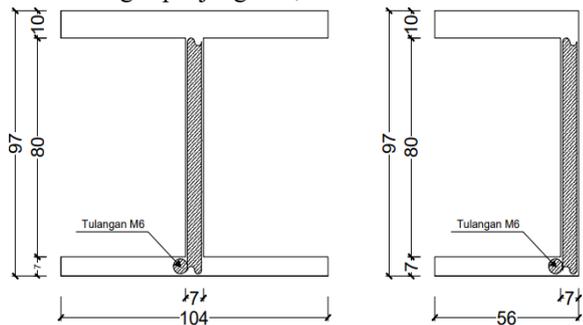
Tabel 1. Data Komposisi Material Spesimen Tekan.

RUN	Vinyl Ester (4,5% Mepoxe & 1,5% Cobalt)	Fly Ash
1	0,2	0,8
2	0,25	0,75
3	0,3	0,7
4	0,35	0,65
5	0,4	0,6
6	0,45	0,55
7	0,5	0,5
8	0,55	0,45
9	0,6	0,4
10	0,65	0,35
11	0,7	0,3
12	0,75	0,25
13	0,8	0,2
14	0,85	0,15
15	0,9	0,1

Komposisi yang paling efisien dari pengujian tekan spesimen tekan kubus selanjutnya digunakan untuk pembuatan spesimen tekan silinder untuk mengetahui pengaruh terhadap waktu, spesimen tarik untuk mendapatkan kuat tarik dan nilai regangan, spesimen lentur sumbu kuat

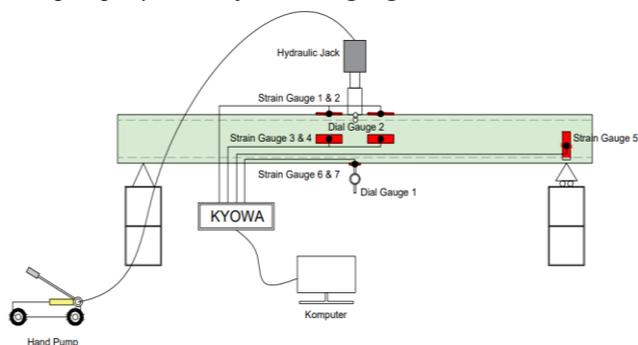
(berdiri) dan sumbu lemah (tidur), dan spesimen balok profil H dan kanal C.

Spesimen balok profil H dan kanal C akan dilakukan pengujian lentur *three point bending* dan pembacaan nilai lendutan dan nilai regangan dengan penggunaan *strain gauge*. Spesimen profil balok H dan kanal C memiliki dimensi seperti pada **Gambar 1** dengan pemberian tulangan dari *wiremesh* M6 yang dibentuk seperti huruf “U” dan diletakkan pada daerah tarik atau *flange* bawah hingga *web* bagian atas. Spesimen profil balok H dan kanal C akan dibuat variasi bentang sepanjang 100, 120 dan 180 cm.



Gambar 1. Desain Spesimen Balok Profil H dan Kanal C

Spesimen profil balok H dan kanal C yang sudah selesai dibuat selanjutnya dipasangkan *strain gauge* pada daerah tekan, tarik, geser, dan tumpuan setelah itu spesimen dapat di letakan pada portal dan dipasang alat-alat seperti *hand pump*, *hydraulic jack*, *dial gauge*, dan lain-lain,



Gambar 2. Pengaturan Alat pada Spesimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan didapat hasil sebagai berikut:

Hasil Pengujian Tekan Kubus

Pengujian tekan kubus dilaksanakan dengan alat mesin *compressive test* pada saat spesimen berumur 3 hari. Didapat perilaku hancur elastis dan plastis pada saat pengujian spesimen RUN-7 sehingga untuk RUN-3 hingga RUN-6 dilaksanakan pengujian ulang.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tekan Spesimen Kubus

RUN	P (kN)	P _u (kN)	P _{ulang} (kN)	σ (MPa)	σ _u (MPa)	σ _{ulang} (MPa)	Berat Jenis (kg/m ³)
1	95,50	-	-	36,3	-	-	2.021,83
2	134,5	-	-	52,5	-	-	1.928,07

3	163,0	141,5	66,2	57,5	1.881,61
4	187,5	157,0	73,	61,3	1.799,65
5	206,5	211,5	81	82,9	1.749,16
6	208,5	222,0	81,1	86,4	1.703,67
7	217,0	227,0	84,4	88,3	1.605,52
8	203,0	218,5	80,4	86,7	1.536,00
9	207,5	272,5	83,6	109,7	1.475,29
10	209,0	296,5	84	119,1	1.409,83
11	215,5	350,5	85,6	139,2	1.362,32
12	205,0	359,0	81,8	143,3	1.319,12
13	207,0	393,5	81,3	154,5	1.209,47
14	208,5	380,5	83,4	152,2	1.222,77
15	219	391	84,4	146,5	1.170,90

Penilaian beton polimer mengenai kemudahan dalam pengerjaan atau *workability* dinilai sebagai berikut: nilai (0 – 1) = campuran masih sulit diaduk, (2 – 4) = campuran mudah untuk diaduk, (5 – 6) = campuran lebih mudah untuk diaduk, (7 – 8) = campuran sangat mudah untuk diaduk, (9) = campuran paling mudah untuk diaduk. Penilaian beton polimer terhadap tekstur permukaan jadi setelah beton polimer mengeras dinilai sebagai berikut: nilai (0 – 1) = tekstur permukaan tidak rata dan banyak lubang, (2 – 3) = tekstur permukaan rata dan bagus, (4 – 5) = tekstur permukaan memiliki sedikit pori akibat tekanan gas dari campuran, (6 – 7) = tekstur permukaan banyak pori, (8 – 9) = tekstur permukaan buruk karena banyak sekali pori akibat tekanan gas dari campuran. Penilaian beton polimer terhadap perubahan suhu pada campuran dinilai sebagai berikut: nilai (0 – 1) = tidak terasa perubahan suhu, (2 – 3) = terjadi sedikit peningkatan suhu, (4 – 6) = terjadi peningkatan suhu, (7 – 8) = suhu meningkat drastis, (9) = suhu sangat tinggi.

Harga dari spesimen didapatkan dari hubungan antara kebutuhan material dengan harga masing-masing material. Kebutuhan material didapatkan dari perkalian antara rasio komposisi dengan berat jenis material dan volume spesimen.

Tabel 3. Penilaian Sifat Fisik, Tekstur Permukaan Beton Polimer, dan Harga Spesimen

RUN	Workability	Tekstur Permukaan	Perubahan Suhu	Harga (Rp)
1	0	0	0	Rp. 6.254
2	1	1	1	Rp. 7.399
3	2	2	2	Rp. 8.390
4	3	2	3	Rp. 9.228
5	3	3	4	Rp. 9.913
6	4	3	5	Rp. 10.444
7	5	4	5	Rp. 11.595
8	6	5	6	Rp. 12.321
9	7	6	7	Rp. 13.433
10	8	7	7	Rp. 14.044
11	8	8	7	Rp. 15.118
12	9	9	8	Rp. 15.614
13	9	9	8	Rp. 16.033
14	9	9	9	Rp. 16.375
15	9	9	9	Rp. 16.641

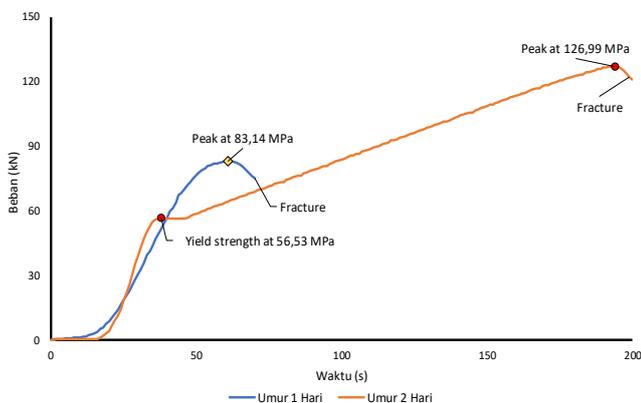
Pengambilan keputusan mengenai komposisi yang paling efisien pertama dinilai dari kuat tekan diatas 40 MPa sehingga masuk kedalam kategori beton mutu tinggi, kedua memiliki berat yang ringan untuk terwujudnya material inovatif yang ringan, ketiga memiliki harga terjangkau, dan

keempat adalah mudah dalam proses pengerjaan dan mendapatkan hasil permukaan yang baik. Komposisi yang paling efisien diputuskan dengan rasio komposisi VE:FA adaah 0,3:0,7 dengan *mepoxe catalyst* sebanyak 4,5% dan *cobalt* sebanyak 1% dari *vinyl ester*.

Komposisi VE:FA dengan rasio 0,3:0,7 memiliki kuat tekan sebesar 66,2 MPa dengan berat sebesar 1.881,6 kg/m³ dan harga sebesar Rp. 8.390 per 125 cm³. Komposisi ini selanjutnya dibuat untuk spesimen tekan silinder, tarik, lentur, dan balok profil H dan kanal C.

Hasil Pengujian Tekan Silinder

Spesimen dibuat dengan ukuran diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm dan penurunan rasio komposisi menjadi 0,27:0,73 untuk mengetahui akibat adanya penurunan mutu pada saat pembuatan skala besar. Spesimen diuji pada umur 1 hari dan umur 2 hari untuk mendapatkan perilaku beton polimer terhadap umur beton. Spesimen dengan umur 1 hari mampu menahan beban maksimum sebesar 653 kN dan mengalami kehancuran plastis sedangkan spesimen dengan umur 2 hari mampu mendapatkan beban elastis sebesar 444,5 kN dan beban plastis sebesar 997,4 kN. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan karakter beton polimer pada saat umur 1 hari belum memadat sempurna pada bagian dalam sehingga hanya mampu menahan beban 1x saja dan langsung mengalami kehancuran plastis.



Gambar 3. Hubungan Antara Beban Terhadap Waktu Spesimen Tekan Silinder.

Spesimen dengan umur 1 hari memiliki kuat tekan *ultimate* sebesar 83,14 MPa sedangkan spesimen dengan umur 2 hari memiliki kuat tekan elastis sebesar 56,5 MPa dan kuat tekan plastis sebesar 127 MPa.

Hasil Pengujian Tarik

Spesimen tarik dibuat menggunakan rasio komposisi berdasarkan komposisi yang paling efisien yaitu 0,3:0,7 VE:FA. Spesimen tarik berbentuk *dogbone* dengan dimensi menurut Wicaksono A (2021) dimensi panjang total 165 mm, lebar total 14 mm, panjang langsung 57 mm, dan lebar langsung 13 mm sesuai dengan aturan ASTM D 3039. Dibuat variasi lebar dari 9 hingga 13 mm sehingga mendapatkan variasi luas penampang.



Gambar 4. Desain Spesimen Tarik

Didapatkan hasil dari pengujian tarik bahwa luas penampang berhubungan bebas dan tidak berpengaruh signifikan terhadap tegangan tarik. Tegangan tarik yang didapat yaitu sebesar 11,55 MPa, nilai regangan sebesar 0,38%, dan nilai modulus young sebesar 2.991,95 MPa.

Hasil Pengujian Lentur Sumbu Kuat

Spesimen lentur sumbu kuat dibuat menggunakan rasio komposisi berdasarkan komposisi yang paling efisien yaitu 0,3:0,7 VE:FA. Spesimen tarik berbentuk balok dengan dimensi menurut Suhariadi et al. (2018) dimensi panjang adalah 100 mm dan tinggi 16 mm sesuai dengan aturan ASTM D 790. Dibuat variasi lebar dari 9 hingga 13 mm sehingga mendapatkan variasi luas penampang.

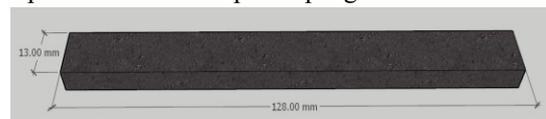


Gambar 5. Desain Spesimen Lentur Sumbu Kuat

Didapatkan hasil dari pengujian lentur sumbu kuat bahwa luas penampang berhubungan bebas dan tidak berpengaruh signifikan terhadap tegangan lentur. Tegangan lentur yang didapat yaitu sebesar 53,74 MPa.

Hasil Pengujian Lentur Sumbu Lemah

Spesimen lentur sumbu lemah dibuat menggunakan rasio komposisi berdasarkan komposisi yang paling efisien yaitu 0,3:0,7 VE:FA. Spesimen tarik berbentuk balok dengan dimensi menurut Wicaksono A (2021) dimensi panjang 128 mm dan lebar 13 mm sesuai dengan aturan ASTM D 7264. Dibuat variasi ketebalan 9 hingga 13 mm sehingga mendapatkan variasi luas penampang.



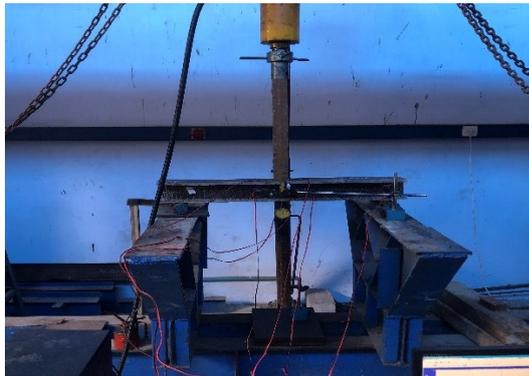
Gambar 5. Desain Spesimen Lentur Sumbu Lemah

Didapatkan hasil dari pengujian lentur sumbu kuat bahwa luas penampang berhubungan bebas dan tidak berpengaruh signifikan terhadap tegangan lentur. Tegangan lentur yang didapat yaitu sebesar 57,69 MPa.

Hasil Pengujian Balok Profil H dan Kanal C

Spesimen balok profil H dan kanal C dibuat menggunakan rasio komposisi berdasarkan komposisi yang paling efisien yaitu 0,3:0,7 VE:FA. Untuk menghindari kecacatan pada saat pembuatan spesimen dengan berbahan resin sebaiknya diolesi *methacrylic acid* (MAA) agar mudah pada saat dilepas dari cetakan. Penggunaan plastik sebagai pelapis antara adonan beton polimer dengan permukaan cetakan tidak direkomendasikan karena plastik dapat

mengakibatkan kecacatan pada spesimen. Spesimen yang sudah siap selanjutnya dipasangkan *strain gauge* dan diletakan pada portal uji



Gambar 6. Peletakan Spesimen Pada Portal Uji.

Dari hasil pengujian lentur *three point bending* balok profil H dan kanal C didapatkan nilai beban maksimum, perhitungan tegangan lentur numeris, nilai lendutan, dan nilai regangan. Selain itu dapat juga dianalisa pola keruntuhan yang terjadi pada spesimen balok profil H dan kanal C. Balok profil H dengan panjang 90 cm mampu menahan beban maksimum sebesar 5 kN dari satu siklus. Selanjutnya profil H dengan panjang 126,2 cm mampu menahan beban maksimum 7,5 kN pada siklus ke empat dan balok H dengan panjang 170 cm mampu menahan beban maksimum 8 kN pada siklus ke lima. Untuk balok kanal C dengan panjang 76 cm mampu menahan beban maksimum sebesar 7 kN dari satu siklus, sedangkan kanal C dengan panjang 131 cm mampu menahan beban masing-masing 6 kN dari dua siklus. Satu kali bacaan siklus diambil sebesar 25 mm untuk bacaan lendutan dari *dial gauge*.

Balok profil H dengan panjang 90 cm mendapatkan nilai lendutan sebesar 4,64 mm sedangkan profil balok H dengan panjang 170 cm mampu mendapatkan nilai lendutan 71,63 mm. Perilaku *ductile* didapatkan dari hasil bacaan lendutan antara bentang pendek dengan bentang panjang dengan semakin panjang bentang maka semakin besar juga peluang menahan lendutan.

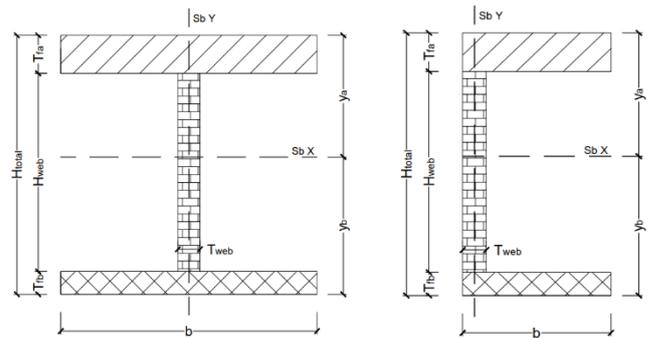
Adanya nilai beban maksimum, panjang bentang spesimen, dan dimensi spesimen maka nilai tegangan numeris dapat dihitung. Nilai tegangan numeris dihitung menggunakan persamaan dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M.Y}{I_x} \quad (1)$$

$$y_b = \frac{\sum A.Y}{\sum A} \quad (2)$$

$$y_a = H_{total} - y_b \quad (3)$$

$$I_x = I_{x_0} + A.Y^2 \quad (4)$$



Gambar 7. Notasi Perhitungan Tegangan Lentur Balok Profil H dan Kanal C.

Sehingga balok H dengan panjang 90 cm yang mampu menahan beban 5 kN dalam satu siklus mendapatkan nilai tegangan lentur sebesar -8,34 MPa untuk daerah tekan dan 12,35 MPa untuk daerah tarik.

Spesimen balok profil H dan kanal C memiliki pola keruntuhan akibat geser, lentur, dan kombinasi antara geser dan lentur. Balok profil H dengan bentang 90 cm memiliki pola keruntuhan geser didaerah tumpuan, balok profil H dengan bentang 126,2 cm memiliki pola keruntuhan geser dan lentur, sedangkan balok profil H dengan bentang 170 cm memiliki pola keruntuhan akibat lentur dominan.

KESIMPULAN

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

1. Didapat perilaku *fly ash* yang menyerap vinyl ester sehingga perlu diberi faktor pengali untuk kedua material dalam pembuatan suatu volume benda uji
2. Komposisi yang dinilai efisien adalah komposisi dengan rasio 0,3 : 0,7 dengan *mepoxe catalyst* sebesar 4,5% dan *cobalt* 1%. Komposisi ini memiliki kuat tekan beton sebesar 66,19 MPa pada umur 3 hari, berat jenis seberat 1.881,61 kg/m³, kemudahan dalam pembuatan yang tergolong mudah dengan hasil yang rata.
3. Terdapat pengaruh umur pada beton polimer vinyl ester – *fly ash* dengan sedikit penurunan rasio komposisi menjadi 0,27 : 0,73. Beton polimer pada umur 1 hari mendapatkan hasil kuat tekan plastis sebesar 86,57 MPa, sedangkan pada umur 2 hari mendapatkan hasil kuat tekan elastis sebesar 57,68 MPa dan kuat tekan plastis sebesar 129,57 MPa. Beton polimer dengan umur 1 hari diartikan belum padat dengan sempurna dibagian dalam, maka dari itu keruntuhan terjadi 1 kali.
4. Perbedaan luas penampang benda uji tarik dan lentur tidak berpengaruh terhadap tegangan tarik dan tegangan lentur yang didapat. Tegangan tarik beton polimer vinyl ester – *fly ash* adalah sebesar 11,55 MPa dan modulus young sebesar 2.999,95 MPa. Tegangan lentur sumbu kuat diperoleh sebesar 53,74 MPa dan tegangan lentur sumbu lemah diperoleh 57,69 MPa.

5. Semakin panjang bentang balok profil H dan kanal C berakibat pada banyaknya beban dan siklus yang didapat. Beban maksimum yang dapat diterima oleh spesimen yang mendapat lebih dari 1 siklus mampu menahan beban 6 – 8 kN sedangkan beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji yang memiliki 1 siklus saja mampu menahan beban 5 kN.
6. Benda uji balok profil H dengan bentang 170 cm mampu mendapat nilai lendutan sebesar 71,63 mm dari 4 siklus dengan keadaan pembacaan lendutan siklus 4 benda uji sudah mengalami keruntuhan.
7. Pola keruntuhan yang terjadi pada balok profil H dan kanal C terdiri dari keruntuhan geser, lentur, dan geser lentur. Keruntuhan geser dominan terjadi pada benda uji dengan bentang pendek, sedangkan keruntuhan lentur dominan terjadi pada benda uji dengan bentang panjang.

By Nitrogen Mediated Crystallization Method. *MATEC Web of Conferences*, 159, p.02031.

- [12] Taha, M., Genedy, M., Ohama, Y., 20019. Polymer Concrete. *Developments In The Formulation and Reinforcement of Concrete*, pp.391-408.
- [13] Wicaksono, A., 2021. Kinerja Material Baru Dari Beton Polimer Vinil Ester Terhadap Uji Tekan, Tarik Dan Lentur. *Skripsi*. Diploma IV Manajemen Rekayasa Konstruksi Politeknik Negeri Malang, Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM International, 2017, ASTM D3039/D3039M-17, *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*, West Conshohocken, PA.
- [2] ASTM International, 2017, ASTM D790-03, *Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, West Conshohocken, PA.
- [3] ASTM International, 2021, ASTM D7264/D7264M-21, *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials*, West Conshohocken, PA.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, 2002, SNI 03-6825-2002: *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*
- [5] Barbuta, M., Mircea R., Alina N. 2016. *Characterization of Polymer Concrete with Different Wastes Additions*. *Procedia Technology* 22: 407-412.
- [6] Barczak, T., 2017. Research developments that contributed to the landscape of longwall roof support design over the past 25 years. *Advances in Coal Mine Ground Control*, pp.1-34.
- [7] Cassis, F. & Talbot, R., 1998. Polyester and Vinyl Ester Resin, *Handbook of Composites*, Edited by: S.T. Peters, Second edition, London:Chapman & Hall.
- [8] Chen, W. & Atsuta, T., 2008. *Theory of beam-columns Volume 1*. Ft. Lauderdale, FL:J. Ross Pub.
- [9] Massy, J., 2017. *Thermoplastic and thermosetting polymers*. In: Massy, J. (Ed), *A Little Book About BIG Chemistry: The Story of Man-Made Polymers*. Springer International Publishing, Cham, pp. 19-26.
- [10] Schickert, M. and Krause, M., 2010. Ultrasonic techniques for evaluation of reinforced concrete structures. *Non-Destructive Evaluation of Reinforced Concrete Structures*, pp.490-530.
- [11] Suhariadi, I., Shiratani, M. and Itagaki, N., 2018. Morphology Evolution Of ZnO Thin Films Deposited