

## Perlakuan Joint Balok Kolom Standar PBI 1971 Setelah Perkuatan Awal Dengan Ferrocement

Delfian Masrura<sup>\*1</sup>, Fitry Hasdanita<sup>2</sup>, Muhammad Ikhsan<sup>3</sup>, Aulia Rahman<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Teuku Umar

e-mail: [\\*1delfianmasrura@utu.ac.id](mailto:*1delfianmasrura@utu.ac.id)

### Abstrak

Sebuah konstruksi bangunan terdiri dari beberapa elemen, balok dan kolom adalah diantaranya. Elemen tersebut berfungsi sebagai penyangga beban konstruksi lainnya dan merupakan salah satu komponen struktur utama pada sebuah bangunan. Untuk merencanakan bangunan yang tahan gempa, maka daerah yang perlu diperhatikan adalah pada titik pertemuan antara balok dan kolom agar energinya dapat terdisipasi dengan baik. Jika terjadi kegagalan pada daerah joint tersebut, maka komponen lainnya akan merasakan dampaknya secara langsung. Maka, tujuan penelitian ini dilakukan adalah menganalisa kemampuan elemen joint balok kolom sebuah struktur bangunan yang dirancang sesuai dengan PBI 1971 yang sudah diberikan perkuatan sejak awal menggunakan ferrocement dalam menahan beban siklik yang diterima. Benda uji dirancang dengan menggunakan mutu beton sebesar 24,80 MPa dengan panjang balok 1200 mm, lebar 300 mm dan tinggi 400 mm, serta kolom persegi bersisi 300 mm dengan tinggi 2000 mm. Dimensi tulangan utama yang digunakan adalah 8Ø14 mm dan tulangan sengkang Ø10-100 mm. Terhadap benda uji diberikan pembebanan siklik, yang diberikan pada ujung balok dengan displacement masing-masing sebesar 3,125%; 6,25%; 12,5%; 25%; 50%; 100% dan pada akhirnya diberikan beban monotonik, yaitu pada benda uji diberikan beban sampai hancur. Hasil pengujian yang diperoleh terhadap benda uji PBI 1971 dengan perkuatan awal menggunakan ferrocement adalah bahwa benda uji mampu menahan beban tekan sampai menghasilkan beban siklus yang terbesar adalah 7,71 tf, sedangkan untuk beban tarik yang paling besar diperoleh adalah 7,48 tf. Untuk displacement maksimum yang diperoleh adalah sebesar 48 mm. Hasil ini didapatkan pada saat dilakukan pembebanan secara monotonik terhadap benda uji tersebut.

**Keywords**— *Konstruksi, Joint, PBI 1971, Perkuatan, Ferrocement.*

### Abstract

A building construction consists of several elements, beams and columns are among them. This element functions as a load support for other constructions and is one of the main structural components in a building. To plan an earthquake-resistant building, the area that needs to be considered is the meeting point between the beams and columns so that the energy can be properly dissipated. If there is a failure in the joint area, the other components will feel the impact directly. Thus, the purpose of this study was to analyze the ability of the beam column joint elements of a building structure designed in accordance with PBI 1971 which had been reinforced from the start using ferrocement to withstand the cyclic load received. The specimens were designed using a concrete quality of 24.80 MPa with a beam length of 120 cm, a width of 30 cm and a height of 40 cm, and a square column with sides of 30 cm and a height of 200 cm. The dimensions of the main reinforcement used are 8 Ø14 mm and the stirrup reinforcement Ø10-100 mm. The specimens are subjected to cyclic loading, which is given to the end of the beam with a displacement of 0.75 mm each; 1.5mm; 3mm; 6mm; 12mm; 24 mm and in the end it is given a monotonic load, that is, the test object is given a load until it breaks. The results obtained after testing were that the PBI 1971 test object with reinforcement using ferrocement was able to withstand the compressive load from the start to produce the largest cycle load of 7.71 tf, while for the largest tensile load obtained was 7.48 tf. The maximum displacement obtained is 48 mm. These results were obtained when monotonically loading the test object.

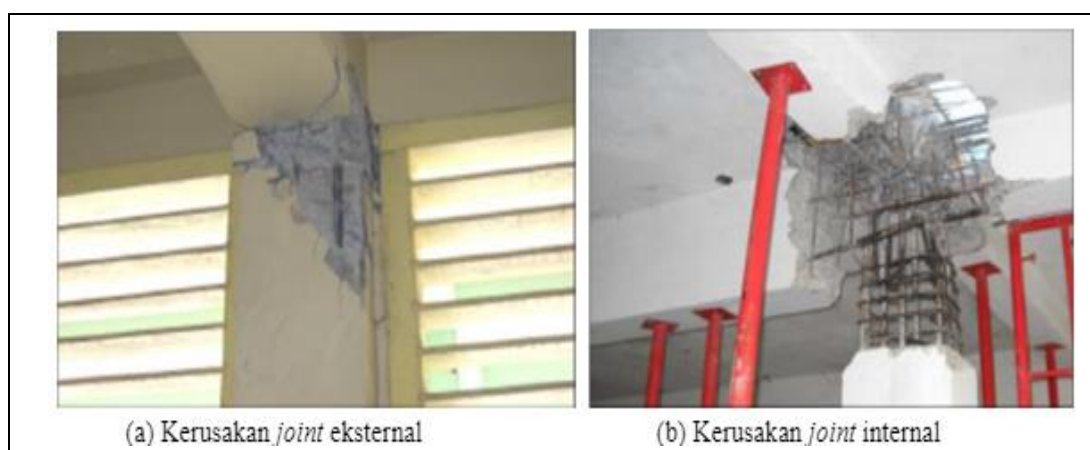
**Keywords**— *Construction, Joint, PBI 1971, Reinforcement, Ferrocement.*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia berada pada wilayah yang rawan terhadap gempa bumi. Interaksi antar lempeng-lempeng besar dunia di sekitarnya membuat Indonesia berada pada zona tektonik aktif. Selain dapat memakan korban jiwa, kerusakan infrastruktur juga menjadi salah satu hal yang paling sering terlihat ketika gempa bumi terjadi. Dampak kerusakan tersebut dapat diantisipasi dengan membuat perencanaan struktur bangunan yang tahan gempa. Umumnya, pada daerah pertemuan antara sambungan balok dan kolom (*joint*) menjadi salah satu titik kerusakan infrastruktur yang terjadi pada sebuah bangunan konstruksi [1]. Agar mendapatkan nilai kuat geser yang lebih optimum, maka struktur konstruksinya perlu direncanakan dengan baik terutama pada daerah bagian *joint* tersebut [2].

Sejak era 1970-an, sudah banyak bangunan, yang dibangun dengan mengacu kepada PBI 1971, yaitu menggunakan metode perencanaan variabel beban kerja dalam membuat desain perencanaannya [3]. Untuk regulasi perencanaan bangunan yang tahan terhadap gempa sendiri sudah mulai digunakan sejak tahun 1966 dan terus diperbaharui sampai dengan sekarang [4]. Sebelumnya, penelitian terkait sambungan balok kolom yang didesain pada dekade 1971 dengan perkuatan oleh lapisan baja bergelombang dan diisi injeksi *non-shrink grout* telah dilakukan [5]. Sedangkan penelitian ini, metode perkuatan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *ferrocement* dan jumlah lapisan *wire mesh* yang digunakan adalah 4 lapis.

Penelitian kali ini berfokus kepada bangunan yang sudah dirancang dengan PBI 1971, dengan melakukan perkuatan awal pada daerah pertemuan antara kolom dan balok. Tujuannya adalah agar mengetahui kemampuan benda uji yang dirancang dalam menahan beban dengan kapasitas maksimum yang diberikan, sebab masih banyak terdapat gedung dan bangunan yang menggunakan perencanaan desain sesuai PBI 1971, dan masih berdiri sampai saat ini. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi gambaran yang mewakili konstruksi lama yang masih berdiri dan diperkuat sejak awal sebelum terjadi kerusakan lebih berat akibat beban gempa.



Gambar 1. Kerusakan pada *Joint* Kolom dan Balok (sumber : [www.google.com](http://www.google.com))

## 2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan mulai dari pekerjaan persiapan, proses pembuatan benda uji, perawatan sampai dengan prosedur pengujiannya.

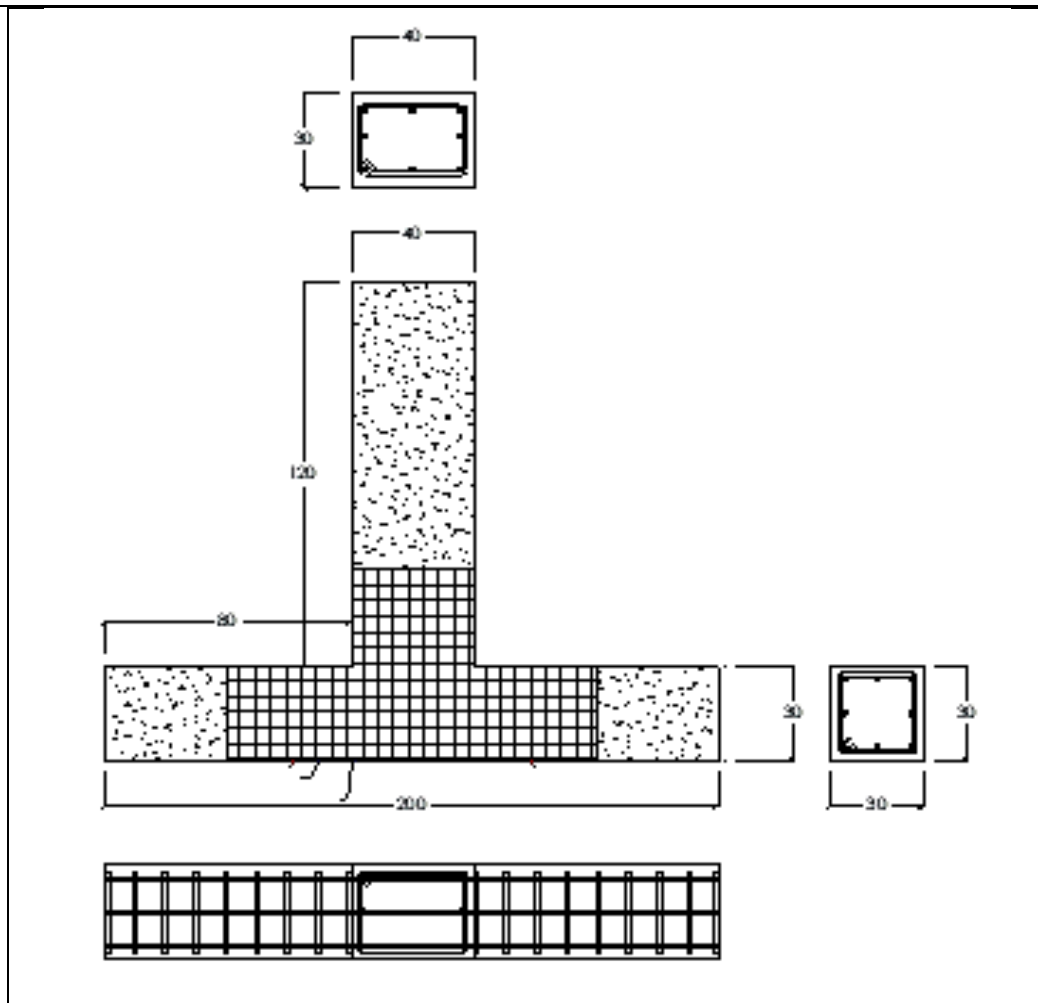
Pembuatan benda uji mencakup upaya pencapaian mutu rencana, terutama mutu beton dan baja tulangan serta proses pengecoran benda uji, sedangkan pada pengujian dilakukan dengan pemberian beban siklik terhadap benda uji *joint* balok kolom beton bertulang sampai benda uji mengalami kehancuran.

### 2.1 Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan benda uji yang terbuat dari beton bertulang dan dirancang sesuai PBI 1971 dengan perkuatan dari awal dengan menggunakan *ferrocement* yang diuji pada umur 28 hari. Benda uji yang dibuat terdiri dari beton yang merupakan campuran antara agregat kasar dengan agregat halus, dengan penambahan dengan air dan semen yang berfungsi untuk merekatkan [6] serta menggunakan besi tulangan dan *ferrocement*.

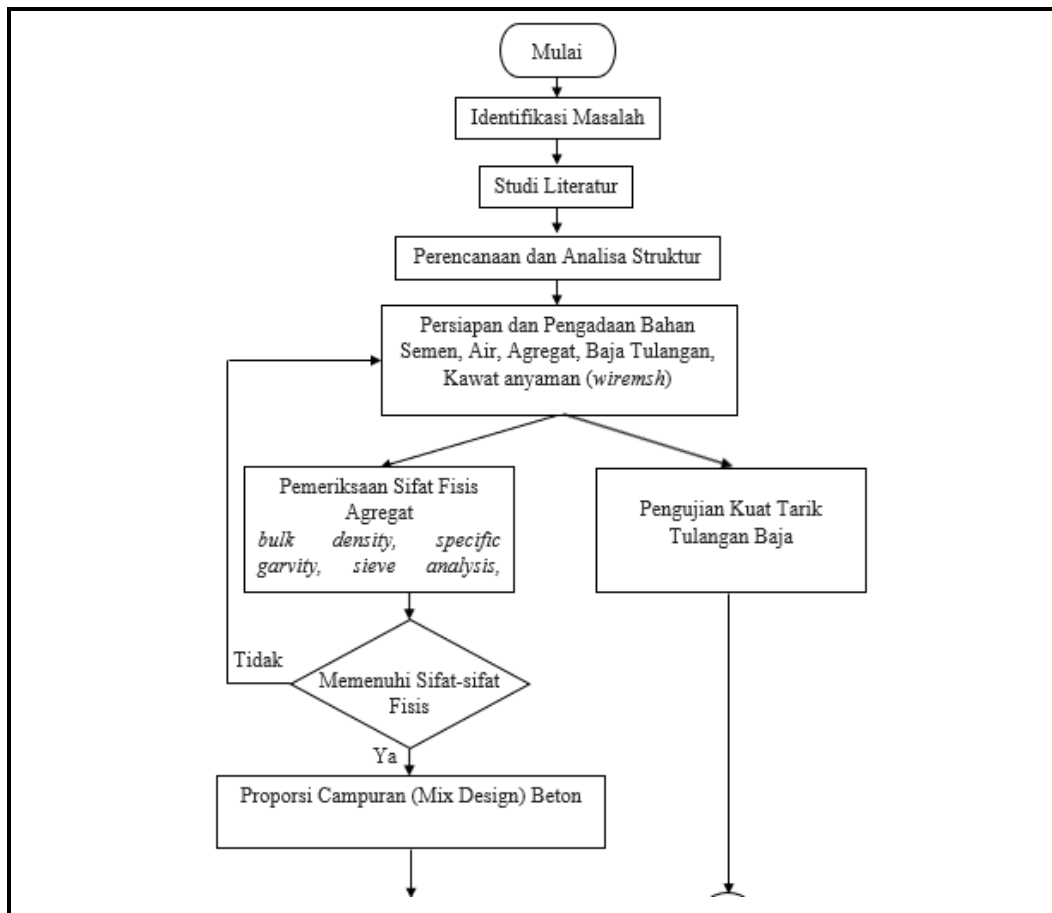
*Ferrocement* adalah salah satu jenis beton bertulang yang terbuat dari mortar semen kecil dan tipis yang diperkuat dengan kawat yang kuat dan memiliki jarak yang dekat antar kawat, umumnya terbuat dari bahan metalik atau material yang sejenis [7]. *Ferrocement* memiliki kuat tarik dan tahan terhadap retak yang lebih besar dibandingkan dengan beton bertulang konvensional [8]. Adapun keunggulan yang dimiliki oleh *Ferrocement* seperti bahan baku yang mudah didapatkan, material yang digunakan tipis, ringan dan ekonomis sehingga menjadi lebih efisien, serta tidak sulit untuk dipabrikasikan mengingat pengerjaannya yang cukup mudah dan bahan cetaknya lebih hemat. [9].

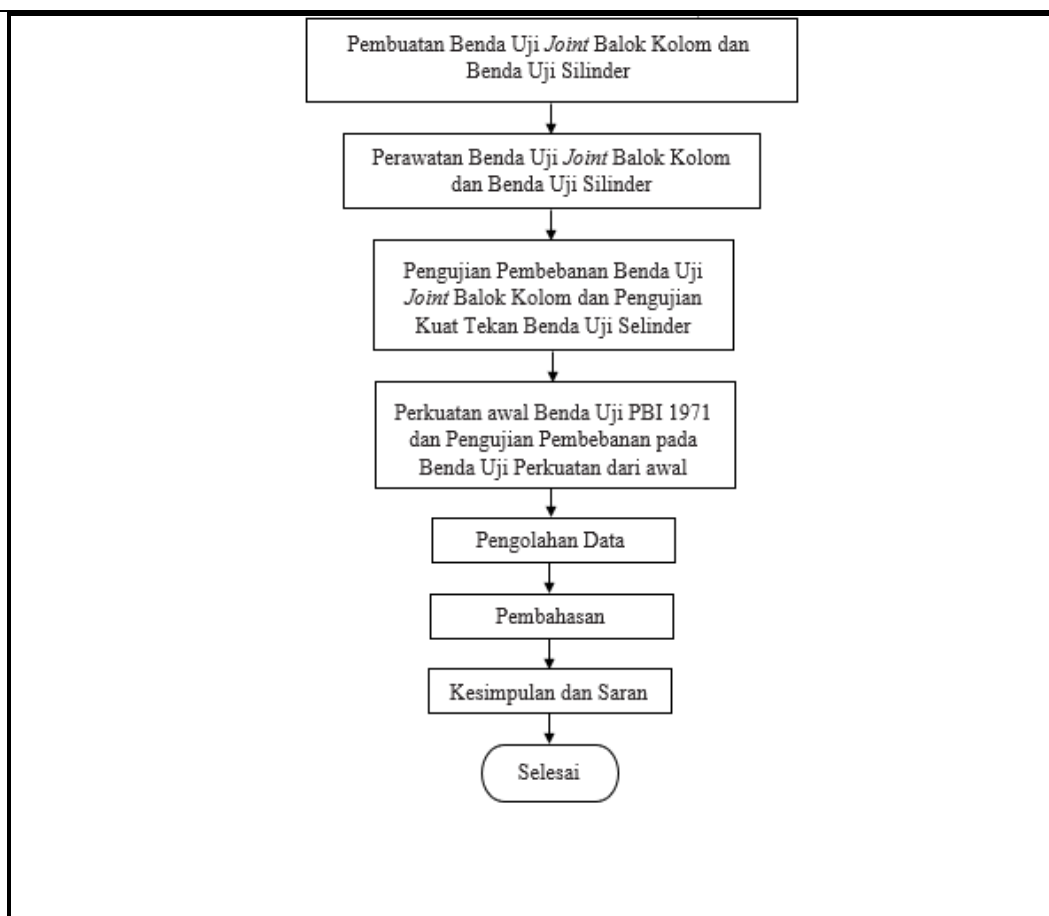
Pada metode ini kekuatan tambahan yang diberikan oleh lapisan geser diabaikan secara konservatif dan kontribusi kekuatan geser lapisan *ferrocement* dapat dianalogikan bentuk lingkaran atau kolom persegi yang memiliki tulangan transversal hoops atau spiral, dengan asumsi retak dengan kemiringan  $45^{\circ}$  [10]. Pemasangan strain gage dilakukan pada tulangan utama dan sengkang di daerah sambungan antara kolom dan balok.



Gambar 2. Bentuk Penampang Benda Uji

## 2.2 Bagan Alir Penelitian





Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

### 2.3 Pembuatan Benda Uji

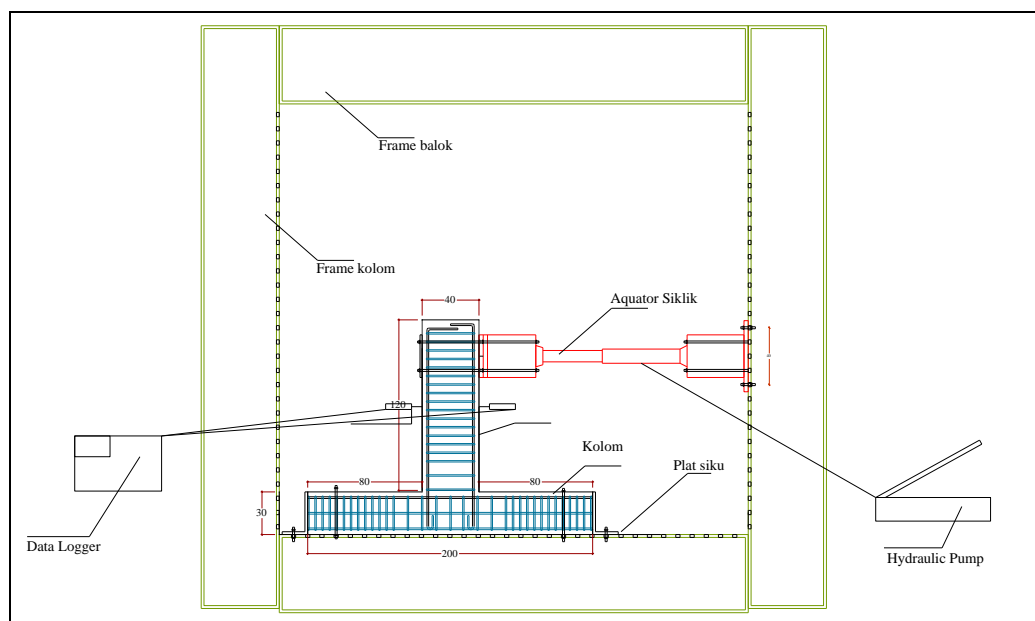
Saat akan memulai proses pengecoran, setiap bahan dan material yang digunakan harus ditimbang sesuai dengan rasio campuran yang telah ditentukan dalam perhitungan *mix design*. Cetakan yang digunakan untuk pengecoran diolesi dengan minyak terlebih dahulu agar mudah terbuka. Kemudian molen dibasahi dengan air, lalu dilanjutkan juga untuk wadah penyimpanan mortar. Dengan cara ini, beton tidak akan menempel pada wadah yang digunakan.

Pengadukan beton dilakukan dengan memasukkan material pembentuk beton ke dalam molen yang tersedia yaitu split, pasir kasar, pasir halus, semen, dan air. Sesudah dimasukkan ke dalam molen, material tersebut diaduk sekitar 15 menit. dilakukan pengadukan selama kurang lebih 15 menit. Molen kemudian diputar sehingga sumbu molen sekitar 45 derajat. Lalu beton dituangkan ke dalam wadah penampung untuk diperiksa setelah seluruhnya tercampur merata.

Pengecoran dan perawatan benda uji dilakukan berdasarkan detail benda uji yang telah direncanakan. Benda uji kemudian dihubungkan pada plat besi dengan dimensi 30 cm x 30 cm x 1,5 cm. Plat besi tersebut diikat dengan menggunakan baut ke balok frame dan tumpuan lainnya menahan beban dari load cell. Pemasangan strain gauge dilakukan sebelum perakitan benda uji yang selanjutnya diikuti dengan perakitan besi tulangan sebelum pemasangan bekisting. Benda uji ditempatkan pada bekisting yang telah dipersiapkan setelah diberikan material lapisan perkuatan yang terbuat dari ferrocement.

## 2.4 Pengujian Benda Uji

Benda uji beton bertulang yang sudah mencapai umur 28 hari, dipasang secara rigid pada *frame* yang telah disediakan. Ketika pengujian akan dilakukan, digambarkan *grid* terlebih dahulu pada permukaan benda ujinya, ini dimaksudkan untuk memperjelas daerah pola retak yang terjadi pada beton. Plat baja dua arah dipasangkan pada permukaan ujung bidang balok kemudian dibaut dan plat tersebut terikat di *load cell* untuk diberikan pembebanan secara siklik. Untuk membaca defleksi arah lateral, pada sisi balok dipasang alat *transducer*.



Gambar 4. Tampak Depan Benda uji (Set Up)

Pada ujung balok benda uji, diberikan beban secara horizontal. Beban tersebut diberikan oleh *hydraulic jack* yang sudah dihubungkan dengan *load cell*, untuk diteruskan kepada balok dan kolom tersebut. Kemudian pemberian beban dapat dikontrol dengan bacaan *dial* pada data logger. Pembebanan siklik dilakukan secara konstan hingga benda uji mengalami kehancuran.

Regangan yang terjadi di *joint* antara balok dan kolom dapat terbaca melalui alat *Portable Data Logger*. Ketika benda uji tidak mampu lagi menerima pembebanan yang diberikan, pemberian beban akan dihentikan. Pembebanan secara siklik kepada benda uji dilakukan dengan siklus tarik dan tekan serta nilai *displacement* yang bermacam sesuai kelipatannya. Pola retak yang terjadi, besarnya perpindahan lateral, penurunan kekakuan, disipasi energi, serta kapasitas beban maksimum oleh benda uji dapat dianalisa setelah dilakukan seluruh siklus pembebanan melalui hasil pembacaan LVDT. Sensor LVDT merupakan salah satu sensor magnetik yang sangat presisi yang dapat mengukur dengan ketelitian 0,1 mm.

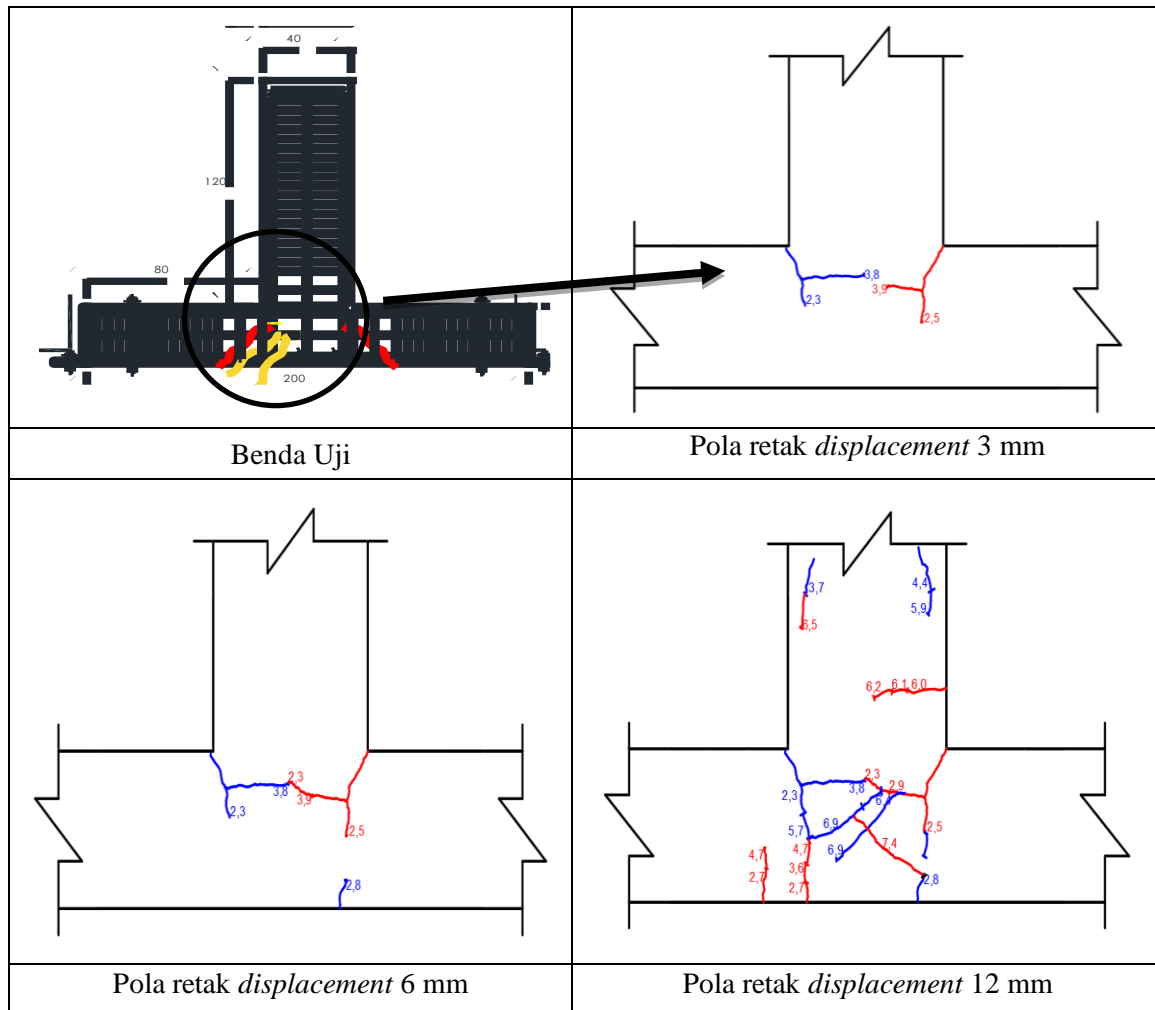
## 2.5 Analisa Data

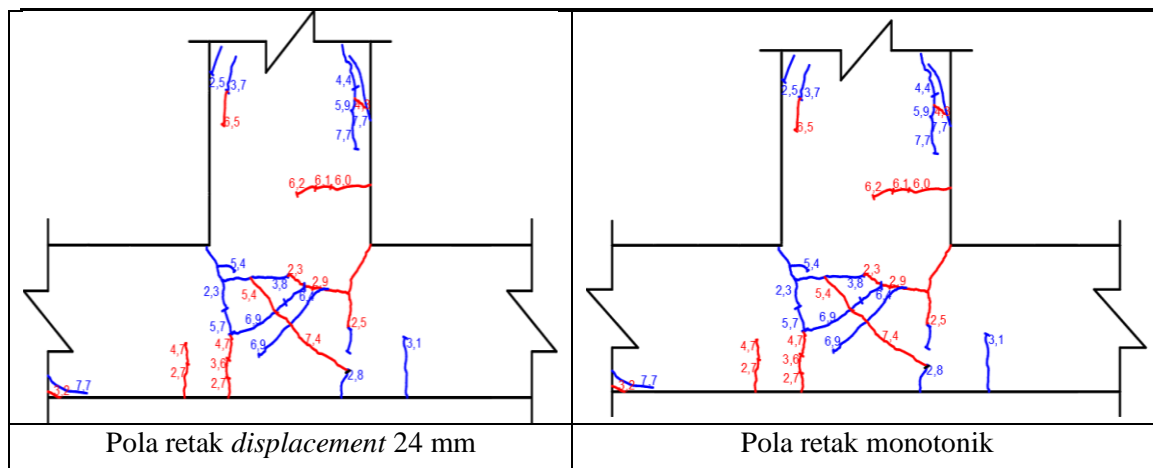
Analisa data dilakukan berdasarkan hasil pengujian kapasitas beban yang diberikan secara siklik pada sambungan kolom dan balok tersebut. Data yang diolah berupa pola retak, kapasitas beban siklik *joint* balok-kolom, dan regangan penyaluran tulangan. Kemudian data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Kesimpulan dapat diambil dari data yang dihasilkan pada pengujian tersebut terhadap kapasitas joint kolom balok sesuai dengan PBI 1971 dengan kekuatan awal menggunakan ferrocement.





ferosemen perbaikan dengan benda uji joint balok kolom awal. Beban tersebut menjadi beban maksimum yang didapatkan pada saat pengujian, setelahnya tidak terjadi lagi retak pada daerah joint karena bahan perbaikan ferosemen sudah lepas tidak ada kontak dengan beton benda uji awal. Setelah selesai, pembebanan diberikan secara monotonik sampai benda uji hancur untuk mendapatkan nilai displacement maksimumnya. Nilai yang didapat yaitu sebesar 48 mm dengan beban tekan sebesar 5,5 tf. Untuk lebih detail, ragam pola retak pada benda uji beton bertulang yang sudah diperkuat sejak awal dengan menggunakan ferrocement yang terjadi selama pembebanan diberikan dapat dilihat pada gambar 6.





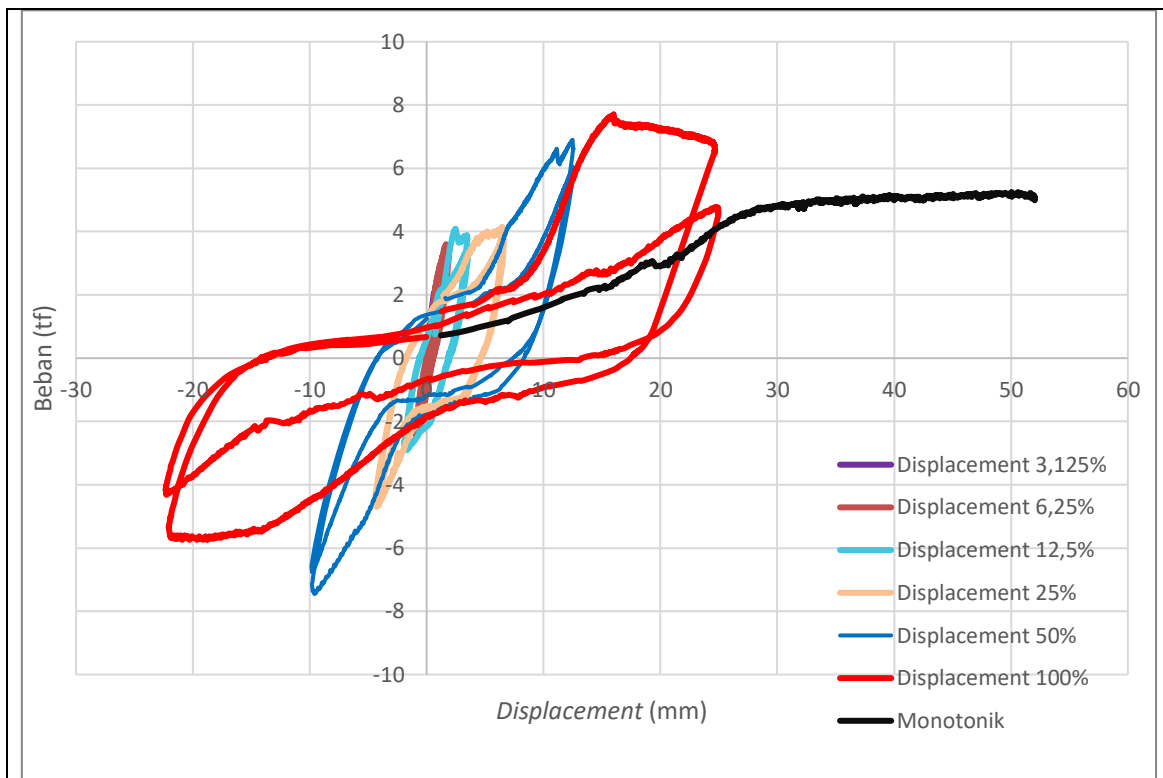
Gambar 6. Pola retak tiap displacement benda uji PBI 1971 dengan perkuatan awal

### 3.2 Parameter Kinerja Struktur

Kurva histeritik dihasilkan setelah dilakukan pengujian struktur terhadap beban siklik. Berdasarkan kurva tersebut, dapat diketahui bahwa parameter kinerja struktur akibat beban lateral siklik diantaranya adalah kapasitas kekuatan maksimum, penurunan kekakuan, energi disipasi dan daktilitas.

#### 3.2.1 Kapasitas Kekuatan Maksimum

Nilai kapasitas kekuatan maksimum untuk benda uji sesuai PBI 1971 dengan perkuatan awal didapatkan sebesar 7,71 tf (tekan) dan 7,48 tf (Tarik). Untuk hubungan beban dan perpindahan yang didapatkan dari data hasil pengujian lateral siklik disajikan dalam bentuk grafik. Perpindahan lateral maksimum pada benda uji tersebut adalah sebesar 48 mm.



Gambar 7. Kurva histeritik pengujian struktur terhadap beban siklik

### 3.2.2 Penurunan Kekakuan

Kekakuan pada sebuah struktur bangunan harus diberikan pembatasan guna menjaga konstruksi agar lendutan yang terjadi tidak melebihi yang disyaratkan. Kekakuan pada benda uji diukur dengan kemiringan garis yang menghubungkan antara puncak tarik dan puncak tekan [11]. Persamaan yang digunakan adalah :

$$k = \frac{P}{\delta} \tag{1}$$

dimana:  $k$  = Kekakuan (N/mm),  $P$  = Beban (N), dan  $\delta$  = Lendutan (mm)

Berdasarkan data hasil pengujian, benda uji yang dirancang sesuai PBI 1971 dengan perkuatan awal menggunakan ferrocement ini mengalami penurunan kekakuan dimulai dari perpindahan lateral 0,780 mm sampai dengan perpindahan lateral 20,385 mm sebesar 0,093 tf/mm. Hasil perhitungan penurunan kekakuan dilampirkan sesuai dengan tabel 1.

Tabel 1. Penurunan Kekakuan pada benda uji

Displacement (mm)	P+ (tf)	d+ (mm)	P- (tf)	d- (mm)	Kekakuan Per Siklus	Rerata Kekakuan	Rerata Penurunan	Rerata Perpindahan
0,75	2,290	0,780	-1,570	-0,460	3,113	3,113	1,000	0,780
1,5	3,600	1,660	-2,440	-0,920	2,341	2,232	0,717	1,785
	3,420	1,910	-1,910	-0,600	2,124			
3	4,090	2,480	-2,900	-1,690	1,676	1,422	0,457	3,010
	3,540	3,540	-2,730	-1,830	1,168			
6	4,150	6,440	-4,700	-4,290	0,825	0,801	0,257	6,545

	4,000	6,650	-4,550	-4,350	0,777			
12	6,900	12,490	-7,450	-9,570	0,650	0,611	0,196	12,515
	6,030	12,540	-6,760	-9,810	0,572			
24	7,710	16,000	-5,740	-19,120	0,383	0,288	0,093	20,385
	4,780	24,770	-4,320	-22,270	0,193			

### 3.2.3 Energi Disipasi

Energi total yang diberikan saat proses pembebanan berlangsung disebut energi input. Terdapat sebagian dari energi input tersebut yang dapat didisipasi melalui dampak kerusakan yang timbul seperti tulangan yang meleleh dan struktur yang mengalami retak. Nilai energi disipasi yang dihasilkan pada beban tekan disetiap siklus berbeda-beda. Semakin besarnya nilai energi disipasi yang dihasilkan, menunjukkan kesesuaian hubungannya dengan displacement. Energi disipasi dapat dihitung dengan Persamaan 2.8 berikut ini:

$$E_i = EE + ED \quad (2)$$

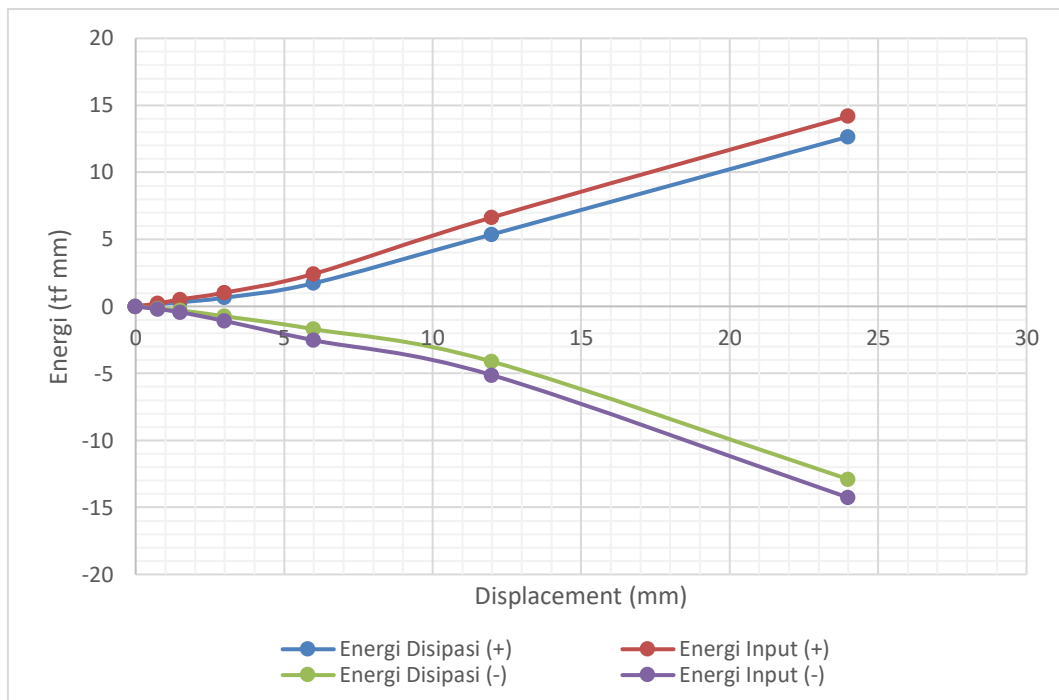
Dimana:  $E_i$  = energi input total;

$EE$  = energi elastis;

$ED$  = energi disipasi.

Tabel 2. Hubungan Energi Disipasi dan Beban Benda Uji

No	Displacement	Jumlah Siklus	Energi Input		Energi Disipasi		Perbandingan EI - ED (+)	Perbandingan EI - ED (-)	EI Total (+)	EI Total (-)
			Positif	Negatif	Positif	Negatif				
1	0,75	1	0,05	-0,04	0,17	-0,17	0,29	0,24	0,22	-0,21
2	1,50	2	0,21	-0,14	0,31	-0,30	0,68	0,47	0,52	-0,44
No	Displacement	Jumlah Siklus	Energi Input		Energi Disipasi		Perbandingan EI - ED (+)	Perbandingan EI - ED (-)	EI Total (+)	EI Total (-)
			Positif	Negatif	Positif	Negatif				
3	3,00	2	0,38	-0,35	0,65	-0,74	0,58	0,47	1,03	-1,09
4	6,00	2	0,70	-0,83	1,73	-1,70	0,40	0,49	2,43	-2,53
5	12,00	2	1,27	-1,01	5,37	-4,12	0,24	0,25	6,64	-5,13
6	24,00	2	1,52	-1,37	12,66	-12,90	0,12	0,11	14,18	-14,27



Gambar 8. Grafik Hubungan Energi dengan *Displacement* Benda Uji

### 3.2.4 Daktilitas

Struktur kontstruksi memiliki kemampuan untuk berdeformasi inelastis tanpa perlu kehilangan kekakuan yang besar, yang disebut dengan daktilitas. Daktilitas dapat dinyatakan dalam bentuk perpindahan ultimit berbanding dengan perpindahan leleh [12]. Persamaan yang digunakan adalah berikut:

$$\mu = \frac{d_u}{d_y} \quad (3)$$

Dimana:  $\mu$  = Daktilitas,  $d_u$  = Perpindahan Ultimit, dan  $d_y$  = Perpindahan leleh

Berdasarkan hasil pengujian, perpindahan ultimit ( $d_u$ ) yang dihasilkan sebesar 16 mm. Sementara untuk nilai perpindahan leleh ( $d_y$ ) didapatkan nilai sebesar 5,05 mm. Maka, Daktilitas untuk Benda Uji PBI 1971 tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai Daktilitas pada Benda Uji

Benda Uji	Disp Maks	Disp Ultimit	Disp Yield	Daktilitas
	$d_{maks}$ (mm)	$d_u$ (mm)	$d_y$ (mm)	$d_u / d_y$
PBI 1971	48,00	16,00	5,05	3,17

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Kerusakan yang dialami benda uji memiliki pola kehancuran berbentuk huruf X (silang), akan tetapi bahan perkuatan ferrocement terlepas saat menerima beban

- 
- maksimum sehingga terjadi retakan yang besar di keliling daerah yang diberikan perkuatan dengan ferrocement.
2. Berdasarkan hasil penelitian [1] disimpulkan bahwa pemasangan lapisan wiremesh dalam *ferrocement* merupakan metode yang efektif untuk perkuatan sambungan pada balok dan kolom karena nilai kapasitas geser dapat ditingkatkan.
  3. Nilai maksimum dari pembebanan siklik yang diperoleh pada saat displacement 24 mm sebesar 7,71 tf (tekan) dan 7,48 tf (tarik).
  4. Nilai displacement maksimum yang diperoleh pada saat dilakukan pembebanan monotonik sampai benda ujinya hancur adalah sebesar 48 mm.

#### 5. SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan cara dilakukan perbaikan terhadap benda uji yang sudah terlebih dahulu mengalami kehancuran atau dengan cara memvariasikan jumlah lapisan *wire mesh* yang digunakan.
2. Metode pelekatan ferrocement perlu diperkuat dengan penambahan jumlah angkur sehingga ferrocement perbaikan tidak terlepas dan tetap mempertahankan kekuatan struktur sampai mengalami keruntuhan.
3. Perlu dilakukan studi komparasi dengan metode perkuatan yang lain atau dengan standar peraturan yang terbaru untuk dapat diaplikasikan pada bangunan-bangunan yang baru.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik, tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik berupa moril maupun materil. Ucapan terimakasih kepada seluruh keluarga dan berbagai pihak yang terlibat mulai dari pihak laboratorium yang telah bekerja sama dengan baik selama proses pengujian sampai dengan anggota tim yang terlibat dalam pengumpulan data.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Masrura and Abdullah, "Analisa Perilaku Sambungan Balok-Kolom Sesuai PBI 1971 Terhadap Beban Siklik," *Teras J.*, vol. 10, no. 2, pp. 276–285, 2020.
- [2] N. Afiya and Z. Araby, "Perilaku Retak Pada Sambungan Balok Kolom Sesuai Dengan PBI 1971," vol. 4, no. 2, pp. 197–203, 2022.
- [3] PBI 1971 N.I. - 2, "Peraturan Beton Bertulang indonesia 1971 N.I. - 2," *Jakarta Direktorat Penyelid. Masal. Bangunan*, vol. 7, p. 130, 1971.
- [4] D. Ristanto, E., "Analisis Joint Balok Kolom dengan Metode SNI-287-2013 dan ACI-352R-2002 Pada Hotel Serela Lampung," *Jrsdd*, vol. 3, no. 3, pp. 521–540, 2015.
- [5] T. S. A. A. Ghobarah and Ashraf Biddah, "Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Connections Using Corrugated Steel Jacketing," *ACI Struct. J.*, vol. 94, no. 3, doi: 10.14359/480.

- 
- [6] I. Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1994.
- [7] A. E. Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*. Michigan, USA: Ann Arbor, 2000.
- [8] N. Hidayati, "Implementasi Ferrocement Curved Slab Terhadap Daktilitas," vol. 9, no. 2, pp. 230–235, 2022.
- [9] Rismawan, B. A. A, and S. J. Sisworo, "Analisa Kekuatanlentur Bahan Ferrocement Berpenguat Kawat Anyam Sebagai Bahan Dasar Modular Floating Pontoon," *J. Tek. Perkapalan Univ. Diponegoro*, vol. 2, no. 4, pp. 58–65, 2014.
- [10] Abdullah and K. Takiguchi, "An investigation into the behavior and strength of reinforced concrete columns strengthened with ferrocement jackets," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 25, no. 2, pp. 233–242, 2003.
- [11] Timoshenko, *Teori Elastisitas, Terjemahan Darwin Sebayang*. Jakarta: Erlangga, 1986.
- [12] R. Simbolon, H. Parung, R. Irmawaty, and A. Amiruddin, "Daktilitas Sambungan Model Takikan Rangkap Pada Hubungan Balok-Kolom Beton Pracetak, Akibat Beban Lateral Siklik," vol. 7, no. 2, pp. 162–171, 2019.