

Perilaku Retak Pada Sambungan Balok Kolom Sesuai Dengan PBI 1971

Nur Afia¹ Zardan Araby² Abdullah³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
 nurafiya@mhs.unsyiah.ac.id, zardan_araby@unsyiah.ac.id

Abstract

Connections between beams and columns are an important part of earthquake resistance because they experience large shear moments that can damage or destroy building structures. Therefore, the structure should be considered and repaired in an appropriate manner. One alternative used for improvement is the application of ferrocement technology. Ferrocement is a thin reinforced concrete that uses wire mesh as the main reinforcement with hydraulic cement mortar. The purpose of this study was to determine the behavior of the beam-column connection designed according to PBI 1971 under cyclic loading after restoration with ferrocement technique. The object of this study is the PBI 1971 standard beam-column joint where the joint does not have stirrup reinforcement (shear reinforcement). This study was conducted at the Construction and Building Materials Laboratory, Faculty of Engineering, Syiah Kuala University. The test object used in this study was in the form of a beam-column joint with a beam size of $30 \times 40 \times 120$ cm and a column of $30 \times 30 \times 200$ cm. Repair was done by placing a ferrocement plate on the joint. The test was carried out by applying cyclic load in compression and tension in a lateral direction to the beam. Based on the results of this research, the addition of ferrocement in the beam-column joint area of the PBI 1971, the maximum compressive load was 7,74 tf and the maximum tensile load was 7,28 tf and the ductility factor was 4,66.

Keywords: beam-column joints, ferrocement, wiremesh, cyclic load, PBI 1971

Abstrak

Sambungan antara balok dan kolom merupakan bagian penting dari ketahanan gempa karena mengalami momen geser yang besar yang dapat merusak atau menghancurkan struktur bangunan. Oleh karena itu, struktur harus dipertimbangkan dan diperbaiki dengan cara yang sesuai. Salah satu alternatif yang digunakan untuk perbaikan adalah penerapan teknologi ferosemen. Ferosemen merupakan beton bertulang tipis yang menggunakan kawat jala (wiremesh) sebagai tulangan utama dengan mortar semen hidrolis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku sambungan balok-kolom yang direncanakan menurut PBI 1971 pada pembebanan siklik setelah restorasi dengan teknik ferosemen. Objek penelitian ini merupakan joint balok kolom standar PBI 1971 dimana pada bagian joint tidak memiliki tulangan sengkang (tulangan geser). Penelitian dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk joint balok-kolom dengan ukuran balok $30 \times 40 \times 120$ cm dan kolom $30 \times 30 \times 200$ cm. Perbaikan dilakukan dengan cara menempatkan pelat ferosemen pada joint tersebut. Pengujian dilakukan dengan pembebanan siklik secara tekan dan tarik dengan arah lateral terhadap balok. Berdasarkan hasil penelitian penambahan ferosemen pada daerah joint balok-kolom PBI 1971 didapatkan beban tekan maksimum sebesar 7,74 tf dan beban tarik maksimum sebesar 7,28 tf dan faktor daktilitas didapat sebesar 4,66.

Kata kunci: Joint balok-kolom, ferosemen, wiremesh, beban siklik, PBI 1971

I. Pendahuluan

Konstruksi bangunan sangat penting bagi kehidupan manusia, seperti tempat tinggal, tempat beribadah, tempat bekerja. Selain estetika suatu bangunan, aspek yang paling penting adalah ketahanan struktur terhadap beban statis yang direncanakan atau potensi bencana seperti gempa bumi. Pada saat gempa terjadi, Sambungan balok dan kolom akan mengalami gaya geser horizontal dan vertikal yang menyebabkan kerusakan, bahkan akan menimbulkan keruntuhan geser yang bersifat getas apabila beban gempa yang diterima terlalu besar. Karena *Joint* balok-kolom merupakan komponen yang berperan penting pada struktur bangunan yang fungsinya adalah untuk menyangga beban struktur

lainnya yang merupakan beban siklik terhadap sambungan balok dan kolom tersebut

Salah satu alternatif yang digunakan untuk restorasi adalah penerapan teknologi ferosemen. Ferosemen merupakan beton bertulang tipis yang menggunakan kawat jala (*wiremesh*) sebagai tulangan utama dengan mortar semen hidrolis.

Ferosemen adalah beton bertulang tipis yang terbuat dari mortar yang dicampur dengan pasir, semen dan air dalam proporsi tetap, menerima beberapa lapisan *wiremesh* sebagai pengikat dengan kawat berdiameter kecil. Ferosemen memiliki beberapa keunggulan khusus sebagai bahan bangunan karena sifat mekaniknya seperti kekuatan tarik, lentur, geser dan ketahanan retak lebih unggul dari beton pada umumnya. Ferosemen mempunyai beberapa

keuntungan lainnya yang dapat dimanfaatkan menjadi metode perbaikan struktur, diantaranya adalah kemudahan dalam hal pengerjaan, bahan cukup mudah didapat dan volume bahan yang digunakan relatif sedikit. Keuntungan ini memungkinkan ferosemen digunakan sebagai salah satu alternatif untuk metode perbaikan struktur [1].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku sambungan balok-kolom yang direncanakan menurut PBI 1971 pada pembebanan siklik setelah restorasi dengan teknik ferosemen.

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi apakah dengan mengaplikasikan ferosemen 5 lapis wiremesh dan 7 ankur pada sambungan balok-kolom dapat dijadikan perbaikan pada benda uji ini, diharapkan agar bisa di aplikasikan ke bangunan yang sebenarnya.

Objek penelitian ini merupakan *joint* balok kolom standar PBI 1971 dimana pada bagian *joint* tidak memiliki tulangan sengkang (tulangan geser). Penelitian dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk *joint* balok kolom dengan ukuran balok $30 \times 40 \times 120$ cm dan kolom $30 \times 30 \times 200$ cm.

Batasan dalam penelitian ini adalah adanya aturan baru dalam perencanaan bangunan gedung SNI 2847-2019. Oleh karena itu bangunan yang direncanakan dengan aturan lama (PBI-1971 atau sebelumnya) perlu dipelajari dan diperkuat, kemudian metode perbaikan yang dilakukan pada daerah *joint* balok-kolom yang mengalami kerusakan beban yang diterima, metode perbaikan akan di aplikasikan pada daerah sambungan antara balok dan kolom yang telah rusak akibat beban yang diterima dan Perilaku yang disebabkan dengan menambahkan ferosemen sebagai perbaikan pada area sambungan balok dan kolom sesuai dengan PBI 1971, dengan 5 lapis wire mesh dan 7 ankur.

Pengujian dilakukan dengan pembebanan siklik secara tekan dan tarik dengan arah lateral terhadap balok

Beton bertulang memiliki beberapa kelebihan di antara lain: bahan-bahannya mudah didapat di sekitar kita; harga bahan beton bertulang relatif murah; mudah dibentuk dalam berbagai ukuran sesuai dengan keinginan arsitek; lebih tahan terhadap api/suhu tinggi; perawatan beton bertulang murah dan mudah dilaksanakan; mempunyai kekuatan tekan yang tinggi Praktiko [2].

Mulyono menjelaskan bahwa kuat tekan adalah kapasitas beton untuk menyerap gaya tekan per satuan luas [3]. Kuat tekan umumnya merupakan sifat utama yang harus dimiliki beton, sehingga beton yang tidak mempunyai kekuatan untuk memenuhi persyaratan beton menjadi percuma. Beberapa faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton adalah faktor dan berat jenis air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen, agregat, dan cara pembuatan beton. Nilai kuat tekan beton diberikan oleh tegangan tekan beton (f_c) dan dapat dihitung dengan rumus::

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

dimana: f_c = kuat tekan beton (MPa);
 P = beban (N); dan
 A = luas penampang (mm^2)

Tegangan adalah gaya yang bekerja pada baja dalam per satuan luas.

Regangan pada baja merupakan respon terhadap tegangan. Regangan adalah perbandingan pertambahan panjang yang disebabkan oleh tegangan terhadap panjang awal baja.

Perancangan struktur memerlukan perhatian terhadap sambungan antara balok dan kolom. Hal ini dikarenakan titik-titik sambungan balok dan kolom memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi akibat gaya gempa yang ada. Tegangan yang dihasilkan menyebabkan perbedaan respon tegangan antara satu sisi dengan sisi lain balok, yaitu tarik dan tekan, antara pengaku di bagian atas balok dan pengaku di bagian bawah balok, masing-masing mendapat tegangan yang berlawanan. Perhitungan struktural yang cermat dan perhatian yang cermat pada sambungan balok dan kolom akan mengurangi risiko pembentukan sendi plastis di area ini yang menyebabkan keruntuhan [4].

Menurut SNI-1726-2002 [5] Daktilitas berarti suatu bangunan mengalami defleksi pasca-elastis yang besar dan berulang-ulang akibat beban gempa dengan tetap mempertahankan kekuatan dan kekakuannya sehingga bangunan tersebut tetap berdiri walaupun menghadapi resiko keruntuhan struktural. Daktilitas beton dapat dilihat dari kurva hubungan tegangan-regangan. Kurva yang menunjukkan penurunan kuat tekan yang tajam setelah melewati beban puncak menunjukkan struktur bangunan yang kurang daktail, yang menyebabkan keruntuhan getas secara tiba-tiba.

Menurut Popov [6] Pembebanan siklik (bergantian) terus menerus mengurangi kapasitas tekan batang dan dapat mencapai 50% dari kapasitas awal dengan pembebanan siklik berat saja. Beban siklik adalah pe Fraktur kelelahan dapat terjadi karena pembebanan pada suatu bagian secara teratur dan berulang. Beban siklik dapat diartikan sebagai beban gempa yang bekerja maju dan mundur (dalam dua arah) pada gedung bertingkat. Ini karena dalam kondisi dunia nyata sebagian besar sistem struktural tidak linier sampai batas tertentu. Oleh karena itu, analisis tegangan siklik dilakukan dengan analisis dinamis nonlinier.

Kurva loop histeresis dihasilkan dari pengujian tegangan siklik (tekanan siklik), yang merupakan hubungan antara tegangan dan perpindahan. Hubungan ini menggambarkan perilaku dan kapasitas struktur saat menerima dan menahan beban pada setiap siklus. Semakin datar loop histeresis yang terjadi pada setiap siklus, semakin rendah kekakuan geser akibat beban eksternal. Juga, dari kurva loop histeresis, kita dapat melihat berapa banyak energi yang diserap atau dilepaskan setiap struktur selama setiap siklus. Energi histeresis adalah luas total kurva

tertutup (bentuk daun) dalam loop histeresis yang diambil pada setiap siklus yang terjadi [7].

Disipasi energi adalah jumlah energi yang dapat diserap oleh suatu struktur selama pembebanan dari mekanisme kerusakan dalam bentuk retak struktural dan leleh tulangan. Energi total yang disuplai ke struktur di bawah beban disebut energi input. Dalam kurva histeresis, energi input diidentifikasi sebagai area yang dilingkupi oleh kurva tertutup dari tegangan dan histeresis perpindahan. Kekakuan dapat didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan perpindahan [8].

Ferosemen memiliki beberapa keunggulan utama seperti kemudahan pembuatan, karena teknologi dalam pembuatan hampir identic dengan bahan bangunan biasa (mortar dan beton), dan jumlah yang relatif kecil. Data regangan – tegangan dari wiremesh 1 inci [9].

Triwiyono [10] menyatakan bahwa ada dua jenis perbaikan: perbaikan dan penguatan. Perbaikan adalah proses mengembalikan suatu bangunan yang telah rusak dan melemah ke kekuatan semula. Memperbaiki bangunan yang mungkin tidak rusak dengan mengubah struktur untuk meningkatkan kekuatan bangunan yang tidak rusak itu disebut perkuatan.

Lirad [11] melakukan penelitian dengan judul “Perilaku Joint Balok Kolom Standar PBI 1971 Terhadap Beban Siklik Setelah Perbaikan Dengan Bahan Ferosemen”. Berdasarkan hasil penelitian yang didapat dengan penambahan ferosemen (variasi 4 lapis wire mesh dan 4 buah angkur) sebagai salah satu alternatif perbaikan struktur pada daerah joint balok kolom dapat meningkatkan nilai kapasitas beban siklik

Afriranda [12] melakukan penelitian dengan judul “Perilaku Joint Balok Kolom Yang Dibebeani Siklik Setelah Perbaikan Dengan Menggunakan Ferosemen Sesuai Dengan PBI 1971 (FAS 0,6)”. Berdasarkan hasil penelitian yang didapat dengan penambahan ferosemen (variasi 3 lapis wire mesh dan 7 buah angkur) sebagai salah satu alternatif perbaikan struktur pada daerah joint balok kolom dapat meningkatkan nilai daktilitas struktur..

Irsyad [13] melakukan penelitian dengan judul “Perbaikan Joint Kolom Balok Dengan Ferosemen Yang Dibebeani Siklik Sesuai Dengan PBI 1971”. Berdasarkan hasil penelitian yang di dapatkan dengan penambahan ferosemen (variasi 4 lapis wire mesh) sebagai salah satu alternative perbaikan struktur pada joint balok kolom dapat meningkatkan nilai kapasitas beban siklik.

Rachmat [14] melakukan penelitian dengan judul “Analisis Perilaku *Joint* Balok Kolom Terhadap Beban Siklik Sesuai Dengan SNI 2847-2013”. Berdasarkan hasil penelitian yang didapat dengan penambahan tulangan sengkang dan penyaluran tulangan ke kolom daerah *joint* balok kolom dapat meningkatkan nilai kapasitas beban siklik.

NS [15] melakukan penelitian dengan judul “Analisis Perilaku *Joint* Balok Kolom terhadap Beban

Siklik dengan Penambahan Sengkang Pada *Joint* Sesuai SK SNI T-15-1991-03”.

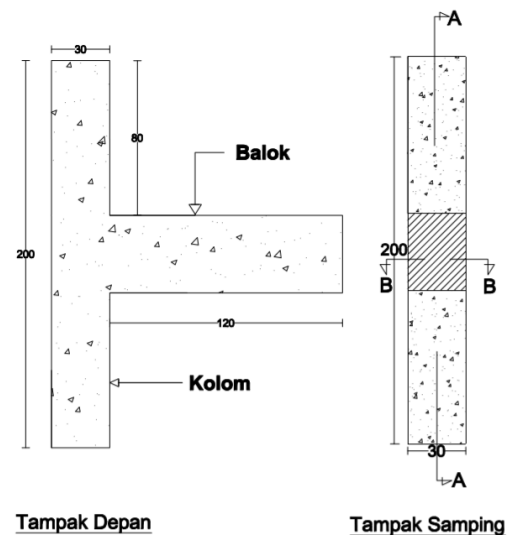
II. Metodologi Penelitian

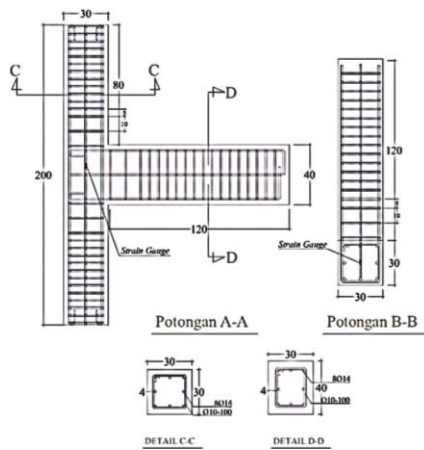
1. Objek Penelitian

Benda uji yang direncanakan adalah balok dan kolom beton bertulang yang berbentuk huruf “T” dengan desain mutu beton K 200. Mix desain diperoleh dengan metode percobaan berdasarkan berat volume beton. Benda uji merupakan joint dari 2 kolom dengan balok, dengan dimensi ukuran balok $30 \times 120 \times 40$ cm dan dimensi ukuran kolom $30 \times 30 \times 200$ cm. Pengujian dilakukan pada beton berumur 28 hari Pengujian dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.

Tabel 1. Dimensi Ukuran dan Jumlah Benda Uji

No	Kode Benda Uji	Spesifikasi Material	Dimensi Balok	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	Jumlah
1	BMN-N	Beton Bertulang	$30 \times 120 \times 40$	$30 \times 30 \times 200$	8 Ø 14	Ø10-100	1
2	BU-AF1	Beton Silinder	15×30	-	-	-	3
3	BU-AF2	Beton Silinder	10×20	-	-	-	3





Gambar 1. Detail Benda Uji

2. Jenis dan Sumber Data Penelitian

Sumber data yang akan digunakan untuk mendukung penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengujian pembebanan siklik secara tekan dan tarik dengan arah lateral terhadap balok dilakukan pada umur 28 hari beton, sedangkan data sekunder yang saya gunakan diperoleh dari studi literatur sifat fisis material beton seperti (semen, air, baja tulangan dan *wiremesh*) zat kimia yang terkandung di dalamnya data sekunder lain di dapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Lirad, M [11].

3. Teknik Pengumpulan Data

Cara mendapatkan data penelitian ini yaitu dengan berbagai pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala. Data hasil pengujian kapasitas beban siklik sambungan balok-kolom yang meliputi kapasitas beban dengan kontrol *displacement*, *hysteretic loop*, kekakuan, daktilitas struktur, energi disipasi, kuat tekan beton dan kuat tarik baja.

4. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah pembuatan benda uji ini adalah pembuatan cetakan, perakitan tulangan, pembuatan cor beton mutu normal, pemasangan wire mesh, dan pembuatan cor mortar teknologi ferosemen.

Kemudian untuk menghindari adanya beton yang menyusut secara mendadak yang mampu menimbulkan retak pada benda uji beton, oleh karena itu diperlukan perawatan. Perawatan benda uji silinder beton dilakukan melalui cara disiram memakai air selama 28 hari. Sedangkan untuk benda uji *joint* balok kolom, perawatan akan dilakukan dengan cara menutup benda

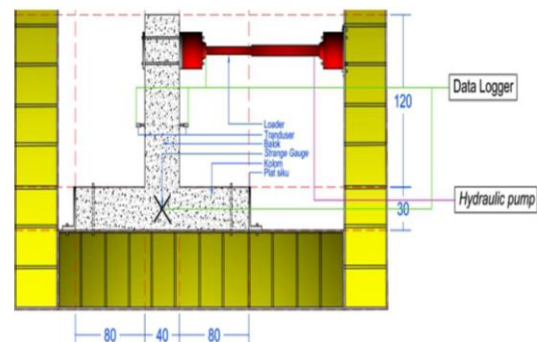
uji dengan goni yang sudah dibasahi oleh air. Perawatan dilakukan setiap 24 jam sampai dengan beton berumur 28 hari. Perawatan ini bertujuan menjaga agar selama berlangsung pengerasan beton tidak kekurangan air.

5. Pengujian Kuat Tarik Baja

Dalam uji daya tarik ini, bagus tidaknya logam ditentukan melalui uji tarik logam sesuai dengan tata cara SNI 07-2529-2017, beban diberikan terus menerus sampai logam putus. Pembacaan regangan diselesaikan untuk tiap tambah beban 200 kg melalui pembacaan transduser. Hasil dari pengamatan ini digambarkan dalam kurva hubungan antara tegangan tarik baja dengan regangan sehingga diperoleh kuat tarik baja dan regangan luluhnya.

6. Pengujian dengan Beban Siklik

Pelaksanaan pengujian ini setelah benda uji berumur 28 hari terhitung setelah hari pengecoran perbaikan dengan ferosemen. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan benda uji di cat warna putih dan digambar *grid* terlebih dahulu, supaya mudah menggambar pola retak yang dihasilkan. Kapasitas beban siklik yang akan diperhitungkan adalah kuat tekan beban yang dihasilkan dari pengujian kuat tekan benda uji silinder yang di uji pada hari yang sama. Benda uji *joint* balok kolom dipasang secara kaku pada rangka baja (*loading frame*) yang tersedia di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil.



Gambar 2 Set Up Benda Uji Pada Loading Frame

III. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil

1.1 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Berdasarkan ACI 211.1-91, direncanakan campuran beton untuk benda uji sambungan balok dan kolom. Mutu beton rencana sebesar 21,05 MPa dengan faktor air semen (FAS) sebesar 0,67 dan mutu mortar rancangan sebesar 30 MPa dengan faktor air

semen (FAS) sebesar 0,5. Komposisi campuran yang dihasilkan terdiri dari semen, air, pasir dan agregat untuk 1 m³ beton.

Tabel 2. Komposisi Campuran Beton

Elemen	FAS	Semen (Kg)	Air (Kg)	Pasir (Kg)	Split (Kg)
Balok Kolom	0,67	301,52	203	1015,47	830,84
Mortar	0,5	414,33	206,67	1182,67	

1.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Dalam pembuatan benda uji BMN-N, sebanyak tiga benda uji beton berbentuk silinder berukuran 15 × 30 cm disiapkan dan diuji secara bersamaan pada hari pengujian siklus. Selain itu, untuk pengendalian mutu mortar ferosemen, sebanyak 3 buah benda uji berbentuk silinder berukuran 10 × 20 cm dibuat dan diuji secara bersamaan pada hari uji siklus.

Tabel 3 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder

No.	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Beban (kg)	Luasan (cm ²)	f _c (kg/cm ²)	(X _c -X) ²
S1	15,01	30,41	47000	176,78	265,864	1026,475
S2	15,00	30,47	46000	176,70	260,323	1412,234
S3	15,01	30,12	65000	176,86	367,521	4846,716
Rata-rata					297,90277	7285,425
SF1	9,84	20,1	40000	75,957	547,681	6168,903
SF2	10,01	20,1	30000	78,657	396,659	5253,385
SF3	10,01	20,1	35000	78,605	463,077	36,749
Rata-rata					469,139	11459,04

1.3 Pengujian Kuat Tarik Baja

Tabel 4. Hasil Perhitungan Uji Tarik Baja Tulangan

Benda Uji	Diameter mm	Beban Maksimum Kg	f _t (Mpa)		f _y (Mpa)		ϕ _t
			Hasil	Rata-rata	Hasil	Rata-rata	
1	10	4360	544,8	543,6	374,9	374,9	0,308
2	10	4340	542,4	543,6	374,9	374,9	0,295
3	14	8700	554,7	545,1	382,5	382,5	0,321
4	14	8400	535,6	545,1	382,5	382,5	0,226

Dari tabel diatas didapatkan hasil uji tarik baja dengan nilai tegangan ultimit tulangan utama P14 adalah 545,1 MPa, sedangkan hasil dari uji tarik baja tulangan sengkang P10 dengan nilai tegangan ultimit 543,6 MPa.

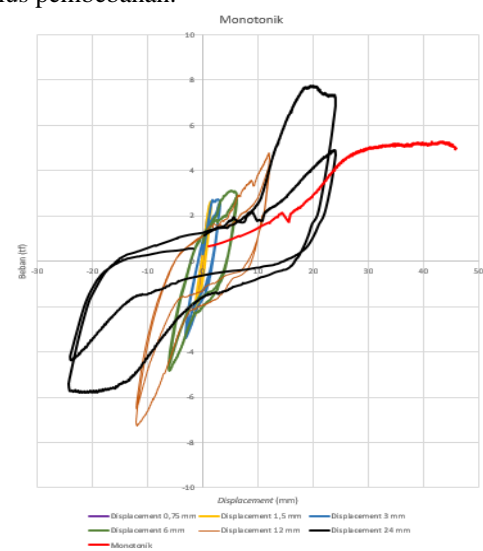
1.4 Hasil Pengujian Beban Siklik

Hasil dari pengujian ini akan disajikan secara detail, yaitu berupa data pengujian grafik mengenai

beban siklik, perpindahan struktur, dan pola retak pada *joint* balok kolom. Beban maksimum yang dicapai oleh benda uji *joint* balok-kolom setelah pelekatan bahan ferosemen pada daerah *joint* adalah sebesar 7,7 tf beban tekan dan 7,2 tf beban tarik, beban tekan maksimum terjadi pada kontrol beban dengan *displacement* 24 mm siklus pertama dan beban maksimum tarik terjadi pada kontrol beban dengan *displacement* 24 mm siklus pertama.

1.5 Beban dan Perpindahan Lateral

Beban dan perpindahan lateral (*displacement*) yang dihasilkan dari pengujian siklik dapat dihubungkan dalam bentuk kurva antara beban dan *displacement* yang akan membentuk kurva *hysteretic loop* yang merupakan kurva gabungan antara setiap siklus pembebanan.



Gambar 3. Kurva Hysteretic Perilaku Struktur Terhadap Beban Siklik

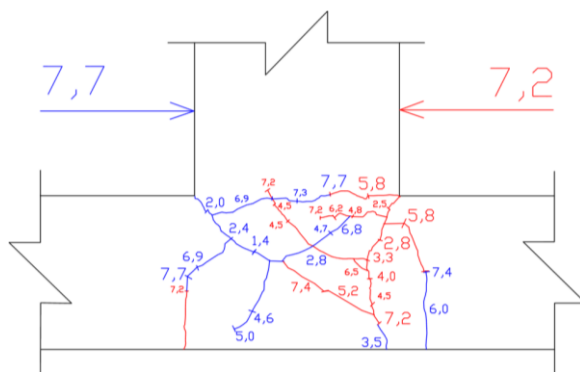
2. Pembahasan

Pada bagian ini akan dijelaskan pola retak, kekakuan, Energi disipasi, dan daktilitas struktur benda uji sambungan balok-kolom akibat adanya pembebanan siklik secara tekan dan tarik dengan arah lateral terhadap balok sehingga terjadinya patahan pada tumpuan balok.

2.1 Pola Retak

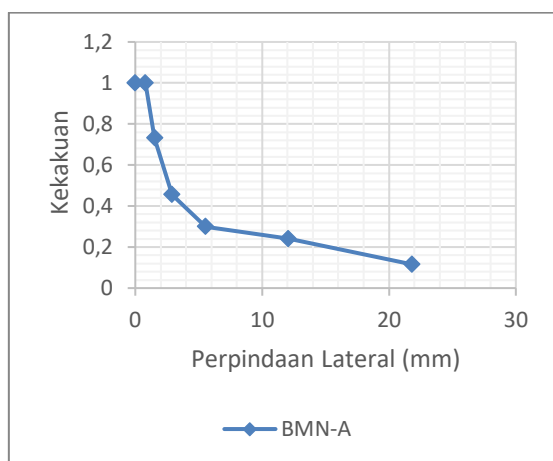
Setelah semua siklus beban siklik selesai, benda uji dibebani secara monotonik untuk mendapatkan lendutan dan perpindahan maksimum benda uji. Hasilnya adalah patahan pada tumpuan balok. Pembebanan dengan *displacement* 24 mm merupakan siklus terakhir pembebanan siklik terhadap benda uji sebelum dilanjutkan dengan pembebanan monotonik satu arah dengan diberikan beban tekan. Pada siklus 1 terjadi keretakan ketika menerima beban tekan sebesar 6,0 tf di bagian kanan bawah, kemudian retak kembali ketika menerima beban tekan sebesar 6,8 tf di bagian tengah mengikuti retak beban tekan sebelumnya, kemudian retak kembali ketika menerima beban tekan

sebesar 6,9 tf dan kembali retak pada beban tekan 7,3 tf di bagian tengah atas mengikuti keretakan beban tekan sebelumnya, kemudian retak kembali ketika menerima beban tekan sebesar 7,4 tf mengikuti retak beban tekan sebelumnya menuju ke atas kanan. Kemudian pada beban tekan sebesar 7,7 tf terjadi keretakan kembali. Kemudian retak kembali ketika menerima beban tarik sebesar 4,7 tf, kemudian retak kembali ketika menerima beban tarik sebesar 5,2 di bagian bawah mengikuti retak beban tarik sebelumnya dari tengah atas ke arah kanan bawah. Keretakan kembali ketika menerima beban tarik sebesar 5,8 tf di bagian kanan atas.. Jadi, pada siklus 1 beban tekan di dapat beban sebesar 7,7 tf dan beban tarik sebesar 7,2 tf beban tersebut menjadi beban maksimum yang didapatkan pada saat pengujian, setelahnya tidak terjadi lagi retak pada daerah *joint* karena bahan perbaikan ferosemen sudah tidak ada kontak dengan beton benda uji awal. Untuk lebih jelas ragam pola retak yang terjadi pada perpindahan 24 mm adalah pada Gambar 4



Gambar 4. Pola retak setelah pembebanan monotonic

2.2 Kekakuan

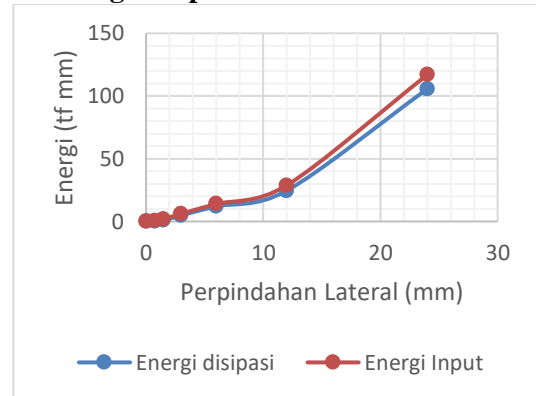


Gambar 5. Grafik Hubungan Penurunan Kekakuan Perpindahan

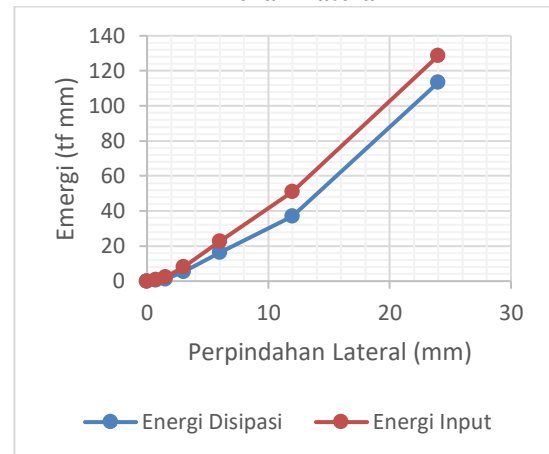
Benda uji terus mengalami penurunan kekakuan dengan setiap tingkat beban yang dilakukan sampai siklus beban dihentikan. Penurunan kekakuan dimulai

pada perpindahan lateral sebesar 0,780 mm menjadi perpindahan lateral sebesar 21,790 mm dan menurun sebesar 0,116

2.3 Energi Disipasi



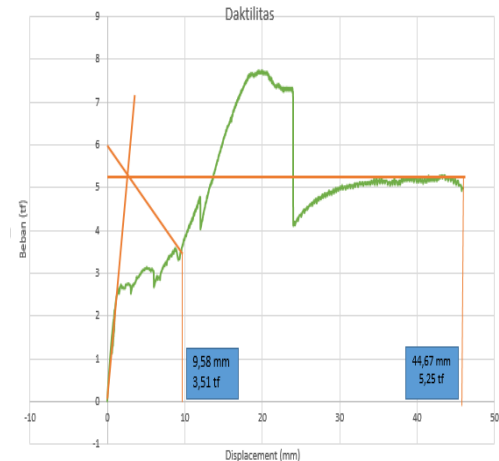
Gambar 6. Grafik Hubungan Energi dan Beban Tekan Lateral



Gambar 7. Grafik Hubungan Energi dan Beban Tarik Lateral

Nilai energi disipasi pada pembebanan tekan dan tarik semakin besar pada siklusnya yang berbanding lurus dengan semakin besar perpindahan yang diberikan.

3. Daktilitas struktur



Gambar 8. Grafik Daktilitas

Dari grafik di atas didapatkan nilai daktilitas sebesar 4,66, dan perpindahan maksimum (μ) sebesar 44,67 mm terhadap perpindahan pada hasil (μ) sebesar 9,58 mm.

IV. Kesimpulan

Beberapa hal yang menjadi kesimpulan dari penelitian perilaku retak pada Sambungan balok kolom sesuai dengan PBI 1971 ini, yaitu kapasitas beban siklik maksimum yang diperoleh adalah 7,74 tf (tekan) dengan kontrol beban siklik perpindahan 24 mm dan 7,28 tf (tarik) dengan kontrol beban siklik perpindahan 12 mm; kemudian penurunan kekakuan yang diperoleh sebesar 0,116 dari perpindahan sebesar 0,780 mm pada saat dihentikan pengujian menjadi perpindahan sebesar 21,790 mm. Energi disipasi maksimum terjadi dengan kontrol beban siklus perpindahan positif 24mm dan energi disipasi maksimum adalah 105,71 mm. Nilai daktilitas yang diperoleh sebesar 4,66. Kemudian pelebaran retak yang terjadi menyebabkan patahan pada daerah tumpuan balok.

Dengan adanya pola seperti ini menandakan bahwa ferosemen cukup efektif dalam metode perbaikan struktur. Dan Dari pembahasan dapat disimpulkan bahwa ferosemen dapat dijadikan salah satu alternative perbaikan untuk joint balok kolom yang menggunakan standar PBI 1971.

V. Saran

Diharapkan penelitian ini yaitu perbaikan *joint* balok kolom standar PBI 1971 akan dikembangkan lebih lanjut menggunakan metode ferosemen lain. Diharapkan juga dengan bahan perbaikan ferosemen ini tidak lepas dari benda uji utama untuk mendapat hasil yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- [1] Hartono, E. 1997. "Aplikasi Ferosemen Untuk Selimut Balok Beton Bertulang", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [2] Pratikto. 2009. Diktat Konstruksi Beton I. Depok :Politeknik Negeri Jakarta
- [3] Mulyono, T. 2003. Teknologi Beton, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [4] Setiawan, A. 2012. "Analisis Hubungan Balok Kolom Beton Bertulang Proyek Pembangunan Gedung Dprd-Balai Kota Dki Jakarta", Civil Engineering Department Faculty of Engineering, Binus University, Jakarta
- [5] Badan Standarisasi Nasional. 2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. (SNI 03-1726-2002), Bandung.
- [6] Popov, E. 1979. Cyclic Inelastic buckling of thin tubular columns. California
- [7] Triwiyono, A., & Nugroho, G.. 2011. "Studi Eksperimental Sambungan Kolom Pondasi semi

- Pracetak Sistem Bataton dengan Pembebanan Aksial dan Lateral Siklik*", Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [8] Soebandono, B. 2011. "Retrofitting of Reinforced Concrete Beam by Using Ferrocement Jacketing Method due to Cyclic Loading on Ultimate Load". Program Studi Teknik Sipil UMY, Yogyakarta.
- [9] Effendi, Z., "Perilaku dan Analisa Kekuatan Panel Pracetak Ferrofoam Concrete yang dibebani Lentur", Tesis, Magister Teknik Sipil Program Pasca Sarjana Universitas Syiah Kuala, 2016
- [10] Triwiyono, A., & Nugroho, G.. 2011. "Studi Eksperimental Sambungan Kolom Pondasi semi Pracetak Sistem Bataton dengan Pembebanan Aksial dan Lateral Siklik", Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [11] Lirad, M. 2020. "Perilaku Joint Balok Kolom Standar PBI 1971 Terhadap Beban Siklik Setelah Perbaikan Dengan Bahan Ferosemen", Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- [12] Afriranda, A. 2020. "Perilaku Joint Balok Kolom Yang Dibebani Siklik Setelah Perbaikan Dengan Menggunakan Ferosemen Sesuai Dengan PBI 1971 (FAS 0,6)", Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh
- [13] Irsyad, M. F., 2021. "Perbaikan Joint Kolom Balok Dengan Ferosemen Yang Dibebani Siklik Sesuai Dengan PBI 1971", Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh
- [14] Rachmat, N.M. 2018. "Analisis Perilaku Joint Balok Kolom Terhadap Beban Siklik Sesuai Dengan SNI 2847-2013", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- [15] NS, Jovan Sudharma. 2018. "Analisis Perilaku Joint Balok Kolom terhadap Beban Siklik dengan Penambahan Senggang Pada Joint Sesuai SK SNI T-15-199103", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.