

## DAKTILITAS SAMBUNGAN MODEL TAKIKAN RANGKAP PADA HUBUNGAN BALOK-KOLOM BETON PRACETAK, AKIBAT BEBAN LATERAL SIKLIK

Ruminsar Simbolon<sup>1</sup>, Herman Parung<sup>2</sup>, Rita Irmawaty<sup>2</sup>, dan Arwin Amiruddin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanudin, Makassar

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar

email: ruminsar\_15@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Dengan menganggap struktur beton pracetak sebagai struktur monolit, tulangan lentur dan geser joint balok-kolom dapat direncanakan berdasarkan desain kapasitas. Penelitian ini merupakan studi eksperimental dilaboratorium dengan skala penuh, bertujuan untuk menganalisa nilai daktilitas sambungan pracetak model takikan rangkap akibat beban lateral siklik. Benda uji terdiri dari dua model, yaitu balok kolom monolit dan balok kolom sambungan precast model takikan rangkap. Dimensi penampang balok 250 mm x 300 mm dan kolom 300 mm x 300 mm. Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut : (1). Uji Fisik Material Beton (2). Uji Fisik Material Baja Tulangan (3). Uji kuat lekat tulangan (4). Uji fisik sambungan balok kolom, pracetak. Pengujian dilakukan setelah beton berumur lebih dari 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan, sambungan balok-kolom precast model takik rangkap (STRS) lebih mampu berdeformasi pada kondisi beban tarik, dengan nilai daktilitas=5.52 dan benda uji balok kolom monolit lebih mampu berdeformasi pada kondisi beban tekan dengan nilai daktilitas=7.66. Berdasarkan nilai daktilitas yang diperoleh, sambungan model takikan rangkap ini dapat berperilaku sebagai sambungan yang full daktil, sehingga dapat diterapkan pada bangunan struktur penahan gaya gempa rangka pemikul momen khusus.

**Kata Kunci** : beton pracetak, join balok kolom, beban siklik, deformasi, daktil

## DUCTILITY OF DOUBLE NOTCH CONNECTION IN PRECAST BEAM COLUMN JOINT, DUE TO CYCLIC LATERAL LOADS

### ABSTRACT

By considering the structure of precast concrete as a monolithic structure, flexural and shear reinforcement of beam column joint can be planned based on the design capacity This research is an experimental study in a full-scale laboratory, which aims to analyze the precast ductility value of double notch models due to cyclic lateral loads. The specimen consists of two models, which are precast beam-column connections and monolithic beam column. The precast and monolithic specimen were designed for the same strength. The cross-sectional dimensions of the beam 250 mm x 300 mm and column 300 mm x 300 mm. This research was carried out with the following stages : (1). Physical Test of Concrete Materials (2). Physical Test of Reinforced Steel Material (3). Strength bonding test (4). Physical test of precast column beam connection. Tests are carried out after the concrete is more than 28 days old. The results showed that after being given a cyclic load on the two structural models, connection precast beam-column joint type of double notch (STRS) type were better able to deform under tensile loads (ductility = 5.52), while the monolith column beam components were better able to deform compressive load (ductility = 7.66). Based on the ductility value obtained, the connection of this double notch model can function as a full ductile connection, so that it can be applied to the building of earthquake force retaining structures for special moment bearers.

**Keywords** : precast concrete, beam column joins, cyclic load, deformation, ductile

## 1. PENDAHULUAN

Beton pracetak merupakan jawaban akan tuntutan kecepatan pelaksanaan pembangunan konstruksi, namun belum dapat digunakan secara luas karena kehandalan sambungan antara elemen-elemennya masih merupakan suatu kendala, terutama terhadap beban gempa. Indonesia yang karena letak dan kondisi geografisnya sering mengalami gempa dengan kekuatan besar, menyebabkan penggunaan konstruksi beton pracetak cukup beresiko. Sambungan merupakan persoalan yang utama yang dihadapi pada perencanaan beton pracetak.

Selain berfungsi untuk menyalurkan gaya gaya yang bekerja, sambungan juga berfungsi menyatukan masing masing komponen beton pracetak menjadi satu kesatuan yang monolit, sehingga stabilitas stuktur bangunannya terjaga. Struktur beton pracetak umumnya direncanakan dengan menganggap struktur tersebut bersifat seperti struktur monolit dicor di tempat. Metoda desain seperti ini disebut sebagai pendekatan desain emulasi, (7). Berkenaan dengan hal tersebut para perencana harus menunjukkan dengan analisa dan hasil pengujian bahwa struktur mempunyai perilaku, kekuatan dan kekakuan yang ekuivalen dengan beton bertulang monolit.

Sistem sambungan pracetak yang dikembangkan pada studi ini adalah sambungan dengan “*sistem takikan rangkap*”. Hubungan antar kolom dan balok melalui tulangan penghubung jenis sambungan lewatan dan kernudian diisi dengan bahan grouting dari jenis tidak menyusut. Sambungan diletakkan di daerah sendi plastis dan diharapkan dapat berperilaku sebagai sambungan daktail.

Pembebanan yang ditinjau pada studi eksperimental ini adalah pembebanan lateral berulang (siklik). Sebagai pembanding, dilakukan juga pengujian pada komponen balok-kolom untuk struktur monolit. Pemodelan kondisi batas dilakukan mengikuti pola deformasi portal akibat beban lateral, dimana momen nol pada kolom terletak pada daerah tengah kolom antar lantai, dan momen nol pada balok terjadi ditengah bentang.

Tujuan dari Penelitian ini adalah, Menganalisa nilai daktilitas hubungan balok—kolom pada sambungan model takikan rangkap akibat beban siklik lateral

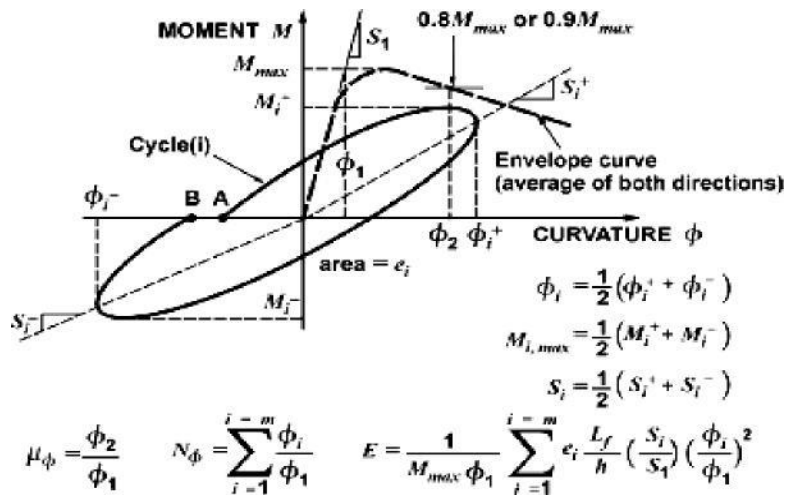
## 2. DAKTILITAS

Menurut Park dan Paulay (5) daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur untuk mengalami lendutan yang cukup besar pada saat beban maksimal tercapai sebelum terjadi keruntuhan. Daktilitas merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan suatu elemen struktur disamping aspek kekuatan dan kekakuan. Pada saat terjadi gempa, elemen elemen struktur yang mempunyai daktilitas besar akan menyerap energi lebih banyak dibandingkan dengan elemen-elemen struktur dengan daktilitas kecil atau getas.

Daktilitas menyatakan suatu kemampuan dari struktur untuk mengalami lendutan yang besar tanpa mengalami penurunan kekuatan yang berarti. Dalam penelitian ini besarnya nilai daktilitas berdasarkan perbandingan antara lendutan maksimum dengan lendutan leleh pertama.

$$\mu = \frac{\delta_{ult}}{\delta_{yield}} \quad (1)$$

Dimana lendutan ultimate di didapatkan dari hasil pengujian balok beton bertulang pada saat balok mengalami beban maksimum (balok runtuh). Sedangkan lendutan leleh pertama didapatkan pada saat pengujian. Parameter daktilitas yang sering digunakan untuk mengevaluasi perilaku seismik kolom termasuk faktor daktilitas kelengkungan  $\mu_{\phi}$  faktor daktilitas perpindahan  $\mu_d$  dan rasio lateral drift  $\delta$ . Definisi faktor daktilitas kelengkungan  $\mu_{\phi} = \frac{\phi_2}{\phi_1}$  dijelaskan dalam Gambar 2.  $\phi_1$  kurvatur nominal leleh adalah kelengkungan pada momen maksimum  $M_{max}$  yang diukur sepanjang garis lurus menghubungkan titik asal dan titik 75%  $M_{max}$  pada kurva amplop, sementara  $\phi_2$  adalah kelengkungan ultimit ketika kapasitas momen pasca-puncak mengurangi sampai 80%  $M_{max}$  atau pada kegagalan kolom, mana yang lebih dahulu.



Gambar 1 Definisi dari parameter daktilitas

Demikian pula, faktor perpindahan daktilitas  $\mu_A = A_2/A_1$  dan rasio lateral drift  $\delta = A_2 / L$  jugadapatditentukan untuk kolom menggunakan respon lateral geser- defleksi tip (V-A), dimana  $A_1$  = defleksi leleh nominal,  $A_2$  = defleksi sesuai dengan pengurangan 20% dalam kapasitas beban lateral pada *descending branch* geser-defleksi *envelope curve* dan  $L$  = panjang kolom kantilever diukur dari bagian momen maksimum ke titik *contra flexure* (Sheikh & Liu, 2010).

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} \quad (2)$$

dimana :  $\mu_{\Delta}$  = faktor daktilitas ( $\Delta$  mengacu pada perpindahan)  
 $\Delta_m$  = perpindahan maksimum (respon inelastis)  
 $\Delta_y$  = perpindahan leleh

Agar faktor daktilitas lebih besar dari satu maka jumlah perpindahan maksimum,  $\Delta_m$  (respon inelastis) harus memiliki nilai lebih besar dari perpindahan leleh ( $\Delta_y$ ),  $\Delta_m > \Delta_y$ . Selain itu perpindahan maksimum dapat menjadi perpindahan yang mungkin dicapai pada kondisi ultimit  $\Delta_u$  sehingga faktor daktilitas menjadi

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (3)$$

dimana :  $\mu_{\Delta}$  = faktor daktilitas ( $\Delta$  mengacu pada perpindahan)  
 $\Delta_u$  = perpindahan ultimit  
 $\Delta_y$  = perpindahan leleh

Dari persamaan (1) faktor daktilitas (indeks daktilitas) dapat didefinisikan sebagai rasio dari deformasi ultimit dan leleh. Selisih antara perpindahan ultimit dan perpindahan leleh adalah perpindahan plastis, Sehingga persamaan menjadi:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = 1 + \frac{\Delta_p}{\Delta_y} \quad (4)$$

Untuk meningkatkan faktor daktilitas perpindahan kolom maka daktilitas perpindahan plastis harus ditingkatkan dan hal ini dapat dicapai dengan pengekangan. Karena defleksi, kurvatur dan rotasi adalah sebanding dengan momen maka faktor daktilitas untuk material dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Ductility factor} = \frac{\text{Deflection (or curvature, or rotation) at ultimate}}{\text{Deflection (or curvature, or rotation) at steel yield}}$$

Dari perspektif desain, indeks daktilitas memberikan ukuran kemampuan penyerapan energi (Park & Paulay, 1975). Persamaan dibawah menunjukkan bahwa ada hubungan linear antara daktilitas kelengkungan dan daktilitas perpindahan kolom. Disini juga dapat diamati bahwa panjang sendi plastis  $L_p$  dan ketinggian kolom  $L$  merupakan dua faktor penting yang mempengaruhi hubungan ini.

$$\Delta_t = \Delta_y + \Delta_p = \frac{\phi_y L^2}{3} + (\phi - \phi_y) L_p (L - 0.5 L_p) \quad (5)$$

$$\mu_\Delta = 1 + 3(\mu_\phi - 1) \frac{L_p}{L} (1 - 0.5 \frac{L_p}{L}) \quad (6)$$

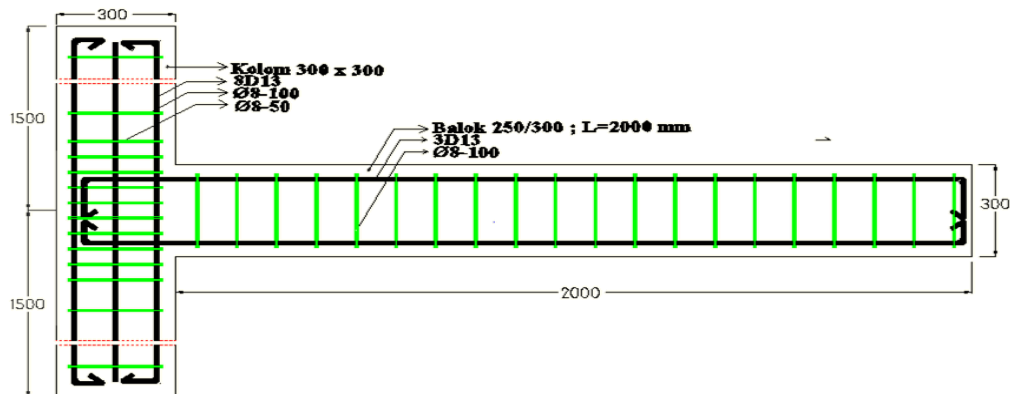
### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Benda Uji Sambungan Balok Kolom

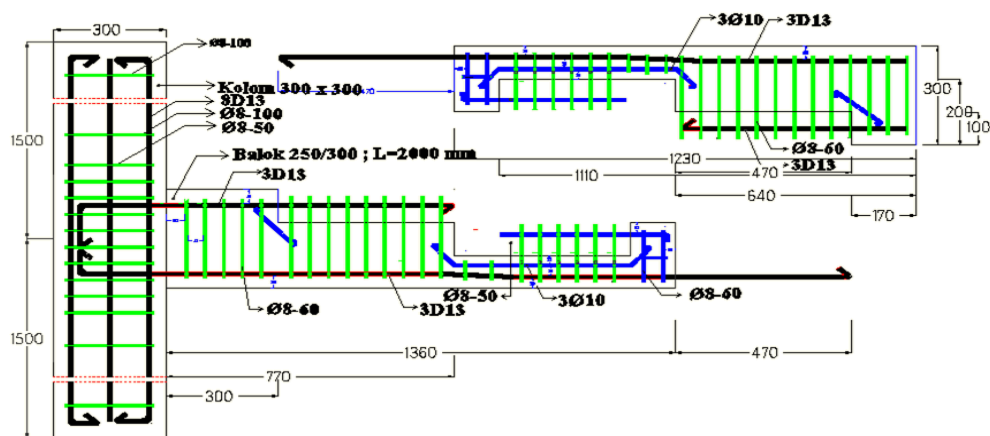
Benda uji dibuat sebanyak 2 (dua) buah, satu untuk sambungan monolit, dan satu lagi sambungan pracetak, yaitu STRS. Kekuatan pada sambungan diharapkan akan disumbangkan oleh sistem takikan beton, lekatan grouting dengan tulangan, serta saluran gaya-gaya dengan memanfaatkan sambungan lewatan tulangan lentur dan geser.

#### 3.2 Pemodelan Benda Uji Sambungan

Dibuat mengikuti aturan pada SNI 1726-2012, Tata cara perencanaan Ketahanan untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, serta SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, khususnya Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.



Gambar 2 Balok kolom monolit

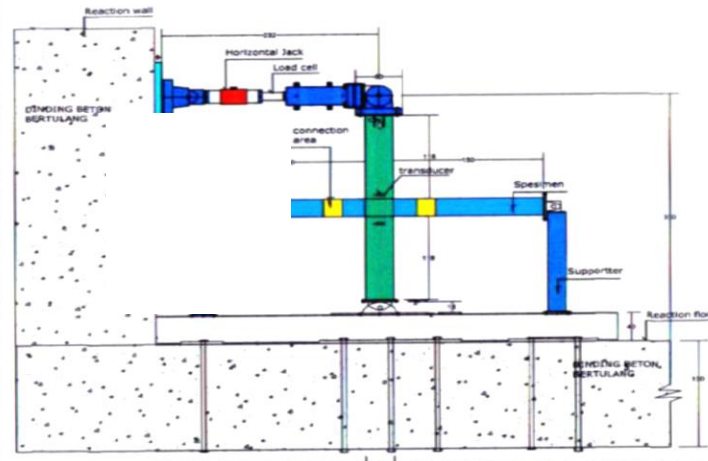


Gambar 3 Sambungan takikan lurus rangkap (STRS)

### 3.3 Pengujian sambungan balok kolom

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan dengan metode displacement control, dengan tipe gradual yakni pembebanan dimulai dari displacement terkecil secara bertahap sampai dengan displacement terbesar yang bisa dicapai. Metode pengujian yang digunakan berdasarkan ECCS 1986 “European Convention for Constructional Steelwork”(5). Adapun proses pengujiannya sebagai berikut ;

- a) Benda uji dibebani oleh rangkaian urutan siklus kontrol perpindahan yang mewakili simpangan antar lantai yang diharapkan terjadi pada joint disaat gempa;
- b) Tiga siklus penuh harus diaplikasikan pada setiap rasio simpangan



Gambar 5 Model Pengujian

- c) Rasio simpangan awal harus berada dalam rentang perilaku elastik linear benda uji. Rasio simpangan berikutnya harus bernilai tidak kurang dari  $1\frac{1}{4}$  kali, dan tidak lebih dari  $1\frac{1}{2}$  kali, rasio simpangan sebelumnya (Lihat gbr 4).
- d) Pengujian harus dilanjutkan dengan meningkatkan rasio simpangan secara bertahap hingga tercapai nilai rasio simpangan minimum 0,035;

## 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Beban Maksimum

Dari Tabel 1 dan berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 6, diketahui bahwa pada pembebanan tekan (+), sambungan monolit mempunyai kemampuan yang lebih baik dari sambungan balok kolom pracetak STRS, yaitu sebesar -15.21%. Sedangkan pada pembebanan tarik (-), sambungan balok kolom pracetak STRS mampu menerima beban yang lebih besar dari monolit, yaitu sebesar +18.26%.

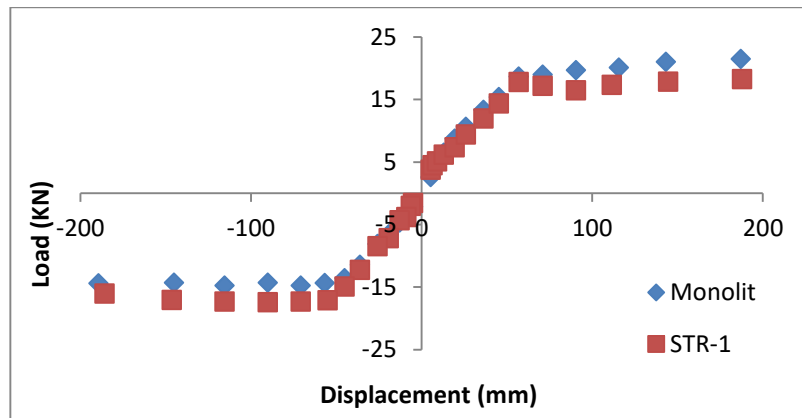
Tabel 1 Beban maksimum pada benda uji

Benda Uji	Beban Maksimum (KN)		Perbandingan Terhadap Monolit (%)	
	Beban (+)	Beban (-)	Beban (+)	Beban (-)
Monolit	21.10	14.73	-	-
STRS	17.89	17.42	-15.21	+18.26

Pada dasarnya model penakikan yang digunakan serta kuat tekan material grouting yang lebih besar dari beton normal menyebabkan sambungan balok kolom STRS memiliki kapasitas menerima beban tarik yang lebih tinggi.

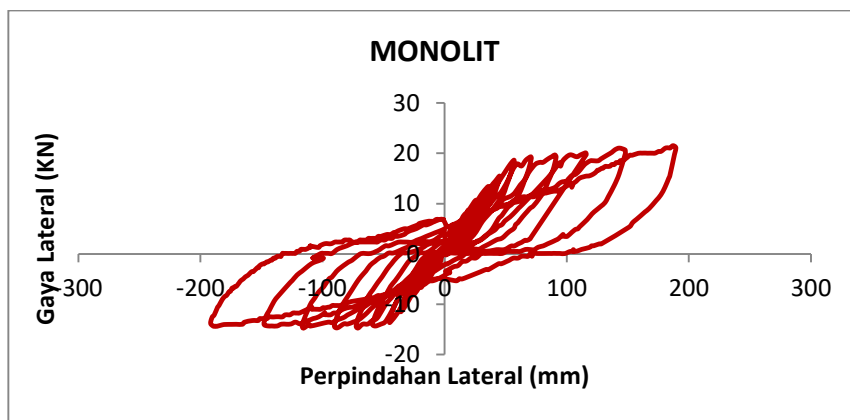
### 4.2 Beban – Displacement

Berdasarkan hasil pengujian yang ditinjau pada ujung atas kolom, diperoleh nilai beban dan displacement maksimum setiap benda uji. Grafik hubungan beban dan displacement maksimum per siklus untuk setiap benda uji dapat dilihat pada Gambar 8.

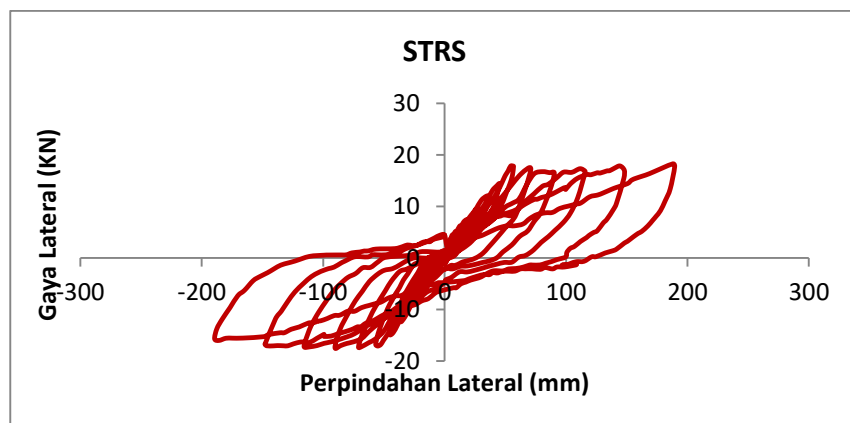


Gambar 6. Kurva hubungan beban dan *displacement* maksimum pada kolom

Dari data setiap siklus diperoleh grafik hysteresis loop yaitu hubungan beban dengan displacement. seperti dapat dilihat pada gambar 7.1 sampai gambar 7.2



Gambar 7.1 Kurva *hysteresis* beban–*displacement* pada kolom Monolit



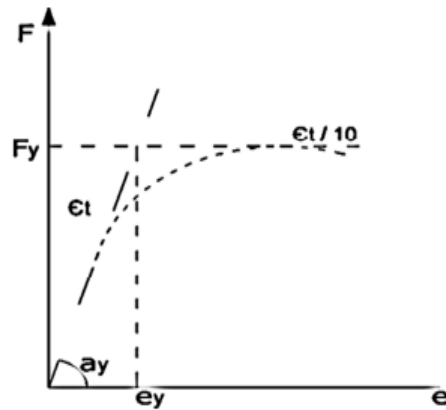
Gambar 7.2 Kurva *hysteresis* beban–*displacement* pada kolom STRS

Dari grafik *hysteresis loop* benda uji diatas terlihat bahwa model *hysteresis* semua benda uji mendekati *hysteresis loop* gemuk, menunjukkan benda uji tidak mengalami disintegrasi material selama mengalami pembebanan.

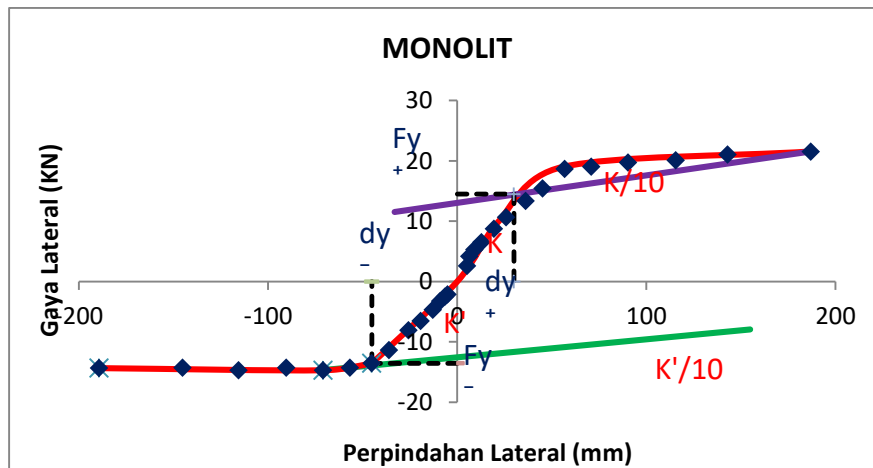
#### 4.3. Beban Leleh dan Perpindahan Leleh

Untuk mengetahui perilaku struktur seperti daktilitas, penentuan nilai beban leleh dan perpindahan leleh sangat penting diketahui. Nilai tersebut didapat berdasarkan standar pengujian yang mengacu pada European

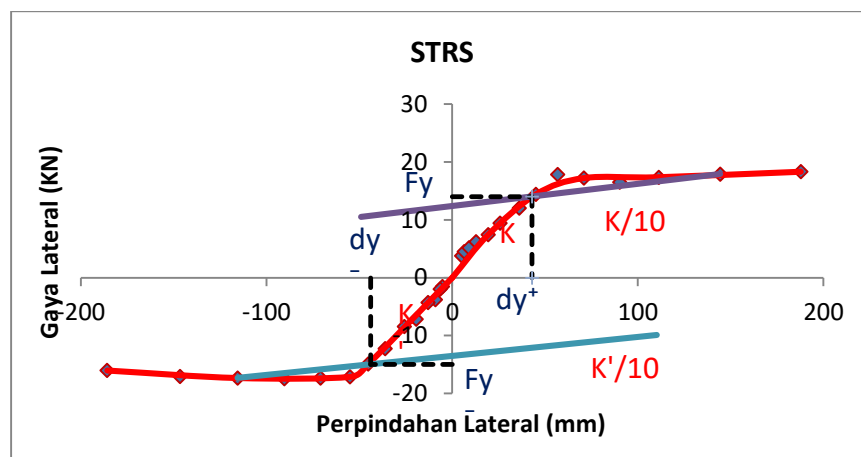
Convention for Constructional Steelwork (ECCS) (8) seperti terlihat pada gambar 8.1



Gambar 8.1 Standar pengujian berdasarkan ECCS 1986



Gambar 8.2 Beban leleh dan displacemen leleh Monolit berdasarkan ECCS



Gambar 8.3 Beban leleh dan displacemen leleh sambungan pracetak

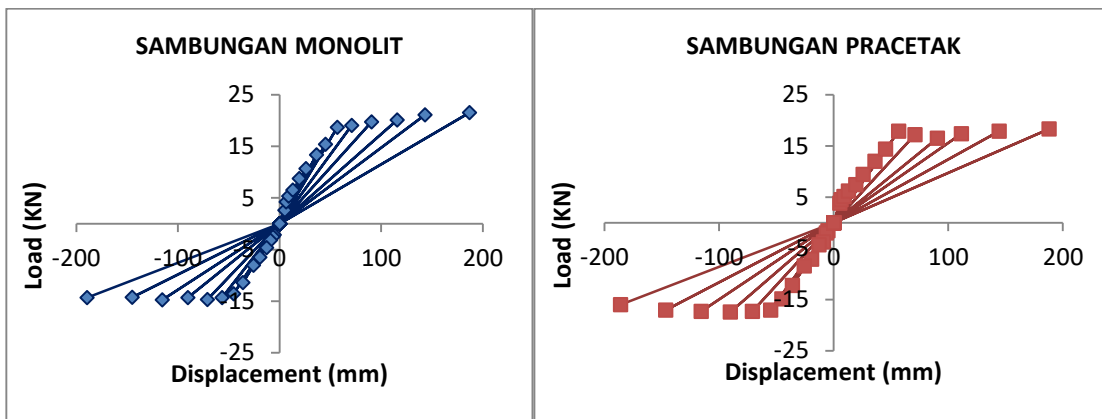
Berdasarkan hasil pengujian pada semua benda uji diperoleh nilai beban pada saat leleh seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi displacement dan gaya leleh

Benda Uji	Displacement Leleh ( $\Delta y$ ) (mm)		Gaya Leleh ( $P_y$ ) (KN)	
	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
Monolit	30.0	45.2	14.5	13.6
STRS	43.0	44.0	14.0	15.0

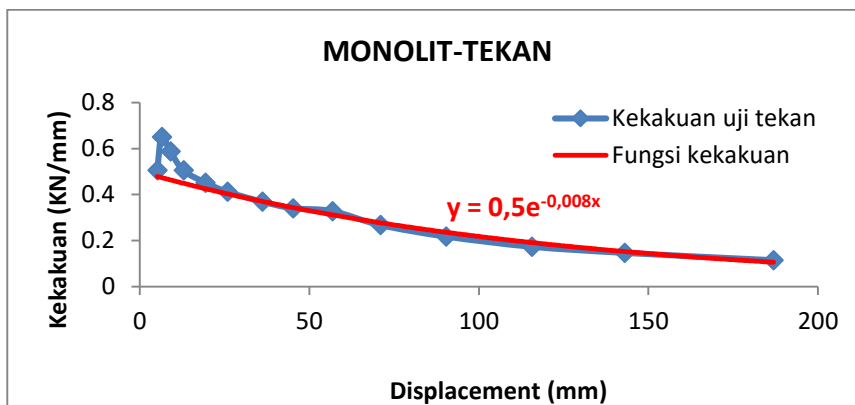
4.4 Beban Runtuh balok kolom Monolit dan balok kolom STRS

Karena keterbatasan alat pengujian, keruntuhan benda uji tidak dapat tercapai pada saat dilaksanakan pembebanan. Untuk mendapatkan beban runtuh, dilakukan pendekatan dengan mengidealisasi kekakuan pada tiap-tiap siklus, dan keruntuhan dianggap terjadi setelah terjadi penurunan kekuatan sebesar 20%.



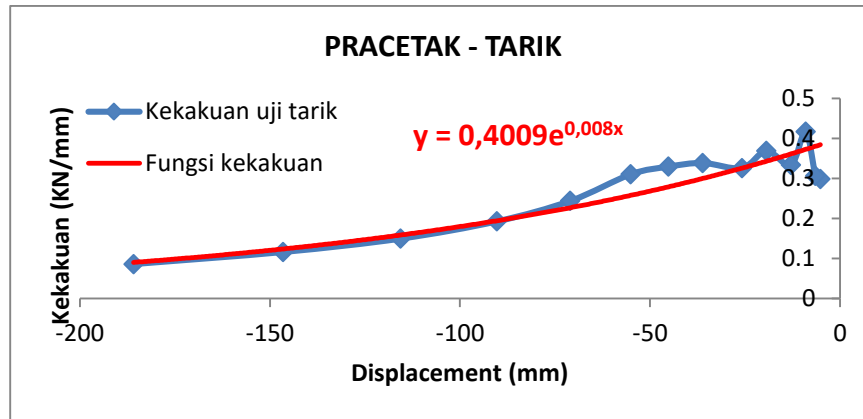
Gambar 9.1 Kekakuan tiap siklus sambungan Monolit dan sambungan pracetak

Dari gambar diatas diperoleh fungsi kekakuan monolit akibat beban tekan dan tarik sebagai fungsi eksponensial, yaitu  $y=0.5e^{-0.008x}$ , dan  $y=0.409e^{0.0094x}$ . Sedangkan fungsi kekakuan sambungan pracetak STRS akibat beban tekan merupakan fungsi logaritmik  $y = -0,148\ln(x) + 0,8652$ , dan beban tarik merupakan fungsi eksponensial,  $y=0.4009e^{0.008x}$ .



Gambar 9.2 Kekakuan fungsi displacement tarik Monolit





Gambar 9.3 Kekakuan fungsi displacement tarik STRS

Berdasarkan fungsi tersebut, diperoleh displacement pada saat runtuh akibat pembebanan tekan dan tarik untuk monolit sebesar +245 mm, dan -214 mm. Sedangkan untuk sambungan pracetak STRS diperoleh displacement pada saat runtuh akibat pembebanan tekan dan tarik sebesar +221 mm, dan -243 mm.

#### 4.5 Nilai Daktilitas

Dari nilai displacement leleh dan displacement maksimum diatas, maka dapat diperoleh nilai daktilitas sambungan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Daktilitas benda uji monolit dan sambungan pracetak STRS

BENDA UJI	BEBAN	Displacement Leleh	Displacement Runtuh	Daktilitas	Daktilitas rata-rata
		$\Delta y$ (mm)	$\Delta u$ (mm)	( $\mu y$ )	( $\mu r$ )
MONOLIT	Tekan	32	245	7,66	6.195
	Tarik	45,2	214	4,73	
STRS	Tekan	43	221	5,14	5.33
	Tarik	44	243	5,52	

## 5. KESIMPULAN

1. Karakteristik *hysteresis loop* hubungan beban-displacement kedua benda uji menunjukkan kurva yang hampir sama dengan sambungan monolit yaitu kurva yang semakin meningkat seiring dengan penambahan beban dan displacement.
2. Dari persentasi perbandingan terlihat bahwa benda uji monolit mempunyai kemampuan menerima beban tekan (+) yang lebih baik sebesar 15.21%. Dibandingkan sambungan balok kolom pracetak STRS, sedangkan sambungan balok kolom pracetak STRS mempunyai kemampuan menerima beban tarik (-) yang lebih baik sebesar +18.26% dari benda uji monolit
3. Berdasarkan nilai daktilitas  $\mu$ , sambungan monolit dan sambungan pracetak berperilaku sebagai sambungan yang *full daktail* sehingga dapat diterapkan pada daerah dengan resiko gempa paling tinggi (kategori desain seismic D,E,F)

## DAFTAR PUSTAKA

- Standard Nasional Indonesia (SNI) 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.SK SNI-03-2847-2002.
- Standard Nasional Indonesia (SNI) 1726;2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.
- Standard Nasional Indonesia (SNI) 7834;2012. *Metode uji dan kriteria penerimaansistem struktur rangka pemikul momen beton bertulang pracetak untuk bangunan gedung*

- ACI (2002). *Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures*, ACI 352R-02. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Park, R. and Paulay, T., 1975. *Reinforced in Concrete Design*. John Wiley and Sons, New York.
- Jamal, Mardew, Parung Herman, Wihardi, Tjaronge dan Sampebulu, Victor. 2014. Ductility of The Precast and Monolith Concrete on Beam Column Joints Under Cyclic Loading. ARP. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. (online). Vol. 9, No. 10.
- Tjahyono, Elly dan Purnomo, Heru (2004). “Pengaruh Penempatan Penyambungan pada Perilaku Rangkaian Balok-Kolom Beton Pracetak Bagian Sisi Luar”. *Makara, Teknologi*. Vol.8, No.3.
- Masdiana, Parung, Herman, Wihardi, Tjaronge dan Rudy djamaluddin. 2019, “Behavior of Precast Interior Joint Using a Notch Connection Under Cyclic Loading”, *Journal of Engineering and Applied Sciences* (online). Vol. 5, No. 8.
- Kurt Henkhaus, Santiago Pujol, and Julio Ramirez. “Axial Failure of Reinforced Concrete Columns Damaged by Shear Reversals”, *Journal Of Structural Engineering* © ASCE / July 2013