

PENGARUH PENEMPATAN PENYAMBUNGAN PADA PERILAKU RANGKAIAN BALOK-KOLOM BETON PRACETAK BAGIAN SISI LUAR

Elly Tjahjono dan Heru Purnomo

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: elly@eng.ui.ac.id

Abstrak

Artikel ini menyajikan hasil dari studi eksperimental pengaruh penempatan penyambungan terhadap perilaku rangkaian balok-kolom struktur portal beton pracetak yang dikenai pembebanan semi siklik. Empat benda uji dengan skala 1:2 telah dikaji. Tiga benda uji, penempatan penyambungannya berada pada daerah pertemuan balok-kolom dan satu benda uji penempatan penyambungan berada di daerah potensi sendi plastis balok. Pola retak, kekuatan, kekakuan dan daktilitas dari keempat benda uji dibandingkan. Dari hasil pengujian secara umum dapat disimpulkan bahwa keempat tipe penempatan penyambungan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang cukup baik.

Abstract

Influence of Connection Placement to the Behavior of Precast Concrete Exterior Beam-Column Joint. This paper presents an experimental study on the influence of connection placement to the behaviour of exterior beam-column joint of precast concrete structure under semi cyclic loading. Four half-scale beam-column specimens were investigated. Three beam-columns were jointed through connection that are placed in beam-column joint region and the forth is connected at the plastic hinge potensial region of the beam. Crack patterns, strength, stiffness and ductility of the test specimens have been evaluated. The test result indicated that all beam-column specimens show good ductility behavior.

Keywords: precast concrete, beam-column joint, reinforced concrete

1. Pendahuluan

Meningkatnya kebutuhan bangunan bertingkat untuk perumahan, perkantoran, hotel, pertokoan dan lain-lain di perkotaan mendorong timbulnya kebutuhan akan suatu rancangan struktur yang ekonomis dan dapat dilaksanakan dengan cepat dan efisien tanpa mengurangi kekakuan antar komponen struktur bangunan. Sistem pracetak yang mulai populer akhir-akhir ini telah terbukti dapat diandalkan untuk menggantikan sistem konvensional (sistem yang dicor di tempat). Namun perlu diingat bahwa sistem struktur pracetak ini baru efektif dan efisien bila diterapkan pada pekerjaan yang sifatnya berulang dan massal.

Struktur beton pracetak umumnya direncanakan dengan menganggap struktur tersebut bersifat monolit yang dicor di tempat. Metoda desain seperti ini disebut

sebagai pendekatan desain emulasi [1]. Dengan pendekatan ini, sistem struktur pracetak dapat direncanakan sebagai sistem struktur yang konvensional. Dengan demikian konsep desain kapasitas yang umumnya digunakan dalam perancangan portal konvensional terhadap beban lateral dapat digunakan dalam perancangan portal pracetak. Desain kapasitas ini dapat tercapai dengan menerapkan falsafah *strong column-weak beam* dimana kelelahan pada balok diharapkan terjadi terlebih dahulu sebelum terjadinya kelelahan pada kolom. Dengan demikian sambungan balok-kolom merupakan bagian yang sangat penting dalam mentransfer gaya-gaya antar elemen pracetak yang disambung. Bila tidak direncanakan dengan baik (baik dari segi penempatan sambungan maupun kekuatannya) maka sambungan dapat mengubah aliran gaya pada struktur pracetak, sehingga dapat mengubah hirarki keruntuhan yang ingin dicapai dan pada

akhirnya dapat menyebabkan keruntuhan prematur pada struktur [2].

Prinsip perencanaan sambungan pada elemen pracetak dapat dikelompokkan dalam dua kategori [3] yaitu:

1. sambungan kuat (*strong connection*), bila sambungan antar elemen pracetak tetap berperilaku elastis pada saat gempa kuat, sistem sambungan harus dan terbukti secara teoritis dan eksperimental memiliki kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan yang dimiliki struktur sambungan beton monolit yang setara.
2. sambungan duktail (*ductile connection*), bila pada sambungan boleh terjadi deformasi inelastis, sistem sambungan harus terbukti secara teoritis dan eksperimental memenuhi persyaratan kehandalan dan kekakuan struktur tahan gempa.

Sistem portal pracetak yang dikembangkan pada studi ini direncanakan dengan menggunakan sambungan kuat. Dan terdapat empat tipe lokasi sambungan yang semuanya merupakan sambungan *exterior* balok-kolom dari portal bangunan bertingkat lima. Tiga tipe diantaranya merupakan sambungan di daerah pertemuan balok-kolom (daerah join) dengan variasi panjang daerah sambungan pada elemen balok, dan satu tipe merupakan sambungan di daerah potensi sendi plastis atau sejarak h_b (tinggi balok) dari muka pertemuan balok-kolom. Sistem sambungan yang digunakan merupakan sambungan basah. Semua spesimen yang diuji menggunakan model skala 1 : 2 dan pembebanan yang digunakan adalah pembebanan semi siklik.

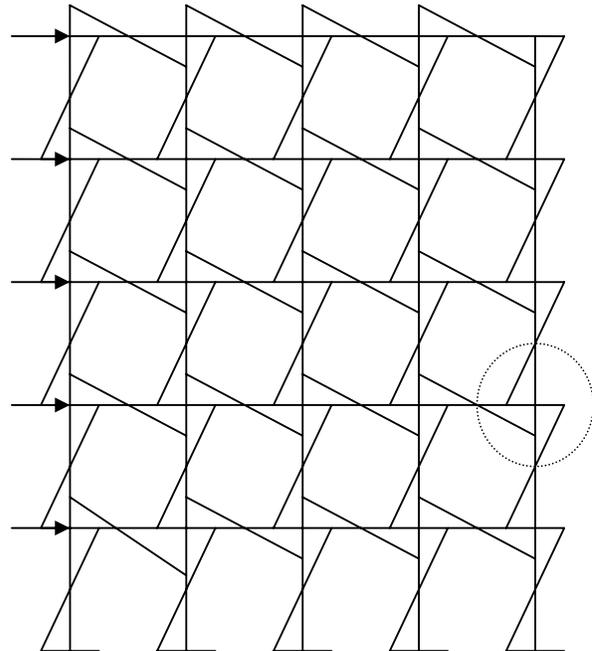
2. Metode Penelitian

Benda uji sambungan balok-kolom merupakan prototip dari sambungan balok-kolom pracetak bagian sisi luar (*exterior*) dari bangunan gedung lima lantai. Pemodelan kondisi batas dari benda uji berdasarkan diagram bidang momen yang terjadi pada portal bertingkat akibat bekerjanya gaya horizontal (Gambar 1).

Pada gambar ini terlihat bahwa momen nol pada kolom terletak pada daerah tengah kolom antar lantai, dan momen nol pada balok terjadi di tengah bentang, sehingga panjang benda uji untuk balok dan kolom ditetapkan berdasarkan pada kondisi momen nol ini.

Perletakan benda uji di *loading frame* berupa sendi pada kedua ujung kolom dan bebas / kantilever pada ujung balok, sehingga dengan pembebanan di ujung kantilever akan didapatkan bentuk diagram momen yang menyerupai momen pada struktur sebenarnya bila terkena beban horizontal.

Dalam studi ini dilakukan pengujian atas empat model sambungan dengan lokasi penyambungan yang berbeda,

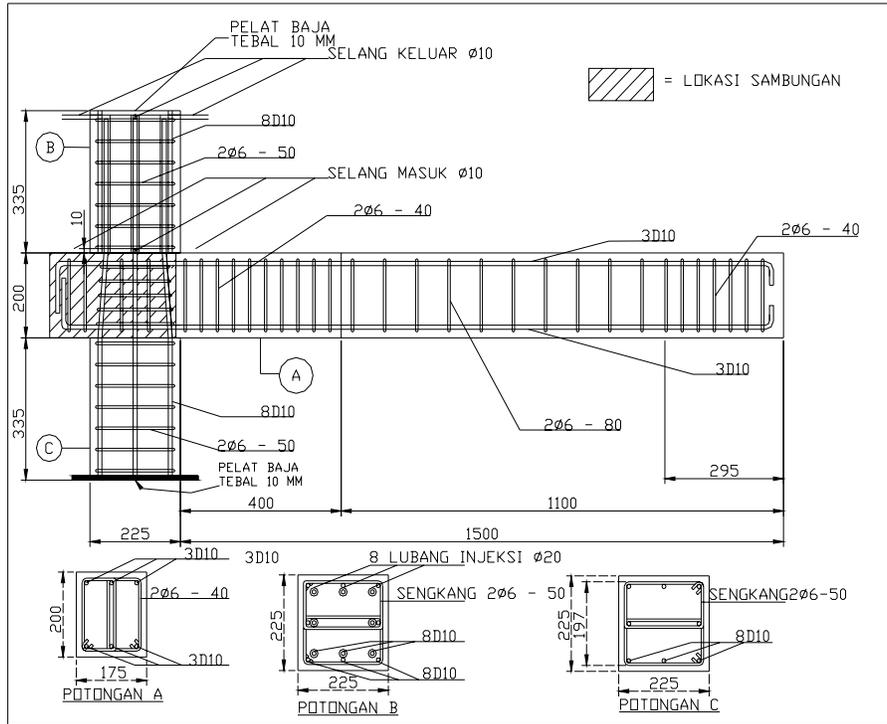


Gambar 1. Bidang momen akibat gaya lateral

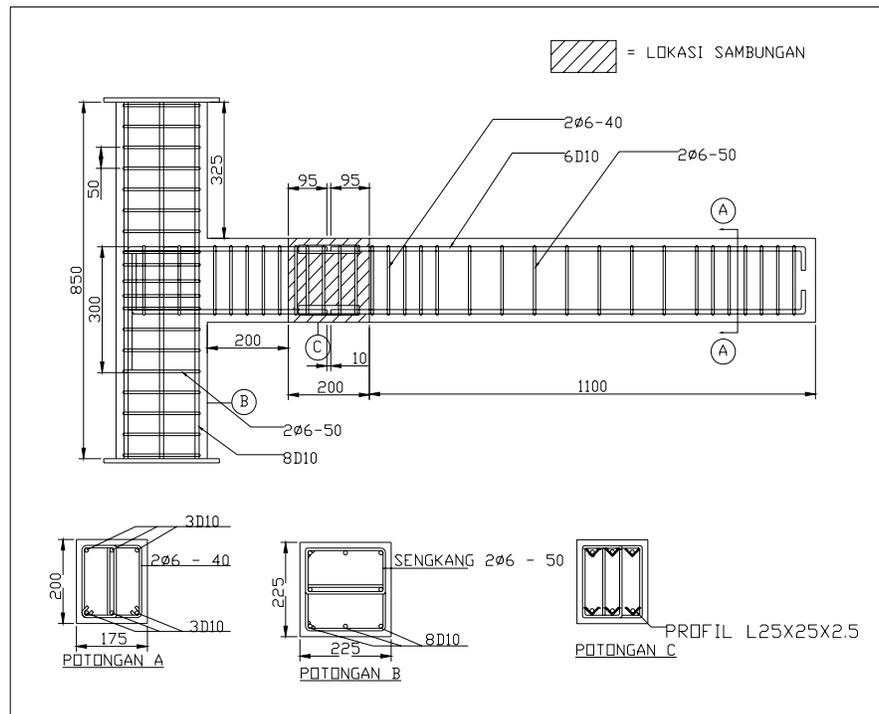
masing-masing model satu benda uji dan semuanya menggunakan skala 1:2.

Keempat model sambungan pracetak mempunyai geometri penampang dan penulangan yang sama (Tabel 1), detailnya sebagai berikut:

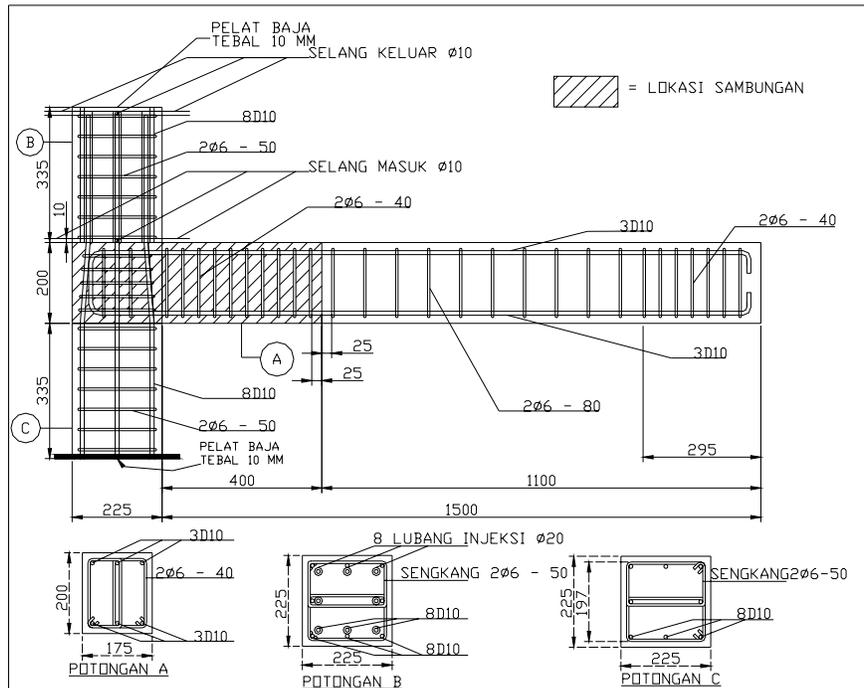
1. Sambungan tipe A, penyambungan dilakukan pada pertemuan elemen balok dan kolom pracetak dengan adanya penonjolan daerah balok pada sisi luar (Gambar 2).
2. Sambungan tipe B, penyambungan di daerah elemen balok sejarak h_b (tinggi balok) dari muka pertemuan balok-kolom (Gambar 3). Penyambungan tulangan utama yang keluar dari elemen-elemen pracetak menggunakan media penyambung berupa baja siku L25x25x2.5 yang dilas.
3. Sambungan tipe I, penyambungan dilakukan pada pertemuan elemen kolom dan elemen balok pracetak sampai dengan daerah potensi sendi plastis yaitu $2 h_b$ =dua kali tinggi balok (Gambar 4).
4. Sambungan tipe Y, penyambungan dilakukan tepat di daerah pertemuan elemen kolom dan elemen balok pracetak (Gambar 5).



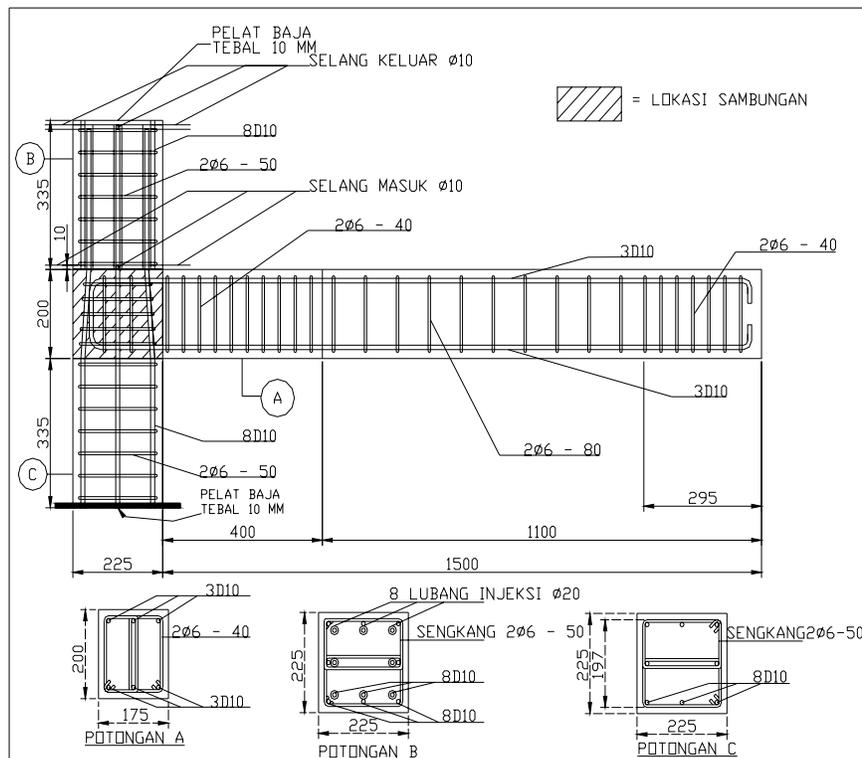
Gambar 2. Sambungan tipe A



Gambar 3. Sambungan tipe B



Gambar 4. Sambungan tipe I



Gambar 5. Sambungan tipe Y

Tabel 1. Geometri dan penulangan benda uji

	Balok	Kolom
Dimensi	175mmx200mm	225mm x 225mm
Tulangan lentur	3D10 (atas) 3D10 (bawah)	8D10
Tulangan geser	2 ϕ 6-40 (0-400mm dari muka kolom dan 300mm dari ujung balok) 2 ϕ 6-80 (> 400mm dari muka kolom)	2 ϕ 6-50

Tabel 2. Mutu beton benda uji

	Tipe A	Tipe B	Tipe I	Tipe Y
Balok (MPa)	42,05	32,55	51,5	48,46
Kolom (MPa)	53,1	35,8	43,42	43,4
Sambungan (MPa)	42.05	41.8	42.03	45.85

Komposisi campuran beton yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:

Dalam 1 m³ beton terdapat: Air = 219 kg, Semen = 495 kg, Pasir = 870 kg dan Kerikil = 989 kg.

Sedangkan untuk komposisi campuran material sambungan digunakan material anti *shrinkage* dari PT Fosroc yaitu Conbextra GP dicampur dengan kerikil dan air, dengan perbandingan sebagai berikut; Conbextra : kerikil : air = 6,25 : 1 : 1.125.

Mutu beton pracetak yang dihasilkan untuk setiap tipe sambungan terlihat di Table 2.

Baja tulangan yang digunakan memiliki mutu sebagai berikut:

Untuk D10mm, $f_y = 420$ MPa.

Untuk $\phi 6$ mm, $f_y = 265$ MPa.

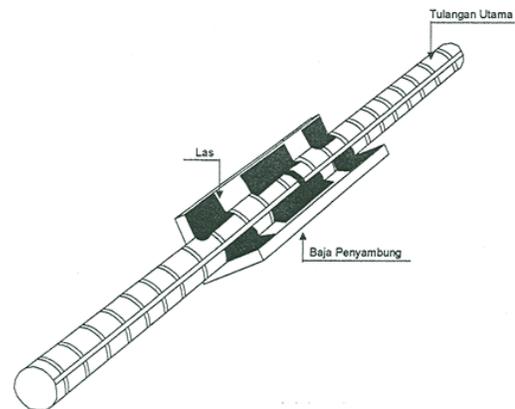
Sambungan tulangan utama pada sambungan tipe B menggunakan las dengan baja siku sebagai media penyambungan (Gambar 6). Ukuran dan mutu baja siku masing-masing adalah L25x25x2,5 dan mutu baja siku nya 240 MPa. Dari hasil uji tarik sambungan las dengan baja siku sebagai media penyambung ini didapatkan putus nya tulangan bukan pada media

sambungan melainkan pada baja tulangan dan tegangan leleh yang dihasilkan sebesar 541 MPa atau sama dengan 127% lebih besar dari tegangan leleh tulangan yang disambung. Hal ini berarti sambungan las ini telah memenuhi persyaratan sambungan las pada peraturan beton Indonesia [4].

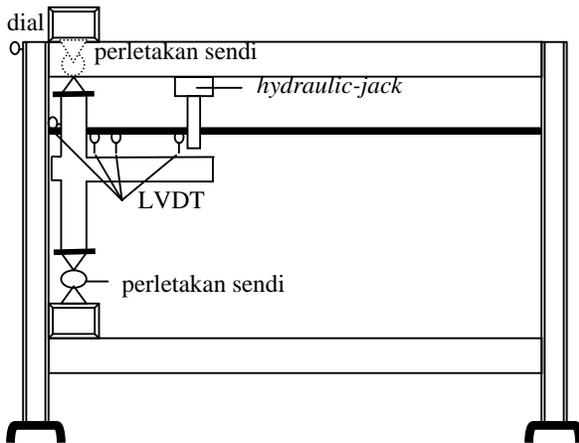
Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini berupa LVDT (transduser perpindahan) yang memiliki ketelitian sampai 0,001 mm. Pemasangan LVDT pada balok dilakukan di tiga titik yaitu sejarak 1400 mm dari as kolom, pada zone sendi plastis yaitu sejarak 200 mm dan 400 mm dari muka kolom (Gambar 7). Pada kolom LVDT diletakkan di tengah-tengah antara as balok dan as sendi bagian atas untuk mengukur pergoyangan pada kolom. Disamping itu tepat di puncak *frame* juga diletakkan satu dial untuk mencatat pergoyangan *frame*.

Sistem pembebanan pada pengujian ini menggunakan sistem semi siklik [5] dengan dasar *displacement control*, lendutan yang dijadikan acuan adalah lendutan pada jarak 1400 mm dari as kolom. Siklus pembebanannya dapat dilihat pada Gambar 8, dengan sumbu absis merupakan silus/step pembebanan dan sumbu ordinat adalah *D yield* yang merupakan lendutan leleh yang didapat dari hasil perhitungan teoritis dengan dasar momen-kelengkungan dari penampang balok pada kondisi sebelum retak, setelah retak (saat kondisi momen *yield* dan kondisi momen ultimit).

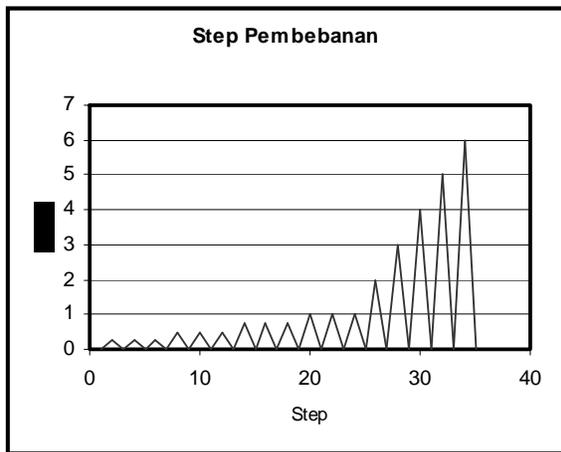
Pembebanan dilakukan dengan beban terpusat sejarak 1400 mm dari as kolom (diujung balok kantilever) dan menggunakan *hydraulic-jack HI-Plan Magnus* yang dijalankan secara manual dengan satu pompa hidrolik merek *Enerpac* yang memiliki kuat tekan 200 kN. Pengujian dilakukan di laboratorium Bahan Jurusan Sipil FTUI.



Gambar 6. Sambungan las pada tulangan dengan baja siku sebagai media penyambung



Gambar 7. Setting benda uji pada loading frame



Gambar 8. Siklus pembebanan

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian keempat benda uji diperoleh kondisi beban-lendutan seperti terlihat pada Tabel 3. Dari table ini terlihat bahwa sambungan tipe I dapat mencapai beban maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketiga tipe sambungan yang lain, hal ini disebabkan daerah sambungan basah yang lebih panjang dibandingkan dengan tipe lainnya.

Secara umum dari kurva beban-lendutan (Gambar 9) terlihat bahwa keempat tipe sambungan memiliki kekakuan yang sama pada awal pembebanan sampai retak pertama terjadi (yaitu pada saat pembebanan mencapai setengah lendutan *yield* teoritis atau pada

siklus ketiga), ini terlihat dari kemiringan dari keempat kurva yang hampir berimpit.

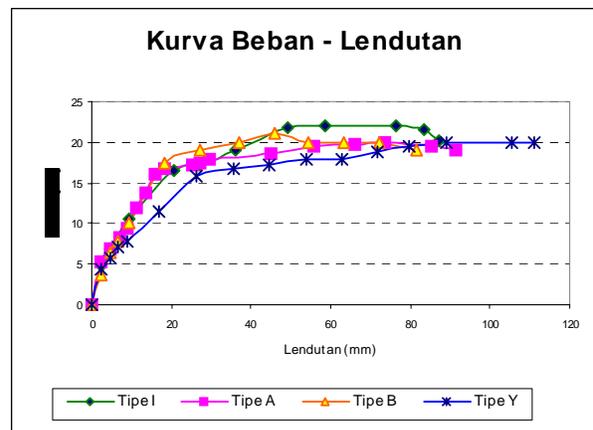
Setelah retak pertama terjadi, mulai terlihat adanya degradasi kekakuan dari keempat sambungan terutama pada tipe Y yaitu sebesar 52%, sedangkan tipe A,B,I masih memiliki kekakuan yang hampir sama sampai lendutan mencapai 1,5 kali lendutan *yield* teoritis, walaupun ketiga tipe sambungan ini telah mengalami degradasi kekakuan sebesar 29.3%. Setelah lendutan melampaui 1,5 kali lendutan *yield* (13,5 mm), sambungan tipe I mengalami degradasi kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan tipe A dan B yaitu sebesar 39.9%, sedangkan sambungan Tipe A dan B mengalami degradasi kekakuan sebesar 30.8% setelah melampaui lendutan 18,34mm (2 kali lendutan *yield* teoritis).

Tabel 3. Beban-Lendutan hasil pengujian

Benda uji	Kondisi leleh teoritis	Kondisi maksimum	Kondisi akhir percobaan
A	Py =9.5kN $\delta y = 9.08 \text{ mm}$	Pm=20kN $\delta m=73.37\text{mm}$	Pa=19kN $\delta a=91.39 \text{ mm}$
B	Py =10kN $\delta y = 9.19 \text{ mm}$	Pm=21kN $\delta m=45.72\text{mm}$	Pa=16.4kN $\delta a=89.77 \text{ mm}$
I	Py=10.6kN $\delta y= 9.29 \text{ mm}$	Pm=22kN $\delta m=58.61\text{mm}$	Pa=20.25kN $\delta a=87.36 \text{ mm}$
Y	Py =7.9kN $\delta y= 9.04 \text{ mm}$	Pm=20kN $\delta m=88.88\text{mm}$	Pa=20kN $\delta a=111.06 \text{ mm}$

Tabel 4. Nilai rasio daktilitas benda uji

Benda uji	A	B	I	Y
δa (mm)	91.39	89.77	87.36	111.06
δy (mm)	19.8	20.8	27.6	32.4
Rasio daktilitas	4.61	4.32	3.17	3.43



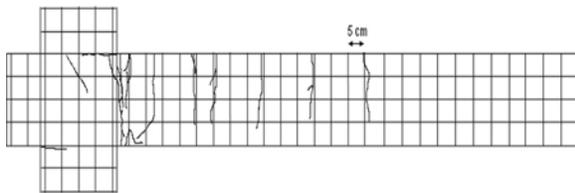
Gambar 9. Kurva beban – lendutan

Nilai rasio daktilitas yaitu rasio dari lendutan pada akhir percobaan (tidak lebih kecil dari 80% beban maksimum) terhadap lendutan *yield* (leleh) hasil percobaan dari keempat benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.

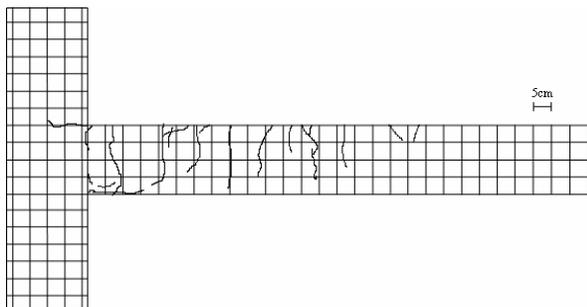
Secara umum keempat tipe sambungan mengalami retak pertama di daerah sambungan beton lama dan baru. Untuk tipe I dimana sambungan sejarak 2 kali tinggi balok dari muka kolom, retak pertama terjadi di muka kolom, daerah sendi plastis (sejarak tinggi balok dari muka kolom) dan daerah sambungan beton lama dan baru. Pola retak dari keempat tipe sambungan dapat dilihat pada Gambar 10,11,12,13.

Berdasarkan gambar ini dapat dilihat bahwa pola retak awal yang terjadi merupakan retak lentur dan sebaran retaknya cukup merata disepanjang balok. Hal ini juga terjadi pada sambungan tipe B yang menggunakan sambungan las pada tulangan utama, dari pola retak yang terjadi dapat disimpulkan bahwa sambungan tipe B ini dapat menyalurkan gaya dengan baik.

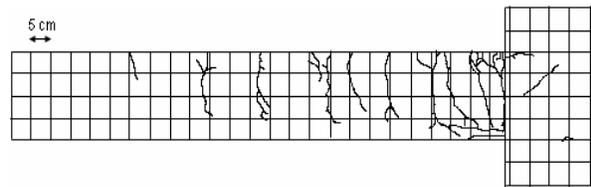
Pada daerah join (pertemuan balok-kolom) retak geser terjadi pada sambungan tipe A dan tipe I, sedangkan tipe B dan Y hanya retak lentur yang terjadi pada daerah join, ini menandakan bahwa tulangan pada daerah join telah memadai.



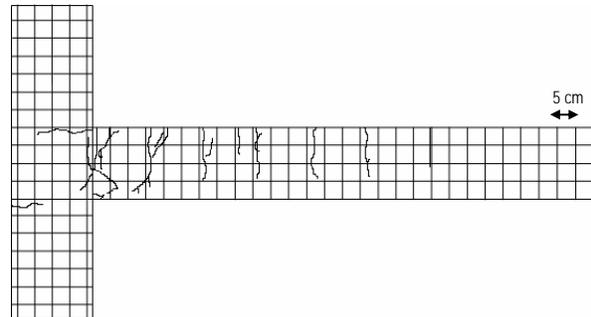
Gambar 10. Pola retak sambungan tipe A



Gambar 11. Pola retak sambungan tipe B



Gambar 12. Pola retak sambungan tipe I



Gambar 13. Pola retak sambungan tipe Y

Keempat benda uji hancur di daerah muka kolom, baik tipe B maupun tipe I yang disambung sejarak h_b (tinggi balok) dan $2h_b$ dari muka kolom. Kondisi demikian juga terjadi pada percobaan sambungan balok-kolom monolit [6].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi eksperimental pada keempat tipe lokasi penyambungan balok-kolom, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Pada umumnya perilaku struktur dari keempat benda uji tidak jauh berbeda.
- Dilihat dari nilai kekakuan maka sambungan tipe A dan B memiliki degradasi kekakuan yang tidak begitu besar.
- Keempat benda uji memiliki nilai rasio daktilitas yang cukup memadai, semuanya menghasilkan daktilitas di atas 3.
- Retak pertama semuanya terjadi di muka kolom, dan pola retak dominan pada semua tipe sambungan merupakan retak lentur. Sedangkan retak pada daerah panel join juga dominan retak lentur, kecuali sambungan tipe A dan I terdapat retak geser di daerah join.
- Untuk penelitian lebih lanjut perlu diperhatikan hubungan antara beton lama dan baru.

Daftar Acuan

- [1] C.E. Warnes, Concrete International 14 (1992) 36.
- [2] S. Pantazopoulou, I. Imran, ACI Structural Journal 89 (1992) 515.

- [3] N. Priestley, *Structural Engineering International 1* (1996) 25.
- [4] Departemen Pekerjaan Umum RI, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1991.
- [5] I. Imran, Hanafiah, Kamaludin, S. Amri, *Proceeding HAKI*, 1998, M-1.
- [6] P. Heru, E. Tjahjono, A.W. Henki, *Studi Modelisasi Perilaku Sambungan Balok – Kolom Beton Bertulang*, Laporan Hasil Penelitian, Universitas Indonesia, 2001.