

## BETON PRA-CETAK UNTUK RANGKA BATANG ATAP

Siswadi<sup>1</sup> dan Wulfram I. Ervianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta  
Email: [siswadi@mail.uajy.ac.id](mailto:siswadi@mail.uajy.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta  
Email: [ervianto@mail.uajy.ac.id](mailto:ervianto@mail.uajy.ac.id)

### ABSTRAK

Beton pracetak adalah beton yang pembuatan adukan, pencoran dan perawatannya dikerjakan bukan di tempat tujuan akhir. Letak fabrikasi mungkin hanya beberapa meter untuk menghindari biaya pengangkutan, atau mungkin ratusan kilometer dengan mempertimbangkan biaya pembuatan dan pengangkutan. Elemen beton pracetak mempunyai ukuran tertentu dan harus digabungkan dengan elemen lain untuk membentuk sebuah struktur. Permasalahannya adalah kemungkinan merakit komponen beton pra-cetak menjadi struktur rangka batang, lokasi sambungan beton pracetak agar memberikan kekuatan struktur yang memadai serta kemampuan mendukung beban dibandingkan dengan rangka batang yang dicor secara monolit. Batasan masalahnya adalah beton dibuat dengan perbandingan campuran 1 PC : 2 pasir : 3 kerikil, fas 0,5, rangka batang atap berbentuk segitiga dengan kemiringan 15° yang terdiri atas lima batang dan terletak di atas dua dukungan sederhana, beban terpusat pada titik buhul bagian atas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban rata-rata yang meruntuhkan rangka batang beton monolit sebesar 3999,6 kg (100%), rangka batang pracetak dengan alat sambung siku lubang 2699,73 kg (67,5%), dan rangka batang pracetak dengan alat sambung baut-plat hubung 3899,61 kg (97,5%). Perpindahan maksimum rata-rata untuk rangka batang monolit 8,695 mm (100%), rangka batang pracetak dengan alat sambung siku lubang 9,585 mm (110,2%), dan rangka batang pracetak dengan alat sambung baut-plat hubung 11,35 mm (130,5%). Keruntuhan terjadi pada beton, yaitu batang horisontal yang menerima gaya tarik, batang lain tidak mengalami retak.

Kata kunci: beton pracetak, beton monolit, siku lubang, alat sambung baut-plat

### 1. PENDAHULUAN

Sistem struktur atap bangunan dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu sistem portal tunggal dan rangka batang. Pada sistem portal tunggal diasumsikan bahwa hubungan antar batang pada setiap titik buhul merupakan sambungan yang kaku, sehingga momen harus diperhitungkan, selain gaya aksial dan gaya geser. Hubungan antar batang pada titik buhul dari sistem rangka batang diasumsikan berupa sendi dan beban bekerja pada titik buhul, sehingga momen dapat diabaikan dan gaya yang bekerja hanya berupa gaya aksial. Meskipun demikian, sesungguhnya masih ada momen sekunder karena sambungan pada titik buhul pada umumnya bukan merupakan sendi murni dan beban juga bekerja pada batang (di antaranya berat sendiri batang penyusunnya).

Material yang banyak digunakan untuk struktur rangka batang adalah kayu, baja, aluminium dan beton bertulang. Masing-masing material mempunyai keuntungan dan kerugian sendiri-sendiri. Kayu dan bambu relatif murah harganya dan mudah pemasangannya, tetapi mudah diserang rayap sehingga perlu penanganan dan perawatan khusus. Baja mampu digunakan untuk rangka batang dengan bentang yang panjang, tetapi harganya relatif mahal dan mudah berkarat, sehingga diperlukan perawatan berupa pengecatan secara berkala.

Beton relatif murah harganya dan tidak memerlukan perawatan setelah terpasang, meskipun demikian diperlukan biaya cetakan dan pencoran serta tidak dapat langsung dibebani, karena harus menunggu sampai kekuatan beton dianggap maksimum, pada umumnya umur beton normal adalah 28 hari. Guna mengatasi kekurangan ini digunakan beton pra-cetak, yaitu beton yang dibuat di pabrik atau di *ground floor* proyek yang kemudian diangkat untuk dipasang pada tempatnya. Pengangkatan keseluruhan struktur rangka batang dari beton ini memerlukan alat berat yang relatif mahal, oleh karena itu diperlukan pemisahan keseluruhan struktur menjadi beberapa komponen yang lebih ringan sehingga pengangkatannya tidak memerlukan alat berat, tetapi cukup menggunakan alat bantu yang relatif lebih ringan. Meskipun demikian, komponen-komponen ini perlu dihubungkan pada titik-titik sambungannya sehingga membentuk struktur rangka batang yang kokoh.

## 2. PERUMUSAN MASALAH

Guna mengetahui kemungkinan pembuatan rangka batang atap yang dirakit dari beberapa komponen beton pra-cetak yang disambung sehingga menjadi struktur yang memadai, maka permasalahannya sebagai berikut (1) kemungkinan membuat struktur rangka batang atap yang dirakit dari beberapa komponen beton pra-cetak? (2) lokasi sambungan beton pra-cetak yang masih memberikan kekuatan struktur memadai? (3) berapakah kemampuan mendukung beban dari rangka batang pra-cetak apabila dibandingkan dengan rangka batang yang dicor secara monolit?

Batasan masalahnya adalah (1) beton dibuat dengan perbandingan campuran 1 PC: 2 pasir : 3 kerikil dan fas 0,5 , (2) rangka batang atap berbentuk segitiga dengan kemiringan  $15^{\circ}$ , terdiri atas lima batang yang terletak di atas dua dukungan sederhana, (3) beban berupa beban terpusat yang bekerja di titik buhul pada puncak segitiga dari rangka batang, (4) struktur rangka batang mengalami perpindahan dalam arah vertikal, sedangkan dalam arah tegak lurus batang ditahan oleh rol, (5) eksperimen dilakukan untuk empat macam sistem pembentuk struktur rangka batang, (6) pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

## 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan penelitian ini untuk mencari lokasi sambungan komponen beton pra-cetak sehingga membentuk struktur rangka batang atap yang kuat dan efisien dalam pembuatan dan perakitannya. Penelitian ini diharapkan dapat menemukan sistem dan lokasi sambungan yang efisien untuk membuat struktur rangka batang yang terbuat dari komponen beton pra-cetak.

## 4. TINJAUAN PUSTAKA

Beton pracetak adalah beton yang pembuatan adukan, pencoran dan perawatannya dikerjakan bukan di tempat tujuan akhir. Jarak perjalanannya mungkin hanya beberapa meter untuk menghindari biaya pengangkutan, atau mungkin ratusan kilometer dengan masih mempertimbangkan biaya pembuatan dan pengangkutan. Elemen beton pracetak mempunyai ukuran tertentu dan harus digabungkan dengan elemen-elemen lain untuk membentuk sebuah struktur komplit (Elliot, 2002, h.1).

Menurut Murdock dan Brook (1991, h.374) istilah beton pra-cetak dipergunakan untuk menguraikan berbagai jenis dan varitas unit beton yang dicetak dalam acuan, baik di pabrik maupun di lapangan, dan tidak dipasang pada bangunan sampai bagian ini mengeras sepenuhnya.

Keuntungan utama penggunaan unit pra-cetak adalah penghematan dalam acuan dan penopangnya. Manfaat yang diperoleh tergantung sampai pada batasan tertentu, pada jumlah pengulangan pekerjaan, dimana sebagai patokan kasar dapat dianggap bahwa penggunaan 50 kali atau lebih cetakan unit beton pra-cetak akan memberikan alasan yang ekonomis dan dapat dipertanggungjawabkan (Murdock dan Brook, 1991, h.383).

Struktur beton bertulang yang dicor ditempat cenderung untuk bersifat monolit dan menerus. Sebaliknya, pada struktur-struktur pra-cetak, seperti juga konstruksi baja, struktur yang dihasilkan terdiri dari sejumlah besar elemen-elemen yang dibuat di pabrik yang disambung di lokasi bangunan sampai akhirnya membentuk suatu struktur yang utuh. Pada kasus struktur pra-cetak, diperoleh sebuah struktur yang menerus seperti konstruksi yang dicor ditempat dan sambungan-sambungan yang menghasilkan kontinuitas dengan memakai bantuan perangkat keras khusus, batang tulangan dan beton menyalurkan semua tegangan tarik, tekan dan geser seringkali disebut sambungan keras (Winter dan Wilson, 1993, h.519)

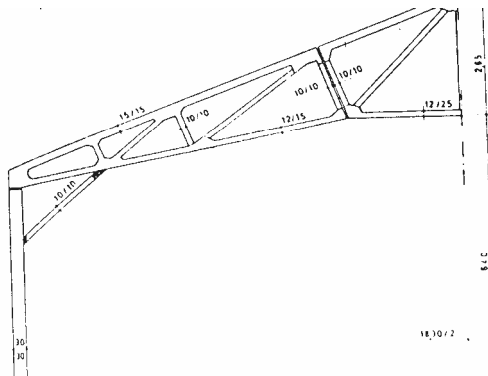
Siddiq (1999, h.43) melakukan penelitian perilaku struktur rangka beton dengan komponen pra-cetak terhadap beban kombinasi gravitasi dan siklis. Komponen pra-cetak yang telah tersusun dan terangkai berfungsi juga sebagai cetakan, jadi tidak memerlukan pekerjaan cetakan lagi di lapangan, sehingga pekerjaan lapangan menjadi lebih cepat dan mudah. Sambungan yang digunakan adalah sambungan lewat dari tulangan bawah balok pra-cetak. Perilaku struktur diteliti bila dibebani beban gravitasi konstan sebesar 9500 kg dan beban lateral siklis yang nilainya ditingkatkan secara bertahap dalam arah bergantian sampai mencapai beban maksimum menjelang runtuh. Hasil pengujian memperlihatkan struktur *frame* yang dihasilkan memiliki kesamaan dengan struktur rangka beton monolitik, dari segi kekuatan, kekakuan, daktilitas, dan kemudahan desain arsitektur.

Perencanaan komponen struktur beton pra-cetak dan sambungannya harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan dan kekangan deformasi mulai dari saat fabrikasi awal hingga selesainya pelaksanaan struktur, termasuk pembongkaran cetakan, penyimpangan, pengangkutan dan pemasangan. Apabila elemen pra-cetak membentuk diafragma atap dan lantai, maka sambungan antara diafragma dan komponen-komponenstruktur yang

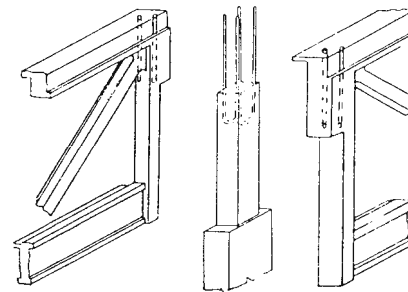
ditopang secara lateral oleh diafragma tersebut harus mempunyai kekuatan tarik nominal yang mampu menahan sedikitnya 4,5 kN/m (BSN, 2002, h.166).

Perencanaan komponen struktur pra-cetak harus meninjau gaya-gaya dan distorsi selama perawatan, pembongkaran cetakan, penyimpanan, pengangkutan dan ereksi sedemikian hingga komponen struktur pra-cetak tersebut tidak mengalami tegangan yang berlebihan, atau rusak. Selama ereksi, komponen struktur pra-cetak harus diikat dan ditopang secukupnya untuk menjamin kedudukan yang benar dan integritas struktur hingga sambungan yang permanen selesai dipasang. Elemen pra-cetak yang akan dibuat komposit dengan beton yang dicor setempat boleh diuji terhadap lentur sebagai elemen pra-cetak saja menurut ketentuan berikut (BSN, 2002, h.170): (1) Beban uji diterapkan hanya bilamana perhitungan mengindikasikan bahwa elemen pra-cetak tersebut tidak akan kritis terhadap tekan atau tekuk, (2) Beban uji harus berupa beban yang apabila diterapkan pada komponen pra-cetak saja, menghasilkan gaya total yang sama di tulangan tarik, sebagaimana yang ditimbulkan oleh pembebanan pada komponen struktur komposit dengan beban uji yang disyaratkan, yaitu tidak boleh kurang daripada 0,85 (1,4 D + 1,7 L).

Proses pembuatan beton pra-cetak dapat disesuaikan untuk bentuk-bentuk khusus, dikembangkan untuk proyek-proyek khusus, dan dapat diproduksi secara ekonomis, asal saja jumlahnya cukup banyak (Winter & Nilson, 1993, h.519).



Gambar 4. Rangka batang dari beton pracetak Gambar .  
(Koncz, 1996, vol 2, h.149)



Gambar 5. Sambungan antar batang pracetak pada rangka batang

Gambar 1. memperlihatkan sistem penyambungan rangka batang yang terbuat dari beton pracetak (Koncz, 1996, h.149) sedang pada Gambar 2. menunjukkan sambungan antar batang pracetak yang dapat digunakan pada rangka batang (Koncz, 1996, h.174).

## 5. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dan dibagi dalam lima tahap, yaitu: (1) studi pustaka mengenai sambungan dan lokasi sambungan yang biasa digunakan pada beton pra-cetak. Pada akhir tahap ini akan diperoleh lokasi sambungan dan perhitungan perencanaannya yang akan digunakan untuk membuat rangka batang sebagai benda uji, (2) pembuatan cetakan dan bahan sambungan, (3) pembuatan benda uji yang terdiri atas empat macam sistem rangka batang, dimana pada masing-masing sistem dibuat tiga buah rangka batang, sehingga jumlah struktur rangka batang yang dibuat sebanyak 12 buah, (4) perakitan dan pengujian benda uji yang telah dibuat pada tahap ketiga, yaitu setelah beton pra-cetak berumur minimum 28 hari, (5) analisis data hasil pengujian.

## 6. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dibuat tiga macam rangka batang, yaitu: (1) rangka batang monolit, yang dibuat tanpa sambungan pada waktu pencoran beton, (2) rangka batang pracetak dengan alat sambung dari siku lubang, dan (3) rangka batang pracetak dengan alat sambung memakai baut dan plat hubung. Bagian sambungan dicor setelah alat sambung terpasang dengan baik, sehingga diperoleh rangka batang yang merupakan kuda-kuda atap.

### Rangka Batang Monolit

Rangka batang yang dicor secara monolit dibuat sebanyak dua buah dan dimaksudkan sebagai standar untuk pembandingan dengan rangka batang pracetak yang batang-batangnya dihubungkan memakai alat sambung. Gambar 3 memperlihatkan pemasangan tulangan rangka batang yang telah di dalam cetakan monolit.



Gambar 3. Tulangan rangka batang di dalam cetakan monolit



Gambar 4. Setting pengujian

Pengujian struktur rangka beton pracetak diuji setelah beton berumur sekitar 28 hari, dengan pembebanan berupa beban terpusat yang dikerjakan pada titik buhul sebelah atas kuda-kuda. Gambar 4. memperlihatkan setting pengujian.

Gambar 5. memperlihatkan tampak depan sebelah kiri rangka batang setelah dilakukan uji. Gambar 6. menunjukkan tampak depan retak pertama yang menyebabkan keruntuhan dan tampak belakang retak pertama yang sama yang menyebabkan keruntuhan. Gambar 7. memperlihatkan retak pada batang horizontal sebelah kiri



Gambar 5. Tampak depan dari sebelah kiri rangka batang setelah diuji



Gambar 6. Tampak depan retak ke 1 yang menyebabkan keruntuhan



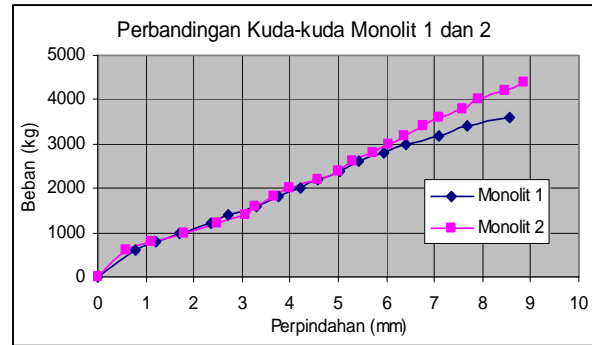
Gambar 7. Retak pada batang horizontal sebelah kiri

Hasil pengujian rangka batang monolit dari sampel ke satu. Retak pertama pada beban 999,90 kg terjadi pada batang horizontal di dekat tumpuan sebelah kiri dengan perpindahan di tengah bentang sebesar 1,7 mm. Retak berikutnya juga terjadi di batang horizontal yang mengalami gaya tarik. Retak ke delapan terjadi di tumpuan, yang selanjutnya retak pertama membesar dan mengakibatkan keruntuhan rangka batang pada beban 3599,64 kg dan perpindahan vertikal sebesar 8,55 mm.

Hasil pengujian rangka batang monolit dari sampel ke dua. Retak pertama pada beban 999,90 kg terjadi pada batang horizontal di daerah tengah bentang dengan perpindahan sebesar 1,8 mm sebagaimana tampak pada gambar 8. Retak berikutnya terjadi di batang horizontal yang mengalami gaya tarik. Retak ke tujuh terjadi di tumpuan, yang selanjutnya retak kedua di dekat tumpuan membesar dan mengakibatkan keruntuhan rangka batang pada beban 4399,56 kg dan perpindahan vertikal sebesar 8,84 mm.



Gambar 8. Retak pertama pada tengah bentang

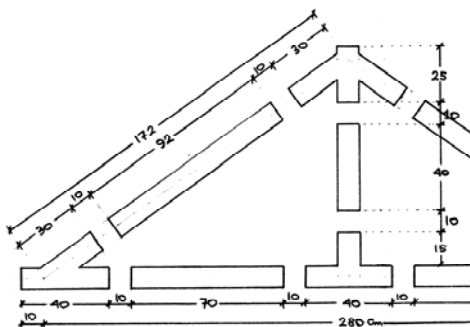


Gambar 9. Grafik perbandingan kuda-kuda monolit sampel 1 dan sampel 2

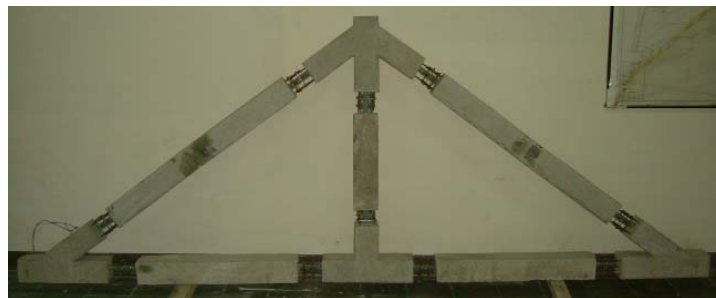
Gambar 9 memperlihatkan kurva perbandingan kuda-kuda monolit sampel ke satu dan sampel ke dua, yang mempunyai perpindahan rata-rata sebesar  $(8,55 + 8,84)/2 = 8,695$  mm, dan beban rata-rata sebesar  $(3599,64 + 4399,56)/2 = 3999,6$  kg.

### Rangka Batang Pracetak Dengan Alat Sambung Siku Lubang

Gambar 10. memperlihatkan rencana pembuatan rangka batang dari beton pracetak yang terbuat dari lima balok pracetak dan empat buah sambungan pracetak. Rangka batang dengan alat sambung siku lubang yang belum di cor dapat dilihat pada gambar 11. Gambar 12 menunjukkan sambungan pada joint kiri, sambungan pada joint tengah bawah, sambungan pada joint tengah atas, dan sambungan pada joint kanan.



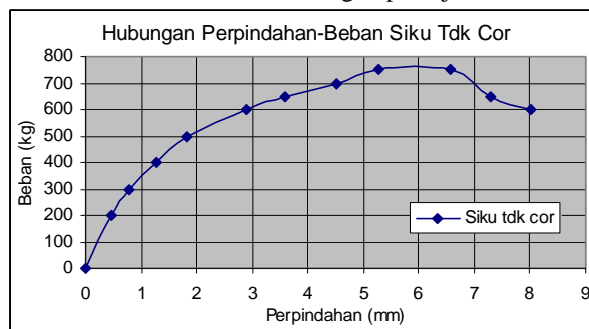
Gambar 10. Rencana pembuatan beton pracetak



Gambar 11. Rangka batang dengan alat sambung siku lubang yang tidak di cor



Gambar 12. Sambungan pada joint

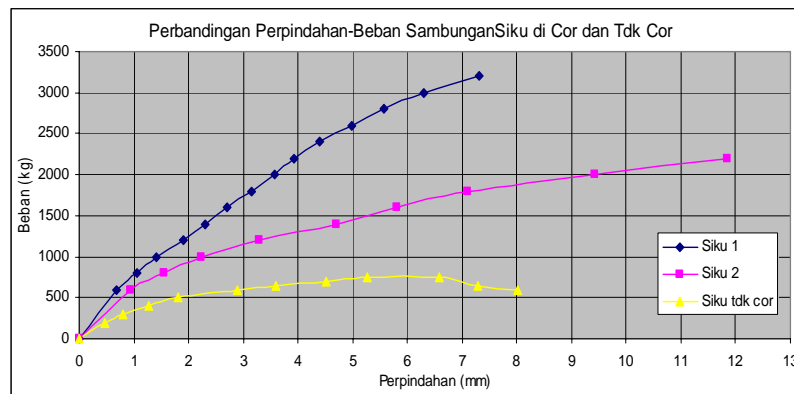


Gambar 13. Hubungan perpindahan-beban rangka batang sambungan siku lubang tidak di cor

Hasil pengujian rangka batang dengan sambungan siku lubang tidak di cor memperlihatkan beban maksimum yang meruntuhkan adalah 749,93 kg dengan perpindahan 5,27 mm. Setelah beban maksimum ini, perpindahan bertambah besar tanpa pertambahan beban dan pengujian dihentikan pada perpindahan 8,02 mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Batang yang terbuat dari beton pracetak tidak mengalami retak setelah diuji.

Sedangkan hasil pengujian rangka batang sambungan siku lubang yang dicor sampel ke satu memberikan beban yang meruntuhkan adalah sebesar 3199,68 kg pada perpindahan 7,32 mm. Keruntuhan disebabkan beton di atas tumpuan retak dengan pola retak miring yang disebabkan oleh gaya geser.

Hasil uji rangka batang sambungan siku lubang sampel ke dua menunjukkan beban yang meruntuhkan sebesar 2199,78 kg dengan perpindahan 11,85 mm, dan keruntuhannya pada beton di tumpuan.



Gambar 14. Perbandingan rangka batang sambungan siku lubang di cor dan tidak di cor

Kurva pada gambar 14 memperlihatkan bahwa kegagalan pada rangka batang memakai alat sambung siku lubang yang tidak di cor terjadi bukan pada betonnya, melainkan pada bajanya, yang ternyata pada siku lubang yang mengalami tekuk pada beban sebesar 749,93 kg. Bila memakai faktor aman tiga, maka beban yang boleh bekerja selama ereksi adalah 250 kg, yang masih berada di daerah elastis dan cukup untuk mendukung dua orang pekerja dengan peralatannya.

Pada rangka batang memakai alat sambung siku lubang yang dibungkus dengan cor beton ternyata keruntuhan terjadi pada beton yang terletak di tumpuan. Pola retaknya adalah miring yang menunjukkan retak disebabkan oleh gaya lintang dari reaksi tumpuan yang tidak mampu didukung oleh beton. Hal ini disebabkan tidak adanya tulangan miring dan beugel pada beton di atas tumpuan. Beban rata-rata yang meruntuhkan adalah 2699,73 kg dengan perpindahan rata-rata 9,585 mm.

### Rangka Batang Dengan Alat Sambung Baut Dan Plat Hubung

Angkur baut yang dibuat dari besi beton diameter 12,2 mm dan panjang lekatan minimum 40 cm serta plat hubung yang dibuat dari plat lebar 3,9 cm dan tebal 0,25 cm yang telah diteliti sebelumnya (Wibowo, 2005, h.46) dipakai sebagai alat sambung antar batang pracetak, yang dalam penelitian ini disebut alat sambung baut dan plat hubung. Gambar 15 memperlihatkan beberapa detail sambungan baut dan plat hubung yang menghubungkan antar komponen beton pracetak.

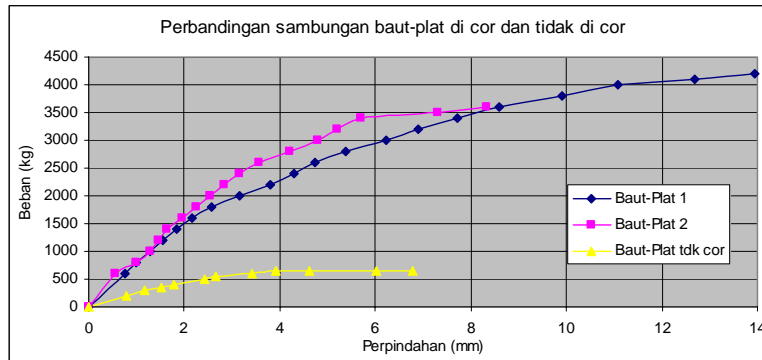


Gambar 15. Detail sambungan baut dan plat hubung

Hasil pengujian menunjukkan beban yang meruntuhkan rangka batang dengan alat sambung baut dan pelat yang tidak dicor sebesar 649,94 kg, dimana pada beban ini meskipun tidak ditambah, tetapi perpindahan bertambah terus, yaitu dari 3,91 mm sampai 6,79 mm.

Hasil pengujian sample ke satu dari rangka batang dengan alat sambung baut dan plat, memperlihatkan bahwa keruntuhan yang terjadi adalah mendadak, yang terjadi karena lekatan beton lama dan beton baru yang dipakai untuk mencor sambungan tidak menyatu dengan baik.

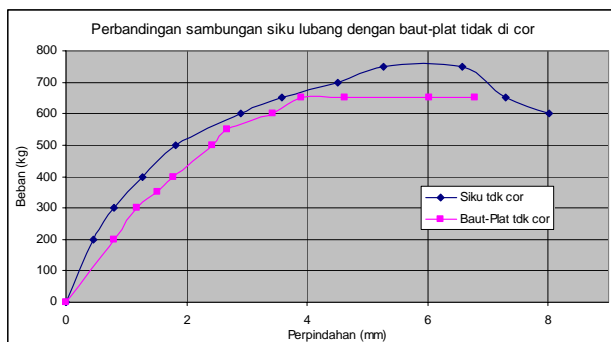
Kegagalan pada rangka batang memakai alat sambung baut dan plat hubung yang tidak di cor pada daerah sambungannya terjadi tidak pada betonnya, melainkan besi beton di daerah sambungan yang mengalami tekuk, dan gagal pada beban sebesar 649,94 kg, seperti ditunjukkan pada gambar 16.



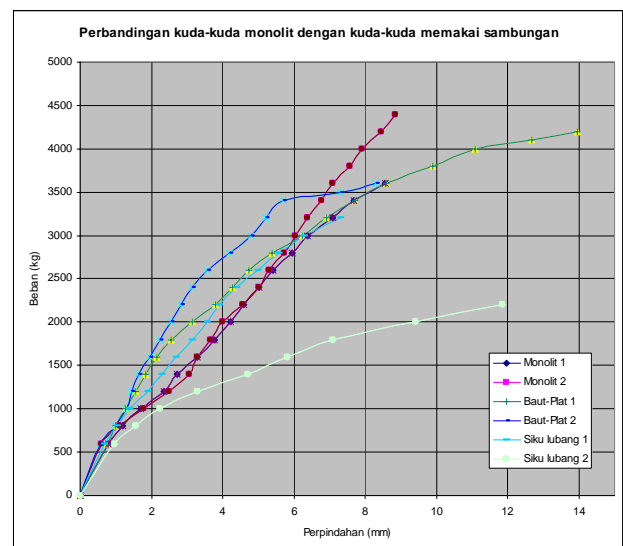
Gambar 16. Perbandingan rangka batang dengan alat sambung baut dan plat hubung yang di cord an tidak di cor pada sambungannya

Pada rangka batang memakai alat sambung baut dan plat hubung yang dibungkus dengan cor beton pada daerah sambungannya ternyata keruntuhan terjadi pada pertemuan beton lama dan beton baru yang tidak menyatu dengan sempurna dan pada daerah tumpuan. Pola retaknya adalah miring yang disebabkan oleh gaya lintang dari reaksi tumpuan yang tidak mampu didukung oleh beton. Hal ini disebabkan tidak adanya tulangan miring dan beugel di dalam beton di atas tumpuan. Beban rata-rata yang meruntuhkan adalah 3899,61 kg dengan perpindahan rata-rata 11,35 mm.

Kurva perbandingan hubungan perpindahan dan beban dari rangka batang memakai sambungan siku lubang dengan sambungan baut dan plat hubung dimana bagian sambungan tidak di cor dapat dilihat pada gambar 17. Pada gambar 17 tampak bahwa rangka batang dengan bagian sambungan tidak di cor dimana sambungannya memakai siku lubang ternyata lebih kuat dibanding memakai sambungan baut dan plat hubung dengan perbandingan gaya maksimum yang meruntuhkan adalah 749,93 kg dan 649,94 kg. Bila memakai faktor aman tiga, maka beban yang boleh bekerja selama ereksi untuk sambungan siku lubang adalah 250 kg dengan penurunan 0,625 mm, sedangkan untuk sambungan baut dan plat hubung adalah 216,6 kg dengan defleksi 0,852 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk sambungan yang belum di cor, baik memakai alat sambung siku lubang maupun baut dan plat hubung, dapat diberi beban sementara berupa orang yang bekerja dan peralatannya.



Gambar 17. Perbandingan rangka batang memakai sambungan siku lubang dengan sambungan baut-plat hubung dimana bagian sambungan tidak di cor



Gambar 18. Perbandingan rangka batang cor monolit dengan rangka batang memakai sambungan siku lubang serta sambungan baut dan plat hubung

Pada gambar 18 menunjukkan perbandingan rangka batang yang di cor secara monolit dengan rangka batang pracetak memakai alat sambung siku lubang, alat sambung baut dan plat hubung. Perbandingan beban rata-rata yang

meruntuhkan adalah 3999,6 kg (100 %) untuk rangka batang monolit, 2699,73 kg (67,5 %) untuk rangka batang pracetak dengan alat sambung siku lubang, dan 3899,61 kg (97,5 %) untuk rangka batang pracetak dengan alat sambung baut-plat hubung. Sedangkan perbandingan perpindahan maksimum rata-rata adalah 8,695 mm (100 %) untuk rangka batang monolit, 9,585 mm (110,2 %) untuk rangka batang pracetak dengan alat sambung siku lubang, dan 11,35 mm (130,5 %) untuk rangka batang pracetak dengan alat sambung baut-plat hubung. Semua keruntuhannya terjadi pada beton, yaitu pada batang horisontal yang menerima gaya tarik, batang lainnya tidak mengalami retak sama sekali.

## 7. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal pokok sebagai berikut:

1. Perbandingan beban rata-rata yang meruntuhkan untuk rangka batang beton monolit 3999,6 kg (100 %), untuk rangka batang pracetak dengan alat sambung siku lubang 2699,73 kg (67,5 %), dan untuk rangka batang pracetak dengan alat sambung baut-plat hubung 3899,61 kg (97,5 %).
2. Sedangkan perbandingan perpindahan maksimum rata-rata untuk rangka batang monolit 8,695 mm (100 %), untuk rangka batang pracetak dengan alat sambung siku lubang 9,585 mm (110,2 %), dan untuk rangka batang pracetak dengan alat sambung baut-plat hubung 11,35 mm (130,5 %).
3. Semua keruntuhannya terjadi pada beton, yaitu pada batang horizontal yang menerima gaya tarik, batang lainnya tidak mengalami retak sama sekali.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (BSN) (2002), SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Bandung
- Elliot, K.S. (2002), *Precast Concrete Structures*, Butterworth – Heinemann, Oxford
- Koncz, T. (1996), *Manual of Precast Concrete Construction*, Volume II, Bauverlag GMBH, Wiesbaden and Berlin
- Murdock, L.J. dan Brook, K.M. (1991), *Bahan dan Praktek Beton*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Siddiq, H.S. (1999), Perilaku Struktur Rangka Beton dengan Komponen Precast terhadap Beban Kombinasi Gravitasi dan Siklis (Seismik), *Teknisia* vol. IV, no. 11.
- Wibowo, FX. N. (2005), *Sambungan pada Beton Pracetak untuk Rangka Batang*, Laporan Penelitian UAJY, Yogyakarta
- Winter, G. dan Wilson, A.H. (1993), *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga, Jakarta