

## PENGARUH TINGGI SEPATU KOLOM TERHADAP PERILAKU SAMBUNGAN KOLOM PRACETAK-PONDASI

Fakhruddin<sup>1</sup>, Rita Irmawaty<sup>1</sup> dan Rudy Djamaluddin

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas  
Hasanuddin, Jl. Poros Malino KM. 06 Bontomarannu,  
Gowa, Sulawesi Selatan  
Email: fakhruddin@unhas.ac.id dan  
fakhrud.civil05@gmail.com

### ABSTRAK

Salah satu sistem sambungan pada struktur pracetak adalah kolom dengan pondasi. Sepatu kolom yang merupakan inovasi dalam penelitian ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai alternatif dalam sistem sambungan kolom pracetak-pondasi yang telah ada saat ini. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi bagaimana pengaruh variasi tinggi sepatu kolom terhadap perilaku sambungan kolom pracetak-pondasi. Sepatu kolom terbuat dari pelat baja yang memiliki variasi tinggi 12.5 cm (SPTK 12.5), 25 cm (SPTK 25) dan 37.5 cm (SPTK 37.5). Kolom yang terbuat dari beton normal mutu 18 MPa juga terdiri atas tiga buah. Dimensi kolom adalah 25 cm x 25 cm. Semua benda uji diberi beban statik monotonik hingga runtuh. Parameter yang diteliti adalah kapasitas momen, daktilitas, dan pola retak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi sepatu kolom, semakin tinggi kapasitas momen yang dihasilkan. Nilai daktilitas SPTK 12.5, SPTK 25 dan SPTK 37.5 masing-masing sebesar 2.68, 2.14 dan 1.51, sehingga termasuk dalam daktilitas parsial. Pola kegagalan pada kolom berupa retak horizontal di daerah tarik sedangkan pada sepatu kolom umumnya terjadi pada sambungan baut dengan sepatu kolom, dimana sepatu kolom terangkat dari *footing*.

Kata kunci: sambungan, sepatu kolom, beban statik, momen, daktilitas

### 1. PENDAHULUAN

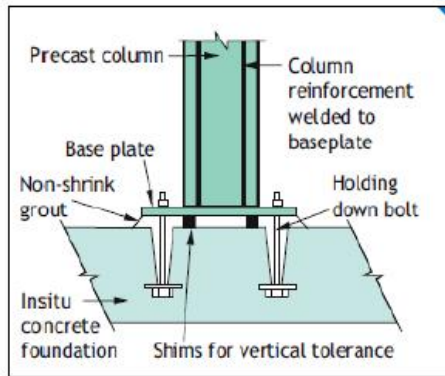
Sistem sambungan antar elemen struktur pracetak merupakan unsur yang sangat penting dalam desain bangunan pracetak. Sistem sambungan tersebut memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan kekuatan dari elemen struktur. Desain komponen struktur pracetak dan sambungannya harus melibatkan semua kondisi pembebanan dan kekangan mulai dari pabrikan awal sampai penggunaan akhir pada struktur, termasuk pembongkaran bekisting, penyimpanan, transportasi, dan ereksi. Kelemahan yang sering terjadi pada bagian sambungan adalah sulitnya mendapatkan kualitas sambungan yang sama dengan struktur monolit (bukan pracetak).

Salah satu sistem sambungan pada struktur pracetak adalah sambungan antara kolom dengan pondasi. Beberapa metode yang telah dikembangkan saat ini adalah *Socket Base Connection*, *knockdown system*, *pocket foundation*, *precast concrete base plate*, *projecting steel bars connection*. Gambar 1a dan b masing-masing menunjukkan *precast concrete base plate* dan *projecting steel bar*. Metode-metode tersebut sangat praktis, namun memiliki kelemahan dimana masih adanya pekerjaan di lapangan seperti pengecoran dan pengelasan pada saat proses penyambungan elemen pracetak.

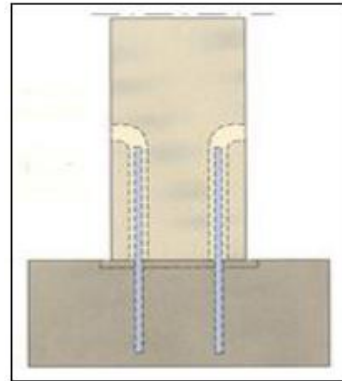
Dalam penelitian ini dikembangkan suatu sistem sambungan kolom pracetak-pondasi yang tanpa memerlukan pekerjaan pengecoran dan pengelasan. Metode yang dikembangkan yaitu penggunaan sepatu kolom yang terbuat dari pelat baja yang berbentuk kotak yang dilengkapi dengan angkur-angkur pada pelat dasar sepatu kolom. Dengan memasang angkur-angkur pada sepatu kolom, maka akan memudahkan proses pemasangan di lapangan serta meningkatkan tingkat kepresisian pada titik-titik kolom yang akan dipasang. Metode kerja dari metode ini adalah sepatu kolom diletakkan pada *sloef*, tepatnya pada titik-titik kolom. Setelah itu dilakukan pengecoran *sloef* sehingga monolit dengan angkur sepatu kolom. Setelah beton mengering, kolom kemudian ditempatkan atau didudukkan pada sepatu kolom tersebut. Untuk menjaga kestabilan serta kemudahan dalam proses penginstalan, sepatu kolom dilengkapi dengan lubang pasak yang



berfungsi sebagai pengunci sementara antara sepatu kolom dan kolom pracetak.



a. Precast concrete base plate



b. Projecting steel bar

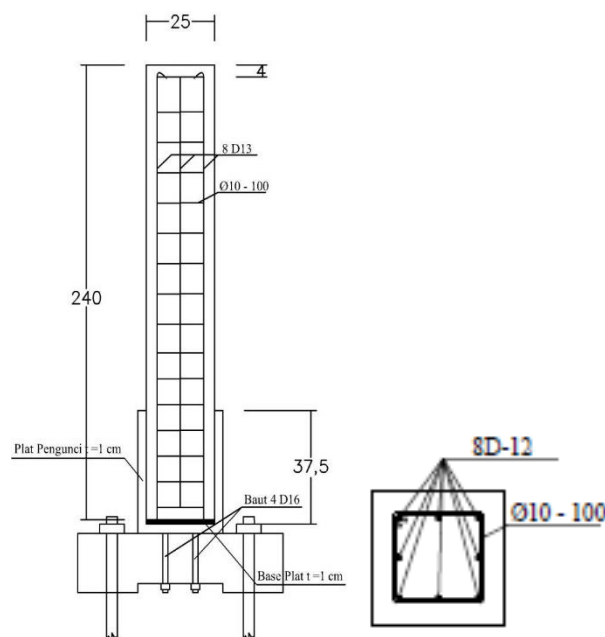
Gambar 1. Metode sambungan kolom pracetak-pondasi

Sepatu kolom yang merupakan inovasi dalam penelitian ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai alternatif dalam sistem sambungan kolom pracetak-pondasi. Namun, sebelum produk tersebut dapat diaplikasikan, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perilaku dari sepatu kolom tersebut. Salah satu parameter yang perlu diteliti adalah tinggi sepatu kolom. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi bagaimana pengaruh variasi tinggi sepatu kolom terhadap perilaku sambungan kolom pracetak-pondasi.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

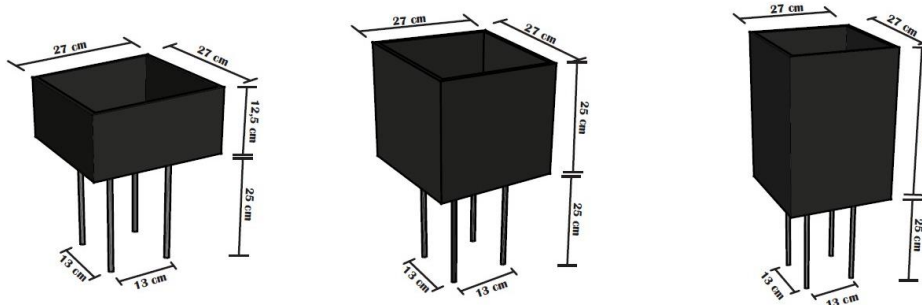
### Desain benda uji

Gambar 2 menunjukkan dimensi benda uji yang terdiri atas tiga komponen, yaitu *footing*, sepatu kolom dan kolom. *Footing* berfungsi sebagai *sloef* pada kondisi di lapangan. *Footing* didesain cukup kuat sehingga diharapkan tidak terjadi kegagalan. Dimensi *footing* adalah 1250 mm x 750 mm x 350 mm. Dimensi kolom pada penelitian ini didesain untuk memikul struktur dua lantai. Setelah dilakukan analisis menggunakan SAP 2000 V17, diperoleh dimensi kolom sebesar 250 mm x 250 mm. Benda uji *footing* dan kolom menggunakan beton normal  $f'_c$  18 MPa.



Gambar 2. Dimensi benda uji

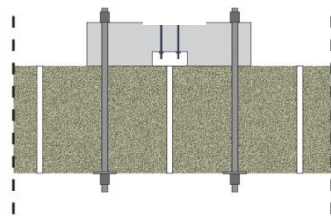
Gambar 3 menunjukkan dimensi sepatu kolom. Sepatu kolom terbuat dari pelat baja yang dipabrikasi berbentuk kotak terbuka yang disambung menggunakan las. Tiap sepatu kolom memiliki panjang dan lebar yang sama, yaitu 270 mm x 270 mm. Perbedaan hanya pada tingginya, yaitu 12.5 cm (SPTK 12.5), 25 cm (SPTK 25) dan 37.5 cm (SPTK 37.5). Selain itu, tiap sepatu kolom juga dilengkapi dengan angkur sebanyak 4 buah dengan diameter 16 mm.



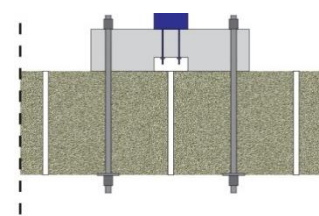
Gambar 3. Dimensi sepatu kolom

### Setup dan peralatan

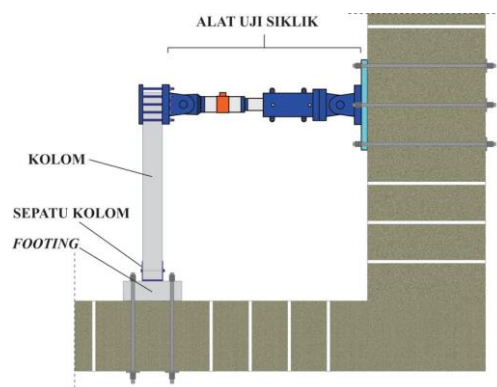
Ketiga benda uji diberi beban satu arah hingga terjadi kegagalan. Secara garis besar, proses *Setup* benda uji sebagai berikut: (1) Memasang *footing* yang diangkur pada lantai beton (*strong floor*) di laboratorium, (2) Memasang sepatu kolom pada *footing* yang dihubungkan dengan 4 buah baut diameter 16 mm, (3) Memasang kolom pada sepatu kolom, (4) Menghubungkan aktuatur dengan kolom. Urutan-urutan *Setup* benda uji ditunjukkan pada Gambar 4.



a. Pemasangan *footing*



b. Pemasangan sepatu kolom

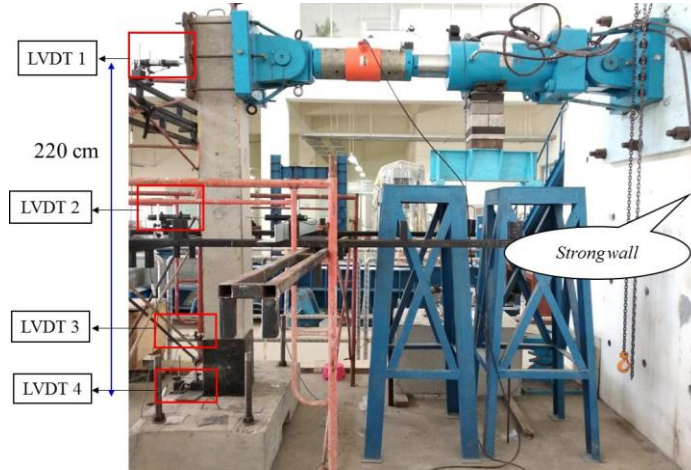


c. Pemasangan kolom dan aktuatur

Gambar 4. Proses *setup* benda uji



Gambar 5 menunjukkan *Setup* pengujian. Pembacaan *load cell* setiap pembebanan 1 kN. Lendutan pada kolom dan sepatu kolom diukur menggunakan LVDT. Sementara regangan pada beton, tulangan dan sepatu kolom diukur menggunakan *Strain gauge*. Semua data direkam menggunakan *data logger*. Ketinggian *actuator* dengan dasar sepatu kolom adalah 220 cm.



Gambar 5. *Setup* pengujian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hubungan beban-lendutan

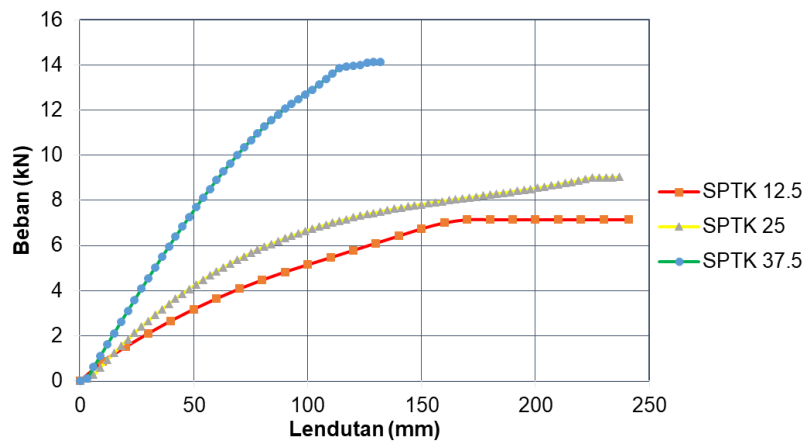
Tabel 1 merekapitulasi hasil pengujian dan Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan beban-lendutan. Lendutan yang ditunjukkan pada Gambar 6 adalah lendutan yang terbaca pada LVDT 1 yang letaknya pada titik pembebanan. Secara umum, kekakuan hubungan beban-lendutan SPTK 12.5 cenderung sama dengan SPTK 25. Namun untuk SPTK 37.5, kekakuannya lebih tinggi. SPTK 12.5 menghasilkan beban maksimum sebesar 7.14 kN dengan lendutan 241.03 mm. SPTK 25 menghasilkan beban maksimum sebesar 9.03 kN dengan lendutan 236.95 mm. Sementara SPTK 37.5 menghasilkan beban maksimum 14.3 kN dengan lendutan 132 mm. Untuk lendutan, lendutan terbesar terjadi pada SPTK 12.5, kemudian SPTK 25, dan yang terendah adalah SPTK 37.5.

Dari uraian di atas maka dapat diketahui bahwa tinggi sepatu kolom akan berpengaruh terhadap besar beban maksimum dan lendutan yang terjadi pada kolom. Lendutan terbesar terjadi pada SPTK 12.5, kemudian SPTK 25, dan yang terendah adalah SPTK 37.5. Sementara untuk beban, beban tertinggi terjadi pada SPTK 37.5, dan beban terendah pada SPTK 12.5. Hal ini menunjukkan semakin tinggi sepatu kolom, semakin rendah lendutan, dan sebaliknya semakin tinggi beban maksimum.

Pada Gambar 6 juga ditunjukkan bahwa untuk SPTK 12.5, pada saat lendutan sebesar 170 mm, mulai terjadi kegagalan pada sambungan baut sepatu kolom sehingga beban tidak lagi bertambah yang menyebabkan grafik cenderung lurus, hingga kemudian pada saat lendutan maksimum sebesar 241.0 pengujian dihentikan karena telah terdengar bunyi patah dari baut sepatu kolom.

Tabel 1. Hasil pengujian

Benda Uji	Tinggi sepatu kolom (cm)	$P_{leleh}$ (kN)	$P_{ult}$ (kN)	$d_{leleh}$ (mm)	$d_{ult}$ (mm)	$M_{ult}$ (kN.m)	Daktilitas
SPTK 12.5	12.5	4.82	7.14	90	241.0	13.6	2.68
SPTK 25	25.0	7.00	9.03	111	236.9	236.1	2.14
SPTK 37.5	37.5	11.81	14.3	87	132.0	132.0	1.51



Gambar 6. Hubungan beban-lendutan

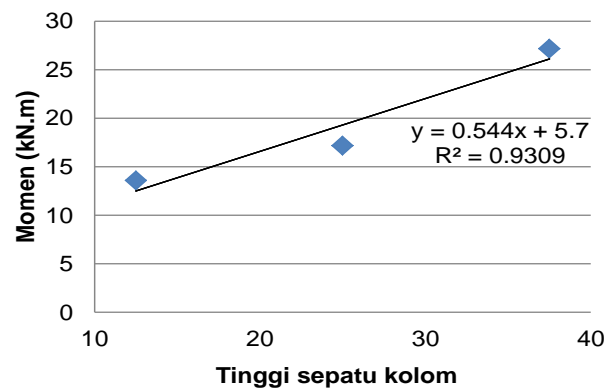
### Momen maksimum

Pada Gambar 6 juga ditunjukkan bahwa untuk SPTK 12.5, pada saat lendutan sebesar 170 mm, mulai terjadi kegagalan pada sambungan baut sepatu kolom sehingga beban tidak lagi bertambah yang menyebabkan grafik cenderung lurus, hingga kemudian pada saat lendutan maksimum sebesar 241.0 pengujian dihentikan karena telah terdengar bunyi patah dari baut sepatu kolom.

Secara matematis, hubungan tersebut dituliskan ke dalam Persamaan 1. dimana X adalah ketinggian sepatu kolom dan Y adalah kapasitas momen akibat pembebanan lateral monotonik. Persamaan 1 as dapat digunakan untuk memprediksi besarnya kapasitas momen untuk benda uji dengan ketinggian sepatu kolom antara 12.5 cm hingga 37.5 cm.

$$Y = 0.544X + 5.7 \text{ dengan } R^2 = 0.93 \quad (1)$$

Perlu dicatat bahwa Persamaan 1 di atas memiliki keterbatasan dimana belum mengakomodir variasi lainnya, seperti tebal pelat, jumlah angkur dan diameter angkur. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperluas penggunaan persamaan tersebut.



Gambar 7. Hubungan tinggi sepatu kolom dengan kapasitas momen

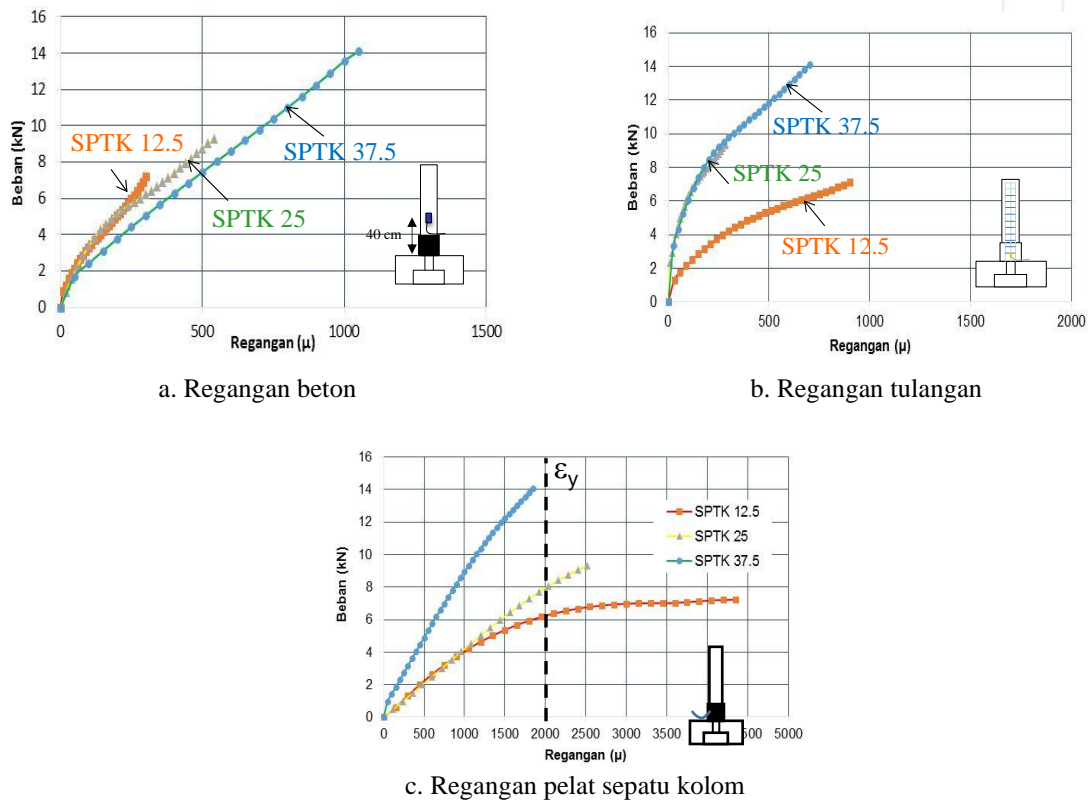
### Hubungan Beban-Regangan

Gambar 8a menunjukkan hubungan beban dan regangan pada beton untuk setiap variasi sepatu kolom. *Strain gauge* dipasang pada sisi tekan maksimum beton yang berada pada ujung atas sepatu kolom. Berdasarkan gambar, untuk SPTK 12.5 diperoleh beban ultimit sebesar 7.195 kN dengan regangan sebesar 300  $\mu\epsilon$ . Untuk variasi SPTK 25 didapatkan beban ultimit sebesar 9.29 kN dan regangan sebesar 540  $\mu\epsilon$ . Sementara untuk variasi SPTK 37.5 didapatkan nilai beban ultimit sebesar 14.1 kN dan regangan sebesar 1050  $\mu\epsilon$ . Nilai regangan beton menjadi lebih tinggi jika menggunakan variasi sepatu kolom yang paling besar yaitu 37.5. Hal ini menunjukkan bahwa beton belum hancur pada saat beban maksimum.



Gambar 8b menunjukkan hubungan antara beban dan regangan yang terjadi pada tulangan utama. Untuk variasi SPTK 12.5 diperoleh beban ultimit sebesar 7.14 kN dengan regangan 900  $\mu\epsilon$ . Untuk variasi SPTK 25 didapatkan beban ultimit sebesar 9.38 kN dengan regangan sebesar 285  $\mu\epsilon$ . Sementara nilai beban ultimit pada variasi SPTK 37.5 adalah 14.1 kN dengan regangan sebesar 1050  $\mu\epsilon$ . Hal ini menunjukkan bahwa tulangan belum leleh saat beban maksimum tercapai.

Gambar 8c menunjukkan hubungan antara beban dan regangan pada pelat sepatu kolom. Berdasarkan grafik di atas, untuk SPTK 12.5 diperoleh beban ultimit sebesar 7.23 kN dengan regangan sebesar 4350  $\mu\epsilon$ . Nilai beban ultimit untuk variasi SPTK 25 sebesar 9.31 kN dengan regangan sebesar 2520  $\mu\epsilon$ . Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi sepatu kolom maka semakin rendah regangan yang terjadi pada sepatu kolom. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sepatu kolom SPT 12.5 dan SPTK 25 telah mengalami leleh, sebaliknya SPTK 37.5 belum leleh.



Gambar 8. Hubungan beban-regangan pada beton, tulangan dan pelat sepatu kolom

### Daktilitas

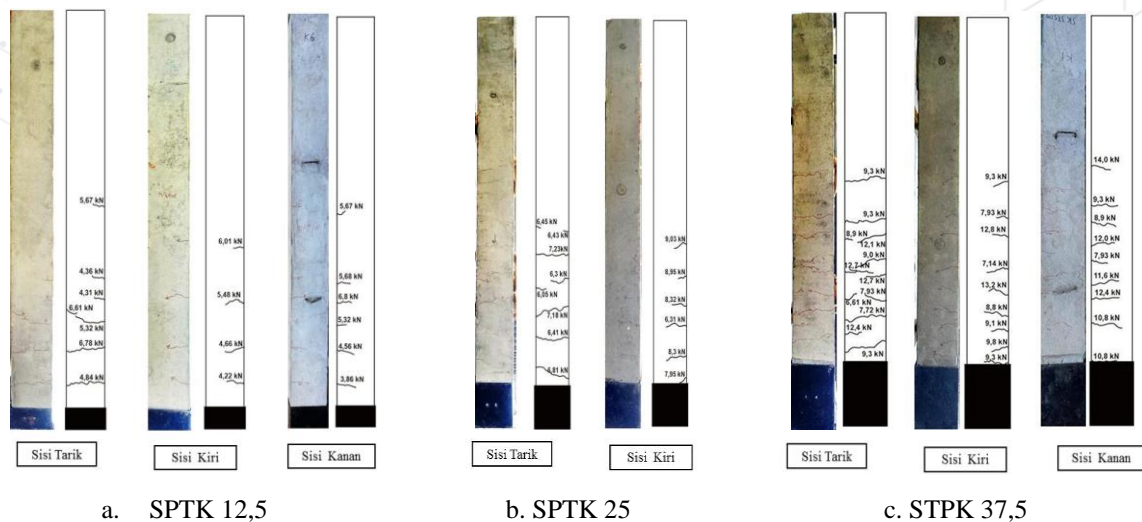
Berdasarkan Tabel 1 didapatkan nilai daktilitas untuk SPTK 12.5 sebesar 2.68, untuk SPTK 25 sebesar 2.14 dan untuk SPTK 37.5 sebesar 1.51. Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 3.14 mengklasifikasikan daktilitas menjadi daktilitas penuh, parsial, dan elastik penuh. Baik SPTK 12.5, SPTK 25, SPTK 37.5, ketiganya termasuk dalam daktilitas parsial (1.0 – 5.9).

### Pola retak

Berdasarkan Tabel 1 didapatkan nilai daktilitas untuk SPTK 12.5 sebesar 2.68, untuk SPTK 25 sebesar 2.14 dan untuk SPTK 37.5 sebesar 1.51. Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 3.14 mengklasifikasikan daktilitas menjadi daktilitas penuh, parsial, dan elastik penuh. Baik SPTK 12.5, SPTK 25, SPTK 37.5, ketiganya termasuk dalam daktilitas parsial (1.0 – 5.9).

Gambar 9 menunjukkan pola retak yang terjadi pada benda uji. Pengamatan pola retak dilakukan terhadap benda uji pada saat beban retak pertama sampai beban retak maksimum. Untuk ketiga benda uji, perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik ke sisi tekan balok dengan tipe retak yang terjadi adalah jenis retak lentur (*flexural crack*). Retak awal pada umumnya terjadi pada daerah seperempat bentang.

Untuk SPTK 12,5, retak awal terjadi pada beban 3.86 kN dengan posisi sekitar 10 cm dari sepatu. Seiring dengan pembebanan yang terus berlanjut retakan pada sisi tarik semakin merambat hingga pada beban ultimit 7.14 kN. Pada saat beban sebesar 6.07 kN, sepatu kolom mulai terangkat di daerah tarik, hingga mencapai beban ultimit sepatu kolom terus terangkat sebesar 4.5 cm yang mengakibatkan baut pada sepatu kolom bengkok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10a. Hingga diakhir pengujian, terdengar bunyi patah dari baut sepatu kolom sehingga pengujian dihentikan. Untuk SPTK 25, retak pertama terjadi pada beban 6.05 kN di tengah bentang kolom. Retak di sekitar sepatu kolom baru terjadi pada saat beban sebesar 6.81 kN. Sepatu kolom mulai terangkat sekitar 1.5 cm pada saat beban sebesar 7.2 kN hingga pada saat beban ultimit sebesar 9.03 kN, sepatu kolom terangkat 2.3 cm. Untuk SPTK 37,5, retak awal terjadi pada saat beban sebesar 7.14 kN di tengah bentang kolom, kemudian pada saat beban 7.93 kN retak baru terjadi di sekitar daerah sepatu kolom. Untuk SPTK 37,5, sepatu kolom terangkat sekitar 1 cm pada saat beban sebesar 12 kN, dan pada saat beban ultimit, sepatu kolom terangkat sebesar 2.8 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10b.



Gambar 9. Pola retak benda uji



a. Baut/angkur bengkok



b. Sepatu kolom terangkat

Gambar 10. Kondisi sepatu kolom pada beban ultimit

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sambungan kolom pracetak-pondasi menggunakan sepatu kolom dengan berbagai variasi tinggi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi tinggi sepatu kolom mempengaruhi perilaku sambungan kolom pracetak-pondasi. Semakin tinggi sepatu kolom, semakin tinggi kapasitas momen yang dihasilkan.
2. Secara matematis, hubungan antara ketinggian sepatu kolom (X) dan kapasitas momen (Y) akibat pembebanan lateral monotonik adalah  $Y = 0.544X + 6.03$  dengan  $R^2 = 0.966$ .



3. Berdasarkan rasio perbandingan variasi tinggi sepatu kolom terhadap beban maksimum, SPTK 25 lebih efektif dibandingkan SPTK 37.5.
4. Nilai daktilitas SPTK 12.5, SPTK 25 dan SPTK 37.5 masing-masing sebesar 2.68, 2.14 dan 1.51, sehingga dikategorikan daktilitas parsial.
5. Pola kegagalan pada kolom berupa retak horizontal di daerah tarik sedangkan pada sepatu kolom umumnya terjadi pada sambungan baut dengan sepatu kolom, dimana sepatu kolom terangkat dari *footing*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ervianto, Wulfram I. (2006). *Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi (Beton Pracetak dan Bekisting)*. Andi: Yogyakarta.
- Fachrul Rizal dan Tavio. (2014). "Desain Pemodelan Sambungan Model Precast pada perumahan tahan gempa di Indonesia berbasis Knockdown system". JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 3, No. 1, (2014) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print). Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Izzuddin, B., Vlassis, A., Elghazouli, A., & Nethercot, D. (2008). "Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework". *Engineering structures*, 30(5), 1308-1318.
- Louwrens, Hubert Mostert. (2014). "Design and construction preferences for connections in the precast concrete industry of South Africa". Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree Master of Engineering (Research) in the Faculty of Engineering at Stellenbosch University.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2013). *Design of reinforced concrete*. Wiley Global Education.
- Nurjannah, Siti Aisyah. (2011). *Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak Sebagai Alternatif Pada Teknologi Konstruksi Indonesia Yang Mendukung Efisiensi Energi Ramah lingkungan*. Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2013. tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. SNI 2847-2013. Badan Standardisasi Nasional.
- Tsai, M.-H., & Lin, B.-H. (2008). *Investigation of progressive collapse resistance and inelastic response for an earthquake-resistant RC building subjected to column failure*. *Engineering structures*, 30(12), 3619-3628.