

SLOOF PRACETAK DARI BAMBU KOMPOSIT

Ilnka Cahya Dewi, Sri Murni Dewi, Agoes Soehardjono
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail : ilan_nuria@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku lentur berupa hubungan beban-lendutan dan pola keruntuhan pada sloof bertumpuan sederhana, mengetahui pengaruh variasi diameter dowel dan panjang penyaluran tulangan penyambung dari sloof dan kolom terhadap hubungan beban-lendutan dan pola keruntuhan pada sloof yang disambung dengan kolom, serta mengetahui perilaku regangan tulangan penyambung dari sloof dan kolom. Benda uji yang digunakan berupa 2 sloof bertumpuan sederhana bentang 1200 mm, dan 8 sambungan sloof-kolom kolom dimana masing-masing 2 buah mewakili variasi diameter dowel dan panjang penyaluran tulangan penyambung. Pada dua benda uji sambungan dipasang *strain gauge* untuk mengetahui regangan tulangan penyambung. Semua benda uji menggunakan tulangan bambu Petung dimensi 10 mmx10 mm. Pengujian lentur dilakukan dengan memberikan beban terpusat pada dua titik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sloof bertumpuan sederhana bersifat getas (*brittle*). Pola keruntuhan sloof diawali dengan retak lentur yang tegak lurus sumbu sloof, sedangkan pada sambungan terjadi retak geser pada bidang antara atau titik temu atas sloof dan kolom. Penggunaan variasi diameter dowel dan panjang penyaluran tulangan penyambung tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hubungan beban-lendutan dan pola keruntuhan yang terjadi. Regangan pada tulangan penyambung sloof mengalami penurunan setelah retak pada sloof, sedangkan regangan pada tulangan penyambung kolom terus meningkat, hal ini dikarenakan setelah sloof mengalami retak, beban masih terus bekerja pada kolom sampai mencapai beban (P) maksimum.

Kata kunci: bambu petung, sloof pracetak, tulangan penyambung

PENDAHULUAN

Konstruksi beton digunakan dalam berbagai bentuk untuk hampir semua struktur karena memiliki beberapa kelebihan seperti kuat tekan yang relatif lebih tinggi, tahan terhadap api dan air, lebih ekonomis, serta dapat dicetak menjadi bentuk yang beragam. Namun, disisi lain beton memiliki kuat tarik yang rendah, sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.

Penelitian terhadap kolom beton bertulangan bambu, menyatakan bahwa 3% tulangan bambu yang diperlakukan dengan Sikadur-32 Gel memberikan hasil yang bagus seperti tulangan baja dalam beton normal (Ghavami, 2000). Selain itu, bambu diteliti sangat potensial untuk menggantikan tulangan baja (Khare, 2005) dan dinyatakan memiliki peluang sebagai tulangan balok beton, khususnya untuk struktur sederhana (Phaturahman,

2003). Penelitian terhadap kuat tarik bambu Petung dalam arah radial, menyatakan bahwa kekuatan bambu Petung ini melebihi kelas kuat kayu I (Malikha, 2009).

Permasalahan lain konstruksi beton meliputi biaya konstruksi yang cenderung terus meningkat dan waktu pelaksanaan yang cukup lama mengakibatkan adanya teknologi beton pracetak yang dinilai lebih efektif dan efisien. Dalam aplikasi beton pracetak, perlu dilakukan inovasi perencanaan bentuk struktur yang optimal guna memperoleh struktur yang ringan namun masih dapat bekerja secara efektif.

Sloof merupakan salah satu elemen struktur yang terletak diatas pondasi bangunan yang berfungsi untuk memperkuat ikatan dinding pasangan bata, sebagai perata beban yang diterima oleh pondasi dan mengokohkan sistem pondasi. Sehingga dalam penelitian ini

akan diteliti bagaimana perilaku sloof beton pracetak dengan menggunakan tulangan bambu komposit, baik sebagai struktur sederhana maupun sloof yang disambung dengan kolom dari pondasi. Penelitian ini ditujukan untuk bangunan rumah tinggal sederhana.

Tujuan yang ingin dicapai penelitian ini adalah:

- 1) Mengetahui hubungan beban-lendutan pada sloof bertumpuan sederhana
- 2) Mengetahui pola keruntuhan pada sloof bertumpuan sederhana
- 3) Mengetahui pengaruh variasi diameter dowel penyambung dan panjang penyaluran tulangan penyambung dari sloof dan kolom terhadap hubungan beban-lendutan, serta pola keruntuhan pada sloof yang disambung dengan kolom pondasi
- 4) Mengetahui perilaku regangan pada tulangan penyambung dari sloof dan kolom akibat beban yang diberikan

Lendutan

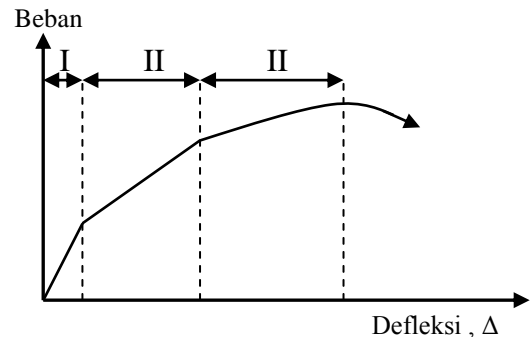
Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan/deformasi apapun yang dapat mengurangi kemampuan layanan struktur pada beban kerja (SNI 03-2847-2002) sehingga lendutan merupakan salah satu persyaratan *serviceability*.

Lendutan pada batang-batang struktural merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan atau kondisi ujung-ujungnya, jenis pembebanan dan kekakuan lentur EI dari elemen (Nawy, 1998).

Hubungan beban-lendutan pada balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti pada **Gambar 1** berikut (Nawy, 1998):

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa:

- Daerah I: daerah taraf praretak (perilaku elastis penuh, belum terjadi retak, dan tegangan tarik maksimum lebih kecil daripada kekuatan tarik akibat lentur).



Gambar 1. Hubungan beban-lendutan pada balok

- Daerah II: daerah paska retak (mulai terjadi retak awal, hampir semua balok terletak pada kondisi beban layan, pada balok bertumpuan sederhana, retak semakin lebar pada daerah lapangan, pada tumpuan terjadi retak minor).
- Daerah III: taraf paska *serviceability* (tegangan tulangan tarik mencapai leleh, balok terus mengalami defleksi tanpa penambahan beban, dan retak semakin terbuka,kekakuan penampang hilang).

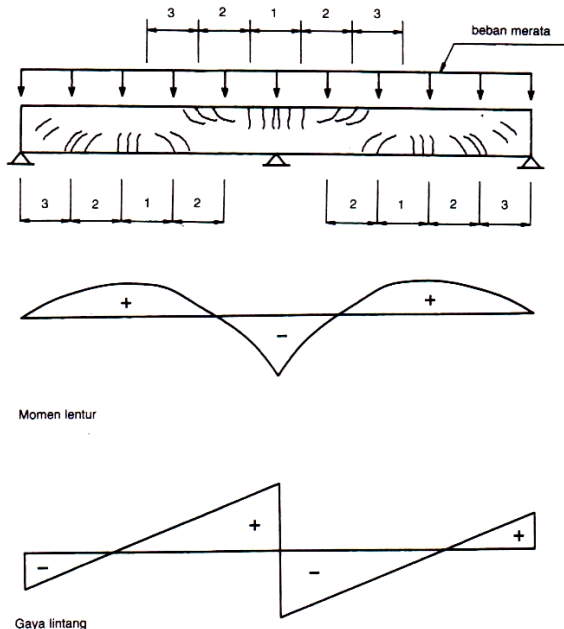
Pola Keruntuhan

Pada balok, terdapat tiga kombinasi tegangan yang dapat mengakibatkan retak seperti ditunjukkan **Gambar 2** (Wahyudi & Rahim, 1999), yaitu:

- Kondisi 1, (momen lentur besar, gaya geser kecil). Retak terjadi pada bagian tepi yang mengalami tegangan tarik, arahnya hampir tegak lurus sumbu balok, disebut retak lentur (*flexural cracks*).
- Kondisi 2, (momen lentur sama dengan gaya geser). Retak lentur terjadi lebih dahulu. Jika tegangan tarik diagonal daerah di atas retak melampaui kekuatan tarik beton, retak

akan menjalar membelok kearah diagonal, dan disebut retak geser – lentur (*flexural-shear cracks*).

- Kondisi 3, (momen lentur kecil, gaya geser besar). Terjadi retak diagonal (*diagonal tension cracks* atau *web shear cracks*). Pada keadaan ini, retak lentur jarang terjadi mandahului retak diagonal.

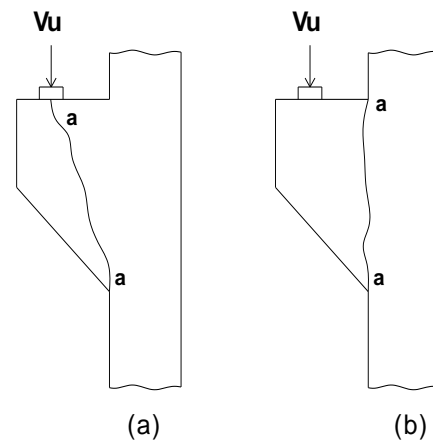


Gambar 2. Ragam retak pada balok menerus

Pada beton pracetak, dimana dewasa ini menjadi unsur struktur yang sering digunakan, semakin besar gaya geser yang harus dipikul oleh tumpuan. Sehingga desain struktur yang menjadi tumpuan memiliki peran yang sangat penting. Pola retak (keruntuhan) pada sambungan pracetak dapat diidealisasikan dari pola retak pada braket.

Beton yang dicor pada waktu yang berbeda merupakan potensi terjadinya retak. Pada umumnya, keruntuhan diawali dengan retak-retak yang berarah vertikal atau agak miring. Retak ini dimulai dari titik tangkap beban terpusat menjalar ke bawah dan menuju titik temu antara dua beton yang dicor pada waktu yang berbeda (**Gambar 3a**). Atau retak dimulai pada titik temu atas dua beton yang dicor pada waktu yang berbeda, dan

terus menjalar dalam arah vertikal menuju sisi bawah muka sambungan (**Gambar 3b**).



Gambar 3. Pola keruntuhan geser pada braket

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Bahan utama pembuatan beton dengan kuat tekan beton silinder rata-rata rencana $f'c$ sebesar 22,5 MPa. Campuran digunakan dengan perbandingan berat PC:Pasir:Kerikil = 375:800:1060.
2. Bambu Petung dimensi 10mmx10mm sebagai tulangan.
3. Tulangan baja \varnothing 4 mm untuk sengkang, \varnothing 6 mm dan \varnothing 8 mm untuk tulangan penyambung dan dowel penyambung.

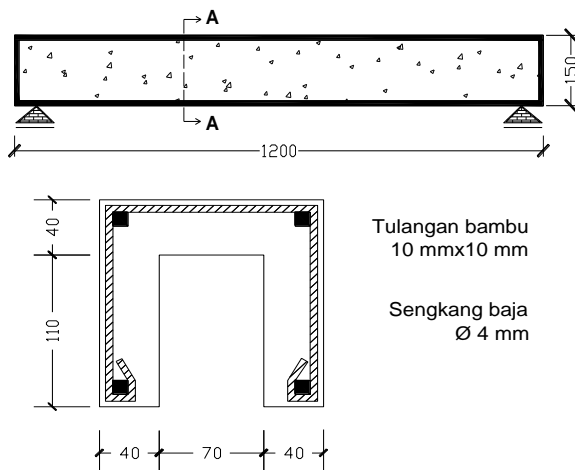
Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu peralatan pembuatan benda uji dan peralatan pengujian lentur benda uji.

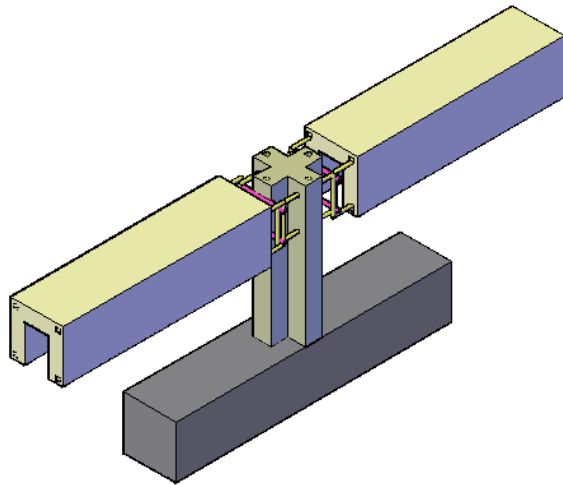
Benda uji

Dalam penelitian ini dibuat 2 benda uji sloof bertumpuan sederhana (**Gambar 4**), dan 8 benda uji untuk sambungan sloof-kolom dengan bentang sloof 600 mm dan kolom berbentuk + dengan tinggi 400 mm (**Gambar 5**) dengan variasi diameter dowel penyambung dan

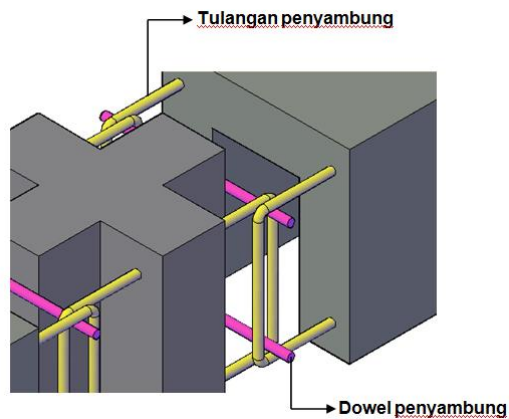
panjang penyaluran tulangan penyambung seperti pada **Tabel 1** dan **Gambar 6**.



Gambar 4. Benda uji sloof (satuan mm)



Gambar 5. Benda uji sambungan sloof-kolom

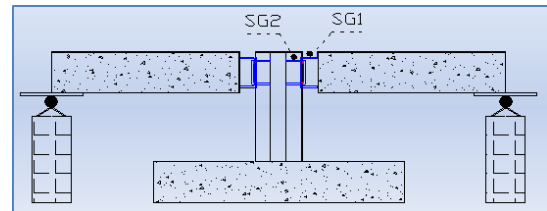


Gambar 6. Tulangan dan dowel penyambung

Tabel 1. Spesifikasi benda uji

Kode	Variasi	
	Panjang Penyaluran Tulangan penyambung (mm)	Diameter dowel penyambung (mm)
S-1A (1)	72	6
S-1A (2)	72	6
S-1B (1)	72	8
S-1B (2)	72	8
S-2A (1)	180	6
S-2A (2)	180	6
S-2B (1)	180	8
S-2B (2)	180	8

Pada dua benda uji S-1B dipasang *strain gauge* seperti pada **Gambar 7** untuk mengetahui regangan tulangan penyambung dari sloof dan kolom.

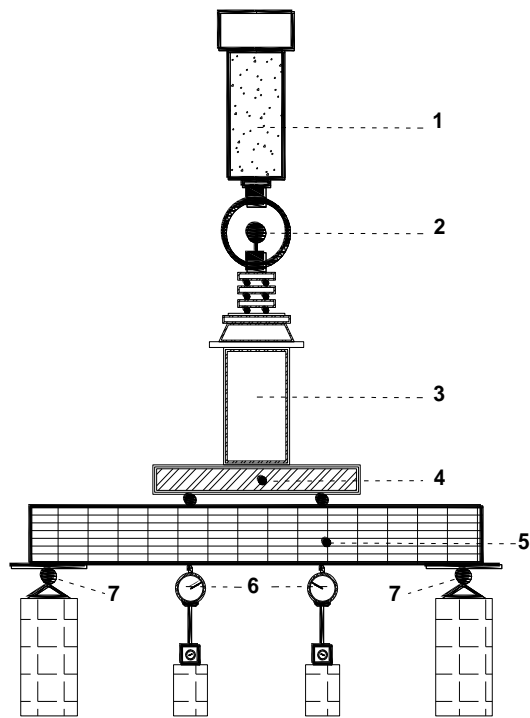


Gambar 7. Letak *strain gauge* pada S-1 B(1) dan S-1B(2)

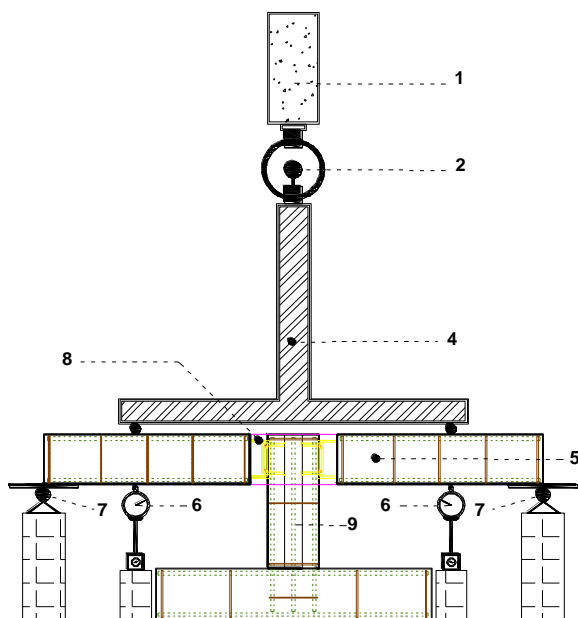
Pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Pengujian lentur dilakukan dengan memberikan beban terpusat pada dua titik. Selama pengujian dilakukan pencatatan nilai beban (interval 46 kg) dan deformasi/lendutan yang terjadi.

Pengujian lentur balok sloof dengan bambu sebagai tulangan adalah pengujian dengan kondisi balok sloof ditumpu secara sederhana pada kedua ujungnya, dengan beban P, yang terbagi seperti pada **Gambar 8**

Sedangkan pengujian balok sloof pada sambungan balok sloof-kolom dengan bambu sebagai tulangan ditunjukkan pada **Gambar 9**.



Gambar 8. Setting up pengujian sloof bertumpuan sederhana



Gambar 9. Setting up pengujian sloof pada sambungan sloof-kolom

Keterangan:

- 1 : Hydraulic jack
- 2 : Proving ring
- 3 : Bantalan baja
- 4 : Balok pembagi beban
- 5 : Sloof pracetak
- 6 : Dial gauge
- 7 : Tumpuan sendi
- 8 : Daerah sambungan
- 9 : Kolom

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah diameter dowel dan panjang penyaluran tulangan penyambung, sedangkan variabel terikat adalah beban (P), lendutan (Δ), serta pola retak dan jenis keruntuhan yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

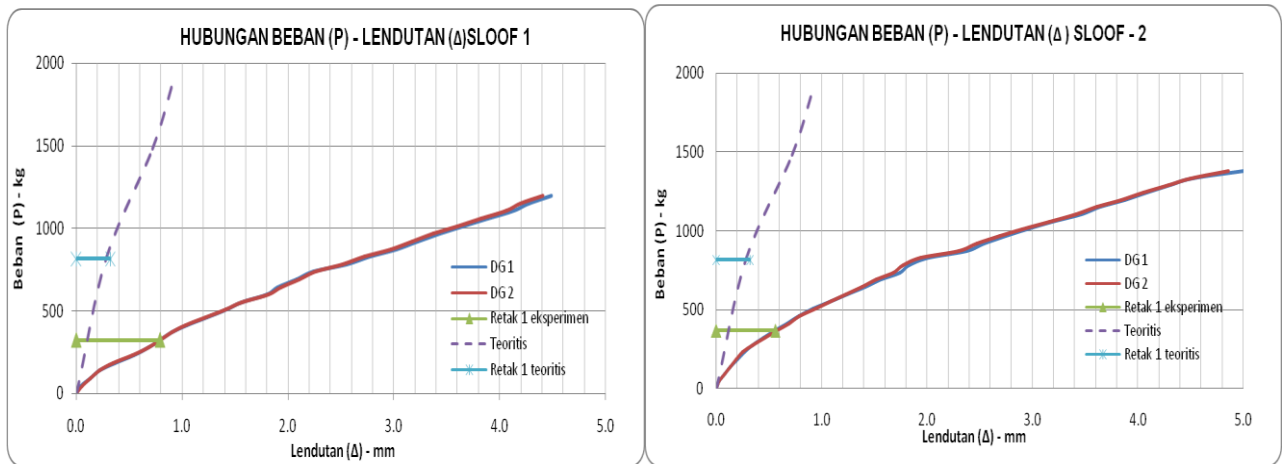
Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ)

Pengujian dilakukan pada balok sloof bertumpuan sederhana dan balok sloof yang disambung dengan kolom, untuk mengetahui beban (P) maksimum yang mampu ditahan, lendutan maksimum, serta pola retak atau keruntuhan yang terjadi akibat pembebanan.

Hasil pengujian hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) maksimum pada sloof bertumpuan sederhana dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 10. Sedangkan pada sloof yang disambung dengan kolom dapat dilihat pada Gambar 11 s.d Gambar 14 dan Tabel 3.

Tabel 2. Beban (P) dan Lendutan (Δ) maksimum pada sloof bertumpuan sederhana

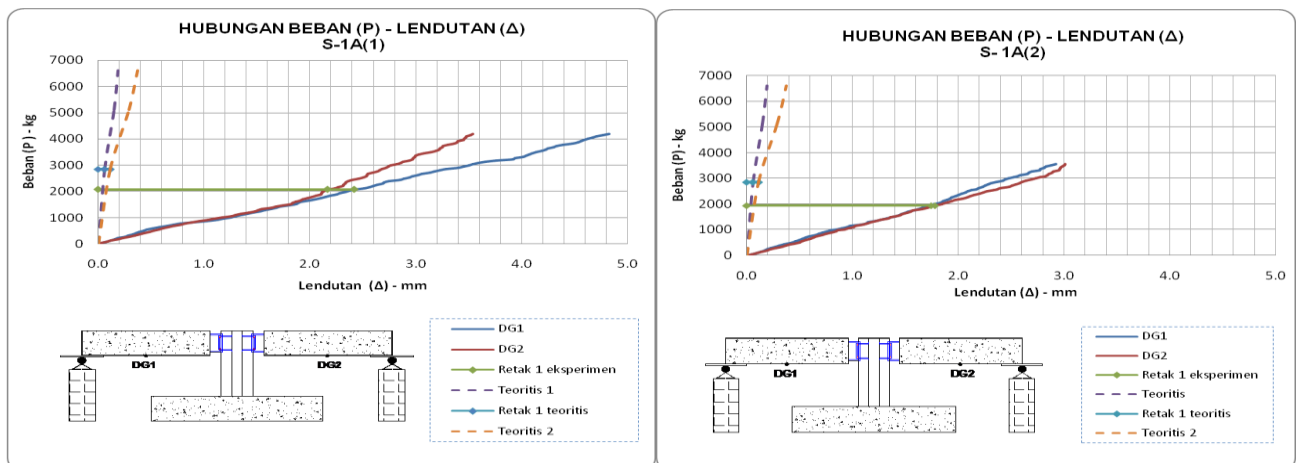
Benda uji	Lendutan (Δ) maksimum (mm)		Beban (P) maksimum (kg)
	Titik 1	Titik 2	
Sloof-1	4,49	4,41	1196
Sloof-2	5,00	4,86	1380
Rerata	4,745	4,635	1288



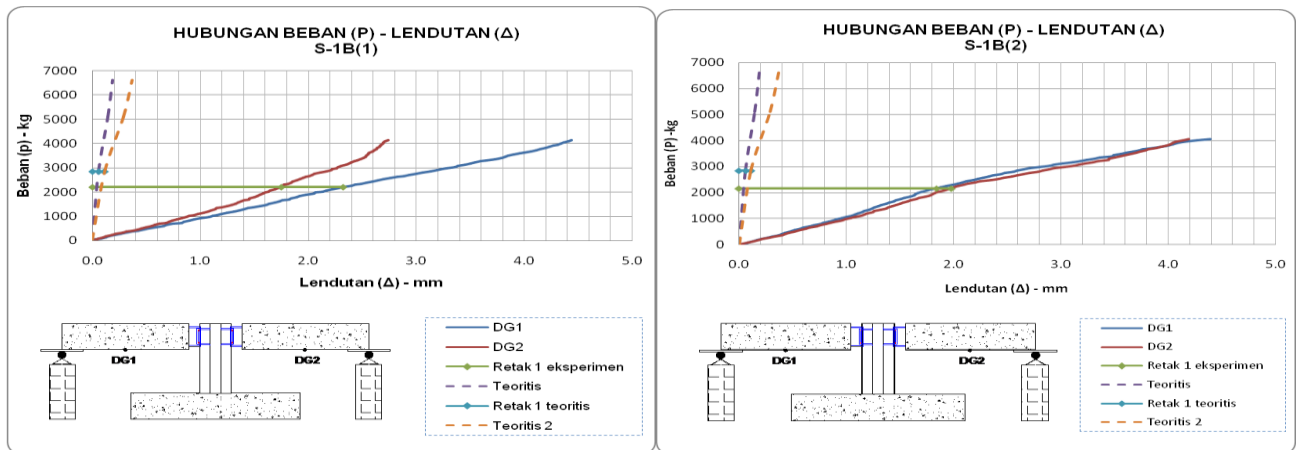
Gambar 10. Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) pada Sloof-1 dan sloof-2

Tabel 3. Lendutan dan Beban maksimum sloof pada sambungan sloof-kolom

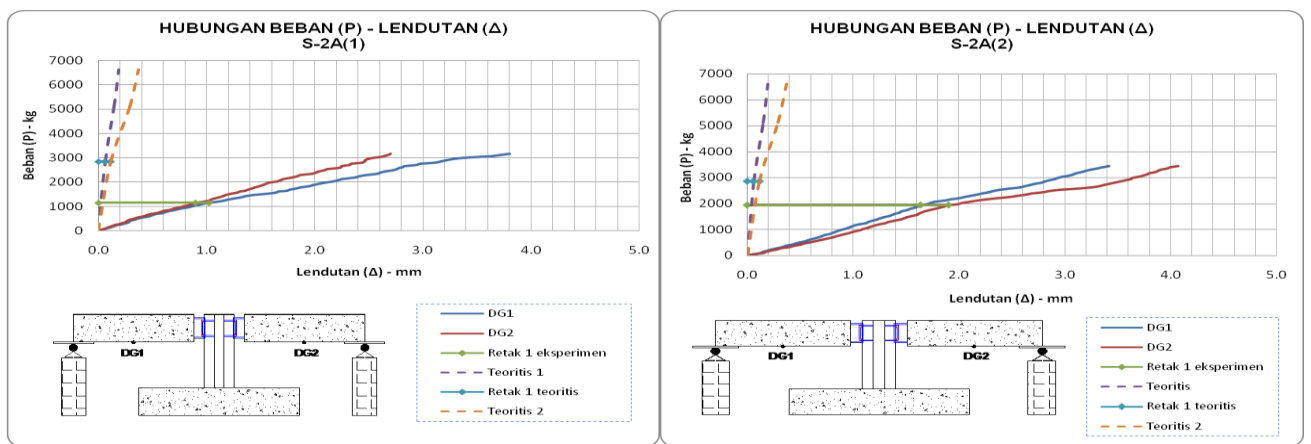
Benda uji	Lendutan (Δ) maksimum (mm)		Beban (P) maksimum (kg)	
	Titik 1	Titik 2		
S-1A	(1)	4,830	3,540	4186
	(2)	2,920	3,010	3542
	Rata-rata	3,875	3,275	3864
S-1B	(1)	4,440	2,740	4140
	(2)	4,390	4,190	4048
	Rata-rata	4,415	3,465	4094
S-2A	(1)	3,800	3,700	3174
	(2)	3,420	4,070	3450
	Rata-rata	3,610	3,885	3312
S-2B	(1)	3,260	3,520	3542
	(2)	4,400	3,240	3956
	Rata-rata	3,830	3,380	3749



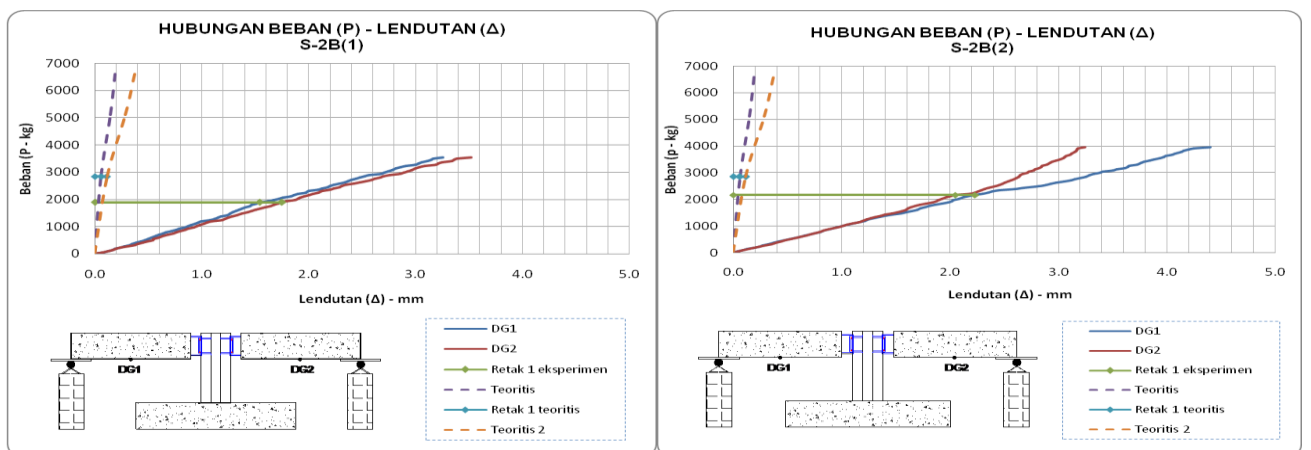
Gambar 11. Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) pada S-1A



Gambar 12. Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) pada S-1B



Gambar 13. Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) pada S-2A



Gambar 14. Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) pada S-2B

Dari grafik hubungan beban (P)-lendutan (Δ) sloof bertumpuan sederhana dapat diketahui bahwa rata-rata pada

beban 0-200 kg, beton masih berperilaku elastis penuh, karena belum terjadi retak pada daerah beton tarik. Setelah retak

awal, dapat dilihat penambahan beban masih diikuti penambahan lendutan secara proporsional, namun kemiringan grafik cenderung lebih landai.

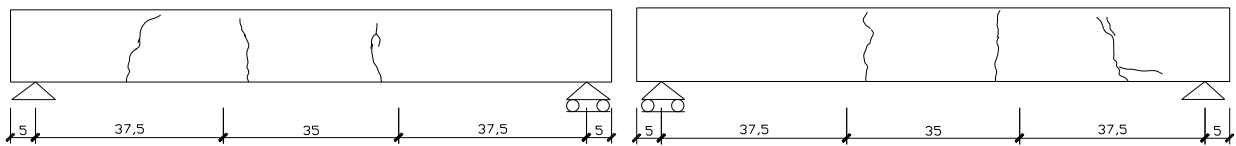
Dari grafik hubungan beban (P)-lendutan (Δ) sloof pada sambungan sloof-kolom dapat dilihat bahwa rata-rata pada beban 0-2000 kg beton masih berperilaku elastis penuh, karena belum terjadi retak pada daerah beton tarik. Retak awal terjadi pada rata-rata beban 2000-3000 kg, namun dapat dilihat bahwa grafik masih cenderung linier.

Tahap paska-*serviceability* dalam grafik diatas tidak terlihat, baik pada sloof bertumpuan sederhana, maupun pada sloof yang disambung dengan

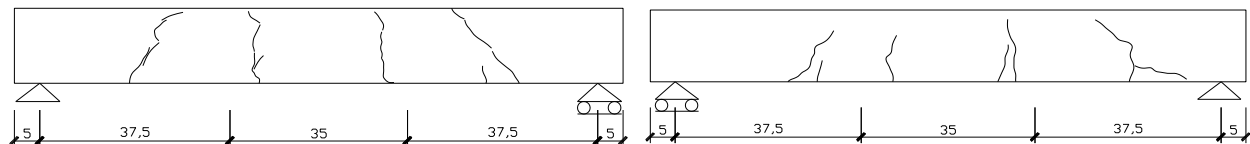
kolom. Hal ini ditunjukkan dengan penambahan lendutan masih dipengaruhi oleh penambahan beban, sehingga keruntuhan yang terjadi bersifat tiba-tiba tanpa ada peringatan. Ini menunjukkan bahwa sloof bersifat getas (*brittle*).

Pola Retak dan Jenis Keruntuhan

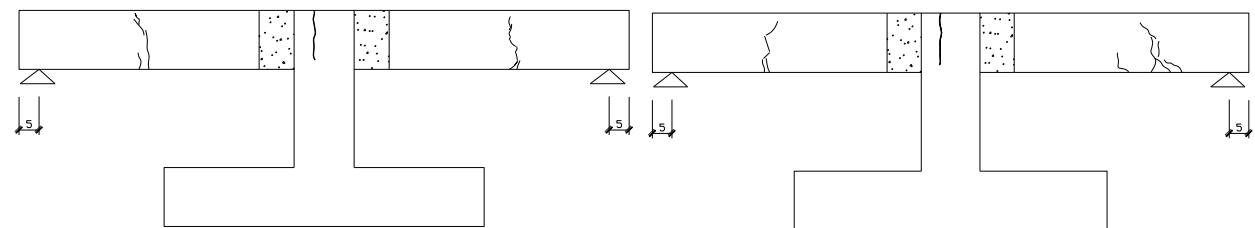
Hasil pengamatan secara visual pada pola retak atau keruntuhan yang terjadi pada balok sloof bertumpuan sederhana dapat dilihat pada **Gambar 15** dan **Gambar 16**. Sedangkan pada sloof yang disambung dengan kolom serta pada daerah sambungan dapat dilihat pada **Gambar 17-20**.



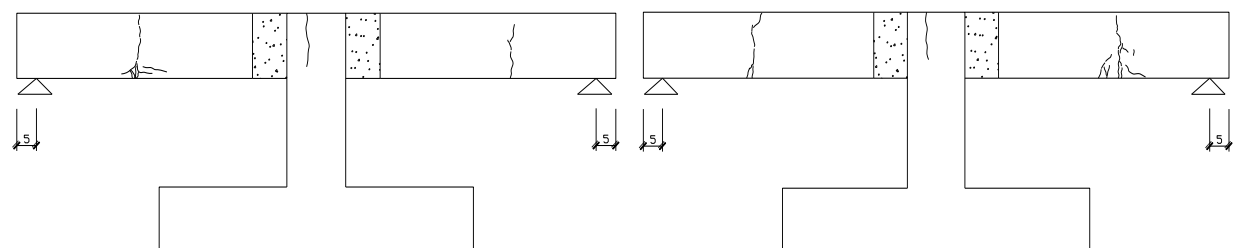
Gambar 15. Pola retak pada sloof-1



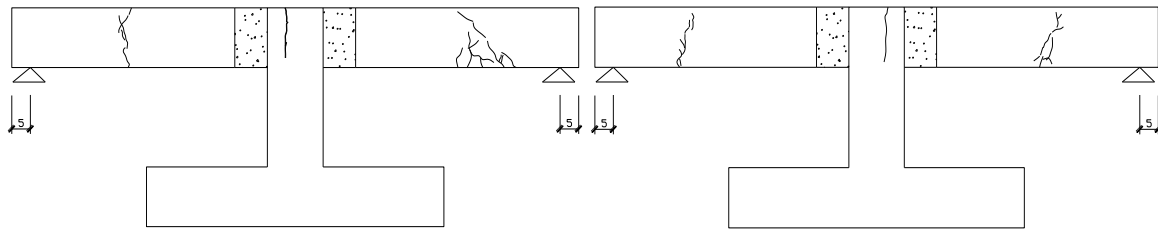
Gambar 16. Pola retak pada sloof-2



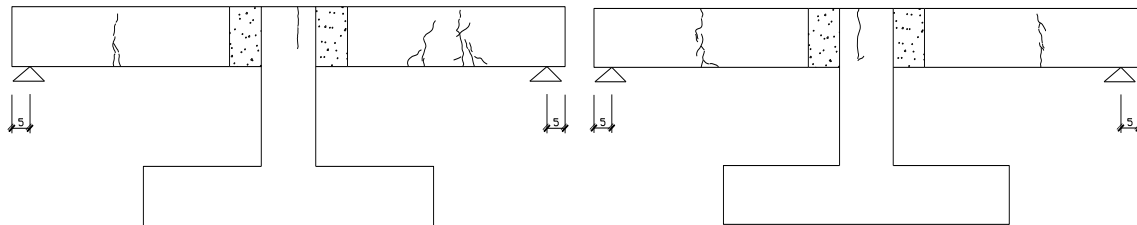
Gambar 17. Pola retak pada S-1A



Gambar 18. Pola retak pada S-1B



Gambar 19. Pola retak pada S-2A



Gambar 20. Pola retak pada S-2B

Pola keruntuhan pada sloof, baik sloof bertumpuan sederhana maupun sloof pada sambungan sloof-kolom diawali dengan retak lentur (*flexural cracks*) yang terjadi pada bagian tepi sloof yang mengalami tegangan tarik, dan arahnya hampir tegak lurus terhadap sumbu sloof.

Pada daerah sambungan, retak awal terjadi pada bidang antara atau titik temu

atas sambungan antara sloof dengan kolom dari pondasi. Kemudian dengan penambahan beban, retak semakin menjalar dalam arah vertikal menuju sisi bawah sambungan. Ini menunjukkan bahwa di daerah sambungan terjadi keruntuhan geser.

Tabel 4. Perbandingan hasil analisis teoritis dan hasil pada sloof-1 dan sloof-2

Variabel	Sloof-1			Sloof-2		
	Analisis teoritis	Hasil uji	hasil uji teoritis	Analisis teoritis	Hasil uji	hasil uji teoritis
P retak awal (kg)	815,766	322	0,395	815,766	368	0,451
P maks. (kg)	1923,347	1196	0,622	1923,347	1380	0,718
Lendutan Titik 1 (mm)	0,930	4,49	4,828	0,930	5,00	5,376
Lendutan Titik 2 (mm)	0,930	4,41	4,742	0,930	4,86	5,226

Tabel 5. Perbandingan hasil analisis teoritis dan hasil penelitian pada S-1(A) dan S-1(B)

Variabel	S-1(A)			S-1(B)		
	Analisis teoritis	Hasil uji	hasil uji teoritis	Analisis teoritis	Hasil uji	hasil uji teoritis
P retak awal (kg)	2846,391	2047	0,719	2846,391	2185	0,768
P maks. (kg)	6616,743	3864	0,584	6616,743	4094	0,619
Lendutan Titik 1 (mm)	0,190	3,875	20,395	0,190	4,415	23,237
	0,372		10,417	0,372		11,868
Lendutan Titik 2 (mm)	0,190	3,275	17,237	0,190	3,465	18,237
	0,372		8,804	0,372		9,315

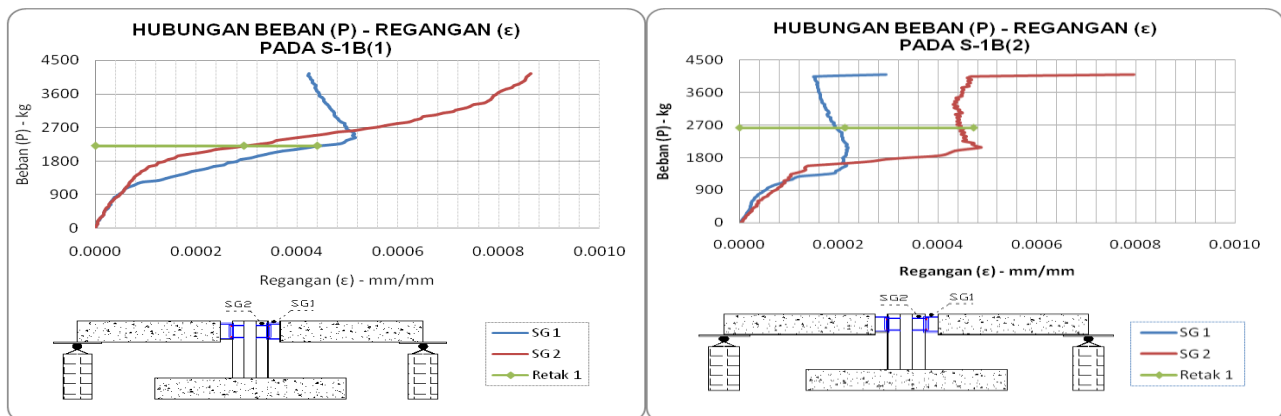
Tabel 6. Perbandingan hasil analisis teoritis dan hasil penelitian pada S-2(A) dan S-2(B)

Variabel	S-2(A)			S-2(B)		
	Analisis teoritis	Hasil uji	hasil uji teoritis	Analisis teoritis	Hasil uji	hasil uji teoritis
P retak awal (kg)	2846,391	1656	0,582	2846,391	2024	0,711
P maks. (kg)	6616,743	3312	0,501	6616,743	3749	0,567
Lendutan	0,190	3,610	19,000	0,190	3,830	20,158
Titik 1(mm)	0,372		9,704	0,372		10,296
Lendutan	0,190	3,885	20,447	0,190	3,380	17,789
Titik 2(mm)	0,372		10,444	0,372		9,086

Perbandingan hasil analisis teoritis dan hasil penelitian seperti pada **Tabel 4** s.d. **Tabel 6** menunjukkan bahwa rasio hasil pengujian dengan analisis teoritis pada lendutan sangat besar. Hal ini disebabkan adanya banyak faktor. Salah satunya asumsi tumpuan yang digunakan dalam pendekatan teoritis tidak dapat dipenuhi dalam penelitian, sehingga kurang menggambarkan perilaku struktur sebenarnya, terutama untuk beton yang dicor pada waktu yang berbeda, karena memungkinkan terjadi slip, berupa

defleksi dan rotasi yang cukup besar pada daerah sambungan yang dianggap tumpuan, sehingga lendutan yang terjadi besar.

Selain itu, faktor-faktor lainnya seperti ketelitian pembuatan benda uji (terutama saat pemadatan campuran beton), ketepatan letak dan pembacaan alat saat pengujian juga berpengaruh terhadap penyimpangan hasil pengujian dengan analisis teoritis.



Gambar 21. Hubungan beban dan regangan pada S-1B(1) dan S-1B(2)

Hubungan Beban-Regangan

Dari **Gambar 21** diatas dapat dilihat bahwa regangan tulangan penyambung pada sloof (SG1) terus meningkat pada interval beban 0-2000 kg. Kemudian regangan mengalami penurunan setelah terjadi retak awal pada sloof sampai tercapai beban maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa tulangan penyambung pada sloof sudah tidak bekerja secara efektif. Sedangkan regangan tulangan penyambung pada

kolom (SG2), dapat dilihat bahwa regangan terus meningkat, meski terjadi retak awal pada sloof. Hal ini dikarenakan setelah sloof retak, penambahan beban yang terus diberikan akan dialihkan pada kolom, sehingga beban masih terus bekerja pada kolom dan regangan tulangan penyambung pada kolom terus meningkat sampai mencapai beban (P) maksimum.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari grafik hubungan beban-lendutan pada sloof bertumpuan sederhana diketahui bahwa sloof bersifat getas (*brittle*).
2. Keruntuhan pada sloof bertumpuan sederhana diawali dengan keruntuhan di daerah tarik atau disebut dengan retak lentur (*flexural cracks*).
3. Variasi diameter dowel dan panjang penyaluran tulangan penyambung dari sloof dan kolom tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hubungan beban (P)-lendutan (Δ), serta pola keruntuhan yang terjadi pada sloof yang disambung dengan kolom pondasi.
4. Regangan pada tulangan penyambung dari sloof dan kolom terus meningkat sampai retak awal terjadi pada sloof, kemudian regangan pada tulangan sloof mengalami penurunan. Namun regangan pada kolom terus meningkat sampai mencapai beban (P) maksimum.

Saran

1. Pelaksanaan pembuatan benda uji serta pengujian perlu diperhatikan lebih seksama untuk menghindari kesalahan yang mengakibatkan penyimpangan yang besar antara hasil penelitian dan analisis teoritis.
2. Diperlukan kontrol lendutan tambahan diluar titik-titik lendutan yang ingin diteliti untuk mengetahui perilaku struktur lebih detail, terutama pada bagian yang dicor pada waktu yang berbeda.
3. Diperlukan penambahan tulangan geser pada sloof, mengingat hasil penelitian menunjukkan sloof bersifat getas (*brittle*).

4. Diperlukan penambahan tulangan untuk memperkuat daerah sambungan sloof-kolom karena pada daerah tersebut terjadi keruntuhan geser
5. Penelitian dapat dikembangkan dengan model sambungan lainnya untuk mengetahui jenis sambungan yang paling efektif dan efisien, mengingat sambungan merupakan masalah utama pada beton pracetak.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS. dan Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono, MD., MS. selaku Pembimbing Thesis dan semua pihak yang memberikan kontribusi terhadap pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ervianto, W.,I. 2006. Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi: Beton Pracetak dan Bekisting. Andi Offset. Yogyakarta.
- Ghavami, Khosrow. 2005. Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements. *Cement and Concrete Composites* Vol 27: 637-649. <http://www.elsevier.com>.
- Khare, L. 2005. Performance Evaluation of Bamboo Reinforced Concrete Beams. The University of Texas. Arlington.
- Malikha, S. 2009. Variasi Kekuatan Bambu Petung Tanpa Nodia dalam Arah Radial. Skripsi. Universitas Negeri Malang.
- Nawy, E.,G., & Suryoatmono, B. (Penerjemah). 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. PT. Refika Aditama. Bandung.
- Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Badan Standardisasi Nasional. Bandung.
- Phaturahman, J.,F., & Kusuma, D.,A. 2003. Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton. *Dimensi Teknik Sipil* Volume 5 No. 1:39-44. <http://puslit.petra.ac.id>.
- Wahyudi, L. & Rahim, S., A. 1999. *Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

