

# Jurnal TEKNIK SIPIL

Pemilihan Metode Intensitas Hujan  
Yang Sesuai Dengan Karakteristik Stasiun Pekanbaru  
(Yohanna Lilis Handayani, Andy Hendri, Hadie Suherly)

Kajian Analisis Tingkat Layan Pengaruh Polisi Tidur  
Di Jalan Babarsari Yogyakarta  
(Y. Hendra Suryadharna)

Pendidikan Profesional Konstruksi Di Indonesia  
(Rudi Waluyo)

Pengaruh Dimensi Bukaan Terhadap Kuat Lentur  
Dan Geser Balok Beton Bertulang Dengan Bukaan Ganda  
(Ade Lisantono, Haryanto Yoso Wigroho)

Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Garam Dapur (NaCl)  
(Agus Tugas Sudjianto)

UCS Tanah Lempung Ekspansif Yang Distabilisasi  
Dengan Abu Ampas Tebu Dan Kapur  
(John Tri Hatmoko, Yohanes Lulie)

Alternatif Penyelesaian Sengketa Jasa Konstruksi  
(Bambang Poerdyatmono)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

|              |        |       |                |                            |                   |
|--------------|--------|-------|----------------|----------------------------|-------------------|
| J. Tek. Sip. | Vol. 8 | No. 1 | Hlm.<br>1 - 90 | Yogyakarta<br>Oktober 2007 | ISSN<br>1411-660X |
|--------------|--------|-------|----------------|----------------------------|-------------------|

# Jurnal TEKNIK SIPIL

Jurnal Teknik Sipil adalah wadah informasi bidang Teknik Sipil berupa hasil penelitian, studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait. Terbit pertama kali tahun 2000.

Frekuensi terbit tiga kali setahun pada bulan Oktober, Pebruari dan Juni. (ISSN 1411-660X).

**Ketua Penyunting :**

Ir. Imam Basuki, M.T

**Penyunting Pelaksana :**

Johanes Januar Sudjati, S.T., M.T.

**Penyunting Ahli :**

Ir. A. Koesmargono, MCM, Ph.D

Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng, Ph.D

Ir. Siti Fatimah RM, M.S

Ir. Poes Eliza Purnamasari, M.Eng

Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc

**Tata Usaha :**

MM. Tri Hesti Andriani

---

**Alamat Penyunting dan Tata Usaha :**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari No. 44 Yogyakarta 55281

Telp.(0274) 487711 psw. 1151 Fax.(0274) 487748

E-mail : [jurnalsipil@mail.uajy.ac.id](mailto:jurnalsipil@mail.uajy.ac.id)

Homepage : [http://www.uajy.ac.id/jurnal\\_teknik\\_sipil.php](http://www.uajy.ac.id/jurnal_teknik_sipil.php)

---

# J u r n a l TEKNIK SIPIL

## DAFTAR ISI

- Pemilihan Metode Intensitas Hujan  
Yang Sesuai Dengan Karakteristik Stasiun Pekanbaru  
(Yohanna Lilis Handayani, Andy Hendri, Hadie Suherly) 1 - 15
- Kajian Analisis Tingkat Layan Pengaruh Polisi Tidur  
Di Jalan Babarsari Yogyakarta  
(Y. Hendra Suryadharma) 16 - 22
- Pendidikan Profesional Konstruksi Di Indonesia  
(Rudi Waluyo) 23 - 36
- Pengaruh Dimensi Bukaan Terhadap Kuat Lentur  
Dan Geser Balok Beton Bertulang Dengan Bukaan Ganda  
(Ade Lisantono, Haryanto Yoso Wigroho) 37 - 52
- Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Garam Dapur (NaCl)  
(Agus Tugas Sudjianto) 53 - 63
- UCS Tanah Lempung Ekspansif Yang Distabilisasi  
Dengan Abu Ampas Tebu Dan Kapur  
(John Tri Hatmoko, Yohanes Lulie) 64 - 77
- Alternatif Penyelesaian Sengketa Jasa Konstruksi  
(Bambang Poerdyatmono) 78 - 90

# PENGARUH DIMENSI BUKAAN TERHADAP KUAT LENTUR DAN GESER BALOK BETON BERTULANG DENGAN BUKAAN GANDA

**Ade Lisantono**

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta  
Jl. Babarsari 44 Yogyakarta  
email : adelisantono@mail.uajy.ac.id

**Haryanto Yoso Wigroho**

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta  
email : haryanto@mail.uajy.ac.id

## ABSTRAKSI

Dilakukan studi eksperimental tentang pengaruh dimensi bukaan terhadap kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang dengan bukaan ganda Empat balok beton bertulang yang terbuat dari beton normal dengan ukuran penampang  $(120 \times 240)$  mm<sup>2</sup> dan panjang 3020 mm diuji dalam penelitian ini. Balok pertama dibuat tanpa bukaan yang dijadikan sebagai balok *reference*, sedangkan balok kedua, ketiga dan keempat mempunyai dimensi penampang yang sama dengan balok pertama namun mempunyai ukuran bukaan yang berbeda-beda. Ukuran bukaan balok kedua, ketiga dan keempat berturut-turut adalah  $(80 \times 80)$  mm<sup>2</sup>;  $(240 \times 80)$  mm<sup>2</sup>; dan  $(400 \times 80)$  mm<sup>2</sup>. Bukaan tersebut ditempatkan secara simetri sejauh 630 mm dari tumpuan. Digunakan tulangan memanjang dan sengkang yang sama untuk keempat balok uji, terkecuali tulangan tambahan di atas dan di bawah bukaan dengan panjang yang dibuat sama dengan panjang bukaannya. Tulangan tambahan tersebut termasuk tulangan diagonal di sudut-sudut bukaan untuk mencegah retak awal di daerah sekitar bukaan. Pengujian dilakukan secara monotonik dengan beban satu titik di tengah bentang.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok dengan bukaan  $(80 \times 80)$  mm<sup>2</sup> memberikan penurunan beban sebesar 6,25 % apabila dibanding dengan balok tanpa bukaan. Sedangkan balok dengan bukaan  $(240 \times 80)$  mm<sup>2</sup> memberikan peningkatan beban sebesar 6,67 % terhadap balok dengan bukaan  $(80 \times 80)$  mm<sup>2</sup>, demikian pula balok dengan bukaan  $(400 \times 80)$  mm<sup>2</sup> memberikan peningkatan beban sebesar 6,25 % terhadap balok dengan bukaan  $(240 \times 80)$  mm<sup>2</sup>. Fenomena yang memperlihatkan bahwa balok dengan bukaan yang lebih besar memberikan kekuatan yang lebih besar dari balok dengan bukaan yang lebih kecil disebabkan adanya ekstra tulangan masing-masing 2 D 13 mm di atas dan bawah bukaan dimana panjang dari tulangan tersebut dibuat mengikuti panjang dimensi bukaannya.

Kata kunci : balok beton bertulang; bukaan ganda; variasi dimensi bukaan, beban monotonik; kuat lentur dan geser.

## ABSTRACT

Experimental study on the effect of dimension doubles openings of reinforced concrete beam capacity subjected to bending and shear was conducted. Four reinforced concrete beams were made of normal concrete with sectional dimension of  $(120 \times 240)$  mm<sup>2</sup> and span of 3020 mm were tested in this research. The first beam was made without opening as a reference beam, while the second; the third; and the fourth having the same dimension and span with the reference beam except in the dimension of opening. The opening of the second; the third and the fourth beam are  $(80 \times 80)$  mm<sup>2</sup>;  $(240 \times 80)$  mm<sup>2</sup>; and  $(400 \times 80)$  mm<sup>2</sup>, respectively. The openings of the beam were located symmetrically 630 mm from the support. The longitudinal and transversal reinforcements are the same for all beams, except for additional reinforcements at the top and bottom chords of opening where the length of these reinforcements were made the same as the length of the dimension of the openings. The additional reinforcements including the diagonal reinforcements in the corner of the openings were provided to prevent an initial crack in the vicinity of openings. The beams were tested under monotonic loading with a point load in the middle of the span. The result shows that the beam with dimension opening of  $(80 \times 80)$  mm<sup>2</sup> gives the load capacity 6.25 % below the reference beam. While the beam with the opening of  $(240 \times 80)$  mm<sup>2</sup> gives the load capacity 6.67 % larger than the beam with opening of  $(80 \times 80)$  mm<sup>2</sup>, and also the beam with opening of  $(400 \times 80)$  mm<sup>2</sup> gives the load capacity 6.25 % larger than the beam with opening of  $(240 \times 80)$  mm<sup>2</sup>. The phenomena that the beam with larger opening gives larger load capacity compare to the beam with smaller opening due to the additional reinforcements in the top and bottom chords of the opening where the length of these reinforcements were made to follow the length of the dimension of the openings.

Keywords : reinforced concrete beam; doubles openings; dimension opening in varies; monotonic loading; bending and shear capacity

## 1. PENDAHULUAN

Jaringan utilitas seperti perpipaan dan kabel untuk listrik, pendingin ruangan maupun air bersih dan kotor pada gedung bertingkat biasanya ditempatkan di ruang kosong antara langit-langit dan balok lantai. Penempatan tersebut akan mengakibatkan penggunaan ruang antar tingkat menjadi tidak efisien, oleh karena langit-langit akan ditempatkan di bawah jaringan utilitas. Dengan demikian semakin besar perpipaan yang ada, maka penggunaan ruangan akan semakin berkurang. Dengan melewati jaringan utilitas tersebut melalui suatu bukaan melintang pada badan balok lantai, maka ruang kosong antara langit-langit dan balok lantai dapat dikurangi. Namun demikian, adanya bukaan besar pada badan balok akan mengubah perilaku mekanik balok, hal ini disebabkan terjadi perubahan secara tiba-tiba pada penampang balok serta pemusatan tegangan pada sudut-sudut bukaan yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan dan kemampu-layanan balok tersebut (Tanijaya et al., 2002).

Dimensi bukaan yang diperlukan tergantung pada kuantitas jaringan utilitas yang akan dilewatkan. Semakin banyak dan semakin besar ukuran jaringan utilitas yang akan dilewatkan, maka akan semakin besar pula dimensi bukaan yang dibutuhkan. Untuk mengakomodasi kebutuhan bukaan yang terlampau besar, pada umumnya digunakan multi bukaan dimana jumlah bukaan lebih dari satu buah. Studi secara eksperimental maupun analitis tentang balok beton bertulang dengan satu bukaan sudah banyak dilakukan. Bahkan studi tersebut sudah menghasilkan prosedur disain untuk balok beton bertulang dengan satu bukaan (Mansur et al., 1985; Tan & Mansur, 1996; Mansur, 1999; Tan et al., 2001). Namun prosedur disain tersebut tidak dapat diterapkan untuk balok beton bertulang dengan multi bukaan. Tan et al.(1996) dalam penelitiannya diperoleh bahwa unjuk kerja balok dengan multi bukaan lebih disukai dipandang dari sisi kekuatan dan kemampu-layanannya. Oleh karena itu perlu penelitian dan kajian yang mendalam tentang perilaku balok beton bertulang dengan multi bukaan.

Lisantono dan Wigroho (2006) telah melakukan penelitian untuk mengetahui kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang dengan bukaan ganda pada badan balok dengan tinjauan terhadap variasi lokasi bukaan. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa balok dengan bukaan yang ditempatkan di daerah lentur rendah-geser tinggi tidak menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan dengan balok tanpa bukaan. Sedangkan balok dengan bukaan yang ditempatkan di daerah lentur tinggi-geser tinggi menunjukkan adanya penurunan kekakuan yang cukup signifikan setelah terjadi retak pertama. Fenomena tersebut juga menunjukkan bahwa balok dengan bukaan yang ditempatkan pada daerah lentur rendah-geser tinggi mempunyai kekakuan yang lebih baik apabila dibandingkan dengan balok dengan bukaan yang ditempatkan pada daerah lentur tinggi-geser tinggi. Hasil penelitian mereka juga menunjukkan bahwa balok dengan bukaan yang ditempatkan di daerah lentur tinggi-geser tinggi secara umum menunjukkan kecenderungan adanya penurunan kapasitas beban apabila dibandingkan dengan balok dengan bukaan yang ditempatkan di daerah lentur rendah-geser tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Lisantono dan Wigroho (2006) terbatas pada tinjauan terhadap variasi lokasi bukaan, sedangkan tinjauan terhadap variasi dimensi bukaan belum dilakukan. Oleh sebab itu untuk mengetahui pengaruh variasi dimensi bukaan terhadap kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang dengan bukaan ganda perlu dilakukan suatu penelitian secara eksperimental di laboratorium.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh dimensi bukaan ganda terhadap kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang. Dengan dipelajari pengaruh dimensi bukaan tersebut, akan diperoleh informasi mengenai kapasitas yang sesungguhnya dari balok beton bertulang apabila diberi bukaan ganda.

## 2. BATASAN MASALAH

Balok beton bertulang yang ditinjau pada penelitian ini adalah balok yang terbuat dari beton normal dengan dimensi penampang persegi. Tumpuan balok berupa sendi-rol. Balok dibebani secara monotonik dengan beban terpusat di tengah bentang balok.

## 3. TINJAUAN PUSTAKA

Perancangan suatu balok di atas perletakan sederhana dengan bukaan yang ditempatkan pada daerah yang dibebani kombinasi lentur dan geser telah dilakukan para peneliti (Lorensten, 1962; Nasser et al., 1967; Ragan & Wawaruk, 1967; Douglas & Gambrell, 1974; dan Barney et al., 1977). Penelitian tersebut dilakukan terhadap beban terpusat dan bukaan ditempatkan pada bagian balok yang tidak terkena beban secara langsung sehingga bukaan terbebas dari beban luar. Untuk kondisi yang demikian, beberapa peneliti berasumsi bahwa elemen bukaan atas dan bawah (*chord* atas dan bawah) berperilaku seperti *chord* panel Vierendeel dengan titik balik lentur (*contraflexure point*) terletak di tengah-tengah panjang *chord*. Momen lentur luar ditahan oleh resultante tegangan tarik dan tekan pada elemen *chord* yang diperoleh dari keseimbangan. Dengan beranggapan bahwa gaya geser ditahan oleh salah satu *chord* maka balok menjadi statis tertentu. Penampang kritis pada setiap sudut bukaan yang dikenai kombinasi lentur, geser, dan gaya aksial dapat dirancang dengan peraturan yang sudah ada.

Namun permasalahan yang ada adalah mengenai distribusi atau pembagian total gaya geser yang dipikul oleh kedua *chord* atas dan bawah. Beberapa peneliti (Nasser et al., 1967; Ragan dan Wawaruk, 1967) mengusulkan bahwa jumlah gaya geser yang dipikul oleh

masing-masing elemen *chord* dapat didistribusikan sesuai luas penampangnya. Sedangkan peneliti lainnya (Barney et al., 1977) berpendapat bahwa distribusi gaya gesernya sesuai dengan kekakuan lenturnya dan Mansur et al. (1984) mengusulkan bahwa jumlah gaya geser yang dipikul oleh setiap *chord* tidak hanya tergantung sifat-sifat penampangnya, tetapi juga tergantung pada ukuran dan lokasi bukaan.

Berdasarkan permasalahan-permasalahan tersebut telah diusulkan beberapa disain untuk balok beton bertulang dengan bukaan (Mansur et al., 1985; Tan & Mansur, 1996; Mansur, 1999; Tan et al., 2001). Salah satu dari usulan tersebut (Tan dan Mansur, 1996) memberi rekomendasi bahwa usulan disain mereka dapat diterapkan untuk balok beton bertulang dengan multi bukaan. Namun demikian rekomendasi tersebut perlu dikaji dan divalidasi dengan data hasil eksperimental.

Lisantono dan Wigroho (2005) telah melakukan penelitian untuk mengetahui kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang dengan bukaan ganda pada badan balok dengan tinjauan terhadap varisasi lokasi bukaan. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa balok dengan bukaan yang ditempatkan di daerah lentur rendah-geser tinggi tidak menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan dengan balok tanpa bukaan. Sedangkan balok dengan bukaan yang ditempatkan di daerah lentur tinggi-geser tinggi menunjukkan adanya penurunan kekakuan yang cukup signifikan setelah terjadi retak pertama. Fenomena tersebut juga menunjukkan bahwa balok dengan bukaan yang ditempatkan pada daerah lentur rendah-geser tinggi mempunyai kekakuan yang lebih baik apabila dibandingkan dengan balok dengan bukaan yang ditempatkan pada daerah lentur tinggi-geser tinggi. Hasil penelitian mereka juga menunjukkan bahwa balok dengan bukaan yang ditempatkan di daerah lentur tinggi-geser tinggi secara umum menunjukkan kecenderungan adanya penurunan kapasitas beban apabila dibandingkan dengan balok dengan bukaan yang ditempatkan di daerah lentur rendah-geser tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Lisantono dan Wigroho (2006) terbatas pada tinjauan terhadap variasi lokasi bukaan, sedangkan tinjauan terhadap variasi dimensi bukaan belum dilakukan. Oleh sebab itu untuk mengetahui pengaruh variasi dimensi bukaan terhadap kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang dengan bukaan ganda perlu dilakukan suatu penelitian secara eksperimental di laboratorium.

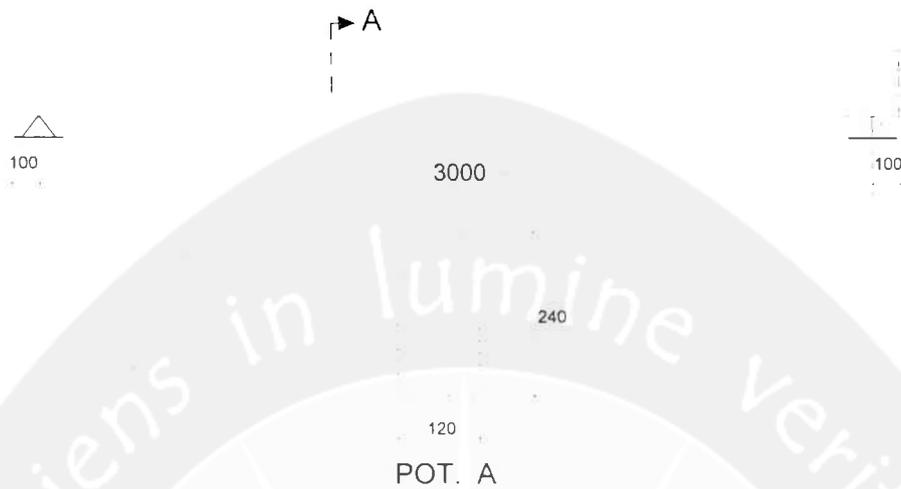
## 4. PROGRAM EKSPERIMENTAL

### 4.1 Spesimen

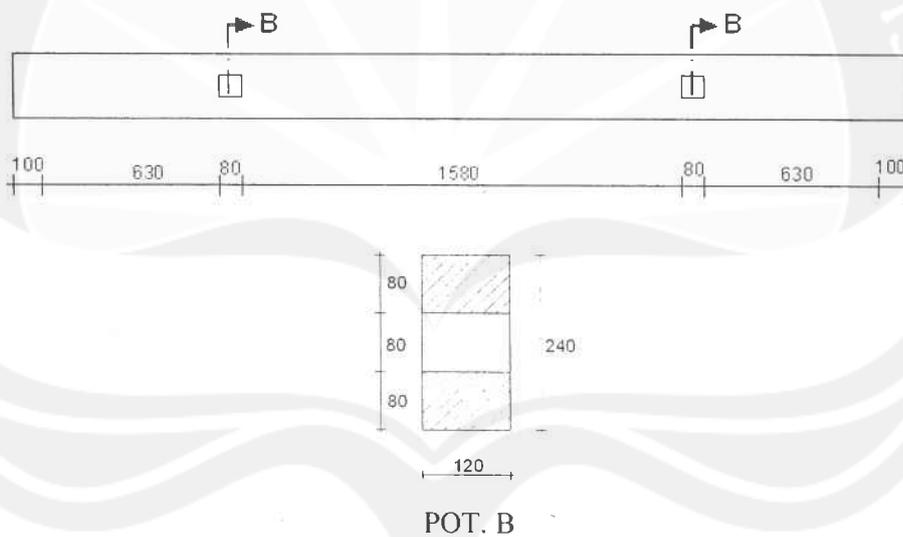
Dalam penelitian ini dibuat empat buah balok dengan notasi dan spesifikasi sebagai berikut :

- BSD** : Balok dengan panjang 3020 mm dan dimensi penampang  $(120 \times 240) \text{ mm}^2$ , tanpa bukaan sebagai balok *reference*
- BOD1** : Balok dengan panjang 3020 mm dan dimensi penampang  $(120 \times 240) \text{ mm}^2$ , dengan bukaan ganda masing-masing dengan ukuran  $(80 \times 80) \text{ mm}^2$  yang ditempatkan secara simetris sejauh 630 mm dari tumpuan
- BOD2** : Balok dengan panjang 3020 mm dan dimensi penampang  $(120 \times 240) \text{ mm}^2$ , dengan bukaan ganda masing-masing dengan ukuran  $(240 \times 80) \text{ mm}^2$  yang ditempatkan secara simetris sejauh 630 mm dari tumpuan
- BOD3** : Balok dengan panjang 3020 mm dan dimensi penampang  $(120 \times 240) \text{ mm}^2$ , dengan bukaan ganda masing-masing dengan ukuran  $(400 \times 80) \text{ mm}^2$  yang ditempatkan secara simetris sejauh 630 mm dari tumpuan

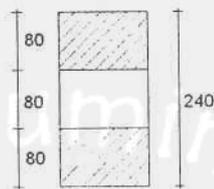
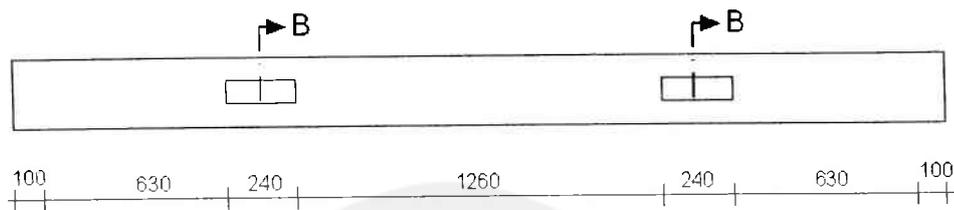
Secara detail keempat balok tersebut diperlihatkan berturut-turut pada Gambar 1, 2, 3 dan 4 sebagai berikut :



Gambar 1. Balok BSD

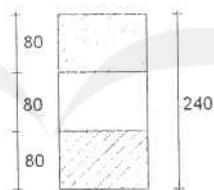
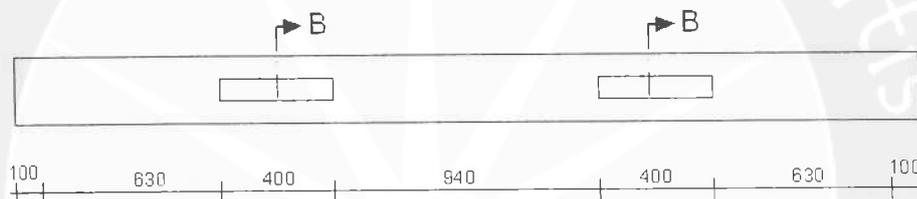


Gambar 2. Balok BOD1



POT. B

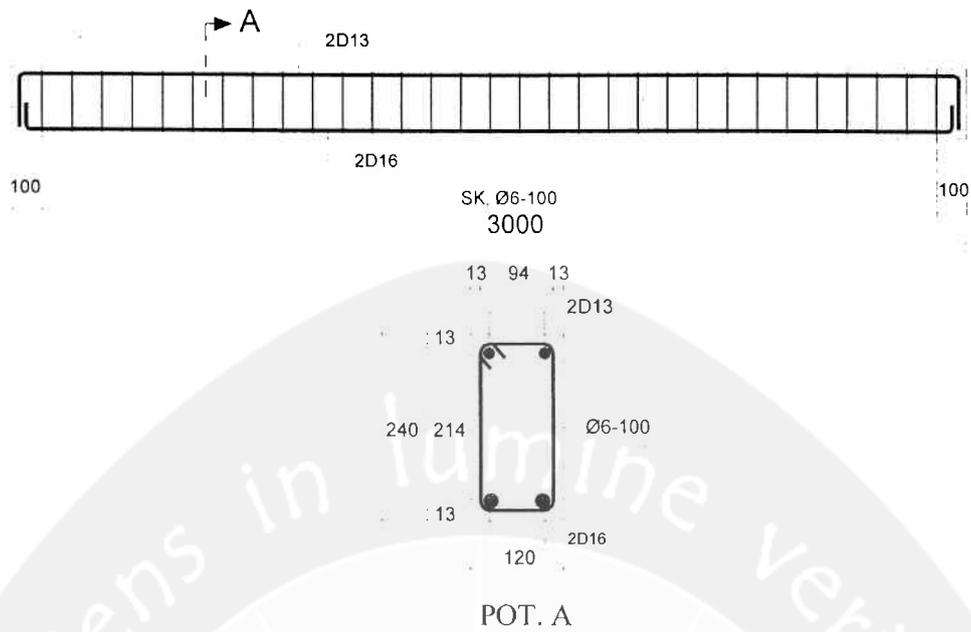
**Gambar 3. Balok BOD2**



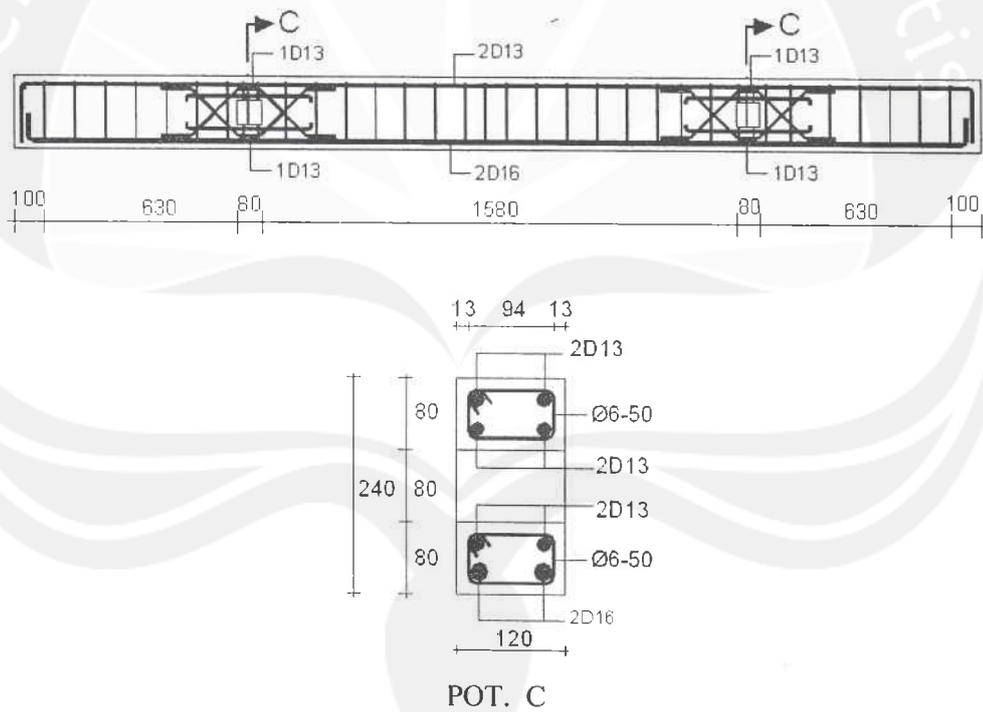
POT. B

**Gambar 4. Balok BOD3**

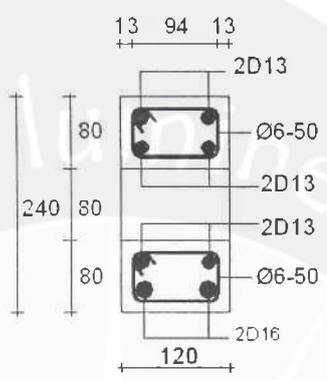
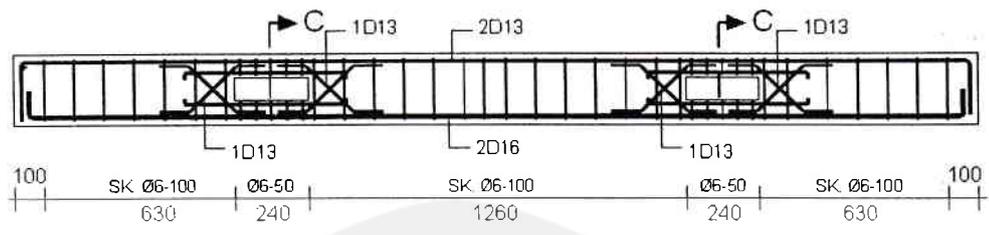
Digunakan tulangan memanjang dan tulangan sengkang yang sama untuk keempat balok tersebut di atas. Tulangan memanjang bagian atas digunakan 2 D 13 mm dan tulangan memanjang bagian bawah digunakan 2 D 16 mm. Sedangkan untuk tulangan sengkang digunakan tulangan sengkang tertutup 6 dengan jarak antar sengkang sebesar 100 mm. Secara detail penulangan pada spesimen balok-balok BSD, BOD1, BOD2, dan BOD3 seperti diperlihatkan berturut-turut pada Gambar 5, 6, 7, dan 8 sebagai berikut :



**Gambar 5. Detil penulangan balok BSD**

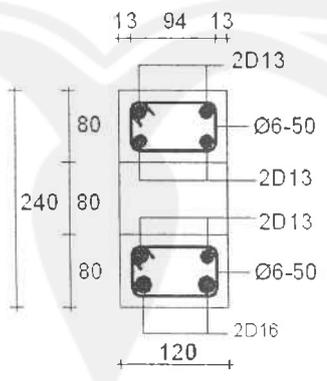
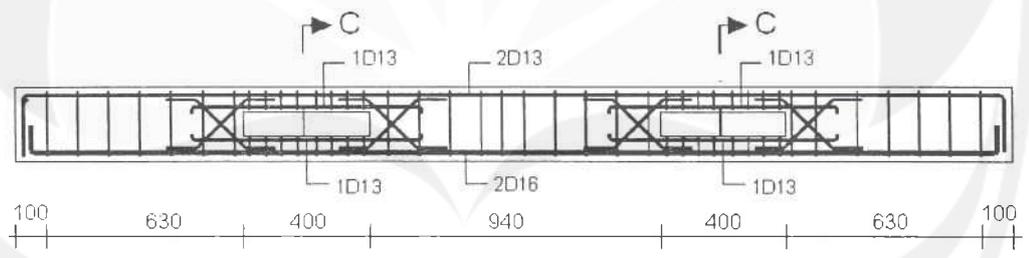


**Gambar 6. Detil penulangan balok BOD1**



POT. C

Gambar 7. Detil penulangan balok BOD2



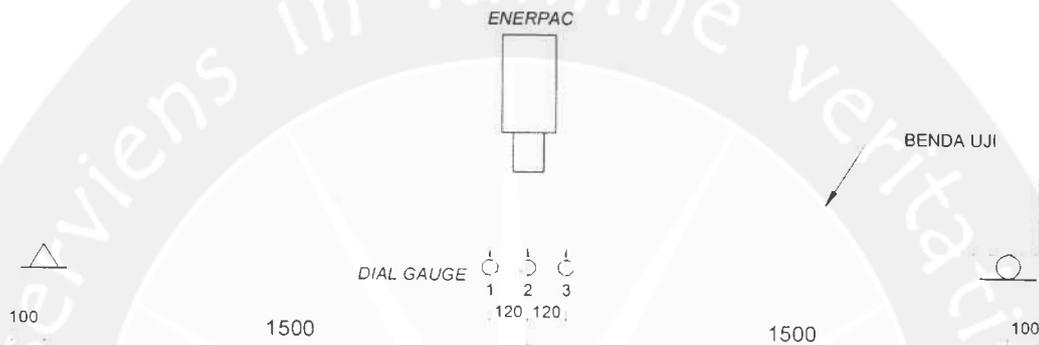
POT. C

Gambar 8. Detil penulangan balok BOD3

## 4.2. Material

Untuk pembuatan material beton digunakan agregat halus asal Krasak dengan ukuran maksimum 4,750 mm, agregat kasar asal Clereng dengan ukuran maksimum 25 mm, dan semen tipe I, serta air yang berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Kuat tekan rata-rata umur 28 hari dari hasil uji silinder beton ukuran (150x300 mm<sup>2</sup>) sebesar 38,531 MPa. Sedangkan kuat tarik belah ( $f_{sp}$ ) dan modulus keruntuhan tarik lentur ( $f_r$ ) berturut-turut sebesar 3,030 dan 3,217 MPa. Tegangan leleh baja tulangan diameter 6, 13, dan 16 mm berturut-turut sebesar 338,71; 416,95; dan 436,86 MPa.

## 4.3. Setup Pengujian dan Instrumentasi



Gambar 9. Setup pengujian balok

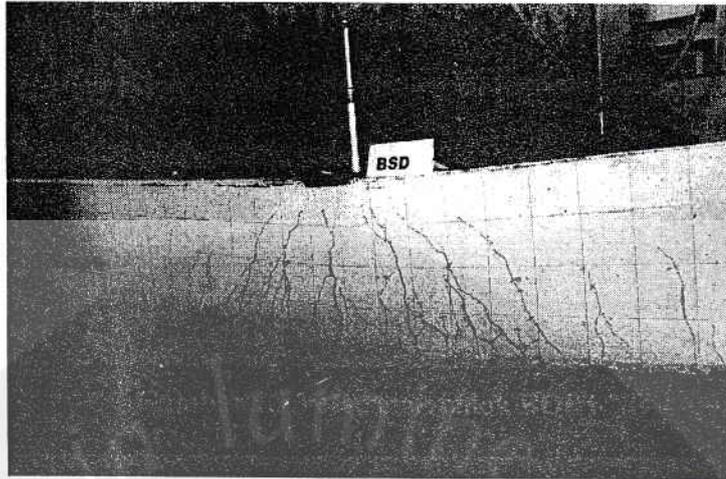
Setup pengujian balok seperti diperlihatkan pada Gambar 9. Pembebanan menggunakan alat *Enerpac* dengan kapasitas beban sebesar 100 kN. Untuk mengukur defleksi balok digunakan *Dial gauge* kapasitas 50 mm. *Dial gauge* dipasang ditengah bentang dan di kiri kanannya sejauh 120 mm dari tengah bentang (lihat Gambar 9). Untuk mengantisipasi apabila defleksi balok lebih dari 50 mm, maka pada tengah bentang dipasang dua buah *Dial gauge* yang dipasang sedemikian rupa sehingga apabila defleksi balok lebih dari 50 mm bisa diukur oleh *Dial gauge* berikutnya.

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

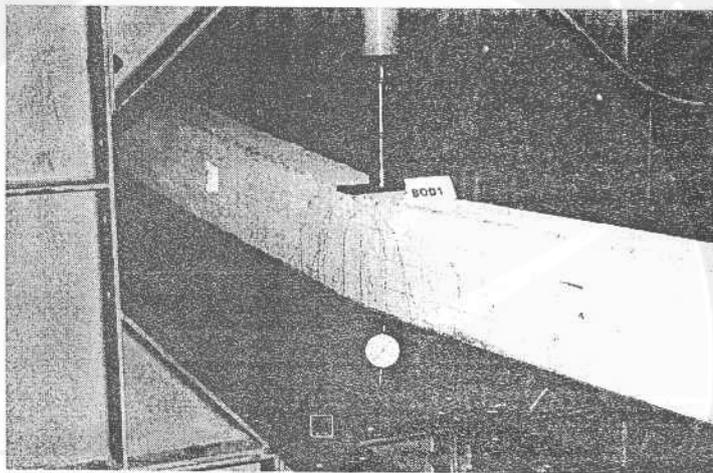
### 5.1. Pola retak

Pola retak balok BSD, BOD1, BOD2 dan BO3 berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 10, 11, 12 dan 13.

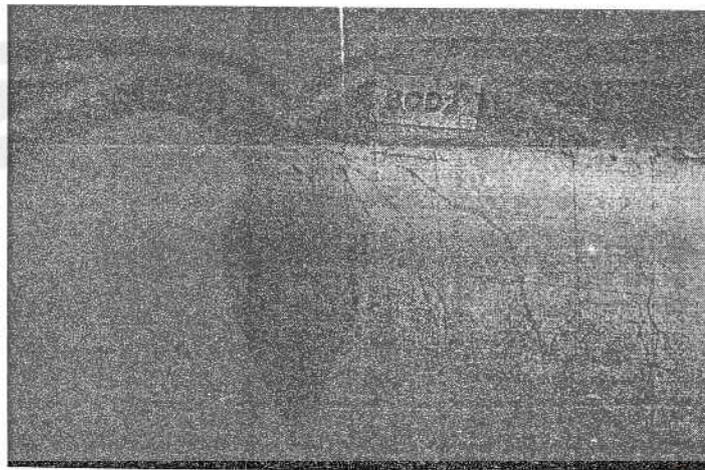
Pada semua balok uji, retak pertama terjadi pada serat paling bawah, kurang lebih di tengah bentang. Retak awal yang terjadi pada tengah bentang tersebut dapat dikatakan sebagai retak lentur (*flexural crack*), oleh karena pola retaknya cenderung membentuk garis vertikal, tegak lurus sumbu memanjang balok. Seiring dengan bertambahnya beban, terjadi pula retakan disamping kiri kanan retak pertama. Pola retak yang terjadi mengalami perubahan sudut, yaitu membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu memanjang balok. Pola retak ini mengarah pada retak geser lentur, dimana retaknya membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu memanjang balok.



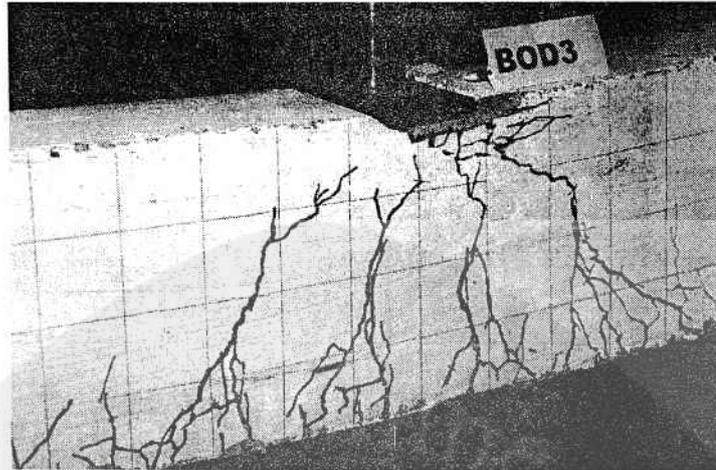
**Gambar 10. Pola retak balok BSD**



**Gambar 11. Pola retak balok BOD1**



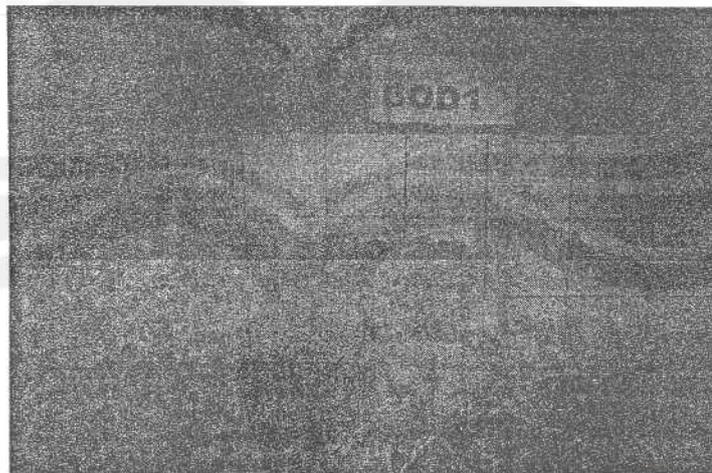
**Gambar 12. Pola retak balok BOD2**



**Gambar 13. Pola retak balok BOD3**

Gambar 10, 11, 12 dan 13 juga memperlihatkan bahwa retak-retak yang terjadi terkonsentrasi di tengah bentang, yaitu di bawah beban. Bersamaan dengan penjalaran retak, lebar retak pada bagian serat bawah juga semakin bertambah besar. Pertambahan retak yang paling besar, terlihat terjadi pada serat bagian bawah di tengah bentang. Hal ini menunjukkan bahwa pada serat bagian bawah di tengah bentang tersebut terjadi tegangan tarik yang paling besar. Oleh karena keterbatasan alat yang dimiliki Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, maka lebar retak yang terjadi tidak dapat diukur perkembangannya.

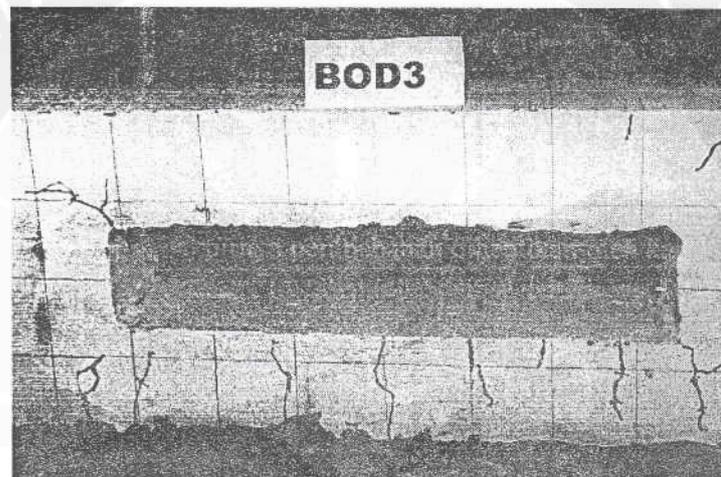
Sedangkan retak disekitar bukaan (balok BOD1, BOD2 dan BOD3) berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 14, 15 dan 16. Terlihat bahwa semakin besar bukaan, retak-retak yang terjadi disekitar bukaan khususnya di sudut-sudut bukaan secara kuantitas juga semakin meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar bukaannya konsentrasi tegangan pada sudut-sudut bukaannya juga semakin besar.



**Gambar 14. Pola retak sekitar bukaan spesimen BOD1**



**Gambar 15. Pola retak sekitar bukaan spesimen BOD2**



**Gambar 16. Pola retak sekitar bukaan spesimen BOD3**

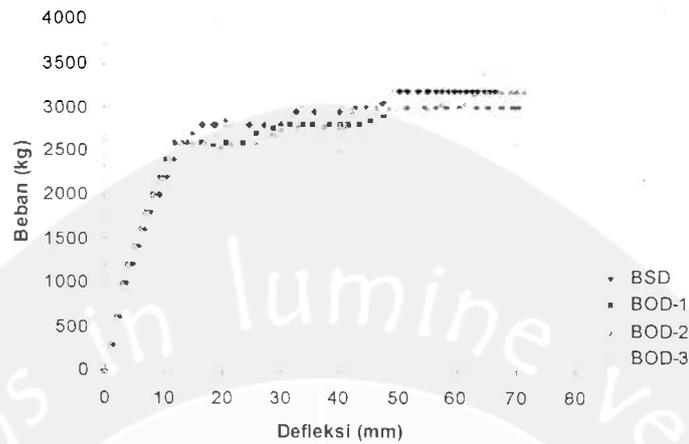
## **5.2. Kurva beban-defleksi**

Kurva beban-defleksi dari keempat balok uji (BSD, BOD1, BOD2 dan BOD3) diperlihatkan pada Gambar 17.

Gambar 17 memperlihatkan bahwa sebelum terjadi retak pertama pada beton, kurva beban-defleksi meningkat secara linear. Setelah retak, kurva meningkat secara nonlinear sampai beban mencapai maksimum, namun dengan sudut kemiringan kurva yang lebih kecil dari pada sebelum retak. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kekakuan balok oleh karena terjadi retak pada beton. Setelah mencapai beban maksimum, beban tidak bertambah namun defleksi balok semakin bertambah besar sehingga kurva cenderung mendatar dalam waktu yang relatif agak lama sampai akhirnya pembebanan dihentikan oleh karena *dial gauge* untuk pengukuran defleksi sudah mencapai pengukuran yang maksimum. Peningkatan kurva yang terjadi secara nonlinear sampai kurva cenderung mendatar tersebut menunjukkan adanya daktilitas yang cukup besar dari keempat balok uji.

Gambar 17 juga memperlihatkan bahwa kurva balok BOD1 menunjukkan adanya penurunan kapasitas beban apabila dibandingkan dengan balok tanpa bukaan (BSD).

Sedangkan balok BOD2 dan BOD3 menunjukkan adanya peningkatan kapasitas beban apabila dibandingkan dengan balok BOD1.



**Gambar 17. Kurva beban-defleksi balok uji**

Untuk melihat perbedaan kapasitas beban dari masing-masing balok, berikut disajikan tabel kapasitas beban yang mampu didukung oleh masing-masing balok (lihat Tabel 1).

**Tabel 1 Beban maksimum dari balok uji**

| Balok | Beban maksimum (kg) |
|-------|---------------------|
| BSD   | 3199,68             |
| BOD1  | 2999,70             |
| BOD2  | 3199,68             |
| BOD3  | 3399,66             |

Tabel 1 juga memperlihatkan bahwa balok BOD1 menunjukkan penurunan kapasitas beban sebesar 6,25 % apabila dibanding dengan balok BSD. Sedangkan balok BOD2 memberikan peningkatan kapasitas beban sebesar 6,67 % terhadap balok BOD1 dan balok BOD3 memberikan peningkatan kapasitas beban sebesar 6,25 % terhadap balok BOD2. Fenomena yang memperlihatkan bahwa kapasitas balok BOD3 yang lebih besar dari balok BOD2 dan kapasitas balok BOD2 yang lebih besar dari balok BOD1 disebabkan oleh tambahan tulangan masing-masing 2 D 13 mm di atas dan bawah bukaan pada balok BOD3 lebih panjang apabila dibanding dengan tulangan yang sama pada balok BOD2, demikian juga tambahan tulangan pada balok BOD2 lebih panjang apabila dibanding dengan tulangan yang sama pada balok BOD1 (lihat kembali Gambar 6, 7 dan 8).

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi eksperimental tersebut di atas, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Pola retak dari keempat balok uji (BSD, BOD1, BOD2 dan BOD3) menunjukkan gejala pola retak yang tidak jauh berbeda satu dengan yang lain. Retak awal terjadi di tengah bentang pada serat bagian bawah. Retak tersebut menjalar ke atas seiring dengan bertambahnya beban dan cenderung membentuk retak yang dapat dikategorikan sebagai retak lentur (*flexure-crack*) karena pola retaknya ke arah vertikal dan tegak lurus terhadap sumbu memanjang balok. Seiring dengan bertambahnya beban, juga terjadi retak-retak di kiri kanan retak awal. Retak-retak ini membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu memanjang balok, sehingga dapat dikategorikan sebagai retak geser lentur.
- b. Retak-retak yang berlebihan dari keempat balok uji (BSD, BOD1, BOD2 dan BOD3) terjadi di daerah sekitar bawah beban.
- c. Kurva beban-defleksi balok uji menunjukkan bahwa sebelum terjadi retak pada beton kurva bersifat linear. Setelah terjadi retak, kurva meningkat secara nonlinear sampai beban mencapai maksimum, namun dengan sudut kemiringan kurva yang lebih kecil dari pada sebelum retak. Hal ini menunjukkan terjadinya penurunan kekakuan balok akibat retak yang terjadi pada beton. Setelah mencapai beban maksimum, beban tidak bertambah namun defleksi balok semakin bertambah besar sehingga kurva terlihat mendatar sampai balok akan runtuh. Peningkatan kurva yang terjadi secara nonlinear sampai kurva cenderung mendatar tersebut menunjukkan adanya daktilitas yang cukup besar dari ketiga balok uji.
- d. Kurva beban-defleksi balok BOD1 menunjukkan penurunan kapasitas beban sebesar 6,25 % apabila dibanding dengan balok BSD. Sedangkan balok BOD2 memberikan peningkatan kapasitas beban sebesar 6,67 % terhadap balok BOD1 dan balok BOD3 memberikan peningkatan kapasitas beban sebesar 6,25 %.
- e. Fenomena yang memperlihatkan bahwa kapasitas balok BOD3 yang lebih besar dari balok BOD2 dan kapasitas balok BOD2 yang lebih besar dari balok BOD1 disebabkan oleh tambahan tulangan masing-masing 2 D 13 mm di atas dan bawah bukaan pada balok BOD3 lebih panjang apabila dibanding dengan tulangan yang sama pada balok BOD2, demikian juga tambahan tulangan pada balok BOD2 lebih panjang apabila dibanding dengan tulangan yang sama pada balok BOD1.

### 6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang perlu disampaikan untuk penelitian yang akan datang sebagai berikut :

- a. Pada penelitian ini beban yang diberikan hanya beban satu titik ditengah bentang, sehingga perilaku balok yang diamati adalah lentur dengan geser. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan dengan beban dua titik, sehingga dapat diamati perilaku balok terhadap lentur murni serta lentur dengan geser.
- b. Mengingat fenomena yang memperlihatkan bahwa kapasitas balok BOD3 yang lebih besar dari balok BOD2 dan kapasitas balok BOD2 yang lebih besar dari balok BOD1 yang disebabkan oleh tambahan tulangan masing-masing 2 D 13 mm di atas dan bawah bukaan pada balok BOD3 lebih panjang apabila dibanding dengan tulangan yang sama pada balok BOD2, demikian juga tambahan tulangan pada balok BOD2

lebih panjang apabila dibanding dengan tulangan yang sama pada balok BOD1., maka untuk penelitian selanjutnya perlu diuji balok yang sama dengan penelitian ini namun dengan tulangan tambahan masing-masing 2 D 13 mm di atas dan di bawah bukaan dengan panjang yang sama seperti tulangan longitudinalnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas dana yang diberikan untuk penelitian ini. Tak lupa juga diucapkan terima kasih kepada Kepala beserta Staf Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas bantuan dan penggunaan fasilitas sehingga penelitian ini dapat dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Barney, G.B., Corley, W.G., Hanson, G.M., and Parmelee, R.A., 1977, Behavior and design of prestressed concrete beams with large web openings, *Journal of Prestressed Concrete Institute*, Vol. 22, No. 6, November-December, 32-61.
- Douglas, T. R., and Gambrell, S.C., 1974, Design of beams with off-center web openings, *Proceeding ASCE*, Vol. 100, ST. 6, June, 1189-1203.
- Lisantono, A., Wigroho, H.Y., 2006, Pengaruh lokasi bukaan ganda terhadap kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang, *Jurnal Teknik Sipil, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Volume 6, Nomor 2, April, 105-115.
- Lorentsen, M., 1962, Holes in reinforced concrete girders, *BYGGMASTAREN*, Vol. 41, No. 7, July, 141-152. Translated from Swedish by PCA, Chicago, Illinois.
- Mansur, M.A., 1999, Design of reinforced concrete beams with small opening under combined loading, *ACI Structural Journal*, Vol. 96, No. 5, September-October, 675-682.
- Mansur, M.A., Tan, K.H., and Lee, S.L., 1984, Collapse loads of R/C beam with large opening, *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 110, No. 11, November, 2602-2618.
- Mansur, M.A., Tan, K.H., and Lee, S.L., 1985, Design methods for reinforced concrete beams with large opening, *ACI Journal*, Vol. 82, July-August, 517-524.
- Nasser, K.W., Acavalos, A., and Danile, H.R., 1967, Behaviour and design of large opening in reinforced concrete beams, *ACI Journal*, Vol. 64, No.1, January, 25-33.
- Ragan, H.S., and Warwaruk, J., 1967, Tee members with large web openings, *Journal of Prestressed Concrete Institute*, Vol. 12, No. 4, August, 52-65.
- Tan, K.H., and Mansur, M.A., 1996, Design procedure for reinforced concrete beams with large web opening, *ACI Journal*, Vol. 93, No. 4, July-August, 404-410.
- Tan, K.H., Mansur, M.A., and Huang, L.M., 1996, Reinforced concrete T-beams with large web opening in positive and negative moments regions, *ACI Journal*, Vol. 93, No. 3, May-June, 277-289.
- Tan, K.H., Mansur, M.A., and Wei, W., 2001, Design of reinforced concrete beams with circular openings, *ACI Structural Journal*, Vol. 98, No.3, May-June, 407-415.

Tanjaya, J., Besari, M.S., Suhud, R., dan Soemardi, B.W., 2002, Perilaku mekanik balok-T beton bertulang hibrida dengan bukaan pada badan akibat beban monotonik, *Jurnal Media Teknik*, UGM, Yogyakarta, No. 2, Tahun XXIV, Edisi Mei.

