

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 03	NOMER: 03	HALAMAN: 102 - 111	SURABAYA 2016	ISSN: 2252-5009
-------------------------------	---------------	--------------	-----------------------	------------------	--------------------

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA.

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

1. Drs.Ir.Karyoto,M.S
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

	Halaman
TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
• Vol 3 Nomer 3/rekat/16 (2016)	
PENGARUH PENAMBAHAN <i>SILICA FUME</i> PADA <i>POROUS CONCRETE BLOCK</i> TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS	
<i>Eko Febrianto, Arie Wardhono,</i>	01 – 08
PEMANFAATAN ABU TERBANG LIMBAH BATU BARA TERHADAP KUAT TEKAN DAN TINGKAT POROSITAS <i>PAVING STONE</i> BERPORI	
<i>Firman Ganda Saputra, Arie Wardhono,</i>	09 – 12
PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN <i>ADMIXTURE</i> SIKACIM TERHADAP PENGUATAN KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS <i>PERMEACONCRETE PAVING STONE</i>	
<i>Kukuh Ainnuridin, Arie Wardhono,</i>	13 – 22
PENGARUH POLA ALIRAN PADA SALURAN PELIMPAH SAMPING AKIBAT DARI PENEMPATAN <i>SPLLWAY</i> DENGAN TIPE MERCU OGEE WADUK WONOREJO	
<i>Binti Hidayatul Ma'rifah, Kusnan,</i>	23 – 34
ANALISIS HUBUNGAN TEMPERATUR DAN KUAT TEKAN BETON PADA PEKERJAAN BETON MASSA (<i>MASS CONCRETE</i>) DENGAN METODE <i>PORTLAND CEMENT ASSOCIATION</i> (PCA) DAN <i>U.S. BUREAU OF RECLAMATION</i>	
<i>Sandy Sahrawani, Mochamad Firmansyah S,</i>	35 – 44
ANALISA KAPASITAS SALURAN SEBAGAI PENGENDALI BANJIR DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS PADA DRAINASE SUB DAS GULOMANTUNG KECAMATAN KEBOMAS, KABUPATEN GRESIK	
<i>Ahmad Rifky Saputra, Nurhayati Aritonang,</i>	45 – 54

ANALISA FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KINERJA WAKTU
PELAKSANAAN PROYEK KONSTRUKSI DI WILAYAH SURABAYA

Hendrita Abraham Angga Purnomo, Mas Suryanto H.S, 55 – 63

PENGARUH PEMILIHAN JARAK PANDANG DALAM MENENTUKAN PANJANG
LENGKUNG VERTIKAL CEMBUNG TERHADAP BIAYA PELAKSANAAN JALAN BARU

Arthur Diaz Mickael Devisi, Ari Widayanti, Anita Susanti, 64 – 70

PENGEMBANGAN DISTIBUSI AIR BERSIH SUMBER DLUNDUNG DESA TRAWAS
KECAMATAN TRAWAS KABUPATEN MOJOKERTO

Mochammad Zainal Abidin, Djoni Irianto, 71 – 79

STUDI EKSPERIMENTAL BUKAAN GANDA TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK
BETON BERTULANG

Mohamad Mesranto, Bambang Sabariman, 80 – 87

ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA TIPE *CAMEL*
BACK TRUSS

Ria Dewi Sugiyono, Sutikno, 88 – 93

PENGARUH PENGOPTIMASIASI PEMASANGAN LETAK BOUT DENGAN JARAK TEPI
PADA SAMBUNGAN PELAT TARIK

Donna Monika Fembrianto, Arie Wardhono, 94 – 101

STUDI EKSPERIMENTAL BUKAAN GANDA DENGAN LETAK DI ATAS GARIS NETRAL
TERHADAP KAPASITAS GESER BALOK BETON BERTULANG

Siswo, Bambang Sabariman, 102 – 111

STUDI EKSPERIMENTAL BUKAAN GANDA DENGAN LETAK DI ATAS GARIS NETRAL TERHADAP KAPASITAS GESER BALOK BETON BERTULANG

Siswo

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
siswo.atsf@gmail.com

Bambang Sabariman

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
bambang.sabariman@gmail.com

Abstrak

Tujuan Penelitian ini adalah untuk membandingkan balok utuh dan bukaan guna mengetahui pengaruh bukaan dengan letak di atas garis netral terhadap kuat geser balok. Dasar penelitian ini adalah Tanijaya (1996) tentang kajian lubang pada badan balok akan mengubah perilaku mekanik balok serta pemusatan kekuatan tegangan pada sudut-sudut bukaan yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan dan kemampuan layan balok. Ade Lisantono dan Wigroho (2008) tentang kajian variasi dimensi lubang diperoleh hasil kapasitas lentur dan geser balok bukaan terbesar tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan balok tanpa bukaan. Metode Penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Data diperoleh dari penelitian eksperimen balok ukuran 200x300x2700 mm dengan uji pembebanan monotonik (*load test*). Benda uji berjumlah 2 buah, Balok Utuh (BU) dan Balok Berlubang (BBG). Dimensi bukaan berukuran 400x80 mm yang terletak di daerah geser tinggi dengan bentang geser (a/d) 2,24. Hasilnya kemudian dicocokkan dengan analisa teoritis. Hasil penelitian ini menunjukkan Bukaan ganda dengan letak di atas garis netral berpengaruh terhadap kuat geser balok. Kuat geser Balok Berlubang (BBG) menurun sebesar 9,12%, hal ini disebabkan letak lubang berada di daerah geser tinggi dengan bentang geser (a/d) 2,24 menyebabkan tegangan berlebih di bagian bawah lubang terbukti konsentrasi retak terpusat di bawah lubang sebesar 9 mm. Selain itu kuat cadangan Balok Berlubang (BBG) menurun 13,25% dari Balok Utuh (BU) sehingga akan terjadi gagal geser di daerah lubang. Hasil eksperimen dibandingkan dengan teoritis dan SAP 2000 diperoleh kecenderungan keluaran yang sama ditinjau dari tegangan geser daerah lubang.

Kata Kunci: Bukaan Balok, Kuat Geser, Balok Berlubang, beton.

Abstract

This study is aim to compare the whole beam and openings in order to determine effect openings on the neutral line of the shear strength of the beam. Basic research is Tanijaya also (1996) about the study of the web opening beam will change the beam mechanical behavior as well as the centralization stress on the corners of the openings which cause reduced strength and the ability of beams. According Ade Lisantono and Wigroho (2008) about the openings dimension variations result of bending and shear capacity of the largest opening beam did not show any significant differences with beams without openings. This research method is quantitative deskriptive. Data obtained from experimental research 200x300x2700 mm beam size with monotonic loading test (load test). The experiment object was 2, Whole Beams (BU) and Opening Beams (BBG). The Dimensions opening was 400x80 mm, which laid on the high shear area with a shear extend (a/d) 2,24. Then The result was matched with the theoretical analysis. The results showed a double opening on the neutral line effect the shear strength of the beam. Opening Beam Shear Strength (BBG) decreased 9.12%, this is due to the location was on area of high shear with a shear extend (a / d) of 2,24 causes over stress on the bottom opening proved to be the concentration of cracks centered bottom opening for 9 mm. Besides strong reserve Opening Beams (BBG) decreased 13.25% from Whole Beams (BU) that will occur shear failure in the pit area. The experimental results are compared with theoretical and SAP 2000 acquired predisposition same output in terms of shear stress.

Keywords: Opening Beams, shear strength, Reinforced Beam Concrete.

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 itu langit-langit akan ditempatkan di bawah jaringan utilitas. Dengan demikian semakin besar perpipaan yang ada, maka penggunaan ruang akan semakin berkurang. Dengan melewati jaringan utilitas tersebut melalui suatu bukaan melintang pada badan balok lantai, maka ruangan kosong antara langit-langit menjadi berkurang, akan tetapi akan mengubah perilaku mekanik balok serta pemusatan kekuatan tegangan pada sudut-sudut bukaan yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan dan kemampuan layan balok tersebut (Tanijaya, 1996).

Lisantono dan Wigroho (2008) telah melakukan penelitian untuk mengetahui kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang dengan bukaan ganda pada badan balok dengan tinjauan terhadap variasi dimensi bukaan. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa balok dengan variasi bukaan terbesar tidak menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan dengan balok tanpa bukaan. Sedangkan balok dengan dimensi bukaan kecil menunjukkan adanya penurunan kekakuan yang cukup signifikan setelah terjadi retak pertama.

Merujuk dari penelitian dan kajian sebelumnya masih perlu dikembangkan penelitian lanjutan. Penelitian Lisantono dan Wigroho (2006) hanya terbatas pada kajian pengaruh lokasi bukaan dengan letak bukaan pada garis tengah penampang (netral), sedangkan pengaruh bukaan dengan letak di atas garis tengah penampang (netral) belum dilakukan. Oleh karena itu untuk mengetahui pengaruh bukaan pada badan balok terhadap kapasitas geser dengan letak di atas garis tengah penampang (netral) perlu dilakukan penelitian lanjutan (lihat Gambar 1 dan 2).

Penelitian yang dilakukan oleh Ade Lisantono di daerah bukaan dilakukan penambahan tulangan sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan yang berbeda di setiap variasi bukaan, oleh karena itu dalam pengembangan penelitian ini tidak dilakukan penambahan tulangan di daerah bukaan dengan tujuan untuk meneliti konsentrasi tegangan di daerah bukaan tanpa penambahan tulangan. Penempatan lubang dalam penelitian ini diletakan di atas garis tengah penampang balok (netral), hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kerusakan balok di daerah bukaan karena balok di desain rusak daerah tarik (*under reinforced*) maka bukaan diletakan di atas tengah penampang.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perbandingan balok bukaan dengan balok utuh terhadap kuat geser balok. Sedangkan tujuan penelitian pengembangan ini adalah untuk membandingkan balok utuh dan bukaan guna mengetahui pengaruh bukaan dengan letak di atas garis netral terhadap kuat geser balok.

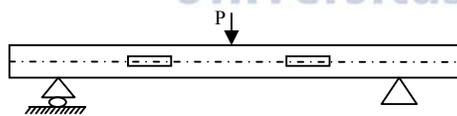
KAJIAN PUSTAKA

Gaya geser beton bertulang atau kekuatan geser teoritis beton bertulang dihasilkan oleh kekuatan geser beton (V_c) dan kekuatan geser tulangan (V_s) yang berupa tulangan *web* (tulangan geser). Adapun kekuatan geser yang diijinkan adalah V_n , harus sama atau lebih besar dari gaya geser berfaktor yaitu V_u , dimana ϕ adalah faktor reduksi diambil sebesar 0,75 menurut SNI-2847 (2013). Gaya geser nominal akan meningkat seiring bertambahnya rasio tulangan geser, dengan bertambahnya rasio tulangan geser maka lebar retak akan tereduksi. Apabila retak dipertahankan sesempit mungkin, maka akan terjadi kontak yang lebih dekat antar permukaan bidang geser beton yang berlawanan, sehingga akan bertambah besar tahanan geser oleh friksi.

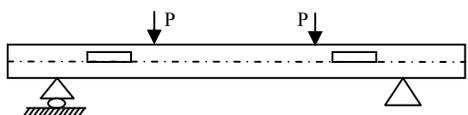
Pasal 13.1.1 SNI-2847-2013 menetapkan bahwa gaya lintang yang bekerja pada penampang yang ditinjau harus direncanakan sedemikian rupa sehingga:

$$\phi V_n > V_u \dots \dots \dots (1)$$

Sama seperti dalam perencanaan lentur, dalam perencanaan kekuatan struktur terhadap geser pun dikenal istilah geser ultimate dan geser nominal yang hubungan antara keduanya ditulis dalam persamaan 2.9. Dalam perencanaan kekuatan struktur terhadap geser, maka besarnya faktor reduksi kekuatan ϕ diambil sebesar 0,6 sesuai dengan pasal 11.3 ayat 2 butir 3 SNI-2847-2013. Faktor reduksi kekuatan ini menyebabkan hanya 60% dari kekuatan nominal yang diperhitungkan dalam menahan tegangan geser yang bekerja, sedangkan dalam



Gambar 1. Skema Pembebanan Penelitian Ade Lisantono (2006)



Gambar 2. Skema Pembebanan Penelitian Pengembangan

perencanaan lentur diambil 80% dari kekuatan nominal penampang yang digunakan untuk menaha tegangan lentur yang bekerja.

Hal ini terjadi mengingat tipe keruntuhan struktur beton yang dominan disebabkan oleh geser adalah tipe keruntuhan yang tidak daktil alias termasuk tipe keruntuhan yang getas. Tipe keruntuhan yang getas ini sedapat mungkin dihindari dengan memberikan faktor keamanan pada struktur yang lebih besar dalam bentuk koefisien reduksi kekuatan penampang yang lebih kecil, sebab tipe keruntuhan getas tidak disertai dengan adanya gejala yang dapat menjadi peringatan bagi pemakai bangunan berupa deformasi yang besar sebelum runtuh. Peringatan yang baik melalui deformasi yang besar sebelum struktur mencapai keruntuhannya jelas merupakan pertimbangan yang penting dalam perencanaan.

Kuat geser nominal penampang beton dipahami sebagai kombinasi antara kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton V_c dan kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser V_s dengan hubungan sebagai berikut:

$$V_n > V_c + V_s \dots \dots \dots (2)$$

Pasal 13 SNI-2847-2013 mencantumkan batasan-batasan dalam perencanaan kekuatan penampang terhadap geser. Beberapa di antaranya yang berkaitan dengan perencanaan kekuatan penampang terhadap geser yang akan dimodelkan dalam skripsi ini adalah:

- Besarnya V_u boleh direncanakan pada titik sejarak d dari tumpuan
- Besarnya gaya geser sumbangan beton V_c adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} * b * d \dots \dots \dots (3)$$

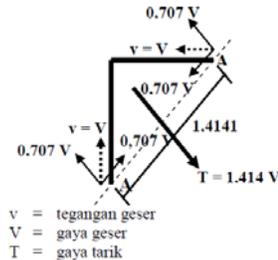
jika $V_n < 0,5 V_c$ maka tidak diperlukan penulangan geser

- Jika $V_n > V_c$, maka diperlukan penulangan geser, di mana gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan sesuai dengan persamaan 2.23 dengan jarak sengkang s :

$$V_s = \frac{A_v * f_y * d}{s} \dots \dots \dots (4)$$

Komposisi tegangan-tegangan tersebut di suatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal maksimum dalam suatu bidang yang membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok. Dengan menggunakan lingkaran Mohr dapat ditunjukkan bahwa

tegangan normal maksimum dan minimum akan bekerja pada dua bidang yang saling tegak lurus satu sama lainnya. Bidang-bidang tersebut dinamakan bidang utama dan tegangan-tegangan yang bekerja disebut tegangan-tegangan utama (lihat Gambar 3).



Gambar 3. Tegangan pada balok terlentur (Sumber: Dipohusodo, 1994)

Kejadian geser pada beton tulangan, kerusakan umumnya terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok, dan dinamakan bentang geser. Retak miring akibat geser di badan balok beton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses retak lentur yang telah mendahuluinya (lihat Gambar 4).



Gambar 4. Retak miring pada balok beton bertulang (Sumber: Dipohusodo, 1994)

METODE

Penelitian ini terdiri atas dua tahap yaitu penelitian eksperimental dan analisis terhadap data hasil penelitian. Sebelum dilaksanakan penelitian eksperimental (penelitian utama), dilakukan pengujian pendahuluan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material yang dipakai. Pelaksanaan pengujian material baja tulangan dilakukan melalui prosedur-prosedur laboratorium yang sesuai standar SNI (Standar Nasional Indonesia) tentang pengujian tarik baja tuangan. Penelitian eksperimental dilakukan dengan model uji laboratorium yaitu dengan melakukan pengujian pembebanan monotonik (*loading test*) terhadap model benda uji balok dengan bukaan ganda skala asli. Jenis penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan pengumpulan dan pengukuan data yang berbentuk angka kemudian di analisa dari fenomena data dan grafik.

Sasaran Penelitian

Sasaran penelitian ini adalah kapasitas geser balok dengan bukaan ganda di badan yang dihasilkan dapat digunakan untuk memprediksi bagaimana perilaku balok dengan bukaan ganda di badan yang terletak di atas garis tengah penampang.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian eksperimental dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) Universitas Gajah Mada (UGM) Yogyakarta sedangkan pengujian pendahuluan dilakukan di Laboratorium bahan dan material Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Waktu penelitian bulan Maret-Oktober 2015. Adapun rincian penelitian disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Waktu Penelitian

No	Penelitian	Bulan	Tempat
1	Uji Baja Tulangan	April 2015	UNESA
2	Pabrikasi Tulangan Tahap I	April 2015	UNESA
3	Pabrikasi Bekisting Tahap I	Juni 2015	UNESA
4	Pabrikasi Tulangan Tahap II	Juli 2015	PSIT
5	Pabrikasi Bekisting Tahap II	Agustus 2015	PSIT
6	Uji Pasir	Agustus 2015	PSIT
7	Uji Kerikil	Agustus 2015	PSIT
8	Pengecoran	September 2015	PSIT
9	Pengujian Balok	Oktober 2015	PSIT
10	Analisis Data	Nopember 2015	UNESA

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pasir
Pasir yang digunakan adalah pasir Lumajang yang di beli di daerah Surabaya.
2. Portland Cement (PC)
PC yang digunakan adalah PC kelas 1 sesuai persyaratan yang telah ditentukan.
3. Kerikil
Kerikil dalam penelitian ini digunakan ukuran maksimal 30 mm yang di beli di daerah Surabaya..
4. Besi Tulangan
Besi tulangan yang digunakan ada 3 jenis yaitu:
 - Diameter 13 ulir (D13)
 - Diameter 8 polos (Ø 8)
 - Diameter 6 polos (Ø 6)
5. Multiplex 3 mm

Penelitian ini menggunakan peralatan di Laboratorium, *hardware* dan *software* pendukung agar dapat dilakukan proses running perhitungan analisis dengan cepat dan akurat serta analisis hasil dan pembuatan laporan, perangkat yang digunakan antara lain:

1. Perangkat keras terdiri dari:
 - 1 unit laptop dengan spesifikasi:
 - Prosesor *Intel Core i3 T6400 2.2 GHz*
 - *Memory 2 GB*
 - *Printer HP D2400*
2. Perangkat lunak yang digunakan dalam analisis dan pelaporan antara lain:
 - Sistem Operasi *Microsoft Windows*
 - Analisis Struktur *SAP 2000 v.14*
3. Alat-alat uji balok yang terdiri dari:
 - *LVDT (Linear Variable Differential Transformer)*

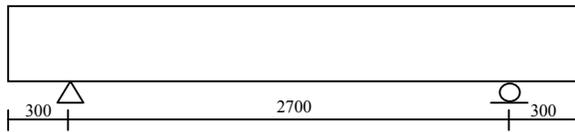
Alat ini digunakan untuk mengetahui besarnya lendutan balok pada saat uji pembebanan. LVDT yang digunakan berjumlah empat buah dengan ketelitian 0,01 mm.

- *Hidraulic Jack dan Load Cell*
Alat ini digunakan untuk mengetahui besarnya beban balok pada saat uji pembebanan.
- *Strain Gage*
Alat ini digunakan untuk mengetahui besarnya regangan pada saat uji pembebanan yang dipasang pada sengkang dan tulangan utama berjumlah dua buah .
- *Loading Frame*
Alat ini digunakan untuk melakukan serangkaian pengujian lentur dan geser pada balok.
- *Data Logger*
Alat ini digunakan untuk mencatat output data yang dihasilkan oleh LVDT dan *Strain Gage*.

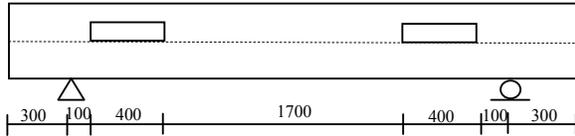
Rancangan Penelitian

Desain benda uji dalam penelitian ini dibuat dalam skala penuh 1:1 sesuai dengan balok yang ada di lapangan. Adapun gambar benda uji dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Benda uji terdiri dari 1 balok bukaan dan 1 balok pembanding dengan mutu beton rencana adalah 35 Mpa. Variasi bukaan didesain berdasarkan penelitian Ade Lisantono (2006) dengan ukuran (400x80 mm) sedangkan balok pembanding berukuran (200x300x3300 mm).

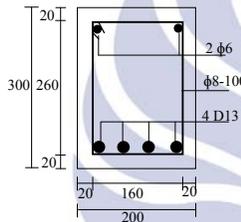
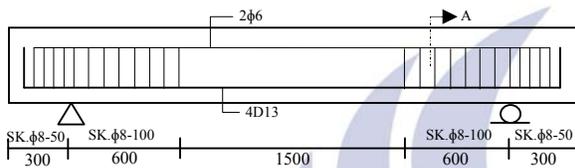
Balok pembanding selanjutnya disebut (BU), sedangkan balok bukaan disebut (BBG). Panjang dimensi 2 benda uji sebesar 3300 mm dengan jarak tumpuan 300 mm. Detail penulangan benda uji terdiri dari penulangan lentur dan geser, adapun penulangan lentur dipasang 4 D 13 dan tulangan geser Ø8-100 mm. Adapun detail benda uji ditunjukkan seperti pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 5. Balok Utuh (BU)

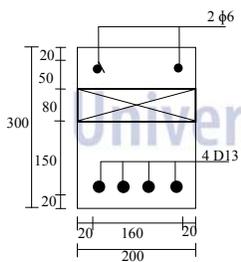
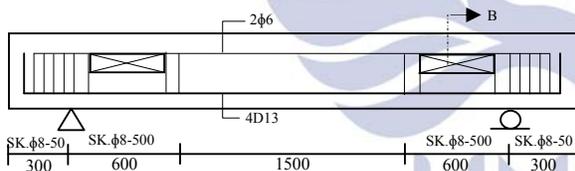


Gambar 6. Balok Berlubang (BBG)



Potongan A

Gambar 7. Detail Balok Utuh (BU)



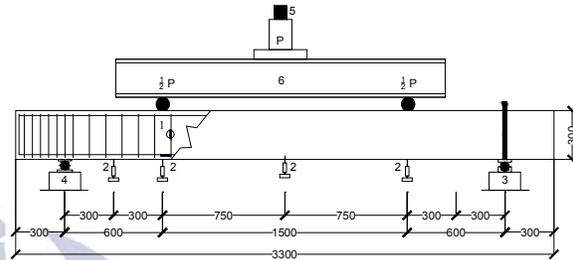
Potongan B

Gambar 8. Detail Balok Berlubang (BBG)

Pengujian dan Instrumentasi

Pengujian menggunakan alat *Hydraulic Jack* dan *Load Cell* yang disambungkan dengan *Data Logger* dalam serangkaian *Loading Frame*. Kapasitas beban sebesar 100 kN. Untuk mengukur defleksi balok digunakan LVDT dengan ketelitian 0,01 mm. LVDT dipasang ditengah bentang dan di bawah titik beban 600 mm dari tumpuan

(lihat Gambar 9). Untuk mengetahui defleksi balok di daerah lubang, maka pada tengah bukaan dipasang LVDT. Sedangkan untuk mengetahui besaran regangan yang dihasilkan oleh sengkang, maka dipasang *strain gage* pada kaki sengkang.



Gambar 9. Set up Pengujian Balok

Keterangan:

1. *Strain gage* Tulangan Geser
2. LVDT
3. Tumpuan Sendi
4. Tumpuan Rol
5. *Load cell*
6. Balok Penyalur Beban

Teknik Pengumpulan data dan Analisis

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik eksperimen, yaitu mengumpulkan data dengan cara menguji atau mengukur objek yang diuji selanjutnya mencatat data-data yang diperlukan. Sedangkan Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah statistika deskriptif kuantitatif. Adapun parameter yang diuji adalah sebagai berikut.

1. Retak miring pertama
Retak miring pertama diamati dengan cara mencatat beban pada *Load Cell* pada saat terjadi retak miring pertama terjadi atau dengan cara mengurangi beban retak miring maksimal dan kuat geser tulangan.
2. Kuat Geser tulangan (V_s)
Kuat Geser tulangan diukur saat regangan *strain gage* pada retak miring terjadi. Kemudian dikalikan dengan luas tulangan dan mutu bajanya.
3. Beban maksimal (V_u)
Beban maksimal diamati dengan cara mencatat beban sampai kondisi balok runtuh.
4. Pola runtuh balok

Pola runtuh balok didapatkan dari pengamatan langsung kerusakan balok benda uji akibat beban (P) apakah sesuai perencanaan awal balok rusak di daerah geser (gagal geser) kemudian ditambah dengan dokumentasi sebagai validasi data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Pendahuluan

Pengujian Material Penyusun Beton dilakukan di Laboratorium Material dan Bahan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. Adapun hasil pengujian material sebagai berikut:

1. Agregat Halus

Pasir dalam penelitian ini menggunakan pasir lumajang karena pada pengujian-pengujian sebelumnya pasir ini mempunyai karakteristik yang baik untuk pengisi beton sebagai agregat halus. Adapun data pengujian material ini terdiri dari kadar air, analisa saringan, berat jenis (*bulk*), berat jenis permukaan, berat jenis semu dan penyerapan (*absorbs*).

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Pengujian	Hasil		Rata-rata
		1	2	
1	Kadar air	1,90%	2,56%	2,23%
2	Analisa Saringan	ZONA 4	ZONA 4	
3	Berat Jenis (<i>bulk</i>)	0,98	0,98	0,98
4	Berat Jenis Permukaan	2,80	2,72	2,76
5	Berat Jenis Semu	2,91	2,85	2,88
6	Penyerapan	2,10	2,52	2,31

2. Agregat Kasar

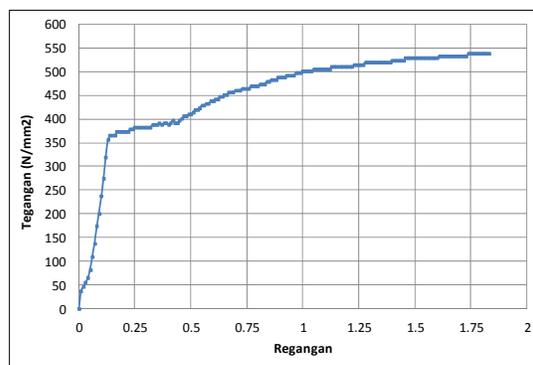
Agregat kasar dalam penelitian ini menggunakan kerikil pandaan dengan diameter 10-30 mm. pengujian agregat kasar sama seperti pengujian agregat halus namun disini perlunya pengujian keausan dari agregat kasar.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Pengujian	Hasil			Rata-rata
		1	2	3	
1	Keausan	13,60%	8,40%		11,00%
2	Kadar air	1,01%	1,21%	2,04%	1,42%
3	Analisa Saringan				
4	Berat Jenis (<i>bulk</i>)	2,53	2,53	2,88	2,65
5	Berat Jenis Permukaan	2,59	2,59	2,94	2,71
6	Berat Jenis Semu	2,70	2,68	3,06	2,81
7	Penyerapan	2,42	2,23	2,04	2,23

3. Baja Tulangan Diameter 13 Ulir

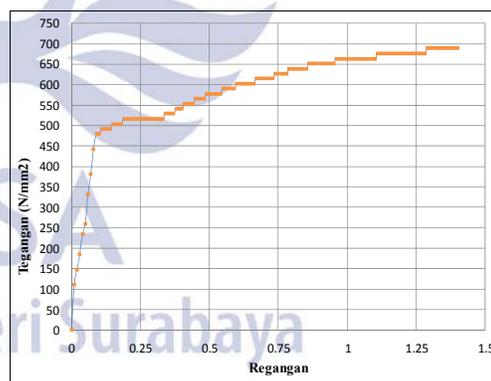
Pengujian dilakukan di Laboratorium UNESA. Adapun hasil pengujian mutu baja tulangan dapat dilihat pada gambar 10. Hasil pengujian didapatkan batas leleh rerata benda uji 1 sebesar 382,19 Mpa, rerata benda uji 2 sebesar 386,68 Mpa dan benda uji 3 sebesar 388,32 Mpa. Kemudian dari rerata 3 benda uji didapatkan rata-rata total mutu baja tulangan untuk besi tulangan ulir diameter 13 sebesar 385,73 Mpa. Mutu baja tulangan ini digunakan untuk menghitung kekuatan tarik beton yang disumbangkan oleh tulangan secara teoritis.



Gambar 10. Garfik Hubungan Tegangan dan Regangan Baja D13

4. Pengujian Baja Tulangan Diameter 8 Polos

Pengujian dilakukan ditempat yang sama dengan spesifikasi baja untuk pengujian tarik sama. Hasil uji tarik baja tulangan dapat dilihat pada gambar 11. Hasil pengujian mutu baja tulangan polos diameter 8 untuk rerata batas leleh benda uji 1 sebesar 450,74 Mpa, benda uji 2 rerata batas leleh sebesar 450,39 Mpa, dan rerata benda uji 3 sebesar 450,77 Mpa. Dari ketiga benda uji tersebut selanjutnya mencari rata-rata mutu baja tulangan dengan hasil sebesar 450,64 Mpa. Modulus elastisitas baja sebesar 118,7 Mpa dengan membagi tegangan dan regangan.



Gambar 11. Garfik Hubungan Tegangan dan Regangan Baja $\phi 8$

5. Kuat Tekan Silinder

Pengujian silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dilakukan setelah melalui perawatan dengan cara direndam selama 7 hari dan di angkat di hari ke-8 sampai kering udara pada hari ke-28. Jumlah silinder yang diuji ada 6 sampel sesuai standar pengujian silinder beton. Hasil uji kemudian di rata-rata untuk mendapatkan mutu beton karakteristik (lihat pada tabel 4).

Tabel 4. Kuat Tekan Silinder

No	Slump	Uji (kN)	Uji (N)	Luas (mm ²)	Kuat Tekan (N/mm ²)
1	10,5	590	590000	17662	33,40
2	10,5	610	610000	17662	34,54
3	11,5	700	700000	17662	39,63
4	9,5	690	690000	17662	39,07
5	10,5	610	610000	17662	34,54
6	11,5	590	590000	17662	33,40
Rata-Rata					35,86

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata (f'_c) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 di atas diperoleh hasil rata-rata 35,86 MPa. Perencanaan awal desain benda uji 35 MPa, oleh karena itu hasil pengujian kuat tekan beton memenuhi persyaratan SNI 2847 2013 yaitu pengujian harus memenuhi $\pm 3,5$ MPa dari hasil pengujian.

Hasil Eksperimen

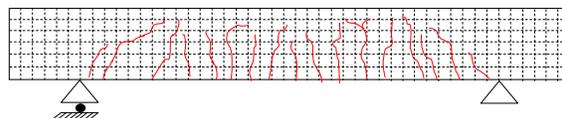
Berdasarkan hasil penelitian terhadap balok utuh dan balok berlubang dapat dikaji mengenai kuat geser balok yang diberi lubang pada badan. Hasil analisa ditabulasikan dalam tabel untuk memudahkan dalam menganalisa hasilnya. Secara garis besar hasil pengujian maupun teoritis menunjukkan bahwa balok utuh memiliki nilai kuat geser yang lebih besar dibandingkan dengan balok berlubang. Hal ini menunjukkan bahwa pengujian geser pada balok utuh dan berlubang sesuai dengan perencanaan awal. Adapun tabel perbandingan hasil pengujian dan kajian teoritis disajikan sebagai berikut.

Tabel 5. Perbandingan Teori dan Hasil Pengujian

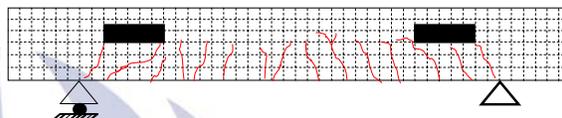
Benda Uji	Kuat Geser beton (Vc)		Kuat Geser Tulangan Geser (Vs)		Kuat Geser Ultimate (Vu)	
	Teoritis (kN)	Eksperimen (kN)	Teoritis (kN)	Eksperimen (kN)	Teoritis Vn (kN)	Eksperimen (kN)
BU	52,7	68,9	19,9	9,8	72,7	78,8
BBG	43,7	63,3	19,9	6,4	63,7	69,7

Hasil pengujian balok secara eksperimen lebih besar jika dibandingkan dengan analisa teoritis, hal ini menunjukkan bahwa pengujian geser pada balok utuh dan berlubang sesuai dengan perencanaan awal yaitu gagal geser, hal ini disebabkan oleh balok didesain kuat terhadap lentur. Selain itu balok di desain dengan rasio bentang geser sebesar 2,24 yaitu daerah geser tinggi berdasarkan Chu Kia Wang (1990). Balok mengalami

retak miring yang melewati garis penampang di daerah bentang. Retak diawali ditengah bentang menjalar vertikal kemudian retak berubah menjadi miring seiring pertambahan beban sampai balok mengalami kegagalan geser seperti yang ditunjukkan pada pola retak berikut.



Gambar 12. Pola retak Balok Utuh (BU)



Gambar 13. Pola retak Balok Berlubang (BBG)

Hasil pengujian balok menunjukkan bahwa kedua tipe balok mengalami keruntuhan geser, keruntuhan diawali dengan retak di lentur ditengah bentang kemudian retak menyeluruh ke daerah beban membentuk retak miring. Keruntuhan jenis ini tidak memberikan peringatan yang cukup sebelum balok mengalami keruntuhan yang ditandai oleh peningkatan beban yang konstan sampai mencapai beban maksimum, keretakan semua balok dalam eksperimen ini diawali dengan terjadinya retak vertikal di daerah tarik pada bagian bawah balok.

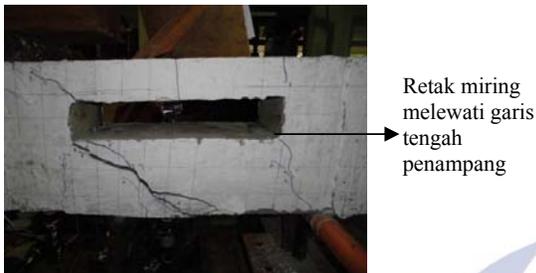
Secara teoritis kuat geser retak miring pertama (Vc) dipengaruhi oleh penampang balok dan mutu beton yang digunakan. Balok utuh dan berlubang memiliki dimensi dan mutu beton yang berbeda sehingga didapatkan hasil yang tidak sama untuk besaran Vc secara teoritis. Sedangkan untuk hasil pengujian balok memiliki dimensi yang sama sebesar 200 x 300 mm akan tetapi penampang balok berlubang berkurang 26.6% dari penampang utuh dengan dimensi lubang 400x80 mm. Sehingga didapatkan hasil yang berbeda untuk kuat geser miring pertama (Vc) kedua balok. Tabel 6 menunjukkan perbandingan antara kuat geser balok utuh dengan balok berlubang.

Tabel 6. Perbandingan Kuat Geser Beton Balok Utuh dan Berlubang

Benda Uji	(L) m	Vc Pembacaan Strain Gage (kN)	Rasio lubang thd utuh%
BU	2.7	68,99	-
BBG	2.7	63,26	9,12

Berdasarkan tabel 6 di atas menunjukkan Lubang pada balok mempengaruhi kuat geser retak miring pertama (Vc), diperoleh hasil yang berbeda dengan selisih

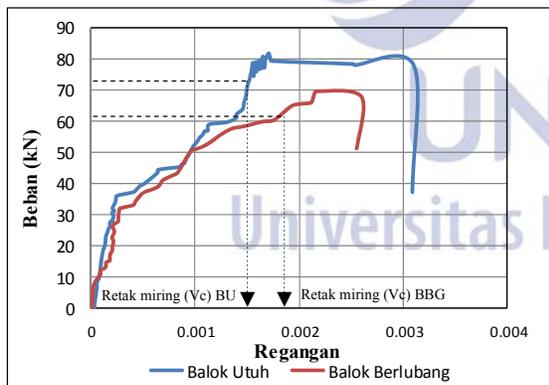
9,12% antara balok utuh dan balok berlubang. Oleh karena dengan hasil yang berbeda maka lubang pada penampang balok berpengaruh terhadap retak miring pertama (V_c). Adanya lubang membuat penampang balok berkurang dan sesuai pengujian didapatkan hasil lubang mempengaruhi kuat geser retak pertama (V_c).



Gambar 14. Retak Miring Balok Berlubang (BBG)

Letak lubang di atas garis tengah penampang mempengaruhi kuat geser beton disebabkan oleh gaya geser pada beton bekerja sampai retak miring yang melewati garis tengah penampang sebelum tulangan vertikal (sejangkang) bekerja. Sedangkan daerah bawah lubang tidak ada perkuatan sengkang maka menyebabkan kuat geser beton (V_c) berkurang.

Kuat Geser Baja (V_s) berdasarkan hasil pengujian dan teoritis memiliki nilai yang berbeda. Secara teoritis memiliki nilai sebesar 19,96 kN untuk balok utuh dan berlubang sebesar 19,92 kN, sedangkan hasil pengujian balok utuh sebesar 9,8 kN dan balok berlubang sebesar 6,4 kN. Hasil yang didapatkan menunjukkan kuat geser baja (V_s) balok utuh lebih besar jika dibandingkan dengan balok berlubang (lihat Gambar 15).



Gambar 15. Grafik Hubungan Beban (P) dengan Regangan Sengkang

Berdasarkan Gambar 15 di atas terlihat bahwa grafik sengkang pada balok utuh lebih besar beban pada saat retak miring terjadi. Hal ini menunjukkan adanya lubang mempengaruhi kuat geser baja (V_s). Balok berlubang memiliki jarak sengkang yang lebih renggang

dibandingkan dengan balok utuh sehingga menyebabkan setelah retak miring pertama (V_c) cepat mengalami runtuh. Terlihat pada grafik balok berlubang mencapai beban runtuh lebih cepat daripada balok utuh, balok utuh mencapai 78,8 kN sedangkan balok berlubang sebesar 69,7 kN. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jarak sengkang berpengaruh terhadap kuat geser.

Beban Maksimal (V_u) berdasarkan hasil pengujian dan teoritis memiliki nilai yang berbeda. Secara teoritis memiliki nilai kuat geser nominal sebesar 72,7 kN untuk balok utuh dan berlubang sebesar 63,7 kN, sedangkan hasil pengujian balok utuh sebesar 78,6 kN dan balok berlubang sebesar 69,7 kN. Hasil yang didapatkan menunjukkan kuat geser ultimate balok (V_u) balok utuh lebih besar jika dibandingkan dengan balok berlubang. Hal ini menunjukkan adanya lubang pada penampang berpengaruh terhadap kapasitas beban yang mampu ditahan oleh balok.

Secara teoritis kuat geser *ultimate* (V_u) dipengaruhi oleh kuat geser beton (V_c) dan kuat geser baja (V_s). Kuat geser beton (V_c) dan kuat geser baja (V_s) secara teoritis dan eksperimen menunjukkan hasil yang berbeda. Balok utuh memiliki nilai yang lebih besar, oleh karena itu kuat geser *ultimate* balok (V_u) balok berlubang memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan balok utuh. Kuat geser *ultimate* (V_u) balok utuh lebih besar jika dibandingkan balok berlubang, sesuai dengan penjelasan bahwa adanya lubang berpengaruh terhadap kuat geser baja (V_s) karena jarak sengkang balok berlubang menjadi lebih renggang. Dengan berkurangnya kuat geser baja secara langsung juga mengurangi kapasitas beban *ultimate* (V_u) balok (lihat Tabel 7).

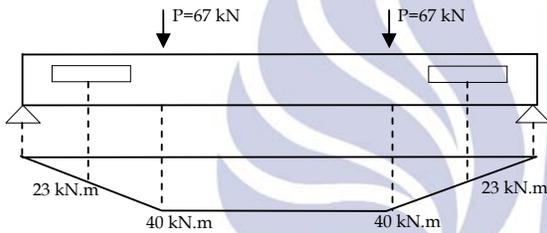
Tabel 7. Perbandingan Kuat Cadangan Balok Utuh dan Berlubang

Benda Uji	Teoritis				Eksperimental			
	V_n	V_c	$\frac{V_n}{V_c}$	%Rasio lubang thd utuh	V_u	V_c	$\frac{V_u}{V_c}$	%Rasio lubang thd utuh
BU	72	52	1,3	-	78,5	68,9	1,1	-
BBG	63	43	1,4	14,28	69,7	63,3	1,2	13,25

Tabel 7 menunjukkan rasio V_u terhadap V_c balok berlubang lebih besar jika dibandingkan dengan balok utuh. Hal ini semakin membuktikan bahwa kemampuan balok utuh memiliki kuat cadangan setelah retak miring pertama yang melewati garis tengah penampang lebih besar dibandingkan balok berlubang. Kuat cadangan balok diterima oleh sengkang dan beton, seperti penjelasan sebelumnya lubang di daerah geser

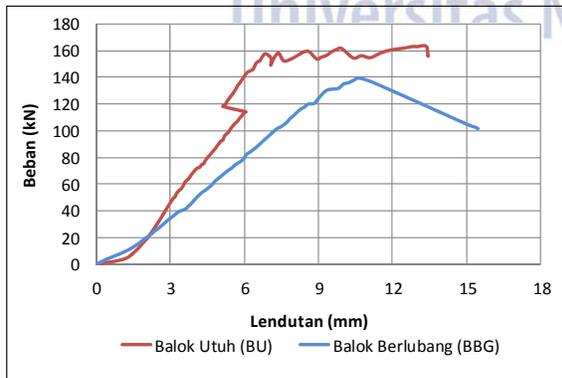
tinggi memang berpengaruh terhadap kuat geser ultimate balok. Balok utuh memiliki kuat cadangan 13,25% lebih besar dibandingkan balok berlubang. Oleh karena itu bisa disimpulkan bahwa balok berlubang memiliki kuat geser ultimate lebih kecil dibandingkan balok utuh, karena kuat cadangan yang mampu diterima oleh balok berlubang menurun 13,25% dari balok utuh.

Kegagalan balok selain dibuktikan dengan pola retak pada balok juga di cek dengan momen *ultimate* yang terjadi akibat beban P dikalikan jarak (600 mm). Secara teoritis momen yang dipakai adalah momen penampang balok (Mn) diperoleh sebesar 43 kN.m sedangkan momen *ultimate* yang terjadi sebesar 40 kN.m. Hal ini membuktikan bahwa balok mengalami gagal geser disebabkan momen ultimate yang terjadi lebih kecil daripada teoritis, maka yang terjadi pada eksperimen adalah beban yang maksimal bukan momen maksimal (lihat Gambar 16).



Gambar 16. Momen Balok Lubang

Selain kuat geser balok juga diukur lendutnya. Balok berlubang memiliki nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan balok utuh, akan tetapi nilai beban balok berlubang lebih kecil. Hal ini menunjukkan kekakuan balok utuh memang lebih besar, terbukti dari grafik hubungan beban dan lendutan balok utuh memiliki sudut yang lebih curam dengan beban yang lebih besar dan lendutan kecil (lihat Gambar 17).



Gambar 17. Grafik Hubungan Beban (P) dengan Lendutan Balok Utuh dan Berlubang

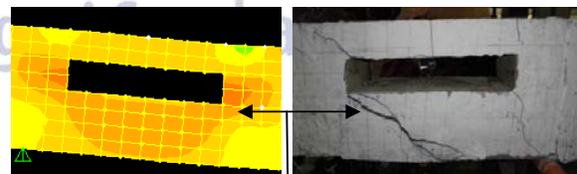
Selain dari grafik hubungan beban dan lendutan kekakuan balok juga di cek dengan beban yang sama untuk mengetahui lendutan yang terjadi. Dari grafik hubungan beban dan lendutan ditarik garis horizontal pada beban yang sama diambil 100 kN, kemudian ditarik garis vertikal untuk mendapatkan nilai lendutan. Adapun hasilnya dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

Tabel 8. Perbandingan Lendutan Balok Utuh dan Berlubang dengan Beban Sama

Benda Uji	Beban (kN)	Lendutan tengah bentang (mm)	% lendutan lubang thd utuh
BU	100	5	-
BBG	100	7	11,1

Terlihat pada tabel 8 dengan beban yang sama balok berlubang memiliki lendutan yang lebih besar. Selisih lendutan yang terjadi mencapai 11,1%, hal ini yang menyebabkan kekakuan balok berlubang menurun. Jika dihubungkan dengan kuat geser balok maka didapatkan hasil adanya lubang menyebabkan penurunan kekuatan.

Sebagai validasi penelitian maka diperlukan *software* SAP dengan metode *Element Solid*. Hasil analisa SAP digunakan untuk membandingkan hasil penelitian secara teori dan eksperimental dengan metode SAP. Adapun hasil yang diperoleh dari analisa SAP adalah berupa tegangan yang terjadi pada balok akibat beban. Berikut disajikan *out put* hasil analisa SAP.



Konsentrasi Tegangan

Gambar 18. Konsentrasi Tegangan di daerah Lubang

Terlihat pada Gambar 18 konsentrasi tegangan pada balok berlubang terpusat di bawah lubang baik dari hasil SAP dan eksperimen. Hal ini menunjukkan balok setelah retak miring tidak memiliki kuat cadangan yang cukup dalam menerima beban ultimate yang terjadi. Sehingga dari segi konsentrasi tegangan SAP masih bisa

digunakan sebagai validasi data. Tetapi untuk menampilkan besaran tegangan yang terjadi SAP belum bias dikarenakan menggunakan *element solid* yang hanya bisa membuat satu material beton saja, sedangkan besi tulangan tidak bisa disatukan dengan beton.

PENUTUP

Simpulan

Studi ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh bukaan ganda pada balok terhadap kuat geser balok. Berdasarkan hasil pengujian eksperimen yang di validasi dengan teoritis memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Bukaannya ganda dengan letak di atas garis netral berpengaruh terhadap kuat geser balok. Hasil eksperimen menunjukkan kuat geser Balok Berlubang (BBG) menurun sebesar 9,12%, karena letak lubang berada di daerah geser tinggi dengan bentang geser (a/d) 2,24 menyebabkan tegangan berlebih di bagian bawah lubang. Terbukti konsentrasi retak terpusat di bawah lubang dengan retak sebesar 9 mm. Sehingga menyebabkan kuat cadangan Balok Berlubang (BBG) menurun 13,25% dari Balok Utuh (BU).
2. Lubang di daerah geser tinggi akan mengurangi kapasitas geser ultimate (V_u) balok karena daerah lubang tidak dipasang perkuatan sengkang dan akan terjadi gagal geser di daerah lubang.

Saran

Perlu dilakukan penelitian balok bukaan di daerah geser tinggi dengan perkuatan sengkang di daerah bawah lubang.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini tidak akan terselesaikan tanpa bantuan beberapa pihak. Pertama kepada Bapak Drs. Bambang Sabariman, S.T., M.T selaku dosen pembimbing. Kedua kepada Sigit Tri Wibowo dan Mohamad Mesranto. Ketiga kepada keluarga besar S-1 Teknik Sipil 2011 B Universitas Negeri Surabaya. Terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013", BSN, 2013.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. Struktur Beton Bertulang: Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI. Jakarta : Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardjasaputra, Harianto. (2009), Pengujian dengan skala penuh pada balok beton bertulang dengan bukaan untuk pengembangan metode perencanaan tulangan

geser, Jurnal Teknik Sipil, UPH, Jakarta, ISBN No. 978-979-18342-0-9

- Lisanton, Ade dan Wigroho yoso, Haryanto. (2006), pengaruh lokasi bukaan ganda terhadap Kapasitas lentur dan geser balok beton Bertulang, Jurnal Teknik Sipil, UAJ, Yogyakarta, Volume 6 No. 2, April 2006 : 105 – 115.
- Lisanton, Ade dan Wigroho yoso, Haryanto. (2009), Pengaruh Dimensi Bukaannya Terhadap Kuat Lentur Dan Geser Balok Beton Bertulang Dengan Bukaannya Ganda, Jurnal Teknik Sipil, UAJ, Yogyakarta, Volume 8 No. 1, Oktober 2007 : 37 - 52.
- 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.
- McCormac, J., (2000), "Desain Beton Bertulang Jilid 1", Erlangga, Jakarta.
- Nawy, Edward. 2010. Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar), ITS PRESS.
- 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.
- Tim Penulis. 2014. Buku Pedoman Penulisan dan Ujian Skripsi Unesa. Surabaya: Unesa.
- UNESA. 2000. Pedoman Penulisan Artikel Jurnal, Surabaya: Lembaga Penelitian Universitas Negeri Surabaya.
- Wang, C.K. and Salmon, C.G. 1990. Desain Beton Bertulang. Edisi ke-4. Erlangga, Jakarta.