

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 03	NOMER: 03	HALAMAN: 193 - 200	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 Ainnurdin, 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 (PCA)</i> 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 PENGOPTIMASISASI PEMASANGAN LETAK BAUT 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

ANALISIS KEHILANGAN TINGGI TEKAN PADA JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR
BERSIH PDAM KECAMATAN DRIYOREJO, KABUPATEN GRESIK

Amilina Kartika Permatasari, Nurhayati Aritonang, 112 – 120

ANALISIS DESAIN JEMBATAN KOMPOSIT GELAGAR BAJA MENGGUNAKAN STRUKTUR NON-PRISMATIK

Anneke Jayanti Anggraini, Karyoto,.....121 – 129

PENGARUH PANJANG LEWATAN (*ld*) DENGAN SAMBUNGAN MEKANIS PERSEGI ENAM TERHADAP KUAT TARIK BAJA TULANGAN

Sandi Andika Surya Putra, Andang Wijaya,..... 130 – 137

STUDI PENGGUNAAN CATALYST, MONOMER, DAN KAPUR SEBAGAI MATERIAL PENYUSUN BETON RINGAN SELULER

Muhammad Fadhlurrahman Hazim, Krisna Dwi Handayani, Yogie Risdianto,138 – 149

STUDI DETAIL PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN OPENFRAME TANPA RIGID FLOOR DIAFRAGMA DAN OPENFRAME DENGAN RIGID FLOOR DIAFRAGMA BERDASARKAN SNI 1726:2002 DAN SNI 2847:2013

Devi Arsyana, Sutikno, Yogie Risdianto,.....150 – 161

STUDI DETAIL PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN OPENFRAME TANPA RIGID FLOOR DIAFRAGMA DAN OPENFRAME DENGAN RIGID FLOOR DIAFRAGMA BERDASARKAN SNI 1726:2012 DAN SNI 2847:2013

Lina Andriyani, Sutikno, Yogie Risdianto,162 – 171

STUDI PENGGUNAAN CATALYST, MONOMER, DAN FLY ASH SEBAGAI MATERIAL PENYUSUN BETON RINGAN SELULAR

Gatot Setyo Utomo, Krisna Dwi Handayani, Yogie Risdianto,172 – 179

PERENCANAAN BALOK KOMPOSIT NON-PRISMATIS JEMBATAN UNDERPASS KERETA API PADA PROYEK PEMBANGUNAN TOL SURABAYA-MOJOKERTO JAWA TIMUR

Febri Junaidi, Karyoto,180 – 192

ANALISA DAN STUDI EKSPERIMENTAL BUKAAN TUNGGAL DI ATAS GARIS TENGAH PENAMPANG TERHADAP KEKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG

Sigit Triwibowo, Bambang Sabariman,193 – 200

ANALISA DAN STUDI EKSPERIMENTAL BUKAAN TUNGGAL DI ATAS GARIS TENGAH PENAMPANG TERHADAP KEKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG

Sigit Triwibowo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

sigittriwibowo.civil@gmail.com

Bambang Sabariman

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

bambang.sabariman@gmail.com

Abstrak

Balok beton bertulang merupakan salah satu struktur utama bangunan gedung yang berfungsi sebagai penyalur beban menuju ke kolom. Kegunaan balok beton bertulang selain untuk struktur utama juga digunakan sebagai tempat untuk mengaitkan atau menempelkan instalasi air dan instalasi listik serta ducting Air Conditioner (AC) yang ditempatkan di bawah balok. Instalasi tersebut biasanya ditutup dengan menggunakan plafond sehingga akan mengurangi tinggi efektif dari ruangan. Dengan pembuatan lubang pada balok sebagai jaringan instalasi merupakan salah satu solusi yang tidak akan mengurangi tinggi efektif ruangan.

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pembuatan lubang di tengah bentang di atas garis tengah penampang terhadap kuat lentur balok. Dengan penempatan lubang berada di daerah momen maksimal dari dua titik pembebanan monotonik atau 1/3 bentang. Metode penelitian yang dilakukan adalah deskriptif kuantitatif dengan eksperimen dari dua benda uji balok dengan lebar 200 mm, tinggi 300 mm dan panjang 2700 mm, terdiri dari balok tanpa bukaan (BLN) dan balok dengan bukaan (BLB) berdimensi lebar 200 mm, tinggi 80 mm dan panjang 400 mm. Data eksperimen atau data aktual dicatat dan kemudian dibandingkan dengan data perhitungan teoritis.

Hasil penelitian dengan perhitungan teoritis benda uji BLN mempunyai momen maksimal 43,76 kN.m dengan dua beban terpusat sebesar 47,17 kN, momen retak awal 12,75 kN dengan beban 12,71 kN. Dari hasil pengujian didapatkan beban retak awal sebesar 19,86 kN dengan momen retak 17,87 kN.m, sedangkan beban maksimal pengujian meningkat 4,94% senilai 49,50 kN dengan momen maksimal 44,55 kN.m. Perhitungan teoritis benda uji BLB didapatkan momen penampang 43,79 kN dengan beban 47,20 kN, momen retak awal teoritis 12,85 kN dengan beban 12,81 kN. Hasil pengujian balok BLB mengalami retak awal pada beban 20,94 kN dengan momen retak 18,85 kN, sedangkan beban maksimal pengujian meningkat 12,64% menjadi 53,16 kN dengan momen maksimal sebesar 47,84 kN.m. Berdasarkan hasil penelitian dengan pembuatan lubang pada balok di tengah bentang di atas garis tengah penampang tidak mempengaruhi kekuatan lentur pada balok.

Kata Kunci: Kuat Lentur, balok, bukaan

Abstract

Reinforced concrete beam is one of the main structures of building which functioned to be a load distributor through the column. The function of reinforced concrete beam is not only for the main structure but also as the place to hang or stick the water installation and electricity installation and also ducting Air Conditioner (AC) which placed under the concrete beam. Those installations are usually covered by the plafond in order to decrease the high effectiveness in the room. The cavity making on beam as installation network is one of solution that will not decrease the high effectiveness of room.

The purpose of the study is to understand about cavity making in middle of disquisition above the neutral line toward flexural beam. The cavity is located in maximum moment area from two spots of load monoton or 1/3 from the disquisition. The methodology used in this study is descriptive qualitative by used the experiment from two objects experiment beam with 200 mm height, 300 mm volume and 2700 mm weight, consist of non-opener concrete beam (BLN) and opener concrete beam (BLB) with dimension 200 mm height, 80 mm volume and 400 mm weight. Experiment data or actual data is written then compared to the theoretical data calculating.

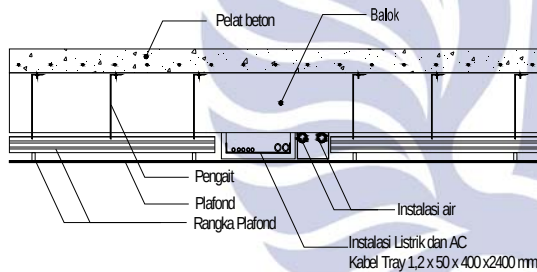
This study finds out that by teoritical calculating of two experiment objects of BLN has maximum moment approximately 43,76 Kn.m with two loads centered about 47,17 Kn, the first cracked moment is on 12,75 kN by having the load at 12,71 Kn. The result of experimental is found the first cracked load at 19,86 Kn with cracked moment 17,87 kN.m, meanwhile the maximum load of the experiment increased for 4,94% in amount of 49,50 Kn with maximum moment at 44,55 kN.m.

Theoretical calculating of experimental object of BLB is found that sectional moment at 43,79 kN with having load about 47,20 kN, theoretical of the first cracked moment at 12,85 kN with the load about 12,81 Kn. The experiment result of BLB beam is found that the first cracked on 20,94 Kn of load with cracked moment at 18,85 Kn, meanwhile the maximum load of experiment increased from 12,64% into 53,16 Kn with maximum moment about 47,84 kN.m. According to the result of this study by cavity making on the beam in middle of disquisition above the neutral line was not influencing the flexural strenght of the beam.

Key Words : Flexural Strength, beam, Opening.

PENDAHULUAN

Konstruksi bangunan gedung dengan struktur beton bertulang pada umumnya terdiri dari pondasi, sloof, kolom, dan balok. Struktur balok sering digunakan untuk tempat mengaikatkan instalasi listrik, instalasi air, dan instalasi Air conditioner (AC). Penempatan instalasi ini ditempelkan di bagian bawah balok dengan menggunakan pengait besi atau baut. Instalasi yang berada di bagian bawah balok akan mengurangi tinggi efektif dari ruangan. Dengan perencanaan lubang pada badan balok sebagai solusi tempat instalasi agar tidak mengurangi tinggi efektif ruangan tentunya memerlukan perencanaan struktur yang spesifik dibandingkan dengan balok tanpa lubang.

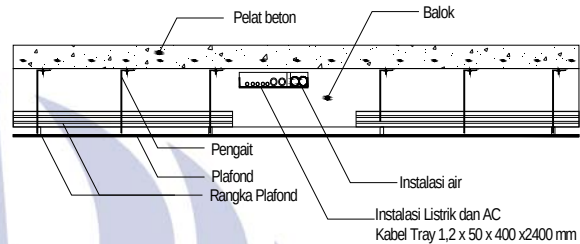


Gambar 1. Instalasi dibawah balok beton tertutup plafond

Penelitian Ade Lisantono dan Haryanto Yoso Nugroho, mengenai pengaruh lokasi bukaan ganda terhadap kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang menghasikan beban maksimum pada BO3 sebesar 2.599,74 Kg sama dengan balok tanpa bukaan sebesar 2.599,74 Kg. Penelitian menggunakan satu titik gaya di tengah bentang. Berdasarkan hasil penelitian dan kajian sebelumnya, penempatan lubang bukaan terbatas teletak pada tengah penampang balok dengan satu titik beban di tengah bentang balok.

Penelitian yang akan dilakukan dengan cara meletakkan bukaan tunggal pada badan balok untuk mengetahui kekuatan struktur balok dalam menahan dua titik beban lubang di tengah bentang di atas garis tengah penampang balok, dimana daerah tersebut merupakan daerah momen terbesar berdasarkan analisa mekanika teknik. Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka perlu dilakukan penelitian

mengenai analisa dan eksperimen kuat lentur balok. Adapun balok yang diteliti yaitu balok berlubang dan balok tanpa lubang/utuh/normal sebagai pembanding.



Gambar 2. Pembuatan lubang pada balok sebagai tempat instalasi

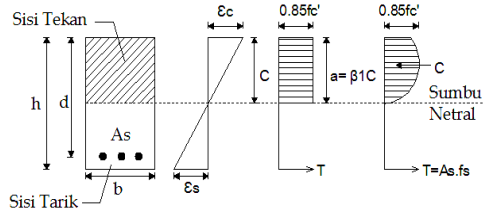
Menurut Nawy, E.G(2010:80), Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi *deformasi* dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Dengan penambahan beban, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen struktur, pada taraf pembebanan demikian disebut keadaan ultimit dari keruntuhan lentur. Tiga kelompok keruntuhan sebagai berikut :

1. Penampang *Balanced*. Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan diizinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003. Sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya, yaitu $\epsilon_y = f_y/E_c$.
2. Penampang *Over-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton tertekan. Pada saat awal keruntuhan, regangan baja es yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya, ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya, ϵ_y , kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.
3. Penampang *Under-Reinforce*. Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya panjang dengan

bertambahnya regangan diatas ϵ_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.

Kesetimbangan gaya-gaya horizontal, gaya tekan C dalam beton dan gaya tarik T dalam baja harus seimbang satu sama lain, yaitu :

$$C=T \dots\dots\dots(1)$$



Gambar 3. Distribusi tegangan dan regangan penampang balok

dengan menggunakan asumsi-sumsi sebelumnya, diagram distribusi tegangan bahwa gaya tekan C dapat ditulis $0,85 f'_c b a$, yaitu volume blok tekan pada saat atau mendekati ti ultimat ketika baja tarik telah meleleh, $\epsilon_s > \epsilon_y$. Gaya tarik T dapat ditulis sebagai $A_s f_y$.

$$0,85 f'_c b a = A_s f_y \dots\dots\dots(2)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(3)$$

Momen tahanan Penampang (M_n) :

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(3)$$

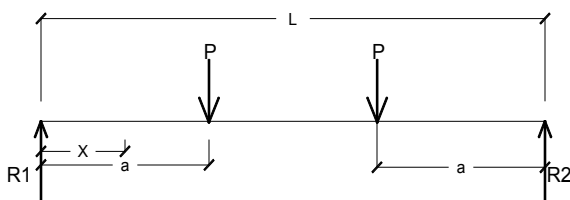
Momen retak awal (M_{cr}) :

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \dots\dots\dots(4)$$

Momen inersia efektif penampang (I_e) :

$$I_e = I_{cr} + \left(\frac{M_{cr}}{M_n} \right)^3 (I_g - I_{cr}) \leq I_g \dots\dots\dots(5)$$

Persamaan lendutan berdasarkan buku Edward G.Nawy, (270:2010). Adapun persamaan untuk mencari lendutan secara teoritis sebagai berikut:



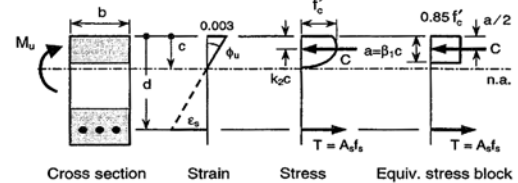
Gambar 4. Analisa lendutan balok dengan 2 titik beban

$$\Delta_{max} \text{ (ditengah)} = \frac{P \cdot a}{24 EI} (3L^2 - 4a^2) \dots\dots(6)$$

$$\Delta x \text{ (Jika } x < a) = \frac{P \cdot x}{6 EI} (3La - 3a^2 - x^2) \dots\dots(7)$$

$$\Delta x \text{ (Jika } x > a \text{ dan } < L - a) = \frac{P \cdot a}{6 EI} (3Lx - 3x^2 - a^2) \dots\dots(8)$$

Penempatan lubang diijinkan apabila tidak ada pengurangan kapasitas momen balok utama jika kedalaman minimum (h_c) dari blok tegangan tekan terpenuhi yaitu ketika :

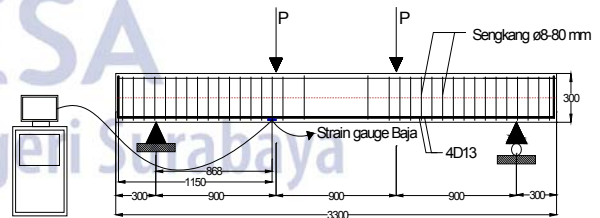


Gambar 5. Penampang balok berlubang (M.A. Mansur)

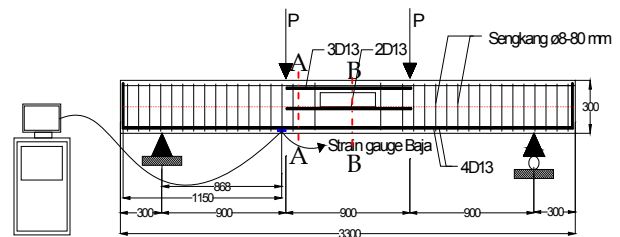
$$h_c \geq \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(9)$$

METODE

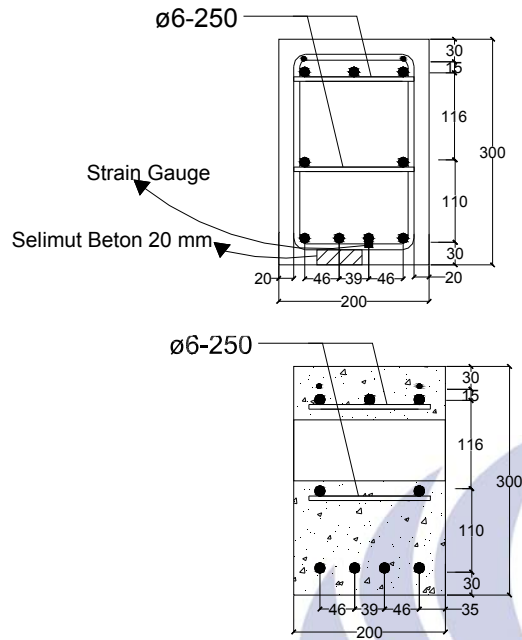
Desain benda uji balok menggunakan skala penuh yaitu 1:1 dengan ukuran balok lebar 200 mm, tinggi 300 mm dan panjang 3300 mm. Penelitian ini menggunakan 2 buah benda uji yang terdiri dari 1 buah benda uji balok tanpa bukaan (BLN), dan balok berlubang dengan lubang berukuran (80x400 mm) (BLB). Pengujian balok pada *loading frame* dengan jarak antar tumpuan rol dan sendi 2700 mm menggunakan dua titik beban terpusat. Penulangan benda uji balok menggunakan *desain Under Reinforce* dengan tulangan tarik utama 4D13, tulangan geser Ø8-80 mm dan tulangan atas 2Ø6.



Gambar 6. Balok tanpa lubang/utuh (BLN)



Gambar 7. Balok berlubang (BLB)



Gambar 8. Detail Potongan A-A dan Potongan B-B

Pengujian eksperimental balok beton bertulang dengan menggunakan bukaan tunggal ditengah balok akan menghasilkan data primer dan kemudian diolah dan dibandingkan dengan perencanaan teoritis yang penulis lakukan serta membuat validasi dengan bantuan *software*. Analisa Kuat Lentur Balok yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Pengolahan data beban dan deformasi balok kemudian dianalisis grafik hubungan beban (P) dengan lendutan
2. *Firt Crack (Mcr)* teoritis atau rencana yang akan dibandingkan dengan momen retak awal actual pengujian (*Mkra*). Analisis momen retak awal menggunakan rumus sebagai berikut :
3. Pola retak balok, diamati pada saat pengujian balok. Pola retak hasil pengujian akan dibandingkan dengan penampilan tegangan balok pada *software* dengan melihat penyebaran warna dari setiap *section*, dengan warna merah untuk tegangan tekan terbesar dan warna biru sebagai tegangan tarik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan Beton

Pengujian silinder dilakukan setelah melalui perawatan dengan cara direndam selama 7 hari dan di angkat di hari ke-8 sampai kering udaran pada hari ke-28. Adapun hasil kuat tekan silinder dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Kuat Tekan Silinder

Mutu Beton Rencana : 35 Mpa
 Tanggal Pembuatan : 17 September 2015
 Tanggal Pengujian : 26 Oktober 2015
 Tempat Pengujian : LAB PSIT UGM Yogyakarta

Benda Uji	Silinder	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
BLN	1	36.40	36.86
	2	34.54	
	3	39.63	
BLB	1	39.63	37.37
	2	39.07	
	3	33.40	

Hasil Pengujian Balok

Pengujian balok dilakukan di Laboratorium bahan dan material PSIT-UGM Yogyakarta, dengan menempatkan profil baja WF 200.100.10,5 untuk memagi menjadi dua titik beban dari *hidarolik jack*. Adapun setup pengujian balok tanpa lubang dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.

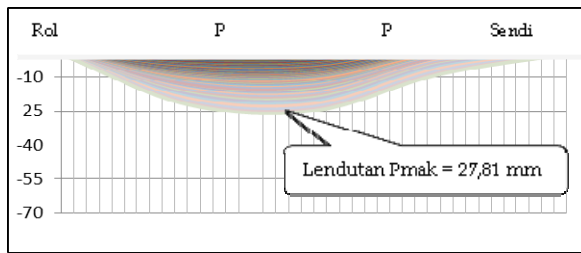


Gambar 9.. Pengujian Balok Lentur Tanpa Lubang (BLN)

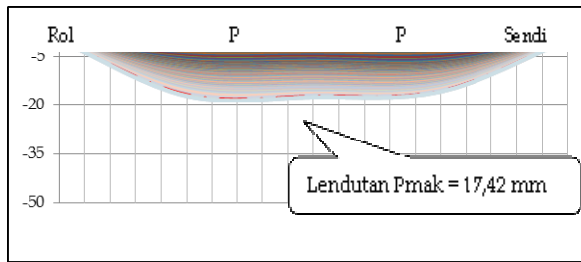


Gambar 10. Pengujian Balok Lentur Berlubang (BLB)

Lendutan pada pengujian balok bertambah seiring penambahan beban yang diberikan. Pengukuran lendutan aktual menggunakan LVDT yang ditempatkan pada 3 titik yaitu pada 2 titik di 1/3 bentang dan 1 titik di tengah bentang. Dengan menempatkan LVDT ini dapat digambarkan deformasi balok dengan menghubungkan penambahan beban dengan lendutan.



Gambar 11. Grafik Lendutan BLN



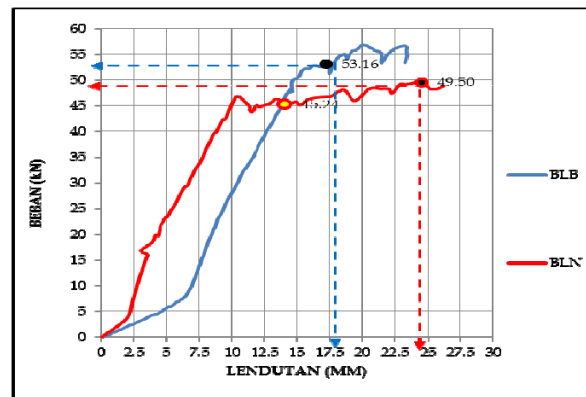
Gambar 12. Grafik Lendutan BLB

Hasil perhitungan secara teoritis dan pengujian di laboratorium selanjutnya dilakukan analisa perbandingan yang membahas perilaku lentur dari pengujian. Perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Teoritis Dan Hasil Eksperimen

Hasil	Benda Uji			
	BLN		BLB	
	Teoritis	Eks.	Teoritis	Eks.
Beban Pcrack (kN)	12,71	19,86	12,81	20,94
Beban Mak/Pmaks (kN)	47,17	48,84	47,20	53,16
Momen Retak Awal/Mcr (kN.m)	12,75	17,87	12,85	18,85
Momen Maksimal (kN.m)	43,76	44,55	43,79	47,84
Lendutan/ Δ (mm)	7,25	27,81	7,98	17,42

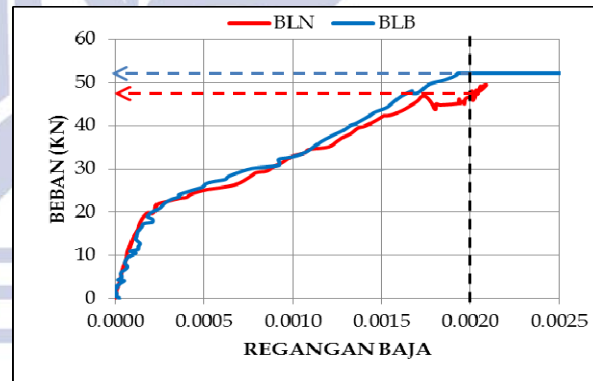
Hasil Pengujian lendutan maksimal yang terbaca pada BLN sebesar 27,81 mm dengan beban maksimal 49,50 kN lebih besar dari lendutan teoritis sebesar 7,25 mm dengan beban maksimal 47,17 kN. Sedangkan untuk BLB pada beban maksimal 47,84 kN terjadi lendutan senilai 17,42 mm lebih besar dari lendutan teoritis sebesar 7,21 mm.



Gambar 13. Beban dengan Lendutan BLB dan BLN

Berdasarkan grafik di atas lendutan dengan beban dibawah 46,74 kN benda uji BLB mengalami lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan BLN, sedangkan pada beban di atas 46,74 kN benda uji BLB mempunyai lendutan yang lebih kecil dari pada benda uji BLN .

Perencanaan penampang *uder-reinforced* bahwa keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja (ϵ_s) pada 0,002. Pada saat pengujian benda uji BLN mencapai beban 49,50 kN dan benda uji BLB mencapai beban 53,16 , menunjukkan tulangan sudah mencapai regangan lelehnya yaitu 0,002. Dapat di lihat pada gambar 14.

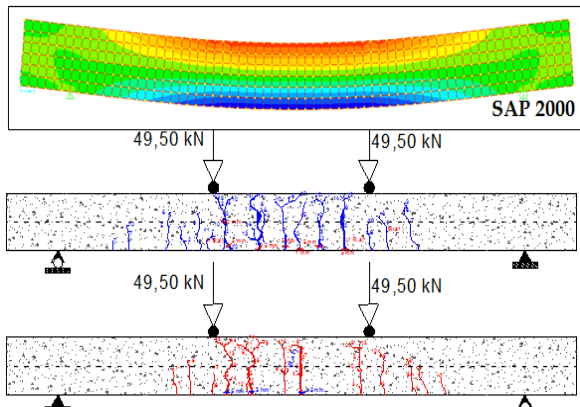


Gambar 14. Beban dan Regangan Baja Tulangan

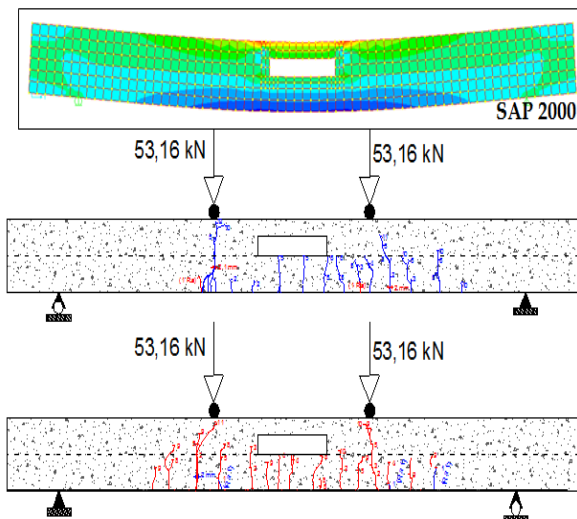
Kondisi Daerah Lubang pada Beban Maksimal Eksperimen

Hasil eksperimen di laboratorium PSIT UGM-Yogyakarta di dapatkan beban maksimal dari balok utuh BLN bertulangan tunggal sebesar 48,06 kN sedangkan balok berlubang BLB sebesar 53,16 kN. Data tersebut diperoleh dari pembacaan *Load cell* yang terekam ke dalam Data Logger. Pada beban maksimal eksperimen balok utuh mengalami 14 kali perambatan retak dengan lebar retak tertinggi 5 mm sedangkan pada balok berlubang mengalami 12 kali perambatan retak dengan

retak maksimal 2.1 mm. Kondisi daerah lubang pada beban maksimal pola retak menuju ke titik beban untuk BLN. Sedangkan pada BLB pola retak menuju ke titik P dan ke arah lubang. Pada kondisi beban maksimal baja tulangan sudah mengalami leleh yaitu 0,002 untuk BLN sedangkan BLB baja tulangan sudah mengalami regangan ultimate yaitu 0,0056.

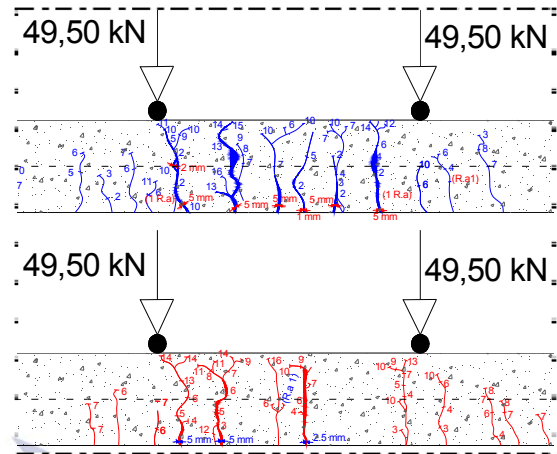


Gambar 15. Kerusakan Balok Tanpa Lubang (BLN) Pada Beban Maksimal Eksperimen

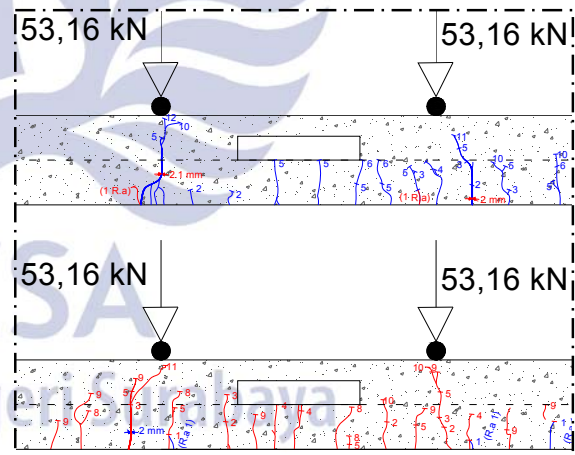


Gambar 16. Kerusakan Balok Berlubang (BLB) Pada Beban Maksimal Eksperimen

Terlihat pada pola retak balok dengan pembebanan dua titik beban yang ditandai dengan pelelehan tulangan tarik atau lentur dengan menunjukkan pola retak vertikal pada tengah bentang dan merambat ke serat tekan beton, kemudian setelah terjadi retak vertikal, penambahan beban terus dilakukan sehingga muncul retak miring-geser di dekat daerah tumpuan hingga balok tidak mampu melawan penambahan beban. Terlihat pola retak benda uji balok dibandingkan dengan bantuan SAP. 2000.v.14.0.0.



Gambar 17. Kerusakan Daerah Diatara Beban Maksimal Eksperimen Balok Tanpa Lubang (BLN)

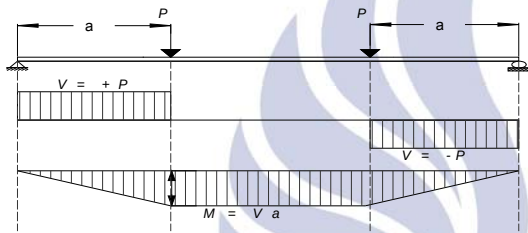


Gambar 18. Kerusakan Daerah Lubang Pada Beban Maksimal Eksperimen Balok Berlubang (BLB)

Berdasarkan gambar 15, gambar 16, gambar 17, dan gambar 18, terlihat bahwa pada beban maksimal eksperimen daerah lubang pada balok terjadi retak vertikal menuju beban dan lubang, sedangkan pada balok utuh terjadi pola retak vertikal yang lebih banyak dibandingkan dengan balok berlubang, hal ini menunjukkan bahwa teori Mansur yang menjelaskan bahwa pembuatan lubang tidak mempengaruhi kuat lentur balok dengan syarat kedalaman titik atas lubang diukur dari serat atas balok (hc) tidak kurang dari kekuatan blok tekan beton (c).

Kontrol Kekuatan Geser Balok

Pembebanan pada penelitian ini menggunakan dua titik beban monotonic yang ditempatkan pada sepertiga bentang bersih balok ($1/3 L$). Penempatan beban ini mempengaruhi tipe keruntuhan balok dengan rasio jarak tumpuan ke titik beban (a) dibagi dengan tinggi efektif balok (d).



Gambar 19. Variasi Rasio a/d terhadap geser pada balok persegi (Chu-Kia-Wang dan Charles G. Salmon, Third Edition)

Kekuatan geser nominal (V_n) balok ini diperoleh dari kontribusi tulangan sengkang (V_s) diameter 8 mm dengan jarak antar sengkang 80 mm dan kontribusi kekuatan geser beton (V_c). Untuk mencapai tujuan penelitian bahwa balok harus mengalami gagal lentur, maka benda uji harus direncanakan kuat terhadap geser pada beban maksimal eksperimen (V_u) sehingga $V_n > V_u$. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan teoritis kekuatan geser dan beban maksimal eksperimen balok disajikan pada tabel 3 dan gambar 19.

Tabel 3. Kekuatan Geser Balok

No	Benda Uji	Kuat Geser Nominal (V_n)	Kuat Geser Ultimit (V_u)
		kN	kN
1	BLN	113.91	49.50
2	BLB	114.19	53.16

Berdasarkan tabel 3 dan gambar 19. dapat diambil kesimpulan bahwa perencanaan geser nominal (V_n) lebih besar daripada geser ultimit (V_u) dengan rasio $a/d = 3,36$ pada kondisi daerah lentur-geser. Sehingga perencanaan awal bahwa balok harus mengalami kegagalan lentur terpenuhi, dibuktikan pada beban maksimal tidak terjadi kegagalan geser pada balok.

PENUTUP

Simpulan

Hasil penelitian dengan dua benda uji balok dengan dimensi lebar 200 mm, tinggi 300 mm dan panjang 2700 mm, terdiri dari balok tanpa bukaan (BLN) dan balok dengan bukaan atau lubang (BLB). Lubang pada balok dengan dimensi lebar 200 mm, tinggi 80 mm dan panjang 400 mm berada di tempatkan di tengah bentang di atas garis tengah penampang penampang balok. Mutu beton aktual pada benda uji BLN sebesar 36,87 Mpa, sedangkan benda uji BLB dengan mutu beton aktual sebesar 37,38 Mpa. Pengujian besi tulangan utama yaitu diameter 11,93 mm sebesar 385,73 Mpa.

Benda uji balok utuh (BLN) menghasilkan momen maksimal teoritis sebesar 43,76 kN.m, hasil pemodelan SAP 44,04 kN.m, sedangkan hasil momen maksimal eksperimen sebesar 44,55 kN.m. Dari hasil tersebut benda uji mengalami peningkatan dari teoritis dengan hasil SAP yaitu 0,64 % sedangkan hasil SAP dengan eksperimen meningkat sebesar 1,15%. Sehingga balok pada saat pengujian sudah mencapai momen rencana yang sudah diperhitungkan sesuai dengan perhitungan teoritis sebelumnya. Sedangkan Benda uji balok berlubang (BLB) dari hasil perhitungan teoritis didapatkan momen maksimal sebesar 43,79 kN meningkat pada pemodelan dengan menggunakan SAP sebesar 18,40% menjadi 51,85%, sedangkan dari hasil eksperimen balok BLB didapatkan momen sebesar 47,84 kN.m menurun -8,39% dari hasil pemodelan SAP.

Berdasarkan hasil analisa dan uji ekperimental balok berlubang tidak mengurangi kuat lentur balok. Sehingga dapat diterapkan di konstruksi bangunan untuk instalasi-instalasi dengan pembuatan lubang di tengah bentang di atas garis tengah penampang balok dengan syarat kedalaman lubang yang di ukur dari serat atas penampang balok (hc) tidak lebih besar dari tinggi blok tegangan tekan pada balok (a). Selanjutnya, untuk menambah kemandirian balok berlubang perlu ditambahkan tulangan perkuatan di atas lubang maupun dibawah lubang.

Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai balok berlubang:

1. Penambahan variasi lubang pada balok untuk mengetahui seberapa besar kekuatan penampang balok berlubang
2. Pemasangan Pipa atau kabel tray langsung pada balok apabila balok berlubang direncanakan untuk lubang pipa atau kabel tray.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1990. *Standar Nasional Indonesia 1974 Tata Cara Pengujian Kuat Tekan Beton*: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 1995. *Standar Nasional Indonesia 3976 Tata Cara Pengadukan dan Pengecoran Beton*: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 1998. *Standar Nasional Indonesia 0408 Tata Cara Pengujian Tarik Baja Tulangan*: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2000. *Standar Nasional Indonesia 2834 Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2011. *Standar Nasional Indonesia 4431 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Beban*: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2013. *SNI Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*: Badan Standarisasi Nasional.
- Asroni Ali, 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 03-2834-1993, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*'.
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.
- Buku Pedoman Skripsi. 2014. *Tim Penyusun Buku Penulisan Skripsi Program Strata Satu (S-1)*, Universitas Negeri Surabaya : Surabaya
- Edwarg G.Nawry, 2010. *Beton Bertulang, Suatu Pendekatan Dasar. Edisi Pertama*. PT. Refika Aditama: Bandung.
- Gere, J.M. ., Timoshenko, S.P. 2000. *Mekanika Bahan Jilid 1 Edisi Ke4*. Erlangga: Jakarta.
- Lisantono Ade, 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.
- Mansur, M.A, 2006. *Design of Reinforced Concrete Beams With Web Openings*, ACI Journal, Proceedings of the 6th, Sept, 5-6. Kuala Lumpur, Malaysia.
- McCormac, Jack C. 2000. *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga
- Noorhidana, Vera A. 2011. *Pengaruh Pelubangan Pada Badan Balok Beton Bertulang Terhadap Kapasitas Beban Lentur*. Jurnal Rekayasa. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Volume 15, Nomor 2, Agustus 152-162.
- Silalahi Magantar, 2004. *Analisa dan Kajian Eksperimental Balok Beton Bertulang*. Program Pasca Sarjana, Universitas Sumatera. Medan
- UNESA. 2000. *Pedoman Penulisan Artikel Jurnal*, Surabaya: Lembaga Penelitian Universitas Negeri Surabaya.
- Wang, Chu-Kia ., Salmon , Charles G. 1986. *Desain Beton Bertulang Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.