

PENGARUH VARIASI LUAS PIPA PADA ELEMEN BALOK BETON BERTULANG TERHADAP KUAT LENTUR

Million Tandiono

H. Manalip, Steenie E. Wallah

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi

Email : tan.million8@gmail.com

ABSTRAK

Balok beton bertulang sebagai elemen struktur yang cukup besar perannya dalam memikul beban, terutama untuk memikul beban lentur. Dimensi penampang balok beton bertulang akan mempengaruhi balok tersebut dalam peranannya memikul beban lentur. Terkadang dijumpai adanya pemasangan pipa pada elemen balok yang mempengaruhi balok tersebut dalam peranannya memikul beban lentur.

Pada skripsi ini akan membahas pengaruh variasi luas penampang pipa pada elemen balok dan batas maksimum besar dimensi luas penampang pipa yang dapat dipasang pada elemen balok.

Untuk pengkajian kuat lentur, dimensi benda uji balok beton bertulang yang digunakan berukuran (150x150x600) mm tanpa pipa, (150 x 150 x 600) mm dengan diameter pipa 1/2", (150 x 150 x 600) mm dengan diameter pipa 1" dan (150 x 150 x 600) mm dengan diameter pipa 1 1/2", dengan diameter tulangan utama yang digunakan adalah Ø8. Untuk pengujian kuat tekan menggunakan benda uji kubus berukuran (150x150x150) mm dengan kuat tekan rencana 20 MPa.

Dari hasil penelitian diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 25,594 MPa. Kuat lentur rata-rata diperoleh adalah pada benda uji A (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa = 6,367 MPa, B (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2" = 5,192 MPa, C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1" = 3,798 MPa, D (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2" = 1,972 MPa.

Dari hasil hubungan antara kuat lentur dengan variasi luas penampang pipa pada dimensi benda uji menunjukkan bahwa semakin besar dimensi pipa pada benda uji, maka kuat lentur yang dihasilkan akan semakin kecil.

Kata Kunci : Balok beton Bertulang, Variasi Luas Penampang Pipa, Kuat Lentur, Lubang pada balok.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton bertulang merupakan gabungan yang logis dari dua jenis bahan, yaitu: beton porous yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi mempunyai kekuatan tarik yang rendah, dan baja tulangan yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan demikian prinsip-prinsip yang mengatur perencanaan struktur dari beton bertulang dalam beberapa hal berbeda dengan prinsip-prinsip yang mengatur struktur dari bahan yang terdiri dari satu macam saja.

Secara umum pembahasan analitis dan desain dilakukan secara terpisah, tetapi untuk struktur beton bertulang kedua bahasan ini dalam prosedur perencanaannya merupakan satu siklus, karena umumnya sistem struktur beton bertulang merupakan sistem struktur statis tak tentu, di mana dimensi penampang elemen harus ditetapkan terlebih dahulu bagi analitis sebelum dilakukan desain akhir. Dan balok sebagai elemen struktur yang sekarang dijumpai dalam aplikasi di lapangan merupakan elemen yang cukup besar peranannya dalam memikul beban, terutama untuk memikul beban lentur.

Namun sekarang ini, dunia teknik sipil, khususnya pada bangunan bertingkat, karena tuntutan estetika, masih ditemukan pemasangan pipa didalam elemen balok (salah satu nya seperti pemasangan pipa air pada fire sprinkler). Sehingga mengakibatkan terjadi pengurangan luas penampang balok tersebut dalam peranannya memikul beban lentur. Dengan demikian, dapat dilakukan pengujian kuat lentur balok beton bertulang dengan variasi luas penampang pipa pada balok.

Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang ada dapat dirumuskan sebuah masalah sebagai berikut:

“Bagaimana Pengaruh Variasi Luas Penampang Pipa Pada Elemen Balok Beton Bertulang Terhadap Kuat Lentur?”

Tujuan Penelitian

Penelitian Ini Dilakukan Dengan Tujuan Untuk Mengetahui Pengaruh Luas Penampang Pipa Terhadap Kuat Lentur Pada Elemen Balok Beton Bertulang.

Batasan Masalah

Agar penelitian sesuai dengan tujuan penelitian, maka dalam penelitian ini diperlukan adanya batasan - batasan masalah sebagai berikut:

1. Bahan pembentuk beton sebagai berikut:
 - a. Semen Portland
 - b. Agregat halus yang dipakai yaitu pasir dari Amurang
 - c. Agregat kasar yang dipakai yaitu kerikil dari Kema
 - d. Air yang digunakan adalah air yang tersedia di Laboraturium Beton, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi
2. Diameter pipa yang dipakai $\frac{1}{2}$ " , 1" dan $1 \frac{1}{2}$ " atau luas lubang yang dihasilkan pipa 2%, 4% dan 6% dari luas penampang beton.
3. Bentuk penampang balok adalah persegi, dimensi benda uji dan diameter pipa yang akan dipakai adalah :

- (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa = 4 Benda Uji
- (150 x 150 x 600) mm dengan diameter pipa $\frac{1}{2}$ " = 4 Benda Uji
- (150 x 150 x 600) mm dengan diameter pipa 1" = 4 Benda Uji
- (150 x 150 x 600) mm dengan diameter pipa $\frac{3}{2}$ " = 4 Benda Uji

4. Pipa yang dipakai adalah pipa PVC tipe AW, letak pipa berada ditengah tengah penampang balok, jumlah pipa yang dipakai pada setiap benda uji adalah 1 buah
5. Jarak antara perletakan statis tertentu adalah 45 cm.
6. Pembebanan berupa dua beban terpusat P1 dan P2, yang sama besarnya yang berjarak 15 cm satu sama lainnya.
7. Jarak antar sengkang direncanakan 10 cm, selimut beton direncanakan 25 mm.
8. Tulangan baja yang digunakan tulangan utama \varnothing 8 mm, tulangan sengkang \varnothing 6 mm.
9. Mutu beton yang direncanakan adalah 20 Mpa.
10. Perhitungan komposisi campuran beton sesuai SNI Beton 03-2834-2000
11. Pengaruh suhu, udara, dan faktor lain diabaikan.
12. Pengujian dilakukan saat beton berumur 28 hari
13. Mekanisme keruntuhan yang diamati adalah keruntuhan lentur untuk satu jenis mutu beton dengan variasi luas penampang pipa pada balok.
14. Penelitian ini dilakukan hanya untuk mengetahui pengaruh variasi luas penampang pipa pada balok terhadap kuat lentur.
15. Pelaksanaan penelitian dilakukan di di Laboraturium Struktur dan Material, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi.

LANDASAN TEORI

Material Pembentuk Beton

Beton merupakan campuran yang terdiri dari semen, air, agregat kasar dan agregat halus dengan perbandingan tertentu yang bersifat plastis pada saat pertama dibuat dan kemudian secara perlahan-lahan akan mengeras seperti batu.

Beton Bertulang

Beton kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, diperlukan tulangan untuk menahan gaya tarik dalam memikul beban-beban yang bekerja di beton. Tulangan baja tersebut diperlukan untuk beban-beban berat dalam hal mengurangi lendutan jangka panjang.

Baja Tulangan

Untuk keperluan penulangan pada suatu beton bertulang digunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis yang menguntungkan dan baja tulangan yang dipergunakan dapat berupa batang baja lonjoran atau yang lainnya.

Adapun sifat fisis batang baja tulangan yang paling penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan leleh (f_y) dan modulus elastisitas baja (E_s). Tegangan leleh baja (f_y) ditentukan melalui prosedur pengujian standard sesuai SII 0136-84 dengan ketentuan bahwa tegangan leleh adalah tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan leleh baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.

Di Indonesia produksi baja tulangan dan baja struktur telah diatur sesuai dengan SII 0136-84. Sedangkan modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan-tegangan di daerah elastis. SK SNI T-15-1991-03 menentukan bahwa nilai modulus elastisitas baja adalah 200.000MPa.

Modulus Elastisitas Beton

SNI menetapkan nilai modulus elastisitas E_c sebagai nilai variabel yang

tergantungan dari mutu beton, dan dirumuskan sebagai :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (1)$$

Dimana :

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

f'_c = mutu beton (MPa)

Perilaku Balok Beton

Bila gaya luar yang ditahan oleh beton dan baja bilangan relatif kecil, dengan tegangan pada serat terluar beton lebih kecil dari modulus tarik, seluruh serat penampang secara aktif dapat menahan beban tersebut bersama dengan baja tulangan. Konsep material homogen berlaku, dan hubungan antara momen dan tegangan dapat dirumuskan melalui persamaan.

$$\sigma_{lt} = \frac{M \cdot y}{I_g} \quad (2)$$

di mana :

σ_{lt} = Tegangan lentur (MPa)

M = Momen lentur (Nmm)

y = Jarak garis netral ke serat beton terluar yang tertekan (mm)

I_g = Momen inersia (mm⁴)

Momen Retak

Menurut peraturan SNI-03-2847-2002 menyatakan bahwa momen retak suatu penampang dapat ditentukan dari persamaan :

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \quad (3)$$

$$f_r = 0,7\sqrt{f'_c} \quad (4)$$

Di mana :

M_{cr} = Momen retak (Nmm)

f_r = Modulus keruntuhan beton (MPa)

y_t = Jarak dari garis netral ke serat beton yang mengalami tarik (mm)

Momen inersia Efektif

Momen inersia efektif didasarkan pada perkiraan jumlah retak yang mungkin terjadi yang disebabkan oleh momen yang bervariasi di sepanjang bentang. Menurut peraturan SNI-03-2847-2002 momen

inersia efektif (l_e) dapat diperoleh menggunakan persamaan :

$$l_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}}\right)^2 (l_g) + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}}\right)^3\right] l_{cr} \quad (5)$$

$$l_{cr} = \frac{1}{3} b y^3 = n A_s (d - y)^2 \quad (6)$$

dimana :

l_e = Momen inersia efektif (mm⁴)

M_{cr} = Momen retak (Nmm)

M_{maks} = Momen maksimum (Nmm)

l_g = Momen inersia (mm⁴)

l_{cr} = Momen inersia transformasi pada penampang retak (mm⁴)

Balok Beton Bertulang

Lentur Pada Balok Beton Bertulang

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang.

Pada desain ukuran penampangnya ditentukan terlebih dahulu untuk kemudian dianalisis untuk menentukan apakah penampang tersebut dapat dengan aman memikul beban luar yang diperlukan.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah :

1. Distribusi regangan dianggap linier. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernoulli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
2. Regangan pada baja dan beton disekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja
3. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

Agar keseimbangan gaya horizontal terpenuhi, gaya tekan C pada beton dan gaya tarik T pada tulangan harus saling mengimbangi, jadi haruslah :

$$C = T \quad (7)$$

Simbol-simbol yang ada pada gambar 2.1 didefinisikan sebagai berikut :

b = Lebar balok

d = Tinggi efektif

h = Tinggi total balok

A_s = Luas tulangan baja tarik

ϵ_c = Regangan pada tepi serat yang tertekan

ϵ_s = Regangan pada taraf tulangan baja yang tertarik

f'_c = Kekuatan tekan beton

f_s = Tegangan pada tulangan baja yang tertarik

y = Jarak garis netral diukur dari tepi serat yang tertekan

Jenis Keruntuhan

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami apakah akan terjadi leleh tulangan tarik ataukah hancurnya beton yang tertekan balok dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok 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 yang diizinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003
2. Penampang *ever-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.
3. Penampang *under-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.

Batas Tulangan Tarik Pada Balok Beton Bertulang

Batas tulangan tarik pada balok beton bertulang yang disyaratkan menurut SK-SNI 2002 adalah sebagai berikut :

- a. Batas tulangan tarik minimum adalah sebesar :

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (8)$$

- b. Batas tulangan tarik maksimum yang diizinkan yaitu sebesar :

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (9)$$

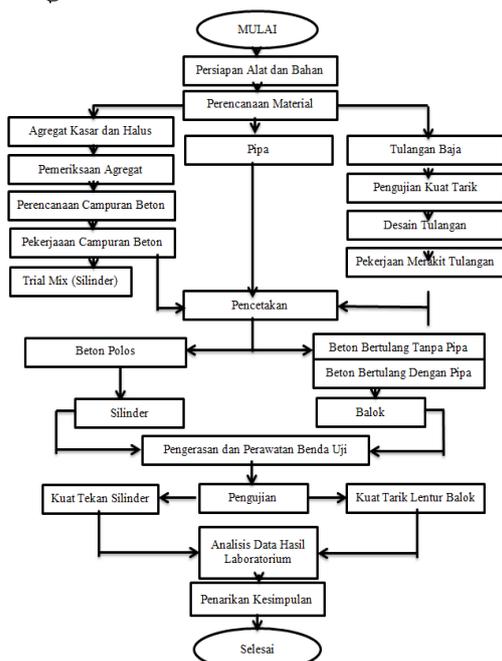
$$\rho_b = \frac{0,85 f_c - \rho_a}{f_y} \left(\frac{600}{f_y + 600} \right) \quad (10)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Umum

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan pekerjaan. Di mulai dari persiapan alat dan bahan, pemeriksaan bahan agregat, perencanaan jumlah tulangan tarik, rencana campuran dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dan pengujian benda uji. Semua pekerjaan dilakukan berpedoman pada peraturan/standard yang berlaku dengan penyesuaian terhadap kondisi dan fasilitas laboratorium yang ada. Pemeriksaan material dibatasi hanya pada material tertentu yang penting dalam perhitungan campuran.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas tentang hasil penelitian dari laboratorium untuk uji kuat lentur dengan variasi dimensi pipa pada benda uji serta hubungan antara hasil penelitian

laboratorium dan hasil perhitungan analitis.

Pengujian Kuat Tarik Baja

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja Ø8 mm. Uji tarik diperlukan agar mengetahui seberapa besar kuat tarik yang dapat dihasilkan oleh baja tersebut, pengujian kuat tarik baja menggunakan mesin tarik merek Zwick/Roell, hasil dari pengujian sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Besi (mm)	As (mm ²)	f_y (MPa)
8	50,285	622,98

Dari hasil pengujian kuat tarik baja diperoleh nilai $f_y = 622.98$ Mpa, dengan demikian kuat tarik baja yang diperoleh memenuhi syarat dalam penggunaan tulangan polos, yaitu f_y minimum baja polos sebesar 240 Mpa.

Pengujian Kuat Tekan

Dalam pengujian kuat tekan diambil empat sampel silinder ukuran (200 x 100) mm untuk mengetahui kuat tekan yang dihasilkan oleh komposisi campuran beton tersebut. Nilai kuat tekan yang direncanakan adalah sebesar 20 Mpa. Hasil pengujian kuat tekan pada umur pengujian 28 hari adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder

No.	Benda Uji	f_c (Mpa)	f_{cr} (Mpa)
1	Silinder 1	25,56	25,594
2	Silinder 2	22,92	
3	Silinder 3	24,04	
4	Silinder 4	27,80	
5	Silinder 5	27,65	

Pemeriksaan Nilai Slump

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui *workability* campuran

beton adalah dengan cara pemeriksaan nilai slump. Nilai slump merupakan nilai perbedaan tinggi dari adukan dalam suatu cetakan berbentuk kerucut terpancung dengan tinggi adukan setelah cetakan diambil. Nilai slump di ukur pada setiap pengecoran. Nilai slump yang direncanakan dalam penelitian ini adalah slump 75-150 mm.

Berikut ini adalah nilai slump yang diambil pada saat pengecoran balok:

Tabel 3 Nilai Slump Balok 150 mm x 150 mm x 600 mm Dengan Perencanaan Slump 75-150 mm

Pengecoran	Nilai Slump [mm]
A1 2 Balok 150mm x 150mm x 600 mm tanpa pipa	110
A2 2 Balok 150mm x 150mm x 600 mm tanpa pipa	108
B1 2 Balok 150mm x 150mm x 600 mm dengan pipa ½"	121
B2 2 Balok 150mm x 150mm x 600 mm dengan pipa ½"	118
C1 2 Balok 150mm x 150mm x 600 mm dengan pipa 1"	122
C2 2 Balok 150mm x 150mm x 600 mm dengan pipa 1"	120
D1 2 Balok 150mm x 150mm x 600 mm dengan pipa 1½"	115
D2 2 Balok 150mm x 150mm x 600 mm dengan pipa 1½"	113

Variasi Lubang Pipa

Dalam bagian ini akan ditinjau pengaruh penambahan diameter lubang pipa, dengan menghitung pengaruh luas penampang dan momen inersia penampang.

1. Contoh perhitungan menghitung luas penampang

- Luas Penampang Utuh
 $A_{\text{Utuh}} = B.H = (15 \text{ cm}).(15 \text{ cm}) = 225 \text{ cm}^2$

- Luas Lubang Pipa
 $A_{\text{Lubang}} = \frac{1}{4} \cdot \pi d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi.(1,6)^2 = 2.01 \text{ cm}^2$

- Luas Penampang Berlubang
 $A = A_{\text{Utuh}} - A_{\text{Lubang}} = 225 \text{ cm}^2 - 2.01 \text{ cm}^2 = 222.99 \text{ cm}^2$

2. Contoh perhitungan menghitung inersia penampang

- Inersia Penampang Utuh
 $I_{x_{\text{Utuh}}} = \frac{1}{12} \cdot B H^3 = \frac{1}{12} \cdot (15 \text{ cm}).(15 \text{ cm})^3 = 4218,75 \text{ cm}^4$

- Inersia Lubang Pipa
 $I_{x_{\text{Lubang}}} = \frac{\pi}{64} \cdot b h^3 = \frac{\pi}{64} \cdot (2.2 \text{ cm}).(2.2 \text{ cm})^3 = 1,15 \text{ cm}^4$

- Inersia Penampang Berlubang
 $I_x = I_{x_{\text{Utuh}}} - I_{x_{\text{Lubang}}} = 4218,75 \text{ cm}^4 - 1,15 \text{ cm}^4 = 4217.60 \text{ cm}^4$

Hasil perhitungan luas penampang dan momen inersia penampang selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Luas Penampang dan Inersia Penampang

Dimensi Balok		Variasi Pipa			Luas Penampang	Inersia Penampang		
B	H	A_{Utuh}	$I_{x_{\text{Utuh}}}$	d	A_{Lubang}	$I_{x_{\text{Lubang}}}$	$(A_{\text{Netto}} = A_{\text{Utuh}} - A_{\text{Lubang}})$	$(I_{x_{\text{Netto}}} = I_{x_{\text{Utuh}}} - I_{x_{\text{Lubang}}})$
cm	cm	cm ²	cm ⁴	cm	cm ²	cm ⁴	cm ²	cm ⁴
15	15	225	4218.75	0	0	0	225	4218.75
15	15	225	4218.75	2.2	3.80	1.15	221.20	4217.60
15	15	225	4218.75	3.2	8.05	5.15	216.95	4213.60
15	15	225	4218.75	4.8	18.10	26.07	206.90	4192.68

Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur menggunakan mesin tes lentur merek Control tipe 50-C1200/BFR, di mana keruntuhan yang direncanakan adalah keruntuhan tarik (under-reinforced). Dimensi benda uji yang digunakan berukuran (150 x 150 x 600) mm dengan memiliki 4 variasi yaitu tanpa pipa, dengan pipa ½", dengan pipa 1", dan dengan pipa 1½").

Hasil pengujian kuat lentur balok beton bertulang dikaji dalam tabel di bawah ini.

Tabel 5 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Benda Uji	HASIL UJI KUAT LENTUR			
	A _{nominal} (m ²)	P (kN)	Momen Maksimal (kNm)	Momok rata-rata (kNm)
A1 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa	0,0215	42.344	3.190	5.573
A2 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa		43.846	3.303	6.337
A3 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa		45.315	3.413	6.982
A4 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa		44.243	3.333	6.495
B1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"	0,0211	42.477	3.325	5.333
B2 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"		42.450	3.388	5.745
B3 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"		40.160	3.026	4.791
B4 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"		40.504	3.057	4.548
C1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1"	0,0217	39.025	2.851	3.988
C2 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1"		37.600	2.834	3.854
C3 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1"		36.330	2.740	3.437
C4 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1"		37.766	2.845	3.564
D1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"	0,0207	31.937	2.409	2.181
D2 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"		30.128	2.273	1.785
D3 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"		30.005	2.264	1.739
D4 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"		32.032	2.416	2.254

Contoh Perhitungan Mencari Kuat Lentur

1. Sampel A1 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa

Data-data :

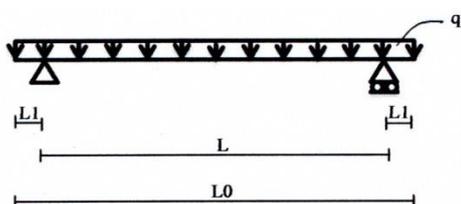
- P = 42,344 Kn = 42344 N
- b = 0,15 m = 150 mm
- h = 0,15 m = 150 mm
- d = 115 mm
- L = 0,45 m
- L1 = 0,075 m
- a1 = 0,15 m
- Wc = 2400 kg/m³
- q = b.h.Wc = 0,15.0,15.2400 = 54 kg/m = 0,54 kN/m
- P1 = $\frac{P}{2} = \frac{42,344}{2} = 21,172$ Kn

Momen Nominal (Mn) = $\frac{Mu}{\phi}$

Momen ultimate = Momen maksimal

Mmaks dari suatu penampang balok dengan dua beban terpusat terletak ditengah bentang. Dengan penurunan rumus cara statika, didapat Mmaks sebagai berikut:

- Momen akibat beban sendiri (DL):

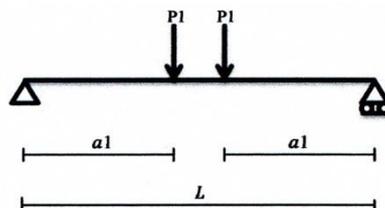


$$M_{DL} = \frac{1}{8} q (L^2 - 4L1^2)$$

$$= \frac{1}{8} 0,54 (0,45^2 - 4 \times 0,075^2)$$

$$= 0,01215 \text{ kNm}$$

- Momen akibat beban luar (LL):



$$[1,6 M_{LL}] = P1 \cdot a1 = 21,172 \cdot 0,15 = 3,176 \text{ kNm}$$

Sehingga momen ultimate yang diperoleh, yaitu:

$$Mu = 1,2 M_{DL} + [1,6 M_{LL}] = 1,2 \cdot 0,012 + 3,176 = 3,190 \text{ kNm}$$

Untuk beton bertulang yang telah mencapai beban maksimum atau yang telah mengalami keruntuhan, perhitungan kuat lenturnya menggunakan persamaan:

$$\sigma_{lt} = \frac{Mmaks \cdot y}{Ie}$$

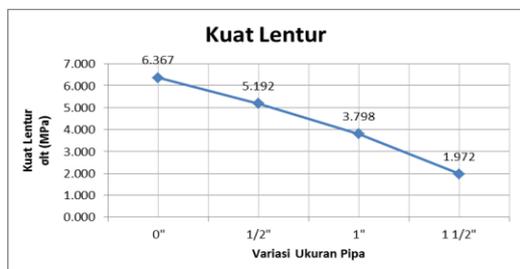
- Mmaks = 3,190 kNm = 3190000 Nmm
- As = $\frac{1}{4} \cdot (\pi \cdot D^2) = \frac{1}{4} \cdot (\pi \cdot 8^2) = 50,2857 \text{ mm}^2$
- n = $\frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{4700 \cdot \sqrt{f'c}} = \frac{200000}{4700 \cdot \sqrt{25,594}} = 8,411$
- y = $\frac{-nAs \pm \sqrt{(nAs)^2 + 2b \cdot nAs \cdot d}}{b} = \frac{-8,411 \cdot 50,2857 \pm \sqrt{(8,411 \cdot 50,2857)^2 + 2 \cdot 150 \cdot 8,411 \cdot 50,2857 \cdot 115}}{150} = 22,802 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 l_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}}\right)^2 (l_g) + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}}\right)^3\right] l_{cr} \\
 &\bullet \quad l_g = \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{12} 150 \cdot 150^3 = 42187500 \text{ mm}^4 \\
 &\bullet \quad l_{cr} = \frac{1}{3} by^3 = nA_s(d - y)^2 \\
 &= \frac{1}{3} 150 \cdot 22,802^3 = 8,411 \cdot 50,2857(115 - 22,802)^2 = 4188201,227 \text{ mm}^4 \\
 &\bullet \quad M_{cr} = \frac{f_r l_g}{y_t} = \frac{0,7 \sqrt{f_c'} l_g}{y_t} \\
 &= \frac{0,7 \cdot \sqrt{25,594} \cdot 42187500}{75} = 1992001,447 \text{ Nmm} \\
 l_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}}\right)^2 (l_g) + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}}\right)^3\right] l_{cr} \\
 &= \left(\frac{1992001,447}{3190000}\right)^2 (42187500) + \left[1 - \left(\frac{1992001,447}{3190000}\right)^3\right] 4188201,22 \\
 &= 12824379,681 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, kuat lentur untuk benda uji A1 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa bisa diperoleh, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \sigma_{lt} &= \frac{M_{maks} \cdot y}{I_e} \\
 &= \frac{3190000 \cdot 22,802}{12824379,681} \\
 &= 5,673 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

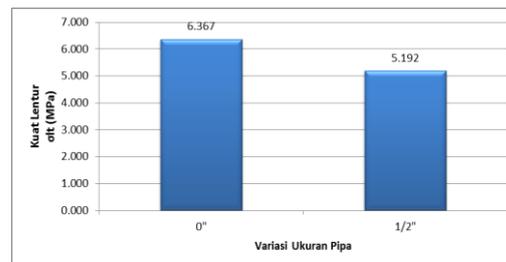
Hasil pengujian kuat lentur dengan variasi pipa pada dimensi benda uji di laboratorium dikaji dalam bentuk grafik dibawah ini:



Gambar 1 Grafik Hubungan antara Dimensi Benda Uji dengan Kuat Lentur Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 1 menunjukkan penurunan kuat lentur balok beton bertulang yang dihasilkan dari setiap peningkatan besar pipa pada benda uji balok beton bertulang.

Perubahan kuat lentur yang dihasilkan oleh benda uji dengan variasi pipa dapat dilihat melalui grafik dibawah ini:

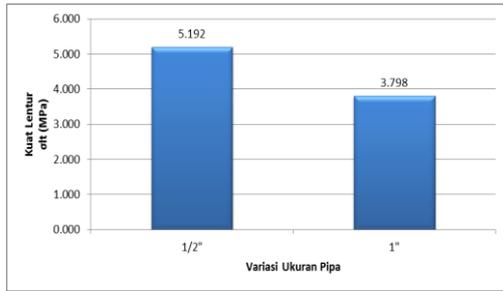


Gambar 2 Grafik Perubahan Kuat Lentur Dimensi Benda Uji A (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa dengan Kuat Lentur Dimensi Benda Uji B (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2"

Gambar 2 menunjukkan perubahan kuat lentur yang dihasilkan oleh dimensi benda uji A (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa dengan kuat lentur dimensi benda uji B (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2". perhitungan besarnya presentasi perubahan kuat lentur dimensi benda uji A (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa dengan kuat lentur dimensi benda uji B (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2" adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Presentase} &= \frac{(6,367 - 5,192)}{6,367} \times 100\% \\
 &= 18,45 \%
 \end{aligned}$$

Untuk perubahan kuat lentur yang dihasilkan oleh dimensi benda uji B (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2" dengan kuat lentur dimensi benda uji C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1" dapat dilihat melalui grafik berikut ini:

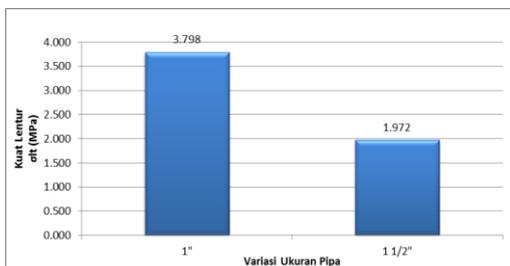


Gambar 3 Grafik Perubahan Kuat Lentur Dimensi Benda Uji B (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2" dengan Kuat Lentur Dimensi Benda Uji C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1"

Gambar 3 menunjukkan perubahan kuat lentur yang dihasilkan oleh dimensi benda uji B (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2" dengan kuat lentur dimensi benda uji C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1". perhitungan besarnya presentasi perubahan kuat lentur dimensi benda uji B (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2" dengan kuat lentur dimensi benda uji C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1" adalah sebagai berikut:

$$\text{Presentase} = \frac{(5,192 - 3,798)}{5,192} \times 100\% = 26,84\%$$

Dan untuk perubahan kuat lentur yang dihasilkan oleh dimensi benda uji C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1" dengan kuat lentur dimensi benda uji D (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2" dapat dilihat melalui grafik berikut ini:



Gambar 4 Grafik Perubahan Kuat Lentur Dimensi Benda Uji C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1" dengan Kuat Lentur Dimensi Benda Uji D (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2"

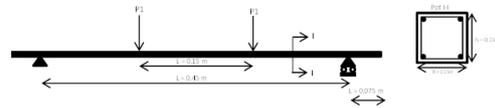
Gambar 4 menunjukkan perubahan kuat lentur yang dihasilkan oleh dimensi benda

uji C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1" dengan kuat lentur dimensi benda uji D (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2". perhitungan besarnya presentasi perubahan kuat lentur dimensi benda uji C (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1" dengan kuat lentur dimensi benda uji D (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2" adalah sebagai berikut:

$$\text{Presentase} = \frac{(3,798 - 1,972)}{3,798} \times 100\% = 48,07\%$$

Perhitungan Analitis

Perhitungan analitis untuk benda uji A1 (150 x 150 x 600) mm



Contoh Perhitungan Mencari Kuat Lentur Cara Analitis

1. Sampel A (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa

Data-data Perhitungan:

- b = 150 mm
- h = 150 mm
- d = 115 mm
- d' = 35 mm
- f_c' = 25.594 Mpa
- f_y = 622,98 Mpa
- β_1 = 0,85 m
- A_s = 50,2857 mm²
- $\rho = \frac{A_s}{bd} = 0,00291$ m
- $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,00224$

Kontrol:

- $\rho > \rho_{min}$
0,00291 > 0,00224
- $\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{f_y + 600} \right) = \frac{0,85 \cdot 25.594 \cdot 0,85}{622,98} \left(\frac{600}{622,98 + 600} \right) = 0,0171$

Kontrol

- $\rho \leq 0,75 \rho_b$

$$0,00291 \leq 0,75 \cdot 0,0171$$

$$0,00291 \leq 0,0128 \dots \text{OK}$$

Menghitung nilai α dengan persamaan berikut:

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$= \frac{50,2857 \cdot 622,98}{0,85 \cdot 25.594 \cdot 150}$$

$$= 9,599978361 \text{ mm}$$

Menghitung nilai momen nominal (Mn) menggunakan persamaan berikut:

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$= 50,2857 \cdot 622,98 \cdot \left(115 - \frac{9,5999}{2} \right)$$

$$= 3452233,79 \text{ Nmm} = 3,452 \text{ kNm}$$

Dan momen ultimate dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$M_u = \phi M_n$$

$$= 0,8 \cdot 3,452$$

$$= 2,761 \text{ kNm} = 276,1 \text{ kgm}$$

Nilai momen maksimum berada di tengah bentang sehingga bisa digunakan persamaan $M_u = M_{maksimum}$, untuk menentukan nilai beban P maksimum.

Di mana:

- $b = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$
- $h = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$
- $W_c = 2400 \text{ kg/m}^3$
- $L = 450 \text{ mm} = 0,45 \text{ m}$
- $L_1 = 75 \text{ mm} = 0,075 \text{ m}$
- $a_1 = 150 \text{ mm} = 0,150 \text{ m}$
- $q = b \cdot h \cdot W_c$
- $q = 0,15 \cdot 0,15 \cdot 2400$
- $q = 54 \text{ kg/m} = 0,54 \text{ kN/m}$
- $M_{maks} = \frac{1}{8} q (L^2 - 4L_1^2) + (P_1 \cdot a_1)$
- $M_{maks} = \frac{1}{8} 54 (0,45^2 - 4 \times 0,075^2)$

$$+ (P_1 \cdot 0,150)$$

$$= 1,215 + 0,15 \cdot P_1$$

Di mana $M_u = M_{maks}$, maka:

- $M_{maks} = 1,215 + 0,15 \cdot P_1$
- $276,1 = 1,215 + 0,15 \cdot P_1$

$$P_1 = \frac{276,1 - 1,215}{0,15}$$

$$= 1832,567 \text{ Kg} =$$

$$18,3256 \text{ kN}$$

- $P = 2 \cdot P_1$
- $P = 2 \cdot 18,3256$
- $P = 36,66 \text{ kN}$

Untuk perhitungan kuat lenturnya menggunakan persamaan, sebagai berikut:

$$\sigma_{lt} = \frac{M_{maks} \cdot y}{I_e}$$

- $M_{maks} = M_u = 2,761 \text{ kNm} = 3761000 \text{ Nmm}$

- $y = \frac{-nA_s \pm \sqrt{(nA_s)^2 + 2b \cdot nA_s \cdot d}}{b}$
- $y = \frac{-8,411 \cdot 50,2857 \pm \sqrt{(8,411 \cdot 50,2857)^2 + 2 \cdot 1508,411 \cdot 50,2857 \cdot 115}}{150}$
- $y = 22,802 \text{ mm}$

- $l_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^2 (l_g) +$

$$\left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right] l_{cr}$$

- $l_g = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} 150 \cdot 150^3 = 42187500 \text{ mm}^4$

- $l_{cr} = \frac{1}{3} b y^3 = n A_s (d - y)^2$
- $l_{cr} = \frac{1}{3} 150 \cdot 22,802^3 = 8,411 \cdot 50,2857 (115 - 22,802)^2$
- $l_{cr} = 4188201,227 \text{ mm}^4$

- $M_{cr} = \frac{f_r l_g}{y_t}$
- $M_{cr} = \frac{0,7 \sqrt{f_c'} l_g}{y_t}$
- $M_{cr} = \frac{0,7 \cdot \sqrt{25,594} \cdot 42187500}{75}$
- $M_{cr} = 1992001,447 \text{ Nmm}$

$$l_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^2 (l_g) +$$

$$\left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right] l_{cr}$$

$$= 12898721,524 \text{ mm}^4$$

Dengan demikian, kuat lentur untuk benda uji A1 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa bisa diperoleh, yaitu:

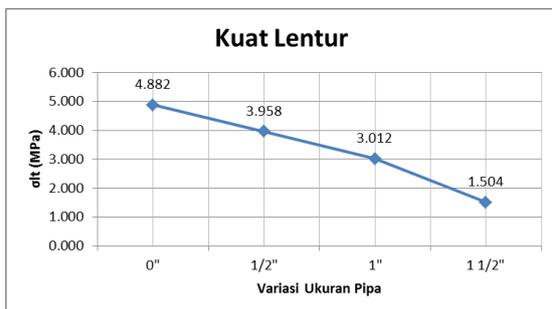
- $\sigma_{lt} = \frac{M_{maks} \cdot y}{I_e}$
- $\sigma_{lt} = \frac{3761000 \cdot 22,802}{12898721,524}$

= 4,882 Mpa

Hasil perhitungan kuat lentur balok beton bertulang dengan variasi pipa dengan cara analitis dikaji dalam tabel dan grafik dibawah ini:

Tabel 6 Hasil Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Cara Analitis

Hasil Analitis		
No.	Benda Uji	σ_c [Mpa]
1	A1 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa	4.882
2	B1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2"	3.958
3	C1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1"	3.012
4	D1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"	1.504



Gambar 5 Grafik Hubungan antara Dimensi Benda Uji dengan Kuat Lentur Hasil Perhitungan Analitis

Dari gambar 5 menunjukkan semakin besar ukuran pipa pada dimensi benda uji balok, maka semakin kecil juga kuat lentur yang dihasilkan.

Hasil Penelitian

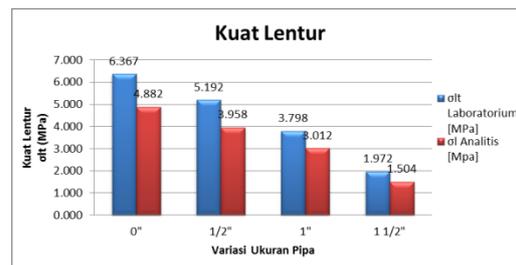
Hasil - hasil pengujian kuat lentur balok beton bertulang disajikan dalam bentuk tabel yang dibandingkan dengan hasil perhitungan analitis dan selanjutnya dikaji dalam bentuk grafik hubungan antara dimensi benda uji dengan kuat lentur.

Tabel 7 Perbandingan Kuat Lentur Hasil Penelitian di Laboratorium dengan Hasil Perhitungan Analitis

HASIL				
No.	Benda Uji	Apenampang	olt Laboratorium	olt Analitis
		(m2)	[Mpa]	[Mpa]
1	A1 (150 x 150 x 600) mm tanpa pipa	0.023	6.367	4.882
2	B1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1/2"	0.221	5.192	3.958
3	C1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1"	0.217	3.798	3.012
4	D1 (150 x 150 x 600) mm dengan pipa 1 1/2"	0.207	1.972	1.504

Berikut perbandingan hasil pengujian di laboratorium dan hasil

perhitungan analitis yang disajikan dalam bentuk grafis, sebagai berikut:



Gambar 6 Grafik Perbandingan Kuat Lentur Hasil Penelitian di Laboratorium dan Hasil Perhitungan Analitis

Dari grafik hasil pengujian kuat lentur di laboratorium maupun hasil perhitungan secara analitis, menunjukkan semakin besar ukuran pipa pada benda uji maka kuat lentur yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan ukuran pipa memberikan pengaruh terhadap kekakuan beton tersebut.

Perbedaan antara hasil kuat lentur yang didapat di laboratorium dengan cara analitis disebabkan oleh adanya faktor keamanan pada perhitungan analitis.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

- ❖ Ukuran pipa pada balok yang semakin besar akan memberikan pengaruh terhadap kuat lentur yang dihasilkan dari balok beton bertulang. Semakin besar ukuran pipa pada balok beton bertulang, kuat lentur yang dihasilkan akan semakin kecil.
- ❖ Pemasangan pipa di dalam balok sangat tidak disarankan untuk dipakai dalam perencanaan konstruksi mengingat kelemahannya yaitu mengurangi kekakuan beton. Pemasangan pipa di dalam balok merupakan alternative terakhir dalam perencanaan struktur jika

memungkinkan akan dibuat kondisi demikian.

SARAN

Berdasarkan penelitian ini, penulis memberikan saran yaitu :

- ❖ Sebaiknya dilakukan kalibrasi terlebih dahulu pada mesin uji kuat tarik baja, agar hasil yang diperoleh lebih akurat.
- ❖ Badan balok beton bertulang harus benar-benar rata (dibersihkan dari benda-benda kecil yang menempel pada badan balok) sebelum di uji pada mesin uji lentur agar didapat hasil yang akurat dan tidak terjadinya error pada monitor.
- ❖ Jika diperlukan penelitian ini dapat dilanjutkan dengan memberi perkuatan disekitar lubang dengan menambah tulangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 1991. *“Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Gedung”* (SNI T-15-1991-03). Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional 2000, *“Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”* (SNI 03-2834-2000). Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002. *“Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung”* (SNI 03-2847-2002). Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002. *“Saluran Dan Pipa Yang Ditanam Dalam Beton”* (SNI 03-2847-2002). Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *“Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung”* (SNI 03-2847-2013). Jakarta, Indonesia.
- Standar Industri Indonesia. SII 0136-84 *“Baja Tulangan Beton”*. Jakarta, Indoensia.