

PENGARUH VARIASI DIMENSI BENDA UJI TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG

Irmawati Indahriani Manangin

Marthin D. J. Sumajouw, Mielke Mondoringin

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email : irmawati.manangin@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. Untuk pengujian kuat lentur, dimensi benda uji balok beton bertulang yang digunakan berukuran (100×100×800) mm, (140×140×800) mm, dan (170×170×800) mm dengan diameter tulangan yang digunakan adalah $\emptyset 6$. Untuk pengujian kuat tekan menggunakan benda uji kubus berukuran (150×150×150) mm dengan kuat tekan rencana 25 MPa. Dari hasil penelitian diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 25,32 MPa. Kuat lentur rata-rata sebesar 17,494 MPa, 9,460 MPa, dan 4,784 MPa. Dari hasil hubungan antara kuat lentur dengan variasi dimensi benda uji menunjukkan bahwa semakin besar dimensi benda uji, maka kuat lentur yang dihasilkan akan semakin kecil.

Kata kunci : Balok Beton Bertulang, Dimensi Benda Uji, Kuat Lentur

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton merupakan bahan bangunan yang masih banyak digunakan. Karena beton memiliki banyak keuntungan, yaitu bahan pembuat beton mudah dicari dan didapat, lebih murah dan lebih praktis dalam pengerjaan serta mampu memikul beban yang cukup besar. Tetapi beton juga memiliki sisi lain yang kurang menguntungkan, yaitu rendahnya kuat tarik beton yang hampir selalu diabaikan dalam perancangan struktur.

Material konstruksi beton bertulang mempunyai sifat yang unik dibandingkan dengan material lain seperti kayu, baja, atau aluminium, karena beton bertulang adalah material konstruksi yang menggunakan dua jenis bahan yang berbeda secara bersamaan. Beton bertulang merupakan gabungan yang logis dari dua jenis bahan, yaitu: beton polos 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 perannya dalam memikul beban, terutama untuk memikul beban lentur. Sehingga dimensi penampang balok beton bertulang akan mempengaruhi balok tersebut dalam peranannya memikul beban lentur. Dengan demikian, dapat dilakukan pengujian kuat lentur balok beton bertulang dengan variasi dimensi benda uji.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dimensi benda uji terhadap kuat lentur balok beton bertulang.

LANDASAN TEORI

Material Pembentuk Beton

Beton merupakan campuran yang terdiri dari semen, air, agregat halus dengan perbandingan tertentu yang bersifat plastis pada

saat pertama dibuat dan kemudian secara perlahan-lahan akan mengeras seperti batu.

Kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SK SNI 03-2002).

Pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm (SK SNI 03-2002).

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

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 pada beton. Tulangan baja tersebut diperlukan untuk beban-beban berat dalam hal mengurangi lendutan jangka panjang.

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). SK SNI T-15-1992-03 menentukan bahwa nilai modulus elastisitas baja adalah 200.000 MPa.

Modulus Elastisitas Beton

SNI menetapkan nilai modulus elastisitas E_c sebagai nilai variabel yang tergantung dari mutu beton, dan dirumuskan sebagai:

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

Perilaku Balok Beton

Bila gaya luar yang ditahan oleh beton dan baja tulangan relatif kecil, dengan tegangan pada serat terluar beton lebih kecil dari modulus tarik, seluruh serat penampang secara efektif dapat menahan beban tersebut bersama dengan baja tulangan. Konsep material homogen berlaku, dan

hubungan antara momen dan tegangan dapat dirumuskan melalui persamaan:

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

Jarak garis netral ke serat beton terluar tekan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$y = \frac{-nA_s \pm \sqrt{(nA_s)^2 + 2b \cdot nA_s \cdot d}}{b} \quad (3)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (4)$$

Momen Retak

Menurut peraturan ACI menyatakan bahwa momen retak suatu penampang dapat ditentukan dari persamaan:

$$M_{cr} = \frac{\sigma_r I_g}{y_t} \quad (5)$$

$$f_r = 0,7\sqrt{f'_c} \quad (6)$$

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 ACI momen inersia efektif (I_e) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}}\right)^2 (I_g) + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}}\right)^3\right] I_{cr} \quad (7)$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3}by^3 + nA_s(d - y)^2 \quad (8)$$

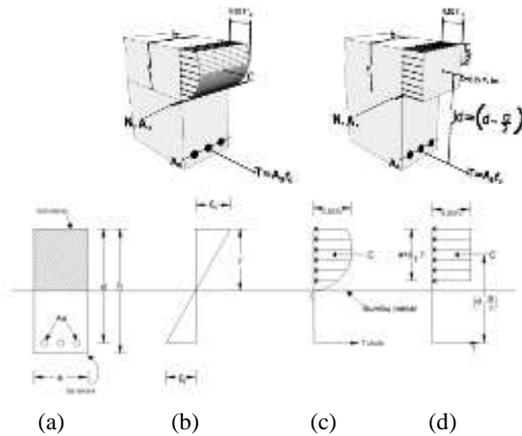
Lentur Pada Balok Beton Bertulangan Tunggal

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

$$C = T \quad (9)$$

Blok Segiempat Ekuivalen

Distribusi tegangan tekan aktual yang terjadi pada penampang mempunyai bentuk parabola seperti yang diperlihatkan pada gambar 1(c).



Gambar 1. Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok (a) penampang balok melintang, (b) regangan, (c) blok tegangan ekuivalen bentuk parabola, (d) blok tegangan ekuivalen yang diasumsikan

Blok tegangan ekuivalen ini mempunyai tinggi a dan tegangan tekan rata-rata sebesar $0,85 f'_c$, seperti terlihat pada gambar 2.1(d). Besarnya a adalah $\beta_1 \cdot y$ yang ditentukan dengan menggunakan koefisien β_1 sedemikian rupa sehingga luas balok segiempat ekuivalen kurang-lebih sama dengan blok tegangan yang terbentuk parabola. Dengan cara demikian gaya tekan C pada dasarnya sama untuk kedua jenis distribusi tegangannya.

Diagram distribusi tegangan yang diperlihatkan pada gambar 2.1(c) dapat digambarkan ulang seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.1(d). Dengan mudah kita dapat menghitung gaya tekan C sebesar $0,85 f'_c ba$, yaitu *volume* blok tekan pada atau dekat keadaan batas, yaitu bila baja tarik telah leleh ($\epsilon_s > \epsilon_c$). Gaya tarik T dapat ditulis sebagai $A_s f_y$. Jadi persamaan keseimbangan (9) dapat ditulis sebagai:

$$0,85 f'_c ba = A_s f_y \quad (10)$$

atau

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad (11)$$

Momen tahapan penampang, yaitu kekuatan nominal M_n , dapat ditulis sebagai:

$$M_n = (A_s f_y) jd \quad (12)$$

atau

$$M_n = (0,85 f'_c ba) jd \quad (13)$$

di mana jd adalah lengan momen, yaitu jarak antara gaya tarik dan tekan yang membentuk kopel. Dengan menggunakan blok tegangan segiempat ekuivalen dari gambar 1(d), maka lengan momennya adalah:

$$jd = d - \frac{a}{2}$$

Jadi momen tahapan nominal adalah:

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (14)$$

Karena $C = T$, maka persamaan momen nominal dapat dituliskan sebagai:

$$M_n = (0,85 f'_c ba) \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (15)$$

Jenis Keruntuhan

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, – apakah akan terjadi leleh tulangan tarik atau 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 over – 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 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:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (16)$$

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

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (17)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{f_y + 600} \right) \quad (18)$$

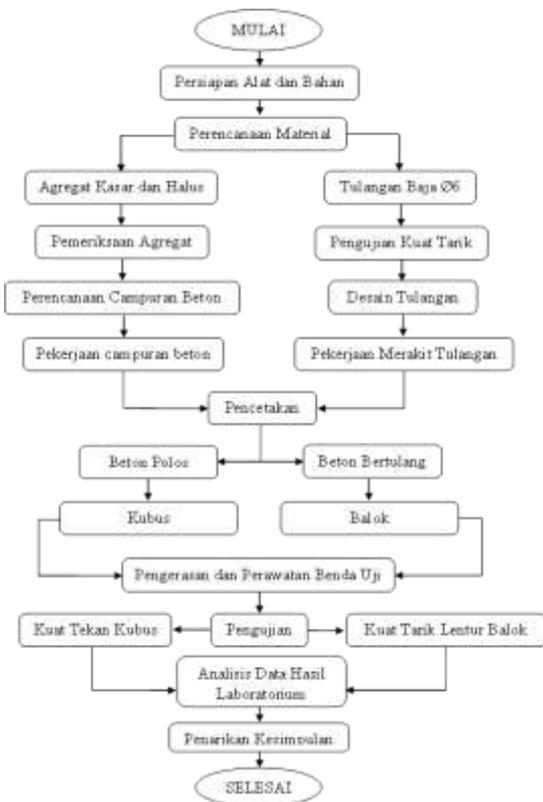
METODOLOGI PENELITIAN

Umum

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan pekerjaan. Dimulai 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

Adapun langkah-langkah penelitian tersebut divisualisasikan dalam diagram alir berikut:



Gambar 2. Diagram Prosedur Pelaksanaan Penelitian di Laboratorium

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kuat Tarik Baja

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja Ø6. 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

Baja [mm]	As [mm ²]	f _t [MPa]
6	28,27	397

Pengujian Kuat Tekan

Dalam pengujian kuat tekan diambil empat sampel kubus ukuran (150 x 150 x 150) mm untuk mengetahui kuat tekan yang dihasilkan oleh komposisi campuran beton tersebut. Nilai kuat tekan yang direncanakan adalah sebesar 25 MPa. Hasil pengujian kuat tekan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Kubus

No.	Benda Uji	P [kN]	f _c [MPa]	f _{cr} [MPa]
1	Kubus 1	571,6	25,35	25,32
2	Kubus 2	567,8	25,15	
3	Kubus 3	576,8	25,52	
4	Kubus 4	569,1	25,26	

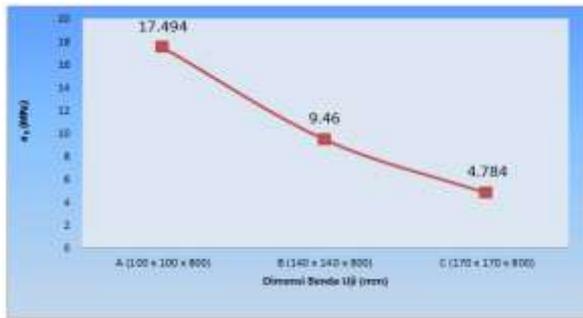
Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur menggunakan mesin tes lentur tipe ELE LTD ENGLAND, di mana keruntuhan yang direncanakan adalah keruntuhan tarik (*under-reinforced*). Dimensi benda uji yang digunakan bervariasi yaitu balok berukuran (100 x 100 x 800) mm, (140 x 140 x 800) mm, dan (170 x 170 x 800) mm. Hasil pengujian kuat lentur balok beton bertulang dikaji dalam tabel di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

HASIL UJI KUAT LENTUR						
No	Benda Uji	A _{geser} (m ²)	P [kN]	M _n [kNm]	M _n rata-rata [kNm]	σ _n rata-rata [MPa]
1	A1 (100 x 100 x 800) mm	0,01	12,8	1,934	1,849	18,841
2	A2 (100 x 100 x 800) mm		12,1	1,829		17,175
3	A3 (100 x 100 x 800) mm		11,8	1,784		16,467
4	B1 (140 x 140 x 800) mm	0,02	23,4	3,537	3,782	8,196
5	B2 (140 x 140 x 800) mm		25,8	3,897		10,052
6	B3 (140 x 140 x 800) mm		25,9	3,912		10,132
7	C1 (170 x 170 x 800) mm	0,03	32,5	4,915	4,965	4,655
8	C2 (170 x 170 x 800) mm		35,5	5,365		5,673
9	C3 (170 x 170 x 800) mm		30,5	4,615		4,023

Hasil pengujian kuat lentur balok beton bertulang di laboratorium dikaji dalam bentuk grafik, sebagai berikut:



Gambar 3. Hubungan antara Dimensi Benda Uji dengan Kuat Lentur Hasil Pengujian Laboratorium

Berikut ini adalah salah satu contoh data yang akan dipakai dalam perhitungan hasil pengujian di laboratorium untuk benda uji balok A1.

Data-data:

$$\begin{aligned}
 P &= 12,8 \text{ kN} && = 12800 \text{ N} \\
 b &= 0,10 \text{ m} && = 100 \text{ mm} \\
 h &= 0,10 \text{ m} && = 100 \text{ mm} \\
 d &= 71 \text{ mm} \\
 L &= 0,70 \text{ m} \\
 Ll &= 0,05 \text{ m} \\
 a1 &= 0,30 \text{ m} \\
 Wc &= 2300 \text{ kg/m}^3 \\
 q &= b \cdot h \cdot Wc \\
 &= 0,10 \cdot 0,10 \cdot 2300 \\
 &= 23 \text{ kg/m} = 0,23 \text{ kN/m} \\
 Pl &= \frac{P}{2} = \frac{12,8}{2} = 6,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 M_{maks} &= \frac{1}{8} qL^2 - \frac{1}{2} qLl^2 + (Pl \cdot a1) \\
 &= \frac{1}{8} (0,23)(0,70)^2 - \frac{1}{2} (0,23)(0,05)^2 + (6,4 \cdot 0,30) \\
 &= 0,0141 - 0,00029 + 1,92 \\
 &= 1,934 \text{ kNm} = 1934000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \cdot (\pi r^2) \\
 &= 2 \cdot (\pi \cdot 3^2) \\
 &= 56,549 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_s}{E_c} \\
 &= \frac{200000}{4700 \sqrt{f'_c}} \\
 &= \frac{200000}{4700 \sqrt{25,32}} \\
 &= \frac{200000}{23650} \\
 &= 8,457
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{-nA_s \pm \sqrt{(nA_s)^2 + 2b \cdot nA_s d}}{b} \\
 &= \frac{-478,235 \pm \sqrt{(478,235)^2 + 2 \cdot 100 \cdot 8,457 \cdot 56,549 \cdot 71}}{100} \\
 &= \frac{-478,235 + 2649,461}{100} \\
 &= 21,712 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_g &= \frac{1}{2} bh^3 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 100^3 \\
 &= 8333333,333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \frac{1}{3} by^3 + nA_s(d - y)^2 \\
 &= \frac{1}{3} \cdot 100 \cdot 21,712^3 + 478,235 (49,288)^2 \\
 &= 1502905,418 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} \\
 &= \frac{0,7 \sqrt{f'_c} I_g}{y_t} \\
 &= \frac{0,7 \sqrt{25,32} \cdot 8333333,333}{50} \\
 &= 587054,796 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^2 (I_g) + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right] I_{cr} \\
 &= 767826,496 + 1460871,666 \\
 &= 2228698,162 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, kuat lentur untuk benda uji A1 (100 x 100 x 800) mm bisa diperoleh, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{lt} &= \frac{M_{maks} \cdot y}{I_e} \\
 &= \frac{1934000 \cdot 21,712}{2228698,162} \\
 &= 18,841 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Analitis

Perhitungan analitis untuk benda uji A1 (100 x 100 x 800) mm, dengan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 b &= 100 \text{ mm} \\
 h &= 100 \text{ mm} \\
 d &= 71 \text{ mm} \\
 d' &= 29 \text{ mm} \\
 f'_c &= 25,32 \text{ MPa} \\
 f_y &= 397 \text{ MPa} \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 A_s &= 56,549 \text{ mm}^2 \\
 W_c &= 2300 \text{ kg/m}^3 \\
 L &= 700 \text{ mm} = 0,70 \text{ m} \\
 Ll &= 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a1 &= 300 \text{ mm} = 0,30 \text{ m} \\
 q &= b \cdot h \cdot Wc \\
 &= 0,10 \cdot 0,10 \cdot 2300 \\
 &= 23 \text{ kg/m} = 0,23 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{\frac{b \cdot d}{100 \cdot f_y}} \\
 &= \frac{56,549}{100 \cdot 71} \\
 &= 0,00796
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{397} \\
 &= 0,00353
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \rho > \rho_{min} \\
 0,00796 > 0,00353 \quad \dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25,32 \cdot 0,85}{397} \\
 &= 0,0461
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \rho \leq 0,75 \rho_b \\
 0,00796 \leq 0,0346 \quad \dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai a dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \\
 &= \frac{56,549 \cdot 397}{0,85 \cdot 25,32 \cdot 100} \\
 &= 10,43 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung nilai momen nominal (M_n) menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \cdot f_y \left(d - \frac{\alpha}{2} \right) \\
 &= 56,549 \cdot 397 \left(71 - \frac{10,43}{2} \right) \\
 &= 1476896 \text{ Nmm} = 147,70 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 M_{maks} &= \frac{1}{8} qL^2 - \frac{1}{2} qL1^2 + (P1 \cdot a1) \\
 &= \frac{1}{8} (0,23)(0,70)^2 - \frac{1}{2} (0,23)(0,05)^2 + (6,4 \cdot 0,30) \\
 &= 1,4088 - 0,0288 + 0,30P1 \\
 &= 1,38 + 0,30P1
 \end{aligned}$$

di mana $M_n = M_{maks}$, maka

$$\begin{aligned}
 M_{maks} &= 1,38 + 0,30P1 \\
 147,70 &= 1,38 + 0,30P1 \\
 0,30P1 &= 147,70 - 1,38
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{146,32}{0,30} \\
 &= 487,7 \text{ kg} \\
 &= 4,877 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= 2P1 \\
 &= 2 \cdot 4,877 \\
 &= 9,754 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung kuat lentur:

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_s}{E_c} \\
 &= \frac{200000}{4700 \sqrt{f'c}} \\
 &= \frac{200000}{4700 \sqrt{25,32}} \\
 &= \frac{200000}{23650} \\
 &= 8,457
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{-nA_s \pm \sqrt{(nA_s)^2 + 2b \cdot nA_s d}}{b} \\
 &= \frac{-478,235 \pm \sqrt{(478,235)^2 + 2 \cdot 100 \cdot 8,457 \cdot 56,549 \cdot 71}}{100} \\
 &= \frac{-478,235 + 2649,461}{100} \\
 &= 21,712 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_g &= \frac{1}{2} bh^3 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 100^3 \\
 &= 8333333,333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \frac{1}{3} by^3 + nA_s(d - y)^2 \\
 &= \frac{1}{3} \cdot 100 \cdot 21,712^3 + 478,235 (49,288)^2 \\
 &= 1502905,418 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} \\
 &= \frac{0,7 \sqrt{f'c} I_g}{y_t} \\
 &= \frac{0,7 \sqrt{25,32} \cdot 8333333,333}{50} \\
 &= 587054,796 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^2 (I_g) + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right] I_{cr} \\
 &= \left(\frac{587054,796}{1476896} \right)^2 (8333333,333) + \left[1 - \left(\frac{587054,796}{1476896} \right)^3 \right] 1502905,418 \\
 &= 1316482,36 + 1408537,127 \\
 &= 2725019,487 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, kuat lentur untuk benda uji A1 (100 x 100 x 800) mm bisa diperoleh, yaitu:

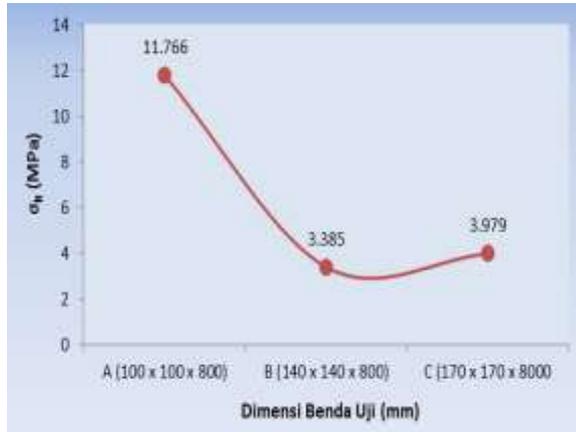
$$\begin{aligned} \sigma_{lt} &= \frac{M_{maks} \cdot y}{I_e} \\ &= \frac{1477000 \cdot 21,712}{2725019,487} \\ &= 11,766 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan momen nominal dan kuat lentur balok beton bertulang dengan cara analitis dikaji dalam tabel dan grafik di bawah ini:

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

HASIL UJI KUAT LENTUR					
No.	Benda Uji	$A_{penampang}$ (m ²)	P [kN]	Mn [kNm]	σ_s [MPa]
1	A (100 x 100 x 800) mm	0,01	9,754	1,477	11,766
2	B (140 x 140 x 800) mm	0,02	15,874	2,408	3,385
3	C (170 x 170 x 800) mm	0,03	30,354	4,593	3,979

Hasil perhitungan kuat lentur dengan cara analitis akan dikaji dalam bentuk grafik di bawah ini:



Gambar 4. Hubungan antara Dimensi Benda Uji dengan Kuat Lentur Hasil Perhitungan Analitis

PENUTUP

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat saya tarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Hasil uji kuat tarik baja yang diperoleh oleh besi Ø6 adalah 397 MPa.
2. Hasil pengujian kuat tekan dengan benda uji kubus (15 x 15 x 15) cm menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 25,32 MPa, yang sudah mendekati dengan kuat tekan rencana yaitu 25 MPa.
3. Hasil nilai momen nominal (M_n) rata-rata yang diperoleh dari pengujian di laboratorium dengan variasi dimensi benda uji, yaitu: A (100 x 100 x 800) mm = 1,849 kNm, B (140 x 140 x 800) mm = 3,782 kNm, dan C (170 x 170 x 800) mm = 4,965 kNm
4. Semakin besar dimensi benda uji maka nilai momen nominal (M_n) yang dihasilkan akan semakin besar.
5. Hasil pengujian kuat lentur rata-rata di laboratorium dengan variasi dimensi benda uji, yaitu: A (100 x 100 x 800) mm = 17,494 MPa, B (140 x 140 x 800) mm = 9,460 MPa, dan C (170 x 170 x 800) mm = 4,784 MPa.
6. Dimensi benda uji memberikan pengaruh terhadap momen inersia yang akan dihasilkan. Semakin besar dimensi benda uji, nilai momen inersia yang dihasilkan akan semakin besar. Dan semakin besar momen inersia, kuat lentur yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan hubungan antara kuat lentur dengan momen inersia adalah berbanding terbalik.

Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan ada saran yang bisa saya berikan, yaitu: Perlu dilakukan kalibrasi untuk alat uji kuat tarik baja sebelum digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. 1991. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal* (SK SNI T-15-1990-03). Cetakan Pertama, Bandung: DPU – Yayasan LPMB.

McCormac. Jack C., 2003. *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga

Nawy, E. G., 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama.

Thambah Sembiring Gurki J., 2007. *Beton Bertulang Edisi Revisi*. Bandung : Rekayasa Sains.

Vis, W. C., Gideon H. Kusuma., 1993. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang Edisi Kedua*. Erlangga.

Wahyudi, L., Syahril A. Rahim. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama