

PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN VARIASI RATIO TULANGAN TARIK

Stevie Andrian

M. D. J. Sumajouw, Reky S. Windah

Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado

Email: stevee.pai@gmail.com

ABSTRAK

Beton bertulang adalah bahan yang sangat luas dipakai dalam perencanaan konstruksi, dan diketahui banyak sekali parameter yang ada dalam pembentukan elemen beton bertulang seperti tinggi, lebar, luas penulangan, regangan baja, regangan beton, tegangan baja dan sebagainya. Tulisan ini menyajikan hasil penelitian mengenai hubungan antara jumlah tulangan tarik pada balok beton bertulang dan kekuatan lentur balok tersebut. Dari hasil penelitian eksperimental di laboratorium terhadap balok beton bertulang yang diberikan variasi tulangan tarik, maka diperoleh suatu nilai kekuatan lentur balok yang berbeda pula. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar ratio tulangan tarik maka semakin besar pula kekuatan lentur yang didapat. Dalam penelitian ini menunjukkan efisiensi penulangan dimana kita harus memperhatikan besar benda uji yang digunakan serta alat tes yang akan digunakan, karena pada pengujian ini menggunakan alat tes lentur hidrolis maka beban saat runtuh belum tercapai yang artinya pada saat baja memberikan kekuatan lawan beton sudah hancur duluan dan mesin berhenti otomatis. Untuk itu perlu adanya mesin lentur yang bekerja hingga menghasilkan beban maksimum atau beban runtuh agar bias dilihat kemampuan maksimal dari balok tersebut.

Kata kunci : Beton, Kuat Lentur, Tulangan Tarik

PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang sangat mendominasi bahan untuk konstruksi. Hal ini disebabkan bahan pembuat beton mudah didapat, lebih murah dan lebih praktis dalam pengerjaan serta mampu menahan beban yang besar. Beton Bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang direncanakan. Kekuatan, keawetan dan sifat Beton Bertulang yang lain tergantung dari sifat-sifat bahan dasar pembentuknya, nilai perbandingan bahan-bahannya, serta jumlah dan luas tulangan yang terdapat pada beton tersebut.

Menurut Mosley dan Bungay (1989) kekuatan tarik beton besarnya hanya kira-kira 10% kekuatan tekan. Oleh karena itu hampir seluruh perencanaan konstruksi beton bertulang direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik. Tulanganlah yang direncanakan untuk memikul gaya tarik.

Balok sebagai elemen struktur yang sekarang dijumpai, dalam aplikasi dilapangan

merupakan elemen yang cukup besar peranannya dalam memikul beban, terutama beban lentur. Pada perencanaan lentur balok beton bertulang, jumlah tulangan dapat ditambah atau dikurangi yang nantinya akan menyebabkan keruntuhan tarik, keruntuhan tekan dan keruntuhan seimbang.

Dilihat dari fungsi tulangan sebagai pemikul gaya tarik, maka tidak menutup kemungkinan apabila balok beton bertulang tersebut dibuat dengan jumlah dan luas tulangan yang berbeda. Oleh karena itu dalam pengujian kita akan melihat seberapa besar pengaruh perubahan jumlah dan luas tulangan pada daerah tarik terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan dimensi balok serta mutu beton yang sama. Dalam pengujian akan dilihat seberapa kuat Balok dapat menahan beban sampai mencapai titik runtuh atau hancur.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mendapatkan nilai beban maksimum yang mampu dipikul balok

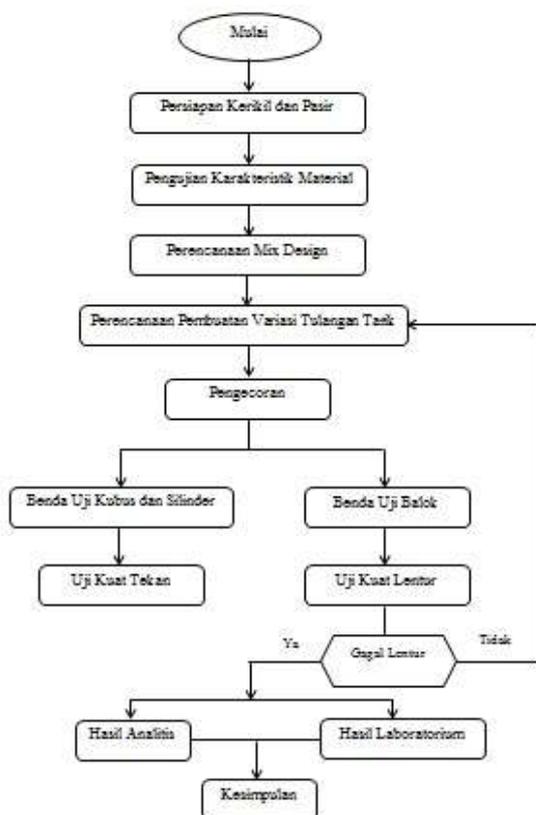
sampai hancur dengan jumlah dan luas tulangan yang berbeda.

2. Penelitian ini untuk membandingkan nilai uji lentur balok secara laboratorium dan secara analitis.

Manfaat Penelitian

- Sebagai bahan masukan bagi perencana untuk menentukan jenis keruntuhan yang akan dihasilkan
- Sebagai bahan masukan bagi perencana dalam merencanakan tulangan tarik yang akan digunakan

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan alir penelitian

LANDASAN TEORI

Tinjauan umum

Pada dasarnya beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan/material yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton Polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memilih kekuatan tarik yang

rendah. Sedangkan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan adanya kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton sedangkan gaya tarik oleh tulangan baja

Balok ataupun batang terlentur adalah salah satu diantara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Balok adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Hal ini menyebabkan balok itu melentur.

Material pembentuk balok beton

Untuk memahami dan mempelajari seluruh perilaku elemen gabungan diperlukan pengetahuan tentang karakteristik masing-masing komponen. Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya (Nawy, 1998).

Bahan pembentuk beton terdiri dari campuran agregat halus dan kasar dengan semen dan air sebagai pengikatnya.

Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda utuh, homogen dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar. Agregat dapat dibagi menjadi :

1. Agregat Kasar
2. Agregat Halus

SEMEN PORTLAND

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan secara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-

silikat kalsium yang bersifat hidrolis ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat (umumnya gips) (*CUR 2, 1993*). Semen berfungsi merekatkan butir-butir agregat agar membentuk suatu massa padat dan juga untuk mengisi rongga udara diantara butir agregat. Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika semen ditambah air akan menjadi pasta semen. Jika pasta semen ditambah agregat halus akan menjadi mortar dan jika semen ditambah air ditambah agregat halus dan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*).

AIR

Air digunakan sebagai bahan pencampur dan pengaduk beton untuk mempermudah pekerjaan. Menurut *PBBI 1971 N.I.- 2*, pemakaian air untuk beton tersebut sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Air harus bersih
2. Tidak mengandung lumpur
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti asam, zat organik
4. Tidak mengandung minyak dan alkali.
5. Tidak mengandung senyawa asam

Jenis Keruntuhan Lentur

Dengan data-data penampang, mutu beton dan tulangan yang digunakan, ada 3 kemungkinan jenis keruntuhan yang mungkin terjadi,

1. Keruntuhan Tarik (*UnderReinforced*)

Keruntuhan Tarik terjadi bila jumlah tulangan baja tarik sedikit sehingga tulangan tersebut akan leleh terlebih dahulu sebelum betonnya pecah, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) lebih besar dari regangan beton (ϵ_y). Penampang seperti itu disebut penampang *under-reinforced*, perilakunya sama seperti yang diperlihatkan pada balok uji yaitu daktail (terjadinya deformasi yang besar sebelum runtuh). Semua balok yang

direncanakan sesuai peraturan diharapkan berperilaku seperti itu.

Pada perencanaan tulangan lentur balok beton bertulang, keruntuhan tarik terjadi apabila :

$$\rho < \rho_b \quad (1)$$

2. Keruntuhan Tekan (*Over-reinforced*)

Keruntuhan Tekan terjadi bila jumlah tulangan vertical banyak maka keruntuhan dimulai dari beton sedangkan tulangan bajanya masih elastis, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) lebih kecil dari regangan beton (ϵ_y). Penampang seperti itu disebut penampang *over-reinforced*, sifat keruntuhannya adalah getas (non-daktail). Suatu kondisi yang berbahaya karena penggunaan bangunan tidak melihat adanya deformasi yang besar yang dapat dijadikan pertanda bilamana struktur tersebut mau runtuh, sehingga tidak ada kesempatan untuk menghindarinya terlebih dahulu.

Pada perencanaan tulangan lentur balok beton bertulang, keruntuhan tekan terjadi apabila :

$$\rho > \rho_b \quad (2)$$

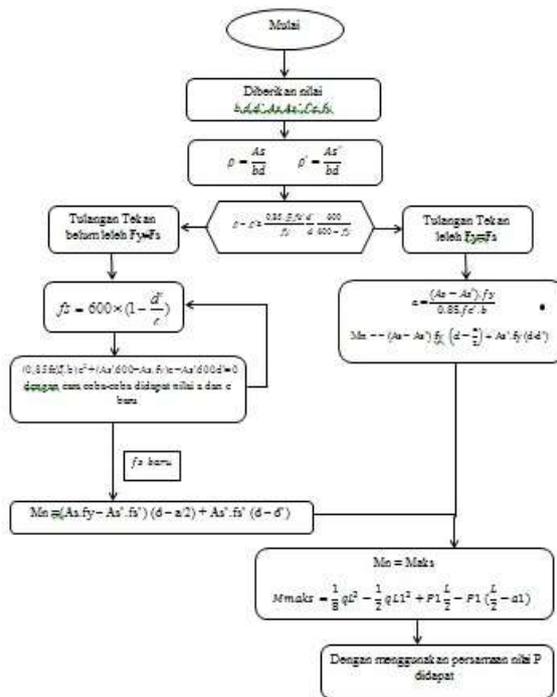
3. Keruntuhan Balance

Keruntuhan Balance terjadi jika baja dan beton tepat mencapai kuat batasnya, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) sama besar dengan regangan beton (ϵ_y). Jumlah penulangan yang menyebabkan keruntuhan balance dapat dijadikan acuan untuk menentukan apakah tulangan tarik sedikit atau tidak, sehingga sifat keruntuhan daktail atau sebaliknya.

Pada perencanaan tulangan lentur balok beton bertulang, keruntuhan balance terjadi apabila :

$$\rho = \rho_b \quad (3)$$

Diagram Perhitungan Analitis



Gambar 2. Diagram Perhitungan Analisis

Analisa Tulangan

Adapun dalam perencanaan dengan menggunakan analisa tulangan rangkap dimana. Dalam kasus tulangan rangkap bisa didapatkan kondisi pada saat tulangan tekan leleh ($f_s=f_y$) dan kondisi tulangan tekan belum leleh ($f_s \neq f_y$). Untuk kriteria tulangan tekan sudah leleh atau belum bisa digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot d' \cdot 600}{f_y \cdot (d \cdot 600 - f_y \cdot 600)} \quad (4)$$

Dari persamaan keseimbangan regangan dan tegangan untuk analisa tulangan rangkap didapat persamaan untuk menentukan nilai momen maksimum yang didapat

Untuk Kondisi Tulangan Tekan Leleh :

$$M_n = (A_s - A_s') \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (5)$$

Sedangkan untuk Tulangan Tekan Belum Leleh :

$$f_y \neq f_s$$

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{\beta_1 \cdot d'}{a}\right) 600 \quad (6)$$

Nilai f_s' dimasukkan kedalam persamaan (5) sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c^2 + ((A_s' \cdot 600) - (A_s \cdot f_y)) \cdot c - A_s' \cdot d' \cdot 600 \quad (7)$$

Dari persamaan kuadrat diatas didapat nilai a dan c yang baru. Setelah nilai a dan c didapat maka nilai f_s' baru bisa diperoleh, maka persamaan momen maksimum menjadi seperti berikut :

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s') \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A_s' \cdot f_s') \cdot (d - d') \quad (8)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan membahas tentang hasil eksperimental dari laboratorim untuk uji kuat lentur dengan variasi tulangan tarik serta hubungan antara hasil eksperimental laboratium dan hasil perhitungan analitis. Dan juga akan mengkaji keruntuhan yang diakibatkan dari balok tersebut.

Pengujian Kuat Tarik Baja

Dalam penelitian ini digunakan besi dengan berbeda ukuran, besi yang digunakan adalah besi Ø6 mm, Ø8 mm, Ø10 mm, Ø12 mm. Dimana besi Ø8, Ø10, Ø12 akan digunakan sebagai tulangan tarik adalah besi Ø6 mm akan digunakan sebagai sengkang. Uji tarik diperlukan agar mengetahui seberapa besar kuat tarik yang dapat dihasil oleh besi tersebut, pengujian kuat tarik menggunakan mesin tarik merek CONTROLS di laboratorium, hasil dari pengujian sebagai berikut

Tabel 1. Nilai pemeriksaan kuat tarik besi

Besi	As [mm ²]	Fy[MPa]
8	50.24	298.7
10	78.5	315.5
12	113.04	383.5
	Fy rata-rata	332.56

Dari hasil pengujian kuat tarik menunjukkan kekuatan tarik baja yang ada sudah bisa memenuhi nilai f_y minimum baja sebesar 240 MPa, maka besi bisa digunakan untuk perencanaan balok beton bertulang.

Pengujian Karakteristik Material

Pada penelitian ini kita perlu memeriksa agregat yang akan digunakan agar mengetahui karakteristik material yang akan kita gunakan. Pengujian ini juga bisa memberi gambaran pada kita untuk merencanakan komposisi campuran yang akan kita gunakan. Hasil pengujian ini menghasilkan komposisi campuran sebagai berikut :

Benda uji yang digunakan adalah (150x150x600), dalam satu kali pengecoran bisa didapat 2 buah benda uji balok, 1 silinder (10x20) dan 1 kubus (15x15x15)

1. AIR = 6.04 kg
2. SEMEN = 12.85 kg
3. PASIR = 25.76 kg
4. KERIKIL = 35.57 kg

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 diukur pada setiap pengecoran

Tabel 2. Nilai pengujian Slump

No	Pengecoran	Nilai Slump [cm]
1.	Pengecoran 1	9.6
2.	Pengecoran 2	9.5
3.	Pengecoran 3	10
4.	Pengecoran 4	10.5
5.	Pengecoran 5	10.3
6.	Pengecoran 6	10.8

Dari hasil yang didapat, nilai slump rata-rata 10.16 cm. nilai slump yang diberikan oleh SNI untuk pengecoran balok adalah 7.5 – 15 cm. nilai yang didapat bisa digunakan dalam pengecoran benda uji.

Pengujian Kuat Tekan

Pada setiap pengecoran kita perlu melakukan pengecoran untuk kubus dan silinder agar kita dapat melihat kuat tekan yang dapat dihasil oleh campuran tersebut, karena pada pengujian kuat lentur kita tidak bisa mendapatkan kuat tekan beton. Nilai kuat tekan yang direncanakan adalah sebesar 25 MPa dengan nilai slump yang berkisar 9.5-10.5 mm. Hasil pengujian kuat tekan sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian kuat tekan Silinder dan Kubus

Hasil Uji Kuat Tekan					
No.	Benda Uji	P [kN]	Kuat Tekan [MPa]	Kuat Tekan [MPa] rata-rata	fcr' [MPa]
1	Silinder 1	163.4	25.06	26.38	26.45
2	Silinder 2	150.6	23.09		
3	Silinder 3	182.7	28.04		
4	Silinder 4	191.3	29.341		
5	Kubus 1	591.6	26.29	26.5175	
6	Kubus 2	570	25.33		
7	Kubus 3	592.3	26.33		
8	Kubus 4	652.8	28.12		

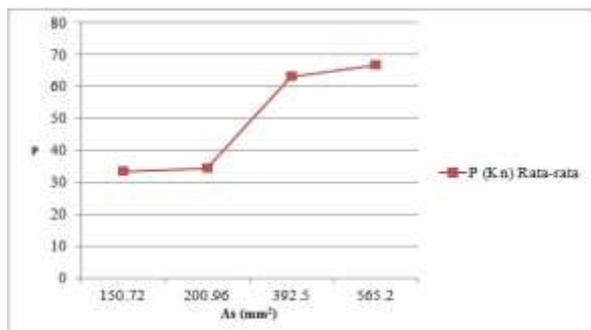
Hasil pengujian kubus dan silinder mendapatkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 26.45 MPa yang artinya sudah mendekati dengan kuat tekan rencana.

Pengujian Kuat Lentur

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

HASIL Uji KUAT LENTUR						
No.	Benda Uji	As (mm ²)	P [kN]	PkN/ rata-rata	Kuat Lentur (MPa)	Berat [kg]
1	A1 (3d8)	150.72	31.422	33.44533333	4.13	30.87
2	A2 (3d8)	150.72	37.271		4.97	30.95
3	A3 (3d8)	150.72	31.643		4.22	30.94
4	B1 (4d8)	200.96	34.061	34.50833333	4.54	30.68
5	B2 (4d8)	200.96	37.253		4.97	30.83
6	B3 (4d8)	200.96	32.203		4.29	30.86
7	C1 (5d10)	392.5	70.368	69.21666667	9.38	31.98
8	C2 (5d10)	392.5	63.312		8.44	31.2
9	C3 (5d10)	392.5	55.97		7.46	31.47
10	D1 (5d12)	565.2	62.741	66.79466667	8.37	32.07
11	D2 (5d12)	565.2	72.4		9.65	32.83
12	D3 (5d12)	565.2	65.243		8.7	32.46

Pengujian kuat lentur menggunakan mesin tes lentur tipe CONTROLS, dimana keruntuhan yang direncanakan adalah keruntuhan tarik. Variasi tulangan yang digunakan dimulai dari pmin hingga pmaks. Nilai pmin dan pmaks didapat dari perencanaan uji kuat tarik dan uji kuat tekan. Dimensi benda uji sangat mempengaruhi nilai kuat lentur yang didapat sedangkan luas tulangan tarik sangat mempengaruhi pola retak yang akan dihasilkan serta kekuatan maksimum beban untuk membuat balok runtuh. Hasil dari pengujian eksperimental di laboratorium sebagai berikut :



Grafik 1. Grafik hubungan antara luas tulangan tarik dan kenaikan beban

Grafik 1 menunjukkan peningkatan beban yang diberikan oleh variasi tulangan tarik. Semakin besar luas tulangan yang digunakan maka semakin besar pula beban yang akan dihasilkan oleh balok tersebut. Pada luas tulangan tarik sebesar 565.2 mm² beban tidak mencapai beban maksimum karena telah terjadi keruntuhan tekan sehingga pada saat mesin memberikan beban yang besar beton sudah hancur duluan maka beban maksimum belum bias tercapai.

Keruntuhan ini terjadi karena ratio tulangan yang besar pada perencanaan sedangkan benda uji yang digunakan hanya kecil. Dalam perencanaan memang variasi ini masih termasuk dalam tulangan tarik namun didalam uji eksperimental didapat keruntuhan tekan. Hal yang sangat mempengaruhi juga adalah Fy (kuat tarik baja) yang digunakan, karena semakin besar kuat tarik yang digunakan berbanding terbalik dengan luas tulangan yang akan digunakan

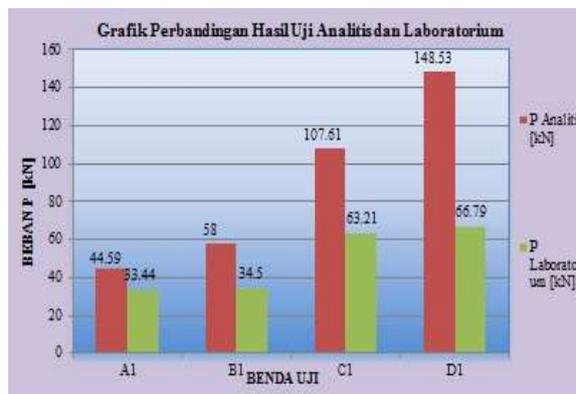
Hasil Penelitian

Hasil-hasil tes balok percobaan disajikan dalam bentuk tabel (lihat tabel) yang diperbandingkan dengan hasil perhitungan analitis dan selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara jumlah tulangan tarik dan beban P.

Tabel 6. Perbandingan hasil perhitungan analitis dan hasil penelitian di laboratorium

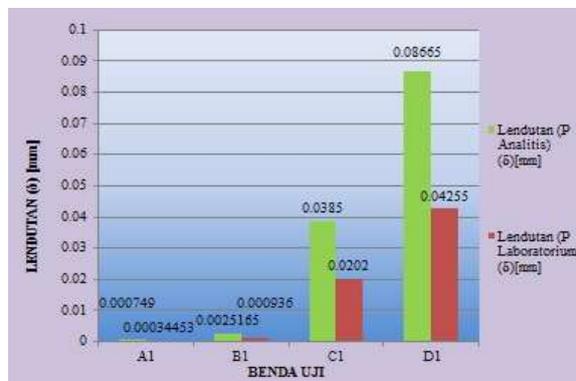
No.	Benda Uji	P Analitis [kN]	P Laboratorium [kN]	Lendutan P Analitis (δ)[mm]	Lendutan P Laboratorium (δ)[mm]
1.	A1	44,59	33,44	0,000749	0,00034453
2.	B1	58	34,5	0,0025165	0,000936
3.	C1	107,61	63,21	0,0385	0,0202
4.	D1	148,53	66,79	0,08665	0,04255

Berikut hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik untuk melihat perbandingan yang dapat dihasilkan



Grafik 2. Perbandingan Beban P maksimum antara Hitungan Analitis dan Laboratorium

Grafik 2 menunjukkan perbandingan yang cukup besar terdapat pada benda uji D. Mesin berhenti ketika beton mengalami retak pertama, oleh karena itu nilai beban tidak mencapai nilai maksimum. Hasil yang didapat dari laboratorium tidak mendapatkan hasil yang maksimum karena defleksi yang dihasilkan tidak mencapai daerah III dimana benda uji sudah mengalami keruntuhan.



Grafik 3. Perbandingan Lendutan antara Hitungan Analitis dan Laboratorium

Perbandingan yang cukup besar yang ditampilkan oleh grafik 2 sangat berpengaruh juga terhadap nilai lendutan yang didapat, karena dalam perhitungan nilai yang digunakan adalah nilai beban yang didapat dari perhitungan dan juga nilai laboratoium. Lendutan yang dihasilkan juga sangatlah kecil, lendutan tersebut merupakan lendutan pada saat benda uji retak dan bukanlah pada saat benda uji mengalami keruntuhan.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan selama 6 bulan didapat beberapa kesimpulan yang saya dapatkan dari penelitian ini

1. Hasil Uji kuat tarik baja yang diperoleh oleh besi Ø8 adalah 298.7 MPa, untuk Ø10 sebesar 315.5 MPa dan Ø12 mendapatkan nilai kuat tarik sebesar 383.5 MPa
2. Hasil dari pemeriksaan material menunjukkan bahwa material cukup bagus digunakan untuk material beton meskipun penyerapan air yang dihasilkan oleh agregat halus cukup besar.
3. Hasil Pengujian kuat tekan dengan benda uji Kubus dan Silinder menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 26.45 MPa yang sudah mendekati dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa
4. Hasil pengujian kuat lentur dengan variasi tulang tarik yang ada menandakan bahwa semakin besar luas tulangan tarik yang ada maka makin besar pula beban yang dihasilkan, namun pada perencanaan luas tulangan tarik 5 Ø12 beban maksimum tidak tercapai karena pada saat besi akan memberikan kekuatan lawan terhadap mesin , beton telah hancur terlebih dahulu dan mesin

- secara otomatis sudah terhenti terlebih dahulu, dan beban maksimum yang direncanakan tidak bisa tercapai.
5. Ratio Tulangan yang dibuat menghasilkan variasi retak yang berbeda dan juga menghasilkan nilai kuat lentur yang berbeda pula. Pada ratio tulangan sebesar ρ_{maks} terjadi keruntuhan tekan (*over-reinforced*) dimana beton sudah hancur terlebih dahulu sebelum tulangan leleh.

Saran

Sebaiknya dalam perencanaan di laboratorium kita menggunakan data kuat tarik baja yang ada untuk mendapatkan kekuatan minimum yang bisa dipikul oleh balok tersebut. Dengan menggunakan data tarik baja yang ada kita bisa mendesain balok yang mengalami keruntuhan, tidak disarankan menggunakan nilai kuat tarik (f_y) minimum karena bisa mengakibatkan terjadinya keruntuhan tekan. Dan perlu adanya penelitian lebih lanjut yang membahas mengenai tulangan geser, dimensi dan juga variasi kuat tekan untuk mendapatkan hasil yang maksimum. Untuk penelitian selanjutnya tidak dianjurkan menggunakan alat yang sama, karena alat yang digunakan tidak menghasilkan nilai yang maksimal. Perlu diadakan juga alat uji lentur, karena ini sangat berguna untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, Nurul Hidayati, *Tinjauan Kuat Geser Sengkan Alternatif dan Sengkan Konvensional pada Balok Beton Bertulang*.
- Chu-Kia Wang, Charles G.Salmon, Binsar Hariandja. *Desain Beton Bertulang Edisi Keempat Jilid 1*
- Chu-Kia Wang, Charles G.Salmon, Binsar Hariandja. *Desain Beton Bertulang Edisi Keempat Jilid 2*
- Departemen Pekerjaan Umum. 1989. Peraturan Beton Bertulang Indonesia, (PBI, 1989),
- Dipohusodo, I., 1994. *Struktur Beton Bertulang*, Penerbit Pustaka Utama, Jakarta.
- Ferry Assa, 1997. *Pengaruh Variasi Jumlah Tulangan Terhadap Mekanisme Keruntuhan Lentur Balok Beton Bertulang*.
- Nawi, E.G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar* . P.T. Erecso, Bandung.

SK SNI T-15-1991-03. Departemen Pekerjaan Umum R.I. Jakarta 1991.

SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan

SNI 03-4154-1996. Metode Pengujian Kuat Lentur dengan Balok Uji Sederhana Yang Dibebeani Beban Terpusat Langsung

SNI 03-4431-1997. Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan

SNI 07-2052-2002. Baja Tulangan Beton