

PENGARUH SUDUT BENGKOK DAN DIAMETER SPESIMEN TERHADAP KEKUATAN TARIK BAJA KONSTRUKSI BETON

Syamsul Hadi*

Abstraksi

Tidak diketahuinya pengaruh bekas pembengkokan baja konstruksi beton karena salah pengerjaan dalam pembuatan kerangka tulangan konstruksi beton. Tujuan penelitian untuk mengetahui besarnya pengaruh sudut pembengkokan dan perubahan diameter terhadap kekuatan luluh spesimen baja konstruksi beton. Metode penelitian yang dilakukan dengan pembengkokan baja konstruksi beton pada sudut 45° , 90° , 135° , 180° , pada ϕ 8 mm, 10 mm, dan 12 mm masing-masing 3 buah spesimen dan pelurusan kembali, pembuatan spesimen standar uji tarik, pemberian kode spesimen, pengujian tarik, pembuatan grafik tegangan-regangan, pembahasan hasil kekuatan luluh, dan penarikan simpulan. Hasil penelitian diperoleh kekuatan luluh baja konstruksi beton hasil uji tarik ternyata menunjukkan nilai kekuatan luluh tertinggi dicapai untuk ϕ 10 mm ($\sigma_y = 64,80 \text{ kg/mm}^2$) diikuti oleh ϕ 12 mm ($\sigma_y = 53,78 \text{ kg/mm}^2$) dan ϕ 8 mm ($\sigma_y = 49,40 \text{ kg/mm}^2$) yang dimungkinkan pada permukaan spesimen ϕ 12 mm mengalami kerusakan yang bisa jadi terjadi keretakan pada permukaan saat dilakukan pembengkokan pada sudut yang lebih besar dari 45° ; dan terdapat perbedaan pengaruh diameter spesimen dan sudut bengkok spesimen terhadap kekuatan luluh baja konstruksi beton.

Kata kunci: Sudut Bengkok Spesimen, Baja Konstruksi Beton, Diameter Spesimen, Kekuatan Luluh.

PENDAHULUAN

Dalam suatu konstruksi dituntut adanya kekuatan bahan yang memadai, jika tidak dapat dipenuhi, maka kemungkinan konstruksi tersebut akan runtuh. Kekuatan bahan harus diketahui atau dapat diperkirakan sebelum suatu konstruksi dibangun dan diterapkan. Kekuatan bahan menjadikan satu variabel utama dalam suatu desain teknik yang dapat berdampak keselamatan konstruksi tersebut. Jika konstruksi terlalu kuat berarti terjadi pemborosan bahan dan sebaliknya jika suatu konstruksi ternyata tidak kuat menahan beban kerja, maka kecelakaan yang akan terjadi.

Pada penerapan suatu konstruksi tergantung pula pada peristiwa pembebanannya, dimana pembebanan tarik yang banyak diterapkan. Perhitungan kekuatan konstruksi umumnya mengacu pada kekuatan tarik dari suatu pustaka. Mengingat banyaknya variasi komposisi dan perlakuan suatu bahan yang diproduksi, maka kekuatan tarik bisa bervariasi. Pada pembuatan beton bertulang tidak terlepas dari kesalahan pelaksanaan pembengkokan baja konstruksi beton. Pada pembengkokan baja konstruksi beton bisa jadi terjadi kesalahan titik pembengkokan yang direvisi dengan cara diluruskan kembali, lalu dibengkokkan kembali. Hal tersebut memungkinkan diperoleh kekuatan bahan yang tidak sama akibat revisi pembengkokan tersebut.

Jika pengambilan data saat penelitian dilangsungkan hanya pada baja konstruksi yang tidak pernah mengalami pembengkokan, bisa jadi kenyataannya malah diperoleh data kekuatan tarik yang berbeda pula. Perbedaan tersebut bisa lebih rendah dari yang tidak pernah mengalami pembengkokan yang memungkinkan konstruksi menjadi runtuh. Sedangkan data desain didasarkan pada hasil pengujian dan kenyatannya banyak yang mengambil data dari literatur (*hand book*), ketidakakuratan data dicoba dicari dari penelitian dimaksud. Data empiris kasus tersebut penting untuk dilibatkan dalam perhitungan kekuatan suatu konstruksi.

* Dosen Tetap Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

Masalah kesalahan pembengkokan baja konstruksi beton yang direvisi dirumuskan sebagai penentuan pengaruh kekuatan tarik sebelum pembengkokan dan sesudah pembengkokan (pada sudut 45°, 90°, 135°, dan 180°) dan dilakukan revisi pelurusan kembali dengan cara pembuatan spesimen uji tarik standar dengan berbagai diameter (8 mm, 10 mm, dan 12 mm).

Masalah dibatasi hanya pada penelitian kekuatan luluh bahan baja konstruksi beton (baja karbon rendah) akibat pernah dilakukan pembengkokan pada sudut tertentu.

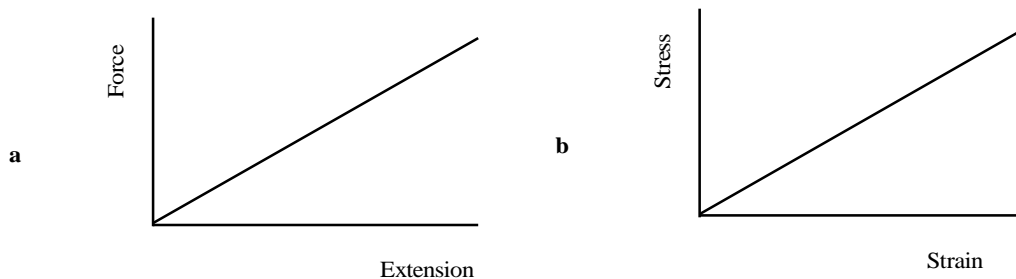
Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh: (1) sudut bengkok terhadap kekuatan tarik baja konstruksi beton; dan (2) diameter terhadap kekuatan tarik baja konstruksi beton.

Dengan berhasilnya pelaksanaan penelitian tersebut diharapkan dapat memiliki keuntungan ekonomis bagi pemakai produk: (1) mengetahui besarnya kekuatan tarik sebenarnya setelah mengalami pembengkokan untuk maksud desain terhadap beban tarik, dan (2) mengetahui hubungan interaksi antara sudut bengkok dan diameter terhadap kekuatan tarik baja konstruksi beton.

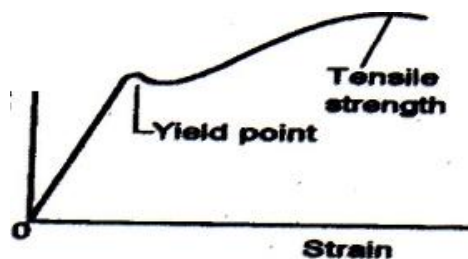
KAJIAN PUSTAKA

Pengujian Tarik

Hasil uji tarik pada daerah elastis memenuhi Hukum Hooke yang menyatakan bahwa pertambahan gaya proporsional dengan pertambahan panjang spesimen, yang berarti pertambahan tegangan akan proporsional dengan pertambahan regangannya sampai mencapai batas elastis atau batas proporsional yang juga dikenal dengan kekuatan luluh (*yield stress*) (Gambar 1).



Gambar 1. Hukum Hooke untuk Hasil Uji Tarik Bahan yang Getas

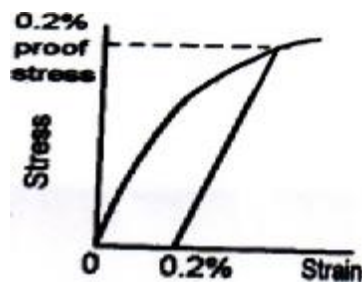


Gambar 2. Grafik Tegangan-Regangan Untuk Bahan

Gambar 2 menunjukkan grafik tipe tegangan-regangan untuk spesimen bahan *mild steel*. Grafik semula menunjukkan garis lurus dan bahan mengikuti Hukum Hooke. Titik akhir yang mengikuti garis lurus disebut sebagai batas proporsional (*limit of proportionality*). Dengan tegangan-tegangan yang rendah bahan kembali secara penuh ke dimensi semula bila tegangan ditiadakan yang dikatakan sebagai daerah elastis. Pada gaya-gaya yang lebih tinggi, hal tersebut tidak terjadi dan bahan dikatakan plastis. Istilah plastis digunakan untuk bagian yang berdeformasi permanen. Titik tersebut sering berimpit dengan titik pada grafik tegangan-regangan pada batas proporsional (*limit of proportionality*). Tegangan pada saat mulai tidak elastis disebut batas elastis (*elastic limit*). Istilah kekuatan tarik digunakan untuk nilai maksimum tegangan pada bahan yang dapat ditahannya tanpa putus.

Dengan berbagai bahan, *mild steel* mempunyai grafik tegangan-regangan pada beberapa daerah di atas batas elastis dan tegangan meningkat tanpa peningkatan beban. Bahan tersebut dikatakan mempunyai daerah luluh yang menjadi kekuatan luluh.

Beberapa bahan seperti paduan Aluminium tidak menunjukkan kekuatan luluh, yang dinyatakan dengan Metode *PS (Proof Stress)*. *PS 0,2 %* diperoleh dengan menggambarkan garis sejajar terhadap bagian garis lurus grafik, tetapi mulai pada regangan 0,2%. Titik yang memotong garis kurva tegangan-regangan diistilahkan dengan *PS 0,2 %*. Hal serupa dapat dilakukan dengan *PS 0,1 %*,



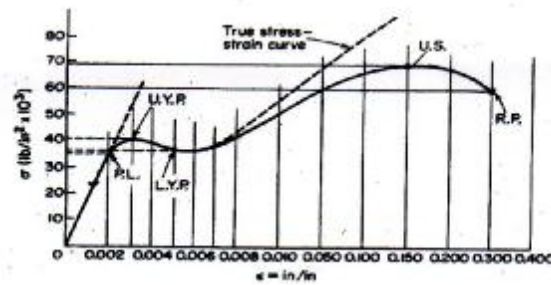
Gambar 3. Penentuan Tegangan Luluh dengan Metode Proof Stress (Bolton 1998: 6)

Tegangan (σ) didefinisikan secara matematis sebagai perbandingan antara gaya (F) yang diberikan terhadap spesimen dan penampang melintang, A_0 . Jadi dapat dituliskan sebagai $\sigma = F / A_0$ (Pollack 1981: 74).

Regangan (ϵ) didefinisikan secara matematis sebagai perbandingan antara perubahan panjang (Δl) dari spesimen yang diberi tegangan terhadap panjang semula spesimen, l_0 . Jadi dapat dituliskan sebagai $\epsilon = \Delta l / l_0$ (Pollack 1981: 75).

Regangan elastis (*elastic strain*) terjadi bila beban diberikan pada spesimen yang menjadikannya terdeformasi. Selama pengambilan beban, spesimen kembali ke panjang semula. Regangan tak elastis (*inelastic strain*) terjadi bila spesimen tidak kembali ke bentuk semula setelah beban deformasi ditiadakan. *Rupture* adalah keadaan batas terjadinya pemisahan bahan.

Modulus elastisitas (E , *modulus of lasticity*) adalah perbandingan antara tegangan dan regangan sampai pada batas elastis. Jadi dapat dituiskan sebagai $E = \sigma / \epsilon$.



Gambar 4. Contoh Tegangan-Regangan Kuningan (Pollack 1981: 76)

Gambar 4 menunjukkan plot penambahan panjang tertentu ketika diberikan beban tertentu. Batas proporsional ($PL / Proportional Limit$) pada gambar 4 dari 0 ke PL , tegangan yang diberikan pada spesimen proporsional terhadap regangan dan kurvanya berupa garis lurus. Pada titik tersebut kurva ditandai dengan PL bahan pada titik tersebut masih dalam keadaan elastis. Batas proporsional kadang disebut sebagai titik luluh atau kekuatan luluh (*yieldpoint*).

Batas elastis ($EL / Elastic Limit$) merupakan jarak sangat pendek lebih jauh pada kurva di atas PL . Batas elastis adalah beban maksimum yang dapat diberikan pada spesimen tanpa deformasi permanent. Nilai tersebut ditentukan dengan penerapan dan kemudian pelepasan beban yang disertai dengan pengukuran yang akurat. Pengukuran terakhir tidak menghasilkan deformasi permanen yang disebut dengan batas elastis.

Kekuatan luluh ($YS / Yield Strength$) diperoleh jika sedikit peningkatan beban yang diberikan pada batas elastis, bahan akan terdeformasi untuk pertama kalinya tanpa peningkatan beban. Metode untuk memperoleh YS spesimen dengan menggambar sebuah garis sejajar pada kurva (Gambar 4) dari beberapa nilai untuk ϵ (biasanya antara 0,001 dan 0,003 yang diindikasikan sebagai 0,1 dan 0,3 % pada absis. Nilai σ yang diperoleh dari titik pertemuan garis dan kurva. Mengacu pada kurva tersebut menunjukkan kemiringan di atas YS pada titik tersebut, penambahan panjang terjadi tanpa perlu penambahan beban. Pertambahan panjang berlangsung terus untuk suatu waktu (titik luluh bawah) sampai kemiringan kurva ke nol lagi.

Kekuatan tarik ($US / Ultimate Strength$) adalah titik pada kurva yang menyatakan tegangan tertinggi yang dapat diberikan pada suatu bahan yang ulet sebelum spesimen mulai patah. Untuk bahan getas, titik patah pada prinsipnya sama dengan kekuatan tarik tersebut yang ditunjukkan sebagai titik tertinggi pada kurva (Gambar 4). Jadi penambahan tegangan akan meningkatkan regangan sepanjang kurva sampai titik yang ditandai dengan US dicapai. Kekuatan tersebut sebagai kekuatan maksimum dihasilkan oleh bahan yang diberikan tegangan berdasarkan luas penampang melintang semula. Hal tersebut juga dikenal sebagai kekuatan tarik (*tensile strength*).

Kekuatan patah (*RS / Rupture Strength*) ditentukan dengan membagi beban pada titik patah dengan luas penampang melintang semula. Gambar 4 menunjukkan bahwa sekali kekuatan tarik bahan dilampaui, pengecilan lokal luas penampang melintang bahan terjadi. Hal tersebut disebut sebagai *necking down* dan pemutusan segera terjadi.

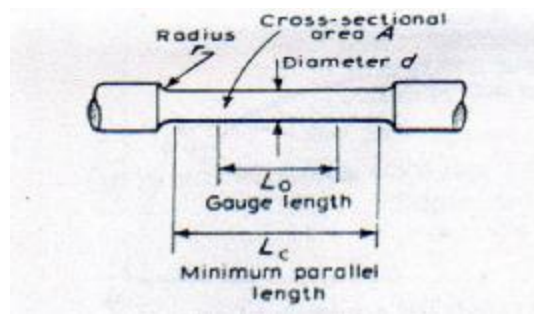
Jika tegangan-tegangan dibagi dengan luas penampang melintang untuk beban aktual pada suatu saat, kekuatan bahan sebenarnya (*true rupture strength*) dapat diperoleh.

Keuletan (*ductility*) adalah deformasi tidak elastis sebelum patah. Hal tersebut mengukur ketangguhan (*toughness*). Kemampuan bahan untuk menyerap energi tanpa patah sebagai fungsi dari keuletan dan suatu ukuran ketangguhan.

Keuletan diindikasikan dengan sifat tarik dari persentase pertambahan panjang. Secara matematis hal tersebut sebagai persentase perubahan panjang setelah penerapan beban dibandingkan dengan panjang semula spesimen sebelum dibebani. Jadi persentase pertambahan panjang $= (l_f - l_0) / l_0 \times 100\%$ dengan l_0 : panjang semula dan l_f panjang akhir.

Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik dibuat mengikuti standar penl;ujian tarik sebagaimana Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk Spesimen Uji Tarik (Bolton 1998)

Tabel 1. Ukuran Spesimen Berbentuk Batangan Bulat Standar Inggris BS 18 (Bolton 1985: 3)

A/mm ²	d/mm	L ₀ /mm	L _J mm	r/mm	
				Bahan Tempa	Bahan Cor
200	15,96	80	88	15	30
150	13,82	69	76	13	26
100	11,28	56	62	10	20
50	7,98	40	44	8	16
25	5,64	28	31	5	10
12,5	3,99	20	21	4	8

Bagian penting dari dimensi yaitu radius untuk bahu spesimen. Variasi radius dapat mempengaruhi daerah data pengujian tarik. Radius sangat kecil dapat menyebabkan konsentrasi tegangan lokal. Permukaan akhir spesimen juga sangat penting untuk alasan yang sama.

Batangan spesimen dikatakan sebagai *proportional test piece* yang berkaitan dengan *gage length* L_o , dan penampang melintang, A yang telah dispesifikasikan di Inggris: $L_o = 5,56 \sqrt{A}$. Untuk penampang melintang $A = \pi d^2/4$, sehingga mempunyai perkiraan sebagai $L_o = 5d$. Alasan hubungan spesifik antara *gage length* dan penampang melintang spesimen agar pengujian dapat dilakukan ulang untuk bahan uji yang sama bila ukuran spesimen uji berbeda.

METODOLOGI

Variabel Penelitian

Variabel penelitian berupa diameter spesimen dan sudut bengkok.

Teknik Pengambilan Data

Data kekuatan luluh spesimen dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin pendidikan tinggi vokasi negeri di Malang yang menggunakan bahan baja konstruksi beton ukuran $\phi 8$, $\phi 10$, dan $\phi 12$ mm dengan sudut bengkok 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° masing-masing sebanyak 3 buah spesimen.

Peralatan yang dipakai dalam penelitian: (1) Mesin Uji Tarik Tarno Grocky; (2) Pembengkok specimen / pipa air; (3) Ragum / Penjepit; (4) Mesin Bubut; (5) Mistar Sorong; (6) Spidol, alkohol dan stiker; (7) Kikir; (8) Penitik; (9) Palu; dan (10) Komputer.

Prosedur penelitian dilakukan: (1) pembelian baja konstruksi beton; (2) pembuatan spesimen uji tarik; (3) penandaan/pemberian kode pada semua spesimen; (4) pembengkokan spesimen dan pelurusan kembali; (5) *setting* mesin uji tarik; (6) pengukuran spesimen sebelum diuji; (7) pengujian uji tarik; (8) pencatatan data gaya dan pertambahan panjang; (9) pencatatan beban luluh dan beban *ultimate* pada saat uji tarik; (10) pengolahan data gaya dan pertambahan panjang menjadi tegangan dan regangan; (11) pembuatan grafik tegangan dan regangan; (12) penentuan tegangan luluh dan regangan luluh uji tarik; (13) analisis data dan penarikan simpulan.

Analisis Data

Analisis yang digunakan yaitu rancangan eksperimen faktorial (*two way anova*) untuk dua variabel diameter dan sudut bengkok spesimen dengan persamaan: $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \Sigma_{ijk}$ dengan $i = 1,2,\dots, a$; $j = 1,2,\dots, b$; $k = 1, 2,\dots, n$, Y_{ijk} : variabel respon karena pengaruh bersama taraf ke- i faktor A dan taraf ke j faktor B yang terdapat pada observasi ke- k ; μ : efek rerata yang sebenarnya (berharga konstan), A_i : efek yang sebenarnya dari taraf ke- i faktor A; B_j : efek yang sebenarnya dari taraf ke j faktor B; AB_{ij} : efek yang sebenarnya dari interaksi antara taraf ke- i faktor A dan taraf ke j faktor B; Σ_{ijk} : efek sebenarnya dari unit eksperimen ke- k dalam kombinasi perlakuan (ij).

Hipotesis yang dibuat: (1) H_{01} : tidak ada pengaruh sudut bengkok terhadap kekuatan tarik baja konstruksi beton; dan (2) H_{02} : tidak ada pengaruh diameter terhadap kekuatan tarik baja konstruksi beton. Sedangkan Hipotesis Alternatif: (1) H_{11} : terdapat pengaruh sudut bengkok terhadap kekuatan tank baja konstruksi beton; dan (2) H_{12} : terdapat pengaruh diameter terhadap kekuatan tank baja konstruksi beton.

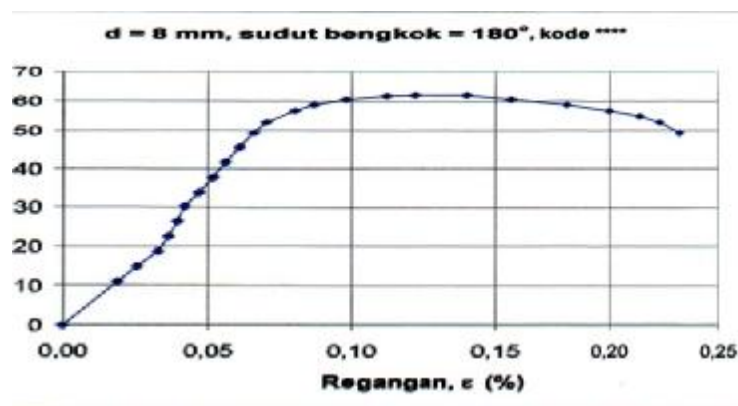
Bila *anova* (*analysis of variance*) menunjukkan $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_{O1} (hipotesis null) diterima, berarti tidak ada perbedaan pengaruh diameter spesimen terhadap kekuatan luluh baja konstruksi beton, dan bila *anova* menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_{I1} (hipotesis alternatif) diterima, berarti terdapat perbedaan pengaruh diameter spesimen terhadap kekuatan luluh baja konstruksi beton.

Harga F_{tabel} diperoleh dari tabel nilai persentil distribusi F. Nilai persentil distribusi F mempunyai harga yang berbeda untuk berbagai tingkat kepercayaan, misalnya 95% (disebut juga sebagai peluang, $p = 0,05$). Untuk memperoleh nilai persentil distribusi F harus menggabungkan derajat kebebasan pembilang (v_1) dan derajat kebebasan penyebut (v_2) dan jika tersedia data yang tidak tepat dilakukan interpolasi diantara dua nilai yang mengapitnya.

PEMBAHASAN

Data & Hasil Pengujian Tarik

Data uji tarik berupa kode spesimen yang ditandai dengan titik-titik pada permukaan silinder yang dijepit saat ditarik. Satu titik pada ujung-ujung spesimen menunjukkan sudut pembengkokan pada 45° , dua titik pada ujung-ujung spesimen menunjukkan sudut pembengkokan pada 90° , tiga titik pada ujung-ujung spesimen menunjukkan sudut pembengkokan pada 135° , dan empat titik pada ujung-ujung spesimen menunjukkan sudut pembengkokan pada 180° . Semua spesimen yang telah dibengkokkan diluruskan kembali. Sedangkan diameter spesimen ditandai dengan perbedaan panjang spesimen (ϕ 8 mm dipotong pada 150 mm, ϕ 10 mm dipotong pada 170 mm, dan ϕ 12 mm dipotong pada 190 mm). Jumlah spesimen sebanyak 3 buah untuk masing-masing uji tarik. Jadi kode satu titik pada ujung-ujung dengan panjang spesimen 150 mm menunjukkan spesimen yang diuji tarik pada ϕ 8 mm untuk spesimen pertama pada sudut pembengkokan pada 45° .



Gambar 6. Tegangan-Regangan Spesimen f 8 Mm Sudut Bengkok 180°
(Hadi Dkk 2006)

Tabel 2. Satu Diantara Hasil Uji Tarik Baja Kanstruksi Beton (Hadi dkk 2006)

DIAMETER GAUGE LENGTH	5,8	mm	KODE SPESIMEN: ****
L ₀ :	21,2	mm	DIAMETER AWAL BAHAN:
L _f :	24,7	mm	8mm
F _y (F _{LUHH}):	15500	N	SUDUT BENGKOK: 180°
F _{PUTUS} :	13000	N	σ _y [kg/mm ²] = 58,70
LUAS PENAMPANG GAUGE LENGTH:	26,41	mm ²	σ _u [kg/mm ²] = 62,10

No.	GAYA [N]	ΔL [mmx10 ⁻²]	s [N/mm ²]	ε [%]	s [kg/mm ²]
1	0	0	0,00	0,00	0,00
2	3000	40	113,60	0,02	11,36
3	4000	55	151,47	0,03	15,15
4	5000	70	189,34	0,03	18,93
5	6000	78	227,21	0,04	22,72
6	7000	85	265,08	0,04	26,51
7	8000	90	302,95	0,04	30,29
8	9000	100	340,81	0,05	34,08
9	10000	110	378,68	0,05	37,87
10	11000	120	416,55	0,06	41,65
11	12000	130	454,42	0,06	45,44
12	13000	140	492,29	0,07	49,23
13	14000	150	530,15	0,07	53,02
14	15000	170	568,02	0,08	56,80
15	15500	185	586,96	0,09	58,70
16	16000	208	605,89	0,10	60,59
17	16300	238	617,25	0,11	61,73
18	16400	258	621,04	0,12	62,10
19	16400	298	621,04	0,14	62,10
20	16000	330	605,89	0,16	60,59
21	15500	382	586,96	0,18	58,70
22	15000	423	568,02	0,20	56,80
23	14500	454	549,09	0,21	54,91
24	14000	473	530,15	0,22	53,02
25	13000	492	492,29	0,23	49,23

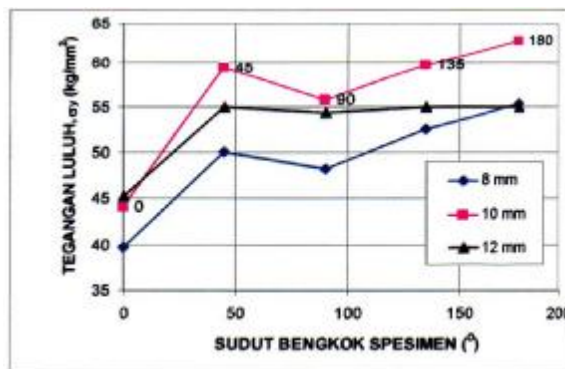
Gaya pembebanan tarik diperoleh dalam satuan Newton (N) dan dikonversikan ke dalam satuan kg. Pertambahan panjang diperoleh dalam satuan seperseratus mm dan dikonversikan menjadi mm. Tegangan dihitung kedalam satuan N/mm² dan kg/mm², regangan diperoleh dalam satuan persen.

Hasil perhitungan tegangan dalam satuan kg/mm² dan regangan dalam persen diplot menjadi grafik tegangan-regangan. Contoh data dan grafik tegangan terhadap regangan Hasil uji tarik baja konstruksi beton φ 8 mm dengan sudut bengkok 180°, kode **** seperti gambar 8.

Hasil uji tarik baja konstruksi beton dengan perlakuan φ 8, 10, dan 12 mm dan sudut pembengkokan 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, ditunjukkan sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Kekuatan Luluh Hasil Uji Tarik Baja Konstruksi Beton (Hadi dkk 2006)

	SUDUT BENGKOK SPESIMEN, α [°]									
	0°		45°		90°		135°		180°	
	KODE	σ_y [kg/mm ²]	KODE	σ_y [kg/mm ²]	KODE	σ_y [kg/mm ²]	KODE	σ_y [kg/mm ²]	KODE	σ_y [kg/mm ²]
ϕ (mm)										
8	tanpa	41,65	*	51,12	**	49,23	***	53,02	****	59,83
	tanpa	37,87	*	49,23	**	47,34	***	51,12	****	56,80
	tanpa	39,76	*	49,99	**	48,09	***	53,77	****	49,40
	RERATA=	39,76		50,11		48,22		52,64		55,34
10	tanpa	43,72	*	57,29	**	54,27	***	61,81	****	61,81
	tanpa	43,72	*	59,40	**	55,78	***	58,79	****	64,80
	tanpa	44,93	*	61,81	**	57,29	***	58,79	****	61,81
	RERATA=	44,12		59,50		55,78		59,80		62,81
12	tanpa	44,08	*	54,66	**	53,78	***	54,66	****	55,54
	tanpa	45,84	*	54,66	**	53,78	***	55,54	****	53,78
	tanpa	45,84	*	55,54	**	55,54	***	54,66	****	55,54
	RERATA=	45,25		54,95		54,37		54,95		54,95



Gambar 7. Hubungan f dan Sudut Pembengkokan Spesimen Baja Konstruksi Beton (Hadi dkk 2006)

Hasil *anova* diperoleh setelah harga kekuatan luluh dibuat reratanya dan diolah menggunakan analisis *two factor without replication* sebagaimana Tabel 4.

Tabel 4. *Two-Factor without Replication Anova*

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance		
Row 1	5	246,0733	49,21467	35,11458		
Row 2	5	282,0067	56,40133	53,32341		
Row 3	5	264,48	52,896	18,31777		
Column 1	3	129,1367	43,04556	8,415381		
Column 2	3	164,5667	54,85556	22,03455		
Column 3	3	158,3667	52,78889	16,15544		
Column 4	3	167,3867	55,79556	13,3484		
Column 5	3	173,1033	57,70111	19,58805		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	129,1463	2	64,57313	17,25552	0,001254	4,45897
Columns	397,0857	4	99,27142	26,52775	0,000114	3,837853
Error	29,93738	8	3,742172			
Total	556,1693	14				

Secara keseluruhan data ternyata menunjukkan peningkatan nilai kekuatan luluh baja konstruksi beton dengan meningkatnya sudut pembengkokan, namun terdapat pengecualian antara sudut bungkuk spesimen 45° dan 90° terdapat penurunan kekuatan luluh (Gambar 7). Diantara ketiga diameter spesimen ternyata nilai kekuatan luluh tertinggi dicapai untuk ϕ 10 mm diikuti oleh ϕ 12 mm dan ϕ 8 mm. Hal tersebut dimungkinkan pada permukaan spesimen ϕ 12 mm

mengalami kerusakan yang bisa jadi terjadi keretakan pada permukaan saat dilakukan pembengkokan pada sudut yang lebih besar dari 45° .

Hasil *anova* menunjukkan $F_{hitung} = 17,25552$ untuk perlakuan diameter yang mempunyai derajat kebebasan 2 dari 3 perlakuan diameter, dan $F_{hitung} = 26,52775$ untuk perlakuan sudut bengkok yang mempunyai derajat kebebasan 4 dari 5 perlakuan sudut bengkok. Derajat kebebasan total diperoleh sebesar $(3 \times 5) - 1 = 14$.

F_{tabel} nilai persentil distribusi F untuk Peluang $p = 0,05$ untuk ν_1 (derajat kebebasan pembilang) sebesar 2 dan ν_2 (derajat kebebasan penyebut) 14 diperoleh nilai persentil distribusi F sebesar 3,74 dan untuk ν_1 (derajat kebebasan pembilang) sebesar 4 dan ν_2 (derajat kebebasan penyebut) 14 diperoleh nilai persentil distribusi F sebesar 3,11.

Jadi untuk perlakuan diameter yang $F_{hitung} = 17,25552 > F_{tabel} = 3,74$, berarti terdapat perbedaan pengaruh diameter spesimen terhadap kekuatan luluh baja konstruksi beton dan untuk perlakuan sudut bengkok $F_{hitung} = 26,52775 > F_{tabel} = 3,11$ berarti terdapat perbedaan pengaruh sudut bengkok spesimen terhadap kekuatan luluh baja konstruksi beton.

SIMPULAN

Simpulan yang dapat diitarik dari pembahasan yaitu:

1. Kekuatan luluh baja konstruksi beton hasil uji tarik ternyata menunjukkan nilai kekuatan luluh tertinggi dicapai untuk ϕ 10 mm ($\sigma_y = 64,80 \text{ kg/mm}^2$) diikuti oleh ϕ 12 mm ($\sigma_y = 53,78 \text{ kg/mm}^2$) dan ϕ 8 mm ($\sigma_y = 49,40 \text{ kg/mm}^2$) yang dapat dimungkinkan pada permukaan spesimen ϕ 12 mm mengalami kerusakan yang bisa jadi terjadi keretakan pada permukaan saat dilakukan pembengkokan pada sudut yang lebih besar dari 45° .
2. Terdapat perbedaan pengaruh diameter spesimen dan sudut bengkok spesimen terhadap kekuatan luluh baja konstruksi beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Bolton, W., 1985. *Engineering Materials Technology 3*, Butterworth-Heinemann, Oxford OX2 8DP, Great Britain.
- Callister Jr., William D., 2000. *Materials Science and Engineering an Introduction*, 5th edition, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Fuchs, H.O., and Stephens, Ralph Ivan, 1980. *Metal Fatigue in Engineering*, John Wiley and Sons, New York, USA.
- Hadi, Syamsul, 1995. *Teknologi Bahan 3*, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Bandung.
- Hadi, Syamsul; Viyus, Vinan; dan Dani, Agus, 2006. *Pengaruh Sudut Bengkok dan Diameter Spesimen terhadap Kekuatan Tarik Baja Konstruksi Beton*, Laporan Penelitian Dana DIPA, Politeknik Negeri Malang, Malang.
- Pollack, Herman W., 1981. *Materials Science and Metallurgy*, 3rd edition, Prentice Hall, Reston, Virginia, USA.
- Sudjana, 1989. *Desain dan Analisis Eksperimen*, Edisi ke-3, Tarsito, Bandung.
- Wright, R. Thomas, 1990. *Processes of Manufacturing*, the Goodheart-Willcox, Illinois, USA.