

PREDIKSI NILAI BATAS ELASTISITAS BAJA KONSTRUKSI DENGAN UJI KEKERASAN BRINELL DAN VICKERS

Vinan Viyus¹, Khambali², Bambang Hertomo³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

¹vin40@rocketmail.com

(Artikel diterima: Februari 2020, direvisi: April 2020, diterima untuk terbit: Juli 2020)

Abstrak – This study aimed to determine the correlation value against the value of hard carbon steel with elasticity it. This is done by determining the formula formulation in the form of the regression equation $Y = AX1 + BX2$. Data taken from the sample used in the form of a cylindrical rod test specimens and the steel plate. Severity using the Brinell test, whereas withdrawal using tensile testing machine. The results were obtained for cylindrical steel $Y = 2,41 X1 - 0,4347X2$ and for specimens of steel plate (flat) $Y = 2,35 X1 - 0,534X2$. Y is the value of the rigidity, and X1 is hardness of steel. While X2 arises from material stretch factor. Probability influence of workmanship and style fluctuate respectively 0,4347 and 0,534 is much larger than 0.05 (a standard which is commonly used). This means that the regression coefficient is not significantly different effect. Decrease in strength may be due to the loss of influence of the stress concentration occurs. In addition it could also be due to the configuration of the carbon forming constituents uneven in areas experiencing strain due to the with drawalprocess

Kata kunci: cylindrical steel, steel plate, stress, strain, elasticity

I. PENDAHULUAN

Dalam penggunaan bahan teknik secara tepat, harus mengetahui sifat-sifat ataupun perilaku dari bahan tersebut untuk dipergunakan. Sifat-sifat tersebut sangat banyak, dan dapat ditinjau dari berbagai bidang keilmuan. Tidak harus semua sifat tersebut diatas perlu dipertimbangkan dalam memilih bahan untuk suatu keperluan hal ini tergantung dari keperluannya. Dalam bidang Teknik Mesin selain sifat kimia (terutama sifat tahan korosi), sifat termal dan sifat fisik, juga sifat mekanis.

Diantara sifat mekanis material yang penting selain kekuatan dan kekerasan adalah kekakuannya (stiffness). Selama ini kekakuan material, selain didasarkan atas pengujian tarik di daerah elastis juga biasa dilakukan dengan pengujian bending. Kedua pengujian tersebut hanya bisa dilakukan di laboratorium tertentu dan biayanya relatif lebih mahal. Untuk keperluan praktis terkadang kita perlu mencari terobosan yang lebih memudahkan. Ada kesamaan parameter antara keras dengan kekuatan dan kekakuan. pengembangan pengetahuan bahan teknik dan pemanfaatannya lebih lanjut.

Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat korelasi nilai kekerasan suatu material teknik dengan nilai batas elastisitas material tersebut. Data diambil dari sampel berupa spesimen uji dari bahan baja karbon rendah. Pengujian dilakukan dengan uji keras metode Brinell kemudian dilanjutkan dengan uji tarik. Data yang diperoleh kemudian diolah. Formulasi yang diperoleh selanjutnya akan digunakan untuk menghitung dan mengestimasi nilai batas elastisitas baja karbon berdasarkan harga kekerasan Brinell yang didapatkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sifat Mekanis Logam

Sifat mekanis merupakan kemampuan atau kelakuan logam itu menahan beban yang dikenakan padanya, baik pembenahan statis atau dinamis pada suhu biasa, suhu tinggi

ataupun suhu dibawah 0°C. Sering kali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanis yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain, maka diambil langkah untuk menanggulangi kekurangannya tersebut. Beberapa sifat mekanis yang penting antara lain :

- Kekuatan (strength): Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan patah atau kerusakan pada bahan. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis beban yang bekerja, yaitu kekuatan tarik, tekan, geser, torsi dan gengror.
- Kekerasan (hardness): Didefinisikan sebagai kemampuan bahanterhadap deformasi praktis bereng pembebanan setempat pada permintaan berupa penggoresan, pengikisan (abrasi), identasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat bahan aus. Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
- Kekakuan (stiffness): Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau defleksi. Seringkali kekakuan lebih penting daripada kekuatan.
- Hubungan Tegangan dan Regangan (Hukum Hooke)

Pada bahan yang mengikuti hukum Hooke, beban yang bekerja P_A dan P_B akan menyebabkan tegangan s_A dan s_B , dan perbandingan dua nilai menjadi konstan, yaitu:

$$\frac{s_A}{\epsilon_A} = \frac{s_B}{\epsilon_B} = \text{konstan} \quad (2.3)$$

Konstanta ini sekarang dikenal sebagai modulus elastisitas atau modulus Young Modulus Young dinotasikan dengan simbol E dan berlaku untuk tarik atau tekan, dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{s}{\epsilon} \quad (2.4)$$

Secara fisik, modulus elastisitas adalah merupakan ukuran kekakuan (*stiffness*) bahan terhadap respon pada beban yang bekerja dan menunjukkan sifat tertentu bahan. Bahan kaku didefinisikan sebagai sifat bahan yang mampu bertahan pada tegangan tinggi tanpa terjadi regangan yang besar.

B. Kekerasan Material

Kekerasan material didefinisikan sebagai ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi plastis lokal berupa penekanan atau goresan kecil. Kekerasan merupakan sesuatu sifat mekanik bahan yang penting karena sangat menentukan ketahanan terhadap keausan, dan kemudahan dalam proses pengerjaan. [6].

C. Uji Keras Metode Brinell

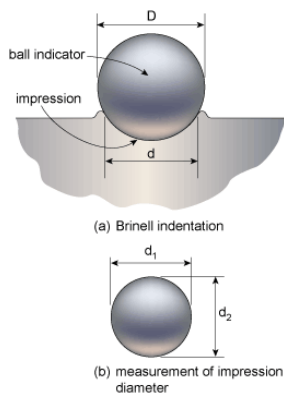
Pada metode Brinell, sebuah bola baja yang telah di keraskan atau carbida tungsten ditekankan pada permukaan benda uji yang rata dengan gaya F tertentu. Pada saat penekanan, beban di pertahankan konstan selama beberapa detik (antara 10 sampai 30 detik)..

Setelah penekanan selesai, diameter bekas penekanan yang berbentuk segmen (tembereng) bola di ukur. Nilai kekerasan Brinell dinyatakan dengan:

$$HB = \frac{Gaya}{LuasBekasPenekanan} \quad (2.1)$$

Luas bekas penekanan berbentuk sigmen (tembereng) bola Harga kekerasan Brinell dirumuskan sebagai berikut:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.2)$$



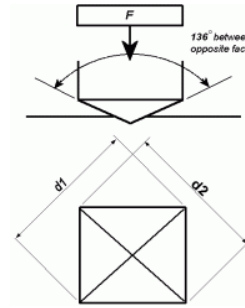
Gambar 1. Penekanan bola baja pada metode Brinell
(Sumber. <http://www.twi.co.uk>)

D. Uji Keras Metooda Vickers

Uji keras metoda Vickers dikenal juga sebagai Diamond Pyramid Hardness test (DPH). Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136 derajat .

$$H_v = \frac{2F \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{D^2} = \frac{1,8554 F}{D^2}$$

HV = Angka kekerasan Vickers



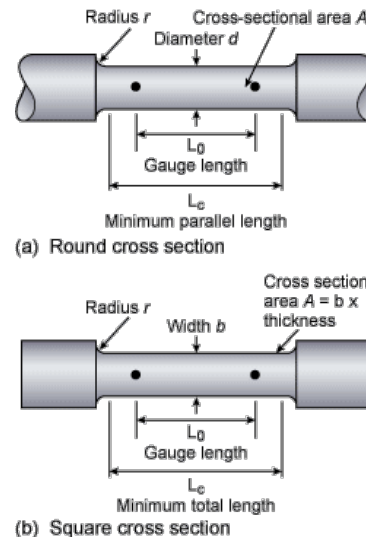
Gambar 2. Penekanan metode Vickers

E. Pengujian Tarik

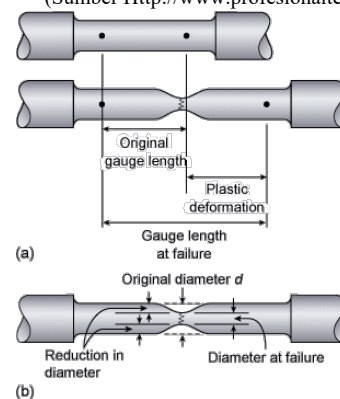
Uji Tarik yaitu penarikan suatu benda uji sampai putus secara beraturan tanpa adanya kejutan. Kecepatan penambahan panjang (perpanjangan) harus kecil agar didapatkan hasil yang benar. Gaya tarik dan perubahan panjang dari benda uji diukur dan kemudian dianalisa.

Benda Uji Tarik

Gambar 3a. menunjukkan suatu benda uji tarik (spesimen) yang berbentuk batang dengan luas permukaan yang sama dan beradius pada kedua ujungnya dan mempunyai diameter lebih besar untuk tempat pencekaman.



Gambar.3 :Spesimen uji tarik
(Sumber [Http://www.profesionaltesting.co.th](http://www.profesionaltesting.co.th))



Gambar 4. Spesimen uji tarik setelah dilakukan penarikan
(Sumber [Http://www.profesionaltesting.co.th](http://www.profesionaltesting.co.th))

Keterangan:

- L_0 = panjang mula-mula
 - L_1 = panjang setelah patah (jika kedua bagian disatukan)
 - A_0 = Luas penampang mula-mula (dengan d_0)
 - A_1 = Luas penampang pada bagian yang patah
- Dimensi yang terpenting adalah panjang L_0 dan diameter d_0 , dimana kedua dimensi ini mempunyai perbandingan yang tetap (proporsional).

III. METODE PENELITIAN

A. Urutan Pengujian

Pada specimen dilakukan uji keras terlebih dahulu baru kemudian dilakukan uji Tarik. Uji Keras yang dilakukan adalah metode Brinell.

B. Model Spesimen

Kedua pengujian tersebut di atas dilakukan menggunakan bahan specimen Baja Silindris (BS) dan Baja Pelat (BP) sesuai standar yang umum digunakan (standar JIS), Masing-masing specimen dibuat dengan jumlah sepuluh specimen (1-10). Output yang diperoleh dari uji keras berupa gaya dan diameter tembereng bekas penekanan oleh indenter. Adapun dari uji tarik diperoleh gaya dan pertambahan panjang akibat penarikan, yang kemudian digunakan untuk menghitung tegangan tarik serta modulus elastisitas bahan tersebut.

C. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan adalah klasifikasi satu arah dengan sampel yang digunakan

Adapun persamaan yang digunakan:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \quad (5)$$

Y_{ij} = nilai pengamatan ke i dalam kelompok j

μ = nilai rata-rata umum

α_i = pengaruh perlakuan ke i

ϵ_{ij} = kesalahan percobaan pada perlakuan ke i ulangan ke j Output yang diperoleh berupa gaya dan pertambahan panjang akibat penarikan,

D. Perolehan Data

Output yang diperoleh dari uji keras berupa gaya dan diameter tembereng bekas penekanan oleh indenter. Adapun dari uji tarik diperoleh gaya dan pertambahan panjang akibat penarikan, yang kemudian digunakan untuk menghitung tegangan tarik serta modulus elastisitas bahan tersebut.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Uji Tarik:

Spesimen Baja Silindris

Diameter Spesimen $d_0 = 8,0$ mm

Panjang Awal $L_0 = 80$ mm

Diameter Indentor $D = 5$ mm

Tabel 1. Data Penelitian Baja Silindris

Sp	Data yang diperoleh				
	d (mm)	Fy (N)	$\Delta L-y$ (mm)	Fu (N)	$\Delta L-u$ (mm)
1	1,32	13600	5,23	17500	7,30
2	1,26	13400	5,15	17100	7,70
3	1,30	13700	5,25	17300	8,10
4	1,20	13400	6,20	17700	7,50
5	1,10	14000	4,90	16300	7,80
6	1,28	14400	4,90	16400	7,00
7	1,30	13200	5,40	16600	8,00
8	1,30	13600	5,35	17900	8,30
9	1,20	13500	4,90	17300	8,00
10	1,20	13600	6,25	17700	6,85
Rata2	1,24	13640	5,38	17180	7,58

Tabel 2. Data Penelitian Baja Baja Pelat

Sp	Data yang diperoleh				
	d (mm)	Fy (N)	$\Delta L-y$ (mm)	Fu (N)	$\Delta L-u$ (mm)
1	1,42	11700	4,20	15500	6,50
2	1,40	11300	4,10	15600	6,20
3	1,35	10900	4,68	14900	6,70
4	1,35	11500	4,00	15400	6,90
5	1,40	12600	4,20	16300	7,30
6	1,43	11300	4,15	15700	6,75
7	1,48	11700	4,15	15400	6,79
8	1,32	10800	4,00	14900	6,85
9	1,40	11300	4,40	14600	7,40
10	1,30	12800	4,60	15600	7,20
Rata2	1,39	11590	4,27	15390	6,86

A. Pengolahan Data dan Statistik

a) Kekerasan Brinell

a) Luas Penampang $A_0 = \frac{\pi}{4} \cdot 8^2 = 50,24 \text{ mm}^2$.

b) Tegangan Yield (yield stress) :

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{11500}{50,24} = 228,90 \text{ N/mm}^2$$

c) Regangan Luluh $\epsilon-y$ (%) = $(\Delta L-y)/L_0 = 4.30/75 = 5,73\%$

d) Modulus Kekakuan $E = \sigma_y/\epsilon-y = 228,90/0.0573 = 3.992,44 \text{ MPa}$

e) Tegangan Ultimate (ultimate stress) :

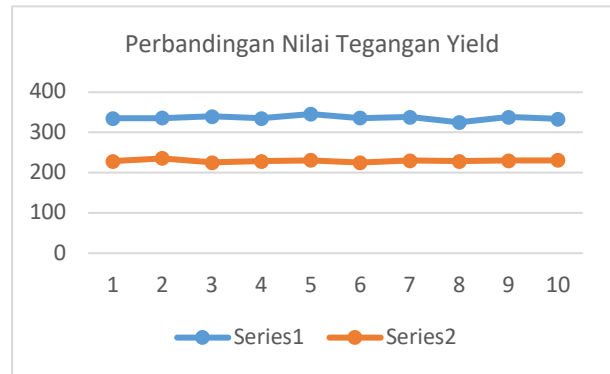
$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} = \frac{15800}{50,24} = 314,49 \text{ N/mm}^2$$

Dengan cara yang sama data yang lain dapat dihitung dan hasilnya ditabelkan sebagai berikut

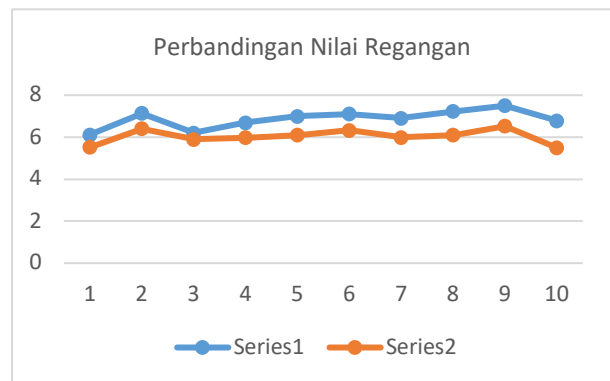
B. Hasil Pengolahan Data Penelitian

Tabel 3. Hasil Perhitungan Penelitian Baja Silindris

Sp	Nilai Kekerasan, Tegangan Luluh, Regangan, Modulus Kekakuan dan Tegangan Ultimate				
	HBN	σ_y (MPa)	$\epsilon-y$ (%)	E (MPa)	σ_u (MPa)
1	139,5	334,70	6,12	4.970,50	474,80
2	140,7	335,60	7,13	5.154,45	480,60
3	148,5	340,20	6,20	5.385,40	495,40
4	145,0	335,20	6,70	5.485,85	480,80
5	135,5	345,80	7,00	5.380,60	490,90
6	142,3	336,00	7,10	4.840,50	490,70
7	148,8	338,10	6,90	5.350,25	466,30
8	141,3	325,20	7,23	5.448,50	490,70
9	137,1	338,10	7,50	5.980,40	458,30
10	142,2	333,80	6,78	5.890,15	475,30
Rata2	142,09	336,27	6,87	5388,66	478,71



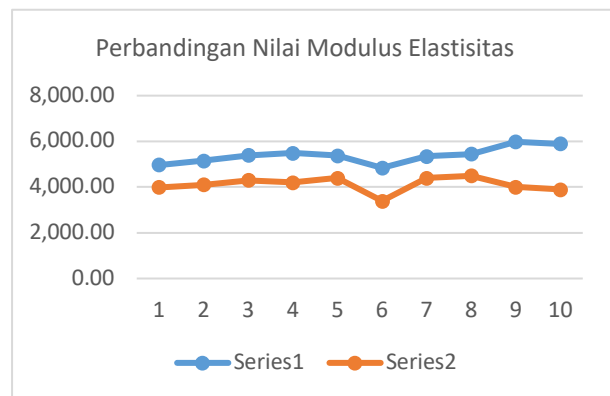
Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Tegangan Yield



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai prosentase Regangan

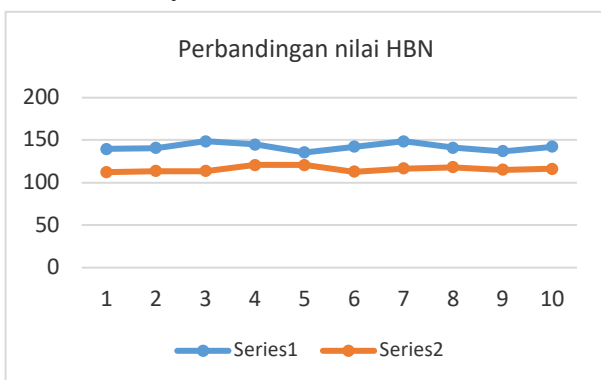
Tabel 3. Hasil Perhitungan Penelitian Baja Pelat

Sp	Nilai Kekerasan, Tegangan Luluh, Regangan, Modulus Kekakuan dan Tegangan Ultimate				
	HBN	σ_y (MPa)	$\epsilon-y$ (%)	E (MPa)	σ_u (MPa)
1	112,4	228,90	5,52	3.990,40	380,40
2	113,5	235,50	6,40	4.096,51	375,50
3	113,5	225,40	5,90	4.295,33	384,22
4	120,7	228,60	5,98	4.196,37	374,34
5	120,9	230,80	6,10	4.398,74	384,28
6	112,8	225,30	6,32	3.393,49	384,24
7	116,5	230,20	5,99	4.392,73	370,22
8	118,3	228,30	6,10	4.490,32	394,87
9	115,3	230,30	6,52	3.997,23	360,50
10	116,4	230,70	5,50	3.890,67	375,80
Rata2	115,99	229,4	6,03	4114,18	378,44

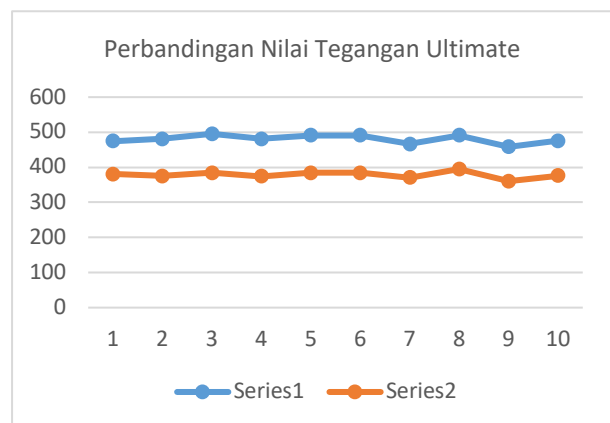


Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas

C. Grafik Perbandingan Hasil Penelitian Speimen Baja Silindris dan Baja Pelat



Gambar 5. Grafik perbandingan nilai HBN



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai Tegangan Ultimate

Hasil Perhitungan Rasio (Konstanta Kesebandingan):

$$\begin{aligned} R_o &: \sigma_y/\sigma_u &= & 0,742 \\ R_y &: \sigma_y/HBN &= & 2,40 \\ R_u &: \sigma_u/HBN &= & 3,30 \\ RE &: E/HBN &= & 41,87 \end{aligned}$$

Tabel Konstanta Kesebandingan

a). Tabel Konstanta Kesebandingan Spesimen Baja Silindris

Spesimen	R _o	R _y	R _u	RE
1	0,820	2,53	3,35	56,60
2	0,835	2,50	3,28	56,25
3	0,820	2,46	3,45	58,56
4	0,830	2,40	3,30	57,30
5	0,819	2,24	3,40	58,60
6	0,810	2,38	3,32	56,49
7	0,850	2,47	3,51	57,27
8	0,840	2,35	3,34	57,34
9	0,828	2,37	3,41	56,69
10	0,830	2,41	3,44	57,66
Rata2	0,830	2,41	3,38	57,28

b) Tabel Konstanta Kesebandingan Spesimen Baja Pelat

Spesimen	R _o	R _y	R _u	RE
1	0,742	2,40	3,30	41,87
2	0,730	2,29	3,19	42,50
3	0,728	2,42	3,33	42,60
4	0,730	2,36	3,18	43,25
5	0,729	2,15	3,39	43,90
6	0,737	2,25	3,12	43,63
7	0,740	2,33	3,42	42,43
8	0,750	2,26	3,16	42,51
9	0,738	2,57	3,31	41,90
10	0,730	2,43	3,27	43,84
Rata2	0,735	2,35	34,55	42,84

c) Tabel: Hasil regresi dengan bantuan SPSS
Variables Entered/Removed(b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Regangan(a)	.	Enter

a All requested variables entered.
b Dependent Variable: Kekerasan
Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,174(a)	,030	-,455	1,80907

a Predictors: (Constant), Regangan

ANOVA(b)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1					
Regression	,205	1	,205	,063	,826(a)
Residual	6,545	2	3,273		
Total	6,750	3			

a Predictors: (Constant), Regangan
b Dependent Variable: Kekerasan

Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	160,000	3,133		51,063	,000
	Regangan	-,27273	109,091	-,174	-,250	,826

a Dependent Variable: Kekerasan

D. Analisa Pembahas

Kekerasan material untuk baja silindris rata-rata sebesar **142,09** dan untuk baja pelat sebesar 115,99 HBN. Sewaktu logam mengalami tarikan terjadi perubahan struktur butir, terjadi perpecahan butir, pergeseran atom dan distorsi kisi. Dengan adanya deformasi butir maka tahanan terhadap doformasi meningkat sehingga mengalami peningkatan kekuatan dan kekerasan.

- 1) Tabel variabel entered menunjukkan bahwa tidak ada variabel dikeluarkan (removed), dengan kata lain kedua variabel dimasukkan dalam perhitungan regresi.
- 2) Standar error of estimate adalah 1.8 untuk regangan.
- 3) Uji Anova atau F test diperoleh F hitung adalah 0.65 dengan tingkat signifikansi 0,05 dan model regresi bisa dipakai untuk memprediksi pengaruh factor regangan yang terjadi.
- 4) Tabel rasio menggambarkan persamaan regresi
 $Y = 2,41 X_1 - 0,4347X_2$ (Baja Silindris)
 $Y = 2,35 X_1 - 0,534X_2$ (Baja Pelat)
 Dimana Y adalah kekerasan
 X_1 = harga kekerasan skala
 X_2 = perubahan regangan yang timbul

V. KESIMPULAN

A. Simpulan

Dari hasil pengujian dan pengolahan data serta pembahasan disimpulkan beberapa hal berikut ini:

- 1) Persamaan regresi yang dihasilkan untuk baja silndris $Y = 2,41 X_1 - 0,4347 X_2$ dan untuk specimen baja pelat (rata) $Y = 2,35 X_1 - 0,534X_2$.
- 2) Formulasi hubungan merupakan bentuk persamaan yang berbanding lurus dengan konstanta sebesar 2,41 dan 2,35 dikurangi faktor 0,4347 dan 2,35 X faktor regangan yang dialaminya.
- 3) Formulasi diatas menjelaskan bahwa nilai batas elastisitas 2,41 X HBN (Baja Silindris) dan 2,35 X HBN (Baja Pelat) masing-masing dikurang dengan pegaruh factor regangannya.

B. Saran

1. Sebaiknya jumlah data yang diambil bisa lebih banyak

2. Pengujian lain, misalnya uji buckling, bending dan puntir perlu dilaksanakan untuk evaluasi kekakuan material secara lebih lengkap.
3. Pengaruh dominan dan penyimpangan yang terjadi sebaiknya dijelaskan lebih rinci lagi secara statistik.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amstead, BH. (1995). *Teknologi Mekanik* edisi 7 versi SI, Erlangga
- [2] ----- (1979). *Manufacturing Processes*, Publishing simultance in Canada
- [3] [Http://www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk), *Mesin Uji Tarik*
- [4] [Http://www.info.lu.farningadale.edu](http://www.info.lu.farningadale.edu), *Uji tarik*
- [5] Jensen, Alfred dan Harry H. Chenoweth. (1991) *Kekuatan Bahan Terapan*. Terjemahan Darwin Sebayang. Jakarta: Erlangga.
- [6] Khurmi, R.S. dan J.K. Gupta (1992) *A Text Book of Machine Design*. Eurasia Publishing House New Delhi:
- [7] Murdani, Anggit (2012). *Praktek Uji Bahan*, Polinema
- [8] Purwanto, Edy (2012) *Teknologi Bahan*, Polinema
- [9] Singer, Ferdinand L. dan Andrew Pytel. (1995) *Ilmu Kekuatan Bahan..* Terjemahan Darwin Sebayang. Jakarta: Erlangga.
- [10] Sudjana. (1992) *Metoda Statistik*, edisi 5, Erlangga
- [11] Viyus, Vinan, 2005, *Mekanika Teknik II*. Buku Ajar Jurusan Teknik Mesin Polinema.
- [12] -----, 2011 *Pengaruh Pasca Bending Terhadap Kekuatan Tarik Baja Strip*, Prosiding Sentia
- [13] William F Smith. (1990), *Priciples of Material Sience and Engineering*. Mc Graw-Hill Bok Company Singapore.
- [14] Zainuri, A Muhib. (2009), *Kekuatan Bahan*. Andi Offset, Yogyakarta

VII. SIMBOL

- σ : Satuan tegangan atau tegangan (N/mm^2).
F : Gaya yang bekerja pada benda (N).
A: Luas penampang benda (mm^2).
 ΔL : Pertambahan Panjang akibat tarikan (mm)
 σ_y Tegangan Luluh (MPa)
 σ_u : tegangan Ultimate (MPa)
 ϵ_y : Regangan Tarik
E : Modulus Elastisitas Bahan (MPa)
HBN: Nilai kekerasan Brinell
 Y_{ij} : nilai pengamatan ke i dalam kelompok j
 μ : nilai rata-rata umum
 α_i : pengaruh perlakuan ke i
 ϵ_{ij} : kesalahan percobaan pada perlakuan ke I ulangan ke j
Output yang diperoleh berupa gaya dan pertambahan panjang akibat penarikan.