JURNAL

PENGARUH JENIS ELEKTRODA DAN ARUS PENGELASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA PENGELASAN BAJA ST 41 MENGGUNAKAN LAS SMAW

INFLUENCE THE TYPE OF ELECTRODE AND THE WELDING CURRENT TENSILE STRENGHT STEEL WELDING ST 41 USING THE SMAW

Oleh :

FEBRI RIYAN

NPM. 12.1.03.01.0041

Dibimbing oleh:

1. **Fatkur Rhohman, M.Pd**
2. **M. Muslimin Ilham, M.T**

TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI

2017

SURAT PERNYATAAN
ARTIKEL SKRIPSI TAHUN 2017

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap	: **FEBRI RIYAN**
NPM	: 12.1.03.01.0041
Telepon / HP	: 082234970862/085707484251
Alamat Surel (Email)	: riyansochi@yahoo.com
Judul Artikel	: PENGARUH JENIS ELEKTRODA DAN ARUS PENGELASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA PENGELASAN BAJA ST 41 MENGGUNAKAN LAS SMAW.
Fakultas – Program Studi	: FT – TEKNIK MESIN
Nama Perguruan Tinggi	: UN PGRI Kediri
Alamat Perguruan Tinggi	: Jln. K.H. Achmad Dahlan no. 76 Kediri

Dengan ini menyatakan bahwa:

a. Artikel yang saya tulis merupakan karya saya pribadi (bersama tim penulis) dan bebas plagiatrisme.

b. Artikel telah diteliti dan disetujui untuk diterbitkan oleh Dosen Pembimbing I dan II.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, apabila dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian data dengan pernyataan ini dan atau ada tuntutan dari pihak lain, saya bersedia bertanggungjawab dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Mengetahui		Kediri, 31 Januari 2017
Pembimbing I,	Pembimbing II,	Penulis,
Fatkur Rhohman, M.Pd **NIDN.0728088503**	**M. Muslimin Ilham, M.T** **NIDN.0713088502**	**FEBRI RIYAN** **NPM : 12.1.03.01.0041**

PENGARUH JENIS ELEKTRODA DAN ARUS PENGELASAN TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA PENGELASAN BAJA ST 41 MENGGUNAKAN LAS SMAW

FEBRI RIYAN
NPM. 12.1.03.01.0041
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK MESIN
Email: riyansohci@yahoo.com
Fatkur Rhohman, M.Pd[1] dan M. Muslimin Ilham, M.T[2].
UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI

ABSTRAK

Febri Riyan: Pengaruh jenis elektroda dan arus pengelasan terhadap kekuatan tarik pada pengelasan baja ST 41 menggunakan las SMAW, Skripsi, Teknik Mesin, Fakultas Teknik UN PGRI Kediri, 2017.

Pabrik atau perindustrian merupakan salah satu tempat untuk membuat dan memproduksi suatu produk atau barang. Dalam dunia industri terdapat teknologi, salah satunya adalah pengelasan. Pengelasan *(welding)* adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan.

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi juru las dalam pemilihan jenis elektroda dan arus pengelasan dalam mengelas suatu kontruksi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode faktorial dan pengolahan data menggunakan analisis variasi (Anava).

Dari hasil pengujian tarik diketahui faktor jenis elektroda didapat dengan F hitung= 7,73 > $F_{(0,05;1,8)}$ = 5,32, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh yang signifikan variabel jenis elektroda terhadap uji kekuatan tarik baja. Kekuatan tarik dengan jenis elektroda LB yaitu 28,54 kgf/mm^2, jenis elektroda RD yaitu 25,15 kgf/mm^2, dan jenis elektroda RB yaitu 26,87 kgf/mm^2, sedangkan faktor kuat arus pengelasan didapat dengan F hitung= 25,89 > $F_{(0,05;1,8)}$ = 5,32, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh yang signifikan dari variabel kuat arus terhadap kekuatan tarik baja. Kekuatan tarik pada arus pengelasan 80 Amper yaitu 23,44 kgf/mm^2 dengan arus pengelasan 100 Amper yaitu 27,63 kgf/mm^2 dan arus pengelasan 120 Amper yaitu 29,49 kgf/mm^2.

Kata kunci: arus, ketebalan, pengelasan.

I. LATAR BELAKANG

Pabrik atau perindustrian merupakan salah satu tempat mebuat dan memproduksi suatu produk atau barang. Dengan adanya perindustrian, maka banyak pula barang-barang yang dihasilkan atau diproduksi untuk diperjual belikan atau diperdagangkan kepda konsumen. Dalam memproduksi sebuah barang tidak lepas dengan teknologi, salah satu teknologi tersebut adalah pengelsan.

Pengelsan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan mengahsilkan sambungan. Pada saat ini telah dipergunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk yang dilaksanakan dengan cara memanaskan elektroda sampai mencair kemudian diendapkan pada logam yang akan disambung sehingga terbentuk sambungan las.

Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan mesin yang dibuat dengan teknik penyambungan menjadi ringan dan lebih sederhana dalam proses pembuatanya. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam bidang kontruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa pesat, pipa saluran, kendaraan rel, dan sebagainya. Disamping itu untuk pembutaan las, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi.

Mesin las busur elektroda *(SMAW)* menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin lasarus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan arus bolak-balik (AC). Mesin las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC-) digunakan bilatitikcair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodan dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Dalam pengelasan *SMAW* tidak lepas dengan adanya elektroda. Elektroda tersebut bermacam-macam variasi dari jenis elektroda, tipe elektroda dan diameter elektroda yang digunakan dalam pengelasan.

Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan manusia, karena jumlah cukup melimpah, mempunyai sifat mekanik yang memadai, mudah dikerjakan, harga yang relatif murah. Baja yang hanya mempunyai karbon tidak akan

memiliki sifat seperti yang diinginkan. Penambahan unsur paduan seperti Mn, Si, Cr, Mo, V, S, C, W baik masing-masing maupun secara kombinasi dapat menolong untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan.

Macam-macam jenis elektroda

- **RD-260**

RD-260 adalah kawat las tipe titania tinggi yang hanya dimaksudkan untuk pengelasan vertikal tegak lurus (ke bawah). Kawat ini memiliki penetrasi yang dangkal dan tidak terdapat kemasukkan terak *(slag inclusion)*. Kawat las ini dapat digunakan dengan mudah dan percikannya sedikit (Trisma, 2014). Elektroda jenis RD-260 biasa digunakan untuk mengelas pelat pada bagian luar kendaraan. Untuk komposisi kimia logam las meliputi: C (0.07%), Si (0,35%), Mn (0,40%), P (0,010%) dan S (0,017%).

- **LB-52-18**

LB-52-18 merupakan jenis elektroda E7018 dalam klasifikasi *AWS (American Welding Society)*. Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E7018 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan. Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Untuk komposisi kimia logam las meliputi: C (0,12%), Mn (1,6%), Si (0,75%), S (0,035%), Cr (0,2%), Ni (0,3%), Mo (0,3%), S (0,035%), dan P (0,035%).

- **RB-26**

Merupakan jenis elektroda E6013 dalam klasifikasi *AWS (American Welding Society)*. Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E6013 adalah kalium titania tinggi. Jenis selaput ini dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E6013 sangat baik untuk posisi pengelasan tegak arah ke bawah (Trisma, 2014). E6013 yang mengandung kalium memudahkan pemakaian pada parameter mesin yang rendah dan dipakai untuk mengelas pelat tipis. Untuk komposisi kimia logam las meliputi: C (0,1%), Si (0,27%), Mn (0,37%), Cr (0,006%), Ni (0,06%), Mo (0,01%), S (0,035%) dan V (0,01%).

Besar Arus Listrik

Menurut Wiryosumarto (2000), besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan, macam elektroda dan diameter elektroda.

Tabel 1.1 Spesifikasi arus menurut tipe elektroda dan diameter dari elektroda (soetardjo,1997 dalam Joko)

Diameter		Tipe Elektroda dan Amper digunakan					
Mm	Inch	E 6010	E 6014	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2,5	3/32	–	80 -125	70 -100	–	–	–
3,2	1/8	80 – 120	110 – 160	115 - 165	125 – 185	125 - 185	140 – 190
4	3/32	120 – 160	150 – 210	150 - 220	160 - 240	160 - 240	180 – 250
5	3/16	150 – 200	200 – 275	200 - 275	210 - 300	210 - 300	230 – 250
5,5	7/32	–	260 – 340	360 - 430	250 - 350	250 - 350	275 – 365
6,3	¼	–	330 – 415	315 - 400	300 - 420	300 - 420	335 – 430
8	5/16	–	90 – 500	375 - 470	–	–	–

II. METODE

Metodologi penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian bisa dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

Dalam penelitian ini digunakan metode penelitian eksperimental nyata (*experimental research*) dan secara langsung pada objek yang dituju serta bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenise elektroda dan arus pengelasan terhadap kekuatan tarik pada baja ST 41 menggunalan las SMAW. Disamping itu dilakukan pengkajian dasar teori yang ada dari sumber literature berupa buku dan jurnal. Desain experimen menggunakan faktorial L9, analisais data menggunakan Analisis variansi (ANAVA).

III. HASIL DAN KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengujian tarik yang telah dilakukan maka perhitungan tarik dari setiap spesimen yang sudah dilakukan pengelasan terhadap baja ST 41 menggunakan variasi arus 80 A, 100 A, 120 A dan jenis elektroda LB, RD dan RB adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data hasil eksperimen

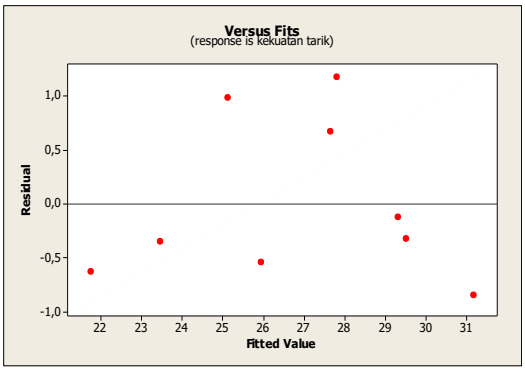
NO	Paraemeter Pengelasan		Kekuatan Tarik
	Kuat arus	Jenis elektroda	
1.	80 AMPER	LB	26,11
2.	80 AMPER	RD	21,11
3.	80 AMPER	RB	23,11
4.	100 AMPER	LB	29,19
5.	100 AMPER	RD	25,39
6.	100 AMPER	RB	28,32
7.	120 AMPER	LB	30,33
8.	120 AMPER	RD	28,97
9.	120 AMPER	RB	29,19

Untuk mengetahui apakah variabel variasi jenis elektroda dan kuat arus mempunyai pengaruh terhadap kekuatan tarik terhadap baja ST 41 setelah dilakukan analisa variasi (ANAVA). Analisis variasi mensyaratkan bahwa *residual* harus memenuhi tiga asumsi, yaitu bersifat

identik, independen, dan terdistribusi normal.

A. Uji Identik

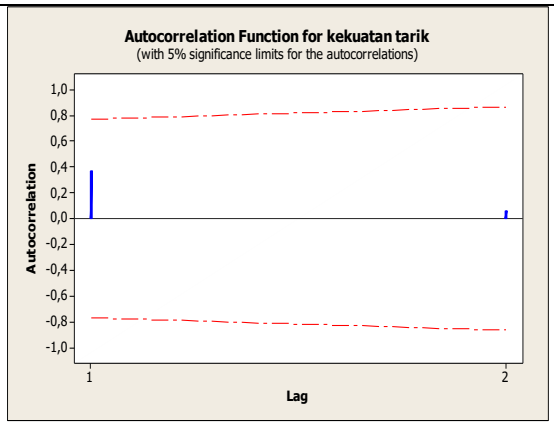
Uji identik terpenuhi bila *residual* tersebar secara acak disekitar nol dan tidak membentuk pola tertentu. Hasil uji identik disajikan pada Gambar 4.1 dibawah ini menunjukkan *residual* tersebar secara acak sekitar harga nol dan tidak membentuk pola tertentu, dengan demikian asumsi *residual* terpenuhi.



Gambar 4.1 *Plot residual* kekuatan tarik *versus fitted values*

C. Uji Independen

Pengujian independen pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *auto correlation function (ACF)*. Berdasarkan *plot ACF* yang ditunjukkan pada gambar 4.2, tidak ada nilai *ACF* pada tiap *log* yang keluar dari batas interval. Hal ini membuktikan bahwa tidak ada korelasi antar *residual* artinya *residual* bersifat independen.



Gambar 4.2 *Plot ACF* pada respon kekuatan tarik.

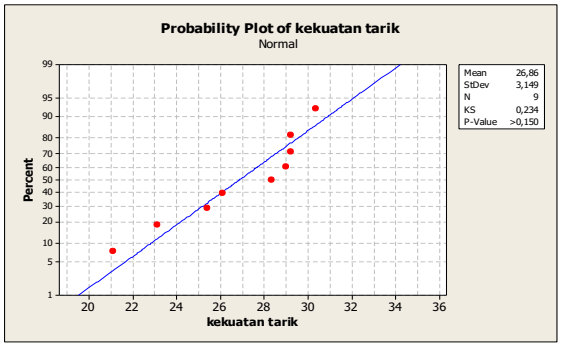
B. Uji Kenormalan

Uji kenormalan *residual* dilakukan dengan menggunakan uji Kolmogorov Smirnov. Hipotesis yang digunakan adalah:

H_0: *Residual* berdistribusi normal

H_1: *Residual* tidak berdistribusi normal

H_0 ditolak jika *p-value* lebih kecil dari pada α = 0,05. Gambar 4.3 menunjukan bahwa dengan uji Kolmogorov-Smirnov diperoleh: *p-value* sebesar 0,150 yang berarti lebih besar dari α = 0,05. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa H_0 gagal ditolak atau *residual* berdistribusi normal.



Gambar 4.3 *Plot* uji distibusi normal pada respon kekuatan tarik

D. Analisis Variabel Proses Terhadap Kekuatan Tarik

Dengan hipotesis:

H0: $\tau_1 = \tau_2 = 0$ (rata-rata sampel tiap perlakuan sama)

H1: $\tau_i \neq 0$ (ada perlakuaan yang rata-ratanya tidak sama)

Hipotesa awal akan ditolak apabila nilai F_{hitung} melebihi nilai $F_{\alpha, a-1, N-a,}$ dimana a adalah banyak replikasi ditiap level faktor dan N adalah banyaknya seluruh pengamatan. Untuk mendapatkan nilai $F_{\alpha, a-1, N-a}$. Selain menggunakan nilai F, kita bisa pula menggunakan *p-value*. Hipotesis awal akan ditolak apabila *p-value* kurang dari α. Dalam penelitian ini α yang dipakai bernilai 5%. Penarikan kesimpulan menggunakan *p-value* untuk kekuatan tarik. Berdasarkan tabel distribusi untuk $F_{(0,05, 1, 8)}$ adalah 5,32

Analisis variasi (ANAVA) digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel proses yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik.

Tabel 4.3 Analisis variasi variabel proses terhadap kekuatan tarik

```
ANOVA: kekuatan tarik versus kuat arus; jenis
elektroda

Factor           Type   Levels  Values
kuat arus        fixed       3   80; 100; 120
jenis elektroda  fixed       3  LB; RD; RB

Analysis of Variance for kekuatan tarik

Source           DF      SS      MS      F
P
kuat arus         2  57,671  28,835  25,89
0,005
jenis elektroda   2  17,205   8,603   7,73
0,042
Error             4   4,454   1,114
Total             8  79,331

S = 1,05528   R-Sq = 94,38%   R-Sq(adj) =
88,77%
```

Nilai F_{hitung} yang lebih besar dari F_{tabel} menunjukkan bahwa variabel proses tersebut mempunyai pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan pada uji hipotesis dengan menggunakan distribusi F adalah sebagai berikut:

1. Untuk variabel proses (kuat arus pengelasan)

   H_0 : $\alpha_1 = \alpha_2$

   H_1 : $\alpha_1 \neq \alpha_2$

   Kesimpulan: F hitung= 25,89 > $F_{(0,05;1,8)}$ = 5,32, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh yang signifikan dari variabel kuat arus terhadap kekuatan tarik baja.

2. Untuk variabel proses (jenis elektroda)

   H_0: $\alpha_1 = \alpha_2$

   H_1: $\alpha_1 \neq \alpha_2$

   Kesimpulan: F hitung= 7,73 > $F_{(0,05;1,8)}$ = 5,32, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh yang siginifikan variabel jenis elektroda terhadap uji kekuatan tarik baja.

Berdasarkan uji hipotesis distribusi F, maka variabel proses yang mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik adalah kuat arus pengelasan dan jenis elektroda. Kesimpulan pengaruh untuk masing-masing variabel proses terhadap kekuatan tarik ditunjukkan pada tabel 4.4 sebagai berikut:

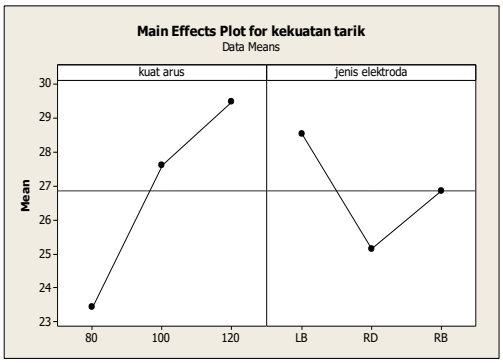
Tabel 4.4 Kesimpulan pengaruh variabel proses terhadap kekuatan tarik

Sumber Variasi	Kesimpulan
Kuat arus	Ada pengaruh
Jenis elektroda	Ada pengaruh

P-value menunjukkan variabel proses mana yang mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik. *P-value* yang lebih kecil dari *level of significant* (α) mengindikasikan bahwa variabel proses tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Dalam penelitian ini α yang dipakai bernilai 5%. Penarikan kesimpulan menggunakan *p-value* untuk kekuatan tarik yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 adalah sebagai berikut:

1. Untuk variabel proses kuat arus pengelasan.
   P-value = 0,005 > α = 0,05 maka secara statistik variabel kuat arus pengelasan memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik baja.
2. Untuk variabel proses jenis elektroda.
   P-value = 0,042 > α = 0,05, maka secara statistik variabel jenis elektroda memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik baja.

Berdasarkan uji hipotesis distribusi *P*, maka variabel proses yang mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik adalah jenis elektroda, sedangkan kuat arus pengelasan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik benda.



Gambar 4.4 *Main Effects Plot*

Karakteristik semakin tinggi nilai kekuatan maka semakin baik *(higher is better)* digunakan untuk respon kekuatan tarik. Hal ini berarti bahwa nilai kekuatan tarik yang maximum adalah yang paling diinginkan.

Pada gambar 4.4 dapat dijelaskan bahwa:

1. Kuat arus pengelasan semakin tinggi berpengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik baja (nilai $F > F_{tabel}$).
2. Jenis elektroda semakin tinggi berpengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik baja (nilai $F > F_{tabel}$).

E. Diskusi dan Pembahasan

Berdasarkan data hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini diketahui ada perbedaan kekuatan tarik dari proses pengelasan dengan tiga variasi arus pengelasan, yaitu 80 Amper, 100 Amper dan 120 Amper kemudian pada jenis elektroda yaitu LB,

RD dan RB. Respon yang didapat sebagai berikut:

1. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa faktor kuat arus 80 Amper menunjukkan kekuatan tarik yang paling rendah karena dari pengerjaannya diperoleh kekuatan tarik yang kecil dibandingkan faktor-faktor arus yang lain, faktor kuat arus 100 Amper berada ditengah-tengah, faktor kuat arus 120 Amper menunjukkan kekuatan tarik yang paling tinggi karena dari pengerjaannya diperoleh yang paling tinggi dibandingkan dengan faktor-faktor arus yang lain.
2. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa faktor jenis elektroda RD menunjukkan yang paling rendah, faktor jenis elektroda RB berada ditengah-tengah, LB menunjukkan kekuatan tarik lebih tinggi diantara lainnya karena dalam jenis elektroda LB mengandung unsur mangan (Mn) yang lebih tinggi dari pada jenis elektroda yang lain dan unsur mangan merupakan unsur paduan dalam baja dimana mangan dapat memperbaiki sifat yang dapat menaikkan kekuatan.

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian yang berjudul pengaruh jenis elektroda dan arus las terhadap kekuatan tarik pada baja plat ST 41 menggunakan las *SMAW* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa jenis elektroda memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik. Dibuktikan dengan $F_{hitung} = 6{,}91 > F_{(0{,}05,\ 1,\ 8)} = 5{,}32$ dan H_0 ditolak (pengaruh) dengan *p-value* lebih kecil dari pada $\alpha = 0{,}05$. Nilai kekuatan tarik rata-rata jenis elektroda LB yaitu 28,54 kgf/mm^2, jenis elektroda RD yaitu 25,15 kgf/mm^2, jenis elektroda RB yaitu 26,87 kgf/mm^2. Jenis elektroda berpengaruh terhadap hasil pengujian tarik pada sambungan las, karena masing-masing jenis elektroda memiliki komposisi *fluks* yang berbeda.
2. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kuat arus memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik. Dibuktikan dengan $F_{hitung} = 15{,}19 > F_{(0{,}05,\ 1,\ 8)} = 5{,}32$ dan H_0 ditolak (pengaruh) dengan *p-value* lebih kecil dari pada $\alpha = 0{,}05$. Nilai kekuatan tarik rata-rata variasi arus 80 A yaitu 23,71 kgf/mm^2, variasi arus 100 A yaitu 27,63 kgf/mm^2, variasi arus 120 A yaitu 29,49 kgf/mm^2. Variasi arus pengelasan berpengaruh terhadap hasil pengujian tarik pada sambungan las, semakin besar arus pengelasan maka semakin besar juga nilai kekuatan tarik plat baja ST 41.

IV. DAFTAR PUSTAKA

Adi, Wibowo. 2016. *Pengaruh jenis elektroda, pengutupan langsung dan pengutupan terbalik terhadap kekuatan tarik pada baja st 41*. JTM. Volume 04 Nomor 02 tahun 2016, 33-36. Tersedia: http://eojurnal.unesa.ac.id/artcle/18807/71/artcle.pdf, diunduh 22 januari 2017.

Dieta, Andre Adiarsa. 2015. *pengaruh tebal plat stainless steal a304 dan lama penekanan pada pengelasan titik terhadap kekuatan geser dan struktur makro.* Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Handito, kusumaning. 2013. *Pengaruh arus pengelasan dan jenis elektroda terhadap kekuatan tarik pada steel 42.* JTM. Volume 01 nomor 03 tahun 2013, 43-47.Tersedia: http://ejournal.unesa.ac.id/article/3900/71/article.pdf di unduh 22 januari 2017.

Iriawan, Nur dan Astuti, Septian Puji. 2006. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Jogjakarta: CV. Andi Offset.

Jaya Saputra, Trisma. 2014. *Elektroda Untuk Pengelasan Baja Lunak*. Vol. 22, No. 2, 15 September 2004 (Tahun ke 11) :31-40. Tersedia: http://download.portalgaruda.org/article.php?article=122087&val=4519, di unduh 23 November 2016.

Joko, Santoso. 2006. *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018.* Semarang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Tersedia: http://lib.unnes.ac.id/755/1/1902.pdf, di unduh 27 Oktober 2016.

Laboratorium Teknik Mesin, 2012. *Modul Pratikum Pengujian Material.* Malang: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah.

Luchsinger, H.R. 1981. *Tool Design*. Bandung: Institut Teknologi.

Montgomery, Douglas C, 2009. *Design and Analisis of Experimen 7th Edition.* New York: Jonh Wiley & Sons. Inc.

Park, SH. 1996. *Robbust Design And Analysis for Quality Engineering First Edition*, London: Champal & Hall.

Sonawan, H. 2003. *Pengelasan Logam.* Bandung: Alfabeta.

Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik.* Jakarta: Pradnya Paramita

Wira, 1997. *Struktur Baja Desain dan Perlakuan.* Jakarta: Erlangga

Wiryosumarto, Harsono. 2000. *Teknik Pengelasan Logam.* Jakarta: Pradnya Paramita.

Yuwono, A.H. 2009. *Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Departemen Metalurgi dan Material. Jakarta : Universitas Indonesia.