

ANALISIS PENGARUH TEBAL DAN ARUS TERHADAP DISTORSI ARAH TRANSVERSAL PADA HASIL LAS

Sukendro Broto S¹ dan Suparjo
Teknik Mesin–ITATS, Jl. Arief Rahman Hakim 100 Surabaya
Email¹: ssamongko619@gmail.com

ABSTRACT

Part engine repaired process by weld always rises the distorsion at the weld result. The distorsion rise at the weld result always due a problem that can cause increase the repaired process time and the cost of work. The distorsion happened at weld result can form in longitudinal direction, transversal direction or combination. The experiment limited only one direction in transversal direction. The experiment needed to find the effect of thickness and current toward the distorsion.

This experiment used variable are thickness and current which the thickness used are 8 mm, 13 mm dan 20 mm and the current used 125 A, 150 A and 175 A then the experiment respon used distorsion. The design experiment developed use central composite design (CCD) that arrangement by software minitab R14.

The experiment result must be validated statistically by software minitab R14 that will found error correlation statistically and show process model that explaining correlation between variable process toward respon. From The matematic model show the thickness give positif contribution toward distorsion but weld current is decline. So more thickness will be welded can increase distorsion to weld result and more higher weld current used in weld can decrease distorsion toward weld result.

Keywords : *Weld parameter, Distorsion at transversal direction, The weld result.*

ABSTRAK

Proses perbaikan komponen mesin dengan pengelasan sering muncul distorsi pada hasil pengelasan. Distorsi muncul pada hasil pengelasan dapat menyebabkan masalah yang menaikkan waktu pengerjaan dan biaya kerja. Distorsi pada hasil pengelasan bisa terjadi pada arah transversal, longitudinal atau kombinasi.

Perlu dilakukan penelitian untuk mencari pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan terhadap distorsi yang terjadi pada hasil lasan. Penelitian ini dibatasi hanya meneliti distorsi yang terjadi pada hasil las dalam arah transversal. Pada penelitian ini digunakan variabel-variabel proses tebal pelat (X_1) dan arus pengelasan (X_2) dimana tebal menggunakan level 8 mm, 13 mm dan 20 mm dan arus pengelasan menggunakan level 125 A, 150 A dan 175 A dengan respon distorsi. Desain eksperimen disusun menggunakan *Central Composite Design (CCD)* dengan menggunakan bantuan software minitab R14. Validasi hasil dilakukan secara statistik menggunakan software minitab R14.

Hasil eksperimen divalidasi secara statistik untuk mengetahui kesesuaian *error* secara statistik serta model matematis hubungan antara variable-variabel proses terhadap respon. Dari persamaan matematik menunjukkan tebal memberikan kontribusi positif terhadap distorsi dan arus memberikan kontribusi negatif. Sehingga semakin besar tebal pelat yang akan dilas dapat meningkatkan terjadinya distorsi pada hasil lasan. Dan semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan didalam pengelasan dapat mengurangi terjadinya distorsi sudut pada hasil lasan.

Kata kunci: Parameter las, Distorsi arah tranversal, Hasil las.

PENDAHULUAN

AISI 1045 termasuk kategori baja *heat treatable* dan sering kali digunakan sebagai komponen-komponen mesin dimana baja kelompok ini memiliki keuntungan, yaitu sifat mekanik baja yang dapat dimodifikasi dengan memberikan *heat treatment*. Proses perbaikan mesin sering dilakukan dengan pengelasan. Proses pengelasan sering digunakan las listrik SMAW meskipun pada alat tersebut memiliki kekurangan-kekurangan. Alat las GMAW sering digunakan sebagai teknologi baru yang dapat menutupi kekurangan didalam las listrik SMAW, misalnya elektroda yang tidak terbatas. Sehingga dapat digunakan untuk pengelasan multilayer yang luas.

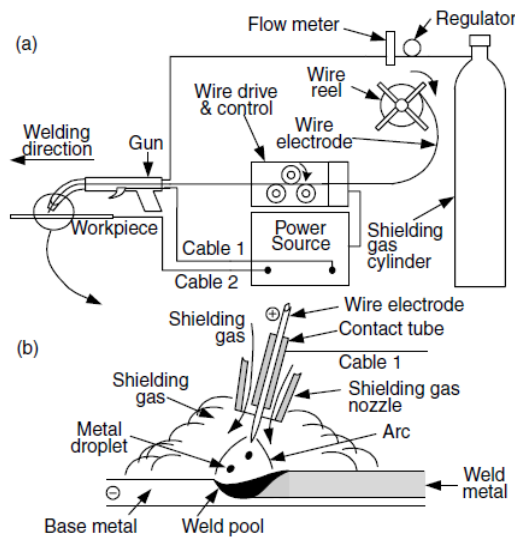
Didalam proses pengelasan sering muncul adanya distorsi pada hasil lasan. Distorsi disebabkan oleh masukan panas dan kecepatan pendinginan yang tidak seimbang. Distorsi tidak diharapkan terjadi setelah proses repairing komponen mesin selesai. Distorsi dapat berupa penyusutan kearah longitudinal, transversal dan kearah sudut. Distorsi pada komponen mesin dapat menyebabkan noise yang berakibat kerusakan fatal pada mesin. Untuk mengetahui pemicu terjadinya distorsi, maka perlu dilakukan penelitian lanjut mengenai distorsi.

Penelitian ini menggunakan 2 variabel proses yang dicurigai sebagai pemicu terjadinya distorsi arah transversal. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan terhadap distorsi arah transversal, untuk menekan timbulnya distorsi arah transversal pada hasil las. Variabel proses pada penelitian ini digunakan tebal pelat dan arus pengelasan. Data yang didapat dari pengukuran distorsi sudut, perlu dilakukan pengujian secara statistik. Kemudian dengan software minitab R14 didapat model matematik dari proses. Dari model dapat diketahui sejauh mana pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan mempengaruhi distorsi sudut.

KAJIAN PUSTAKA

Penelitian terdahulu mengenai pengaruh tebal pelat dan arus pengelasan terhadap distorsi sudut dengan alat las yang berbeda-beda telah banyak dilakukan. Pada penelitian dengan las SMAW (*shielded metal arc welding*), menunjukkan bahwa ketebalan pelat memberikan pengaruh yang signifikan [1]. Kemudian pada penelitian mengenai pengelasan baja lunak dengan menggunakan SAW (*submerged arc welding*), efek kuat arus memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi [2]. Dimana arus yang digunakan dalam proses pengelasan akan berbanding lurus dengan laju distorsi. Penelitian mengenai pengaruh parameter las dengan menggunakan alat las GMAW (*gas metal arc welding*) terhadap distorsi, menunjukkan bahwa tegangan, kuat arus, kecepatan pengelasan dan panjang pengelasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju distorsi sudut [3]. Demikian juga penelitian mengenai pengelasan dua material yang tidak sejenis, dengan melakukan pengaturan masukan panas guna mengurangi distorsi *bowing* menggunakan GMAW serta menunjukkan bahwa ketahanan baja tahan karat terhadap distorsi *bowing* kecil meskipun disertai dengan perlakuan panas dan pemanasan pada jarak yang lebar dari garis las dan dapat meningkatkan distorsi *bowing* pada baja karbon maupun baja tahan karat [4]. Penelitian mengenai pengaruh tebal pelat dalam pengelasan dengan SAW (*submerged arc welding*), menunjukkan bahwa dengan kedalaman penetrasi dan pemilihan parameter las yang tepat dapat meminimalkan terjadinya distorsi sudut pada pengelasan sambungan T [5]. Penelitian mengenai pengelasan baja lunak menggunakan GMAW dengan *metal transfer type spray* menunjukkan bahwa arus dan tebal dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi sudut, disamping itu arus dan tebal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan struktur mikro dan kekerasan pada daerah las, khususnya daerah HAZ [6].

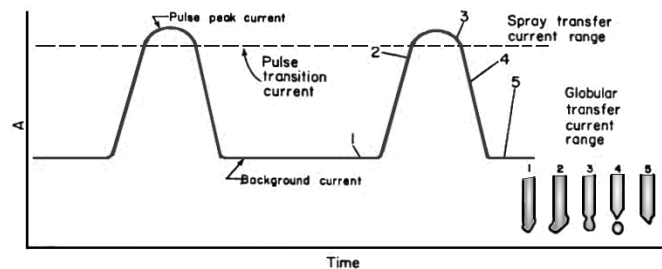
Alat las GMAW secara garis besar adalah las listrik dengan pelindung nyala api berupa gas. Gas pelindung dapat berupa *inert gas* (He dan Ar) dan *aktif gas* (CO₂ dan O₂) [7,8,9,10]. Nyala busur listrik saat proses pengelasan akan terselubungi gas pelindung. Gas pelindung berfungsi melindungi logam las saat mencair dari udara atmosfer dan menaikkan *heat transfer* saat gas pelindung menggunakan aktif gas. Elektroda yang digunakan didalam las GMAW tidak memiliki panjang yang terbatas. Alat las GMAW semiotomatis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. a. Alat las GMAW semi otomatis.

b. Proses pengelasan dengan menggunakan alat las GMAW [9].

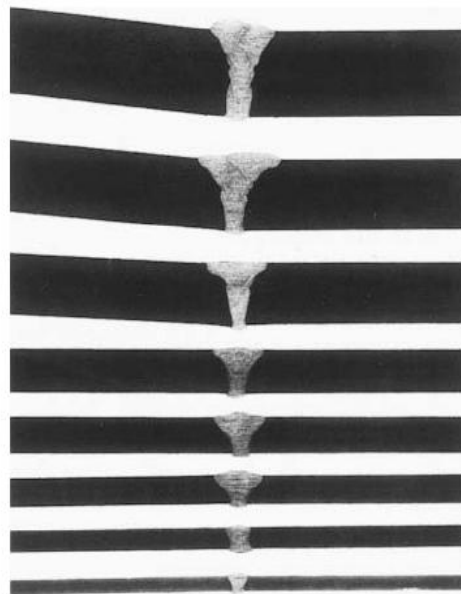
Metal transfer didalam pengelasan dengan menggunakan GMAW dikenal 4 macam, yaitu : *short circuit metal transfer* , *globular metal transfer* , *pulsa metal transfer* dan *Spray metal transfer* *Metal transfer* yang terjadi dibedakan berdasarkan penggunaan arus pengelasan. Penggunaan arus ditunjukkan pada gambar 2. Arus transisi digunakan ketika metal transfer type pulsa digunakan. Pada diameter elektroda 1 mm, arus pengelasan digunakan 150 A [9].



Gambar 2. Pulsa arus sebagai referensi yang membedakan metal transfer didalam las GMAW [9].

Pemilihan parameter las yang tepat akan menentukan kualitas hasil las. Salah satu parameter las adalah arus pengelasan. Arus pengelasan yang tinggi menyebabkan elektroda akan cepat meleleh, sehingga juru las cenderung mempercepat kecepatan pengelasan. Saat arus pengelasan rendah menyebabkan elektroda sulit meleleh, sehingga juru las cenderung memperlambat kecepatan pengelasan. Arus pengelasan berbanding lurus dengan H_{nett} . H_{nett} merupakan bentuk energi input didalam pengelasan, dimana besar energi input dapat mempengaruhi kecepatan pendinginan yang terjadi pada hasil pengelasan. Kecepatan pendinginan juga dipengaruhi oleh luas permukaan benda kerja yang terekspos ke udara bebas, yang memungkinkan terjadinya laju perpindahan panas secara konveksi [9]. Kecepatan pendinginan menentukan distorsi sudut pada hasil pengelasan [10].

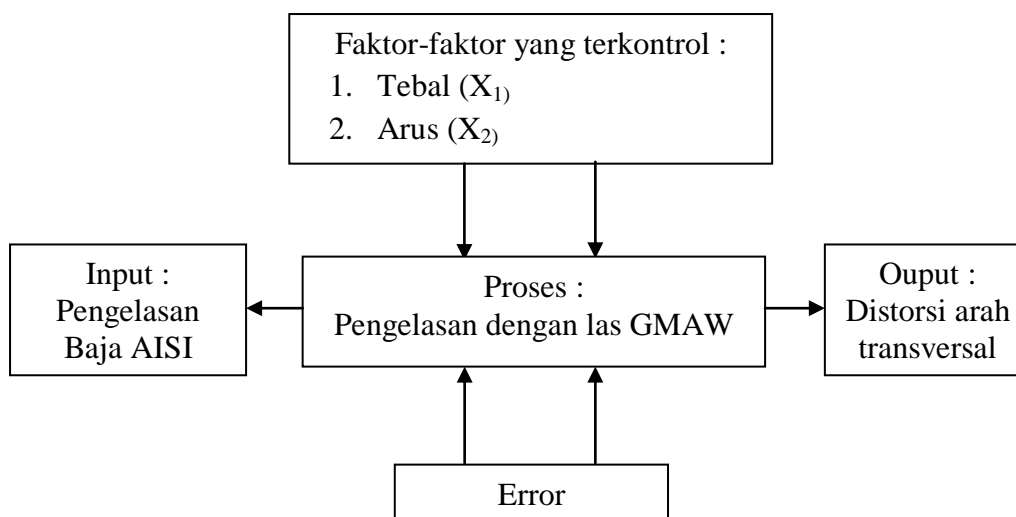
Distorsi merupakan bentuk penyimpangan geometri hasil pengelasan. Distorsi muncul sebagai akibat pemuaian saat pemanasan yang tidak seimbang dengan penyusutan saat fase pendinginan terjadi. Kontraksi termal saat terjadinya pemanasan dan ketika berlangsungnya fase pendinginan benda kerja dapat melampaui deformasi plastik [10]. Distorsi dipengaruhi oleh ketebalan pelat yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh tebal pelat terhadap distorsi sudut pada pengelasan aluminium seri 5083 [10].

METODE

Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini merupakan model sistem pengelasan pelat datar dengan las GMAW yang ditunjukkan pada Gambar 4. Eksperimen ini diawali dengan penetapan *level* pada tebal dan arus pengelasan sebagai identifikasi masalah. *Level* tebal dan arus pengelasan ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 4. Model sistem.

Tabel 1. *Level* parameter proses [11],[12].

No	Parameter Bebas	Level		
		-1	0	1
1	X_1 = Tebal Pelat (mm)	8	13	20
2	X_2 = Arus Pengelasan(ampere)	125	150	175

Perencanaan eksperimen dibuat dengan formasi *Central Composite Design (CCD)* yang didapat dari *software* minitab R14. Sebagai inputan yang dimasukkan kedalam *software* minitab ditunjukkan pada Gambar 5. Formasi CCD variabel proses ditunjukkan pada Tabel 2.

```

Central Composite Design

Factors:      2      Replicates:    1
Base runs:   13      Total runs:   13
Base blocks: 1      Total blocks: 1

Two-level factorial: Full factorial

Cube points:          4
Center points in cube: 5
Axial points:         4
Center points in axial: 0

Alpha: 1

```

Gambar 5. Inputan awal untuk mendapatkan desain CCD.

Tabel 2. Desain eksperimen berdasarkan formasi CCD [13],[14].

No test	X ₁	X ₂	Tebal (mm)	Kuat arus (amp)
1	0	-1	13	125
2	0	0	13	150
3	0	0	13	150
4	0	0	13	150
5	-1	1	8	175
6	-1	0	8	150
7	-1	-1	8	125
8	0	0	13	150
9	0	1	13	175
10	1	-1	20	125
11	1	0	20	150
12	1	1	20	175
13	0	0	13	150

Spesimen benda kerja digunakan AISI 1045 yang sering digunakan sebagai bahan pembuatan komponen mesin. Komposisi kimia dari spesimen benda kerja ditunjukkan pada Tabel 3.

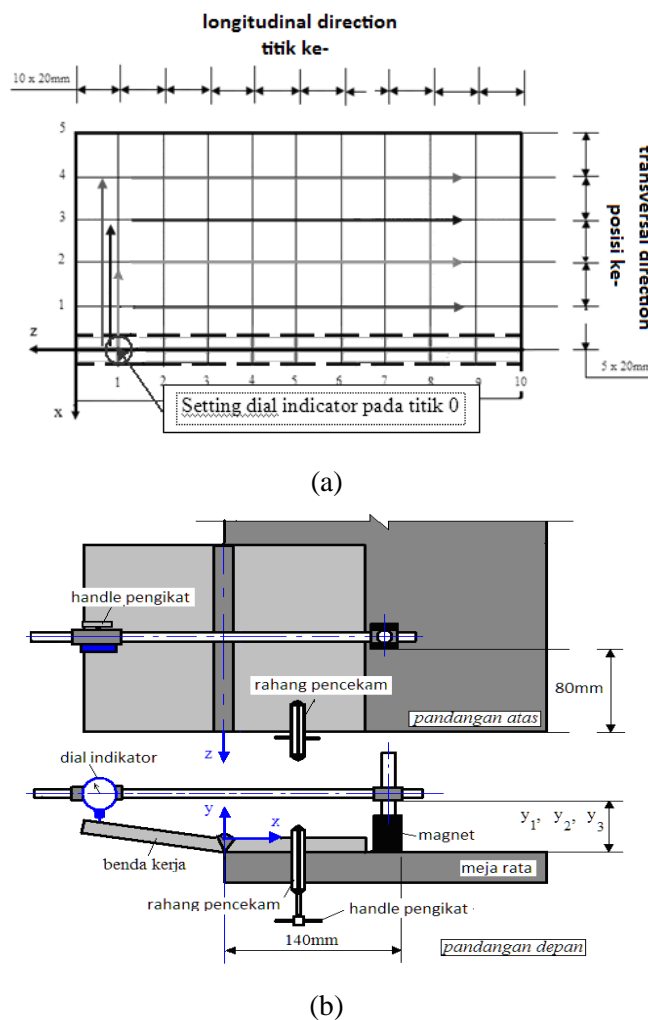
Tabel 3. Komposisi kimia baja AISI 1045.

Unsur kimia	%
Cuprum (Cu)	-
Mangan (Mn)	60
Phosfor (P)	1
Sulfur (S)	2
Silikon (Si)	20
Carbon (C)	48

(Sumber : Bhinneka Bajanasa)

Pelaksanaan pengelasan dilakukan didalam laboratorium. Pengelasan dilakukan pada posisi 1G. Layer yang digunakan didalam pengelasan sebanyak 4 *layer*. Debit gas pelindung CO₂ 15 lt/min. Pengelasan dilakukan secara manual dan dikerjakan oleh juru las yang bersertifikat juru las. Kecepatan *filler* disesuaikan dengan arus pengelasan. Kecepatan *filler* 13 m/min digunakan pada arus 125 A. Kecepatan filler 18 m/min digunakan pada arus 150 A. Kecepatan filler 16 m/min

digunakan pada arus 175 A. Pengukuran distorsi hasil pengelasan dilakukan dengan menggunakan *dial indicator*. Posisi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. a. Koordinat pengukuran dengan *dial indicator*.
b. Penempatan benda kerja saat dilakukan pengukuran dengan *dial indicator* [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen dalam formasi CCD ditunjukkan pada Tabel 4. Data yang ditabelkan merupakan nilai distorsi maksimum yang terjadi didalam setiap spesimen benda kerja yang terukur dengan metode pengukuran arah transversal yang ditunjukkan pada Tabel 5. Data hasil eksperimen perlu dilakukan pengujian secara statistik sebagai syarat validasi data secara statistik, yaitu error yang terjadi *identic*, *error* yang terjadi berdistribusi normal dan *independent* [14]. Hasil pengujian dengan *software* minitab R14 ditunjukkan pada Gambar 7 sebagai analisa variansi data hasil eksperimen.

Tabel 4. Data hasil pengukuran dalam formasi CCD.

No	X ₁	X ₂	Tebal (mm)	Arus (amp)	Distorsi (δ cm)
1	0	-1	13	125	0.058784
2	0	0	13	150	0.035683
3	0	0	13	150	0.033669
4	0	0	13	150	0.033335

5	-1	1	8	175	0.026753
6	-1	0	8	150	0.031005
7	-1	-1	8	125	0.051272
8	0	0	13	150	0.035003
9	0	1	13	175	0.031668
10	1	-1	20	125	0.093888
11	1	0	20	150	0.054151
12	1	1	20	175	0.049020
13	0	0	13	150	0.033350

Tabel 5. Distorsi maksimum.

arus	tebal		
	8	13	20
125	0.051272	0.058784	0.093888
150	0.031005	0.035683	0.054151
175	0.026753	0.031005	0.04902

(satuan ukuran distorsi dalam cm)

Estimated Regression Coefficients for distorsi

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.051300	0.001109	46.260	0.000
A	0.012779	0.001090	11.720	0.000
B	-0.016170	0.001090	-14.831	0.000
A*A	0.007576	0.001607	4.714	0.002
B*B	0.010482	0.001607	6.523	0.000
A*B	-0.006504	0.001335	-4.870	0.002

S = 0.002671 R-Sq = 98.6% R-Sq(adj) = 97.6%

Analysis of Variance for distorsi

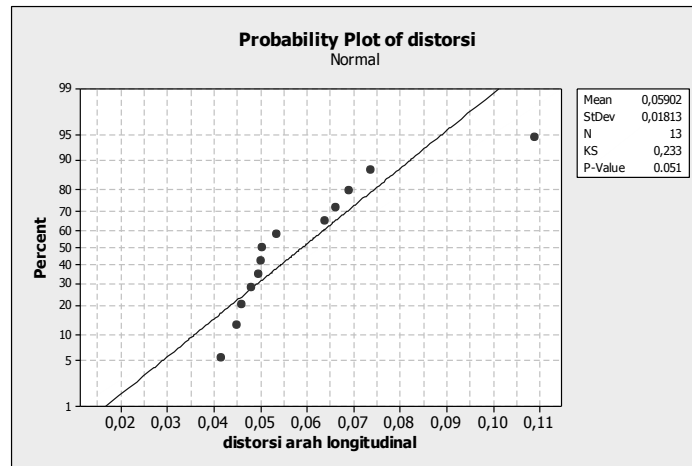
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.003454	0.003454	0.000691	96.84	0.000
Linear	2	0.002549	0.002549	0.001274	178.66	0.000
Square	2	0.000736	0.000736	0.000368	51.59	0.000
Interaction	1	0.000169	0.000169	0.000169	23.72	0.002
Residual Error	7	0.000050	0.000050	0.000007		
Lack-of-Fit	3	0.000025	0.000025	0.000008	1.31	0.387
Pure Error	4	0.000025	0.000025	0.000006		
Total	12	0.003504				

Gambar 7. Hasil analisa dengan menggunakan *software* minitab R14.

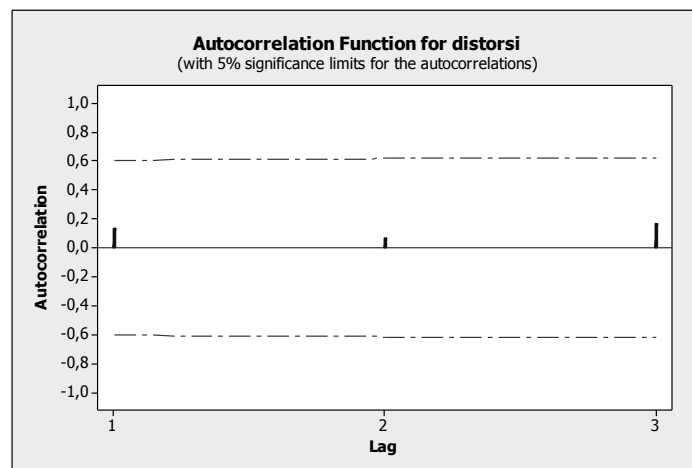
Hasil pengujian statistik menunjukkan bahwa tebal pelat memberikan kontribusi positif terhadap distorsi dan arus pengelasan memberikan kontribusi negatif terhadap distorsi sudut. Hasil analisa didapat persamaan matematik yang menggambarkan proses. Model matematis adalah sebagai berikut,

$$Y = 0.0513 + 0.012779X_1 - 0.016170X_2 + 0.007576X_1^2 + 0.010482X_2^2 - 0.006504X_{12} \quad (1)$$

Pengujian hipotesa variabel-variabel menggunakan $\alpha = 0.05$. Hasil pengujian variabel-variabel didalam model menunjukkan bahwa adanya pengaruh yang signifikan dari variabel-variabel proses terhadap distorsi sudut. Pengujian error dengan normality test didapat hasil bahwa error berdistribusi normal dengan $P_{\text{value}} = 0.051$ seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Sebaran data pada autocorrelation menunjukkan independent error seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Sebaran data didalam plotting diagram menunjukkan bahwa error identic satu dengan yang lain. Harga $R^2 = 98.6\%$ mengindikasikan bahwa model dapat menggambarkan proses dengan sangat baik.

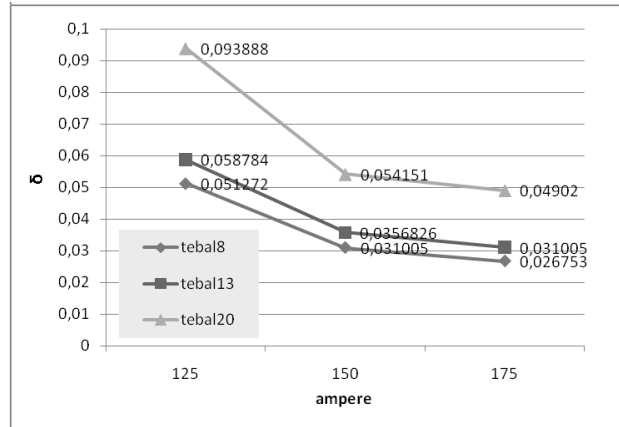


Gambar 8. Normality test.

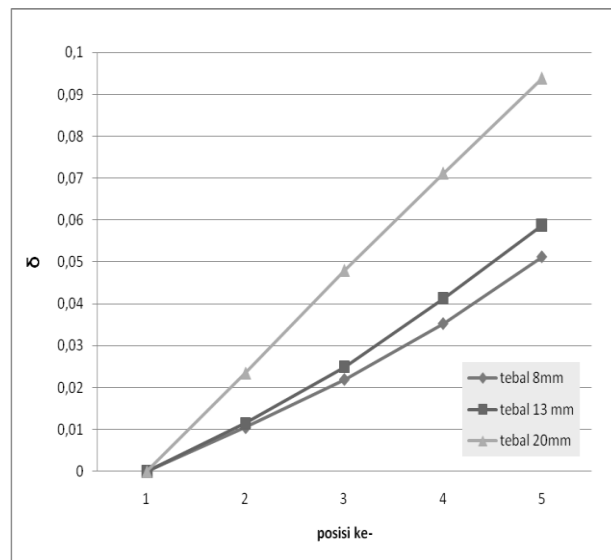


Gambar 9. Autocorrelation test.

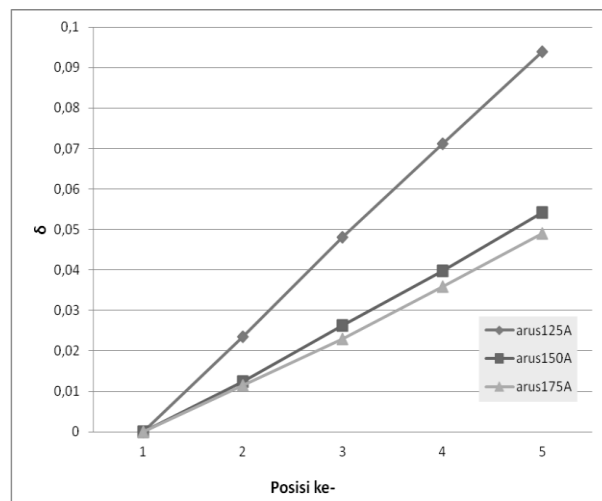
Model matematis menunjukkan kontribusi pengaruh tebal pelat dan kuat arus pengelasan terhadap distorsi. Pengaruh terbesar diberikan oleh arus pengelasan. Pengaruh terkecil diberikan oleh tebal pelat. Pengaruh arus memberikan efek negatif pada distorsi. Semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan dapat mengurangi terjadinya distorsi. Pengaruh tebal memberikan efek positif pada distorsi. Semakin tebal pelat yang akan dilas peluang terjadinya distorsi sudut akan semakin besar. Model juga menggambarkan proses secara nyata. Model menggambarkan hubungan tebal dan arus pengelasan dengan distorsi bukan sebagai fungsi linier, melainkan fungsi kuadratik yang ditunjukkan dengan kurva pada grafik yang berbentuk parabolik. Hubungan pengaruh tebal dan arus pengelasan dengan distorsi yang ditunjukkan pada Gambar 10. Bentuk distorsi yang terjadi tidak linier pada sumbu X (arah transversal) yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Grafik hubungan pengaruh tebal dan arus pengelasan terhadap distorsi arah transversal.



a. Efek pengaruh tebal pada pemakaian arus 125 A terhadap distorsi pada hasil las.



b. Efek pengaruh arus pengelasan pada tebal pelat 20 mm terhadap distorsi pada hasil las.

Gambar 11. Distorsi yang terjadi pada parameter pengelasan dengan efek variansi data terbesar.

Kurva grafik hubungan pengaruh tebal pelat terhadap arus pengelasan menunjukkan bahwa semakin tinggi tebal pelat yang dilas dapat menaikkan terjadinya distorsi, dimana pola tersebut juga terjadi pada pemakaian arus pengelasan 125 A, 150 A dan 175 A. Variansi terbesar pengelasan pelat datar terjadi pada pengelasan pelat dengan pemakaian arus 125 A. Tren kurva menunjukkan semakin tebal pelat yang dilas, distorsi yang timbul pada hasil lasan semakin tinggi. Kejadian tersebut muncul diakibatkan pada pengelasan pelat tebal secara manual, dimana operator akan berupaya untuk mengisi kampuh las dengan logam las untuk menghindari kekosongan kampuh las. Saat operator las berupaya mengisi kekosongan kampuh las dengan logam las berdampak pada penurunan kecepatan pengelasan. Penurunan kecepatan pengelasan akan meningkatkan masukan panas ke logam induk, akibatnya kontraksi thermal yang dialaminya meningkat. Sehingga distorsi arah transversal yang dihasilkan akan naik

Kurva grafik hubungan pengaruh arus terhadap tebal pelat menunjukkan bahwa semakin tinggi penggunaan arus pengelasan dapat menurunkan efek distorsi pada hasil pengelasan, dimana pola kejadian tersebut terjadi pada tebal 8 mm, 13 mm dan 20 mm. Variansi terbesar pada pengelasan pelat dengan ketebalan 20 mm. Pemakaian arus pengelasan dapat menaikkan H_{nett} saat proses pengelasan berlangsung. Kenaikan H_{nett} secara tidak langsung akan menaikkan gerakan operator didalam melakukan proses pengelasan, dimana ketika pengelasan dilakukan secara manual, pemakaian arus yang tinggi dapat mempermudah logam las mencair, sehingga proses pengelasan dapat dilakukan lebih cepat. Saat proses pengelasan yang dilakukan semakin cepat, maka panas yang diterima logam induk tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan kecepatan pengelasan rendah. Akibatnya kontraksi thermal akibat inputan panas H_{nett} dengan kecepatan pengelasan tinggi yang terjadi pada benda kerja tidak terlalu besar. Sehingga terjadi penurunan distorsi arah transversal.

KESIMPULAN

Dari analisa hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

1. Semakin besar luas permukaan benda kerja yang terekspos ke udara bebas, akan menaikkan harga distorsi arah transversal didalam pengelasan pelat datar menggunakan las GMAW.
2. Semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan dapat menurunkan terjadinya distorsi arah transversal pada pengelasan pelat datar menggunakan las GMAW.
3. Arus pengelasan sebagai parameter las dapat digunakan untuk mengurangi pengaruh tebal pelat terhadap respon distorsi arah transversal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Anggono & Juliana .1999. *Pengaruh Besar Input Panas Pengelasan SMAW terhadap Distorsi Angular Sambungan T Baja Lunak SS400*, Jurnal Jurusan Teknik Mesin-Universitas Kristen Petra, Vol 1, No 1. <http://www.t.petra.ac.id/~puslit/journals/>.
- [2]. Suwanda & Totok. 2001. *Minimalisasi Distorsi Pada Pengelasan Plat Baja Lunak dengan Submerged Arc Welding Pada lebar Pelat Dan Kedalaman Penetrasi yang berbeda*, Proceeding Seminar Pascasarjana, PPs, ITS, Surabaya.
- [3]. Rusdianto & Jaka. 1991. *Analisa Pengaruh Parameter Pengelasan GMAW terhadap Distorsi yang Terjadi Pada Pengelasan Baja SS400 Ketebalan 12mm*, Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, ITS, Surabaya.
- [4]. Triyono. 2006. *Pengaruh Manajemen Termal terhadap Distorsi Bowing Sambungan Las Logam tak Sejenis antara Baja Karbon dan Baja Tahan Karat*, Unesa.
- [5]. Sidi, P. 2008. *Minimalisasi Distorsi Sudut dengan Kedalaman Penetrasi sebagai Kendala pada Proses Pengelasan Busur Rendam Sambungan-T*, Proceeding Seminar Pascasarjana, PPs, ITS, Surabaya.

- [6] Konang, A. 2009. *Pengaruh variasi tebal pelat dan besar arus listrik terhadap distorsi pada pengelasan multilayer proses GMAW dengan menggunakan transfer spray*, Proceeding Seminar Pascasarjana, PPs, ITS, Surabaya.
- [7] Gourd L.M.. 1995. *Principles of Welding Technology, Third Edition*, Edward Arnold, A Division of Holder Headline PLC, 338 Euston Road, London.
- [8] Sindo, K.2003. *Welding Metallurgy, 2th Edition*, John Wiley and Sons, Canada.
- [9] AWS D1.1/D1.1 M . 2002. *Struktur Welding Code – Steel*, American Welding Society, An American National Standart.
- [10] Montgomery, D.C. 1991. *Design and Analysis of Experiment*, John Wiley and Sons, Canada.
- [11] Iriawan, N. & Astuti, S.P. 2006. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Andi, Yogyakarta.
- [12] Wiryosumarto, H. & Okumura, T. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [13] Yoshiki & Mikami. 2006. *Measurement and Numerical Simulation of Angular Distortion of Fillet Welded T-joint*, Japan Welding Society, Vol.24(4) (20061105), 312-323.
- [14] Myer, R.H. & Montgomery, D.C. 2002. *Respon Surface Methodology Process and Production Optimazation Using Design Experiment*, John Wiley and Sons, Canada.