

Simulasi Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) Pada Plat *Stainless Steel* untuk Memprediksi Lebar Manik Las dan Kedalaman Penetrasi Pengelasan

Ario Sunar Baskoro¹⁾ dan Angga Fauzian²⁾

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424

Email: 1) ario@eng.ui.ac.id, 2) angga.fauzian@ui.ac.id

Abstrak

Tungsten Inert Gas (TIG) adalah proses pengelasan dimana busur listrik ditimbulkan oleh elektroda tungsten dengan benda kerja dan daerah pengelasannya dilindungi oleh gas pelindung. Sejak pertama kali ditemukan, TIG sudah menjadi bagian penting dalam industri manufaktur. Pengelasan ini banyak diaplikasikan pada *stainless steel*, aluminium, logam reaktif seperti magnesium dan titanium. Mengingat banyaknya aplikasi pengelasan TIG, maka pada studi kali ini dilakukan sebuah simulasi pengelasan pada plat *stainless steel* untuk memprediksi lebar manik las yang terbentuk dan kedalaman penetrasi pengelasan dengan memvariasikan besarnya arus yaitu 80, 90, dan 100 A dan besarnya kecepatan pengelasan yaitu 2, 3, dan 4 mm/s. Simulasi pengelasan menunjukkan hasil yang hampir sama dengan pengelasan secara eksperimental, di mana untuk lebar manik atas pada variasi arus dan kecepatan didapatkan error rata-rata berturut-turut adalah 8,3% dan 6,7%, dan untuk lebar manik bawah pada variasi arus dan kecepatan didapatkan error rata-rata berturut-turut adalah 4,9% dan 3,0%. Sementara, untuk penetrasi pengelasan error rata-ratanya adalah 6,9%.

Kata Kunci: Pengelasan TIG, *stainless steel*, simulasi pengelasan, penetrasi pengelasan, lebar manik las.

Pendahuluan

Pengelasan adalah sebuah proses penyambungan dari material logam atau non-logam yang menghasilkan penggabungan dari material-material tersebut dengan memanaskannya hingga temperatur pengelasan, dengan atau tanpa adanya tekanan, atau hanya dengan menggunakan tekanan, dan dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi [1].

Pada akhir abad ke-19, teknik pengelasan mulai berkembang dengan pesat. Hal ini disebabkan karena ditemukannya cara penggunaan tenaga listrik sebagai sumber panas dalam pengelasan. Sejak perang dunia kedua telah banyak cara-cara pengelasan dengan tenaga listrik sebagai sumber panas yang ditemukan, sehingga pada saat itu hampir semua penyambungan logam untuk segala macam konstruksi dapat dilakukan menggunakan proses pengelasan.

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau lebih populer disebut dengan *Tungsten Inert Gas* (TIG) adalah salah satu jenis pengelasan fusi yang masuk ke dalam kategori las busur dengan sumber pembangkitnya adalah listrik.

TIG menggunakan bahan *tungsten* sebagai elektode tidak terkonsumsi. Berbeda dengan jenis pengelasan yang lain, elektroda ini bukan sebagai filler, namun sebagai material untuk menghasilkan busur nyala listrik. Elektroda tidak terkonsumsi ini hampir tidak mengalami pelelehan selama proses pengelasan.

Pengelasan TIG dapat digunakan tanpa bahan tambahan, atau sering disebut dengan istilah *autogenous*. Gas lindung digunakan pada daerah pengelasan untuk mencegah terjadinya oksidasi. Gaslindung tersebut berupa gas mulia (seperti argon, helium) dan CO₂.

Sejak pertama kali ditemukan, TIG sudah menjadi bagian penting dalam industri manufaktur. Pengelasan ini banyak diaplikasikan pada *stainless steel*, aluminium, logam reaktif seperti magnesium dan titanium.

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan pengamatan terhadap efek medan elektromagnetik terhadap hasil lebar manik las dan penetrasi pengelasan pada material *stainless steel* [4-5]. Untuk dapat lebih mengetahui lebih dalam dari karakteristik pengelasan TIG, maka pada studi kali ini dilakukan sebuah simulasi pengelasan TIG pada plat *stainless steel* menggunakan *software* Ansys 14.0 untuk memprediksi lebar manik las dan kedalaman penetrasi pengelasan. Dengan demikian diharapkan, didapatkan parameter terbaik untuk menghasilkan pengelasan dengan mutu tinggi, khususnya pada pengelasan plat *stainless steel*.

Metode Eksperimen dan Fasilitas yang Digunakan

1. Distribusi Panas
Perhitungan Numerik Distribusi Panas pada Logam

Dasar secara matematis persamaan dasar konduksi panas pada benda pejal adalah [3] :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right] \quad (1)$$

dimana ρ adalah massa jenis, c adalah kalor spesifik, dan K_x , K_y , dan K_z adalah konduktivitas kalor. Kondisi batas pada permukaan logam dasar dan kolam las diberikan oleh persamaan berikut [3]:

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = q_{arc} - q_{conv} - q_{radi} - q_{evap} \quad (2)$$

dimana:

- q_{arc} : input kalor (*heat input*) oleh busur las,
- q_{conv} : rugi-rugi kalor (*heat loss*) karena konveksi,
- q_{radi} : rugi-rugi kalor karena radiasi,
- q_{evap} : rugi-rugi kalor karena penguapan

Pada perhitungan distribusi panas pada logam dasar digunakan metode elemen hingga. Pada penelitian kali ini, kecuali heat loss karena konveksi, semua heat loss lainnya tidak diperhitungkan.

2. Distribusi Fluks Kalor (*Heat Flux*) pada Busur Las

Sebagai fenomena penyambungan, distribusi termal pada pelat logam selama pengelasan sangat berhubungan dengan distribusi termal di busur sebagai sumber panas pengelasan. Namun, distribusi fluks kalor yang terjadi pada busur belum dipertimbangkan dalam sistem kontrol pengelasan konvensional. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa distribusi fluks kalor dari las busur, q_{arc} , dinyatakan dengan fungsi Gaussian ditunjukkan oleh persamaan berikut [3]:

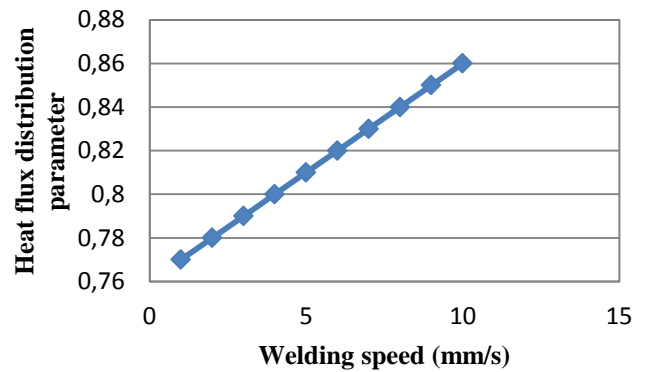
$$Q_{arc} = \frac{\eta V I}{2 \pi \sigma^2} \exp \left[-\frac{(x^2 + y^2)}{2 \sigma^2} \right] \quad (3)$$

Dimana:

- η : efisiensi termal,
- σ : parameter distribusi fluks kalor (*heat flux distribution parameter*),
- V : tegangan pengelasan,
- I : arus pengelasan.

Parameter distribusi fluks kalor, σ , berkaitan dengan densitas energi dari sumber panas yang secara signifikan mempengaruhi penetrasi pengelasan. Karena kontrol penetrasi menggunakan sistem konvensional memiliki hasil yang tidak stabil, maka dari itu nilai σ diasumsikan konstan selama pengelasan.

Berdasarkan hasil simulasi dan eksperimen, korelasi parameter distribusi fluks kalor dengan kecepatan pengelasan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



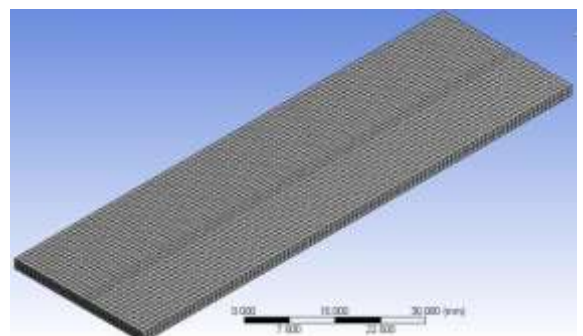
Gambar 1. Korelasi antara parameter distribusi fluks kalor dan kecepatan pengelasan (*welding speed*)

3. Simulasi Pengelasan

Penelitian ini menggunakan Matlab R2011a dan Ansys 14.0 untuk mensimulasikan proses pengelasan, di mana Matlab R2011a digunakan untuk menemukan distribusi fluks kalor pada busur las, dan Ansys 14.0 digunakan untuk mencari distribusi temperatur pada pelat *stainless steel*.

4. Model Spesimen

Gambar 2 menunjukkan model plat *stainless steel* dengan ukuran mesh 1 mm sebagai spesimen. Plat *stainless steel* 2x10x300 mm dan 3x10x100 mm digunakan untuk mengetahui lebar manik las dan kedalaman penetrasi pengelasan.



Gambar 2. Model Spesimen

Tabel 1. Sifat Material *Stainless steel*

Sifat	Nilai	Satuan
Massa jenis	7850	kg/m ³
Kalor spesifik	343	W/m. ⁰ C
Konduktivitas kalor isotropic	60,5	J/kg. ⁰ C
Titik lebur	1454	⁰ C

5. Pengelasan Secara Eksperimental

Pada penelitian ini, hasil pengelasan secara eksperimental dibandingkan dengan hasil simulasi untuk memastikan bahwa hasil simulasi memberikan hasil yang mirip dengan hasil pengelasan secara eksperimental sehingga dapat dijadikan sebagai sebuah acuan untuk memprediksi hasil pengelasan dengan masukan parameter seperti arus dan kecepatan pengelasan. Spesifikasi pengelasan yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Pengelasan

Polaritas	DCEN
Gas Lindung	Argon 8-10 lt/menit
Elektroda	EWP 2,4 mm diameter
Spesimen	SS 304
Arus	80-100 A
Kecepatan	2-4 mm/s
Jarak elektoda dari spesimen	2-3 mm

6. Parameter Pengelasan

Untuk mengetahui hubungan antara parameter input, seperti arus pengelasan dan kecepatan, dengan lebar manik dan kedalaman penetrasi pengelasan, beberapa simulasi dengan variasi parameter telah dilakukan. Tabel 3 dan 4 menunjukkan parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3. Variasi Arus Las

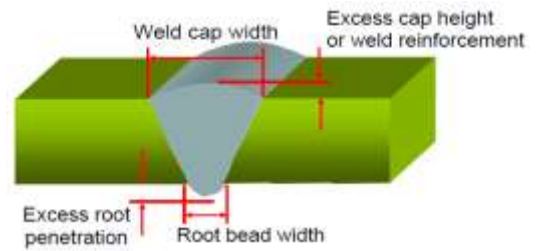
Tebal Plat (mm)	Kecepatan Las (mm/s)	Arus Las (ampere)
2	2	80
		90
		100

Tabel 4. Variasi Kecepatan Las

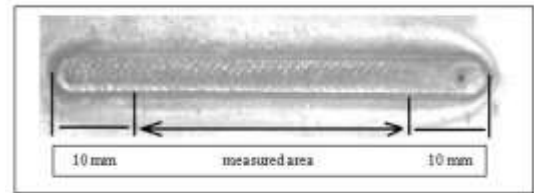
Tebal Plat (mm)	Arus Las (ampere)	Kecepatan Las (mm/s)
2	100	2
		3
		4
3	80	4

7. Pengukuran Hasil Pengelasan

Gambar 3 menjelaskan tentang bagian-bagian dalam pengelasan. Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan pada lebar manik atas, lebar manik bawah, dan kedalaman penetrasi pengelasan.



Gambar 3. Lebar manik atas (*top bead width/weld cap width*) dan lebar manik bawah (*back bead width/root bead width*)



Gambar 4. Metode Pengukuran

Pada hasil simulasi pengelasan, lebar manik las dan kedalaman penetrasi pengelasan diukur dengan menggunakan penggaris yang tersedia pada software Ansys. Daerah yang meleleh yang diprediksi sebagai lebar manik las dan kedalaman penetrasi pengelasan didapat dari pendeteksian menggunakan probe yang menunjukkan temperature titik-titik tertentu dimana probe akan ditandai sebagai daerah lelehan jika memiliki temperatur sama dengan atau diatas dari titik leleh *stainless steel*. Sedangkan, pada pengelasan secara eksperimental, lebar manik las diukur menggunakan penggaris. Sampel diukur ± 10 mm dari ujung pengelasan. Hal ini bertujuan agar data pengukuran yang didapatkan stabil. Kedalaman penetrasi pengelasan diketahui dengan melihat foto mikro dari potongan melintang hasil pengelasan.



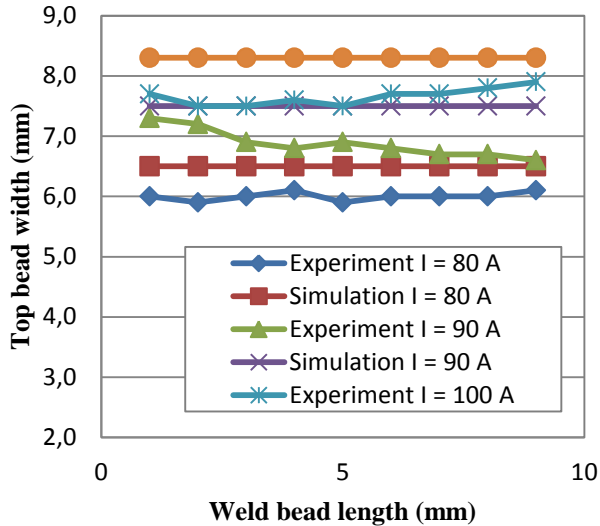
Gambar 5. Foto mikro hasil pengelasan

Pada setiap parameter yang digunakan dilakukan pengambilan data masing-masing tiga kali untuk setiap variasi parameter untuk memastikan kebenaran dari hasil data yang telah diambil.

Hasil dan Pembahasan

1. Lebar Manik Las (*Weld Bead Width*)

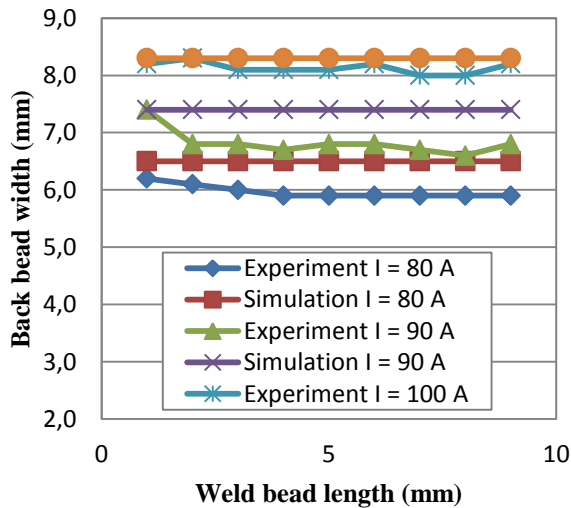
1.1. Variasi Arus



Gambar 6. Lebar manik atas (top bead width) pada variasi arus

Tabel 5. Manik Atas (Top Bead)

Arus (Ampere)	Lebar Manik Eksperimen (mm)	Lebar Manik Simulasi (mm)	Error (mm)	Persen Error (%)
80	6,0	6,5	0,5	8,3
90	6,9	7,5	0,6	8,7
100	7,7	8,3	0,6	7,8
Error Rata-Rata				8,3



Gambar 7. Lebar manik bawah (back bead width) pada variasi arus

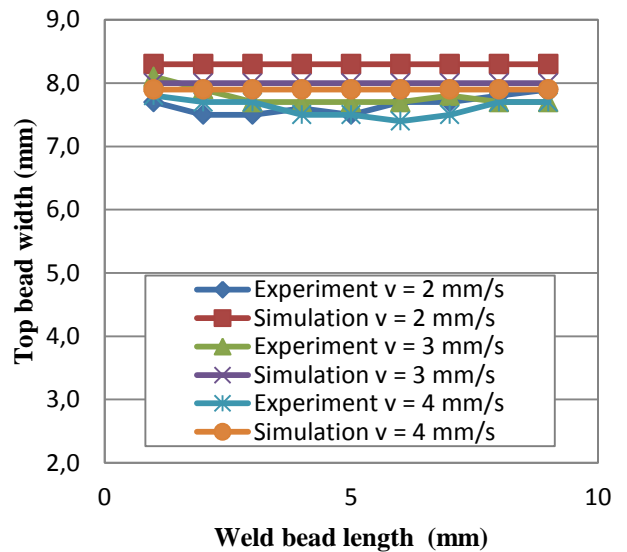
Tabel 6. Manik Bawah (Back Bead)

Arus (Ampere)	Lebar Manik Eksperimen (mm)	Lebar Manik Simulasi (mm)	Error (mm)	Persen Error (%)
80	6,0	6,5	0,5	8,3
90	6,9	7,5	0,6	8,7
100	7,7	8,3	0,6	7,8
Error Rata-Rata				8,3

80	6,0	6,5	0,5	8,9
90	6,8	7,4	0,6	8,8
100	8,1	8,3	0,2	2,5
Error Rata-Rata				6,7

Berdasarkan hasil simulasi dan eksperimen seperti terlihat pada Gambar 6 dan 7 serta Tabel 5 dan 6 didapatkan kesimpulan bahwa, semakin besar arus pengelasan, lebar manik yang dihasilkan menjadi semakin besar. Dari perbandingan hasil pengelasan secara eksperimental dan simulasi didapat error rata-rata 8,3 % untuk lebar manik atas dan 6,7% untuk lebar manik bawah.

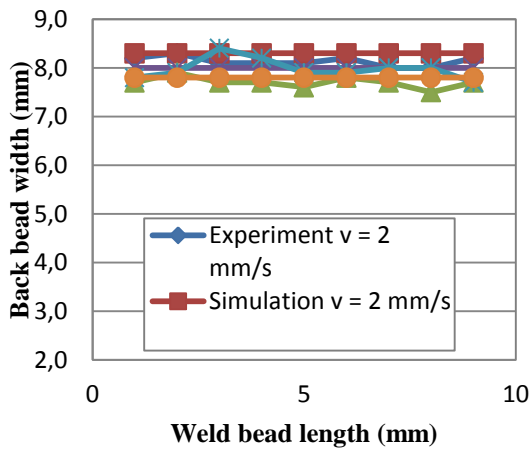
1.2. Variasi Kecepatan



Gambar 8. Lebar manik atas pada variasi kecepatan

Table 7. Manik Atas

Kecepatan (mm/s)	Lebar Manik Eksperimen (mm)	Lebar Manik Simulasi (mm)	Error (mm)	Persen Error (%)
2	7,7	8,3	0,6	7,8
3	7,8	8,0	0,2	2,6
4	7,6	7,9	0,3	3,9
Error Rata-Rata				4,9



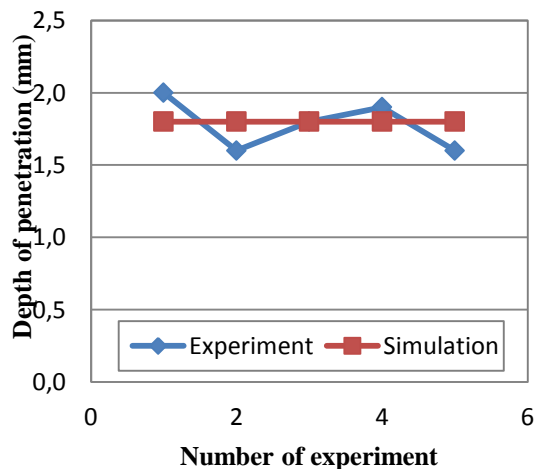
Gambar 9. Lebar manik bawah pada variasi kecepatan

Table 8. Manik Bawah

Kecepatan (mm/s)	Lebar Manik Eksperimen (mm)	Lebar Manik Simulasi (mm)	Error (mm)	Perse n Error (%)
2	8,1	8,3	0,2	2,5
3	7,7	8,0	0,3	3,9
4	8,0	7,8	0,2	2,5
Error Rata-Rata				3,0

Berdasarkan hasil simulasi dan eksperimen seperti terlihat pada Gambar 8 dan 9 serta Tabel 7 dan 8, didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan pengelasan, lebar manik yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Dari perbandingan hasil pengelasan secara eksperimental dan simulasi didapat error rata-rata 4,9 % untuk lebar manik atas dan 3,0 % untuk lebar manik bawah.

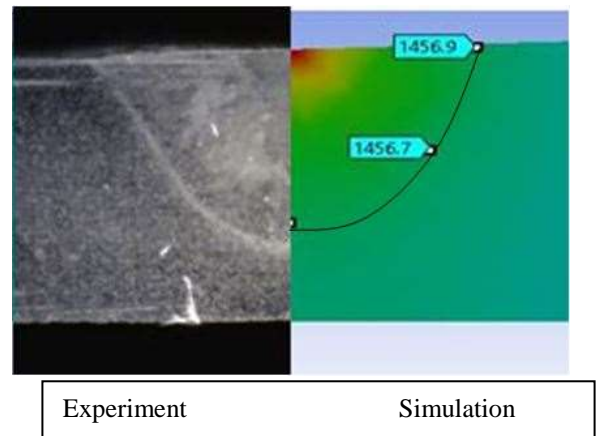
2. Kedalaman Penetrasi Pengelasan (*Depth of Welding Penetration*)



Gambar 10. Kedalaman penetrasi pengelasan

Tabel 9. Kedalaman Penetrasi

No	Kedalaman Penetrasi (mm)		Error (mm)	Persen Error (%)
	Eksperimen	Simulasi		
1	2,0	1,8	0,2	10,0
2	1,6	1,8	0,2	12,5
3	1,8	1,8	0,0	0,0
4	1,9	1,8	0,1	5,3
Error Rata-Rata				6,9

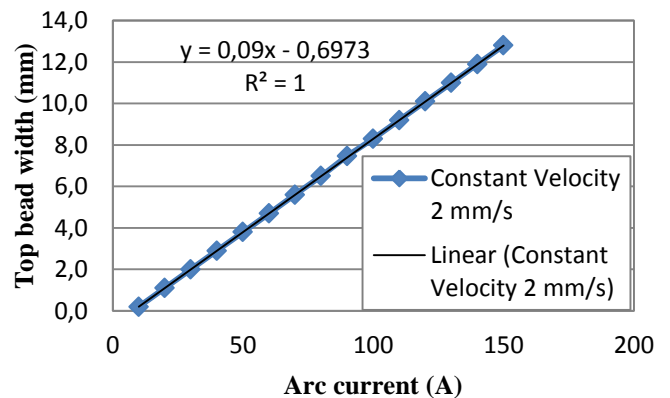


Gambar 11. Perbandingan hasil las secara eksperimental dan simulasi

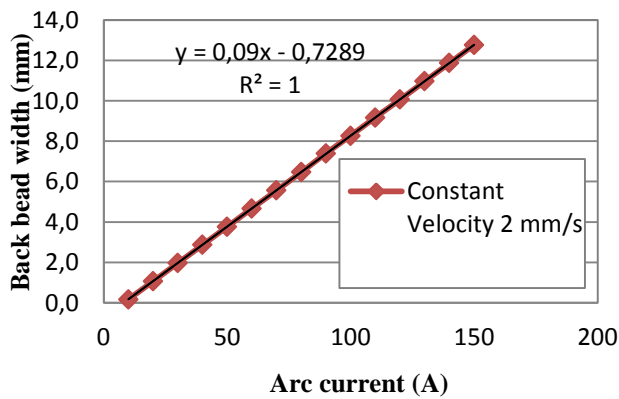
Berdasarkan perbandingan hasil pengelasan secara eksperimental dan simulasi seperti terlihat pada Gambar 10 dan Tabel 9, didapatkan error rata-rata kedalaman penetrasi pengelasannya adalah 6,9%. Gambar 11 menunjukkan perbandingan hasil las secara eksperimental dan simulasi.

3. Prediksi Lebar Manik

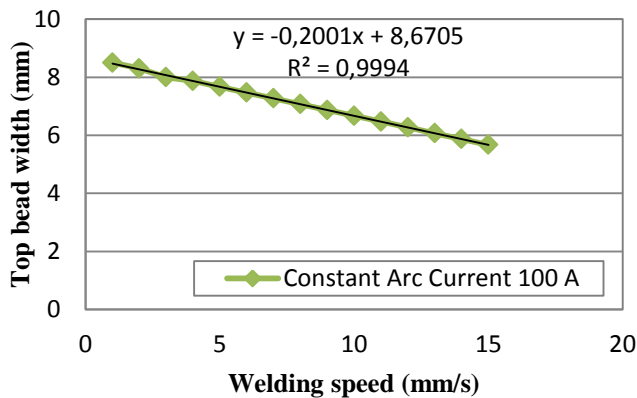
Gambar 12 – 15 menunjukkan prediksi lebar manik las pada beberapa variasi parameter, dimana tegangan yang digunakan konstan 10 V, dan arus pengelasan serta kecepatan pengelasan divariasikan.



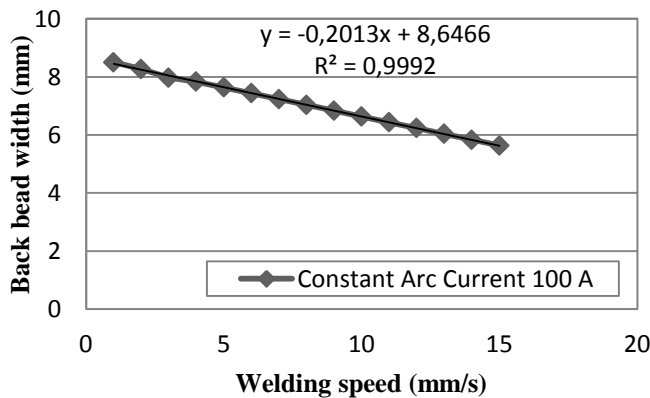
Gambar 12. Prediksi lebar manik atas pada variasi arus



Gambar 13. Prediksi lebar manik bawah pada variasi arus



Gambar 14. Prediksi lebar manik atas pada variasi kecepatan



Gambar 15. Prediksi lebar manik bawah pada variasi kecepatan

Gambar 12 – 13 menunjukkan bahwa, semakin besar arus pengelasan yang digunakan, maka lebar manik atas dan manik bawahnya juga semakin besar. Berbeda dengan gambar 14 – 15, dimana kecepatan berbanding terbalik dengan lebar manik las yang dihasilkan.

Kesimpulan

Sebuah simulasi analisis numerik menggunakan proses distribusi panas telah dirancang pada proses pengelasan TIG untuk plat *stainless steel*. Berikut merupakan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

- Arus pengelasan berbanding lurus dengan lebar manik yang dihasilkan.
- Kecepatan pengelasan berbanding terbalik dengan lebar manik yang dihasilkan.
- Besarnya parameter distribusi fluks kalor yang digunakan sangat berpengaruh terhadap lebar manik dan penetrasi pengelasan yang dihasilkan.
- Berdasarkan studi yang telah dilakukan, simulasi pengelasan menunjukkan hasil yang hampir sama dengan pengelasan secara eksperimental, dimana untuk lebar manik atas pada variasi arus dan kecepatan didapat error rata-rata berturut-turut 8,3% dan 4,9%, dan untuk lebar manik bawah pada variasi arus dan kecepatan didapat error rata-rata berturut-turut 6,7 % dan 3,0%. Sementara, untuk penetrasi pengelasan didapat error rata-ratanya sebesar 6,9%.

Referensi

- [1] American Welding Society (AWS), AWS/ANSI A3.0: *Standard Welding Terms and Definition*
- [2] Widharto, S., *Menuju Juru Las Tingkat Dunia*, PT Pradnya Paramita (2007)
- [3] Itoh, J., Hasegawa, Y., Koike, T., Miki, N. and Suga, Y., *Penetration Control Using Monitoring of Molten Pool and Simulation in TIG Welding of Thin Steel Plate*, Prosiding International Symposium on Joining Technologies in Advanced Automobile Assembly, Tokyo, Jepang, 54-60 (2005)
- [4] Baskoro, A.S., Sitanggang, F., Adrian, Y., Winarto, *Pengaruh Medan Elektromagnetik dan Parameter Pengelasan dalam Penetrasi Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG)*, Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI, 1690-1696 (2012)
- [5] Baskoro, A.S., Tuparjono, Erwanto, Winarto, *Peningkatan Penetrasi Pengelasan pada Las TIG (Tungsten Inert Gas) Menggunakan Pengaruh Medan Elektromagnetik*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra Surabaya, Vol. 14, No. 1, 7-13 (2013)