

SISTEM KONTROL JARINGAN SYARAF TIRUAN BERBASIS SIMULASI PADA PENGELASAN PIPA ALUMINUM

Ario Sunar Baskoro¹, Masashi Kabutomori², dan Yasuo Suga³

¹Laboratorium Teknologi Manufaktur dan Otomasi, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Jawa Barat, 16424, Indonesia

²Graduate School of Science and Technology, Keio University

³Faculty of Science and Technology, Keio University 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, 223-8522, Japan

E-mail: ario@eng.ui.ac.id

Abstrak

Dalam penelitian ini telah dikembangkan sistem pengelasan otomatis Tungsten Inert Gas (TIG) dengan menggunakan *sensor vision* pada pengelasan pipa aluminium. Penelitian ini mempelajari proses pengelasan cerdas pipa paduan aluminium 6063S-T5 dalam posisi tetap dengan obor las (*welding torch*) bergerak dan menggunakan mesin las AC. Model Jaringan Syaraf Tiruan (*neural network*) untuk pengendalian kecepatan pengelasan telah dikembangkan agar dapat bekerja secara otomatis. Untuk melatih Jaringan Syaraf Tiruan ini diperlukan cukup banyak data dari penelitian sehingga memerlukan waktu dan dana yang cukup besar. Penelitian ini menawarkan proses baru untuk memperkirakan dan mengendalikan penetrasi pengelasan dalam pengelasan pipa paduan aluminium. Penetrasi las diperkirakan dengan menggunakan metode perkiraan secara hibrida yaitu dengan mengombinasikan simulasi pengelasan dan pengamatan visual menggunakan *sensor vision*. Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa sistem pengendalian cukup efektif untuk mendeteksi kolam las (*molten pool*) dan menghasilkan pengelasan yang baik.

Kata Kunci: *deteksi kolam las, jaringan syaraf tiruan, pengelasan tungsten inert gas (TIG), sensor vision, simulasi pengelasan*

Abstract

This research has developed an automatic welding system Tungsten Inert Gas (TIG) using sensor vision on aluminum pipe welding. This research studied the process of intelligent welding of alloy pipe aluminum 6063S-T5 in a fixed position with a welding torch to move and use the AC welding machines. The neural network model to control the speed of the welding has been developed in order to work automatically. The neural network train need quite a lot of data from studies that require time and substantial funds. This research offers a new process for estimating and controlling welding penetration in welding of aluminum alloy pipe. Weld penetration was estimated by using the approximate hybrid method that combines the simulations of welding and visual inspection using sensor vision. The experiment results that the control system is effective enough to detect the molten pool and produce a good weld.

Keywords: *molten pool detection, neural network, sensor vision, tungsten inert gas (TIG) welding, welding simulation*

1. Pendahuluan

Saat ini, proses pengelasan busur untuk paduan aluminium sangat penting dalam dunia otomotif dan sektor maritim serta memiliki potensi dalam pengerjaan paduan ruang angkasa kekuatan tinggi. Hal ini dikarenakan material aluminium lebih ringan dan strukturnya lebih murah. Namun demikian, pengelasan pipa aluminium cukup sulit dilakukan karena karakteristik proses pengelasan dan sifat material

aluminium itu sendiri. Mengenai sifat material dan parameter pengelasan terdapat pada tabel I. Jika kondisi pengelasan pada pipa dijaga konstan dari awal hingga akhir, maka tebal manik las bagian bawah (*back bead width*) akan menjadi lebih lebar. Oleh karena itu, pengendalian tebal las sangat sulit dilakukan dalam kondisi pengelasan konstan. Otomasi untuk pengendalian tebal las harus memiliki kemampuan untuk menyetel kecepatan obor las atau mengendalikan arus las.

Telah banyak kajian dalam proses pengelasan pipa dengan memutar pipa dan menjaga obor las dalam keadaan statis [1-4]. Dalam pengelasan pipa dengan posisi tetap, terlihat jelas bahwa jika diberikan arus las yang berlebihan, logam akan tertembus dan berlubang, dan apabila arus las tidak mencukupi, tidak akan dihasilkan penetrasi. Untuk menghindari hal ini dan agar mendapatkan manik las yang seragam di sekeliling pipa, kondisi pengelasan harus dikendalikan selama proses pengelasan, sehingga sistem harus memiliki kecerdasan. Salah satu sistem cerdas yang digunakan dalam pengendalian adalah Jaringan Syaraf Tiruan. Kesulitan dalam memperoleh model yang baik dari Jaringan Syaraf Tiruan ini adalah pada saat melatih model dengan data yang baik saja, dan untuk kasus pengelasan pipa aluminium terdapat kesulitan dalam memperoleh data-data yang baik untuk digunakan dalam proses pelatihan. Oleh karena itu, tulisan ini menawarkan pengelasan pipa aluminium menggunakan kontrol Jaringan Syaraf Tiruan berbasis simulasi kalor sebagai data pelatihan.

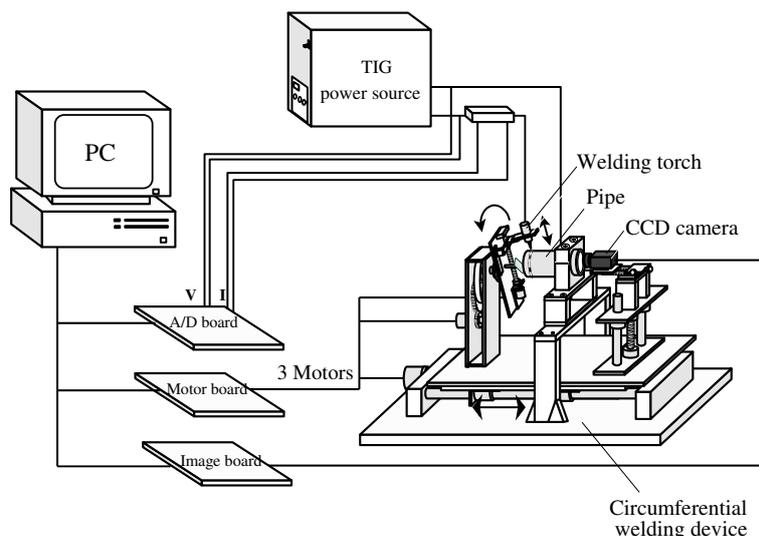
Dalam penelitian sebelumnya telah berhasil dilakukan pengelasan pada pipa aluminium dengan diameter pipa 37.8 mm dan ketebalan 2 mm [5]. Namun diperlukan banyak eksperimen untuk mendapatkan data pelatihan. Kajian ini mengajukan proses hibrida baru untuk memperkirakan dan mengendalikan penetrasi las dalam pengelasan pipa paduan aluminium. Dalam sistem ini, penetrasi las diperkirakan dengan metode hibrida menggunakan kombinasi simulasi pengelasan dan pengamatan visual menggunakan *sensor vision*. Dengan teknik yang diajukan, eksperimen yang diperlukan untuk mendapatkan data pelatihan model Jaringan Syaraf Tiruan menjadi lebih sedikit.

2. Metodologi

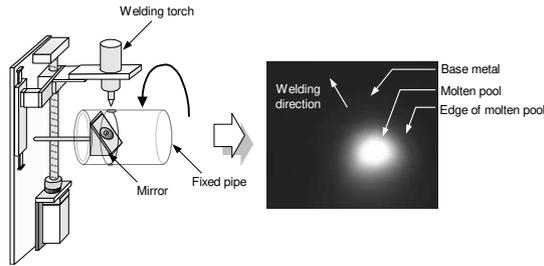
Sistem pengelasan pipa yang dikembangkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1. Sistem terdiri dari sebuah manipulator pengelasan rotasi, kamera CCD dan *board* pengolahan citra (256×220 *pixel*, 8bit), komputer (CPU: 1.2MHz), *board* A/D untuk mengukur arus dan voltase, mesin las TIG, *board* motor untuk mengendalikan tiga motor *stepper* yang menggerakkan pergerakan rotasi, pergerakan memanjang obor las, dan pergerakan panjang busur las.

Sebuah cermin dengan ukuran 29×20 mm diletakkan dengan sudut 60° terhadap sumbu horizontal akan memantulkan citra kolom las bagian bawah ke kamera CCD seperti pada gambar 2 (a). Cermin berputar mengikuti putaran obor las selama proses pengelasan berlangsung. Citra kolom las bagian belakang ditunjukkan pada gambar 2 (a).

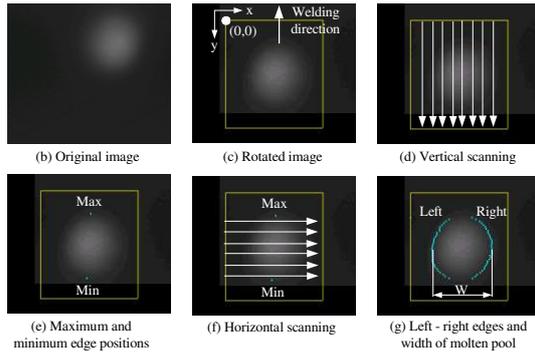
Gambar 2 (b) hingga 2 (g) menunjukkan hasil algoritma pengolahan citra. Algoritma pengolahan citra harus dirancang cukup stabil dan kokoh (*robust*) agar dapat mendeteksi citra kolom las pada material aluminium yang memiliki tingkat kecerahan (*brightness*) yang rendah yang diakibatkan karena titik lebur yang rendah. Langkah-langkah pengolahan citra yaitu, pertama, citra kolom las diambil oleh kamera CCD dan kemudian didapatkan titik berat citra kolom las dan merotasikannya pada bagian tengah gambar agar didapatkan gambar yang seragam arahnya. Kedua, deteksi tepi dilakukan dengan menggunakan nilai selisih dari distribusi tingkat kecerahan. Analisis histogram dilakukan untuk mendapatkan jangkauan deteksi tepi yang terdiri dari nilai batas (*threshold*) atas dan bawah, posisi tepi didapatkan dalam jangkauan ini.



Gambar 1. Skema sistem pengelasan pipa.



(a) Skema monitoring



Gambar 2. Monitoring kolom las.

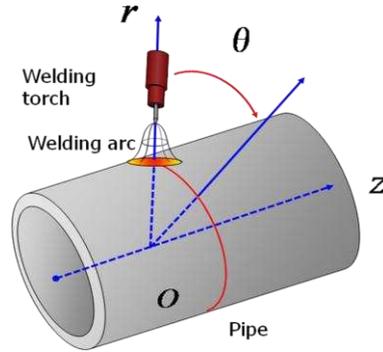
TABEL I
SIFAT MATERIAL DAN PARAMETER PENGLASAN

Logam induk	Al-6063S-T5
Diameter pipa (mm)	37.8
Ketebalan pipa (mm)	2.0
Berat jenis (g/cm ³)	2.69
Titik lebur (°C)	615-655
Konduktivitas panas (W/m.K at 25°C)	209
Mesin las	AC
Elektroda	2% Th-W (∅ 2.4 mm)
Panjang nominal busur las (mm)	1.5
Arus pengelasan, I (A)	50 ~ 70
Kecepatan pengelasan, v (cm/min)	7 ~ 25
Gas pelindung	100% Ar
Laju gas pelindung, q (l/min)	8 ~ 15

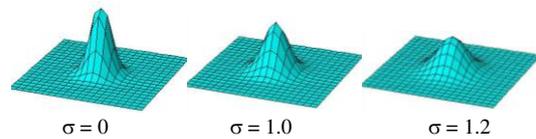
Ketiga, proses pencarian arah vertikal dalam jendela pencarian akan mendapatkan posisi tepi pada bagian maksimum dan minimum, dan proses pencarian arah horizontal akan mendapatkan bagian tepi kiri dan kanan kolom las. Keempat, akhirnya lebar kolom las dapat diperoleh sebagai lebar terbesar dari tepi kiri dan kanan [5].

Dalam penelitian ini, metode estimasi hibrida dilakukan dengan menggabungkan simulasi pengelasan dan pengamatan visual menggunakan *sensor vision*. Simulasi pengelasan akan memperkirakan tebal manik las bagian bawah yang akan digunakan sebagai data *input* pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan. Setelah mendapatkan model Jaringan Syaraf Tiruan, akan diterapkan dalam operasi *real-time* menggunakan kamera CCD untuk memonitor tebal manik las

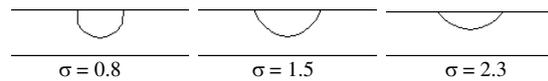
bagian bawah dan memasukkan parameter ini sebagai *input* Jaringan Syaraf Tiruan.



Gambar 3. Skema simulasi pengelasan pipa.



Gambar 4. Perubahan distribusi kalor dari busur las dengan nilai σ yang berbeda.



Gambar 5. Perubahan penetrasi las pada benda kerja dengan nilai σ yang berbeda.

TABEL II
SIFAT MATERIAL ALUMINUM

Konduktivitas panas		
$T < 673[K]$	238	[J/(m·sec·K)]
$673[K] < T < 933[K]$	$611 - 0.554 T$	[J/(m·sec·K)]
$T > 933[K]$	94	[J/(m·sec·K)]
Panas spesifik	1085	[J/(kg·K)]
Berat jenis		
$T < 933[K]$		[kg/m ³]
$T > 933[K]$	2560	[kg/m ³]
Titik lebur	933	[K]

TABEL III
KECEPATAN PENGLASAN

Sudut rotasi (θ)	Kecepatan pengelasan (v)	
	(cm/min)	
0° – 90°	12	
90° – 180°	15	
180° – 270°	17	
270° – 360°	19.5	

TABEL IV
HASIL SIMULASI DENGAN NILAI σ YANG BERBEDA

σ (mm)	Tebal las bagian bawah (mm)			
	90°	180°	270°	360°
0.7	4.6	4.4	4.3	4.9
0.8	5.1	5.0	4.9	4.9
0.9	5.4	5.3	5.3	5.3
1.0	5.2	5.5	5.5	5.5

Skema simulasi pengelasan pipa ditunjukkan pada gambar 3. Obor las akan berputar mengelilingi pipa tetap. Distribusi busur las akan berbentuk Gaussian. Parameter-parameter yang digunakan adalah sudut rotasi (θ), jari-jari dari titik pusat pipa (r), dan jarak transversal (z). Terdapat dua jenis simulasi yang dilakukan yaitu simulasi kalor dan simulasi distribusi busur las. Dalam simulasi pengelasan pipa, model distribusi kalor menggunakan persamaan 1 sebagai berikut.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

di mana:

- ρ = berat jenis
- C = konduktivitas panas
- K = panas spesifik
- T = temperatur

Kondisi batas dari simulasi ini menggunakan 3 kondisi, yaitu sisi atas, sisi bawah, dan sisi tepi dari benda kerja. Persamaan-persamaan yang menjelaskan sisi atas, sisi bawah, dan sisi tepi benda kerja ditunjukkan pada persamaan 2, 3, dan 4.

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

$$-k \frac{\partial T}{\partial r} = -q_{conv} - q_{radi} - q_{evap} \quad (3)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial r} = -q_{conv} - q_{radi} \quad (4)$$

TABEL V
HASIL SIMULASI PADA $\sigma = 0.7$

Sudut (°)	Tebal manik las bagian bawah (mm)		Kesalahan (mm)
	Simulasi	Eksperimen	
45	4.0	4.6	0.6
90	4.6	4.7	0.1
135	4.5	4.4	0.1
180	5.0	4.9	0.1
225	4.8	4.5	0.3
270	5.1	5.1	0.0
315	5.3	5.2	0.1
360	5.2	5.2	0.0

di mana:

- q_{arc} = input kalor dari busur las
- q_{conv} = kerugian kalor karena konveksi
- q_{radi} = kerugian kalor karena radiasi
- q_{evap} = kerugian kalor karena penguapan

Dalam permodelan sumber kalor busur las digunakan persamaan 5.

$$q_{arc} = \frac{\eta VI}{2\pi\sigma^2} \exp \left[-\frac{(r\theta - vt)^2 + z^2}{2\sigma^2} \right] \quad (5)$$

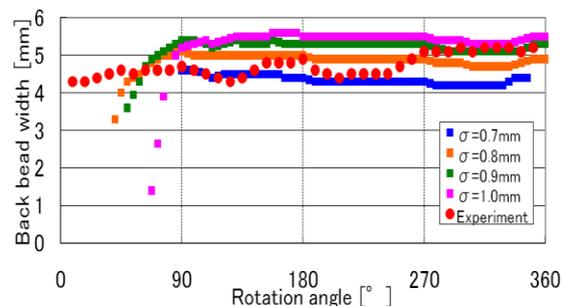
di mana:

- V = voltase busur las
- I = arus busur las
- v = kecepatan pengelasan
- η = efisiensi kalor
- σ = parameter distribusi sumber kalor

Gambar 4 menunjukkan perubahan distribusi panas dari busur las pada nilai σ yang berbeda. Jika nilai σ kecil, distribusi busur akan menjadi lebih tajam dan penetrasi las akan menjadi lebih dalam seperti ditunjukkan pada gambar 5.

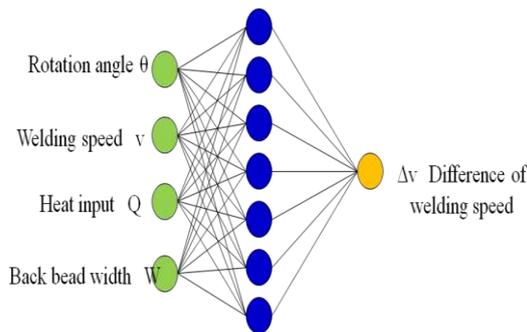
Dalam simulasi ini, ukuran $grid\ z$ adalah 0.5 mm dan θ adalah 0.04 rad. Untuk menyimulasikan parameter sumber panas yang berbeda, nilai $\sigma = 0.8-1.2$ dengan selisih kenaikan setiap 0.1 digunakan. Sifat material pipa aluminum ditunjukkan pada tabel II dengan menggunakan material paduan aluminum A6063-T5. Kecepatan pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah konstan dalam 4 jangkauan sudut rotasi dan bertambah dari 12 hingga 19.5 cm/min. Kecepatan pengelasan dapat dilihat pada tabel III.

Hasil simulasi pengelasan aluminum dengan nilai σ yang berbeda ditunjukkan pada tabel IV dan gambar 6. Pada nilai σ yang lebih tinggi, tebal manik las bagian bawah menjadi lebih lebar. Hasil ini digunakan dan dipilih sesuai dengan hasil eksperimen. Perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen ditunjukkan pada gambar 6. Kesalahan hasil simulasi pada sudut pengelasan kurang dari 90° cukup besar, karena busur las masih dalam kondisi belum stabil. Hasil ini masih dapat ditoleransi karena eksperimen dengan kontrol dimulai pada sudut rotasi 90°. Data ini akan digunakan untuk melatih model Jaringan Syaraf Tiruan. Hasil Simulasi pada $\sigma = 0.7$ dapat dilihat pada tabel V.



Gambar 6. Hasil simulasi pengelasan pipa.

Gambar 7 menunjukkan model Jaringan Syaraf Tiruan yang digunakan sebagai *controller* pengelasan dengan model *back propagation*. Data *input* dari simulasi digunakan untuk melatih proses dan menghasilkan bobot (*weight*) sebagai parameter Jaringan Syaraf Tiruan. Terdapat tiga lapis struktur yang terdiri dari 6 unit lapis *input* (*input layer*), sebelas unit lapis tersembunyi (*hidden layer*), dan dua unit dalam lapis keluaran (*output layer*).



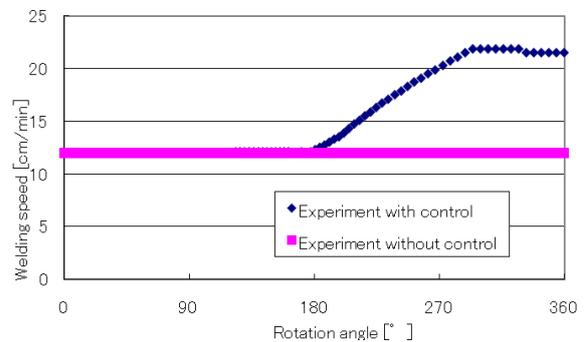
Gambar 7. Model Jaringan Syaraf Tiruan.

Pada arus pengelasan konstan 60 A, kecepatan pengelasan dikontrol dengan data *input* sudut rotasi obor las (θ), kecepatan pengelasan (v), *input* kalor (Q), dan tebal manik las bagian bawah (W). Dengan data pelatihan yang didapatkan dari hasil simulasi, proses akan menghitung perubahan kecepatan pengelasan (Δv) untuk setiap 4.5° dari pertambahan rotasi menggunakan regresi linier atau regresi *polinomial* 2 derajat dari data. *Output* dari Jaringan Syaraf Tiruan Δv dimasukkan secara langsung ke dalam kontrol motor untuk memutar obor las.

3. Hasil dan Pembahasan

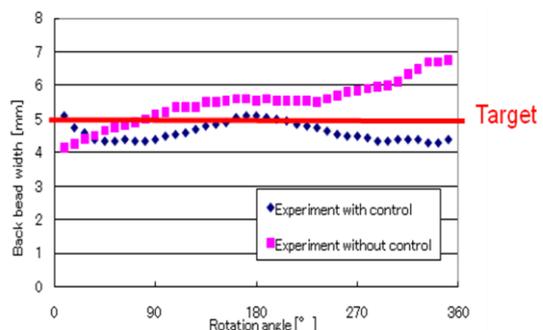
Dalam penelitian ini, target tebal manik las bagian bawah adalah 5 ± 1 mm. Kontrol pengelasan dimulai pada $\theta = 90^\circ$ untuk mendapatkan busur las yang stabil selama proses pengelasan berlangsung. Kamera CCD mengambil citra kolom las bagian bawah dan memrosesnya menggunakan algoritma pengolahan citra untuk mendapatkan tebal manik las bagian bawah sebagai parameter pengelasan. Nilai ini dimasukkan ke dalam kontrol Jaringan Syaraf Tiruan untuk mempercepat atau memperlambat obor las. Perbandingan hasil eksperimen tanpa dan menggunakan kontrol ditunjukkan pada gambar 8 dan gambar 9. Kecepatan pengelasan ditunjukkan pada gambar 8. Pada $\theta = 0^\circ - 180^\circ$, kecepatan pengelasan berbentuk linear. Namun pada $\theta = 180^\circ$

kecepatannya bertambah dari 12 – 23 cm/min untuk menjaga tebal manik las bagian bawah tidak lebih dari 6 mm.



Gambar 8. Kecepatan pengelasan.

Gambar 10 menunjukkan hasil pengelasan yang baik. Dapat dilihat bahwa dengan kontrol kecepatan pengelasan yang tepat akan menghasilkan tebal manik las bagian bawah yang baik. Secara umum, kontrol Jaringan Syaraf Tiruan berbasis simulasi untuk pengelasan pipa aluminum telah menghasilkan manik las yang baik.



Gambar 9. Tebal manik las bagian bawah.



Gambar 10. Manik las bagian bawah.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian, pertama, sebuah proses pengelasan otomatis pipa aluminum menggunakan kontrol Jaringan Syaraf Tiruan berbasis simulasi telah dikembangkan. Metode hibrida untuk memperkirakan dan mengendalikan tebal manik las bagian bawah menggunakan

model simulasi kalor dan pengamatan visual menggunakan *sensor vision*.

Kedua, simulasi proses pengelasan pipa dilakukan dengan menghitung tebal manik las bagian bawah dan menggunakan parameter sumber kalor yang berbeda. Dengan simulasi ini didapatkan tebal manik las bagian bawah yang digunakan dalam pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan dan hasil simulasi sesuai dengan hasil eksperimen. Ketiga, dengan menggunakan model Jaringan Syaraf Tiruan berbasis simulasi diperoleh hasil yang efektif dalam kontrol tebal manik las bagian bawah yang dihasilkan.

Referensi

- [1] S. Kou & Y. Le, "Heat Flow During the Autogeneous GTA Welding of Pipes," *Metallurgical And Materials Transactions A*, vol. 15A, pp. 1165-1171, 1984.
- [2] T.J. Lho & S.J. Na, "A Study on Parameter Optimization With Numerical Heat Conduction Model For Circumferential Gas Tungsten Arc (GTA) Welding of Thin Pipes," *Journal of Engineering Manufacture*, vol. 206, pp. 101-111, 1992.
- [3] S.J. Na & H.J. Lee, "A Study on Parameter Optimization In The Circumferential GTA Welding of Aluminum Pipes Using A Semi-Analytical Finite-Element Method," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 57, pp. 95-102, 1996.
- [4] K. Kondoh, T. Ohji, & K. Ueda, "Optimum Heat Input Control In Arc Welding of Steel and Aluminum Pipe," *Material Transaction*, vol. 39, pp. 413-419, 1998.
- [5] A.S. Baskoro, M. Kabutomori, & Y. Suga, "Automatic Welding System of Aluminum Pipe by Monitoring Backside Image of Molten Pool Using Vision Sensor," *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, vol. 2, pp. 582-592, 2008.