

## Usulan Sistem Monitoring Jalur Pengelasan Pada Robot Las Menggunakan Machine Vision

Ario Sunar Baskoro, Gandjar Kiswanto dan Teguh Santoso

Laboratorium Teknologi Manufaktur dan Otomasi  
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok 16424, Tel: +62-21-7270032, Fax: +62-21-7270033  
E-mail: ario@eng.ui.ac.id

### ABSTRAK

*Pertumbuhan teknologi machine vision untuk membantu proses monitoring proses-proses industri telah berkembang secara pesat. Aplikasi teknik ini akan melakukan proses analisis obyek dengan non-contact dan memberikan hasil yang cepat untuk pengendalian proses selanjutnya sehingga dapat mengurangi rutinitas operator dan mengurangi biaya permesinan. Pada penelitian ini, usulan sistem monitoring jalur pengelasan (welding track) dengan menggunakan kamera akan digunakan pada sistem pengelasan 5 aksis. Pada tahap awal, pengembangan sistem ini ditujukan pada pemilihan tipe pencahayaan, algoritma pengolahan citra dan penentuan jalur pengelasan. Dengan menggunakan algoritma pengolahan citra yang diusulkan, sistem dapat mendeteksi jalur pengelasan dengan baik.*

*Kata kunci: Monitoring Jalur Pengelasan, Robot Las, Machine Vision*

### 1. Pendahuluan

Sistem kontrol untuk proses industri otomatis telah banyak digunakan untuk memenuhi tuntutan yang semakin besar dalam peningkatan produktivitas, perbaikan kondisi kerja dan pencapaian kualitas produk yang tinggi [1]. Dari seluruh proses, teknik pengelasan memainkan peranan penting dalam ilmu manufaktur. Dua tipe mesin yang sering digunakan dalam proses pengelasan menggunakan Tungsten Inert Gas (TIG) dan Metal Inert Gas (MIG) [2].

Terdapat berbagai masalah dalam otomasi proses pengelasan seperti sensing, monitoring dan line tracking. Kesulitan dalam pengelasan diakibatkan karena non-linearitas sistem yang meliputi ketidakpastian dalam sifat metalurgi, perpindahan panas, fisik busur dan magnetisasi [3].

Pertumbuhan teknologi machine vision untuk membantu proses monitoring dalam pengelasan telah banyak digunakan dan berkembang secara pesat. Sistem sensing untuk memonitor jalur pengelasan pada pipa baja sudah dilakukan dengan kamera [4]. Sedangkan sistem pengelasan bergerak menggunakan panduan citra juga telah dikembangkan [5]. Salah satunya adalah menggunakan fuzzy logic untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat [6].

Karena kebutuhan produksi pengelasan yang memerlukan fleksibilitas untuk dapat memproses benda kerja yang kompleks, maka dibutuhkan integrasi

teknologi permesinan yang sudah ada seperti permesinan multi-axis.

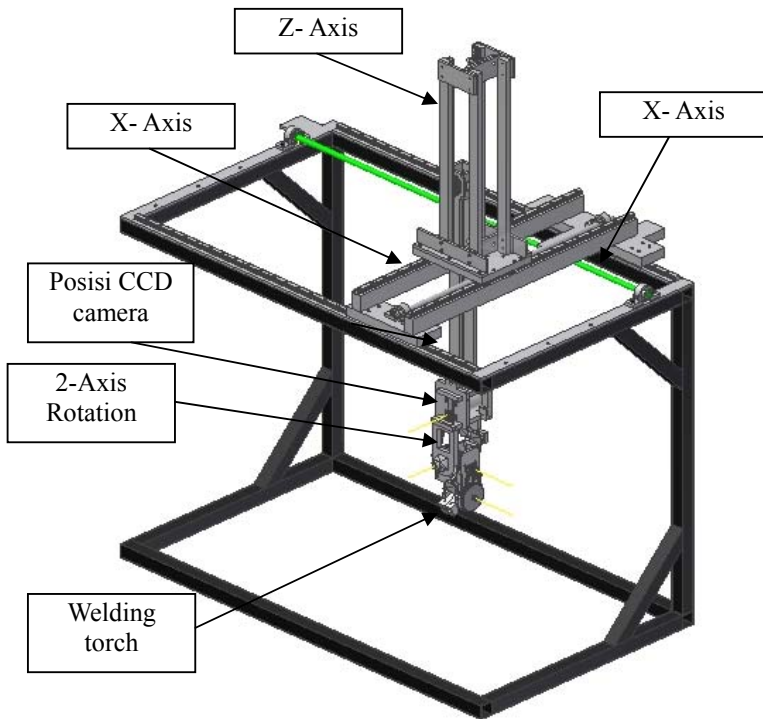
Mesin frais 5-axis adalah contoh teknologi permesinan multi-axis yang memberikan kemampuan aksibilitas dan orientasi tool. Penggabungan dua teknologi yaitu teknologi pengolahan material dan teknologi permesinan multi-aksis akan menghasilkan teknologi pengelasan yang lebih fleksibel dan hasil yang akurat dan cepat sehingga dapat menurunkan biaya produksi. Aplikasi mesin 5-axis untuk pengelasan sudah diterapkan untuk pengelasan dan pemotongan laser. Namun sistem pengelasan dengan mesin 5 aksis untuk Tungsten Inert Gas (TIG) dengan teknologi monitoring non-kontak menggunakan machine vision masih belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu diperlukan pengembangan sistem pengelasan menggunakan mesin 5-axis dengan bantuan machine vision.

### 2. Konstruksi Robot dan Sistem Monitoring

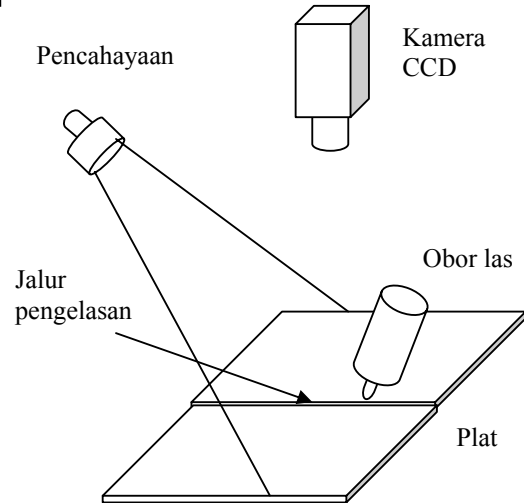
#### 2.1 Konstruksi Robot

Pada tahap awal, sistem monitoring pengelasan untuk robot las dengan 5 derajat kebebasan ini didesain menggunakan kamera CCD yang ditempatkan pada *end effector*. Desain mekanikal robot merupakan jenis robot manipulator dengan tipe artikulasi seperti ditunjukkan pada Gb.1. Robot terdiri dari robot artikulasi 2-axis untuk rotasi dan gantry dengan 3-axis.

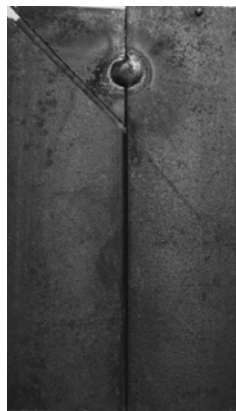




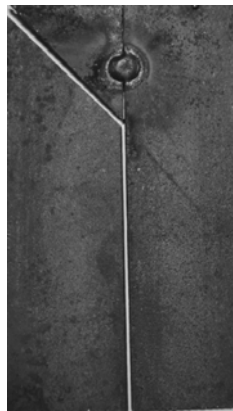
Gb.1. Konstruksi robot las dengan 5 derajat kebebasan



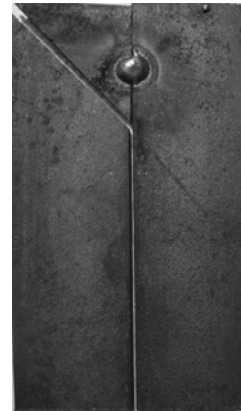
Gb.2. Skema monitoring



a. Sisi kiri



b. Tepat di tengah



c. Sisi kanan

Gb. 3. Pengaruh pencahayaan pada citra awal.

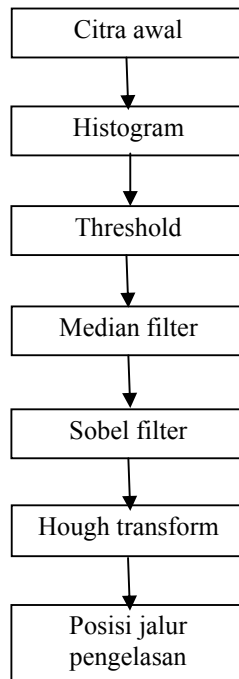
Skema monitoring untuk jalur pengelasan ditunjukkan seperti pada Gb. 2. Pada tahap awal perancangan, sistem monitoring menggunakan kamera CCD standard dengan pengambilan secara manual. Untuk tahap selanjutnya akan digunakan kamera CCD dengan pengambilan citra secara online dan real time.

## 2.2 Pencahayaan

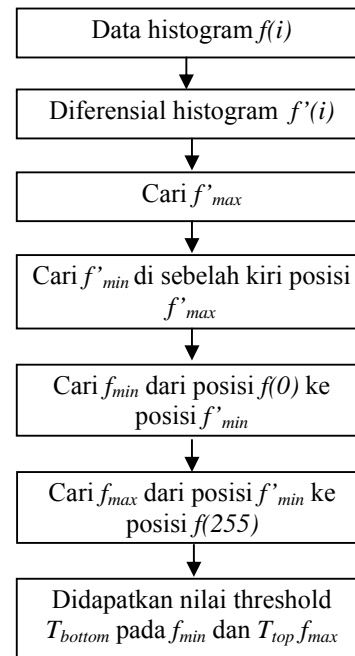
Sistem monitoring yang diusulkan terdiri dari kamera dan pencahayaan. Kamera akan mendeteksi jalur

pengelasan di depan obor las untuk mendapatkan hasil deteksi jalur yang tepat dan akurat. Sistem monitoring ini dilengkapi dengan pencahayaan yang memadai agar didapatkan citra yang representative dan cukup baik untuk dapat diproses dengan algoritma pengolahan citra. Sistem pencahayaan menggunakan lampu halogen untuk menghasilkan sinar yang cukup terang dan terdifusi ke seluruh permukaan benda kerja. Beberapa variasi perletakan lampu diujicobakan untuk 3 variasi lokasi seperti ditunjukkan pada Gb. 3. Gambar 3.a





Gb.4. Algoritma pengolahan citra



Gb.5. Algoritma proses threshold

menunjukkan pencahayaan pada sisi kiri dari arah jalur pengelasan, Gb. 3. b. adalah di tengah jalur pengelasan, dan Gb. 3. c. pada sisi kanan jalur pengelasan. Hasil yang didapatkan menunjukkan citra dari benda kerja cukup dapat terlihat dengan baik walaupun pada jalur pengelasan tampak berbeda dalam nilai *brightness*-nya. Terlihat bahwa pencahayaan dari arah selain searah dari jalur pengelasan, terdapat kontras yang sangat baik (yaitu gelap terang) dari jalur pengelasan. Kekilauan (*shiny*) benda kerja misalnya pada bahan *stainless steel* terutama pada bagian permukaan sangat mempengaruhi hasil pengambilan citra. Intensitas cahaya diperlukan untuk mendapatkan hasil citra yang tidak terlalu silau.

### 3. Algoritma Pengolahan Citra

#### 3.1 Deteksi Jalur Pengelasan

Algoritma untuk mendeteksi jalur pengelasan ditunjukkan pada Gb. 4. Citra asli dari jalur pengelasan akan diambil nilai histogramnya terlebih dahulu. Kemudian dilakukan proses thresholding untuk mengubah citra *grayscale* menjadi biner. Untuk mengurangi noise pada permukaan, dilakukan perbaikan citra (*image enhancement*) dengan menggunakan median filter. Citra yang sudah dihilangkan noisenya akan diproses kembali dengan menggunakan operator Sobel untuk mendapatkan tepi (*edge*) dari citra. Untuk mendapatkan orientasi posisi dari garis lurus (*line*)

digunakan Hough Transform dengan dibantu fungsi Radon Transform. Setelah didapatkan orientasi garis jalur pengelasan, maka sistem dapat memberikan input kepada aktuator.

#### 3.2 Thresholding

Untuk mengubah citra *grayscale* menjadi citra biner diperlukan proses thresholding. Proses ini akan mengubah sebaran frekuensi histogram dan menjadikannya bernilai 0 (hitam) atau 1 (putih). Penentuan nilai threshold ini ditentukan dengan menggunakan algoritma otomatis seperti pada Gb. 5.

Gambar 6 menunjukkan grafik histogram dari sebuah citra jalur las dengan pencahayaan kanan. Setelah mendapat data histogram, dilakukan perhitungan selisih (*difference*) dari masing-masing nilai *brightness* yang berurutan menggunakan persamaan 1.

$$f'(i) = f(i) - f(i-1) \quad (1)$$

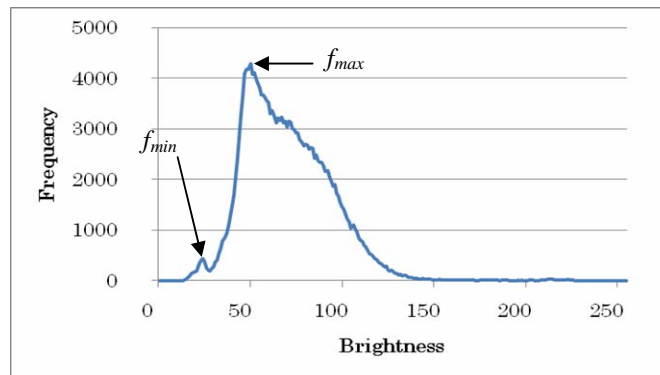
dimana:

$f(i)$  = nilai frekuensi *brightness* ke-i

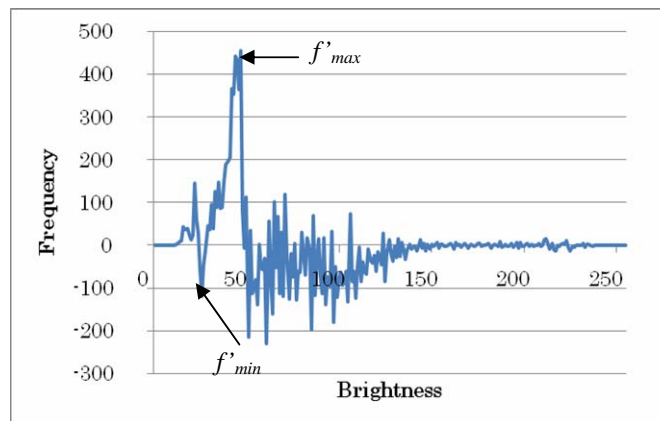
$f'(i)$  = nilai frekuensi *brightness* differensial ke-i

Gambar 7 menunjukkan grafik histogram differensial dari citra benda kerja. Kemudian dicari nilai *brightness* histogram differensial dengan frekuensi maksimum  $f'_{max}$ . Nilai minimum *brightness* frekuensi maksimum  $f'_{min}$  didapat dengan menggeser pencarian ke sebelah kiri dari  $f'_{max}$ .





Gb.6. Histogram



Gb.7. Diferensial histogram

Posisi  $f'_{min}$  digunakan sebagai penanda jangkauan pencari nilai threshold bawah  $T_{bottom}$  dan nilai threshold atas  $T_{top}$ . Nilai threshold atas  $T_{top}$  didapatkan dari posisi pada saat  $f_{max}$ . Sedangkan nilai threshold bawah  $T_{bottom}$  didapatkan dengan mencari *brightness* dari  $f(0)$  hingga  $f'_{min}$ .

Untuk proses thresholding digunakan dengan memenuhi syarat sebagai berikut:

$$g(x,y) \begin{cases} 1 & \text{Jika } 0 \leq f(i) < T_{bottom} \text{ dan } T_{top} \leq f(i) < 255 \\ 0 & \text{Jika } T_{bottom} \leq f(i) \leq T_{top} \end{cases} \quad (2)$$

Dimana:

$g(x,y)$  = nilai *brightness* pixel pada koordinat  $(x,y)$

Teknik thresholding secara otomatis ini digunakan untuk mengatasi perubahan gambar yang diakibatkan posisi jalur las ataupun permukaan benda kerja yang tidak homogen. Pendekatan yang lebih sistematis untuk mendapatkan nilai threshold yang lebih akurat dapat

dioptimalkan dengan menggunakan proses optimasi.

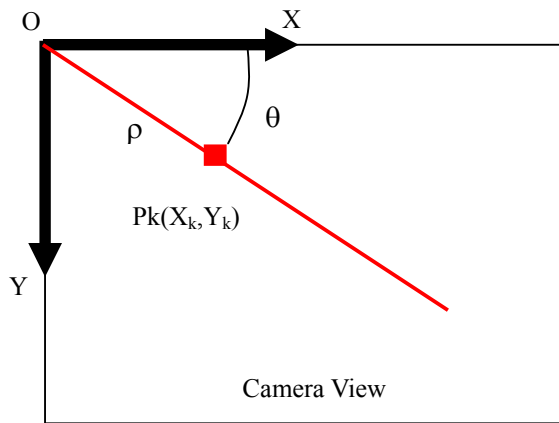
### 3.3 Hough Transform Untuk Deteksi Garis

Dalam praktek sehari-hari, jalur pengelasan biasanya terdiri dari beberapa gabungan garis. Dalam usulan algoritma yang dirancang, Hough Transform digunakan untuk mendapatkan jalur pengelasan dari sebuah citra yang memiliki noise. Transformasi koordinat Cartesian x-y menjadi koordinat  $\rho$ - $\theta$  digambarkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\rho = x \cos\theta + y \sin\theta \quad (3)$$

Dimana  $\rho$  adalah panjang garis normal terhadap titik awal ke garis dan  $\theta$  adalah sudut antara garis dan sumbu x. Walaupun terdapat masalah waktu perhitungan yang cukup lama dan memori komputer yang besar. Sehingga kita bisa membuat peta titik-titik pada bidang x-y untuk membentuk grafik sinusoid bidang polar  $\rho$ - $\theta$ . Jika garis sinusoidal berpotongan di titik yang sama, maka posisi ini menunjukkan sebuah garis.

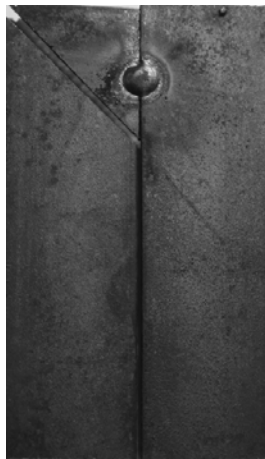




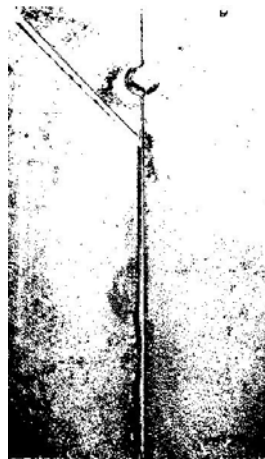
Gb. 8. Ilustrasi Hough Transform

#### 4. Hasil dan Analisis

Hasil dari proses pengolahan citra ditunjukkan pada Gb. 9. Dengan menggunakan data histogram, citra akan diproses dengan thresholding sesuai dengan algoritma pada Gb. 4. Terlihat pada Gb. 9.b. jalur pengelasan dapat terlihat dengan jelas. Kemudian setelah dilakukan proses penghalusan dengan menggunakan median filter, noise yang tidak diperlukan dapat dihilangkan seperti pada Gb. 9.c. Operator Sobel digunakan untuk mendapatkan tepi obyek dengan menggunakan prinsip masking. Tampak pada Gb. 9.d, jalur las terlihat memiliki profil garis yang kuat. Setelah dilakukan operasi Hough transform, didapatkan arah jalur pengelasan berupa berkas vertikal menuju ke atas.



a. Citra awal



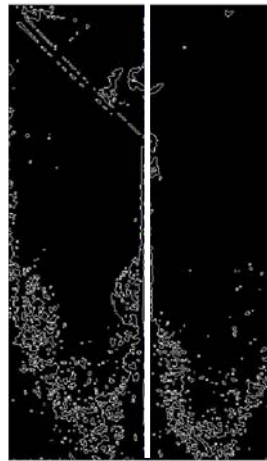
b. Threshold



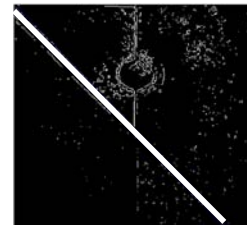
c. Median filter



d. Sobel filter



e. Hough transform bagian 1



f. Hough transform bagian 2

Gb.9. Hasil pengolahan citra



Dalam menggunakan prinsip Hough transform, sensitivitas untuk mendeteksi garis ditentukan oleh nilai threshold yang bernilai antara 0-1. Dalam percobaan ini digunakan nilai 0.75. Jika nilainya diturunkan maka sensitivitasnya akan menurun sehingga banyak orientasi garis yang dihasilkan. Dalam usulan sistem tahap awal ini, sistem monitoring secara bertahap dilakukan seolah-olah kamera bergerak menuju ke atas dan kemudian pada saat melewati persimpangan, diperoleh deteksi garis dengan sudut ke arah kiri sesuai dengan jalur las yang diinginkan seperti pada Gb. 9.b.

Dari hasil percobaan yang dilakukan untuk beberapa citra, didapatkan hasil yang konsisten. Oleh karena itu, perbaikan dan optimasi algoritma merupakan tuntutan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Hasil deteksi jalur pengelasan ini selanjutnya dapat digunakan untuk memberikan input kepada actuator untuk menggerakkan end-effector yang merupakan obor las mengikuti jalur pengelasan yang ada.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan beberapa hal di bawah ini.

1. Penelitian ini telah merancang sistem monitoring untuk mendeteksi jalur pengelasan secara otomatis menggunakan teknologi machine vision.
2. Algoritma pengolahan citra dilakukan dengan menggunakan histogram, thresholding otomatis, median filter, sobel operator dan Hough transform.
3. Dari hasil pengujian, didapatkan pendekatan algoritma pengolahan citra dapat mendeteksi jalur pengelasan dengan baik. Untuk selanjutnya data jalur pengelasan ini akan digunakan untuk pengendalian *end-effector* untuk melakukan proses pengelasan.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada program I-MHERE Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah mendanai penelitian ini.

## Referensi

- [1] Carrino L., Natale U., Nele L., Sabatini M. L., Sorrentino, A neuro-fuzzy approach for increasing productivity in gas metal arc welding processes, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007, Vol. 32, pp. 459-467.
- [2] Chen H., Lv F., Lin T., Chen S., Closed-loop control of robotic arc welding system with full penetration monitoring, *Journal of Intelligent Robot System*, 2009, Vol. 56, pp. 565-578.
- [3] Saedi HR, Unkel W (1988) Arc and weld pool behavior for pulsed current GTAW. *Weld J* 67(11):247-255
- [4] Bae KY, Lee TH, Ahn KC, An Optical Sensing

System for Seam Tracking and Weld Pool Control in Gas Metal Arc Welding of Steel Pipe, *Journal of Materials Processing Technology* Vol 120 (2002), pp 458-465.

- [5] Tung PC, Wu MC, Hwang YR, An Image-Guided Mobil Robotic Welding System for SMAW Repair Process, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2004.
- [6] Kuo HC, Wu LJ, An Image Tracking System for Welded Seams Using Fuzzy Logic, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 120 (2002), pp. 169-185.

