
Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 11 NOMOR 4

AGUSTUS 2015

Purwarupa Pembersih Pipa Otomatis (Automatic Tube Remover) pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Pengolahan Citra 135-143

Hermawati, Bhakti Yudho Suprpto, Andi Pranata, dan Firmansyah

JRE	Vol. 11	No. 4	Hal 123-156	Banda Aceh, Agustus 2015	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620x
-----	---------	-------	-------------	-----------------------------	--------------------------------------

Purwarupa Pembersih Pipa Otomatis (Automatic Tube Remover) pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Pengolahan Citra

Hermawati, Bhakti Yudho Suprpto, Andi Pranata, dan Firmansyah
 Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya
 Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32, Inderalaya 30662
 e-mail: hermawati_unsri@yahoo.com

Abstrak—Dalam dunia industri khususnya industri pengolahan minyak sangat dibutuhkan *heat exchanger* untuk mengatur suhu dan menghasilkan produk minyak seperti *petroleum*, *kerosene*, dan solar. Dalam operasinya *heat exchanger* ini memerlukan pemeliharaan dan perbaikan terutama pada saat unit *stop minor shut down* maupun perbaikan yang bersifat rutin. Pemeliharaan yang dilakukan yaitu pemeliharaan dengan pelepasan dan pergantian tube pada *tubesheet* atau biasa disebut dengan *retube bundle* dimana masih terdapat sisa pipa pada tutup *exchanger* yang harus dibersihkan yang sebelumnya terpotong pada saat pemeliharaan. Pembuangan sisa pipa biasanya masih bersifat manual sehingga memakan waktu. Naskah ini memaparkan perancangan alat untuk membuang sisa pipa dengan memanfaatkan metode pengolahan citra untuk mendeteksi tepi lingkaran dan posisi sisa pipa sehingga proses pemeliharaan dapat lebih efisien. Berdasarkan pengujian didapatkan jari-jari lingkaran yang dapat ditangkap yaitu pada 4 hingga 10 *pixel*. Waktu telat penentuan posisi yaitu 2,41 menit dan secara keseluruhan proses pembuangan sisa pipa ini mencapai 47,92%.

Kata kunci: *heat exchanger, pengolahan citra, tubesheet*

Abstract—In the industry era, especially the oil processing industry, the heat exchanger is needed to regulate temperature and produce oil products such as petroleum, kerosene and diesel fuel. In the operation, the heat exchanger requires maintenance, especially when the minor unit is shut down or stop and routine reparation. Maintenance is done by replacing the tubesheet that commonly referred to as bundle retube where there are pipe fritter to be cleaned, which are cutted at the time of maintenance. This maintenance is typically done in manual approach, which is not efficient in terms of time. For a more efficient maintenance, this paper proposes a prototype design to discard these pipes fritter by utilizing image processing method for detecting the edge of the circle and the position of the pipe fritter. Based on the experiments, it has been obtained that the test circle radius that can be captured is at 4 to 10 pixels. The longest time for positioning was 2.41 minutes and the whole process of disposal of this pipeline reaches 47.92 %.

Keywords: *heat exchanger, image processing, tubesheet*

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri yang menjalankan fungsinya pada sebuah proses kontrol dibutuhkan suatu alat yang dipergunakan untuk penukar panas yang sering disebut dengan *Heat Exchanger* yang dapat difungsikan sebagai pemanas maupun sebagai pendingin dalam upaya untuk mengatur suhu. Salah satu industri yang memerlukan *Heat Exchanger* ini adalah industri pengolahan minyak. Pada industri pengolahan minyak ini, *Heat Exchanger* dibutuhkan untuk proses distilasi produk saat proses penyulingan berdasarkan perbedaan titik didih minyak mentah. Sebagai alat yang menjadi media utama dalam pengolahan minyak mentah, *Heat Exchanger* menjadi peralatan yang paling banyak melakukan perbaikan dan pemeliharaan terutama pada saat unit *stop minor shut down* maupun perbaikan dan pemeliharaan yang bersifat rutin. Perbaikan dan pemeliharaan yang dimaksud

disini merupakan perbaikan dan pemeliharaan bagian dalam *Heat Exchanger* yaitu melakukan pelepasan dan pergantian *tube* pada *tubesheet* atau biasa disebut dengan *retube bundle*. *Tubesheet* merupakan sebuah pelat besi berlubang yang digunakan sebagai tempat melekatnya pipa-pipa pada *Heat Exchanger*.

Proses pembuangan sisa-sisa pipa (*tube*) yang masih melekat di dalam *tubesheet* pada saat proses *maintenance Heat Exchanger* yang terjadi terkadang memakan waktu yang cukup lama karena pengerjaannya masih dilakukan secara manual seperti terlihat pada Gambar 1.

Oleh karena itu diperlukan suatu peralatan yang dapat membantu meringankan pekerjaan perbaikan dan pemeliharaan *Heat Exchanger* tersebut dengan membuang sisa pipa pada *tubesheet* secara otomatis (*Automatic Tube Remover*). Peralatan tersebut tentunya membutuhkan sensor untuk dapat bergerak dan mengetahui letak sisa pipa. Seiring dengan perkembangan teknologi digital



Gambar 1. Proses Pemuangan sisa pipa pada *tubesheet* (sumber: www.powermaster.in)

yang semakin maju khususnya teknologi pengolahan citra digital maka penulis menggunakan kamera sebagai sensor untuk dapat mengetahui letak sisa pipa pada *tubesheet* yang ingin dibersihkan. Sedangkan penggerak tuas untuk menekan pipa dipergunakan sistem *pneumatic* yang memiliki kekuatan yang cukup kuat untuk mendorong sisa pipa[1, 2].

Pengolahan citra dewasa ini telah memasuki era perkembangan yang sangat pesat sekali. Hal ini dimungkinkan karena munculnya produk-produk kamera yang memiliki kecanggihan dan resolusi yang tinggi dan juga komputer yang semakin canggih dengan pemrosesan gambar yang dapat cepat dan tepat. Penelitian yang berkaitan dengan pengolahan citra adalah sebagai berikut: Neha Jain dan Dr. Neelu Jain (2012) dengan judul “*Pneumatic Recognition Using Circular Hough Transform*”[3], yang mendeteksi *pneumatic* dengan algoritma *Circular Hough Transform*, selanjutnya Marcin Smereka dan Ignacy Duleba (2008) dengan judul “*Circular Object Detection Using A Modified Hough Transform*”[4], Elias Dinta (2012) dengan judul “Deteksi Tepi Menggunakan Metode Canny dengan Matlab Untuk Membedakan Uang Asli dan Uang Palsu”[5]. Pengolahan citra pada jurnal ini dimaksudkan untuk mendeteksi tepi lingkaran dari lubang-lubang pada *tube sheet* sehingga dapat membedakan antara lubang yang bersih dan lubang yang masih terdapat sisa pipa. Berdasarkan pembacaan citra inilah maka *actuator* yang menggunakan sistem *pneumatic* akan bergerak ke posisi sisa pipa pada *tube sheet* tersebut.

Untuk memudahkan pembahasan, jurnal ini terbagi atas pendahuluan yang berisikan latar belakang, masalah dan pemecahan masalah. Bagian berikutnya adalah studi pustaka yang berisikan teori tentang pengolahan citra dengan metode *Hough Transform*. Bagian ketiga yaitu metode yang digunakan sedangkan berikutnya adalah hasil dan pembahasan. Yang terakhir adalah kesimpulan sebagai penutup jurnal ini.

II. STUDI PUSTAKA

A. Definisi Citra

Citra (*image*) adalah gambar pada bidang dua dimensi. Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan

fungsi menerus (*continue*) dari intensitas cahaya pada bidang dua dimensi $f(x,y)$ di mana x dan y mewakili koordinat lokasi suatu titik dan nilai dari fungsi yang merupakan tingkat intensitas warna atau tingkat keabuan dari titik tersebut. Sehingga dalam dunia teknologi informasi, citra ini dapat diartikan sebagai gambar atau rupa hasil representasi dari suatu objek nyata dalam bentuk dua atau tiga dimensi yang dapat dimengerti oleh komputer[6].

B. Pengolahan Citra

Pengolahan citra (*image processing*) merupakan bidang yang berhubungan dengan proses Transformasi citra yang bertujuan untuk mendapatkan kualitas citra yang lebih baik. Biasanya citra yang sudah diambil ada kalanya memiliki mutu yang kurang baik, dikarenakan adanya gangguan, seperti citra warnanya kurang tajam, kabur (*blurring*), mengandung *noise* (misal bintik-bintik putih) sehingga perlu ada pemrosesan untuk memperbaiki citra karena citra tersebut menjadi sulit diinterpretasikan karena informasi yang disampaikan menjadi berkurang. Oleh karena itu, citra tersebut perlu diolah agar mudah diinterpretasi oleh manusia/mesin (komputer). Umumnya operasi-operasi pengolahan citra dilakukan bila:[6]

- Perbaikan atau modifikasi citra perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas penampakan atau untuk menonjolkan beberapa aspek informasi yang terkandung dalam citra.
- Elemen dalam citra perlu di cocokkan, dikelompokkan atau diukur.
- Sebagian citra perlu digabung dengan bagian citra yang lain.

C. Transformasi Hough

Hough Transform pertama kali diperkenalkan oleh Paul Hough pada tahun 1962 untuk mendeteksi garis lurus. Transformasi Hough adalah teknik transformasi citra yang dapat digunakan untuk mengisolasi atau dengan kata lain memperoleh fitur dari sebuah citra. Karena tujuan dari sebuah transformasi adalah mendapatkan suatu fitur yang lebih spesifik, *Classical Hough Transform* merupakan teknik yang paling umum digunakan untuk mendeteksi objek yang berbentuk kurva seperti garis, lingkaran, elips dan parabola. Keuntungan utama dari transformasi Hough adalah dapat mendeteksi sebuah tepian dengan celah pada batas fitur dan secara relatif tidak dipengaruhi oleh derau atau *noise*.

Implementasi Transformasi Hough (TH) menjelaskan sebuah pemetaan dari titik-titik gambar menuju sebuah ruang akumulator (ruang Hough). Pemetaan tersebut diperoleh dalam bentuk yang efisien secara matematis, berdasarkan fungsi yang menjelaskan kondisi dari target. Pemetaan ini membutuhkan jauh lebih sedikit sumber perhitungan matematis dibandingkan dengan pencocokan pola[3].

Jika objek yang dicari berupa lingkaran, maka

digunakan Transformasi lingkaran Hough. Prosedur yang digunakan dalam mendeteksi lingkaran adalah sama dengan Transformasi Hough pada objek garis, tapi dikerjakan pada ruang dimensi yang lebih kompleks, yaitu dalam parameter ruang 3D (X_0, Y_0, R) . Di mana X_0 dan Y_0 merupakan koordinat pusat lingkaran dan r adalah jari-jari lingkaran seperti persamaan berikut [4]:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad (1)$$

Persamaan ini mendefinisikan posisi titik-titik (x,y) memiliki pusat di daerah (x_0,y_0) dan radius r . Persamaan ini dapat pula divisualisasikan dalam dua cara: sebagai posisi titik-titik (x,y) dalam sebuah gambar, atau sebagai posisi titik-titik (x_0,y_0) yang berpusat pada (x,y) dengan radius r .

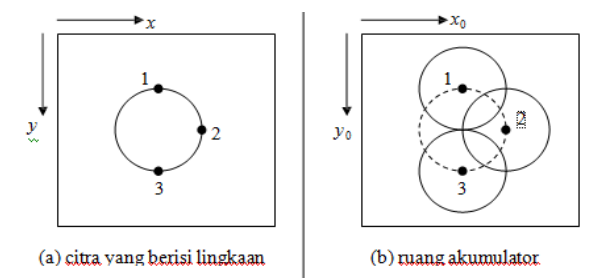
Dalam proses Transformasi lingkaran Hough, meliputi tiga bagian dasar. Bagian yang pertama adalah deteksi tepi. Tujuan deteksi tepi adalah untuk menurunkan jumlah titik dalam pencarian ruang bagi objek. Ketika titik tepi ditemukan oleh detektor tepi, algoritma Transformasi Hough dikerjakan hanya pada titik tersebut. Untuk deteksi tepi, digunakan detektor tepi Canny yang tujuannya memaksimalkan sinyal pada rasio derau dan lokalisasi serta meminimalisasi kesalahan pada deteksi tepi. Transformasi lingkaran Hough membentuk lingkaran sepanjang tepian yang ditemukan dengan jari-jari sebesar r . Setelah penggambaran lingkaran sepanjang garis tepian selesai, maka dicari daerah yang paling banyak dilewati garis dan kemudian daerah tersebut diasumsikan sebagai titik tengah citra yang dicari,

Pada gambar ilustrasi dapat dilihat bahwa TH untuk lingkaran mampu mentoleransi gangguan-gangguan (*noise*). TH akan mendeteksi lingkaran selama ada lebih banyak titik-titik di dalam daerah sirkular yang dapat dipaparkan dengan parameter-parameter dari lingkaran target dibandingkan dengan lingkaran-lingkaran yang lainnya.

Algoritma Transformasi Hough dalam mendeteksi lingkaran mengacu pada persamaan lingkaran dengan sebagai (X_0, Y_0) pusat lingkaran dan r adalah jari-jari atau radius lingkaran. Biasanya untuk mengurangi waktu komputasi, jari-jari (r) diatur /ditentukan terlebih dahulu.

Algoritmanya dalam mendeteksi lingkaran dan proses rekonstruksi adalah sebagai berikut :

1. Lakukan deteksi tepi. Untuk setiap piksel tepi, sebuah lingkaran dibentuk dengan piksel tersebut sebagai titik pusat dan radius (r).



Gambar 2. Ilustrasi transformasi Hough untuk lingkaran

2. Transformasi lingkaran Hough ini menggunakan *array* 2 Dimensi pertama merepresentasikan koordinat untuk titik pusat lingkaran dan dimensi terakhir adalah radius lingkaran.
3. Nilai *array* tersebut meningkat setiap lingkaran terbentuk dengan jari-jari tertentu untuk semua piksel tepi.
4. *Array* tersebut menghitung berapa banyak lingkaran yang melewati koordinat piksel tepi, dan lanjut ke proses voting untuk menemukan nilai *array* tertinggi. Koordinat origin lingkaran dalam gambar adalah koordinat dengan nilai tertinggi dalam *array*.

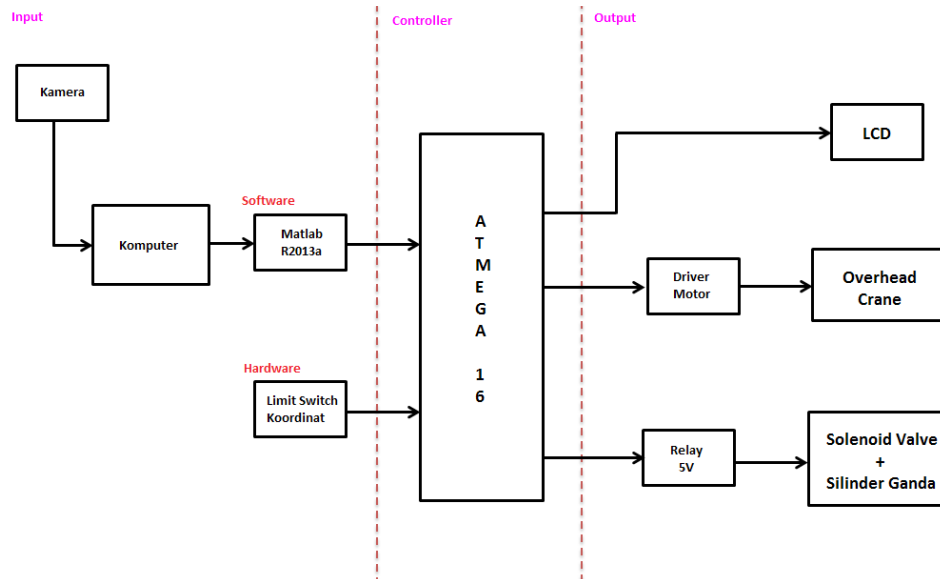
D. Deteksi Tepi

Deteksi tepi berfungsi untuk mencari tepi dari suatu objek, yang memanfaatkan perubahan dari nilai intensitas yang berubah secara drastis pada batas dua area. Sedangkan tepi (*Edge*) merupakan bagian dari citra yang intensitas kecerahannya berubah secara drastis. Dalam objek berdimensi satu, perubahan dapat diukur dengan menggunakan fungsi turunan (*derivative function*). Perubahan mencapai maksimum pada saat nilai turunan pertamanya mencapai nilai maksimum atau nilai turunan kedua (*derivative2nd*) bernilai 0. Gradien adalah hasil pengukuran perubahan dalam sebuah fungsi intensitas, dan sebuah citra dapat dipandang sebagai kumpulan beberapa fungsi intensitas kontinu sebuah citra. Perubahan mendadak pada nilai intensitas dalam suatu citra dapat dilacak menggunakan perkiraan diskrit pada gradien. Gradien disini adalah kesamaan dua dimensi dari turunan pertama dan didefinisikan sebagai vektor. Deteksi tepi pada suatu citra adalah suatu proses yang menghasilkan tepi-tepi dari obyek-obyek citra, tujuannya adalah:

- Untuk menandai bagian yang menjadi detail citra
 - Untuk memperbaiki detail dari citra yang kabur, yang terja karena *error* atau adanya efek dari proses akuisisi citra.
 - Serta untuk mengubah citra 2D menjadi bentuk kurva
- Suatu titik (x,y) dikatakan sebagai tepi (*edge*) dari suatu citra bila titik tersebut mempunyai perbedaan yang tinggi dengan tetangganya. Operator yang digunakan dalam proses deteksi tepi pada jurnal ini operator Canny yang memiliki beberapa kriteria pendeteksi tepian paling optimum yang dapat dipenuhi oleh algoritma Canny:
- a. Mendeteksi dengan baik (kriteria deteksi)

Kemampuan untuk meletakkan dan menandai semua tepi yang ada sesuai dengan pemilihan parameter-parameter konvolusi yang dilakukan. Sekaligus juga memberikan fleksibilitas yang sangat tinggi dalam hal menentukan tingkat deteksi ketebalan tepi sesuai yang diinginkan.
 - b. Melokalisasi dengan baik (kriteria lokalisasi)

Dengan Canny dimungkinkan dihasilkan jarak yang minimum antara tepi yang dideteksi dengan tepi yang asli.
 - c. Respon yang jelas (kriteria respon)



Gambar 3. Skema Pengendalian pada prototipe *Automatic Tube Remover*

Hanya ada satu respon untuk tiap tepi. Sehingga mudah dideteksi dan tidak menimbulkan kerancuan pada pengolahan citra selanjutnya.

Pemilihan parameter deteksi tepi Canny sangat mempengaruhi hasil dari tepian yang dihasilkan. Beberapa parameter tersebut antara lain:

1. Nilai Standar Deviasi Gaussian
2. Nilai Ambang

III. METODE

Pada bagian ini akan membahas tentang perancangan dan proses kerja dari *Automatic Tube Remover* yaitu seperti pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat bahwa pada saat kamera yang memiliki ketinggian 15 cm dari objek dan resolusi sebesar 460×320 pixel, menangkap gambar dari *tubesheet* yang akan dibersihkan yang kemudian hasil pembacaan kamera ini akan diolah kemudian dilakukan pemindaian (*scanning*) lubang mana saja yang masih tersisa pipanya, setelah itu perangkat lunak Matlab akan mengirimkan data *string* ke mikrokontroler melalui USB, kemudian mikrokontroler akan memproses data tersebut.

Pengolahan data *string* oleh mikrokontroler dimulai dengan menampilkan data *string* yang diterima oleh mikrokontroler ke LCD diikuti dengan Bergeraknya motor penggerak *overhead crane* menuju titik koordinat sesuai data *string* yang diterima yang langsung dikonversi sebagai koordinat lubang. Jika motor penggerak *overhead crane* telah mencapai titik-titik koordinat (koordinat titik x , dan koordinat titik y) yang sesuai data *string* maka motor *overhead crane* akan berhenti secara otomatis dan barulah proses pelepasan sisa tabung yang berada di *tubesheet* akan dilepaskan oleh pneumatik. Proses pelepasan sisa tabung dengan pneumatik dilakukan dengan memanfaatkan *relay* 5v yang langsung dikontrol oleh pin-pin mikrokontroler. Ketika *relay* aktif maka secara langsung akan mengaktifkan *solenoid valve* dan silinder yang juga langsung menerobos

lubang (dengan tenaga angin dari kompresor) *tubesheet* untuk melepas sisa tabung. Jika pelepasan sisa tabung selesai dilakukan (pengaktifan *relay* hanya berlangsung 5 detik) maka motor *overhead crane* akan membawa posisi *overhead crane* kembali ke posisi awal (koordinat (0,0)). Berikut Flowchart dari skema Gambar 4.

Untuk proses pendetesi lubang dapat dilihat pada langkah berikut ini:

1. Ambil gambar

Gambar lubang ini diambil menggunakan kamera yang terhubung dengan pada PC dengan format JPEG memanfaatkan fungsi *video input* pada Matlab. Kemudian gambar tersebut disimpan.

2. Deteksi lingkaran

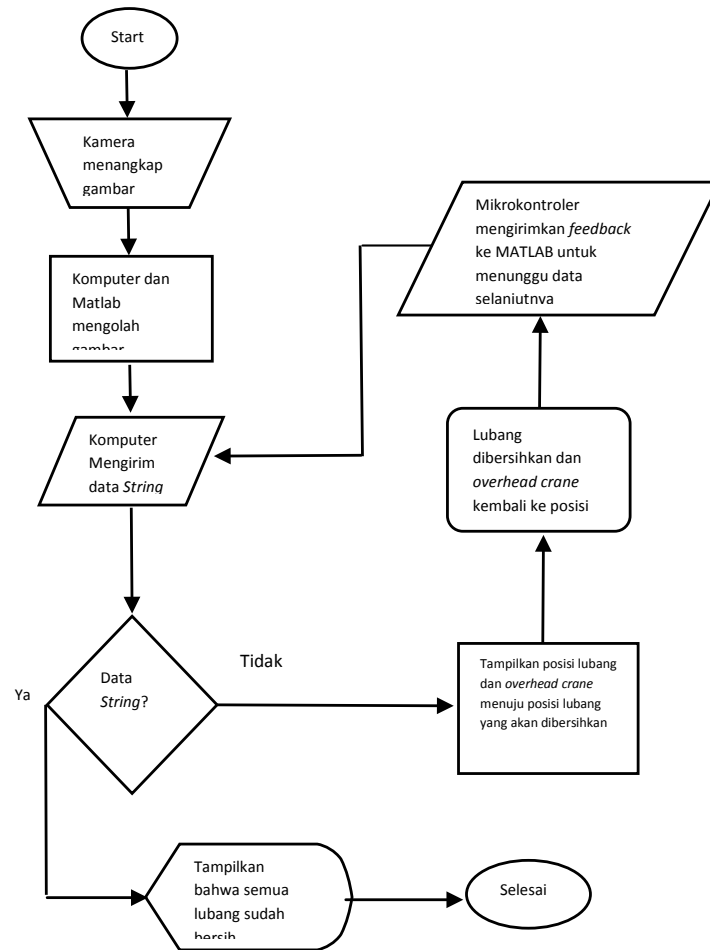
Pendeteksian lingkaran ini menggunakan *circle Hough Transform* (CHT) untuk mencari lingkaran. Pada penggunaan CHT ini diperlukan titik-titik pusat (x,y) pada daerah (x_0,y_0) serta radius r dalam sebuah gambar. Namun sebelum menggunakan CHT ini harus dilakukan pendeteksian tepi lingkaran terlebih dahulu menggunakan metode canny dengan perintah:

$$\text{canny} = \text{edge}(\text{im}, \text{'canny'});$$

3. Deteksi posisi

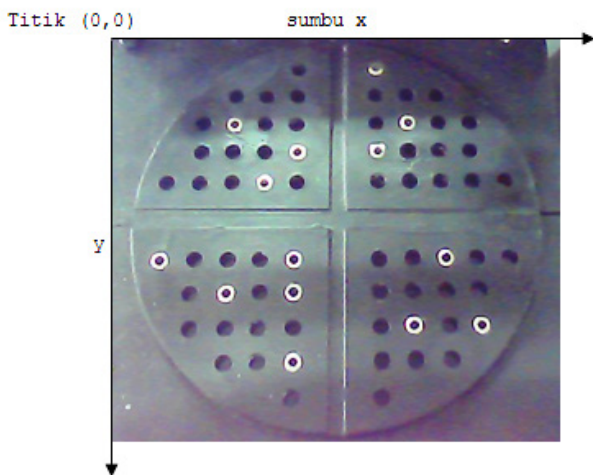
Bagian terkecil area dari sebuah citra digital adalah *picture element* atau sering disingkat *pixel*. Sebuah citra merupakan representasi dari dua dimensi yang berisi kumpulan *pixel*. Semakin banyak titik *pixel* dari sebuah citra, semakin tinggi pula resolusinya. *Pixel* diatur berdasarkan baris dan kolom. Baris biasanya diberi nama y dan kolom diberi nama x . Koordinat *pixel* citra, dimulai dari pojok kiri atas, dengan kata lain pojok kiri atas adalah titik (0,0), sehingga di koordinat *pixel* citra tidak mengenal nilai negatif.

Nilai pada sumbu x akan semakin besar dari kiri ke



Gambar 4. Bagan alir skema pengendalian prototipe Automatic Tube Remover

kanan, sedangkan pada sumbu y nilainya akan semakin besar dari atas ke bawah. Untuk menentukan *range-range* koordinat sebuah lingkaran yang terdapat dalam *tubesheet* pada Matlab, kita dapat menggunakan fungsi *getdata* yang terdapat pada *imagedata*. Dalam jurnal ini, penulis hanya akan mendeteksi sebagian lubang yang terdapat pada *tubesheet*. Penulis hanya akan mendeteksi 48 lubang sebagai sample. Penomoran lubang yang akan di deteksi

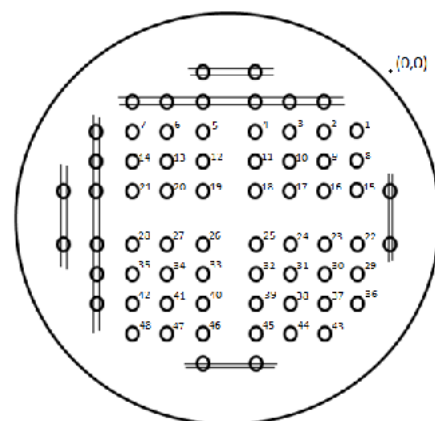


Gambar 5. Koordinat pixel sumbu x dan y pada Citra

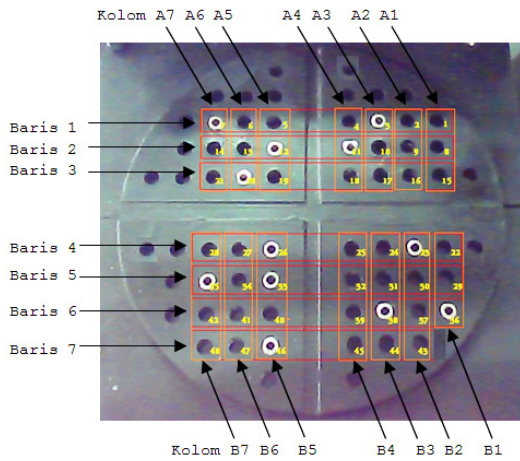
di dalam *tubesheet* pada percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Koordinat sebuah lingkaran pada penelitian ini akan ditentukan oleh baris dan kolom yang telah ditentukan oleh penulis. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 7.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa lubang pertama terletak pada baris 1 dan kolom $A1$, kemudian lubang kedua terletak pada baris 1 kolom 2, kemudian lubang ketiga terletak pada baris 1 dan kolom $A3$ dan seterusnya. Selanjutnya, untuk



Gambar 6. Penomoran lubang yang akan dideteksi



Gambar 7. Posisi lubang lingkaran pada citra

menentukan *range* koordinat *pixel* pada setiap baris dan kolom akan digunakan fungsi *getdata* yang terdapat pada *imagetool* matlab, caranya dengan memblok bagian baris dan kolom yang telah kita tandai satu persatu kemudian akan muncul koordinat *pixel* tersebut dibagian sudut bawahnya. Lalu masukkan nilai koordinat *pixel* tersebut kedalam program.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deteksi Lingkaran

Pengujian program pendeteksian lingkaran dilakukan dengan cara menguji program dengan mengubah parameter radius minimum dan radius maksimum lingkaran yang bertujuan untuk menemukan *range* radius lingkaran yang tepat sebagai acuan untuk mendeteksi lingkaran dengan

Tabel 1. Pengujian pendeteksian lingkaran dengan range radius 3-10 pixel

No	Citra Input	Citra Output	Jumlah Lingkaran		Waktu Proses (detik)	Ket.
			Citra Input	Citra Output		
1			2	4	4.304	Gagal
2			7	7	0.296	Berhasil
3			19	19	0.292	Berhasil
4			14	18	0.290	Gagal
5			26	27	0.319	Gagal

Tabel 2. Pengujian pendeteksian lingkaran dengan range radius 4-10 pixel

No	Citra Input	Citra Output	Jumlah Lingkaran		Waktu Proses (detik)	Ket.
			Citra Input	Citra Output		
1			2	2	4.289	Berhasil
2			7	7	0.313	Berhasil
3			19	19	0.302	Berhasil
4			14	14	0.287	Berhasil
5			26	26	0.276	Berhasil

tepat.

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian dari beberapa *range* radius lingkaran. Dari tabel tersebut bahwa dari lima kali percobaan dengan input radius minimum 3 dan input radius maksimum 10 hanya dua percobaan yang berhasil. Percobaan akan dianggap berhasil jika semua lingkaran tabung (pipa) yang terdeteksi sama dengan jumlah tabung (pipa) yang masih melekat pada *tubesheet*

Dari tabel hasil pengujian di atas diketahui bahwa dari lima kali percobaan program dengan input radius minimum 4 dan input radius maksimum 10 dapat mendeteksi semua lingkaran pipa yang ada di dalam citra.

B. Posisi lubang Lingkaran

Berdasarkan tingkat keakurasian yang telah di dapatkan pada pengujian sebelumnya, pada pengujian program koordinat posisi lingkaran ini akan menggunakan radius yang digunakan pada Tabel 2 dengan nilai radius minimum 4 dan nilai radius maksimum 10 untuk menguji apakah posisi lingkaran yang telah terdeteksi sesuai dengan program koordinat yang telah dibuat. Berikut ini Tabel hasil dari pengujian program koordinat posisi lingkaran.

Percobaan akan dianggap berhasil jika semua posisi lingkaran tabung (pipa) yang terdeteksi sama dengan posisi tabung (pipa) yang masih melekat pada *tubesheet*. Dari hasil pengujian terlihat bahwa semua posisi terdeteksi sesuai dengan posisi masing-masing lingkaran pipa

C. Waktu Penentuan posisi hole oleh overhead crane

Pada pengujian ini akan dilakukan penentuan posisi *hole* yang kotor oleh *limit switch* dan waktu yang

Tabel 3. Pengujian koordinat posisi lingkaran

No	Citra Input	Citra Output	Posisi Sisa Pipa	Jumlah	Ket.
1			18, 26	2	Berhasil
2			1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	7	Berhasil
3			2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 14, 20, 21, 26, 27, 28, 35, 41, 42, 46, 47, 48.	19	Berhasil
4			16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32.	14	Berhasil
5			9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 45.	26	Berhasil

dibutuhkan saat *overhead crane* kembali hingga ke posisi awal. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat kita ketahui bahwa setiap *limit switch* dapat menentukan posisi lubang yang kotor sesuai dengan kombinasi titik-titik sumbu bahu *overhead crane*. Sedangkan untuk waktu yang dibutuhkan *overhead crane* untuk menuju ke setiap lubang memiliki waktu yang relatif berbeda-beda sesuai dengan makin jauhnya titik lubang maka semakin lama pula waktu total yg dibutuhkan. Dari Tabel 4 didapatkan bahwa waktu terlama yang dibutuhkan oleh *overhead crane* untuk menentukan posisi lubang adalah posisi lubang 48 yaitu selama 2,41 menit. Ini dikarenakan jarak yang ditempuh oleh *overhead crane* untuk mencapai posisi ini lebih jauh daripada posisi titik lubang yang lain.

D. Pengujian Proses Kerja Prototipe

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem pneumatik yang dibuat saat membersihkan sisa pipa yang ada pada *tubesheet*. Pada pengujian ini titik lubang yang akan dibersihkan adalah semua titik lubang yang berjumlah 48 lubang (berdasarkan hasil pengolahan citra), ini dilakukan untuk mengetahui posisi mana saja sistem pneumatik mampu melaksanakan tugasnya dengan baik. Gambar 9 menunjukkan proses

Tabel 4. Pengujian penentuan posisi hole

Posisi Lubang	Titik sumbu-x	Titik sumbu-y	Tampilan LCD	Keterangan	Waktu yang dibutuhkan
Lubang 1	X1	Y1	"Remove Tube Hole 1"	BERHASIL	37,8 s
Lubang 2	X2	Y1	"Remove Tube Hole 2"	BERHASIL	38,4 s
Lubang 3	X3	Y1	"Remove Tube Hole 3"	BERHASIL	38,7 s
Lubang 4	X4	Y1	"Remove Tube Hole 4"	BERHASIL	39,2 s
Lubang 5	X5	Y1	"Remove Tube Hole 5"	BERHASIL	41,3 s
Lubang 6	X6	Y1	"Remove Tube Hole 6"	BERHASIL	42,2 s
Lubang 7	X7	Y1	"Remove Tube Hole 7"	BERHASIL	42,7 s
Lubang 8	X1	Y2	"Remove Tube Hole 8"	BERHASIL	48,8 s
Lubang 9	X2	Y2	"Remove Tube Hole 9"	BERHASIL	49,1 s
Lubang 10	X3	Y2	"Remove Tube Hole 10"	BERHASIL	49,9 s
Lubang 11	X4	Y2	"Remove Tube Hole 11"	BERHASIL	51,2 s
Lubang 12	X5	Y2	"Remove Tube Hole 12"	BERHASIL	52,9 s
Lubang 13	X6	Y2	"Remove Tube Hole 13"	BERHASIL	53,0 s
Lubang 14	X7	Y2	"Remove Tube Hole 14"	BERHASIL	53,5 s
Lubang 15	X1	Y3	"Remove Tube Hole 15"	BERHASIL	59,2 s
Lubang 16	X2	Y3	"Remove Tube Hole 16"	BERHASIL	59,7 s
Lubang 17	X3	Y3	"Remove Tube Hole 17"	BERHASIL	1,01 mnt
Lubang 18	X4	Y3	"Remove Tube Hole 18"	BERHASIL	1,15 mnt
Lubang 19	X5	Y3	"Remove Tube Hole 19"	BERHASIL	1,37 mnt
Lubang 20	X6	Y3	"Remove Tube Hole 20"	BERHASIL	1,44 mnt
Lubang 21	X7	Y3	"Remove Tube Hole 21"	BERHASIL	1,50 mnt
Lubang 22	X1	Y4	"Remove Tube Hole 22"	BERHASIL	1,24 mnt
Lubang 23	X2	Y4	"Remove Tube Hole 23"	BERHASIL	1,24 mnt
Lubang 24	X3	Y4	"Remove Tube Hole 24"	BERHASIL	1,25 mnt

Tabel 4. Pengujian penentuan posisi hole (lanjutan)

Posisi Lubang	Titik sumbu-x	Titik sumbu-y	Tampilan LCD	Keterangan	Waktu yang dibutuhkan
Lubang 25	X4	Y4	"Remove Tube Hole 25"	BERHASIL	1,25 mnt
Lubang 26	X5	Y4	"Remove Tube Hole 26"	BERHASIL	1,28 mnt
Lubang 8	X1	Y2	"Remove Tube Hole 8"	BERHASIL	48,8 s
Lubang 9	X2	Y2	"Remove Tube Hole 9"	BERHASIL	49,1 s
Lubang 10	X3	Y2	"Remove Tube Hole 10"	BERHASIL	49,9 s
Lubang 11	X4	Y2	"Remove Tube Hole 11"	BERHASIL	51,2 s
Lubang 12	X5	Y2	"Remove Tube Hole 12"	BERHASIL	52,9 s
Lubang 13	X6	Y2	"Remove Tube Hole 13"	BERHASIL	53,0 s
Lubang 14	X7	Y2	"Remove Tube Hole 14"	BERHASIL	53,5 s
Lubang 15	X1	Y3	"Remove Tube Hole 15"	BERHASIL	59,2 s
Lubang 16	X2	Y3	"Remove Tube Hole 16"	BERHASIL	59,7 s
Lubang 17	X3	Y3	"Remove Tube Hole 17"	BERHASIL	1,01 mnt
Lubang 18	X4	Y3	"Remove Tube Hole 18"	BERHASIL	1,15 mnt
Lubang 19	X5	Y3	"Remove Tube Hole 19"	BERHASIL	1,37 mnt
Lubang 20	X6	Y3	"Remove Tube Hole 20"	BERHASIL	1,44 mnt
Lubang 21	X7	Y3	"Remove Tube Hole 21"	BERHASIL	1,50 mnt
Lubang 22	X1	Y4	"Remove Tube Hole 22"	BERHASIL	1,24 mnt
Lubang 23	X2	Y4	"Remove Tube Hole 23"	BERHASIL	1,24 mnt
Lubang 24	X3	Y4	"Remove Tube Hole 24"	BERHASIL	1,25 mnt
Lubang 25	X4	Y4	"Remove Tube Hole 25"	BERHASIL	1,25 mnt
Lubang 26	X5	Y4	"Remove Tube Hole 26"	BERHASIL	1,28 mnt
Lubang 46	X5	Y7	"Remove Tube Hole 46"	BERHASIL	2,21 mnt
Lubang 47	X6	Y7	"Remove Tube Hole 47"	BERHASIL	2,33 mnt
Lubang 48	X7	Y7	"Remove Tube Hole 48"	BERHASIL	2,41 mnt

pengujian dan Tabel 5 menunjukkan hasil dari pengujian tersebut.

Gambar 8. Pengujian Keberhasilan Pelepasan sisa pipa pada *tubesheet*. Dari hasil pengujian jumlah lubang yang mampu dibersihkan adalah 23 lubang dari total 48 lubang, sehingga tingkat keberhasilan pelepasan sisa tabung pada *tubesheet* adalah 47,92 %. Dari hasil pengujian diatas pula dapat kita simpulkan bahwa sistem pneumatik prototipe *Automatic Tube Remover* pada pengujian pelepasan sisa tabung dapat melakukan tugasnya dengan baik. Meskipun dalam percobaan pelepasan sisa tabung diatas banyak posisi lubang yang tidak mampu dilepaskan sempurna oleh sistem pneumatik yang dibuat namun hasil tersebut bukanlah menjadi kesimpulan bahwa sistem pneumatik ini tidak mampu menjadi solusi pelepasan sisa tabung melainkan titik tengah posisi lubang pada *tubesheet* yang tidak selalu sama dalam jalur yang seharusnya. Posisi lubang pada *tubesheet* yang tidak selalu sejajar, akan menyebabkan pergerakan *overhead crane* yang tidak tepat.

V. KESIMPULAN

Penggunaan webcam sebagai sensor pendeteksi lingkaran sisa *tube* (pipa) di dalam *tubesheet* dapat digunakan dengan baik jika ukuran radius lingkaran

yang di gunakan sesuai dengan besar radius atau jari-jari lingkaran yang terdapat dalam citra input. Besar radius atau jari-jari lingkaran yang terdapat di dalam citra yang di tangkap dengan menggunakan webcam bernilai 4 hingga

Tabel 5. Hasil pengujian pelepasan sisa pipa pada *tubesheet*

Posisi Lubang	Percobaan Ke					Keterangan
	1	2	3	4	5	
1	X	X	X	X	X	GAGAL
2	✓	✓	✓	✓	✓	BERHASIL
3	✓	✓	✓	✓	✓	BERHASIL
4	✓	✓	✓	✓	✓	BERHASIL
5	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
6	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
7	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
8	X	X	X	X	X	GAGAL
9	X	X	X	X	X	GAGAL
10	X	X	X	X	X	GAGAL
11	X	X	X	X	X	GAGAL
12	✓	✓	✓	✓	✓	BERHASIL
13	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL

Tabel 5. Hasil pengujian pelepasan sisa pipa pada tubesheet (lanjutan)

Posisi Lubang	Percobaan Ke					Keterangan
	1	2	3	4	5	
14	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
15	X	X	X	X	X	GAGAL
16	X	X	X	X	X	GAGAL
17	X	X	X	X	X	GAGAL
18	X	X	X	X	X	GAGAL
19	✓	✓	✓	✓	✓	BERHASIL
20	✓	✓	✓	✓	✓	BERHASIL
21	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
22	X	X	X	X	X	GAGAL
23	X	X	X	X	X	GAGAL
24	X	X	X	X	X	GAGAL
25	X	X	X	X	X	GAGAL
26	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
27	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
28	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
29	X	X	X	X	X	GAGAL
30	X	X	X	X	X	GAGAL
31	X	X	X	X	X	GAGAL
32	X	X	X	X	X	GAGAL
33	X	X	X	X	X	GAGAL
34	✓	✓	✓	✓	✓	BERHASIL
35	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
36	X	X	X	X	X	GAGAL
37	X	X	X	X	X	GAGAL
38	X	X	X	X	X	GAGAL
39	X	X	X	X	X	GAGAL
40	✓	✓	✓	✓	✓	BERHASIL
41	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
42	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
43	X	X	X	X	X	GAGAL
44	X	X	X	X	X	GAGAL
45	X	X	X	X	X	GAGAL
46	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
47	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL
48	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	BERHASIL

Keterangan:

✓✓ = Pelepasan sisa tabung tepat ditengah lubang, ✓ = Pelepasan sisa tabung sedikit melenceng dari tengah lubang, dan X= Pelepasan sisa tabung gagal/ jauh dari posisi lubang

10 *pixel*. Penentuan titik koordinat posisi lubang yang berisi sisa pipa menggunakan *limit switch* koordinat telah dapat menentukan semua posisi lubang yang yang dituju dengan sangat baik. Waktu terlama yang dibutuhkan oleh *overhead crane* untuk menentukan posisi lubang 48, yaitu 2,41 menit. Penggunaan sistem pneumatik sebagai komponen prototipe yang bertugas melepaskan sisa tabung yang kotor sudah cukup bekerja dengan baik melepaskan sisa tabung pada *tubesheet* dengan tingkat keberhasilan pelepasan sisa tabung pada *tubesheet* adalah 47,92% dengan jumlah lubang yang mampu dibersihkan sebanyak 23 lubang dari total 48 lubang.

REFERENSI

[1] R. Kurniawan, "Rekayasa rancang bangun sistem pemindahan material otomatis dengan sistem elektro-pneumatik," Jurnal Energi Dan Manufaktur, vol. 3, 2008.

[2] H. Said, "Aplikasi Programmable Logic Controller (PLC) dan Sistem Pneumatik pada Manufaktur Industri," Jakarta: Andi Publisher, 2013.

[3] N. Jain and N. Jain, "Pneumatic recognition using circular Hough Transform," Int. J. Electron. Commun. Comput. Technol, vol. 2, p. 1, 2012.

[4] M. Smereka and I. Dulęba, "Circular object detection using a modified Hough Transform," International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, vol. 18, pp. 85-91, 2008.

[5] E. D. Ginting, "Deteksi Tepi Menggunakan Metode Canny dengan Matlab Untuk Membedakan Uang Asli dan Uang Palsu," 2012.

[6] M. Kusban, "Perbaikan Citra Melalui Proses Pengolahan Piksel," in Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST), 2012.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

