



TUGAS AKHIR - TM184835

PENGUKURAN CACAT PADA SPESIMEN *FRICTION STIR WELDING* MATERIAL AA6061-T651 DENGAN METODE PENGOLAHAN CITRA

Faza Humam Muzhofar
NRP. 0211184000081

Dosen Pembimbing
Dinny Harnany, S.T., M.Sc.
NIP 198905132019032013

TEKNIK MESIN
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



PENGUKURAN CACAT PADA SPESIMEN *FRICTION STIR WELDING* MATERIAL AA6061-T651 DENGAN METODE PENGOLAHAN CITRA

Faza Humam Muzhofar
NRP. 0211184000081

Dosen Pembimbing
Dinny Harnany, S.T., M.Sc.
NIP 198905132019032013

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022



MEASUREMENT OF DEFECTS IN WELDING SPECIMEN AA6061-T651 MATERIAL WITH IMAGE PROCESSING METHODS

Faza Humam Muzhofar
NRP. 0211184000081

Advisor
Dinny Harnany, S.T., M.Sc.
NIP 198905132019032013

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUKURAN CACAT PADA SPESIMEN *FRICTION STIR WELDING* MATERIAL AA6061-T651 DENGAN METODE PENGOLAHAN CITRA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Faza Humam Muzhofar**

NRP. 0211184000081

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dinny Harnany, S.T., M.Sc.

Pembimbing

2. Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D.

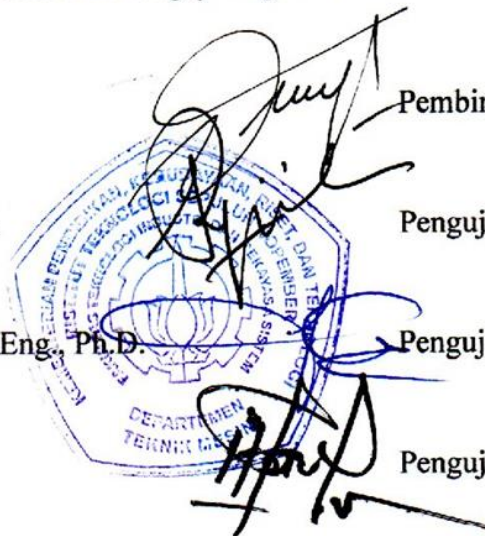
Penguji

3. M. Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

Penguji

4. Ir. Sampurno, M.T.

Penguji



SURABAYA

Juli, 2022

APPROVAL SHEET

MEASUREMENT OF DEFECTS IN FRICTION STIR WELDING SPECIMEN AA6061-T651 MATERIAL WITH IMAGE PROCESSING METHODS





FINAL PROJECT

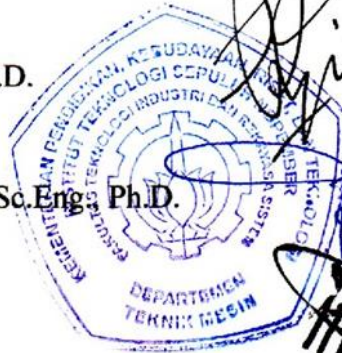
Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **Faza Humam Muzhofar**

NRP. 0211184000081

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Dinny Harnany, S.T., M.Sc.  Advisor
2. Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D.  Examiner
3. M. Khoirul Effendi, S.T., M.Sc. Eng. Ph.D.  Examiner
4. Ir. Sampurno, M.T.  Examiner



SURABAYA

July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa / NRP : Faza Humam Muzhofar / 0211184000081

Departemen : Teknik Mesin

Dosen Pembimbing/NIP : Dinny Harnany, S.T., M.Sc. / 198905132019032013

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Pengukuran Cacat Pada Spesimen Friction Stir Welding Material AA6061-T651 Dengan Metode Pengolahan Citra” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

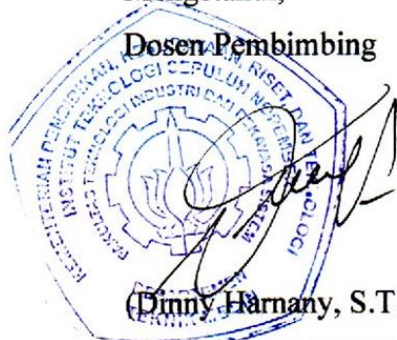
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2022

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

Mahasiswa,



(Dinny Harnany, S.T., M.Sc.)

NIP. 198905132019032013

(Faza Humam Muzhofar)

NRP. 0211184000081

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Nama Mahasiswa / NRP : Faza Humam Muzhofar / 0211184000081

Departemen : Teknik Mesin

Dosen Pembimbing/NIP : Dinny Harnany, S.T., M.Sc. / 198905132019032013

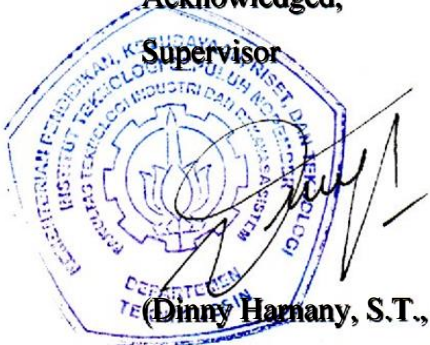
hereby declare that the Final Project with the title of “Measurement Of Defects In Friction Stir Welding Specimen AA6061-T651 Material With Image Processing Methods” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 19 2022

Acknowledged,

Supervisor



(Dinny Harnany, S.T., M.Sc.)
NIP. 198905132019032013

Student,



(Faza Humam Muzhofar)
NRP. 0211184000081

PENGUKURAN CACAT PADA SPESIMEN *FRICITION STIR WELDING* MATERIAL AA6061-T651 METODE PENGOLAHAN CITRA

Nama Mahasiswa/ NRP : Faza Humam Muzhofar / 0211184000081
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Dinny Harnany, S.T., M.Sc.

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses penyambungan yang sangat andal. FSW memiliki keuntungan seperti permukaan akhir yang baik, distorsi rendah dan sifat mekanik yang sangat baik, dan tidak adanya gas, membuatnya juga menjadi teknologi hijau. Meskipun FSW memiliki keandalan yang tinggi, dalam menjalankannya masih terdapat beberapa cacat seperti cacat terowongan dan *void* pada hasil pengelasan. Oleh karena itu diperlukan pengecekan untuk kualitas hasil pengelasan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk hal tersebut adalah dengan menggunakan pengujian radiografi dan pengolahan citra untuk mengetahui luas daerah cacat. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara mengukur luas daerah cacat pada hasil proses *friction stir welding* menggunakan pengujian radiografi dan pengolahan citra.

Spesimen hasil proses FSW sejumlah 48 dilakukan pengujian dengan radiografi. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan film dimana 26 dari 48 spesimen terdapat cacat. Film yang memiliki gambar spesimen cacat akan diambil gambarnya dengan kamera digital dan *film viewer*. Kemudian diolah menggunakan aplikasi matlab dengan langkah-langkah mulai dari mengubah ke *greyscale*, mengurangi *noise*, meningkatkan kontras dan mensegmentasi daerah cacat pada gambar. Hasil segmentasi tersebut kemudian akan diubah menjadi gambar biner agar mendapatkan daerah luasan cacat pada gambar tersebut. Penelitian ini menggunakan frangi filter dengan pendekatan berdasarkan nilai eigen Hessian untuk mendapatkan segmentasi daerah cacat pada gambar radiografi. Hasil penerapan frangi filter ini menunjukkan nilai akurasi yang cukup tinggi yaitu 95,62%.

Kata kunci: *Cacat, FSW, Luas, Pengolahan Citra, Pengukuran*

MEASUREMENT OF DEFECTS IN FRICTION STIR WELDING SPECIMEN AA6061-T651 MATERIAL WITH IMAGE PROCESSING METHODS

Student Name / NRP : Faza Humam Muzhofar / 0211184000081
Department : Mechanical Engineering INDSYS-ITS
Advisor : Dinny Harnany, S.T., M.Sc.

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a very reliable joining process. FSW has advantages such as good surface finish, low distortion and excellent mechanical properties, and the absence of gas, making it also a green technology. Although FSW has high reliability, in its operation there are still some defects such as tunnel defects and voids in the welding results. Therefore, it is necessary to inspect the quality of the welding results. One method that can be used for this is to use radiographic testing and image processing to determine the extent of the defect area. Therefore, this study aims to determine how to measure the area of the defect in the friction stir welding process using radiographic testing and image processing.

A total of 48 specimens from the FSW process were tested by radiography. From the test results, it was found that 26 out of 48 specimens had defects. Films that have an image of a defective specimen will be photographed using a digital camera and a film viewer. Then processed using a matlab application with steps ranging from converting to greyscale, reducing noise, increasing contrast and segmenting defective areas in the image. The results of the segmentation will then be converted into a binary image to get the area of the defect in the image. This study uses a frangi filter with an approach based on Hessian eigenvalues to obtain segmentation of defective areas on radiographic images. The results of the application of this frangi filter show a high accuracy of 95,62%.

Keywords: *Defect, FSW, Area, Image Processing, Measurement*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis kepada Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir berjudul “PENGUKURAN CACAT PADA SPESIMEN *FRICITION STIR WELDING* MATERIAL AA6061-T651 DENGAN METODE PENGOLAHAN CITRA” ini dapat selesai sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Pengerjaan Tugas Akhir ini menjadi sebuah sarana untuk penulis memperdalam ilmu yang telah didapatkan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, khususnya dalam disiplin ilmu Teknik Mesin. terselesaikannya buku Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan semua pihak. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
2. Ibu Dinny Harnany, S.T., M.Sc. dan Bapak Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang telah meluangkan waktu berharganya demi memberikan ide, bimbingan, dan evaluasi yang sangat besar dampaknya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng, bapak Ir. Sampurno, M.T., dan bapak M. Khoirul Effendi, S.T., M.Sc. Eng., Ph. D. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan, dan arahan untuk menyempurnakan Tugas akhir ini.
4. Bapak Mulyadi, S.T., M.T., selaku mahasiswa doktoral yang membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin FTIRS ITS
6. Teman-teman di Laboratorium Rekayasa Produksi dan P3.
7. Teman-teman sarjana Departemen Teknik Mesin FTIRS ITS.
8. Serta semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak sekali kekurangan namun besar harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat membantu serta memberikan pengetahuan yang berguna bagi para pembaca.. Dengan kerendahan hati, penulis memohon maaf sebesar-besarnya atas kekurangan tersebut dan sangat terbuka akan kritik serta saran.

Surabaya, 14 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
APPROVAL SHEET.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
STATEMENT OF ORIGINALITY	vi
Abstrak	vii
Abstract.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II DASAR TEORI.....	3
2.1 Friction Stir Welding	3
2.2 Cacat <i>Friction Stir Welding</i> pada Aluminium.....	4
2.3 Tes Radiografi	4
2.4 Konsep Pengolahan Citra	5
2.5 Citra Biner	5
2.6 Citra Grayscale	6
2.7 Citra Warna.....	6
2.7.1 RGB	6
2.7.2 HSV	7
2.8 Histogram Equilization.....	7
2.9 Contrast Limited Adaptif Histogram Equalization.....	7
2.10 Segmentation	8
2.11 Thresholding Citra.....	8
2.12 Frangi Filter	9
2.13 Penelitian Terdahulu.....	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Flowchart Penelitian	12

3.2	Langkah Penelitian	13
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		16
4.1	Hasil Pengujian Radiografi.....	16
4.2	Hasil Pengolahan Citra Dengan <i>Frangi Filter</i>	17
4.2.1	<i>Preprocessing</i>	17
4.2.2	<i>Processing</i>	18
4.3	Hasil Pengolahan Citra Dengan <i>Color Thresholding</i>	19
4.3.1	<i>Pre-processing</i>	19
4.4	Evaluasi Kinerja Sistem Pengukuran	20
4.5	Pengukuran Luas Daerah Cacat.....	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		24
5.1	Kesimpulan.....	24
5.2	Saran	24
DAFTAR PUSTAKA.....		25
Lampiran.....		1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Proses <i>Friction Stir Welding</i> (R. S. Mishra & Z. Y. Ma, 2008).....	3
Gambar 2.2 Mekanisme Kerja Radiografi Test (Sulaiman et al., 2020).....	5
Gambar 2.3 Citra Biner (T. Sutoyo, 2009)	5
Gambar 2.4 Citra <i>Grayscale</i> (T. Sutoyo, 2009).....	6
Gambar 2.5 Citra Warna (T. Sutoyo, 2009).....	6
Gambar 2.6 Empat Jenis Gambar Dasar: Gelap, Ringan, Kontras Rendah, Kontras Tinggi, dan Histogram Yang Sesuai (G.Rafael & W. Richard, 2002).....	7
Gambar 2.7 Distribusi Pixel Pada Histogram (Pizer et al., 1987).	8
Gambar 2.8 Diagram <i>Load-Time</i> (Raweni et al., 2018).....	10
Gambar 2.9 Kontribusi 3 Parameter Terhadap <i>Toughness</i> (Raweni et al., 2018).....	10
Gambar 2.10 (a) dan (c) Gambar Radiografi (b) dan (d) Gambar yang Disempurnakan Dengan Metode Chambolle (Movafeghi et al., 2021)	11
Gambar 3. 1 Flowchart metodologi penelitian	12
Gambar 3. 2 Mesin X-Ray untuk Scan Radiografi	13
Gambar 3. 3 Flowchart Proses Pengolahan Citra	14
Gambar 4.1 Foto Hasil Film Radiografi untuk Spesimen No.11	16
Gambar 4.2 Profil Cacat Tunnel pada Film Radiografi	17
Gambar 4.3 Profil Cacat Void pada Film Radiografi	17
Gambar 4.4 film radiografi setelah <i>grayscale</i>	18
Gambar 4.5 Histogram kontras film radiografi sebelum CLAHE	18
Gambar 4.6 Histogram Kontras Setelah CLAHE	18
Gambar 4.7 Hasil Film Radiografi Setelah Peningkatan Kontras	18
Gambar 4.8 Hasil Film Radiografi Setelah Denoise.....	18
Gambar 4.9 Citra Hasil Frangi Filter	19
Gambar 4.10 Citra Hasil Thresholding	19
Gambar 4.11 Lingkaran Bekas Pin Pada Proses FSW	19
Gambar 4.12 Hasil Deteksi Lingkaran Pada Bekas Pin Proses FSW	19
Gambar 4.13 Hasil Film Radiografi Setelah Peningkatan Kontras (<i>Color Thresholding</i>)	20
Gambar 4.14 Hasil Film Radiografi Setelah Denoise (<i>Color Thresholding</i>)	20
Gambar 4.15 Hasil Pengolahan Citra <i>Color Thresholding</i> (a) Berwarna (b) Citra Biner	20
Gambar 4.16 Hasil Radiografi (a) awal (b) Setelah Penerapan <i>Frangi Filter</i> dan (c) Setelah Penerapan <i>Color Thresholding</i>	21
Gambar 4.17 Input Sistem Pengukuran	21
Gambar 4.13 Noise Pada Film Hasil Radiografi Untuk Peletakan Posisi	22
Gambar 4.14 Noise Pada Film Hasil Radiografi (a) Setelah Penerapan CLAHE (b) Setelah Penerapan Frangi Filter	22

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Manfaat <i>Friction Stir Welding</i> (R. S. Mishra & Z. Y. Ma, 2008)	4
Tabel 2.2 Desain Percobaan FSW (Raweni et al., 2018).....	9
Tabel 2.3 Desain Eksperimen (Pontjonoto, 2021).....	10
Tabel 2.4 Hasil Pengukuran Panjang Cacat(Movafeghi et al., 2021).....	11
Tabel 3.1 Spesifikasi Kamera Sony α 6300.....	14
Tabel 4.1 Hasil Keberterimaan Film Menurut ASME IX	16
Tabel 4.2 Hasil Evaluasi Sistem Pengukuran Dengan Frangi Filter.....	21
Tabel 4.3 Hasil perhitungan luas daerah cacat.....	22

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, penggunaan las jenis *Friction Stir Welding* (FSW) pada industri manufaktur di Indonesia masih sangat minim dikarenakan kurangnya pengembangan yang dilakukan pada pengelasan jenis FSW. Hal ini berlaku pada perusahaan PT. INKA, yang masih menggunakan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) yang masih memiliki kekurangan yang sering terjadi seperti burnback pada proses pengelasannya, cacat las porositas, dan komponen busur yang tidak stabil (Hasan, 2021). Kerusakan yang sering terjadi adalah pada komponen kritis mesin las GMAW sebagai dasar penentuan keandalan komponen kritis. Penyebab terjadinya kegagalan pada komponen kritis adalah kurangnya perminyakan pada bearing, terjadi ketidaksesuaian arus pada switch power, adanya overheating pada kabel wire feeder, dan arus voltase yang terlalu besar pada *welding gun*. Banyaknya produksi yang dilakukan menyebabkan pemakaian mesin las yang tak terkendali sehingga sering terjadi kerusakan dan kerugian bahkan terjadinya kecelakaan kerja (Renti, 2015).

Maka dari permasalahan yang ada diatas, dibutuhkan penerapan jenis las yang lebih baik dalam pembuatan kerangka kereta, baik dalam hasil lasnya, dan juga aman bagi operatornya. Dari sekian banyak jenis las yang terdapat di pasaran, terdapat jenis las FSW yang mampu menjawab permasalahan tersebut agar kedepannya proses pengelasan kerangka kereta api di PT. INKA dapat berjalan dengan lebih baik, efisien, serta tidak membahayakan operatornya. FSW memiliki keuntungan seperti permukaan akhir yang baik, distorsi rendah dan sifat mekanik yang sangat baik, dan tidak adanya gas, membuatnya juga menjadi teknologi hijau. Namun, parameter proses yang salah disesuaikan dapat menyebabkan cacat. Cacat paling umum yang terkait dengan FSW adalah kurangnya penetrasi, kurangnya fusi, tunnel, rongga, alur permukaan, flash yang berlebihan, galling permukaan, runtuhnya nugget (Silva et al., 2015). Namun demikian, analisis interaksi parameter dan pengaruhnya terhadap cacat sambungan masih diperlukan, untuk mencapai kontrol proses yang tepat untuk aplikasi industrinya.

Namun, cacat las tidak dapat dihindari karena kondisi lingkungan dan teknologi pengelasan yang berbeda dalam proses pengelasan. Sangat penting untuk memeriksa kualitas sambungan las untuk memastikan keandalan dan keamanan struktur, terutama untuk aplikasi kritis di mana kegagalan las dapat menjadi bencana besar. Sebagai metode yang paling umum digunakan untuk mendeteksi kualitas pengelasan, teknik pengujian tak rusak (NDT) meliputi metode pengujian radiografi, ultrasonik, partikel magnetik dan penetran cair. Dalam makalah ini, kami terutama memperhatikan teknologi pengujian radiografi yang biasa digunakan untuk memeriksa cacat bagian dalam lasan. Sumber sinar-X dan sinar gamma biasanya digunakan untuk menghasilkan gambar las radiografi dengan menembus struktur las dan mengekspos film fotografi.

Sayangnya, intrinsik dalam metode tes radiografi adalah degradasi kualitas gambar karena kontaminasi sinyal oleh radiasi yang tersebar yang memiliki perbedaan nilai kontras yang kecil. Deteksi radiasi yang tersebar yang tidak dapat dihindari merupakan sumber utama noise pada gambar tes radiografi yang berpuncak pada keburaman gambar radiografi sehingga mengurangi efektivitas metode dalam identifikasi dan segmentasi. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan visualisasi di wilayah cacat telah difokuskan pada metode pemrosesan gambar radiografi digital. Dalam penelitian ini, pengolahan citra digunakan untuk mengukur luas daerah cacat pada spesimen *friction stir welding* pada material AA6061-T651.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian FSW ini, rumusan masalah yang akan dibahas adalah “Bagaimana cara mengukur luas daerah cacat pada hasil proses *friction stir welding* menggunakan pemrosesan citra?”

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah mengetahui cara mengukur luas daerah cacat pada hasil proses *friction stir welding* menggunakan pemrosesan citra.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Citra film diambil terlebih dahulu dengan menggunakan kamera sony $\alpha 6300$
- b) Penentuan cacat dan tidak (normal) pada gambar hasil proses FSW berdasarkan aturan atau standar ASME IX.
- c) Proses pengolahan citra menggunakan perangkat lunak Matlab 2022a.

1.5 Manfaat Penelitian

Terdapat beberapa manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini baik bagi penulis maupun bagi pembaca / pihak terkait, manfaat tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Sebagai penambah wawasan pengetahuan terkait alat las *friction stir welding*, khususnya pada pengaruh parameter terhadap cacat.
- b) Menghasilkan pengembangan produk pahat *friction stir welding* yang dapat membantu proses pembuatan kerangka kereta api di PT INKA.
- c) Memunculkan inovasi pahat *friction stir welding* baru yang dapat mempermudah proses pengelasan pada industri manufaktur nasional.

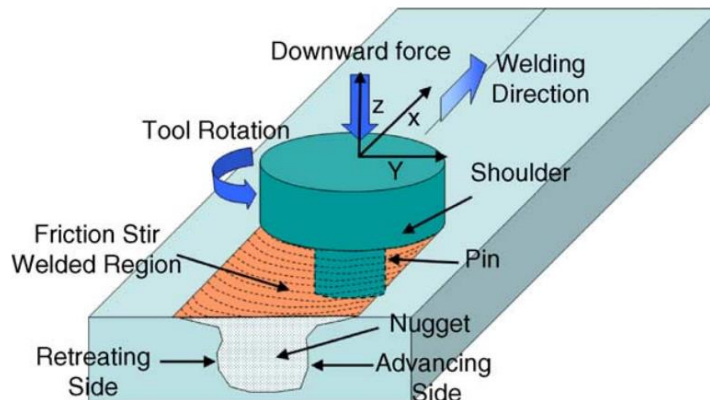
Menggerakkan perusahaan nasional, mahasiswa dan seluruh akademisi agar dapat terus mengembangkan inovasi baru pada produk-produk yang dapat membawa manfaat bagi industri nasional.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Friction Stir Welding

Friction Stir Welding (FSW) ditemukan oleh Wayne Thomas di TWI (*The Welding Institute*), dan aplikasi paten pertama diajukan di Inggris pada bulan Desember 1991. Awalnya, proses ini dianggap sebagai keingintahuan "laboratorium", tetapi segera menjadi jelas bahwa FSW menawarkan banyak manfaat dalam pembuatan produk aluminium. (Thomas et al., 1991)

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses *solid-state*, yang berarti bahwa benda-benda bergabung tanpa mencapai titik leleh. Konsep dasar FSW sangat sederhana. *Tool* putar yang tanpa dikonsumsi dengan pin dan bahu yang dirancang khusus dimasukkan ke tepi berbatasan lembaran atau pelat untuk disambung dan dilintasi sepanjang garis sambungan (Gambar 2.1). Pahat memiliki dua fungsi utama: (a) pemanasan benda kerja, dan (b) pergerakan material untuk menghasilkan sambungan. Pemanasan dilakukan dengan gesekan antara pahat dan benda kerja dan deformasi plastis benda kerja. Pemanasan lokal melembutkan material di sekitar pin dan kombinasi rotasi dan translasi pahat menyebabkan pergerakan material dari depan pin ke belakang pin. Sebagai hasil dari proses ini, sambungan diproduksi dalam 'keadaan padat'. Karena berbagai fitur geometris pahat, pergerakan material di sekitar pin bisa sangat kompleks. Selama proses FSW, material mengalami deformasi plastis yang intens pada suhu tinggi, menghasilkan butir rekristalisasi halus dan memiliki ukuran yang sama. Struktur mikro yang halus pada *friction stir welding* menghasilkan sifat mekanik yang baik (R. S. Mishra & Z. Y. Ma, 2008).



Gambar 2.1 Skema Proses *Friction Stir Welding* (R. S. Mishra & Z. Y. Ma, 2008)

FSW dianggap sebagai perkembangan paling signifikan dalam penyambungan logam dalam satu dekade dan merupakan teknologi "hijau" karena efisiensi energi, keramahan lingkungan, dan keserbagunaannya. Dibandingkan dengan metode pengelasan konvensional, FSW mengkonsumsi energi jauh lebih sedikit. Tidak ada gas penutup atau fluks yang digunakan, sehingga membuat prosesnya ramah lingkungan. Penyambungan tidak melibatkan penggunaan logam pengisi dan oleh karena itu paduan aluminium apa pun dapat disambung tanpa memperhatikan kompatibilitas komposisi, yang merupakan masalah dalam pengelasan fusi. Bila diinginkan, paduan aluminium dan komposit yang berbeda dapat digabungkan dengan mudah. Berbeda dengan pengelasan gesek tradisional, yang biasanya dilakukan pada bagian-bagian kecil yang axisimetris yang dapat diputar dan didorong satu sama lain untuk membentuk sambungan, *friction stir welding* dapat diterapkan pada berbagai jenis sambungan seperti sambungan butt, sambungan lap, *T butt joint*, dan *fillet joint*. Manfaat utama FSW diringkas dalam Tabel 2.1. (R. S. Mishra & Z. Y. Ma, 2008).

Tabel 2.1 Manfaat *Friction Stir Welding* (R. S. Mishra & Z. Y. Ma, 2008)

Metallurgical benefits	Environmental benefits	Energy benefits
Solid phase process	No shielding gas required	Improved materials use (e.g., joining different thickness) allows reduction in weight
Low distortion of workpiece	No surface cleaning required	Only 2.5% of the energy needed for a laser weld
Good dimensional stability and repeatability	Eliminate grinding wastes	Decreased fuel consumption in light weight aircraft, automotive and ship applications
No loss of alloying elements	Eliminate solvents required for degreasing	
Excellent metallurgical properties in the joint area	Consumable materials saving, such as rags, wire or any other gases	
Fine microstructure		
Absence of cracking		
Replace multiple parts joined by fasteners		

2.2 Cacat *Friction Stir Welding* pada Aluminium

Disisi lain kelebihan dari proses FSW, terdapat beberapa masalah yang mungkin terjadi. Diantaranya beberapa cacat yang mungkin terjadi, yaitu: (Kah et al., 2015):

a. Flash

Material yang dilas mengalami kondisi pemrosesan yang sangat panas karena pin alat berputar pada kecepatan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, panas yang berlebihan dihasilkan, secara termal melunakkan bahan di dekat batas bahu alat dan mengeluarkan volume besar bahan dalam bentuk *flash* permukaan. Pelunakan karena panas gesekan *tool-shoulder* yang berlebihan dari material adalah alasan untuk pembentukan *flash*, dan tekanan *tool-shoulder* yang tinggi menyebabkan jumlah flash yang berlebihan.

b. Tunnel

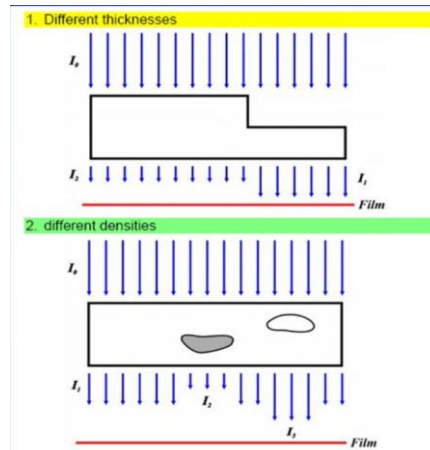
Ketika kondisi pemrosesan, yaitu kecepatan perjalanan las, rotasi alat, dll., gagal menghasilkan panas yang diperlukan untuk ikatan, pencampuran dan pengadukan material yang tidak memadai dapat terjadi, mengakibatkan pembentukan cacat terowongan. Disipasi panas yang cepat dari zona deformasi langsung juga dapat menyebabkan lasan yang terlalu dingin. Las yang diproduksi di bawah kondisi pengelasan yang terlalu dingin menjadi keras secara makroskopik, dan fraktur dapat terjadi melalui cacat.

c. Void

Adanya rongga di lasan adalah cacat umum dalam FSW. Dinamika fluida yang terkait dengan aliran plastik dalam nugget las memainkan peran kunci dalam pembentukan rongga tersebut. Meskipun kecepatan pengelasan yang tinggi mempromosikan las gesekan-aduk yang lebih ekonomis dan produktivitas yang lebih tinggi, kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi menyebabkan pembentukan rongga di bawah permukaan atas las atau di sisi depan di tepi nugget las. Peningkatan kecepatan lebih lanjut mengarah pada pembentukan cacat lubang cacing yang lebih besar.

2.3 Tes Radiografi

Radiografi NDT (*Non-Destructive Test*) adalah pengujian tanpa kerusakan menggunakan sinar-X merupakan sebuah aktifitas tes atau pengujian terhadap suatu objek (material, rangka, dll) dengan menggunakan sinar gama atau biasa disebut sinar-X untuk mengetahui kandungan dari objek dan komponen-komponen yang diuji apa saja yang terkandung di dalamnya serta tercatat secara jelas dan akurat, serta menguji kondisi dan kualitas objek tanpa melampaui batas toleransi kerusakan objek. Sehingga dengan kata lain objek yang diujikan dijaga kualitasnyanya tidak perlu merusak objek untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Adapun gambaran dari mekanisme kerja radiografi test dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme Kerja Radiografi Test (Sulaiman et al., 2020).

Dimana garis biru yang terdapat pada gambar merupakan sinar-x yang dipaparkan pada benda kerja. Apabila benda memiliki ketebalan atau densitas yang berbeda maka intensitas sinar-x yang melalui benda kerja akan berubah sesuai dengan perbedaan ketebalan atau densitas tersebut.

Tujuan dilakukan pengujian Radiografi untuk mendeteksi cacat pada permukaan benda ataupun didalam benda, mengukur geometri benda, menentukan reaksi kimia pada benda, pengujian dilakukan untuk mendapatkan kualitas barang yang baik, menghindari kecelakaan, mengurangi biaya pengeluaran yang berlebih.

2.4 Konsep Pengolahan Citra

Citra digital adalah sebuah fungsi 2D, $f(x,y)$, yang merupakan fungsi intensitas cahaya, dimana nilai x dan y merupakan koordinat spasial dan nilai fungsi di setiap titik (x,y) merupakan tingkat keabuan citra pada titik tersebut. Citra digital dinyatakan dengan sebuah matriks dimana baris dan kolomnya menyatakan suatu titik pada citra tersebut dan elemen matriksnya (yang disebut sebagai elemen gambar atau piksel) menyatakan tingkat keabuan pada titik tersebut. Matriks dari citra digital berukuran $N \times M$ (tinggi \times lebar), dimana (T. Sutoyo, 2009):

$$N = \text{jumlah baris}, 0 < y \leq N - 1$$

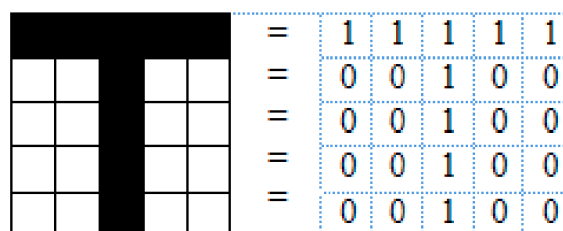
$$M = \text{jumlah kolom}, 0 \leq x \leq M - 1$$

$$L = \text{derajat keabuan } 0 \leq f(x,y) \leq L - 1$$

Dimana indeks baris (x) dan indeks kolom (y) menyatakan suatu koordinat titik pada citra, sedangkan $f(x,y)$ merupakan intensitas (derajat keabuan) pada titik (x,y) .

2.5 Citra Biner

Memiliki 2 buah warna, yaitu hitam dan putih. Warna hitam bernilai 1 dan warna putih bernilai 0. Untuk menyimpan kedua warna ini dibutuhkan 1 bit di memori. Contoh dari susunan piksel pada citra biner ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Citra Biner (T. Sutoyo, 2009)

2.6 Citra Grayscale

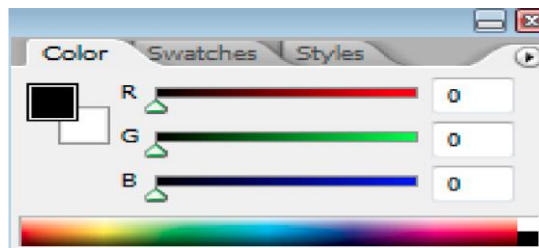
Citra *grayscale* mempunyai kemungkinan warna hitam untuk nilai minimal dan warna putih untuk nilai maksimal. Banyaknya warna tergantung pada jumlah bit yang disediakan di memori untuk menampung kebutuhan warna tersebut. Semakin besar jumlah bit warna yang disediakan di memori, maka semakin halus gradasi warna yang terbentuk. Contoh skala keabuan 2 bit, jumlah kemungkinan $2^2 = 4$ warna, Jadi, kemungkinan warna 0 (minimal) sampai 4 (maksimal). Contoh dari susunan piksel pada citra *grayscale* ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Citra *Grayscale* (T. Sutoyo, 2009)

2.7 Citra Warna

Setiap piksel pada citra warna mewakili warna yang merupakan kombinasi tiga warna dasar, yaitu merah, hijau, dan biru (RGB = Red, Green, Blue). Setiap warna dasar menggunakan penyimpanan 8 bit = 1 byte (nilai maksimum 255 warna), jadi satu piksel pada citra warna diwakili oleh 3 byte. Contoh dari susunan pada citra warna ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Citra Warna (T. Sutoyo, 2009)

Model warna adalah model matematika abstrak di mana warna direpresentasikan sebagai tupel angka baik tiga atau empat nilai atau komponen warna. Ketika model warna dikaitkan dengan deskripsi akurat tentang bagaimana komponen harus disimpulkan dan kondisi dilihat, kumpulan warna yang dihasilkan disebut "ruang warna." Ruang warna juga dapat menggambarkan cara penglihatan warna manusia dapat dimodelkan. Dalam beberapa kasus, ruang warna dan model warna secara signifikan sama. Ada ruang warna yang berbeda seperti RGB dan HSV.

2.7.1 RGB

Model warna default gambar adalah RGB (Merah, Hijau, dan Biru). Dalam model ini, sebuah gambar adalah array piksel warna $I \times J \times 3$, di mana setiap piksel adalah triplet tiga warna merah, hijau dan biru pada lokasi spasial (I, J). Ketiga komponen warna ini dapat dilihat sebagai tumpukan dari tiga lapisan individu. Setiap piksel pada suatu citra akan memiliki layer merah, layer biru dan layer hijau yang akan menghasilkan citra RGB. Semua komponen warna ini dapat dilihat sebagai model 3-D. Dalam pencampuran warna aditif, ketika ketiga saluran warna bernilai nol, berarti tidak ada cahaya yang dipancarkan sehingga warna yang dihasilkan adalah hitam. Ketika ketiga saluran warna diatur ke nilai maksimumnya yaitu, 255, maka warna yang dihasilkan adalah putih. Monitor Televisi adalah

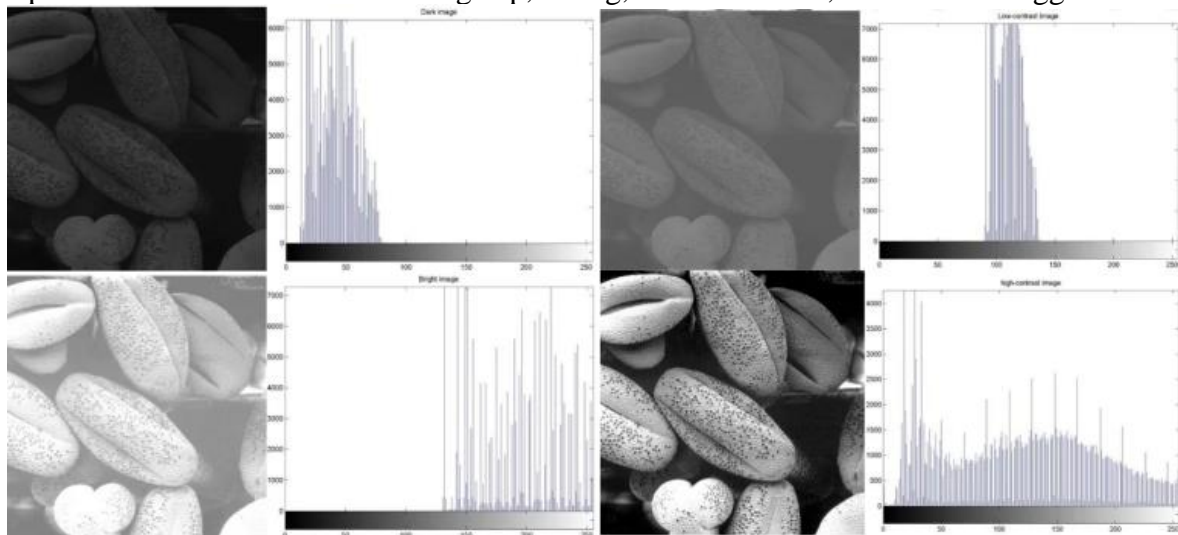
contoh yang sangat baik yang menggunakan konsep pencampuran warna aditif (Hema & Kannan, 2019).

2.7.2 HSV

Ruang warna HSV (Hue, Saturation, Value) jauh lebih dekat dengan ruang warna RGB di mana manusia menggambarkan sensasi warna dan merasakan warna. Hue adalah warna dominan yang diamati oleh manusia. Saturation adalah jumlah cahaya putih yang divariasikan dengan hue. Nilai adalah kecerahan/ Intensitas. Dalam bentuk singkat, Hue mengacu pada warna, Saturasi mengacu pada bayangan dan Nilai mengacu pada *tone*. Ruang warna HSV dapat dilihat sebagai silinder geometris, di mana dimensi sudut mewakili Hue(H), mulai dari merah primer pada 0°, dan pindah ke hijau primer pada 120° dan biru primer pada 240°, dan akhirnya membungkus kembali ke merah pada 360°. Jarak dari sumbu pusat silinder HSV sesuai dengan Saturation(S). Nilai saturasi yang bergerak ke arah tepi luar berarti bahwa nilai warna adalah maksimum untuk warna yang ditentukan oleh rona. Sumbu vertikal tengah ruang warna HSV adalah Nilai (V), mulai dari hitam di bagian bawah dengan kecerahan atau nilai 0, hingga putih di bagian atas dengan kecerahan atau nilai 1 (Hema & Kannan, 2019).

2.8 Histogram Equalization

Histogram equalization digunakan untuk meningkatkan kontras gambar, menyebarkan nilai intensitas pada rentang penuh. Teknik pemerataan histogram tidak dapat digunakan untuk gambar yang menderita iluminasi tidak seragam di latar belakangnya karena proses ini hanya menambahkan piksel ekstra ke daerah terang gambar dan menghilangkan piksel ekstra dari daerah gelap gambar yang menghasilkan rentang dinamis tinggi dalam gambar keluaran. Tujuan pemerataan histogram adalah untuk menyebarkan kontras gambar yang diberikan secara merata di seluruh rentang dinamis yang tersedia. Gambar 2.6, menunjukkan dalam empat karakteristik intensitas dasar: gelap, terang, kontras rendah, dan kontras tinggi.



Gambar 2.6 Empat Jenis Gambar Dasar: Gelap, Ringan, Kontras Rendah, Kontras Tinggi, dan Histogram Yang Sesuai (G.Rafael & W. Richard, 2002).

2.9 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

Peningkatan kontras klasik adalah *Histogram Equalization* (HE). Metode ini meningkatkan kontras gambar secara global dengan menyebarkan nilai intensitas yang paling sering. Namun, ia menderita peningkatan *noise* di daerah yang relatif homogen. HE telah digeneralisasi ke pemerataan histogram lokal yang dikenal sebagai *adaptive histogram equalization* (AHE). AHE didasarkan pada HE bahwa metode adaptif merumuskan setiap histogram sub-gambar untuk mendistribusikan kembali nilai kecerahan gambar. Oleh karena

itu, AHE cocok untuk meningkatkan kontras lokal suatu gambar dan menampilkan lebih banyak detail. Beberapa algoritma AHE telah mendapatkan kemajuan penting dalam menekan noise dan meningkatkan kontras.

Namun, masalahnya tetap sama dengan pemerataan histogram global karena penguatan kebisingan di daerah yang relatif homogen. Untuk mengatasi masalah ini, *contrast limited adaptif histogram equalization* (CLAHE) diusulkan. CLAHE adalah pemrosesan berbasis blok yang terkenal, dan dapat mengatasi masalah over amplifikasi noise di wilayah gambar yang homogen dengan pemerataan histogram standar. Algoritma CLAHE berbeda dari HE standar dalam hal bahwa CLAHE beroperasi pada wilayah kecil dalam gambar, yang disebut *tiles*, dan menghitung beberapa histogram, masing-masing sesuai dengan bagian gambar yang berbeda dan menggunakannya untuk mendistribusikan kembali nilai kecerahan gambar.

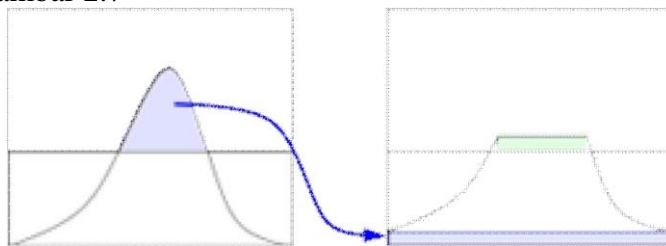
CLAHE berbeda dari AHE biasa dalam batasan kontrasnya. CLAHE memperkenalkan batas klip untuk mengatasi masalah amplifikasi kebisingan. CLAHE membatasi amplifikasi dengan memotong histogram pada nilai yang telah ditentukan sebelum menghitung *cumulative distribution function* (CDF). Dalam teknik CLAHE, gambar asli masukan dibagi menjadi wilayah kontekstual yang tidak tumpang tindih yang disebut sub-gambar, ubin, atau blok. CLAHE memiliki dua parameter utama: Ukuran Blok (BS) dan Batas Klip (CL). Kedua parameter ini terutama mengontrol kualitas gambar yang ditingkatkan. Citra semakin terang ketika CL diperbesar karena citra input memiliki intensitas yang sangat rendah dan CL yang lebih besar membuat histogramnya lebih rata. Karena BS lebih besar, rentang dinamis menjadi lebih besar dan kontras gambar juga meningkat.

Clip Limit pada histogram didapatkan dengan persamaan (1)

$$\beta = \frac{M}{N} \left(1 + \frac{\alpha}{100} (S_{max} - 1) \right) \quad (1)$$

Dimana Variabel menyatakan luas region size, N menyatakan nilai grayscale (256), dan merupakan *clip factor* menyatakan penambahan batas limit suatu histogram yang bernilai antara 0 sampai dengan 100.

Metode CLAHE menerapkan pemerataan histogram untuk setiap wilayah kontekstual. Histogram asli dipotong dan piksel yang dipotong didistribusikan kembali ke setiap tingkat abu-abu. Histogram redistribusi berbeda dengan histogram biasa, karena setiap intensitas piksel dibatasi hingga maksimum yang dipilih. Ilustrasi distribusi *excess* piksel dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Distribusi Pixel Pada Histogram (Pizer et al., 1987).

2.10 Segmentation

Segmentasi Citra adalah proses membagi citra ke dalam wilayah atau objek penyusunnya. Tingkat membagi gambar tergantung pada masalah yang dipecahkan. Proses segmentasi dapat berhenti ketika objek yang diinginkan diisolasi untuk diproses lebih lanjut. Ada berbagai macam aplikasi yang membutuhkan segmentasi gambar. Berdasarkan area aplikasi gambar, teknik Segmentasi yang tepat dapat digunakan (Hema & Kannan, 2019).

2.11 Thresholding Citra

Proses thresholding citra dilakukan dengan memberikan sebuah nilai ambang batas tertentu dalam rentang nilai pixel sehingga seluruh nilai pixel pada citra digital berubah

menjadi nilai citra biner. Setiap pixel dari citra *grayscale* yang digunakan harus dibandingkan dengan nilai ambang batas dan berdasarkan itu, pixel dipisahkan menjadi dua kelas yaitu background dan foreground (Firdousi & Parveen, 2014).

2.12 Frangi Filter

Teknik ini menghitung nilai eigen dan vektor eigen dari matriks Hessian (H) untuk menghitung kemiripan suatu wilayah gambar dengan kapal, menurut metode yang dijelaskan oleh Frangi et al., [1998]:

$$H = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{xy} & I_{yy} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dimana $I_{ab} = \frac{\partial^2 I}{\partial a \partial b}$ untuk setiap piksel gambar, dan I adalah nilai intensitas piksel. Nilai eigen matriks Hessian (H) dilambangkan sebagai λ_1 dan λ_2 dapat digunakan untuk mendeteksi daerah rongga. Nilai eigen memutuskan apakah piksel ini termasuk 'seperti tabung' atau 'seperti gumpalan'. Nilai λ_1 yang kecil dengan nilai λ_2 yang besar menunjukkan bahwa piksel ini termasuk dalam struktur 'seperti tabung'. Tanda nilai eigen menunjukkan kecerahan struktur tabung. *Vesselness* adalah ukuran probabilitas piksel milik pembuluh darah. Dalam kasus kami, *vesselness* adalah ukuran probabilitas piksel milik rongga pada cacat spesimen.

Ukuran *vesselness* terdiri dari dua kriteria, 'struktur orde kedua' s yang memberikan respon rendah untuk kontras gambar rendah dan 'ukuran gumpalan' R_β . 'Struktur orde kedua' dihitung dengan menggunakan rumus: $s = (\lambda_1)^2 + (\lambda_2)^2$ untuk citra 2D. Gumpalan, R_β , diberikan oleh rasio nilai eigen matriks Hessian $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ dan memiliki nilai yang rendah untuk struktur 'seperti tabung' daripada struktur 'seperti gumpalan'. Ukuran *vesselness*, v_o , dapat digabungkan antara R_β dan s dengan rumus Persamaan 3 di mana β dan c adalah ambang batas yang mengontrol sensitivitas filter terhadap R_β dan s , masing-masing (Frangi et al., 1998).

$$v_o = \begin{cases} \exp\left(-\frac{R_\beta^2}{2\beta^2}\right) \left(2 - \exp\left(-\frac{s^2}{2c^2}\right)\right) & \text{if } \lambda_2 > 0; \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

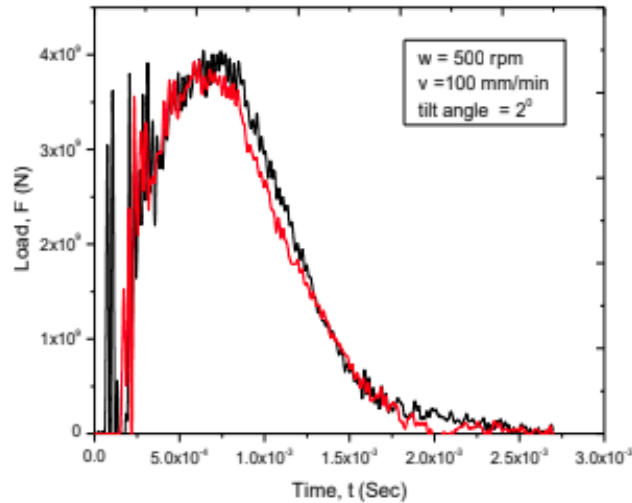
2.13 Penelitian Terdahulu

Sudah ada beberapa penelitian mengenai proses FSW terhadap *aluminium alloy* yang telah dilakukan. Pada tahun 2018, Abuajila Raweni, dkk. melakukan penelitian tentang Optimasi parameter FSW AA5083 menggunakan metode Taguchi. Pada penelitian ini, desain Taguchi diterapkan untuk mengetahui himpunan parameter FSW yang optimal ditinjau dari energi retak total, energi inisiasi retak, dan energi perambatan retak pada pengelasan. Pendekatan Taguchi digunakan untuk merancang rangkaian eksperimen pengelasan mengenai kecepatan putar, kecepatan *traverse*, dan *tilt angle* pahat, dengan rincian seperti tabel 2.1.

Tabel 2.2 Desain Percobaan FSW (Raweni et al., 2018)

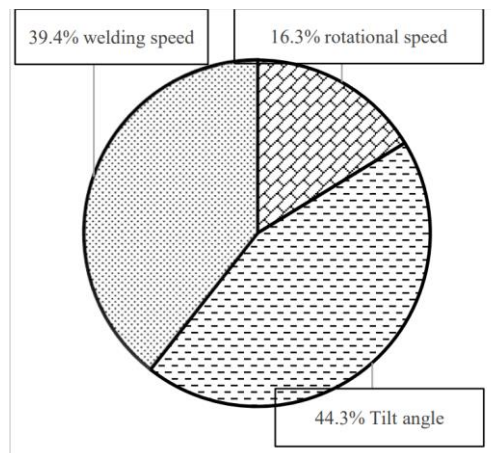
Parameters	Levels			
	1	2	3	4
Welding speed (mm/min) S	500	600	700	800
Rotation speed (rpm) R	75	100	125	150
Tilt angle (°)	1	2	3	4

Setelah desain percobaan, dan persiapan strip pelat, 16 percobaan dijalankan sesuai dengan data input Tabel 2.1, untuk mendapatkan energi yang diserap, serta energi untuk inisiasi dan perambatan retak, menggunakan nilai rata-rata dari 2 spesimen pada diagram Load-Time, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Diagram *Load-Time* (Raweni et al., 2018)

Variabel pengelasan dianalisis dengan menggunakan array ortogonal Taguchi dan analisis rasio *signal-to-noise* untuk menemukan parameter pengelasan yang optimal. Analisis ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh antara masing-masing parameter tersebut. Diagram lingkaran pada Gambar 2.9 menunjukkan persentase kontribusi untuk setiap parameter.



Gambar 2.9 Kontribusi 3 Parameter Terhadap *Toughness* (Raweni et al., 2018)

Parameter optimum untuk energi total dan energi untuk inisiasi retak adalah kecepatan putar 600 rpm, kecepatan pengelasan 125 mm/menit dan sudut kemiringan 3°, sedangkan untuk energi perambatan retak hanya kemiringan sudutnya berbeda, yaitu nilainya 2°.

Pada tahun 2021, Niko Adrisenna Pontjonoto melakukan penelitian tentang Optimasi Proses FSW Pada 4 Geometri Pin dari Tool dengan Parameter Proses dan sudut bahu cekung dalam pengambungan aluminium alloy 6005A-T6. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan jenis geometri pin yang terbaik dari 4 geometri pin yang telah ditetapkan, yaitu *straight cylindrical*, *tapered cylindrical*, *hexagonal*, dan *tapered square*. Proses optimasi yang dilakukan menggunakan metode Taguchi yang menggunakan 4 faktor dimana setiap faktor mempunyai 4 level, faktor yang digunakan adalah kecepatan rotasi tool, *tilt angle*, kecepatan pengelasan, dan sudut bahu cekung dengan respon yang dianalisa adalah temperatur yang terjadi pada sambungan las, dengan rincian pada table 2.1.

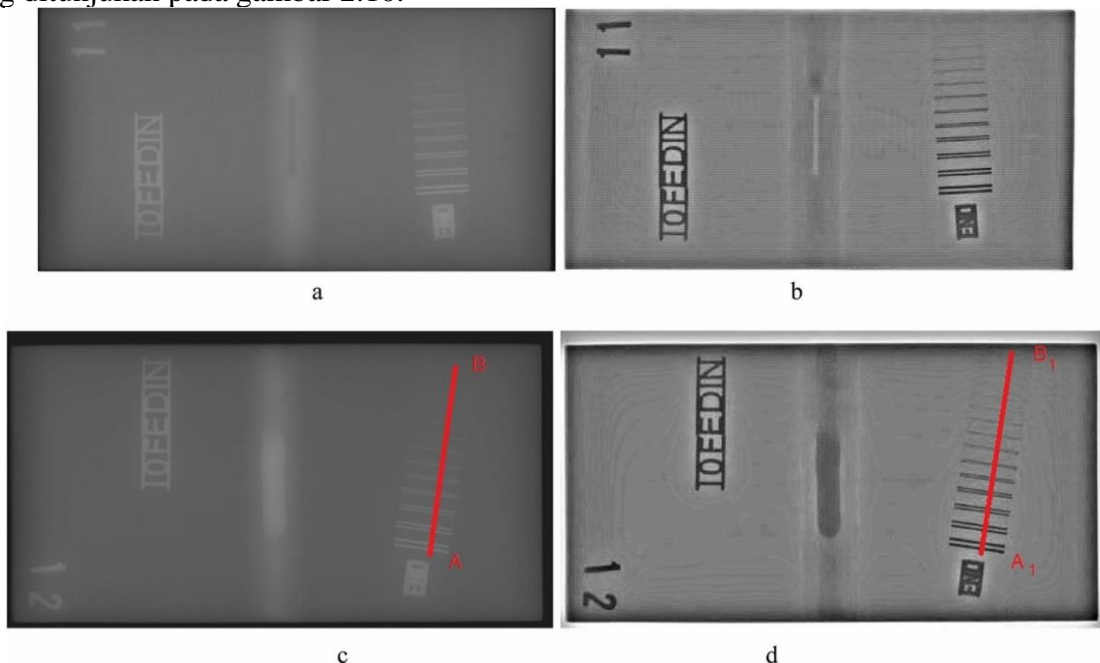
Tabel 2.3 Desain Eksperimen (Pontjonoto, 2021)

Parameters	Levels			
	1	2	3	4

Kecepatan rotasi tool (rpm)	507	765	1208	1907
Sudut bahu cekung (°)	2	2.5	4	5.5
Tilt angle (°)	2	2.5	3	3.5
Kecepatan pengelasan (mm/min)	24	43	65	90

Hasil yang ditemukan adalah bentuk pin yang paling baik dari 4 geometri yang tersebut adalah *hexagonal*. Pada geometri *hexagonal* ditemukan 1 faktor yang signifikan terhadap respon dari hasil ANOVA, faktor tersebut adalah kecepatan rotasi *tool*. Parameter optimum yang ditemukan adalah kecepatan rotasi *tool* 1208 rpm, kecepatan pengelasan 65 mm/min, *tilt angle* 2 ° dan sudut bahu cekung 2.5 ° dimana dengan parameter ini dapat menghasilkan *maximum* temperatur sebesar 322.48 °C.

Pada tahun 2021, Movafeghi melakukan penelitian tentang pengukuran cacat pada objek yang dilas dengan pengujian radiografi dan metode pemrosesan gambar *chambolle*. Dalam penelitian ini, algoritma *Chambolle* digunakan untuk meningkatkan kontras di daerah cacat radiografi objek di mana peningkatan kontras hingga faktor sekitar 3,5 diperoleh, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 (a) dan (c) Gambar Radiografi (b) dan (d) Gambar yang Disempurnakan Dengan Metode *Chambolle* (Movafeghi et al., 2021)

Selain itu, dimensi cacat standar dari objek diukur dengan akurasi lebih baik dari 5% menggunakan gambar dari gambar yang diproses dibandingkan dengan ketidakakuratan sekitar 15% ketika radiografi asli dari cacat yang sama dianalisis. Ukuran nyata dan terukur dari daerah cacat dan pembagian standarnya ditunjukkan pada Tabel 2.4 Hasil dari metode berbasis *Chambolle* ditemukan sangat dekat dengan nilai sebenarnya dari dimensi cacat.

Tabel 2.4 Hasil Pengukuran Panjang Cacat(Movafeghi et al., 2021)

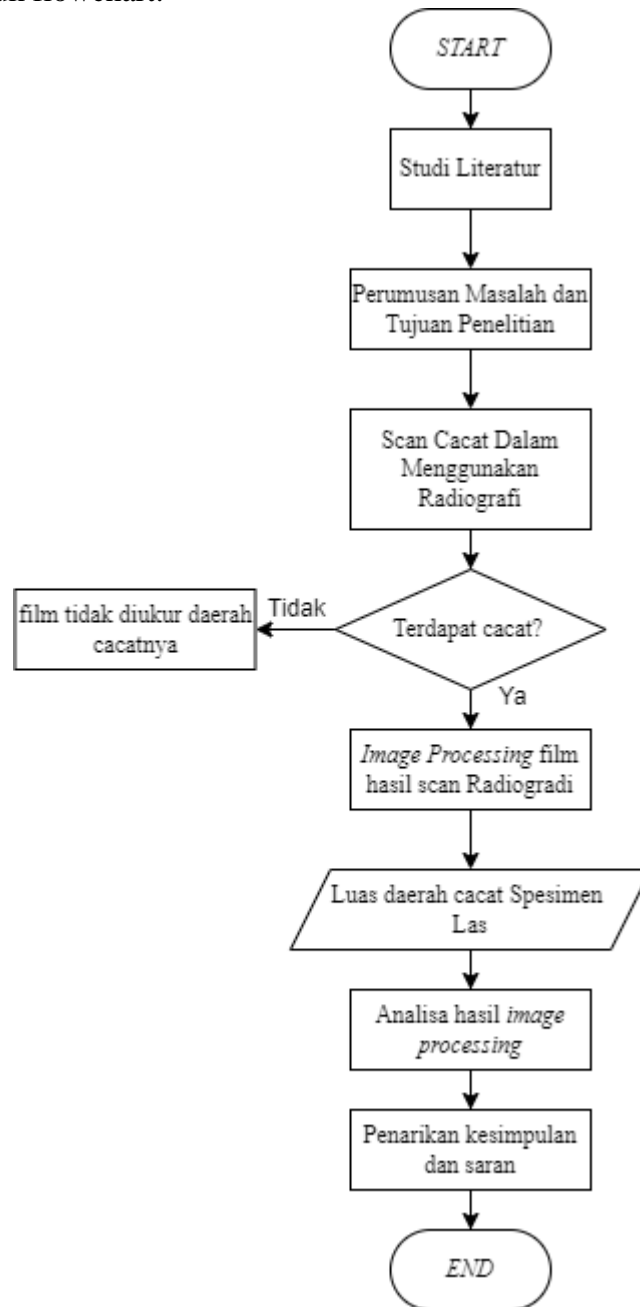
Name of objects	The defects lengths (mm)	The defects lengths by RT (mm)	The defects lengths by enhanced image (mm)
10	4.07 ± .05	3.49 ± 0.11	4.06 ± 0.05
11	3.31 ± 0.15	2.8 ± 0.25	3.17 ± 0.15
12	4.21 ± 0.32	4.09 ± 0.92	4.25 ± 0.08

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi akan dijelaskan mengenai data dan spesifikasi acuan pahat *flowchart* dari penelitian yang dilakukan, dimulai dari studi literatur sampai dengan hasil yang diinginkan yaitu meminimalisir daerah cacat FSW dengan parameter yang optimum. Selanjutnya akan dijelaskan gambar kerja dari pahat FSW yang akan dibuat dan yang terakhir adalah jadwal kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini.

3.1 Flowchart Penelitian

Berikut ini pada gambar 3.1 merupakan langkah-langkah penelitian yang dilakukan dan disajikan dalam bentuk flowchart:



Gambar 3. 1 Flowchart metodologi penelitian

3.2 Langkah Penelitian

Berdasarkan flowchart pada gambar 3.1 diatas maka penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, diantaranya sebagai berikut ini:

a) Studi Literatur

Penelitian diawali dengan studi literatur dari berbagai jurnal serta tugas akhir terdahulu yang berkaitan dengan *Friction Stir Welding* (FSW) dan pengolahan citra yang bertujuan agar pengukuran daerah cacat pada proses FSW ini dapat maksimal.

b) Perumusan Masalah Dan Tujuan Penelitian

Setelah melakukan studi literatur, didapatkan parameter proses FSW yang digunakan dalam penelitian ini, dan cara mengukur respon penelitian ini. Dimana respon pada penelitian ini adalah daerah cacat pada spesimen.

c) Scan Cacat Menggunakan Radiografi

Setelah benda kerja melalui proses FSW, dilakukan scan radiografi menggunakan mesin X-Ray. Mesin X-Ray yang digunakan dalam penelitian ini adalah ERESKO 65MF4 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7.

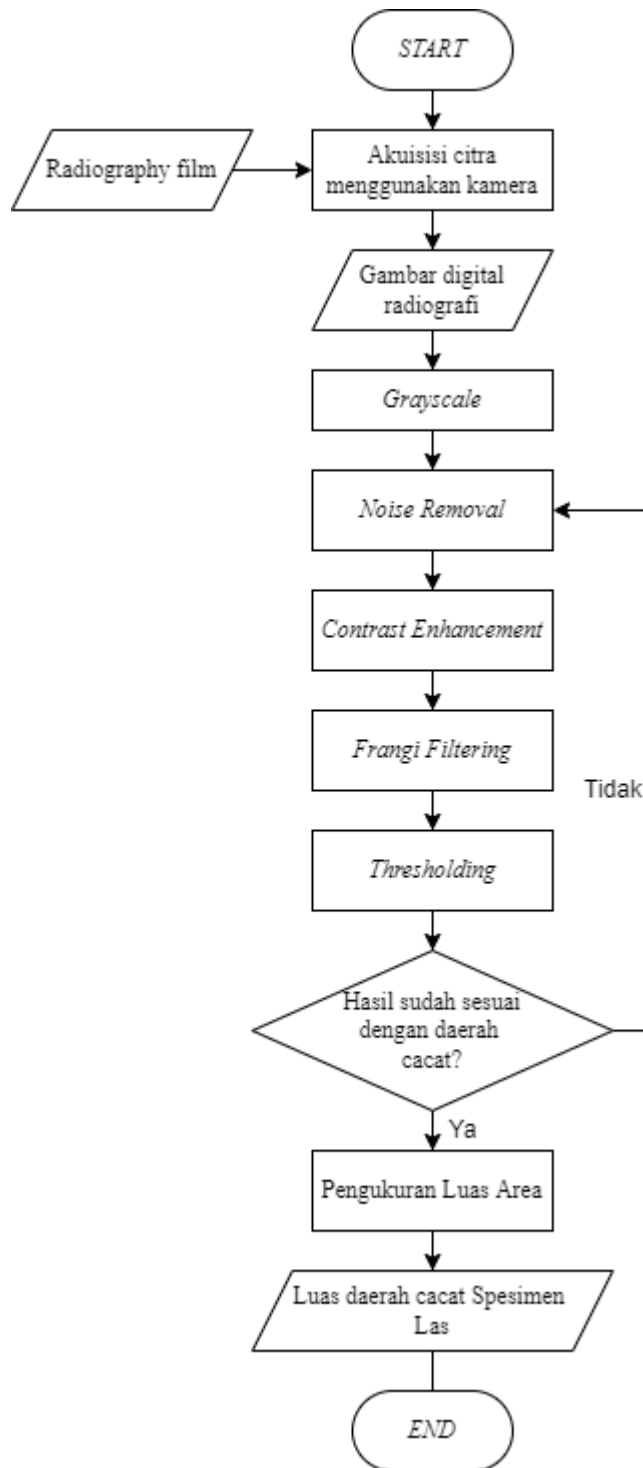


Gambar 3. 2 Mesin X-Ray untuk Scan Radiografi

Setelah itu, dilakukan proses pencucian film dan dilakukan pembacaan menggunakan *film viewer* untuk melihat hasilnya. Dalam proses scan radiografi ini digunakan standar ASME IX.

d) Pengolahan Citra Pada Film Radiografi

Pengolahan citra digunakan untuk mengukur luas daerah cacat pada hasil scan radiografi yang terdapat pada film. Pada proses pengolahan citra, perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB. Pada pengolahan citra ini terdapat *flowchart* seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Flowchart Proses Pengolahan Citra

Film yang akan diambil gambarnya diletakkan di atas *film viewer*. Film ditempatkan setegak mungkin dan sejajar dengan kamera yang akan digunakan. Jarak foto diatur sedekat mungkin menyesuaikan dengan film tanpa menggunakan zoom. ISO yang digunakan pada pengambilan gambar dilakukan serendah mungkin untuk meminimalisi *noise*. Spesifikasi kamera yang digunakan ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Kamera Sony *a6300*

No.	Komponen	Spesifikasi
1.	Sensor	24MP CMOS APS-C

No.	Komponen	Spesifikasi
2.	Processon	BIONZ X
2.	Lensa	16-50mm f/3.5-5.6
3.	ISO	100 – 51200
4.	Resolusi	3:2 (4240 x 2832, 3008 x 2000) 16:9 (6000 x 3376, 4240 x 2400, 3008 x 1688)

Kemudian gambar digital tersebut akan dimasukan kedalam MATLAB untuk diolah. Gambar yang dari format berwarna akan diubah menjadi *grayscale* untuk mempermudah pengolahan. Dilakukan *denoise* dan *contrast enhancement* agar daerah cacat lebih terlihat pada gambar. Setelah itu, digunakan filter frangi dengan pendekatan nilai eigen hessian. Terakhir dilakukan segmentasi diikuti dengan *thresholding* untuk mengubah gambar menjadi gambar biner. Dari hasil gambar biner akan ditemukan luas area yang memiliki satuan $pixel^2$ yang kemudian akan diubah ke satuan mm^2 .

e) Analisa Hasil Pengolahan Citra

Dari nilai luas cacat hasil pengolahan citra, dilakukan analisis mengenai bagaimana parameter yang sudah ditentukan diawal mempengaruhi nilai luas cacat tersebut. Selain itu, dapat diminimalisir terjadinya cacat untuk mendapatkan hasil yang optimal dari proses FSW.

f) Penarikan Kesimpulan Dan Saran

Penarikan kesimpulan dilakukan untuk menjawab rumusan masalah dari hasil yang didapatkan pada penelitian ini. Saran dibutuhkan agar penelitian lain di kemudian hari yang berhubungan dengan penelitian ini tidak menghasilkan permasalahan dan kesalahan yang sama.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB ini membahas hasil penelitian berdasarkan alur yang sudah direncanakan pada BAB 3. Pembahasan ini meliputi evaluasi, dengan tujuan menganalisis hasil yang diperoleh.

4.1 Hasil Pengujian Radiografi

Telah dilakukan pengujian terhadap ke-48 spesimen. Data hasil pengujian radiografi berupa film radiografi dan juga hasil cacat tidaknya spesimen yang didapatkan dari hasil tes. Parameter yang digunakan pada pengujian radiografi ini adalah sebagai berikut:

- Tegangan tabung : 100kV
- Arus tabung : 0.5 A
- Waktu Penyinaran : 1 menit
- SOD : 170 mm
- Film : AGFA D7 (4 x 15)''

Film hasil pengujian radiografi ditunjukkan pada seperti pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Foto Hasil Film Radiografi untuk Spesimen No.11

Dari hasil tes pengujian, film akan dianalisa keberterimaan film menurut ASME IX sehingga didapatkan data film yang mengalami cacat seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Keberterimaan Film Menurut ASME IX

Spesimen ke-	I	II	III
1	ACC	ACC	ACC
2	IF	ACC	ACC
3	ACC	ACC	ACC
4	IF	IF	IF
5	IF	IF	IF
6	IF	IF	IF
7	ACC	ACC	ACC
8	IF	ACC	ACC
9	IF	IF	IF
10	IF	IF	IF
11	IF	ACC	IF
12	IF	ACC	ACC
13	ACC	IF	IF
14	ACC	ACC	ACC
15	IF	ACC	IF
16	IF	IF	ACC

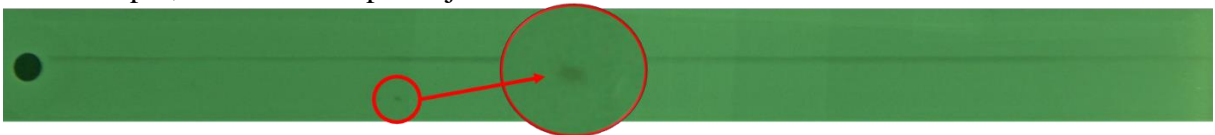
Ket: IF = Incomplete Fusion
ACC = Accept

Incomplete fusion adalah diskontinuitas las di mana fusi tidak terjadi antara logam las dan permukaan fusi atau manik-manik las yang bersebelahan. Tidak adanya fusi ini dapat terjadi di lokasi mana pun di dalam sambungan las dan dapat hadir dalam las fillet dan / atau las alur. *Incomplete fusion* dapat disebabkan oleh ketidakmampuan, selama proses pengelasan, untuk mengangkat bahan dasar atau logam las yang sebelumnya disimpan ke suhu lelehnya. Ketika parameter proses yang tidak tepat digunakan, material aluminium yang menjadi plastis gagal mengisi ulang bagian belakang dari permukaan proses pengelasan. Kegagalan mengisi rongga ini dapat menyebabkan rongga disepanjang proses pengelasan dan menjadi cacat terowongan. Cacat terowongan yang terjadi dapat dilihat pada hasil pengujian radiografi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Profil Cacat Tunnel pada Film Radiografi

Pada gambar 4.2 dapat terlihat garis hijau ke hitam-hitaman yang melintang sepanjang gambar merupakan cacat terowongan yang terjadi. Hal ini bisa terjadi karena disebabkan oleh kondisi pemrosesan, yaitu kecepatan perjalanan las, rotasi alat, dll., gagal menghasilkan panas yang diperlukan untuk ikatan, pencampuran dan pengadukan material yang tidak memadai dapat terjadi, mengakibatkan pembentukan cacat terowongan. Disipasi panas yang cepat dari zona deformasi langsung juga dapat menyebabkan lasan yang terlalu dingin. Las yang diproduksi di bawah kondisi pengelasan yang terlalu dingin menjadi keras secara makroskopik, dan fraktur dapat terjadi melalui cacat.



Gambar 4.3 Profil Cacat Void pada Film Radiografi

Selain cacat terowongan terdapat cacat berupa *void* yang berupa rongga pada sisi pengelasan FSW. Ketika paduan aluminium AA6061-T6 dilas di bawah FSW, ketika tekanan *tool* rendah, kecepatan putaran pahat sangat rendah atau ketika ada lebih banyak celah di antara pelat las, gesekan aduk pengelasan menciptakan *void* di wilayah pengelasan yang ditunjukkan di gambar 4.2. Sedangkan pada sisi kiri gambar terdapat lingkaran yang berwarna gelap, hal ini tidak dianggap sebagai cacat melainkan bekas pada proses pengelasan yang terjadi ketika pada akhir proses FSW pin akan diangkat dan membentuk lingkaran pin tersebut.

Dari ke 48 spesimenn terdapat 26 spesimen yang diindikasikan mengalami cacat atau *incomplete fusion* sehingga 26 spesimen tersebut menjadi spesimen yang akan diukur luas daerah cacatnya.

4.2 Hasil Pengolahan Citra Dengan *Frangi Filter*

Dari hasil pengujian tes radiografi, setiap film yang berisi spesimen yang cacat difoto dengan kamera dan kemudian gambar tersebut dimasukkan ke dalam komputer dan diolah menggunakan aplikasi MATLAB.

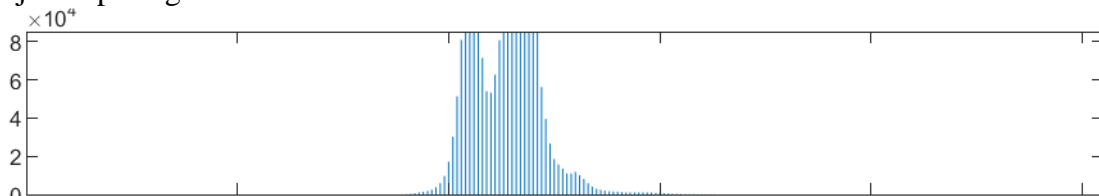
4.2.1 *Preprocessing*

Pengolahan citra dimulai dengan merubah citra berwarna menjadi citra *grayscale* dengan maksud untuk mempercepat proses algoritma ketika dijalankan. Hasil *grayscale* film ditunjukkan pada gambar 4.4.

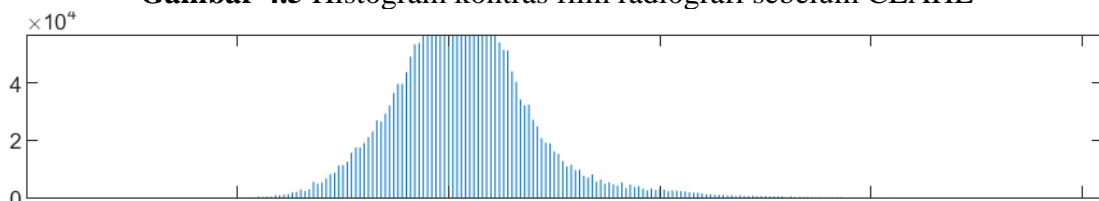


Gambar 4.4 film radiografi setelah *grayscale*

Setelah gambar dirubah menjadi *grayscale*, gambar ditingkatkan kontrasnya menggunakan metode Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) untuk memperjelas bagian gambar yang memiliki cacat. Metode ini memeriksa histogram intensitas di wilayah kontekstual yang berpusat pada setiap piksel dan menetapkan intensitas yang ditampilkan pada piksel sebagai peringkat intensitas piksel tersebut dalam histogramnya. Histogram tersebut adalah bentuk modifikasi dari histogram biasa di mana peningkatan kontras yang diinduksi oleh metode pada setiap tingkat intensitas dibatasi hingga maksimum yang dapat dipilih pengguna.(Zuiderveld, 1994). Parameter yang digunakan pada algoritma ini adalah dengan ‘Clipping Limit’ sebesar 0.02 dan distribusi eksponensial sehingga mendapatkan nilai kontras sebelum dan sesudah menggunakan metode CLAHE seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6

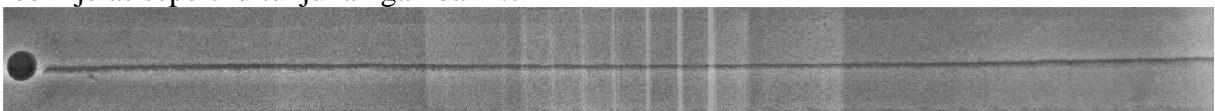


Gambar 4.5 Histogram kontras film radiografi sebelum CLAHE



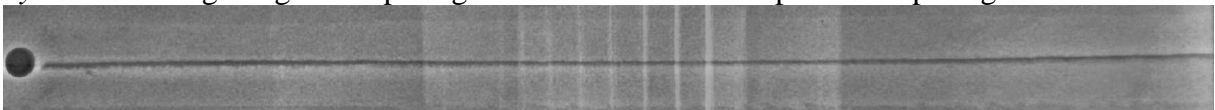
Gambar 4.6 Histogram Kontras Setelah CLAHE

Dari peningkatan kontras dengan parameter tersebut didapatkan hasil gambar film yang lebih jelas seperti ditunjukkan gambar 4.7



Gambar 4.7 Hasil Film Radiografi Setelah Peningkatan Kontras

Proses dilanjutkan dengan menerapkan *denoise*. *Denoise* dilakukan dengan metode penyaringan median, di mana setiap piksel keluaran berisi nilai median di lingkungan m -by- n di sekitar piksel yang sesuai pada gambar input. Proses ini menggunakan ukuran lingkungan 8 by 8 untuk mengurangi *noise* pada gambar. Hasil *denoise* dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Hasil Film Radiografi Setelah Denoise

4.2.2 Processing

Pada penelitian ini, *processing* yang digunakan adalah *Frangi filter* dan *thresholding*. *Frangi filter* adalah filter yang digunakan untuk menemukan struktur tubular. Frangi filter menggunakan pendekatan berdasarkan nilai eigen Hessian pada gambar yang disaring dengan dorongan tinggi untuk peningkatan kontras yang sering digunakan untuk mensegmentasi pembuluh darah yang tipis (Frangi et al., 1998). Dalam proses ini, parameter parameter perlu

diperhatikan agar mensegmentasi pada daerah cacat dengan akurat namun juga menghindari peningkatan noise. Hasil yang didapatkan dari proses ini ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Citra Hasil Frangi Filter

Dari gambar hasil frangi filter kemudian di-*thresholding* sehingga mendapatkan gambar berjenis biner seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Citra Hasil Thresholding

Hasil yang ditampilkan pada gambar 4.10 dapat memperlihatkan cacat terowongan yang terlihat jelas dan tersegmentasi dengan baik. Hasil segmentasi tersebut telah menjadi gambar biner, dimana nilai setiap pixel pada daerah warna putih dan warna hitam akan bernilai 0. Kemudian dari nilai pixel tersebut akan dijumlahkan dan menjadi nilai luasan daerah tersebut. Luas Area cacat yang didapatkan pada gambar 4.10 adalah 244150 pixel^2 .

Dari hasil perhitungan luas daerah cacat pada gambar biner tersebut, kemudian dari yang satuan pixel^2 akan diubah ke satuan mm^2 menggunakan perbandingan dengan jumlah panjang pixel pada lingkaran bekas pin pada pengelasan. Jumlah pixel pada lingkaran pin bekas pengelasan ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Lingkaran Bekas Pin Pada Proses FSW

Pada gambar lingkaran bekas pin pada pengelasan diterapkan fungsi deteksi lingkaran untuk mendapatkan Panjang jari-jari lingkaran tersebut dalam satuan pixel sehingga didapatkan gambar pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil Deteksi Lingkaran Pada Bekas Pin Proses FSW

Didapatkan panjang jari-jari lingkaran pin bekas pengelasan adalah 58.56 pixel dan kemudian akan digunakan sebagai skala perbandingan dimana diameter pin yang digunakan adalah 4 mm. Sehingga didapatkan perbandingan antara gambar dengan ukuran yang sebenarnya adalah $(2 \times 58.56) \text{ pixel} : 4 \text{ mm}$. Perbandingan ini diterapkan pada pemrograman yang telah dibuat sehingga didapatkan hasil luas daerah cacat dengan satuan mm^2 . Dari hasil penerapan perbandingan tersebut didapatkan nilai luas daerah cacat adalah $280,55 \text{ mm}^2$.

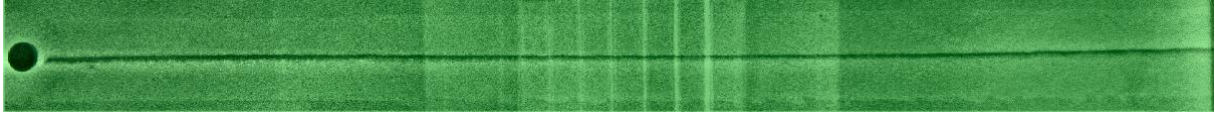
4.3 Hasil Pengolahan Citra Dengan *Color Thresholding*

Pada proses ini sama seperti pengolahan citra menggunakan *frangi filter*, namun yang membedakan selain tahap *processing*-nya adalah pada metode *color thresholding* tidak merubah gambar berwarna menjadi *grayscale*.

4.3.1 *Pre-processing*

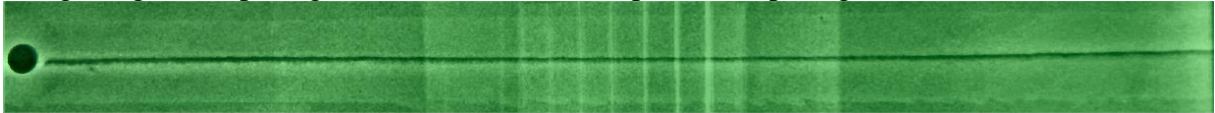
Pengolahan citra dimulai dengan meningkatkan kontras pada gambar menggunakan metode CLAHE dan parameter yang sama, yaitu 'clipping mask 0.02' Dari peningkatan

kontras dengan parameter tersebut didapatkan hasil gambar film yang lebih jelas seperti ditunjukkan gambar 4.13



Gambar 4.13 Hasil Film Radiografi Setelah Peningkatan Kontras (*Color Thresholding*)

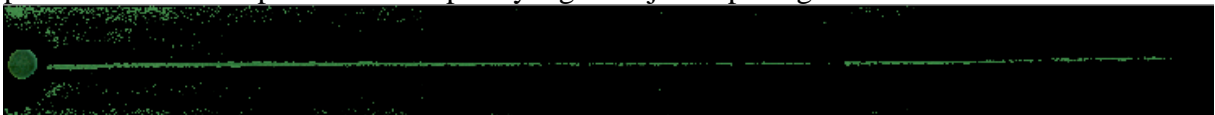
Proses dilanjutkan dengan menerapkan *denoise*. *Denoise* dilakukan dengan metode penyaringan median dengan menggunakan parameter ukuran lingkungan 8 by 8 untuk mengurangi noise pada gambar. Hasil *denoise* dapat dilihat pada gambar 4.14



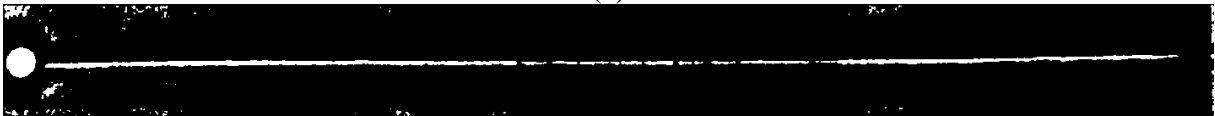
Gambar 4.14 Hasil Film Radiografi Setelah *Denoise* (*Color Thresholding*)

4.3.2 Processing

Pada langkah pertama, RGB dikonversi ke gambar HSV. Setiap komponen Hue, Saturation dan Value dipisahkan, dan nilainya direpresentasikan dalam rentang menggunakan GUI yang dikembangkan dengan MATLAB. Nilai HSV dipilih secara interaktif dengan menyesuaikan track bar berbasis GUI untuk setiap komponen Hue, Saturation dan Value. Hue berada di kisaran 0-179 sedangkan Saturasi dan Nilai berada di kisaran 0-255. Dengan menggeser bilah trek dan menyesuaikan nilainya di atasnya, nilai optimal untuk semua H, S, dan V diidentifikasi. Dengan ini, latar belakang ditutupi dan hanya objek yang menarik yang ditemukan. Satu H, S dan V mungkin tidak berlaku untuk semua jenis gambar. Tetapi dengan menggunakan alat interaktif, pengguna akan memiliki ketentuan untuk memilih nilai H, S dan V untuk kategori gambar yang berbeda. Ketika objek yang dipilih menarik tersegmentasi sepenuhnya, penyesuaian HSV dapat dihentikan dan gambar latar depan dapat disimpan. Dari proses tersebut didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. 15.



(a)



(b)

Gambar 4.15 Hasil Pengolahan Citra *Color Thresholding* (a) Berwarna (b) Citra Biner

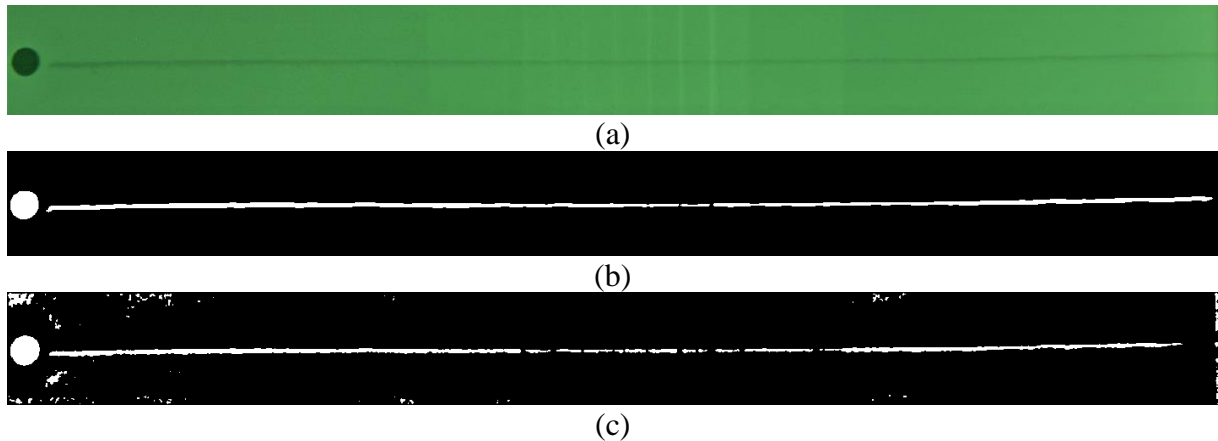
Dari gambar biner tersebut langkah yang sama seperti pengolahan dengan frangi filter, yaitu pengukuran luas daerah cacat sehingga didapatkan nilai sebesar $78,39 \text{ mm}^2$.

4.4 Evaluasi Kinerja Sistem Pengukuran

Hasilnya dibahas tentang pengukuran berdasarkan kinerja. Hasilnya dikategorikan menjadi dua jenis yaitu kualitatif dan kuantitatif.

a. Hasil Kualitatif

Data kualitatif adalah data atau informasi yang biasanya diukur dengan ciri dan kualitasnya sendiri. Pada dasarnya, data yang direpresentasikan tidak dapat dinyatakan dalam bentuk angka. Dalam penelitian ini evaluasi data kualitatif dilakukan dengan visualisasi. Setiap citra segmentasi diukur berdasarkan teknik yang berbeda. Sedangkan Gambar 4. menunjukkan hasil segmentasi kualitatif dari dua algoritma pengelompokan yang berbeda yaitu *frangi filter* dan *color thresholding*.

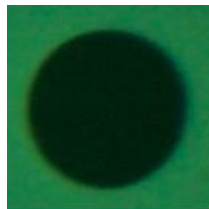


Gambar 4.16 Hasil Radiografi (a) awal (b) Setelah Penerapan *Frangi Filter* dan (c) Setelah Penerapan *Color Thresholding*

Dari hasil kualitatif dua algoritma dapat terlihat dari gambar pada penerapan frangi filter membentuk garis lurus dengan sedikit putus pada bagian tengah, sedangkan pada gambar penerapan color thresholding berupa garis juga namun memiliki lebih banyak celah pada tiap garisnya. Selain itu noise pada *frangi filter* juga terdapat lebih sedikit dibandingkan pada hasil *color thresholding*.

b. Data kuantitatif

Data kuantitatif diukur untuk pendekatan yang lebih spesifik sehingga data atau informasi yang diperoleh bernilai. Selain itu, data dapat direpresentasikan dalam bentuk numerik dan statistik. Untuk menguji kinerja sistem pengukuran, lingkaran bekas pin pada proses FSW digunakan sebagai input untuk mengetahui error yang terjadi pada proses pengukuran seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.17 Input Sistem Pengukuran

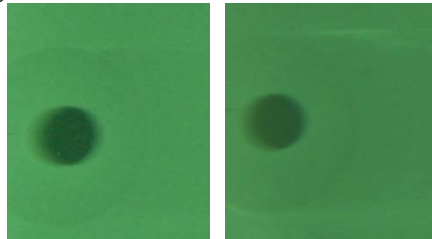
Dalam evaluasi ini, 5 gambar digunakan dalam pengujian untuk dimasukan kedalam matlab dan diterapkan program yang sudah dibuat. Hasil pengukuran dirangkum dan dicatat pada Tabel 4.2 Perbandingan dilakukan untuk metode algoritma yang berbeda untuk mengevaluasi kinerja masing-masing teknik.

Tabel 4.2 Hasil Evaluasi Sistem Pengukuran Dengan Frangi Filter

No.	Luas Aktual	Frangi filter			Color Thresholding		
		Luas	Error	Accuracy	Luas	Error	Accuracy
1	12.57	13.79	0.0350	96.50%	13.01	0.0971	90.29%
2		13.89	0.0509	94.91%	13.21	0.1050	89.50%
3		14.04	0.0756	92.44%	13.52	0.1169	88.31%
4		14.7	0.0358	96.42%	13.02	0.1695	83.05%
5		14.84	0.0931	90.69%	13.74	0.1806	81.94%
Rata-rata			0.0581	94.19%		0.1338	86.62%

Dengan algoritma yang diterapkan, akurasi yang didapatkan antara pengukuran area oleh algoritma dengan *frangi filter* dan *color thresholding* adalah 94,19% dan 86.62%. Dimana akurasi pada algoritma *frangi filter* memiliki akurasi lebih tinggi dibanding algoritma dengan *color thresholding*.

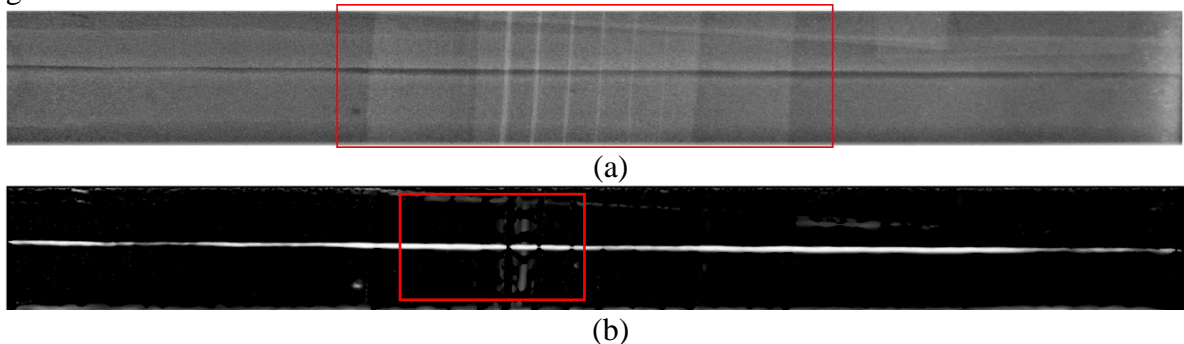
Apabila diperhatikan pada hasil pengujian pada tabel 4.2 luas dengan pengukuran program memiliki nilai yang lebih besar daripada luas aktual sehingga menyebabkan relative error. Luasan yang lebih besar ini disebabkan oleh beberapa factor diantaranya adalah lingkaran hasil scan radiografi yang kurang sempurna, algoritma pemrograman yang kurang ideal dalam penerapan parameternya. Hal yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah melakukan scan radiografi yang lebih baik lagi baik dalam hal posisi dan penempatannya seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Noise Pada Film Hasil Radiografi Untuk Peletakan Posisi

Selain itu, parameter yang terdapat pada pemrograman baik dalam penggunaan metode CLAHE dan Frangi Filter untuk menemukan hasil yang paling optimal.

Faktor lain yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengukuran film radiografi dengan metode image processing adalah noise pada peralatan pada radiografi tersebut. Pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Noise Pada Film Hasil Radiografi (a) Setelah Penerapan CLAHE (b) Setelah Penerapan Frangi Filter

Faktor tersebut menimbulkan noise pada setiap gambar film saat menerapkan filter frangi sehingga menyebabkan kurangnya maksimal ketika meningkatkan parameter pada filter frangi. Solusi yang bisa dilakukan untuk mengeliminir noise tersebut adalah menggunakan alat pengujian radiografi yang lebih baik lagi untuk melakukan pengukuran.

4.5 Pengukuran Luas Daerah Cacat

Dari hasil evaluasi dengan algoritma terbaik digunakan untuk mengukur luas daerah cacat pada ke 26 citra spesimen ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan luas daerah cacat

No Spesimen	Luas Daerah Cacat ($10^{-2}mm^2$)
2 – 2	164
4 – 1	1219
4 – 2	2069
4 – 3	54882
5 – 1	33810
5 – 2	28055

No Spesimen	Luas Daerah Cacat ($10^{-2}mm^2$)
5 – 3	57750
6 – 1	53042
6 – 2	14752
6 – 3	12956
8 – 1	3767
9 – 1	29460
9 – 2	71608
9 – 3	1425
10 – 1	58471
10 – 2	18312
10 – 3	13562
11 – 1	21328
11 – 3	13695
13 – 2	8106
13 – 3	7272
15 – 1	27573
15 – 3	4110
16 – 1	57645
16 – 2	5497

Hasil pengukuran pada spesimen FSW didapatkan dengan luasan cacat terkecil pada spesimen 2-2 yaitu sebesar $2,42 mm^2$ dan luasan cacat terkecil pada spesimen 9-2 yaitu sebesar $716,08 mm^2$.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji coba yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan dalam melakukan pengukuran luas daerah cacat hasil proses FSW. Percobaan dimulai dengan melakukan uji radiografi untuk mendapatkan film hasil radiografi dan didapatkan hasil keberterimaan film menurut ASME IX. Dari hasil keberterimaan akan didapatkan data spesimen yang memiliki cacat dan tidak memiliki cacat. Film yang memiliki gambar spesimen cacat akan diambil gambarnya menggunakan kamera digital dengan bantuan alat film *viewer* sehingga didapatkan data berbentuk citra 2 dimensi. Kemudian citra diolah menggunakan aplikasi matlab dengan langkah-langkah mulai dari mengkonversi citra berwarna menjadi citra *greyscale*, kemudian dilakukan pengurangan *noise* pada citra, meningkatkan kontras citra menggunakan metode CLAHE dengan *cliplimit* 0.015 dan mensegmentasi daerah cacat pada gambar menggunakan frangi filter dan *threshold* untuk mengubah citra *greyscale* menjadi citra biner. Hasil segmentasi tersebut kemudian akan diubah menjadi gambar biner agar mendapatkan daerah luasan cacat pada gambar tersebut. Penelitian ini menggunakan frangi filter dengan pendekatan berdasarkan nilai eigen Hessian untuk mendapatkan segmentasi daerah cacat pada gambar radiografi. Hasil penerapan algoritma pemrograman ini menunjukkan nilai akurasi yang cukup tinggi yaitu 95,62%. Hasil pengukuran pada spesimen FSW didapatkan dengan luasan cacat terkecil pada spesimen 2-2 yaitu sebesar $2,42 \text{ mm}^2$ dan luasan cacat terkecil pada spesimen 9-2 yaitu sebesar $716,08 \text{ mm}^2$.

5.2 Saran













Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan, maka saran dari penelitian adalah sebagai berikut:



















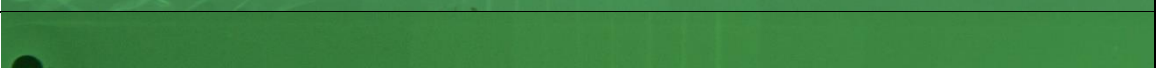


1. Mencoba menerapkan variasi algoritma untuk meningkatkan akurasi dari pengukuran dan parameter yang digunakan pada algoritma pemrograman agar didapatkan akurasi pengukuran yang lebih baik.
2. Menggunakan alat pengujian radiografi yang lebih baik lagi untuk mengurangi *noise* pada film radiografi.
3. Pada penelitian ini dalam melakukan pengukuran cacat masih dilakukan dengan dimensi, yaitu luas, sangat disarankan apabila dapat melanjutkan pengukuran 3 dimensi dalam mengukur cacat.
4. Dalam mengevaluasi sistem pengukuran, perlu dilakukan dengan membuat cacat buatan.











DAFTAR PUSTAKA





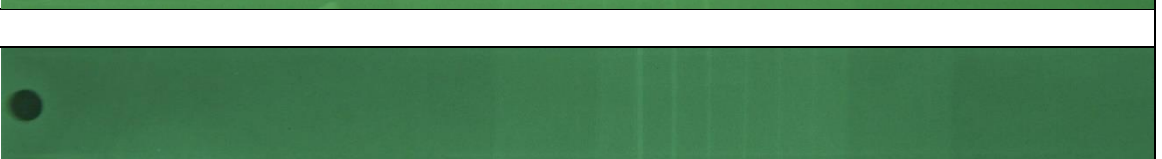

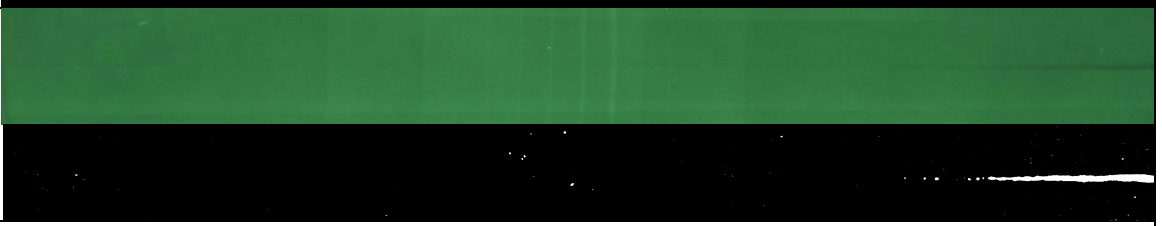





- Firdousi, R., & Parveen, S. (2014). Local thresholding techniques in image binarization. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 3(3), 4062–4065.
- Frangi, A. F., Niessen, W. J., Vincken, K. L., & Viergever, M. A. (1998). *Multiscale vessel enhancement filtering* (pp. 130–137). <https://doi.org/10.1007/BFb0056195>
- G.Rafael, & W. Richard. (2002). *Digital Image Processing (3rd Edition)*. Prentice Hall Press.
- Hasan. (2021). *RANCANG BANGUN PAHAT SILINDER MERUNCING UNTUK PROSES FRICTION STIR WELDING*.
- Hema, D., & Kannan, Dr. S. (2019). Interactive Color Image Segmentation using HSV Color Space. *Science & Technology Journal*, 7(1), 37–41. <https://doi.org/10.22232/stj.2019.07.01.05>
- Kah, P., Rajan, R., Martikainen, J., & Suoranta, R. (2015). Investigation of weld defects in friction-stir welding and fusion welding of aluminium alloys. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40712-015-0053-8>
- Movafeghi, A., Yahaghi, E., Mirzapour, M., & ShayganFar, P. (2021). Defect Measurement in Welded Objects by Radiography Testing and Chambolle's Image Processing Method. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 40(2), 49. <https://doi.org/10.1007/s10921-021-00779-5>
- Pizer, S. M., Amburn, E. P., Austin, J. D., Cromartie, R., Geselowitz, A., Greer, T., ter Haar Romeny, B., Zimmerman, J. B., & Zuiderveld, K. (1987). Adaptive histogram equalization and its variations. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 39(3), 355–368. [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(87\)80186-X](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(87)80186-X)
- Pontjono, N. A. (2021). *Optimasi Proses Friction Stir Welding pada 4 Geometri Pin dari Tool dengan Parameter Proses dan Sudut Bahu Cekung dalam Penyambungan Aluminium Alloy 6005A-T6*.
- R. S. Mishra, & Z. Y. Ma. (2008). Friction stir welding and processing. *Choice Reviews Online*, 46(02), 46-0901-46–0901. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.46-0901>
- Raweni, A., Vidosav, M., Sedmak, A., Tadic, S., & Kirin, S. (2018). Optimization of AA5083 Friction Stir Welding Parameters Using Taguchi Method. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 25(3). <https://doi.org/10.17559/TV-20180123115758>
- Renti, R. (2015). *IDENTIFIKASI BAHAYA DAN KEANDALAN PADA MESIN LAS GMAW DI PT.X DENGAN METODE SIMULASI MONTE CARLO*.
- Silva, A. C. F., Braga, D. F. O., de Figueiredo, M. A. v., & Moreira, P. M. G. P. (2015). Ultimate tensile strength optimization of different FSW aluminium alloy joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(5–8), 805–814. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-6871-2>
- Sulaiman, S., Utomo, B., & Ardi Wijana, I. P. A. (2020). ANALISIS UJI TIDAK MERUSAK PADA SAMBUNGAN LAS LAMBUNG FRAME 103 BAGIAN KAMAR MESIN KAPAL PATROLI 73 DENGAN METODE RADIOGRAPHY TEST. *Gema Teknologi*, 20(4), 146–152. <https://doi.org/10.14710/gt.v20i4.28516>
- T. Sutoyo. (2009). *Teori Pengolahan Citra Digital* (Benedicta Rini W., Ed.). ANDI.
- Thomas, M., Nicholas, E. D., Needham, J. C., Murch, M. G., Temple Smith, P., & Dawes, C. J. (1991). *Friction welding* (Patent No. PCT/GB92/02203). International Patent Application.
- Zuiderveld, K. (1994). Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. In *Graphics Gems* (pp. 474–485). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-336156-1.50061-6>

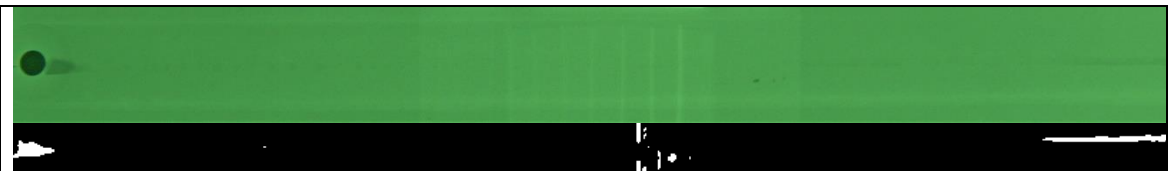



Lampiran

No	
1-1	
1-2	
1-3	
2-1	
2-2	
2-3	
3-1	
3-2	
3-3	
4-1	
4-2	
4-3	

	
	
5-1	 
5-2	 
5-3	 
	
6-1	 
6-2	 
6-3	 
	
7-1	
7-2	
7-3	
	
8-1	

8-2	
8-3	
9-1	
9-2	
9-3	
10-1	
10-2	
10-3	
11-1	
11-2	

11-3	
12-1	
12-2	
12-3	
13-1	
13-2	
13-3	
14-1	
14-2	
14-3	
15-1	
15-2	

15-3	
16-1	
16-2	
16-3	

Customer : Mulyadi
 Project Name : Tugas Akhir
 Location : Surabaya
 Work Order No. : -
 Report No. : 003-RT/RBT-PG/III/21
 Drawing No. : -
 Procedure No. : RBT-P-05
 Applicable Code : ASME IX

PART
 Name : Plate
 OD : -
 Base Mat'l Type : AA6061-T651
 Base Mat'l Thk. : 6 mm
 Reinforcement : - mm
 Backing : Yes No

RADIATION SOURCE
 Isotope Type : Ir-192
 Activity : -
 X-ray Equipment : Eresco
 Voltage : 100 kv
 Current : 0.5 A
 Source Size (mm) : 2 x 3

RADIOGRAPHIC FILM
 Brand : AGFA
 Film Type : D7
 Dimension : 4X15"
 No. of Film in a Cassette : 1
 Lead letter "B" used : Yes No

LEAD SCREEN
 Thickness: 0.125 mm
 Placement: Front Back

MARKER
 Placement : Source Side Film Side

TECHNIQUE
 Exposure : Single Wall Double Wall
 Viewing : Single View Double View
 Exposure Time : 1 Min
 Ug : 0.51 mm
 SOD : 170 mm
 SSOFF : 6 mm

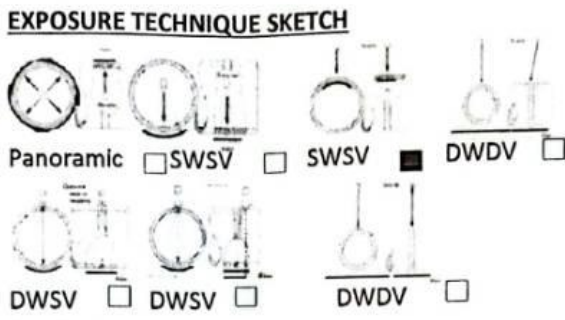


IMAGE QUALITY INDICATOR
 Wire Set: 1A Wire ID: 5
 Dia.: 0.2 mm
 Hole Designation: -
 Visible Hole
 1T 2T 4T
 Placement:
 Source Side Film Side
DENSITY: Min : 2 Max : 4

Note:
 SOD : Source to Object Distance
 SSOFF : Source side to Object Film

Note for sketch:
 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 3. Other than listed
 2. DWSV: Double Wall Single Viewing (Please Sketch)

Date of RT	Dia	Identification		Sensitivity	Discontinuity								Result		Remark / Comment
		Joint No.	Interest Area	Wire ID/Hole	IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	ACC	REJ		
9-Mar 2022	-	No. 3-1	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 3-2	A - B	1	V								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 4-1	A - B	1	V								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 4-2	A - B	1	V								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 16-1	A - B	1	V								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 16-2	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 11	A - B	1	V								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 13	A - B	1	V								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 6-1	A - B	1	V								-	REJ	Incomplete Fusion

Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack

Welding Process(es) : Friction
 Total Film/s : 4" x 10" = - Sheet/s 4" x 15" = 9 Sheet/s

Examined By, Reviewed/witnessed By, Reviewed/witnessed By,

ROBUTECH
 Joko Wahyudi
 1901031
 NDT Level II
 Date: 09 Maret 2022

Date: Date:



RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT

Sheet 3 of 3

Customer : Mulyadi
 Project Name : Tugas Akhir
 Location : Surabaya
 Work Order No. : -

Report No. : 002-RT/RBT-PG/IX/21
 Drawing No. : -
 Procedure No. : RBT-P-05
 Applicable Code : ASME IX

PART
 Name : Plate
 OD : -
 Base Mat'l Type : AA6061-T651
 Base Mat'l Thk. : 6 mm
 Reinforcement : - mm
 Backing : Yes No

RADIATION SOURCE
 Isotope Type : Ir-192
 Activity : -
 X-ray Equipment : Eresco
 Voltage : 100 kv
 Current : 0.5 A
 Source Size (mm) : 2 x 3

RADIOGRAPHIC FILM
 Brand : AGFA
 Film Type : D7
 Dimension : 4X15"
 No. of Film In a Cassete : 1
 Lead letter "B" used : Yes No

LEAD SCREEN
 Thickness: 0.125 mm
 Placement: Front Back

MARKER
 Placement : Source Side Film Side

TECHNIQUE
 Exposure : Single Wall
 Viewing : Single View
 Exposure Time : 1 Min
 Ug : 0.51 mm
 SOD : 170 mm
 SSOF : 6 mm

EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH
 Panoramic SWSV SWSV DWDV
 DWSV DWSV DWDV

Note for sketch:
 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 3. Other than listed
 2. DWSV: Double Wall Single Viewing (Please Sketch)


IMAGE QUALITY INDICATOR
 Wire Set: 1A Wire ID: 5
 Dia.: 0.2 mm
 Hole Designation: -
 Visible Hole
 1T 2T 4T
 Placement:
 Source Side
 Film Side
DENSITY: Min : 2
 Max : 4

SOD : Source to Object Distance
 SSOF : Source side to Object Film

Date of RT	Dia	Identification		Sensitivity	Discontinuity						Result		Remark / Comment	
		Joint No.	Interest Area	Wire ID/Hole	IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	ACC		REJ
9-Feb 2021	-	No. 15-1	A - B	1	V								REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 15-2	A - B	1								ACC	-	

Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack

Welding Process(es) : Friction
 Total Film/s : 4" x 10" = - Sheet/s 4" x 15" = 2 Sheet/s

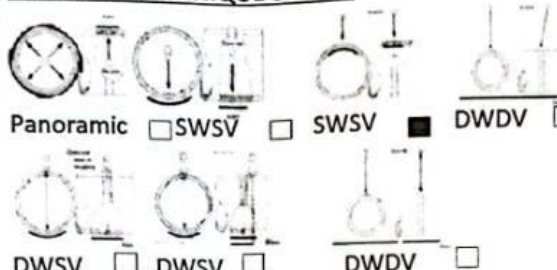
Examined By,  **ROBUTECH**
 Joko Wahyudi
 1801031

Reviewed/witnessed By, _____
 Reviewed/witnessed By, _____

NDT Level II
 Date: 09 Februari 2022
 Date: _____

Customer : Mulyadi	Report No. : 001-RT/RBT-PG/IX/21
Project Name : Tugas Akhir	Drawing No. : -
Location : Surabaya	Procedure No. : RBT-P-05
Work Order No. : -	Applicable Code : ASME IX


PART	RADIATION SOURCE	RADIOGRAPHIC FILM	LEAD SCREEN
Name : Plate	Isotope Type : Ir-192	Brand : AGFA	Thickness: 0.125 mm
OD : -	Activity : -	Film Type : D7	Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Front
Base Mat'l Type : AA6061-T651	X-ray Equipment : Eresco	Dimension: 4X15"	<input checked="" type="checkbox"/> Back
Base Mat'l Thk. : 6 mm	Voltage : 100 kv	No. of Film in a Cassette: 1	MARKER
Reinforcement : - mm	Current : 0.5 A	Lead letter "B" used : <input type="checkbox"/>	Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/>
Backing : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Source Size (mm) : 2 x 3	Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Film Side <input type="checkbox"/>

TECHNIQUE	EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH	IMAGE QUALITY INDICATOR
Exposure : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>		Wire Set: 1A Wire ID: 5
Viewing : Single View <input checked="" type="checkbox"/> Double View <input type="checkbox"/>		Hole Designation: -
Exposure Time : 1 Min		Visible Hole
Ug : 0.51 mm		1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>
SOD : 170 mm	DWSV <input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>	Placement: Source Side <input checked="" type="checkbox"/>
SSOF : 6 mm		Film Side <input type="checkbox"/>
Note:	Note for sketch:	DENSITY: Min : 2
SOD : Source to Object Distance	1. SWSV: Single Wall Single Viewing 3. Other than listed	Max : 4
SSOF : Source side to Object Film	2. DWSV: Double Wall Single Viewing (Please Sketch)	

Date of RT	Dia	Identification		Sensitivity	Discontinuity								Result		Remark / Comment
		Joint No.	Interest Area	Wire ID/Hole	IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	ACC	REJ		
21-Dec 2021	-	No. 1	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 2	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 3	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 4	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 5	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 6	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 7	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 8	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 9	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion

Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack

Welding Process(es) : Friction
 Total Film/s : 4" x 10" = Sheet/s 4" x 15" = 9 Sheet/s

Examined By,  ROBUTECH Joko Wahyudi 1801031 Date: 21 Desember 2021	Reviewed/witnessed By, Date:	Reviewed/witnessed By, Date:
---	-------------------------------------	-------------------------------------

Customer : Mulyadi
 Project Name : Tugas Akhir
 Location : Surabaya
 Work Order No. : -

Report No. : 001-RT/RBT-PG/IX/21
 Drawing No. : -
 Procedure No. : RBT-P-05
 Applicable Code : ASME IX

PART	RADIATION SOURCE	RADIOGRAPHIC FILM	LEAD SCREEN
Name : Plate	Isotope Type : Ir-192	Brand : AGFA	Thickness: 0.125 mm
OD : -	Activity : -	Film Type : D7	Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Front
Base Mat'l Type : AA6061-T651	X-ray Equipment : Eresco	Dimension: 4X15"	<input checked="" type="checkbox"/> Back
Base Mat'l Thk. : 6 mm	Voltage : 100 kv	No. of Film in a Cassette: 1	MARKER
Reinforcement : - mm	Current : 0.5 A	Lead letter "B" used : <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/>
Backing : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Source Size (mm) : 2 x 3		Film Side <input type="checkbox"/>

TECHNIQUE

Exposure : Single Wall
 Double Wall
 Viewing : Single View
 Double View
 Exposure Time : 1 Min
 Ug : 0.51 mm
 SOD : 170 mm
 SSOF : 6 mm

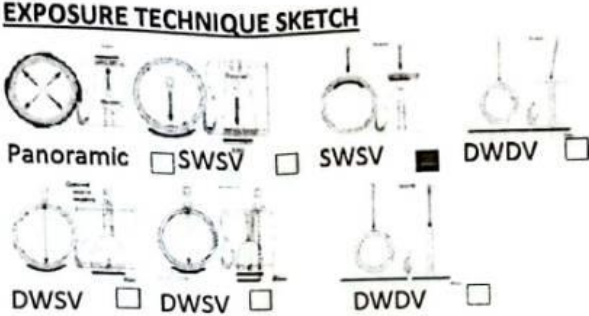


IMAGE QUALITY INDICATOR

Wire Set: 1A Wire ID: 5
 Dia.: 0.2 mm
 Hole Designation: -
 Visible Hole
 1T 2T 4T
 Placement:
 Source Side
 Film Side
DENSITY: Min : 2
 Max : 4

Note for sketch:
 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 3. Other than listed
 2. DWSV: Double Wall Single Viewing (Please Sketch)

Date of RT	Dia	Identification		Sensitivity	Discontinuity								Result		Remark / Comment	
		Joint No.	Interest Area		IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	ACC	REJ			
21-Dec 2021	-	No. 10	A - B	1	✓									-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 11	A - B	1	✓									-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 12	A - B	1	✓									-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 13	A - B	1										ACC	-	
	-	No. 14	A - B	1										ACC	-	
	-	No. 15	A - B	1	✓									-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 16	A - B	1	✓									-	REJ	Incomplete Fusion

Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack

Welding Process(es) : Friction
 Total Film/s : 4" x 10" = Sheet/s 4" x 15" = 17 Sheet/s

Examined By, NDT Level II Date: 21 Desember 2021	Reviewed/witnessed By, Date:	Reviewed/witnessed By, Date:
--	-------------------------------------	-------------------------------------

RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT

Customer : Mulyadi
 Project Name : Tugas Akhir
 Location : Surabaya
 Work Order No. : -
 Report No. : 002-RT/RBT-PG/IX/21
 Drawing No. : -
 Procedure No. : RBT-P-05
 Applicable Code : ASME IX

PART
 Name : Plate
 OD : -
 Base Mat'l Type : AA6061-T651
 Base Mat'l Thk. : 6 mm
 Reinforcement : - mm
 Backing : Yes No

RADIATION SOURCE
 Isotope Type : Ir-192
 Activity : -
 X-ray Equipment : Eresco
 Voltage : 100 kv
 Current : 0.5 A
 Source Size (mm) : 2 x 3

RADIOGRAPHIC FILM
 Procedure : AGFA
 Film Type : D7
 Dimension : 4X15"
 No. of Film in a Cassette : 1
 Lead letter "B" used : Yes No

LEAD SCREEN
 Thickness : 0.125 mm
 Placement : Front Back

MARKER
 Placement : Source Side Film Side

TECHNIQUE
 Exposure : Single Wall Double Wall
 Viewing : Single View Double View
 Exposure Time : 1 Min
 Ug : 0.51 mm
 SOD : 170 mm
 SSOFF : 6 mm

EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH
 Panoramic SWSV SWSV DWDV
 DWSV DWSV DWDV

IMAGE QUALITY INDICATOR
 Wire Set: 1A Wire ID: 5
 Dia.: 0.2 mm
 Hole Designation: -
 Visible Hole
 1T 2T 4T
 Placement:
 Source Side Film Side
DENSITY: Min : 2 Max : 4


Note for sketch:
 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 3. Other than listed
 2. DWSV: Double Wall Single Viewing (Please Sketch)

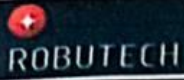
Note:
 SOD : Source to Object Distance
 SSOFF : Source side to Object Film

Date of RT	Dia	Identification		Sensitivity Wire ID/Hole	Discontinuity								Result		Remark / Comment
		Joint No.	Interest Area		IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	ACC	REJ		
9-Feb 2022	-	No. 1-1	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 1-2	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 5-1	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 5-2	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 7-1	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 7-2	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 8-1	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 8-2	A - B	1									ACC	-	
	-	No. 9-1	A - B	1	v								-	REJ	Incomplete Fusion

Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack

Welding Process(es) : Friction
 Total Film/s : 4" x 10" = - Sheet/s 4" x 15" = 9 Sheet/s

Examined By,  **ROBUTECH**
 NDT Level II
 Date: 09 Februari 2022
 Reviewed/witnessed By, _____ Date: _____
 Reviewed/witnessed By, _____ Date: _____



RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT

Sheet 2 of 3

Customer : Mulyadi
 Project Name : Tugas Akhir
 Location : Surabaya
 Work Order No. : -

Report No. : 002-RT/RBT-PG/IX/21
 Drawing No. : -
 Procedure No. : RBT-P-05
 Applicable Code : ASME IX

PART
 Name : Plate
 OD : -
 Base Mat'l Type : AA6061-T651
 Base Mat'l Thk. : 6 mm
 Reinforcement : - mm
 Backing : Yes No

RADIATION SOURCE
 Isotope Type : Ir-192
 Activity : -
 X-ray Equipment : Eresco
 Voltage : 100 kv
 Current : 0.5 A
 Source Size (mm) : 2 x 3

RADIOGRAPHIC FILM
 Brand : AGFA
 Film Type : D7
 Dimension : 4X15"
 No. of Film in a Cassette : 1
 Lead letter "B" used : Yes No

LEAD SCREEN
 Thickness: 0.125 mm
 Placement: Front Back

MARKER
 Placement : Source Side Film Side

TECHNIQUE

Exposure : Single Wall
 Double Wall
 Viewing : Single View
 Double View
 Exposure Time : 1 Min
 Ug : 0.51 mm
 SOD : 170 mm
 SSOF : 6 mm

EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH

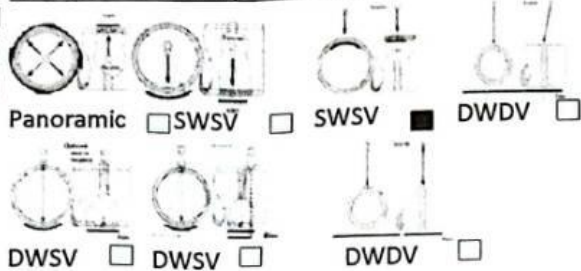


IMAGE QUALITY INDICATOR

Wire Set: 1A Wire ID: 5
 Dia.: 0.2 mm
 Hole Designation: -
 Visible Hole
 1T 2T 4T
 Placement:
 Source Side
 Film Side
DENSITY: Min : 2
 Max : 4

Note for sketch:

1. SWSV: Single Wall Single Viewing 3. Other than listed
2. DWSV: Double Wall Single Viewing (Please Sketch)

Note:
 SOD : Source to Object Distance
 SSOF : Source side to Object Film

Date of RT	Dia	Identification		Sensitivity Wire ID/Hole	Discontinuity								Result		Remark / Comment	
		Joint No.	Interest Area		IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	ACC	REJ			
9-Feb 2021	-	No. 9-2	A - B	1	V									-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 10-1	A - B	1	V									-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 10-2	A - B	1	V									-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 11	A - B	1										ACC	-	
	-	No. 12-1	A - B	1										ACC	-	
	-	No. 12-2	A - B	1										ACC	-	
	-	No. 13	A - B	1	V									-	REJ	Incomplete Fusion
	-	No. 14-1	A - B	1										ACC	-	
	-	No. 14-2	A - B	1										ACC	-	

Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack

Welding Process(es) : Friction
 Total Film/s : 4" x 10" = Sheet/s 4" x 15" = 17 Sheet/s

Examined By, Reviewed/witnessed By, Reviewed/witnessed By,

ROBUTECH
 Joko Wahyudi
 1801031
 NDT Level II
 Date: 09 Februari 2022
 Date:

Frangi Filter

```
function [Results] = tesbaru(I)

%% Grayscale

%input image
[r,g,b] = imsplit(I)
%% Enchant Contrast

%Contrast Enhancement
J = adapthisteq(g, 'clipLimit',0.03, 'Distribution', 'rayleigh');

%% Denoise

%denoise
L = medfilt2(J, [8 8])
%% Frangi Filter

% Enhance fillaments with Frangi vesselness filter
opt.FrangiScaleRange=[0 50];
opt.FrangiScaleRatio=1;
opt.FrangiBetaOne = 1;
opt.FrangiBetaTwo=11;
opt.BlackWhite=true;
[im_2,im_s]=FrangiFilter2D(double(L),opt);
%% Denoise hasil frangi Filter

%denoise setelah frangi filter
imbaru = medfilt2(im_2, [8 8])
%% Thresholding

W = imbinarize(imbaru)
%% Circle Detect

Rmin = 40;
Rmax = 70;
[centersDark, radiiDark] = imfindcircles(g,[Rmin Rmax], 'ObjectPolarity', 'dark');
%% Measure Area

%segment
[BW,rect] = imcrop(W)
%%

% Area in pixels
props = regionprops("table", BW, "Area");
areaPixels = sum(props.Area);

% Area in km^2
px2mm = (40/(2*radiiDark))^2;
areammSq = round(areaPixels*px2mm);

% Format into structure
Results.areammSq = areammSq
Results.BW = BW
end

function [Results] = tescolorbaru(RGB)

[r,g,b] = imsplit(RGB)
Rmin = 40;
Rmax = 70;
[centersDark, radiiDark] = imfindcircles(g,[Rmin Rmax], 'ObjectPolarity', 'dark');
```

```

LAB = rgb2lab(RGB);
%%
% Scale values to the range expected by the |adapthisteq| function, [0 1].

L = LAB(:,:,1)/100;
%%
% Perform CLAHE on the L channel. Scale the result to get back to the range
% used by the L*a*b* color space.

L = adapthisteq(L,'NumTiles',[8 8],'ClipLimit',0.03);
LAB(:,:,1) = L*100;
%%
% Convert the resulting image back into the RGB color space.

J = lab2rgb(LAB);

[noisyR,noisyG,noisyB] = imsplit(J);
%%
% Use the DnCNN network to remove noise from each color channel.

denoisedR = medfilt2(noisyR, [8 8]);
denoisedG = medfilt2(noisyG, [8 8]);
denoisedB = medfilt2(noisyB, [8 8]);
%%
% Recombine the denoised color channels to form the denoised RGB image. Display
% the denoised color image.

denoisedRGB = cat(3,denoisedR,denoisedG,denoisedB);
% Normalize input data to range [0 1]
H = mat2gray(denoisedRGB);

% Convert RGB image to chosen color space
I = rgb2hsv(H);

% Define thresholds for channel 1 based on histogram settings
channel1Min = 0.000;
channel1Max = 1.000;

% Define thresholds for channel 2 based on histogram settings
channel2Min = 0.000;
channel2Max = 1.000;

% Define thresholds for channel 3 based on histogram settings
channel3Min = 0.000;
channel3Max = 0.570;

% Create mask based on chosen histogram thresholds
sliderBW = (I(:,:,1) >= channel1Min ) & (I(:,:,1) <= channel1Max) & ...
    (I(:,:,2) >= channel2Min ) & (I(:,:,2) <= channel2Max) & ...
    (I(:,:,3) >= channel3Min ) & (I(:,:,3) <= channel3Max);
BW = sliderBW;

BW = medfilt2(BW, [8 8])
BW = imfill(BW,"holes")
[BW,rect] = imcrop(BW)

% Area in pixels
props = regionprops("table",BW,"Area");
areaPixels = sum(props.Area);

% Area in km^2
px2mm = (40/(2*radiiDark))^2;
areammSq = round(areaPixels*px2mm);

```

```

% Format into structure
Results.BW = BW
Results.areammSq = areammSq

end

function [outIm,whatScale,Direction] = FrangiFilter2D(I, options)
% This function FRANGIFILTER2D uses the eigenvectors of the Hessian to
% compute the likeliness of an image region to vessels, according
% to the method described by Frangi:2001 (Chapter 2).
%
% [J,Scale,Direction] = FrangiFilter2D(I, Options)
%
% inputs,
% I : The input image (vessel image)
% Options : Struct with input options,
%   .FrangiScaleRange : The range of sigmas used, default [1 8]
%   .FrangiScaleRatio : Step size between sigmas, default 2
%   .FrangiBetaOne : Frangi correction constant, default 0.5
%   .FrangiBetaTwo : Frangi correction constant, default 15
%   .BlackWhite : Detect black ridges (default) set to true, for
%                 white ridges set to false.
%   .verbose : Show debug information, default true
%
% outputs,
% J : The vessel enhanced image (pixel is the maximum found in all scales)
% Scale : Matrix with the scales on which the maximum intensity
%         of every pixel is found
% Direction : Matrix with directions (angles) of pixels (from minor eigenvector)
%
% Example,
% I=double(imread ('vessel.png'));
% Ivessel=FrangiFilter2D(I);
% figure,
% subplot(1,2,1), imshow(I,[]);
% subplot(1,2,2), imshow(Ivessel,[0 0.25]);
%
% Written by Marc Schrijver, 2/11/2001
% Re-Written by D.Kroon University of Twente (May 2009)

defaultoptions = struct('FrangiScaleRange', [1 10], 'FrangiScaleRatio', 2,
'FrangiBetaOne', 0.5, 'FrangiBetaTwo', 15, 'verbose',true,'BlackWhite',true);

% Process inputs
if(~exist('options','var')),
    options=defaultoptions;
else
    tags = fieldnames(defaultoptions);
    for i=1:length(tags)
        if(~isfield(options,tags{i})),
options.(tags{i})=defaultoptions.(tags{i}); end
        end
        if(length(tags)~=length(fieldnames(options))),
            warning('FrangiFilter2D:unknownoption','unknown options found');
        end
    end
end

sigmas=options.FrangiScaleRange(1):options.FrangiScaleRatio:options.FrangiScaleRan
ge(2);
sigmas = sort(sigmas, 'ascend');
```

```

beta = 2*options.FrangiBetaOne^2;
c     = 2*options.FrangiBetaTwo^2;

% Make matrices to store all filtered images
ALLfiltered=zeros([size(I) length(sigmas)]);
ALLangles=zeros([size(I) length(sigmas)]);

% Frangi filter for all sigmas
for i = 1:length(sigmas),
    % Show progress
    if(options.verbose)
        disp(['Current Frangi Filter Sigma: ' num2str(sigmas(i)) ]);
    end

    % Make 2D hessian
    [Dxx,Dxy,Dyy] = Hessian2D(I,sigmas(i));
    % Correct for scale
    Dxx = (sigmas(i)^2)*Dxx;
    Dxy = (sigmas(i)^2)*Dxy;
    Dyy = (sigmas(i)^2)*Dyy;
    % Calculate (abs sorted) eigenvalues and vectors
    [Lambda2,Lambda1,Ix,Iy]=eig2image(Dxx,Dxy,Dyy);
    % Compute the direction of the minor eigenvector
    angles = atan2(Ix,Iy);
    % Compute some similarity measures
    Lambda1(Lambda1==0) = eps;
    Rb = (Lambda2./Lambda1).^2;
    S2 = Lambda1.^2 + Lambda2.^2;
    % Compute the output image
    Ifiltered = exp(-Rb/beta) .* (ones(size(I))-exp(-S2/c));
    % see pp. 45
    if(options.BlackWhite)
        Ifiltered(Lambda1<0)=0;
    else
        Ifiltered(Lambda1>0)=0;
    end
    % store the results in 3D matrices
    ALLfiltered(:,:,i) = Ifiltered;
    ALLangles(:,:,i) = angles;
end

% Return for every pixel the value of the scale(sigma) with the maximum
% output pixel value
if length(sigmas) > 1,
    [outIm,whatScale] = max(ALLfiltered,[],3);
    outIm = reshape(outIm,size(I));
    if(nargout>1)
        whatScale = reshape(whatScale,size(I));
    end
    if(nargout>2)
        Direction = reshape(ALLangles((1:numel(I))'+(whatScale(:)-
1)*numel(I)),size(I));
    end
else
    outIm = reshape(ALLfiltered,size(I));
    if(nargout>1)
        whatScale = ones(size(I));
    end
    if(nargout>2)
        Direction = reshape(ALLangles,size(I));
    end
end
end

```

BIODATA PENULIS



Faza Humam Muzhofar, anak kedua dari dua bersaudara, putra dari pasangan Bapak Erwin Kurniawan Arifin dan Ibu Erita Kusari. Lahir di Kediri, 23 Agustus 2001. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDI Al-Fath, MTsN Model Pare, dan SMAN 2 Kediri. Setelah lulus dari jenjang SMA pada tahun 2018, penulis diterima di jurusan Teknik Mesin FTIRS ITS dengan NRP 02111840000081.

Semasa kuliah, penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Produksi dan menjadi Koordinator Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk(P3) dimasa akhir perkuliahannya. Penulis sempat aktif dalam beberapa organisasi. BEM FTIRS-ITS, yaitu organisasi yang menaungi kegiatan kemahasiswaan di tingkat fakultas khususnya FTIRS. Penulis dipercaya sebagai Kabiro Perancangan Kaderisasi Fakultas. Apabila terdapat pesan atau informasi yang hendak disampaikan kepada penulis, dapat melalui email: humamfaza@gmail.com