



TUGAS AKHIR - TM TM 145502

**ANALISA PENGARUH VARIASI HEAT INPUT
TERHADAP CACAT PENGELASAN, LEBAR HAZ,
dan KEKERASAN PADA PENGELASAN SMAW
MATERIAL TEMBAGA C81300**

**R. AHMAD WILDAN DWI BAGASKORO
NRP. 102115 0000 001**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - TM TM 095502

**ANALISA PENGARUH VARIASI HEAT INPUT
TERHADAP CACAT PENGELASAN, LEBAR HAZ, dan
KEKERASAN PADA PENGELASAN SMAW MATERIAL
TEMBAGA C81300**

R. AHMAD WILDAN DWI BAGASKORO
NRP. 102115 00000 001

Dosen Pembimbing :
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - TM TM 095502

**ANALYSIS OF EFFECT OF HYAT INPUT VARIATION
ON WELDING, HAZ WIDE, and HARDNESS OF SMAW
WELDING COPPER MATERIAL C81300**

R. AHMAD WILDAN DWI BAGASKORO
NRP. 102115 00000 001

Counselor Lecture :
Ir. Hari Subiyanto, MSc
NIP. 19600623 198803 1 002

PROGRAM STUDY DIPL. 3 INDUSTRIAL MECHANICAL
ENG.
FACULTY VOCATIONAL
INSTITUT TECHNOLOGY SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2018

**ANALISA PENGARUH VARIASI HEAT INPUT
TERHADAP CACAT PENGELASAN, LEBAR HAZ,
dan KEKERASAN PADA PENGELASAN SMAW
MATERIAL TEMBAGA C81300**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada
Bidang Studi Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :

R. Ahmad Wildan Dwi Bagaskoro
NRP. 102115 00000 001



SURABAYA
JULI 2018

**ANALISA PENGARUH VARIASI HEAT INPUT
TERHADAP CACAT PENGELASAN, LEBAR HAZ, dan
KEKERASAN PADA PENGELASAN SMAW MATERIAL
TEMBAGA C81300**

Nama Mahasiswa : R. Ahmad Wildan Dwi Bagaskoro
NRP : 102115 00000 001
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri
FV - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Subiyanto, MSc

Abstrack

Tembaga merupakan salah satu logam yang sangat bermanfaat bagi kebutuhan teknologi maupun industri. Kemungkinan terjadinya penurunan kekuatan mekanis pada sambungan las, terjadi akibat pada bagian yang dilas mengalami perubahan struktur butiran logam akibat pemanasan dan pendinginan selama pengelasan.

Dalam penelitian ini menggunakan material tembaga C81300, jenis las yang digunakan adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Proses pengelasan dibedakan berdasarkan variasi Heat input yaitu 1244.239 J/mm, 1306.452 J/mm, 1314.401 J/mm. Dengan posisi pengelasan 1G dan sambungan butt joint V-grove 70°. Electrode yang digunakan adalah NS 9050. Analasia hasil lasan ditinjau dari pengujian yang dilakukan, antara lain Uji Radiografi, Uji Makro, dan Uji Kekerasan.

Hasil analisa didapat ketiga variasa lasan memiliki cacat porosity dan incomplete penetration. Lebar HAZ terbesar dimiliki hasil lasan dengan variasi Heat input yaitu 1314.401 J/mm. Nilai kekerasan daerah HAZ variasi lasan variasi 1244.239 J/mm memiliki nilai kekerasan tertinggi, dan variasi 1213.401 J/mm memiliki kekerasan terendah.

Kata kunci : Tembaga, Las SMAW, Heat Input Pengelasan, Cacat Pengelasan, Lebar HAZ, Kekerasan

ANALYSIS OF EFFECT OF HYAT INPUT VARIATION ON WELDING, HAZ WIDE, and HARDNESS OF SMAW WELDING COPPER MATERIAL C81300

Name : R. Ahmad Wildan Dwi Bagaskoro
NRP : 102115 00000 001
Department : Dipl. 3 Industrial Mechanical Eng.
FV - ITS
Counselor Lecture : Ir. Hari Subiyanto, MSc

Abstrack

Copper is one of the metals that is very useful for technological and industrial needs. The possibility of a decrease in mechanical strength at the welded joint, due to the welded part experiencing a change in the structure of the metal grain due to heating and cooling during welding.

In this study using C81300 copper material, the type of welding used is Shielded Metal Arc Welding (SMAW). The welding process is distinguished based on the variation of the Heat input which is 1244,239 J/mm, 1306,452 J/mm, 1314,401 J/mm. With a 1G welding position and 70 ° butt joint V-grove connection. The electrode used is NS 9050. The results of the welds are reviewed from the tests carried out, including Radiography Test, Macro Test, and Hardness Test.

The results of the analysis showed that the three variasic welds with porosity defects and incomplete penetration. The width of the HAZ is the largest welded basil with a variation of the Heat input which is 1314,401 J / mm. The value of HAZ hardness variation of 1244.239 J/mm variation has the highest hardness value, and variation 1213.401 J / mm has the lowest hardness.

Keywords: Copper, Las SMAW, Heat Input Welding, Welding Disability, HAZ Width, Hardness.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikumWr.Wb.

AlhamdulillahRabbil'Alamin, Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menuntaskan seluruh pengerjaan Tugas Akhir ini yang berjudul : Analisa Pengaruh Variasi Heat Input Terhadap Cacat Pengelasan, Lebar Haz, dan Kekerasan Pada Pengelasan SMAW Material Tembaga C81300

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan akademis dan memperoleh gelar Ahli Madya dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Konversi Energi di program Studi D3 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semuapihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. **Bapak Ir. Hari Subiyanto, MSc.** Selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai motor pembakaran dalam yang terkait dengan tugas akhir.
2. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MT.** Selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
4. **Para Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Ayah (**R. Ahmad Basyasy P. N BSc**), Ibu (**Siti Aisyah**), dan Kakak (**R. Ahmad Azhar Wasito Adi**) yang selalu memberikan cinta kasih, doa dan dukungan.

6. **Bapak Ir. Gathot Dwi W, MT.** Selaku wakil dosen pembimbing yang membantu kelancara proses pengelasan.
7. **Seluruh Dosen dan Karyawan** yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di D3 Teknik Mesin ITS.
8. **Mas Sapto Wisasno** Selaku Aslab yang telah memberikan ijin meminjam alat-alat untuk pengerjaan tugas akhir ini.
9. **Febi Adi Gunawan** atas kerjasamanya dalam mengerjakan dan menjadi partner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. **Seluruh teman-teman Warga Angkatan 2015.** Anak kos Rego Family M. Adietya N dan Dimas Krinsa yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terima kasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
11. Addina Wahyu Safitri, Metrika Faradini, dan Dendy Dwi terimakasih telah menjadi partner satu dosen pembimbing
12. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, September 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| TITLE PAGE | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |

BAB I

| | |
|---------------------------------|----------|
| PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Manfaat | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |

BAB II

| | |
|--|----------|
| DASAR TEORI..... | 5 |
| 2.1 Definisi Pengelasan | 5 |
| 2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) | 5 |
| 2.2.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) AC | 6 |
| 2.2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) DC | 6 |
| 2.3 Parameter Pengelasan..... | 7 |
| 2.3.1 Tegangan Busur Las | 7 |
| 2.3.2 Besar Kuat Arus Las | 7 |
| 2.3.3 Kecepatan Pengelasan..... | 7 |
| 2.4 Posisi Pengelasan | 8 |
| 2.5 Sambungan Las | 9 |
| 2.5.1 Sambungan Tumpul (Butt Joint)..... | 10 |
| 2.6 <i>HAZ (Heat Affected Zone)</i> | 11 |
| 2.7 Heat Input..... | 12 |
| 2.8 Kodefikasi Elektroda..... | 13 |
| 2.9 Cacat pada Pengelasan | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.9.1 Keropos (Porosity) | 14 |
| 2.9.2 Percikan Las (<i>Spatter</i>) | 16 |
| 2.9.3 <i>Slug Inclusion</i> | 16 |
| 2.9.4 Incomplete Penetratiton | 17 |
| 2.10 Material C81300..... | 17 |
| 2.11 Radiografi (<i>Radiography</i>)..... | 19 |
| 2.11.1 Sinar- χ | 19 |
| 2.11.2 Sinar- γ (Gamma) | 20 |
| 2.11.3 Pesawat <i>Gamma ray</i> | 20 |
| 2.11.4 Sumber Radioaktif <i>Gamma Ray</i> | 20 |
| 2.11.5 Prinsip Kerja Radiografi | 21 |
| 2.11.6 Metode Pengujian Radiografi | 21 |
| 2.11.7 Pemilihan <i>Image Quality Indicator (IQI)</i> | 23 |
| 2.11.8 Film Radiografi..... | 24 |
| 2.11.9 Sensitivitas Film Radiografi..... | 25 |
| 2.11.10 Denitas (Kehitaman) Film Radiografi | 26 |
| 2.11.11 Interpretasi Hasil <i>Film</i> Radiografi..... | 27 |
| 2.11.12 Klasifikasi jenis <i>film</i> radiografi | 28 |
| 2.11.13 Pemilihan <i>film</i> radiografi..... | 29 |
| 2.11.14 Pemrosesan <i>film</i> radiografi | 30 |
| 2.12 Uji Makro | 31 |
| 2.13 Uji Kekerasan | 33 |
| 2.13.1 Uji Kekerasan Rockwell | 33 |

BAB III

| | |
|---|-----------|
| METODOLOGI PENELITIAN..... | 35 |
| 3.1. <i>Flow Chart</i> Penelitian | 35 |
| 3.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian | 36 |
| 3.3. Tempat | 36 |
| 3.4. Langkah Kerja | 37 |
| 3.4.1 Studi Literatur | 37 |
| 3.4.2 Persiapan dan Pematangan Material | 37 |
| 3.4.3 Persiapan Alat | 39 |
| 3.4.4 Persiapan Spesimen (Benda Kerja) | 39 |
| 3.5. Pengelasan | 39 |
| 3.6. Parameter Pengelasan | 41 |

| | |
|--|----|
| 3.7 Pengujian Benda Kerja | 42 |
| 3.7.1 Pengujian Radiografi | 42 |
| 3.7.2 Pengujian Makro | 46 |
| 3.7.3 Pengujian Kekerasan Rockwell | 49 |

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 53

| | |
|---|----|
| 4.1 Perhitungan Heat Input | 53 |
| 4.2 Hasil Pengujian Radiografi | 54 |
| 4.3 Hasil Uji <i>Metallography (Makro Etsa)</i> | 59 |
| 4.4 Uji Kekerasan (<i>Hardness Test</i>) | 62 |

BAB V

PENUTUP..... 71

| | |
|-----------------------|----|
| 5.1. Kesimpulan | 71 |
| 5.2. Saran | 72 |

LAMPIRAN..... 73

DAFTAR PUSTAKA

BIODATA

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW | 6 |
| Gambar 2.2 Posisi pengelasan plat 1G..... | 8 |
| Gambar 2.3 Posisi pengelasan plat 2G..... | 8 |
| Gambar 2.4 Posisi pengelasan plat 3G..... | 9 |
| Gambar 2.5 Posisi pengelasan plat 4G..... | 9 |
| Gambar 2.6 Jenis-jenis sambungan dasar | 10 |
| Gambar 2.7 Alur Sambungan Las..... | 11 |
| Gambar 2.8 Daerah HAZ..... | 12 |
| Gambar 2.9 Heat source efficiencies in several welding processes | 13 |
| Gambar 2.10 Cacat Keropos (<i>Porosity</i>)..... | 14 |
| Gambar 2.11 Cacat <i>Distributed Porosity</i> | 15 |
| Gambar 2.12 Cacat <i>Cluster Porosity</i> | 15 |
| Gambar 2.13 Cacat <i>Aligned Porosity</i> | 16 |
| Gambar 2.14 Cacat Percikan Las | 16 |
| Gambar 2.15 Sketsa cacat las <i>slug inclusion</i> dan <i>image</i> pada foto radiografi | 17 |
| Gambar 2.16 Incomplete Penetration (NDT Resource) | 17 |
| Gambar 2.17 Fase Diagram Cu-Co..... | 19 |
| Gambar 2.18 Mesin <i>Gamma-ray</i> | 20 |
| Gambar 2.19 Sumber Radioaktif <i>Isotop</i> Material | 21 |
| Gambar 2.20 Skema pengujian radiografi..... | 21 |
| Gambar 2.21 <i>Internal source image internal film</i> <i>Technique</i> | 22 |
| Gambar 2.22 <i>Internal film technique</i> | 22 |
| Gambar 2.23 <i>Panaromic technique</i> | 23 |
| Gambar 2.24 Penyinaran menggunakan <i>Film</i> <i>Radiografi</i> | 25 |
| Gambar 2.25 Penampang <i>film</i> radiografi dan jenis Bagiannya..... | 25 |
| Gambar 2.26 <i>Wire image quality indicator</i> | 26 |
| Gambar 2.27 Densitometer | 27 |
| Gambar 2.28 <i>Viewer</i> | 28 |

| | |
|---|----|
| Gambar 2.29 Struktur butir <i>film</i> lambat (a) dan <i>film</i> cepat (b)..... | 30 |
| Gambar 2.30 Skema diagram pemrosesan <i>film</i> radiografi..... | 31 |
| Gambar 2.31 Prinsip Kerja <i>Rockwell</i> | 34 |
| Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Diagram | 35 |
| Gambar 3.2 <i>Flow Chart</i> Diagram (Lanjutan)..... | 36 |
| Gambar 3.3 Dimensi Material..... | 37 |
| Gambar 3.4 Sudut Bevel 35 ⁰ | 38 |
| Gambar 3.5 Benda Kerja Tembaga C81300 | 38 |
| Gambar 3.6 Perisapan Proses Pengelasan | 40 |
| Gambar 3.7 Filler NS 9050 diameter 3,2 mm | 40 |
| Gambar 3.8 Klasifikasi dan Parameter Filler NS 9050 | 40 |
| Gambar 3.9 Amperemeter..... | 41 |
| Gambar 3.10 Mesin Las..... | 41 |
| Gambar 3.11 <i>Infrared Thermometer</i> | 41 |
| Gambar 3.12 Alat uji radiografi Ir – 192 | 43 |
| Gambar 3.13 Persiapan Spesimen..... | 45 |
| Gambar 3.14 Proses Uji Radiografi | 45 |
| Gambar 3.15 Proses Pencucian Film | 45 |
| Gambar 3.16 Cairan <i>Developer, Stop bath, Fixer</i> | 46 |
| Gambar 3.17 <i>Viewer</i> | 46 |
| Gambar 3.18 Spesimen Setelah Dipoles | 47 |
| Gambar 3.19 Alat dan Bahan untuk Proses Etsa..... | 47 |
| Gambar 3.20 Laturan Etsa <i>Nitric Acid</i> (HNO_3)..... | 48 |
| Gambar 3.21 Kertas Gosok..... | 48 |
| Gambar 3.22 Proses Etsa | 48 |
| Gambar 3.23 Hasil Proses Etsa | 49 |
| Gambar 3.24 Hasil Identasi <i>Rockwell Hardness Tester</i> | 49 |
| Gambar 3.25 Sket Titik Pengujian Kekerasan | 51 |
| Gambar 4.1 Grafik Hubungan Heat Input dengan Travel Speed & Arus..... | 55 |
| Gambar 4.2 Hasil Lasan Variasi Heat Input 1224.239 J/mm | 56 |
| Gambar 4.3 Film Hasil Uji Radiografi Heat Input 1224.239 J/mm (Gambar 4.2)..... | 56 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 4.4 | Sket Film Hasil Uji Radiografi Variasi Heat Input 1224.239 J/mm. (Gambar 4.3)..... | 56 |
| Gambar 4.5 | Hasil Lasan dengan heat input 1306.452 J/mm .57 | |
| Gambar 4.6 | Film Hasil Uji Radiografi Lasan heat input 1306.452 J/mm (Gambar 4.5) | 58 |
| Gambar 4.7 | Sket Film Hasil Uji Radiografi Variasi heat input 1306.452 J/mm (Gambar 4.6)..... | 58 |
| Gambar 4.8 | Hasil Lasan dengan Varasi heat input 1314.401 J/mm | 59 |
| Gambar 4.9 | Film Hasil Uji Radiografi Lasan Variasi heat input 1314.401 J/mm (Gambar 4.8) | 59 |
| Gambar 4.10 | Sket Film Hasil Uji Radiografi variasi heat input 1314.401 J/mm (Gambar 4.9)..... | 59 |
| Gambar 4.11 | Foto Makro Spesimen Hasil lasan variasi Heat Input 1244.239 J/mm | 61 |
| Gambar 4.12 | Foto Makro Spesimen Hasil Lasan variasi Heat Input 1306.452 J/mm | 61 |
| Gambar 4.13 | Foto Makro Spesimen Hasil Lasan variasi heat input 1314.401 J/mm..... | 62 |
| Gambar 4.14 | Pembagian Perhitungan Lebar HAZ..... | 62 |
| Gambar 4.15 | Grafik Perbandingan HAZ Sebelah Kiri..... | 63 |
| Gambar 4.16 | Grafik Perbandingan HAZ Sebelah Kanan..... | 63 |
| Gambar 4.17 | Pengambilan Titik Identasi..... | 64 |
| Gambar 4.18 | Grafik Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1244.239 J/mm Spesimen 1 | 65 |
| Gambar 4.19 | Grafik Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1244.239 J/mm Spesimen 2 | 66 |
| Gambar 4.20 | Grafik Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1306.452 J/mm Spesimen 1 | 67 |
| Gambar 4.21 | Grafik Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1306.452 J/mm Spesimen 2 | 68 |
| Gambar 4.22 | Grafik Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1314.401 J/mm Spesimen 1 | 69 |
| Gambar 4.23 | Grafik Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1314.401 J/mm Spesimen 2 | 70 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Nilai <i>Chemical Composition</i> | 17 |
| Tabel 2.2 Sifat Mekanik | 18 |
| Tabel 2.3 Sifat Fisika..... | 18 |
| Tabel 2.4 Thermal Properties..... | 18 |
| Tabel 2.5 Pemilihan <i>Image Quality Indicator</i> | 23 |
| Tabel 2.6 <i>Wire IQI designation, wire diameter, and wire Identity</i> | 24 |
| Tabel 2.7 Film AGFA GEVAERT | 28 |
| Tabel 2.8 Etsa untuk uji makro tembaga dan tembaga paduan | 32 |
| Tabel 2.9 Skala Uji Kekerasa <i>Rockwell</i> | 34 |
| Tabel 3.1 Logam Induk dan Pengisi | 38 |
| Tabel 3.2 Parameter Pengelasan | 38 |
| Tabel 3.3 Tembaga C81300..... | 42 |
| Tabel 3.4 Data Primer Pengelasan | 42 |
| Tabel 3.5 Pemilihan <i>image quality indicator</i> | 43 |
| Table 3.6 <i>Wire IQI designation, wire diameter, and wire Identity</i> | 44 |
| Tabel 4.1 Heat Input | 53 |
| Tabel 4.2 Klasifikasi cacat pada material Heat Input 1224.239 J/mm (Gambar 4.7)..... | 56 |
| Tabel 4.3 Klasifikasi cacat pada material Heat Input 1306.452 J/mm (Gambar 4.10)..... | 57 |
| Tabel 4.4 Klasifikasi cacat pada material Heat Input 1314.401 J/mm (Gambar 4.13)..... | 59 |
| Tabel 4.5 Klasifikasi Kehitaman (Density) dan Sensitivitas Film | 59 |
| Tabel 4.6 Lebar HAZ Rata - Rata Pengaruh Variasi Besar Heat Input | 61 |
| Tabel 4.7 Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1244.239 J/mm... | 63 |
| Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1306.452 J/mm.... | 64 |
| Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1314.401 J/mm.... | 65 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tembaga merupakan salah satu logam yang sangat bermanfaat bagi kebutuhan teknologi maupun industri. Cara atau pemilihan pengelasan yang salah akan berpengaruh pada penurunan kualitas barang produksi seperti kekuatan konstruksi, kekuatan sambungan las, ketangguhan las, dan juga kerapiannya. Tembaga C81300 merupakan jenis tembaga paduan tipe coran. Komposisi material tembaga C81300 memiliki 98.5% Cu, 0.02 Be, dan 0.6 Co. Memiliki nilai kekerasan Brinel 89.

Material tembaga C81300 sering digunakan dalam berbagai hal industry maupun manufacture. Tembaga merupakan bahan penting dalam pembuatan kabel listrik, radiator, konektor, dan bahann lain yang digunakan pada komponen listrik. Hal ini karena tembaga menghantarkan panas dan listrik dengan baik, dan bisa dibentuk menjadi kabel tipis. Sebagai bahan utama pada propeller kapal karena sifatnya yang tahan korosi.

Metode pengelasan pada baja (*ferro*) belum tentu cocok diterapkan pada logam tembaga (*non ferro*). Hal ini disebabkan oleh bahan tembaga yang memiliki sifat yang jauh berbeda dengan besi atau baja. Titik cair tembaga (sebagai unsur utama dalam tembaga) terletak antara titik cair aluminium dan besi. Daya hantar panasnya lebih dari delapan kali daya hantar panas baja, yang menyebabkan penjalaran panas berlangsung sangat cepat. Koefisien muainya 1,5 kali dari baja, sehingga dalam pengelasan sering terjadi perubahan bentuk dan retak (Wiriyosumarto, H., 2004).

Berkaitan dengan semua latar belakang tersebut maka dalam penelitian ini dipilih pengelasan material plat tembaga C81300 dengan ketebalan plat 5 mm memiliki kadar Cu 98%. Jenis pengelasan yang akan dilakukan pada proses pengujian tersebut adalah jenis las SMAW arus DCEP dengan membedakan variasi Heat input yaitu 1244.239 J/mm, 1306.452 J/mm, 1314.401 J/mm.

Tujuan dari dilakukannya variasi heat input tersebut yaitu untuk menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi hasil lasan

dari tiap-tiap variasi. Pengujian dalam penelitian ini meliputi Pengujian XDT & DT, Uji Makro, dan Kekerasan.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang mendorong tugas akhir ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, diantara rumusan tersebut adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi besar heat input terhadap cacat lasan melalui uji radiografi pada material tembaga C81300 pada pengelasan SMAW?
2. Bagaimana pengaruh variasi besar heat input terhadap hasil struktur makro pada material tembaga C81300 pada pengelasan SMAW?
3. Bagaimana pengaruh variasi besar heat input terhadap nilai kekerasan pada material tembaga C81300 pada pengelasan SMAW?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji, maka perlu kiranya diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi material yang digunakan adalah tembaga C81300 dengan tebal 5 mm (material dianggap homogen)
2. Filler NS 9050 dengan diameter 3.2 mm
3. Pengelasan SMAW arus DCEP
4. Posisi pengelasan 1G
5. Jenis sambungan butt weld
6. Kampuh yang digunakan adalah single V groove 70°
7. Pengujian yang dilakukan adalah Radiography, Makro Etsa, Hardness Rockwell
8. Pengujian dilakukan pada bagian Base Metal, Weld Metal, dan HAZ

1.4 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh variasi besar heat input terhadap cacat hasil lasan melalui uji radiografi pada material tembaga C81300 pada pengelasan SMAW
2. Mengetahui pengaruh variasi besar heat input terhadap hasil struktur makro pada material tembaga C81300 pada pengelasan SMAW
3. Mengetahui pengaruh variasi besar heat input terhadap nilai kekerasan pada material tembaga C81300 pada pengelasan SMAW

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh besar heat input terhadap hasil uji radiografi, uji makro, nilai kekerasan pada material tembaga C81300 hasil pengelasan SMAW

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelas mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya:

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB III Metodologi

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV Hasil dan Analisa

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengujian metalografi..

BAB V Penutup

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

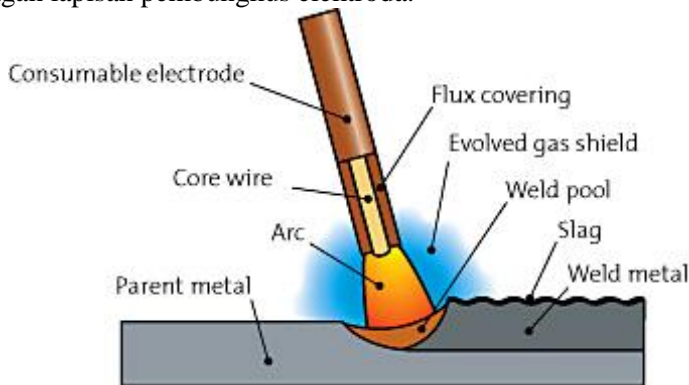
2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang terus menerus. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan. Disamping untuk pembuatan, proses las dapat juga dipergunakan untuk reparasi misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada besi tuang. Membuat lapisan las pada perkakas mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan macam-macam reparasi lainnya. Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik. Karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan dan memperlihatkan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta kegunaan disekitarnya. Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya di dalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan bermacam-macam pengetahuan. Karena itu didalam pengelasan, pengetahuan harus turut serta mendampingi praktek, secara lebih terperinci dapat dikatakan bahwa perancangan konstruksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara-cara pengelasan.

2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW adalah suatu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. Proses pengelasan

dengan process SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas DCSP (*straight polarity* atau polaritas langsung) dan DCRP (*reverse polarity* atau polaritas terbalik). *Filler* atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda, elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda.



Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW

2.2.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) AC

Untuk arus AC (*Alternating Current*), pada *voltage drop* panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai. Secara teknik *arc starting* lebih sulit terutama untuk diameter elektrode kecil.

2.2.2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW) DC

Pada arus DC (*Direct Current*), *voltage drop* sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektrode kecil, semua jenis elektrode dapat dipakai, *arc starting* lebih mudah terutama untuk arus kecil, mayoritas industri fabrikasi menggunakan *polarity DC* khususnya untuk pengelasan *carbon steel*, namun pada prinsipnya DC *polarity* dibagi kedalam dua bagian, yaitu:

1. *DCSP (Straight Polarity)*

Prinsip dasarnya material dasar atau material yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) dari travo, dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif (-) pada travo las DC. Dengan cara ini busur listrik bergerak dari elektrode ke material dasar, yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam.

2. *DCRP (Reversed Polarity)*

Material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif (+) dari mesin las DC, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal.

2.3 Parameter Pengelasan

2.3.1 Tegangan busur las

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang dikehendaki dari jenis elektroda yang digunakan. Pada elektroda yang sejenis tingginya tegangan busur diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur. Panjang busur yang dianggap baik kira-kira sama dengan diameter elektroda.

2.3.2 Besar kuat arus las

Besar kuat arus pengelasan diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan, macam elektroda, diameter elektroda itu sendiri dan lain-lain.

2.3.3 Kecepatan pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang akan dilas, geometri sambungan, dan lain sebagainya. Dalam hal hubungannya

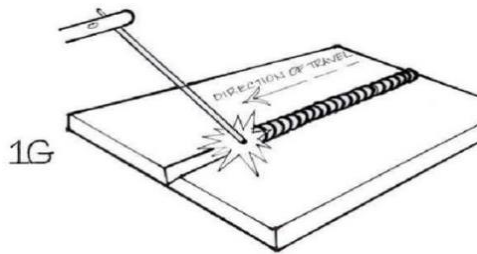
dengan tegangan dari kuat arus, dapat dikatakan bahwa kecepatan pengelasan hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan kuat arus. Karena itu pengelasan yang cepat memerlukan kuat arus yang tinggi.

2.4 Posisi pada Pengelasan

Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Pada proses pengelasan terdapat berbagai macam posisi pengelasan yaitu posisi pengelasan pada plat, fillet, dan pipa. Adapun macam–macam posisinya dapat disebutkan sebagai berikut:

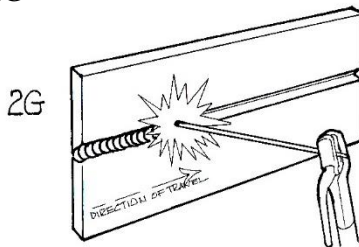
Posisi pengelasan pada plat terdiri dari empat macam, yaitu:

- Posisi 1G



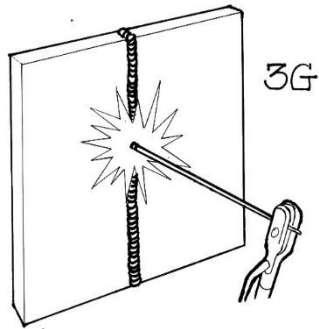
Gambar 2.2 Posisi pengelasan plat 1G

- Posisi 2G



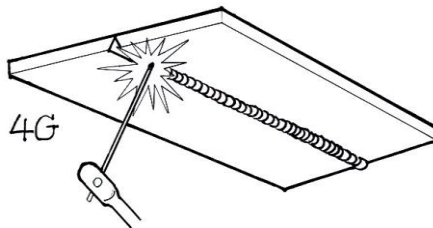
Gambar 2.3 Posisi pengelasan plat 2G

- Posisi 3G



Gambar 2.4 Posisi pengelasan plat 3G

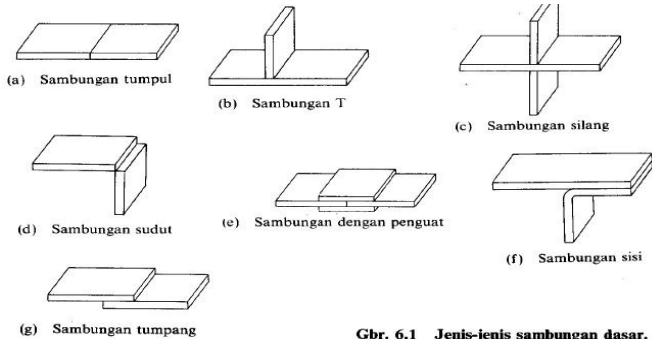
- Posisi 4G



Gambar 2.5 Posisi pengelasan plat 4G

2.5 Sambungan Las

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.

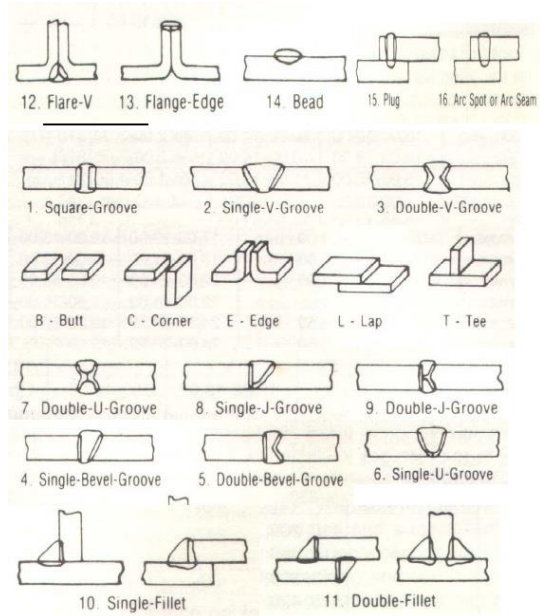


Gbr. 6.1 Jenis-jenis sambungan dasar.

Gambar 2.6 Jenis-jenis sambungan dasar

2.5.1 Sambungan Tumpul (Butt Joint)

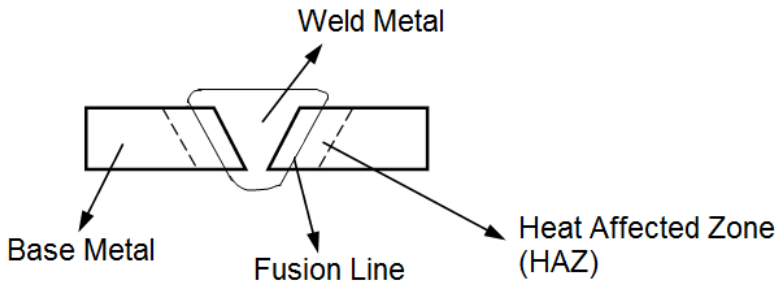
Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian seperti pada gambar 2.7. Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan sambungan dengan pelat pembantu. Bentuk alur pada sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting. Bentuk dan ukuran alur sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, BS, DIN, dan lain-lain. Pada dasarnya dalam memilih bentuk alur harus menuju pada penurunan masukan panas dan penurunan logam las sampai kepada harga terendah yang tidak menurunkan mutu sambungan. Karena hal ini, maka dalam pemilihan bentuk alur diperlukan kemampuan dan pengalaman yang luas. Bentuk-bentuk yang telah distandarkan pada umumnya hanya meliputi pelaksanaan pengelasan yang sering dilakukan .



Gambar 2.7 Alur Sambungan Las

2.6 HAZ (*Heat Affected Zone*)

Pengelasan logam akan menghasilkan konfigurasi logam lasan dengan tiga daerah pengelasan yaitu, pertama *base metal* merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan mikrostruktur, kedua adalah *weld metal* merupakan daerah yang terkena las dan tempat terjadinya proses pencairan *base metal* yang kemudian bercampur dengan logam las, ketiga adalah daerah terpengaruh panas atau disebut *heat affected zone (HAZ)* merupakan daerah terjadinya pencairan logam induk yang mengalami perubahan struktur mikro karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan. HAZ merupakan daerah yang paling kritis dari sambungan las, karena selain terjadi perubahan mikrostruktur juga terjadi perubahan sifat. Secara umum daerah HAZ dipengaruhi oleh lamanya pendinginan dan komposisi logam las.



Gambar 2.8 Daerah HAZ

2.7 Heat Input

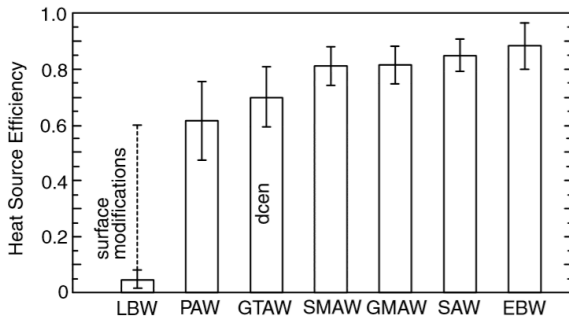
Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltage) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut :

Masukan panas :
$$HI = \frac{E \times I \times \eta}{V}$$

Dimana:

| | | |
|--------|---|------------------------------------|
| HI | = | Masukan panas atau energi (J/mm) |
| I | = | Arus (Ampere) |
| E | = | Voltase (Volt) |
| V | = | Kecepatan pengelasan (mm/s) |
| η | = | Effisiensi perpindahan kalor (%) |



Gambar 2.9 Heat source efficiencies in several welding processes.

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Heat input mempengaruhi lebar HAZ, semakin besar heat input maka HAZ akan semakin besar pula. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

2.8 Kodifikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*flux*) dan tidak bersalut yang merupakan bagian untuk menjepitkan tang las. Fungsi *flux* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

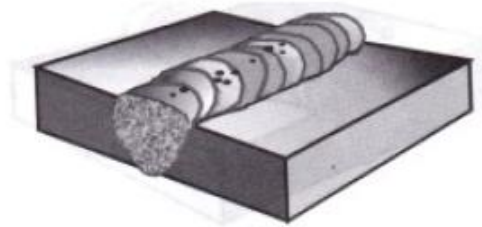
Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).

2.9 Cacat pada Pengelasan

Jenis cacat permukaan las:

2.9.1 Keropos (*Porosity*)

Disebabkan karena lingkungan las yang lembab atau basah, kampuh kotor, angin berhembus dipermukaan las, lapisan galvanis, salah jenis arus, salah jenis polaritas, ampere *capping* terlalu besar. Akibatnya melemahkan sambungan, tampak buruk, mengawali karat permukaan. Penanggulangannya yaitu cacat digerinda hingga hilang kemudian dilas isi sesuaidengan pembuatan prosedur pengelasan (WPS).

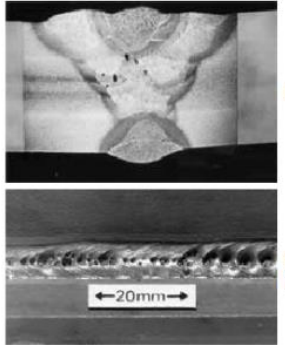


Gambar 2.10 Cacat Keropos (*Porosity*)

Cacat keropos (*porositas*) terdiri dari:

- ***Distributed Porosity***

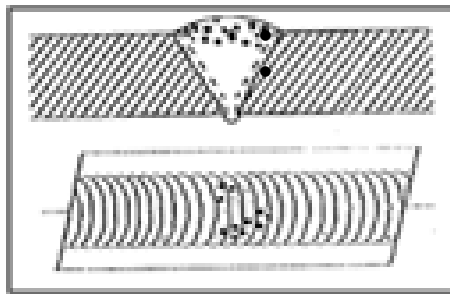
Porositas yang disebabkan oleh penyerapan nitrogen, oksigen dan hidrogen di kolam las cair, yang kemudian dilepaskan pada pematatan menjadi terjebak dalam logam las. Penyerapan nitrogen dan oksigen di kolam las biasanya berasal dari perisai gas yang buruk. Sedikitnya 1% udara entrainment pada shielding gas akan menyebabkan porositas terdistribusi dan lebih besar.



Gambar 2.11 Cacat *Distributed Porosity*

- ***Cluster Porosity***

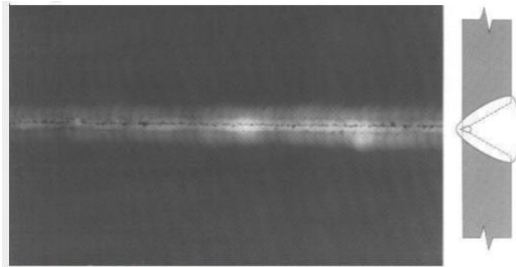
Cluster Porosity disebabkan ketika fluks pada elektroda terkontaminasi dengan uap air. Kelembaban berubah menjadi gas saat dipanaskan dan menjadi terjebak dalam pengelasan selama proses pengelasan. Cluster porositas muncul seperti porositas biasa di radiograf namun indikasinya akan dikelompokkan berdekatan.



Gambar 2.12 Cacat *Cluster Porosity*

- ***Aligned Porosity***

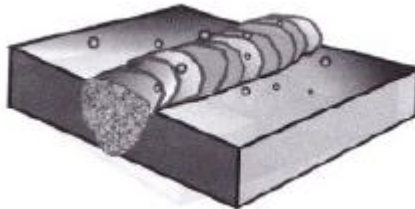
Rongga bulat dan memanjang di dasar lasan sejajar sepanjang garis tengah las. Titik kerapatan yang membulat dan memanjang, yang mungkin dihubungkan dalam garis lurus di tengah lebar lasan.



Gambar 2.13 Cacat *Aligned Porosity*

2.9.2 Percikan Las (*Spatter*)

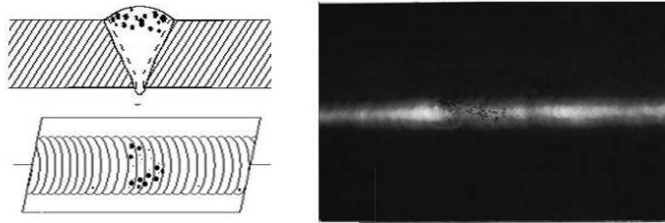
Disebabkan oleh elektrode yang lembab, kampuh kotor, angin kencang, lapisan galvanisir, ampere *capping* terlalu tinggi. Akibatnya lasan tampak jelek, mengalami karat permukaan. Penanggulangannya cukup dibersihkan dengan pahat. Pembersih dengan gerinda tidak boleh mengingat akan memakan bahan induk.



Gambar 2.14 Cacat Percikan Las

2.9.3 *Slug Inclusion*

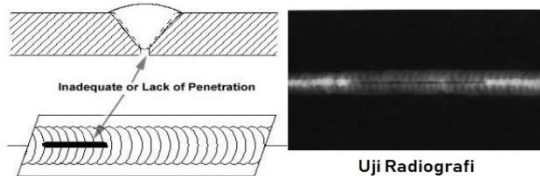
Inklusi terak adalah bahan padat non-logam terperangkap dalam logam lasan atau antara logam las dan logam dasar. *Inklusi* terak adalah daerah dalam penampang las atau di permukaan lasan dimana *fluks* sekali-cair digunakan untuk melindungi logam cair secara mekanik yang terjebak dalam logam dipadatkan. *Slag* yang dipadatkan ini merupakan bagian dari salib bagian las, jika logam tersebut tidak menyatu dengan dirinya sendiri.



Gambar 2.15 Sketsa cacat las *slug inclusion* dan *image* pada foto radiografi

2.9.4 Incomplete Penetration

Incomplete Penetration (IP) adalah sebuah cacat pengelasan yang terjadi pada daerah root atau akar las, sebuah pengelasan dikatakan IP jika pengelasan pada daerah root tidak tembus atau reinforcement pada akar las berbentuk cekung.



Gambar 2.16 Incomplete Penetration (NDT Resource)

2.10 Material C81300

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material C81300. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini:

Tabel 2.1 Nilai *Chemical Composition*

| Chemical Composition | | | |
|----------------------|---------------------|------|-----|
| | Element | | |
| | Cu ^(1,2) | Be | Co |
| Min (%) | 98.5 | 0.02 | 0.6 |
| Max (%) | | 0.10 | 1.0 |

(1) Cu value includes Ag.
 (2) Cu + Sum of Named Elements 99.5% min.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik

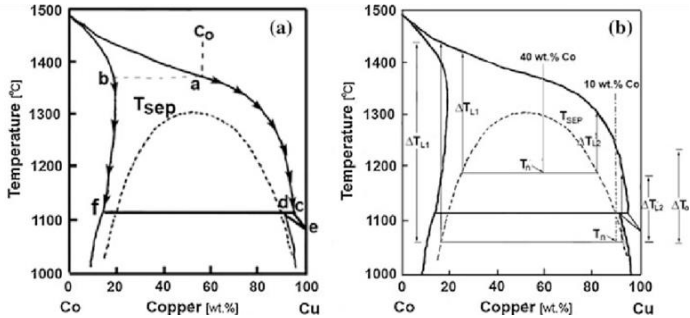
| Mechanical Properties* | | | |
|---|---------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Form | Temper | Temper Code | Brinell Hardness, 500 kg load |
| As Sand Cast | As Sand Cast | M01 | 89 Typ |
| * Measured at room temperature, 68°F (20°C). | | | |

Tabel 2.3 Sifat Fisika

| Physical Properties | |
|---|--------------|
| Melting Point - Liquidus°F | 2000 |
| Melting Point - Solidus°F | 1950 |
| Density lb/cu in. at 68°F | 0.318 |
| Specific Gravity | 8.81 |
| Electrical Conductivity% IACS at 68°F | 60 |
| Thermal Conductivity Btu/ sq ft/ ft hr/ °F at 68°F | 150 |
| Coefficient of Thermal Expansion 68-57210⁻⁶ per °F (68 – 572°F) | 10 |
| Specific Heat Capacity Btu/ lb /°F at 68°F | 0.093 |
| Modulus of Elasticity in Tensionksi | 16000 |
| Yield Strenght (MPa) | 250 |
| Tensile Strenght (MPa) | 365 |

Tabel 2.4 Thermal Properties

| Treatment | Min* | Max* | Value* | Time** |
|--|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Stress Relief | | | 500 | |
| Solution Treatment | 1800 | 1850 | | 1 |
| Precipitation Treatment | | | 900 | 2 |
| *Temperature is measured in Fahrenheit. ** Time is measured in minutes. | | | | |



Gambar 2.17 Fase Diagram Cu-Co

2.11 Radiografi (*Radiografi Test*)

Radiografi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian tanpa merusak atau *Non Destructive Test* (NDT). Yang dimaksud dengan pengujian tanpa merusak adalah pengujian bahan tanpa merusak bahan yang diuji, baik sifat fisik maupun kimia dari bahan tersebut, selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Uji radiografi bertujuan untuk melihat cacat di dalam *weld metal* yang tidak dapat dilihat langsung dengan mata telanjang. Pengujian radiografi pada dasarnya adalah penyinaran benda uji dengan sinar bertenaga tinggi seperti X-ray dan *gamma ray*. Metode pengujian radiografi yaitu memancarkan sinar-sinar elektromagnetik (sinar- χ dan sinar- γ) ditembuskan kepada bahan lalu direkam dalam film khusus. Dari hasil rekaman film akan dapat diamati diskontinuiti bahan juga dapat diperoleh hasil rekaman yang permanen.

2.11.1 Sinar- χ

Sinar- χ dihasilkan oleh electron dengan kecepatan sinar tinggi. Energy ini kemudian diubah ke panas dan menghasilkan sinar- χ . Electron ini diarahkan ke cermin (target) dalam ruang hampa dan sinar tersebut memantul lagi melalui lubang tabung dan diteruskan menuju komponen yang diperiksa. Cara pemeriksaan yaitu bahan ditempakan diantara tabung sinar- χ dan film. Jika bahan tersebut berat dan jenisnya sama seluruhnya, film akan menerima pecahannya yang merata. Akan tetapi kalau ada cacat, seperti lubang didalam

hasil penuangan atau dalam pengelasan, maka jika film tersebut dicuci akan terlihat noda hitam.

2.11.2 Sinar- γ (Gamma)

Metode ini secara fundamental mirip dengan metode sinar- γ , tetapi perbedaannya adalah sumber cahayanya. Sumber cahaya gamma dihasilkan dari sumber radiasi yang dihasilkan dari isotop radioaktif dari sebuah reactor nuklir. Tidak seperti sinar- γ yang mempunyai cahaya lurus, sinar gamma ini dapat mengarah ke segala arah. Cara pemeriksaannya adalah film ditempatkan di bagian belakang benda. Apabila bahan tersebut cacat di bagian dalam maka bila filmnya dicuci akan tampak cacat hitam.

2.11.3 Pesawat *Gamma ray*

Mesin ini digunakan untuk menyimpan, mengirim dan menyinari suatu objek yang dimana mesin tersebut berisikan sinar radioaktif. Fungsi untuk mengurangi paparan radiasi selama penggunaannya, seperti Gambar 2.18 dibawah berikut.



Gambar 2.18 Mesin *Gamma-ray*

2.11.4 Sumber Radioaktif *Gamma Ray*

Tidak seperti yang sumbernya dihasilkan oleh mesin yang dialiri listrik, *Gamma ray* menggunakan *radioisotope* yang digunakan untuk menyimpan sumber. Radioisotope yang digunakan dimasukkan kedalam kapsul untuk mencegah kebocoran radiasi. Setelah *radioisotope* dimasukkan kedalam

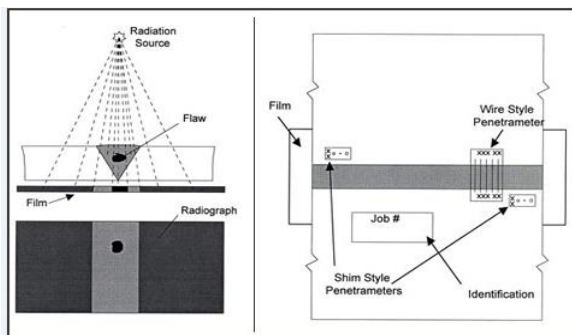
kapsul barulah kapsul diberi muatan atau sumber yang berfungsi sebagai pemancar saat digunakan untuk pengujian radiografi. Kapsul tersebut digunakan sebagai kabel untuk membentuk “*Pigtail*“, *Pigtail* mempunyai konektor khusus pada ujungnya yang menyambungkan ke kabel yang digunakan untuk mengeluarkan sumber dari kamera *gamma ray*.



Gambar 2.19 Sumber Radioaktif *Isotop* Material

2.11.5 Prinsip Kerja Radiografi

Material yang akan dilakukan pengujian diletakkan dibawah sumber radiasi. Ketika sumber sinar- γ / *gamma ray* dipancarkan ke material maka, radiasi akan menembus materal, bagian terdalam material yang terdapat cacat maka akan terekam film yang berwarna lebih gelap, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Skema pengujian radiografi

2.11.6 Metode Pengujian Radiografi

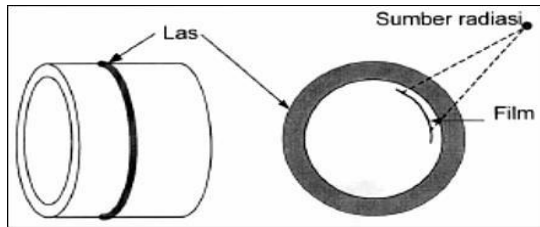
Dalam pengujian radiografi ini memiliki berbagai ragam metode bentuk pengujian sesuai kebutuhan dan kondisi suatu kontruksi ataupun produk untuk mempermudah dalam melakukan pengujian radiografi tersebut yaitu :

1. *Single Wall Single Viewing (SWSV)*

Teknik penyinaran dengan melewati radiasi pada suatu dinding las benda uji dan pada *film* tergambar satu bagian dinding las untuk diinterpretasi. Teknik *single wall single viewing* meliputi:

- *Internal Source Technique*

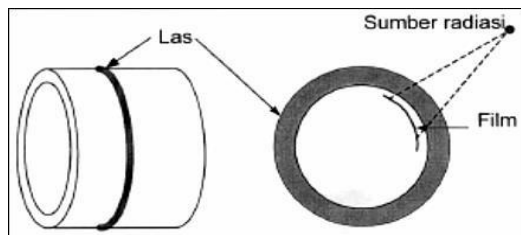
Teknik ini dapat dilakukan dengan meletakkan sumber radiasi di dalam benda uji dan *film* di luar benda uji seperti ditunjukkan pada Gambar 2.21 dibawah berikut.



Gambar 2.21 *Internal source image internal film technique*

- *Internal film technique*

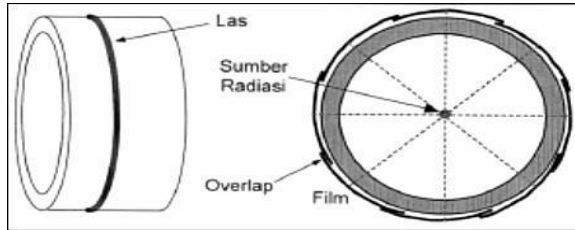
Film di dalam benda uji dan sumber radiasi di luar benda uji. Biasanya teknik ini dilakukan ketika benda uji cukup besar dimana diameter dalam benda uji minimal sama dengan *source film distance* minimal dan ada akses masuk ke dalam pipa, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.22 dibawah berikut.



Gambar 2.22 *Internal film technique*

- *Panaromic Technique*

Teknik ini dilakukan dengan menempatkan sumber di sumbu benda uji untuk mendapatkan *film* hasil radiografi sekeliling benda uji dengan sekali penyinaran, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.23 dibawah berikut .



Gambar 2.23 *Panaromic technique*

2.11.7 Pemilihan *Image Quality indicator (IQI)*

Pemilihan *image quality indicator (IQI)* yang tepat merupakan hal yang penting dalam peembakan produk pengelasan karena hal tersebut terkait dengan sensitifitas suatu *film* radiografi. Sensitifitas merupakan ukuran kualitas dari suatu *film* terkait dengan detail dan cacat terkecil yang bisa diamati. IQI yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *wire type* dan penempatan marker memilih metoda *film side*. Berdasarkan Table 2.5 diketahui produk las dengan ketebalan tertentu selanjutnya akan didapatkan nilai *wire-type essential wire*.

Tabel 2.5 *Pemilihan Image Quality Indicator*

| Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm) | IQI | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| | Source Side | | | Film Side | | |
| | Hole-Type Designation | Essential Hole | Wire-Type Essential Wire | Hole-Type Designation | Essential Hole | Wire-Type Essential Wire |
| Up to 0.25, incl. (6.4) | 12 | 2T | 5 | 10 | 2T | 4 |
| Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5) | 15 | 2T | 6 | 12 | 2T | 5 |
| Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7) | 17 | 2T | 7 | 15 | 2T | 6 |
| Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0) | 20 | 2T | 8 | 17 | 2T | 7 |
| Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4) | 25 | 2T | 9 | 20 | 2T | 8 |
| Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1) | 30 | 2T | 10 | 25 | 2T | 9 |
| Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8) | 35 | 2T | 11 | 30 | 2T | 10 |
| Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5) | 40 | 2T | 12 | 35 | 2T | 11 |
| Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6) | 50 | 2T | 13 | 40 | 2T | 12 |
| Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4) | 60 | 2T | 14 | 50 | 2T | 13 |
| Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2) | 80 | 2T | 16 | 60 | 2T | 14 |
| Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0) | 100 | 2T | 17 | 80 | 2T | 16 |
| Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8) | 120 | 2T | 18 | 100 | 2T | 17 |
| Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4) | 160 | 2T | 20 | 120 | 2T | 18 |
| Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0) | 200 | 2T | 21 | 160 | 2T | 20 |

Setelah didapatkan nilai *wire type wire essential* atau *wire identity* maka selanjutnya menuju Table 2.6 dibawah berikut mengacu pada table.

Tabel 2.6 *Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity*

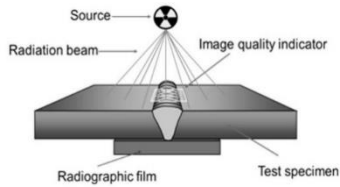
| Set A | | | Set B | | |
|--------------------|--------|---------------|--------------------|--------|---------------|
| Wire Diameter, in. | (mm) | Wire Identity | Wire Diameter, in. | (mm) | Wire Identity |
| 0.0032 | (0.08) | 1 | 0.010 | (0.25) | 6 |
| 0.004 | (0.10) | 2 | 0.013 | (0.33) | 7 |
| 0.005 | (0.13) | 3 | 0.016 | (0.41) | 8 |
| 0.0063 | (0.16) | 4 | 0.020 | (0.51) | 9 |
| 0.008 | (0.20) | 5 | 0.025 | (0.64) | 10 |
| 0.010 | (0.25) | 6 | 0.032 | (0.81) | 11 |

| Set C | | | Set D | | |
|--------------------|--------|---------------|--------------------|--------|---------------|
| Wire Diameter, in. | (mm) | Wire Identity | Wire Diameter, in. | (mm) | Wire Identity |
| 0.032 | (0.81) | 11 | 0.100 | (2.54) | 16 |
| 0.040 | (1.02) | 12 | 0.126 | (3.20) | 17 |
| 0.050 | (1.27) | 13 | 0.160 | (4.06) | 18 |
| 0.063 | (1.60) | 14 | 0.200 | (5.08) | 19 |
| 0.080 | (2.03) | 15 | 0.250 | (6.35) | 20 |
| 0.100 | (2.54) | 16 | 0.320 | (8.13) | 21 |

Kemudian didapatkan data *wire diameter* berdasarkan data yang diperoleh pada tahap sebelumnya. *Wire diameter* menunjukkan ukuran cacat atau diskontinuitas terkecil yang dapat terlihat pada *film* radiografi tersebut. *Wire identity* menunjukkan nomor *wire* minimal yang muncul pada *film*.

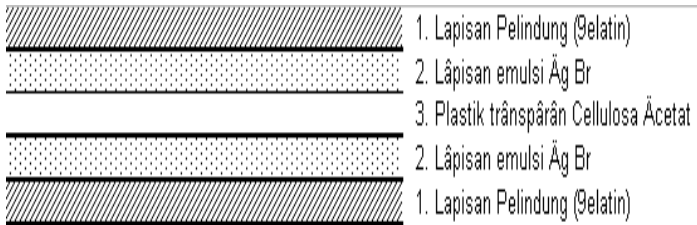
2.11.8 *Film Radiografi*

Salah satu alat yang digunakan dalam pengujian radiografi adalah *film*. *Film* berfungsi untuk merekam gambar benda uji yang diperiksa. Bahan dasar *film* terbuat dari bahan sejenis plastik transparan yaitu *cellulosa acetat*, yang mempunyai sifat *fleksibel*, ringan, tidak mudah pecah, dan tembus cahaya. Kedua permukaannya dilapisi suatu emulsi yang mengandung persenyawaan AgBr (perak bromida), untuk melindungi lapisan emulsi agar tidak cepat rusak maka di atasnya dilapisi lagi dengan gelatin, seperti pada Gambar 2.24 menunjukkan penyinaran menggunakan *film*.



Gambar 2.24 Penyinaran menggunakan *Film Radiografi*

Secara detail nama-nama bagian *film* radiografi dapat dilihat pada Gambar 2.25 berikut:



Gambar 2.25 Penampang *film* radiografi dan jenis bagiannya

2.11.9 Sensitivitas *Film Radiografi*

Sebelum *film* radiografi dipakai sebagai alat uji tanpa merusak, kita harus mengetahui seberapa akurat alat tersebut. Sensitivitas *film* radiografi adalah fungsi dari *contrast* dan *definition* dari *film* radiografi tersebut. Sensitivitas radiografi berhubungan dengan ukuran detail diskontinuitas terkecil yang dapat dilihat pada *film* hasil radiografi atau kemudahan gambar detail diskontinuitas terkecil untuk dapat dideteksi. Sensitivitas radiografi memiliki kualitas citra yang baik maka dapat mendeteksi diskontinuitas yang baik. Dalam setiap pengujian radiografi digunakan alat uji *standart* yang disebut penetrometer atau yang sering disebut *image quality indicator* (IQI). Pemilihan parameter dan penempatannya harus sesuai dengan *standart* yang digunakan.

IQI ada 2 macam yaitu *wire* dan *hole*, akan tetapi semakin seringnya penggunaan radiografi dalam pengujian sering sekali menggunakan type *wire* dikarenakan lebih

praktis dan tentunya cepat tidak seperti halnya IQI hole karena harus terlebih dahulu mengukur tebal yang akan diuji dengan radiografi sehingga apabila ada perbedaan ketebalan maka diberi pemasangan ganjal IQI atau yang sering disebut “shims”, maka pengujian ini memilihlah IQI yang bermodelkan *wire* atau yang sering disebut kawat *standart* IQI ASTM/ASME yang terdiri atas 21 kawat, yang disusun menjadi 4 set dimana setiap set berisi 6 kawat.



Gambar 2.26 *Wire image quality indicator*

Sensitivitas indikator kualitas bayangan tipe kawat adalah persentase perbandingan diameter kawat terkecil yang tergambar pada *film* hasil uji radiografi terhadap ketebalan material. Fungsi IQI antara lain:

1. Digunakan sebagai media pengukur tingkat kualitas radiografi
2. Menentukan kualitas gambar radiografi

2.11.10 Densitas (Kehitaman) *Film* Radiografi

Densitas *film* radiografi ialah tingkat kegelapan pada *film* radiografi yang telah selesai diproses dan densitas radiografi dilakukan pada daerah pemeriksaan atau yang biasa disebut *area of interest* pada densitas minimal dan maksimal namun bukan pada tempat yang ditafsirkan sebagai sebuah diskontinuitas. *Film* radiografi dinyatakan memenuhi kualitas

bila densitas yang diukur pada tempat-tempat diatas memiliki rentang tertentu, yang nilainya tergantung pada prosedur atau spesifikasi ataupun *standart* yang digunakan. Pada ASME Sec.V 2015 untuk *gamma-ray* mempunyai rentang nilai densitas 2 sampai 4. Selain itu ASME Sec.V 2015 juga menetapkan batasan variasi densitas tidak mengijinkan -15% dan +30%.

Densitometer adalah sebuah peralatan ilmiah yang dirancang untuk mengukur tingkat kehitaman suatu *film* radiografi dengan *output* menunjukkan suatu angka tingkat kehitaman.



Gambar 2.27 Densitometer

2.11.11 Interpretasi Hasil *Film* Radiografi

Setelah dilakukan penembakan lalu dilakukan interpretasi terhadap *film* radiografi menggunakan alat *viewer* dan alat mengukur tingkat kegelapan yaitu densitometer. Interpretasi bertujuan untuk melihat dan menentukan suatu cacat pada produk pengelasan, densitas, variasi densitas, dan sensitivitas *film* radiografi. Yang kemudian hasil dari interpretasi akan dinilai dan dibandingkan dengan *film-film* dari hasil berbeda kondisi dan berbagai *source film distance* penembakan radiografi. Penilaian akan dilihat pada densitas, variasi densitas dan sensitivitas apa sudah memenuhi syarat keberterimaan sesuai ASME Sec.V 2010.



Gambar 2.28 *Viewer*

2.11.12 Klasifikasi jenis *film* radiografi

Film radiografi diklasifikasikan dengan cara mengkombinasikan faktor – faktor dan karakteristik *film*.

Setiap perusahaan *film* memproduksi berbagai macam jenis *film* yang dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Film screen fluorescent* yaitu *film* yang dalam penggunaannya memerlukan *screen* pengintensif *fluorescent* dan dapat menghasilkan *film* dengan penyinaran yang minimum.
2. *Film langsung* yaitu *film* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan *screen* atau untuk penyinaran menggunakan *screen* timbal.

Tabel 2.7 Film AGFA GEVAERT

| Jenis Film | Faktor Paparan Relatif | | | | | Kelas ISO | Kelas DIN | Kelas ASTM |
|------------|------------------------|--------|--------|-------|-----------------|-----------|-----------|------------|
| | 100 kV | 200 kV | Ir-192 | Co-60 | LINAC/ 8 MeV | | | |
| D2 | 10,6 | 8,7 | 9 | 10 | 10 | GI | G1 | Spesial |
| D3 | 10,6 | 8,7 | - | - | - | GI | G1 | I |
| D3 | 4,1 | 4,2 | 5 | 5,1 | 5,1 | GI | G1 | I |
| D4 | 3,1 | 2,6 | 3 | 3,1 | 3,1 | GI | G2 | I |
| D5 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | GII | G2 | I |
| D7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | GIII | G3 | II |
| D8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | GIII | G4 | II |
| D6R | 2 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,3 | GIII | - | II |

Setiap perusahaan *film* memproduksi berbagai macam jenis *film* yang dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Film screen fluorescent* yaitu *film* yang dalam penggunaannya memerlukan *screen* pengintensif *fluorescent* dan dapat menghasilkan *film* dengan penyinaran yang minimum.
2. *Film* langsung yaitu *film* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan *screen* atau untuk penyinaran menggunakan *screen* timbal.

2.11.13 Pemilihan *film* radiografi

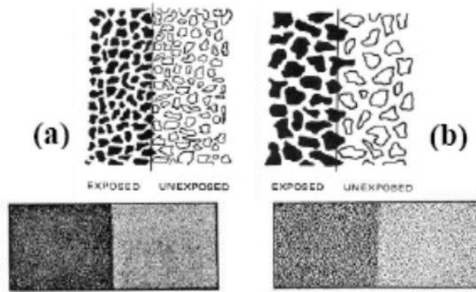
Pemilihan *film* untuk radiografi tergantung pada beberapa faktor yang berbeda. Faktor tersebut harus dipertimbangkan saat memilih *film* dan mengembangkan teknik radiografi. Faktor – faktor tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Komposisi, bentuk, dan ukuran dari bagian yang akan diperiksa. Pada beberapa kasus dipertimbangkan pula berat dan lokasinya.
2. Tipe dari radiasi yang digunakan seperti sinar- γ dari sumber radioaktif atau sinar-x dari sistem pembangkit sinar-x.
3. Intensitas dari sumber radiasi sinar- γ atau tegangan yang tersedia dari pesawat sinar-x.
4. Tingkat detail dari gambar hasil radiografi dan segi ekonomi.

Pemilihan *film* untuk radiografi pada benda uji terutama tergantung dari ketebakan dan jenis material yang diuji serta rentang intensitas sumber (C_i) yang tersedia pada sumber *gamma-ray*. Pemilihan *film* juga tergantung kepada kualitas radiografi yang diinginkan dan waktu penyinaran. Jika kualitas radiografi yang diinginkan berkualitas tinggi maka digunakan *film* lambat (*film* dengan butiran lebih halus) harus digunakan. Jika menginginkan waktu penyinaran yang pendek maka digunakan *film* cepat.

Untuk detail butiran *film* dapat dilihat pada Gambar 2.33 dibawah ini. Butiran *film* mempengaruhi *definition film*

radiografi. *Film* berbutir besar (*film* cepat) seringkali dipakai untuk mengurangi waktu eksposur sedangkan *film* berbutir kecil (*film* lambat) menghasilkan *definition* terbaik.



Gambar 2.29 Struktur butir *film* lambat (a) dan *film* cepat (b)
2.11.14 Pemrosesan *film* radiografi

Saat eksposur selesai dilakukan, selanjutnya *film* diproses sehingga citra *laten* yang dihasilkan oleh radiasi akan nampak. Pada dasarnya terdapat tiga larutan pemroses yang dipakai untuk mengubah suatu *film* yang telah terekspose menjadi *film* radiografi. Langkah – langkah pemrosesan *film* berdasarkan urutan larutan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Developer*

Developer adalah suatu larutan kombinasi zat kimia yang masing-masing memiliki fungsi penting. Salah satu zat kimianya adalah *reducer* yang terbuat dari *metol* atau *hydroquinone*. Fungsinya adalah untuk mereduksi butiran perak bromida yang terekspose menjadi logam perak berwarna hitam. Seluruh bagian *film* tidak berubah menjadi hitam karena *reducer* dapat membedakan antara butiran yang terekspose dengan yang tidak terekspose. Densitas (tingkat kegelapan) ditentukan oleh jumlah butiran perak bromida yang direduksi oleh *developer*.

2. *Stop Bath*

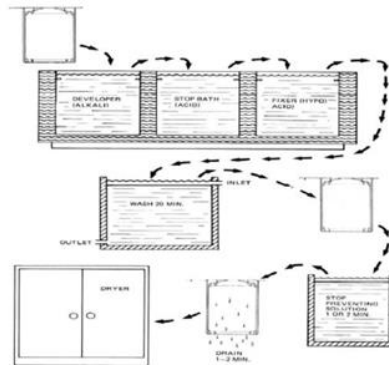
Apabila sebuah *film* dikeluarkan dari dalam larutan *developer* maka sejumlah kecil larutan basa akan tertinggal di *film* tersebut. Zat kimia yang digunakan di dalam *stop bath* biasanya adalah asam asetat glacial. *Stop*

bath memiliki dua fungsi yaitu:

- Menghentikan aksi *developing* dengan cara menetralkan zat basa *developer* (basa dan asam saling menetralkan).
- Menetralkan zat basa *developer* sebelum *film* dimasukkan ke dalam cairan *fixer* sehingga memperpanjang usia *fixer*.

3. *Fixer*

Fixer secara permanen mengefixkan citra pada *film*. Di dalam *developer*, butiran perak bromida direduksi menjadi logam perak. *Fixer* menghilangkan semua butiran perak yang tidak terekspos dari dalam *film*. Di dalam proses *fixing* terdapat dua tahap yang terpisah. Setelah pemrosesan dengan zat kimia, *film* dicuci dan dikeringkan. *Film* tersebut kadang kala dicelupkan dalam suatu larutan untuk mencegah timbulnya bintik-bintik air. Larutan ini membuat air mudah membasahi *film* dan menghasilkan pengeringan merata. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 2.30 dibawah ini.



Gambar 2.30 Skema diagram pemrosesan *film* radiografi

2.12 Uji Makro

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography.

Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan miroskop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

Pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro

- Pengujian makro

Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu.

Tabel 2.8 Etsa untuk uji makro tembaga dan tembaga paduan

Procedure for use: immerse at room temperature, rinse in warm water, dry

| Composition | Copper or copper alloys | Comments |
|---|--|---|
| 1. 50 mL HNO ₃ , 0.5 g AgNO ₃ (silver nitrate), 50 mL H ₂ O | All coppers and copper alloys | Produces a brilliant, deep etch |
| 2. 10 mL HNO ₃ and 90 mL H ₂ O | Coppers and all brasses | Grains; cracks and other defects |
| 3. 50 mL HNO ₃ and 50 mL H ₂ O(a) | Coppers, all brasses, aluminum bronze(b) | Same as above; reveals grain contrast |
| 4. 30 mL HCl, 10 mL FeCl ₃ , 120 mL H ₂ O or methanol | Coppers and all brasses | Same as etchant above(c) |
| 5. 20 mL acetic acid, 10 mL 5% CrO ₃ , 5 mL 10% FeCl ₃ , 100 mL H ₂ O(d) | All brasses | Produces a brilliant, deep etch |
| 6. 2 g K ₂ Cr ₂ O ₇ , 4 mL saturated solution of NaCl, 8 mL H ₂ SO ₄ , 100 mL H ₂ O(e) | Coppers, high-copper alloys, phosphor bronze | Grain boundaries, oxide inclusions |
| 7. 40 g CrO ₃ , 7.5 g NH ₄ Cl (ammonium chloride), 50 mL HNO ₃ , 8 mL H ₂ SO ₄ , 100 mL H ₂ O | Silicon brass, silicon bronze | General macrostructure |
| 8. 45 mL acetic acid and 45 mL HNO ₃ | Copper | Grain boundary and microetch by polish attack |
| 9. Saturated (HN ₃) ₂ S ₂ O ₈ (ammonium persulfate) | Copper and copper alloys | Use after the acetic acid listed above; increases contrast of brass |
| 10. 40 mL HNO ₃ , 20 mL acetic acid, 40 mL H ₂ O | Copper and copper alloys | Macroetch 90-10, 70-30 and leaded brass |

(a) Solution should be agitated during etching to prevent pitting of some alloys. (b) Aluminium bronzes may form smut, which can be removed by brief immersion in concentrated HNO₃. (c) Excellent for grain contrast. (d) Amount of water can be varied as desired. (e) Immerse specimen 15-30 min; then scrub with fresh solution.

2.13 Uji Kekerasan

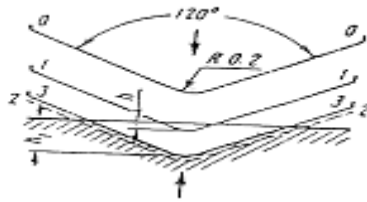
Pengujian kekerasan adalah salah satu pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu bahan. Di dalam aplikasi manufaktur, material diuji untuk dua pertimbangan, sebagai riset karakteristik suatu material baru dan juga sebagai suatu analisa mutu untuk memastikan bahwa contoh material tersebut menghasilkan spesifikasi kualitas tertentu.

Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (Friction Force), dalam hal ini bidang keilmuan yang berperan penting mempelajarinya adalah Ilmu Bahan Teknik (Metallurgy Engineering). Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan menekan alat penekan tertentu pada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya, cara ini dinamakan cara uji kekerasan dengan penekanan (brinell). Di dunia teknik, pengujian kekerasan umumnya menggunakan 3 metode yaitu :

- Brinell (HB/BHN)
- Rockwell (HR/RHN)
- Vickers (HV/VHN)

2.13.1 Uji Kekerasan Rockwell

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indenter, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter. Pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaannya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.31 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

- 0-0 Posisi sebelum indentasi
- 1-1 Penetrasi pada saat beban awal P1
- 2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh (P1+P)
- 3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P1

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm.

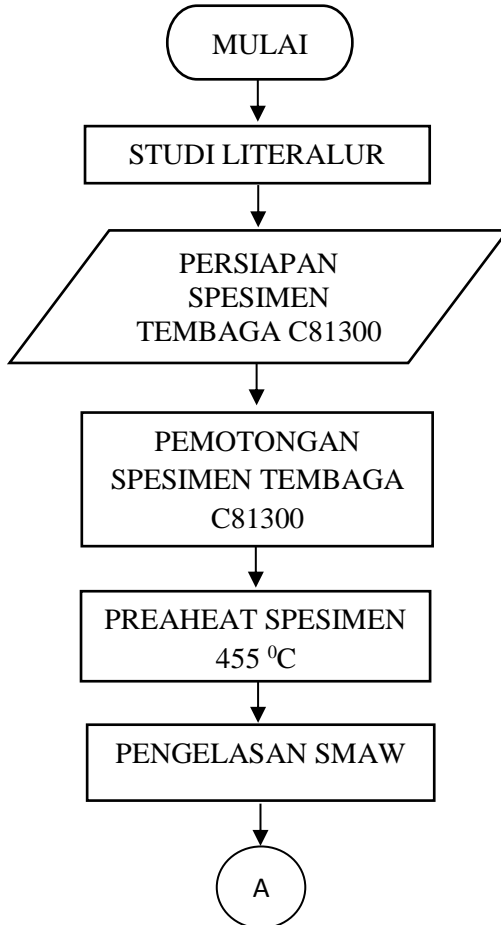
Tabel 2.9 Skala Uji Kekerasa *Rockwell*

| Skala | Penekan | Beban | | | Skala Kekerasan | Warna Angka |
|-------|----------------------------|-------|-------|--------|-----------------|-------------|
| | | Awal | Utama | Jumlah | | |
| A | Kerucut intan 120° | 10 | 50 | 60 | 100 | Hitam |
| B | Bola baja 1,558 mm (1/16") | 10 | 90 | 100 | 130 | Merah |
| C | Kerucut intan 120° | 10 | 140 | 150 | 100 | Hitam |
| D | Kerucut intan 120° | 10 | 90 | 100 | 100 | Hitam |
| E | Bola baja 3,175 mm (1/8") | 10 | 90 | 100 | 130 | Merah |
| F | Bola baja 1,558 mm | 10 | 50 | 60 | 130 | Merah |
| G | Bola baja 1,558 mm | 10 | 140 | 150 | 130 | Merah |
| H | Bola baja 3,175 mm | 10 | 50 | 60 | 130 | Merah |
| K | Bola baja 3,175 mm | 10 | 140 | 150 | 130 | Merah |
| L | Bola baja 6,35 mm (1/4") | 10 | 50 | 60 | 130 | Merah |
| M | Bola baja 6,35 mm | 10 | 90 | 100 | 130 | Merah |
| P | Bola baja 6,35 mm | 10 | 140 | 150 | 130 | Merah |
| R | Bola baja 12,7 mm (1/2") | 10 | 50 | 60 | 130 | Merah |
| S | Bola baja 12,7 mm | 10 | 90 | 100 | 130 | Merah |
| V | Bola baja 12,7 mm | 10 | 140 | 150 | 130 | Merah |

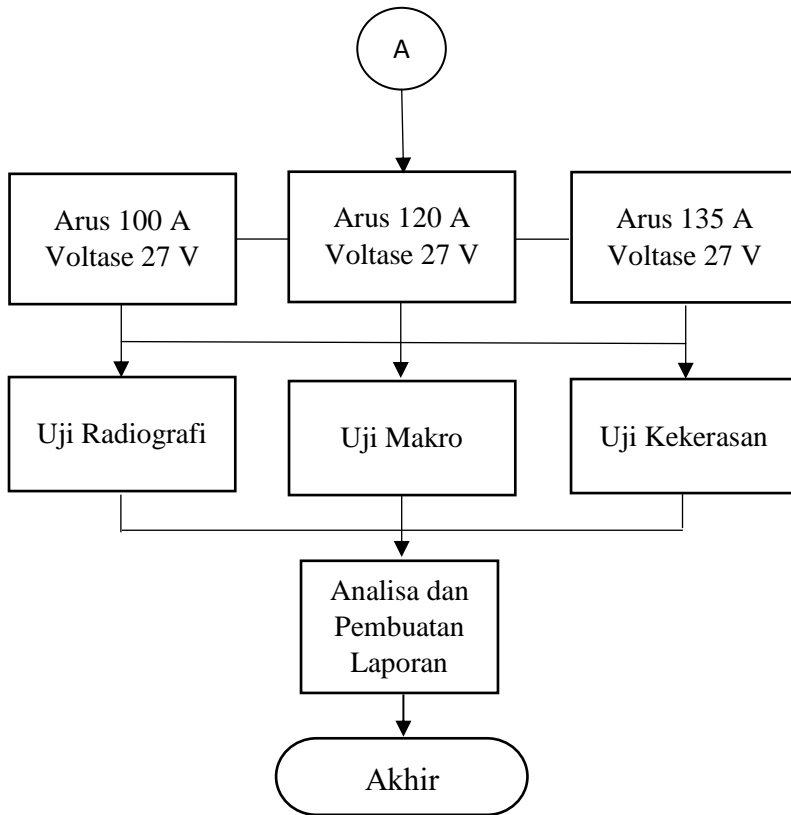
BAB III METODOLOGI

3.1 *Flow Chart Penelitian*

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2 pada diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart Diagram*



Gambar 3.2 *Flow Chart* Diagram (Lanjutan)

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2017/2018 yaitu pada bulan Februari sampai dengan Juni 2018.

3.3 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Lab Metalurgi Departemen Teknik Mesin ITS Fakultas Vokasi dan Lab pengujian NDT sebagai tempat analisa.

3.4 Langkah Kerja

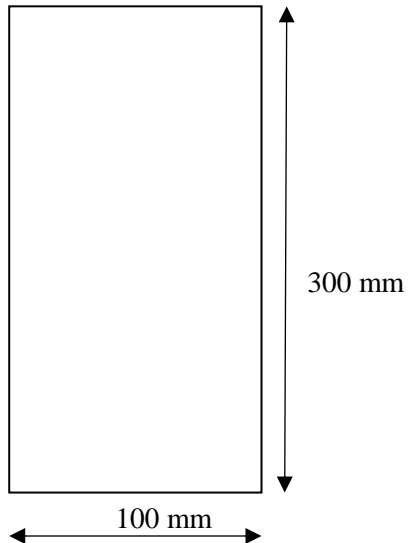
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang dasar diagram fase tembaga dan sifat mekaniknya. Kemudian studi literatur pengujian NDT serta dilanjutkan pada fokus pengujian ultrasonik. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan.

3.4.1 Studi Literatur

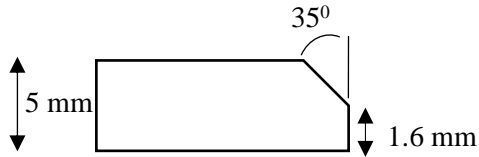
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.4.2 Persiapan dan Pemotongan Material

Material yang digunakan adalah Tembaga C81300 dengan dimensi 300 mm x 100 mm dan tebal 5 mm. Material tersebut kemudian dibevel dengan sudut 35° :



Gambar 3.3 Dimensi Material



Gambar 3.4 Sudut Bevel 35°



Gambar 3.5 Benda Kerja Tembaga C81300

Tabel 3.1 Logam Induk dan Pengisi

| NAMA | KETERANGAN |
|----------------------------|------------|
| Material Spesification | C81300 |
| Tebal | 5 mm |
| AWS Classification | NS 9050 |
| Filler metal diameter (mm) | 3,2 mm |
| Posisi pengelasan | 1G |

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

| Parameter | Layer | |
|-------------------------|---------------|---------------|
| | 1 (root) | 2 (back weld) |
| Proses | SMAW | SMAW |
| Travel speed,mm/min | 150 | 150 |
| Amperage | 100, 120, 135 | 100, 120, 135 |
| Polaritas AC/DC | DC(+) | DC(+) |
| Voltage | 27 | 27 |
| Electrode diameter (mm) | 3,2 | 3,2 |

3.4.3 Persiapan Alat

Alat yang perlu dipersiapkan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin las SMAW
2. Mesin Gerinda
3. Alat Uji Radiografi
4. Alat Uji Makro Etsa
5. Alat Uji Kekerasan
6. Stopwatch

3.4.4 Persiapan Spesimen (Benda Kerja)

Dalam penelitian ini harus dipersiapkan spesimen awal dengan rincian adalah sebagai berikut :

- Plat Tembaga C81300 dengan dimensi 300 mm x 100 mm x 5 mm sebanyak 6 lembar
- Bagian plat yang akan di las diratakan dan dibentuk sudut bevel dengan sudut 35° seperti gambar 3.4 dengan mesin milling atau mesin gerinda tangan
- Pembersihan terhadap kotoran yang ada dipermukaan material yang akan di las dengan gerinda tangan
- Spesimen siap di las

3.5 Pengelasan

Dalam penelitian ini, jenis las yang digunakan adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Dalam proses pengelasan ini dilakukan dengan parameter yang telah ditentukan adalah sebagai berikut :

1. Pengelasan dengan besar heat input 1224.239 J/mm
2. Pengelasan dengan besar heat input 1306.452 J/mm
3. Pengelasan dengan besar heat input 1314.401 J/mm
4. Posisi pengelasan 1 G
5. Sambungan butt joint V groove dengan sudut 70°

Proses pengelasan dilakukan setelah dilakukannya pembuatan groove pada masing-masing plat, infrared thermometer

untuk melihat suhu preaheat, dan persiapan ampere meter untuk melihat besar arus. Berikut ini proses pengelasan yang dilakukan



Gambar 3.6 Perisapan Proses Pengelasan



Gambar 3.7 Filler NS 9050 diameter 3,2 mm



Gambar 3.8 Spesifikasi dan Parameter Filler NS 9050

Dari gambar 3.8 tertulis penggunaan elektrode NS 9050 harus dikeringkan dalam oven selama 30 menit dengan suhu 80^o C. Rekomendasi arus AC atau DC dengan besar arus antara 80 – 120 A.



Gambar 3.9 Amperemeter



Gambar 3.10 Mesin Las



Gambar 3.11 *Infrared Thermometer*

3.6 Parameter Pengelasan

Berikut ini parameter yang digunakan saat melakukan pengelasan:

Tabel 3.3 Tembaga C81300

| NAMA | KETERANGAN |
|------------------------|----------------|
| Material Spesification | Tembaga C81300 |
| Tebal | 5 mm |
| Filler metal diameter | 3.2 mm |
| Posisi pengelasan | 1G |
| Elektroda | NS 9050 |
| Preheat | 455 °C |
| Travel Speed | 4.4 mm/s |

Tabel 3.4 Data Primer Pengelasan

| Panjang Pengelasan Spesimen = 300 mm | | | | |
|--------------------------------------|-----------|--------|------------|-----------------------|
| Variasi Besar Heat Input | No. Layer | Waktu | Kecepatan | Kecepatan Rata - rata |
| 1244.239 J/mm | 1 | 5' 2" | 0.993 mm/s | 1.736 mm/s |
| | 2 | 2' 1" | 2.479 mm/s | |
| 1306.452 J/mm | 1 | 4' 25" | 1.132 mm/s | 2.232 mm/s |
| | 2 | 1' 30" | 3.333 mm/s | |
| 1314.401 J/mm | 1 | 4' 59" | 1.003 mm/s | 1.972 mm/s |
| | 2 | 1' 42" | 2.941 mm/s | |

3.7 Pengujian Benda Kerja

Seluruh spesimen hasil dari pengelasan menggunakan filler NS 9050 dengan heat input 1244.239 J/mm, 1306.452 J/mm, 1314.401 J/mm.

3.7.1 Pengujian Radiografi

Untuk pengujian radiografi dilakukan pengambilan spesimen total 3 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 3 spesimen yaitu spesimen dengan heat input 1244.239 J/mm, 1306.452 J/mm, 1314.401 J/mm.



Gambar 3.12 Alat uji radiografi Ir – 192

Langkah-langkah pengujian radiografi :

- 1) Menyiapkan spesimen
 - Ambil spesimen dan bersihkan dari kotoran
 - Bersihkan bekas-bekas *slug* jika masih terdapat pada plat
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen
 - 2) Pemberian identitas pada spesimen dan film
 - Ambil spesimen dan ukur dimensinya
 - Menempelkan blok huruf-huruf lalu di plester di bagian belakang spesimen sebagai identitas yang akan tampak pada hasil radiografi
 - Tempelkan film AGFA D7 pada bagian belakang spesimen yang akan di uji radiografi
 - Pemilihan Image Quality Indicator dan menempelkan kawat peny diatas benda kerja
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh spesimen.
- Pemilihan *Wire IQI (Image Quality Indicator)*

Tabel 3.5 Pemilihan *image quality indicator*

| Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm) | IQI | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| | Source Side | | | Film Side | | |
| | Hole-Type Designation | Essential Hole | Wire-Type Essential Wire | Hole-Type Designation | Essential Hole | Wire-Type Essential Wire |
| Up to 0.25, incl. (6.4) | 12 | 2T | 5 | 10 | 2T | 4 |
| Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5) | 15 | 2T | 6 | 12 | 2T | 5 |
| Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7) | 17 | 2T | 7 | 15 | 2T | 6 |
| Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0) | 20 | 2T | 8 | 17 | 2T | 7 |
| Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4) | 25 | 2T | 9 | 20 | 2T | 8 |
| Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1) | 30 | 2T | 10 | 25 | 2T | 9 |
| Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8) | 35 | 2T | 11 | 30 | 2T | 10 |
| Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5) | 40 | 2T | 12 | 35 | 2T | 11 |
| Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6) | 50 | 2T | 13 | 40 | 2T | 12 |
| Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4) | 60 | 2T | 14 | 50 | 2T | 13 |
| Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2) | 80 | 2T | 16 | 60 | 2T | 14 |
| Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0) | 100 | 2T | 17 | 80 | 2T | 16 |
| Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8) | 120 | 2T | 18 | 100 | 2T | 17 |
| Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4) | 160 | 2T | 20 | 120 | 2T | 18 |
| Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0) | 200 | 2T | 21 | 160 | 2T | 20 |

Table 3.6 Wire IQI designation, wire diameter, and wire identity

| Set A | | | Set B | | |
|-------------------------|---------------|--|-------------------------|---------------|--|
| Wire Diameter, in. (mm) | Wire Identity | | Wire Diameter, in. (mm) | Wire Identity | |
| 0.0032 (0.08) | 1 | | 0.010 (0.25) | 6 | |
| 0.004 (0.10) | 2 | | 0.013 (0.33) | 7 | |
| 0.005 (0.13) | 3 | | 0.016 (0.41) | 8 | |
| 0.0063 (0.16) | 4 | | 0.020 (0.51) | 9 | |
| 0.008 (0.20) | 5 | | 0.025 (0.64) | 10 | |
| 0.010 (0.25) | 6 | | 0.032 (0.81) | 11 | |

- 3) Pengujian pada spesimen.
 - Mencatat data mesin pada benda kerja.
 - Penempatan spesimen pada ujung penyinaran dari alat uji radiografi
 - Atur ketinggian dari ujung penyinaran uji radiografi terhadap benda kerja yang akan diuji
 - Penyinaran yang dilakukan yakni SWSV (*Single Wall Single Viewing*)
 - Menjauh dari benda kerja yang akan di uji sampai zona aman radiasi
 - Lakukan penyinaran pada benda kerja.
- 4) Pencucian *film* setelah proses radiografi
 - Setelah aman lalu ambil benda kerja dan lepaskan film untuk dilakukan pencucian
 - Cuci film dengan menggunakan cairan *developer, stopbath, fixer*
 - Lama pencucian
 - Developer* : 300 detik
 - Stopbath* : 300 detik
 - Fixer* : 600 detik
- 5) Evaluasi *film* hasil uji radiografi
 - Ukur tingkat kehitaman *film* dengan densitometer dan bandingkan nilai yang dihasilkan dengan yang diijinkan pada pengujian radiografi (nilai yang diijinkan yakni 2-4)
 - Lihat hasil uji radiografi berupa film pada viewer
 - Ulangi langkah diatas unruk seluruh spesimen.

Berikut urutan proses pengujian radiografi :



Gambar 3.13 Persiapan Spesimen



Gambar 3.14 Proses Uji Radiografi



Gambar 3.15 Proses Pencucian Film



Gambar 3.16 Cairan *Developer*, *Stop bath*, *Fixer*



Gambar 3.17 *Viewer*

3.7.2 Pengujian Makro

Untuk proses Pengujian makro test

- Makro test
Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan HNO_3 + Alkohol dengan perbandingan 60 + 40, maka bagian *Weld Metal*, *HAZ*, dan *Base Metal* akan terlihat.

Prosedur pengujian makro adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji
Benda kerja di belah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian makro dilakukan pada 1 bidang pada satu spesimen.

2. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan dilakukan menggunakan mesin *grinding* dengan tingkat kekasaran kertas gosok mulai dari 100, 400, 800, 1000 dan 1500 dengan disertai aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melautkan geram. Setelah menggunakan kertas gosok, spesimen dipoles dengan menggunakan autosol dan kain jeans.
3. Spesimen yang sudah mengkilap disterilkan terlebih dahulu dengan alkohol. Kemudian direndam dalam cairan etsa (HNO_3) selama ± 1 menit sampai *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* terlihat. Kemudian spesimen dikeringkan dengan *hair dryer* dengan cepat. Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan benda uji (*Test piece*) :



Gambar 3.18 Spesimen Setelah Dipoles



Gambar 3.19 Alat dan Bahan untuk Proses Etsa



Gambar 3.20 Laturan Etsa *Nitric Acid* (HNO_3)



Gambar 3.21 Kertas Gosok



Gambar 3.22 Proses Etsa

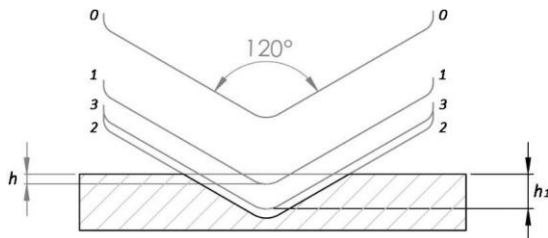
4. Pengambilan gambar makro dan mikro spesimen.



Gambar 3.23 Hasil Proses Etsa

3.7.3 Pengujian Kekerasan Rockwell

Dalam penelitian ini pengujian kekerasan Rockwell menggunakan indentor intan (HRA). Pada pelaksanaannya, pembebanan diawali dengan beban awal 10 kgf dan beban utama 50 kgf, sehingga beban total menjadi 60 kgf. Jarum penunjuk di set pada angka nol skala merah. Hal pertama yang dilakukan adalah pembebanan minor pada permukaan benda, kemudian beban mayor diberikan maka jarum penunjuk akan bergerak, tunggu sampai berhenti bergerak, setelah berhenti bergerak lihat angka kekerasan pada indikator skala dial di alat uji. Kemudian angkat pembebanan mayor seperti posisi 3-3 pada gambar 3.24



Gambar 3.24 Hasil Identasi *Rockwell Hardness Tester*

Keterangan :

(0-0) Posisi sebelum identasi

(1-1) Hasil identasi pembebanan *minor*

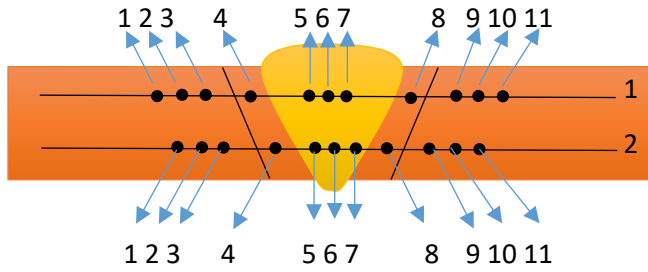
(2-2) Hasil identasi saat pembebanan *mayor*

(3-3) Hasil identasi hasil pembebanan *mayor*
dilepas

Perhatikan setiap langkah percobaan, gunakan Alat Pelindung Diri (APD) untuk meminimalisir dampak kecelakaan kerja.

1. Gunakan kertas gosok hingga permukaan (atas dan bawah) benda kerja rata, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, dan benda asing.
2. Memasang indentor pada *Housing Indentor* (gunakan indentor bola untuk *Rockwell A*)
3. *Dashpot*/pengatur beban diatur pada pembebanan *60 kgf* (untuk *Rockwell A*)
4. Putarlah *Handwheel* untuk mengangkat landasan dengan perlahan hingga jarum penunjuk kecil pada dial berada pada tanda merah atau jarum penunjuk besar berputar tiga kali dan berhenti dititik *0 (Minor Weight)*
5. Tariklah *Handle* untuk mengaplikasikan gaya uji utama (*Mayor Weight*), pada saat itu jarum penunjuk besar pada dial berputar berlawanan dengan arah jarum jam dan *Main Handle* bergerak ke posisi 1.
6. Tunggu jarum penunjuk besar berhenti, doronglah *Main Handle* pada kondisi semula (posisi 0) dengan perlahan .
7. Melihat dan mencatat angka kekerasan yang ditunjuk jarum besar pada skala dial (skala merah untuk *Rockwell A*).
8. Putarlah *Handwheel* untuk menurunkan landasan, lakukan identasi seperlunya di tempat yang berbeda pada spesimen (ulangi prosedur 4-8)
9. Ambil benda uji, lepaskan indentor dari *Housing Indentor*
10. Simpan indentor di tempat semula.

Menentukan titik kekerasan yang akan diuji pada bagian permukaan material. Titik yang diuji antara lain sebagai berikut :



Gambar 3.25 Sket Titik Indentasi Pengujian Kekerasan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

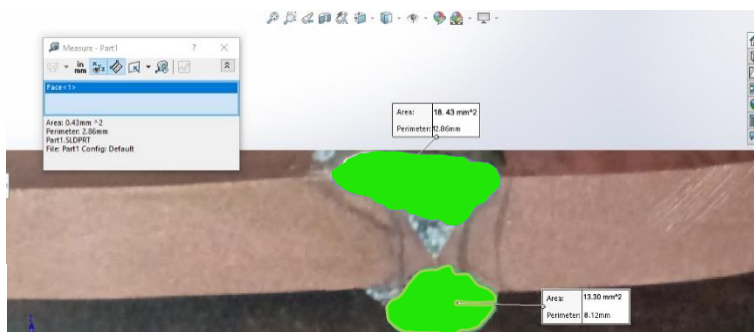
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil dari uji Tembaga C81300 yang telah dilas menggunakan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi heat input 1244.239 J/mm, 1306.452 J/mm, 1314.401 J/mm.

4.1 Perhitungan Heat Input

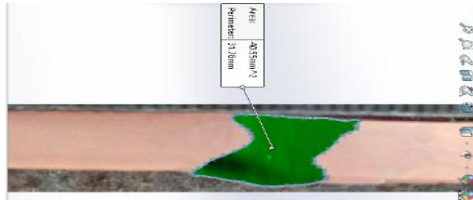
Tabel 4.1 Heat Input

| No . | Type Electroda | Preaheat °C | Arus (I) | Volt (E) | Travel speed (V) | Heat Input | Luas Weld Metal |
|------|-------------------------|-------------|----------|----------|------------------|---------------|-----------------------|
| 1 | NS 9050 diameter 3.2 mm | 455 | 100 A | 27 V | 1.736 mm/s | 1244.239 J/mm | 31.73 mm ² |
| 2 | NS 9050 diameter 3.2 mm | 455 | 135 A | 27 V | 2.232 mm/s | 1306.452 J/mm | 40.55 mm ² |
| 3 | NS 9050 diameter 3.2 mm | 455 | 120 A | 27 V | 1.972 mm/s | 1314.401 J/mm | 45.20 mm ² |



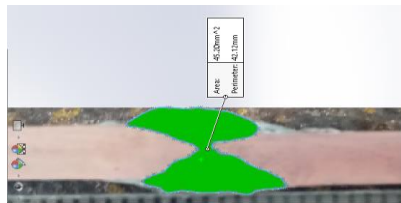
Gambar 4.1 Luas Weld Metal 31.73 mm² Variasi No. 1

Variasi 1 dengan heat input 1244.239 mm/J memiliki luasan weld metal 31.73 mm².



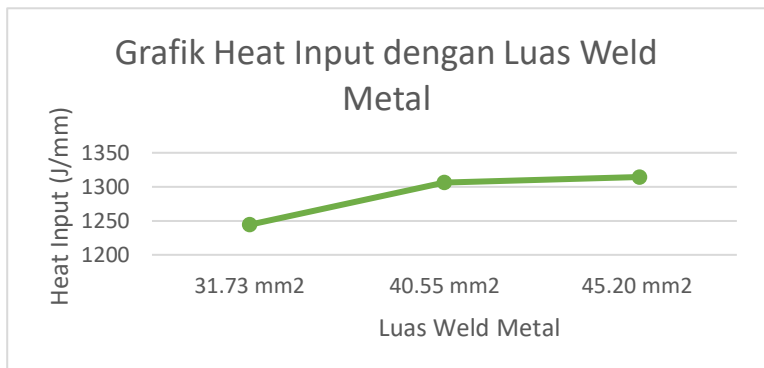
Gambar 4.2 Luas Weld Metal 40.55 mm² Variasi No. 2

Variasi 2 dengan heat input 1306.452 mm/J memiliki luasan weld metal 40.55 mm².



Gambar 4.3 Luas Weld Metal 45.20 mm² Variasi No. 3

Variasi 3 dengan heat input 1314.401 mm/J memiliki luasan weld metal 45.20 mm².



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Heat Input dengan Luas Weld Metal

4.2 Hasil Pengujian Radiografi

Pada Pengujian radiografi ini menggunakan 3 spesimen berdasarkan variasi heat input 1244.239 J/mm, 1306.452 J/mm, 1314.401 J/mm.

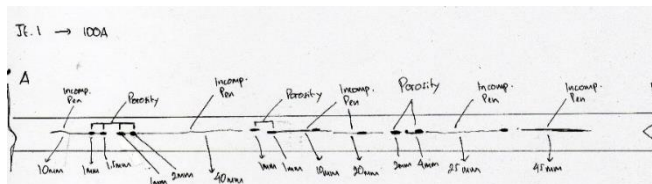
- Hasil uji radiografi pada plat tembaga C81300 pengelasan SMAW dengan variasi heat input 1244.239 J/mm.



Gambar 4.5 Hasil Lasan Variasi Heat Input 1224.239 J/mm



Gambar 4.6 Film Hasil Uji Radiografi Heat Input 1224.239 J/mm. (Gambar 4.5)



Gambar 4.7 Sket Film Hasil Uji Radiografi Variasi Heat Input 1224.239 J/mm. (Gambar 4.6)

Tabel 4.2 Klasifikasi Cacat Pada Material Heat Input 1224.239 J/mm (Gambar 4.7)

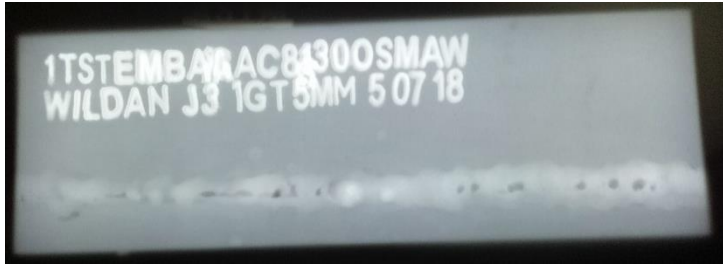
| BESAR HEAT INPUT | JENIS CACAT |
|------------------|--------------------|
| 1244.239 J/mm | <i>Porosity</i> |
| | <i>Incomp. Pen</i> |

Dari gambar diatas (Gambar 4.6) *film* hasil pengujian radiografi. dapat dikatakan bahwa pada material hasil lasan dengan Heat Input 1224.239 J/mm memiliki cacat *Porosity dan IP*. Cacat *porosity* ini merupakan salah satu cacat yang disebabkan oleh besar arus yang rendah, travel speed pengelasan yang terlalu rendah. Penanganan pada cacat *porosity* adalah dengan mengatur besar ampere yang sesuai dan mengatur travel speed. Untuk material seperti tembaga, faktor kestabilan suhu juga perlu diperhatikan saat proses pengelasan. Cacat *IP* disebabkan oleh travel speed yang kurang cepat, jarak gap yang terlalu kecil atau terlalu besar. Pencegahan dapat dilakukan dengan menyesuaikan travel speed sesuai WPS untuk filler NS 9050 travel speed yang direkomendasikan berkisar 4.4 mm/s, standart root atau gap antara 2-4 mm.

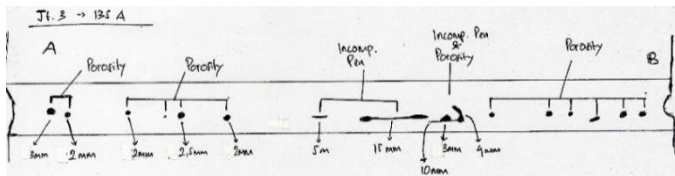
- Hasil uji radiografi pada plat tembaga C81300 pengelasan SMAW dengan variasi heat input 1306.452 J/mm.



Gambar 4.8 Hasil Lasan variasi heat input 1306.452 J/mm.



Gambar 4.9 Film Hasil Uji Radiografi Lasan heat input 1306.452 J/mm (Gambar 4.6)



Gambar 4.10 Sket Film Hasil Uji Radiografi dengan heat input 1306.452 J/mm (Gambar 4.9)

Tabel 4.3 Klasifikasi cacat pada material heat input 1306.452 J/mm (Gambar 4.10)

| BESAR HEAT INPUT | JENIS CACAT |
|------------------|--------------------|
| 1306.452 J/mm | <i>Porosity</i> |
| | <i>Incomp. Pen</i> |

Dari Gambar 4.9 *Film* hasil pengujian radiografi, dapat dikatakan bahwa pada material hasil lasan dengan besar arus 120 A memiliki cacat *Porosity dan IP* yang terlihat lebih panjang dari hasil lasan heat input 1306.452 J/mm (Gambar 4.8). Cacat *porosity* ini merupakan salah satu cacat yang disebabkan oleh besar arus yang rendah, travel speed pengelasan yang terlalu rendah. Penanganan pada cacat *porosity* adalah dengan mengatur besar ampere yang sesuai dan mengatur travel speed. Untuk material seperti tembaga, faktor kestabilan suhu juga perlu diperhatikan saat proses pengelasan. Cacat *IP* disebabkan oleh travel speed yang kurang cepat, jarak gap yang terlalu kecil atau terlalu besar.

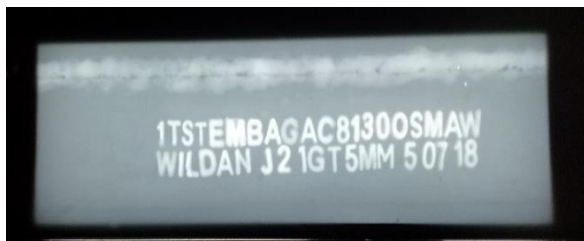
Pencegahan dapat dilakukan dengan menyesuaikan travel speed sesuai WPS untuk filler NS 9050 travel speed yang direkomendasikan berkisar 4.4 mm/s, standart root atau gap antara 2-4 mm.

- Hasil uji radiografi pada plat tembaga C81300 pengelasan SMAW dengan variasi heat input 1314.401

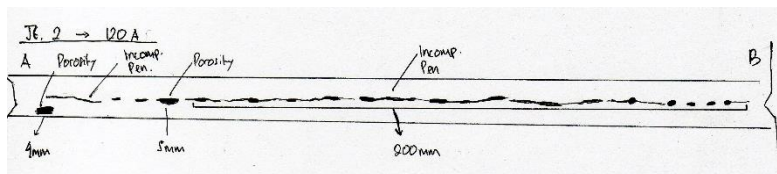


J/mm.

Gambar 4.11 Hasil Lasan Varasi heat input 1314.401 J/mm.



Gambar 4.12 Film Hasil Uji Radiografi Lasan dengan Variasi heat input 1314.401 J/mm (Gambar 4.11)



Gambar 4.13 Sket Film Hasil Uji Radiografi Lasan dengan Variasi heat input 1314.401 J/mm (Gambar 4.12)

Tabel 4.4 Klasifikasi cacat pada material arus heat input 1314.401 J/mm (Gambar 4.13)

| BESAR HEAT INPUT | JENIS CACAT |
|------------------|--------------------|
| 1314.401 J/mm | <i>Porosity</i> |
| | <i>Incomp. Pen</i> |

Dari gambar diatas (Gambar 4.12). *Film* hasil pengujian radiografi. dapat dikatakan bahwa pada material hasil lasan dengan besar heat input 1314.401 J/mm memiliki cacat *Porosity dan IP*. Cacat *porosity* pada variasi ini terlihat cacat *porosity* lebih mendominasi (Gambar 4.13). Cacat *porosity* ini merupakan salah satu cacat yang disebabkan oleh besar arus yang rendah, travel speed pengelasan yang terlalu rendah. Penanganan pada cacat *porosity* adalah dengan mengatur besar ampere yang sesuai dan mengatur travel speed. Untuk material seperti tembaga, faktor kestabilan suhu juga perlu diperhatikan saat proses pengelasan. Cacat *IP* disebabkan oleh travel speed yang kurang cepat, jarak gap yang terlalu kecil atau terlalu besar. Pencegahan dapat dilakukan dengan menyesuaikan travel speed sesuai WPS untuk filler NS 9050 travel speed yang direkomendasikan berkisar 4.4 mm/s, standart root atau gap antara 2-4 mm.

Tabel 4.5 Klasifikasi Kehitaman (Density) dan Sensitivitas Film

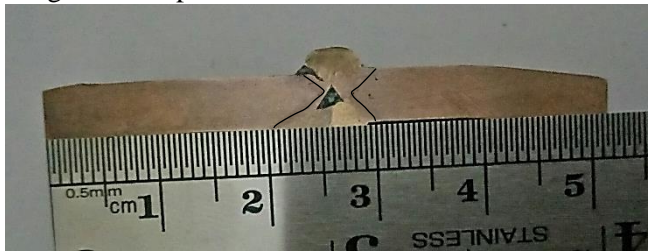
| Radioisotop Ir-192 | |
|----------------------------|------------------------------|
| Technique | : Single Wall Single Viewing |
| Image Quality Indicator | : Wire ASTM Set 1A |
| Exposure Time | : 50" |
| Source Film Distance (SFD) | : 295 mm |
| Placement | : Source Side |
| Kehitaman Film (Density) | : min 2- max 4 |

| Besar Heat Input | IQI | Density | |
|------------------|-----|---------|-----|
| | | Min | Max |
| 1244.239 J/mm | 5 | 2 | 4 |
| 1306.452 J/mm | 5 | 2 | 4 |
| 1314 J/mm | 5 | 2 | 4 |

4.2 Hasil Uji *Metallography (Makro Etsa)*

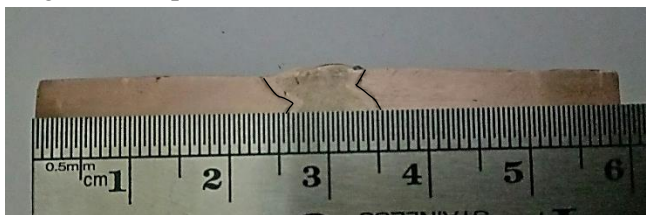
Pada pengujian metallografi makro etsa yang akan dilihat perbatasan daerah antara *base metal* .HAZ. *weld metal* serta luas dari HAZ. Pengukuran lebar HAZ menggunakan penggaris dengan ketelitian 0.5 mm. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah ini sebagai berikut:

- Hasil uji makro pada plat C81300 pengelasan SMA dengan heat input 1244.239 J/mm.



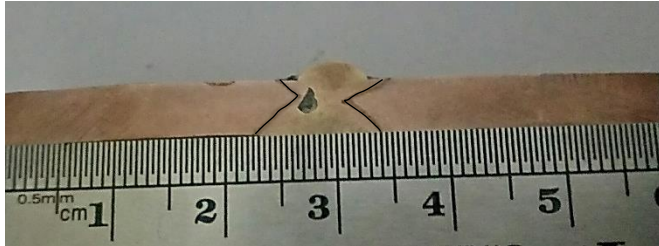
Gambar 4.14 Foto Makro Spesimen Hasil Lasan variasi Heat Input 1244.239 J/mm.

- Hasil uji makro pada plat C81300 pengelasan SMAW dengan heat input 1306.452 J/mm



Gambar 4.15 Foto Makro Spesimen Hasil lasan variasi heat input 1306.452 mm

- Hasil uji makro pada plat C81300 pengelasan SMAW dengan heat input 1314.401 J/mm.

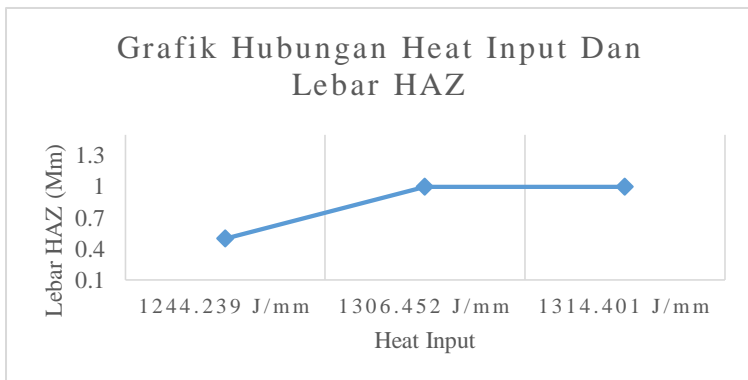


Gambar 4.16 Foto Makro Spesimen Hasil Lasan variasi heat input 1314.401 J/mm.

Tabel 4.6 Lebar HAZ Rata – Rata Pengaruh Variasi Besar Heat Input

| Besar Heat Input | Lebar HAZ (mm) |
|------------------|----------------|
| 1244.239 J/mm | 0.5 |
| 1306.452 J/mm | 1 |
| 1314.401 J/mm | 1 |

Dari tabel 4.6 dapat dapat lebar dari masing- masing spesimen dengan variasi besar heat input. Setelah mendapatkan lebar dari masing- masing variasi. Selanjutnya lebar tersebut dijadikan ke dalam bentuk grafik seperti di bawah ini.

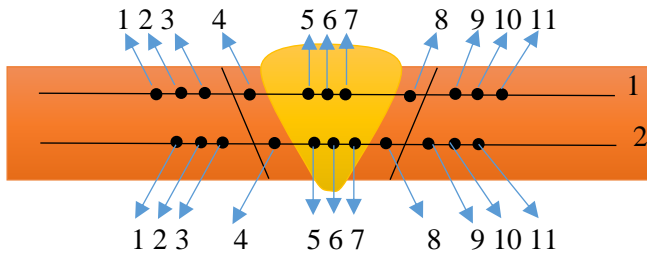


Gambar 4.17 Grafik Perbandingan HAZ Sebelah Kiri

Dari Gambar 4.17 grafik hubungan antara heat input dengan lebar HAZ dapat dilihat variasi heat input 1244.239 J/mm memiliki lebar 1.5 mm, variasi heat input 1306.452 J/mm memiliki lebar 2 mm, dan 1314.401 J/mm memiliki lebar terbesar yaitu 2.5 mm. Hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai heat input berbanding lurus dengan lebar HAZ. Semakin tinggi nilai heat input maka lebar HAZ juga akan semakin besar.

4.4 Hardness Test (Uji Kekerasan)

Pada pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari weld metal, base metal dan HAZ dari masing – masing hasil lasan dengan 3 variasi heat input. Yaitu 1244.239 J/mm, 1306.452 J/mm, 1314.401 J/mm. Berikut adalah sketsa pengambilan titik indentasi pada uji kekerasan.

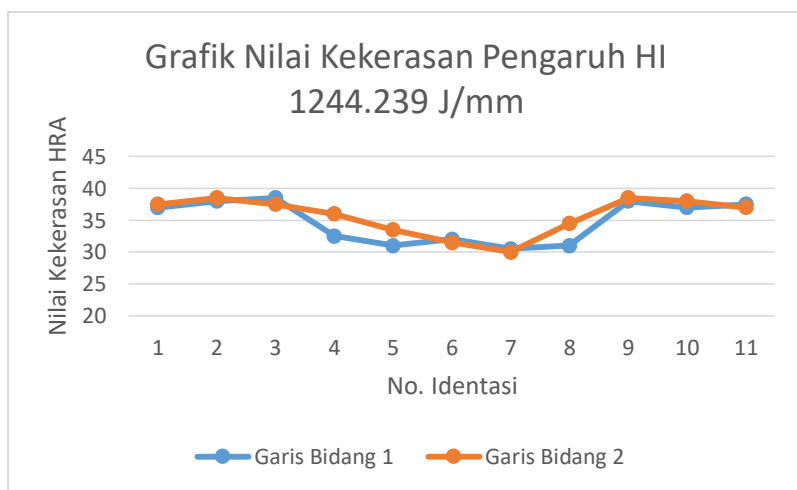


Gambar 4.18 Pengambilan Titik Identasi

Pengambilan data uji kekerasan dilakukan dengan 3 spesimen. yaitu setiap 1 variasi besar heat input pengambilan data dilakukan pada 1 spesimen. Berikut adalah hasil uji kekerasan yang telah dilakukan :

Tabel 4.7 Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1244.239 J/mm

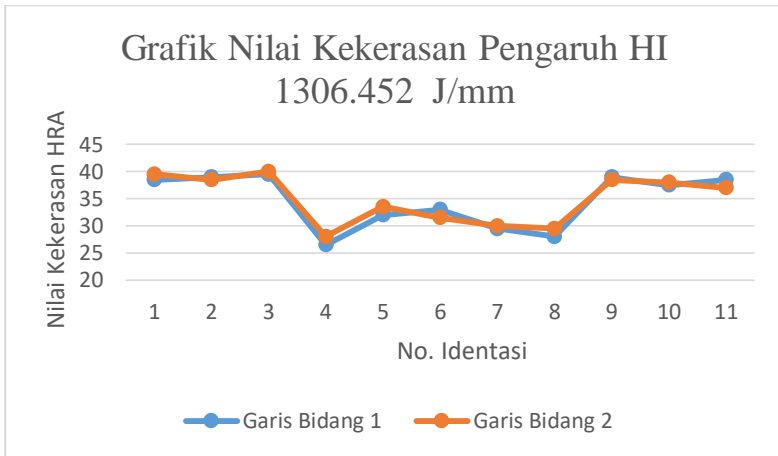
| Titik Indentasi | | Nilai Kekerasan (HRA) | |
|------------------|-----|-----------------------|------|
| | | Garis Bidang | |
| Daerah | No. | 1 | 2 |
| Base Metal Kiri | 1 | 37 | 37.5 |
| | 2 | 38 | 38.5 |
| | 3 | 38.5 | 37.5 |
| HAZ Kiri | 4 | 32.5 | 36 |
| Weld Metal | 5 | 31 | 33.5 |
| | 6 | 32 | 31.5 |
| | 7 | 30.5 | 30 |
| HAZ Kanan | 8 | 31 | 34.5 |
| Base Metal Kanan | 9 | 38 | 38.5 |
| | 10 | 37 | 38 |
| | 11 | 37.5 | 37 |



Gambar 4.19 Grafik Nilai Kekerasan Pengaruh HI 1244.239 J/mm

Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1306.452 J/mm

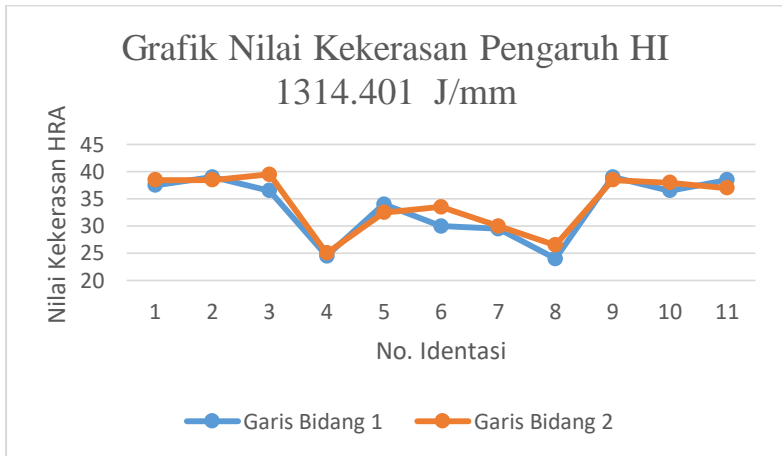
| Titik Indentasi | | Nilai Kekerasan (HRA) | |
|------------------|-----|-----------------------|------|
| | | Garis Bidang | |
| Daerah | No. | 1 | 2 |
| Base Metal Kiri | 1 | 38.5 | 39.5 |
| | 2 | 39 | 38.5 |
| | 3 | 39.5 | 40 |
| HAZ Kiri | 4 | 26.5 | 28 |
| Weld Metal | 5 | 32 | 33.5 |
| | 6 | 33 | 31.5 |
| | 7 | 29.5 | 30 |
| HAZ Kanan | 8 | 28 | 29.5 |
| Base Metal Kanan | 9 | 39 | 38.5 |
| | 10 | 37.5 | 38 |
| | 11 | 38.5 | 37 |



Gambar 4.20 Grafik Nilai Kekerasan Pengaruh HI 1304.452 J/mm

Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan Heat Input 1314.401 J/mm

| Titik Indentasi | | Nilai Kekerasan (HRA) | |
|------------------|-----|-----------------------|------|
| | | Garis Bidang | |
| Daerah | No. | 1 | 2 |
| Base Metal Kiri | 1 | 37.5 | 38.5 |
| | 2 | 39 | 38.5 |
| | 3 | 36.5 | 39.5 |
| HAZ Kiri | 4 | 24.5 | 25 |
| Weld Metal | 5 | 34 | 32.5 |
| | 6 | 30 | 33.5 |
| | 7 | 29.5 | 30 |
| HAZ Kanan | 8 | 24 | 26.5 |
| Base Metal Kanan | 9 | 39 | 38.5 |
| | 10 | 36.5 | 38 |
| | 11 | 38.5 | 37 |



Gambar 4.20 Grafik Nilai Kekerasan Pengaruh HI 1314.401 J/mm

Nilai kekerasan pada daerah HAZ mulai dari variasi HI 1244.239 J/mm, 1304.452 J/mm, dan 1314.401 J/mm terlihat selalu menurun. Dapat disimpulkan faktor HI mempengaruhi nilai kekerasan pada daerah HAZ.

Tembaga merupakan salah satu logam yang non-heatreatable, perlakuan panas tidak mempengaruhi struktur mikro didalamnya. Pada logam non-heatreatable kekuatan dan kekerasan dapat ditingkatkan dengan pembentukan seragam tersebar sangat kecil partikel fase kedua dalam fase matriks asli dalam proses atau sering disebut presipitasi. Semakin tinggi heat input maka pembentukan partikel fase kedua menjadi besar dan kasar, sehingga nilai kekerasan semakin rendah. Semakin rendah heat input maka pembentukan partikel fase kedua akan semakin kecil dan rapat, sehingga nilai kekerasan semakin tinggi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Analisa pengaruh variasi heat input 1244.239 J/mm, 1306.452 J/mm, 1314.401 J/mm terhadap cacat pengelasan, lebar HAZ, dan kekerasan pada pengelasan SMAW material tembaga C81300 dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Cacat lasan dipengaruhi oleh besar arus, kecepatan pengelasan yang lambat, dan jarak gap terlalu kecil. Terjadi cacat lasan porosity dan incomplete penetration pada keseluruhan variasi.
2. Lebar HAZ dipengaruhi oleh heat input. Semakin tinggi heat input maka akan semakin lebar HAZ. Lebar HAZ dengan variasi heat input 1314.401 J/mm dan 1306.452 J/mm memiliki lebar 1 mm, sedangkan variasi 1244.239 J/mm memiliki lebar HAZ 0.5 mm.
3. Kekerasan dipengaruhi oleh heat input. Jika heat input tinggi maka kekerasan akan rendah, dan sebaliknya heat input rendah maka kekerasan akan tinggi. Nilai kekerasan HAZ paling rendah terdapat pada variasi heat input 1314.401 J/mm. Dan kekerasan pada HAZ terbesar terdapat pada heat input 1244.239 J/mm.

5.2 Saran



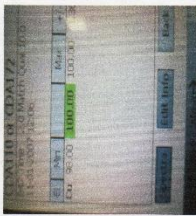

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang perlu dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya. Oleh karena itu diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Pemahaman materi sangat diperlukan untuk mengurangi kesalahan prosedur saat penelitian.
2. Perlu dilakukan pengujian tarik dan uji mikro. Untuk menambah data pada penelitian ini.

3. Pengujian makro etsa pada material C81300 perlu diperhatikan ketelitian penentuan garis HAZ. Karena lebar HAZ kurang jelas.
4. Ketelitian alat ukur dan kalibrasi alat uji harus diperhatikan agar hasilnya akurat.
5. Dalam pengelasan SMAW penggunaan parameter las harus diperhatikan yaitu mengenai kecepatan las, besar arus, jenis arus dan parameter lainnya untuk mendapatkan hasil lasan yang maksimal serta untuk mengurangi kesalahan atau cacat las pada logam las.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Non Destructive Examination Report Material Tembaga

| NON DESTRUCTIVE EXAMINATION REPORT | | | | | | | | | | | |
|---|----------|-------------|----------|------------------|--|--|---------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
|  | | | | | | | | | | | |
| PROJECT NAME : TA CLIENT : MAHASISWA ITS JOB NO. : - | | | | | | | | | | | |
| Reference : ASME Sec.IA | | | | | | | | | | | |
| LOCATION AREA Surabaya | | SYSTEM - | | DRAWING NO. - | | PMI Report No 001-PMI/NBT - TA/4/2018 | | PMI DATE JUNE 25 2018 | | | |
| No | Item No. | MATERIALS | DIA (mm) | THK (mm) | WPS No. | Taking Base & Weld Metal | Range Base Metal | Cu 88.00-100.00 Value 100.00 | CHEMICAL COMPOSITION | INSPECTION RESULT | REMARKS |
| 1 | 1 | COPPER | - | - | - | - | - | - | - | - | Known as Copper |
|  | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |
| Inspected By  ROBUTECH Teguh Dimas Grantha NIK. 221010 | | | | | Reviewed By Witnessed and Accepted By | | | | | | |

Lampiran 2. Spesifikasi dan Parameter Filler NS 9050



Elektroda NS 9050 $\varnothing 3.2$ mm direkomendasikan menggunakan arus AC/DC dengan besar arus 80 – 120 A. Harus dikeringkan dalam oven elektroda dengan suhu 80°C selama 30 menit.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jombang, 29 Mei 1997, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN 2 Jombang, SMPN 5 Jombang, dan SMAN 1 Mojoagung. Pada tahun 2015 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 10211500000001. Manufaktur merupakan bidang studi yang dipilih penulis dan mengambil tugas dibidang yang sama. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Barata Indonesia Gresik dan telah menyelesaikan laporan “Produksi High Pressure Heater 4 dan 5 PT PLN (Persero) Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan Bukit Asam Steam Power Plant Unit – 1”. Selama menempuh pendidikan perguruan tinggi penulis telah mengikuti berbagai pelatihan dan berpartisipasi sebagai panitia kegiatan. Ketertarikan penulis di bidang keorganisasian, mendorongnya untu aktif di berbagai organisasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Welding Society, Welding Copper and Copper Alloy - 550 N. W. Lejeune Road, Miami, FL 33126 Vol.3/8.Ed
2. American Welding Society D1.1 Structural Welding – Steel <https://www.aws.org/certification/detail/aws-d11-structural-welding-steel>
3. Anonime Pengertian Tembaga <http://id.shvoong.com/exactsciences/chemistry/2112636-pengertian-tembaga/#ixzz2Bufscz6r>
4. Copper-Nickel Welding And Fabrication, Handling | Welding | Properties | Resistance To Corrosion And Biofouling | Important Applications Copper Development Association Publication 139, Revised February 2013
5. Joseph R. Davis | ASM Specialty Handbook | Copper And Copper Alloys
6. Pengetahuan Bahan Teknik, ITS-Surabaya
7. Radiographic Testing Procedure (Based On ASME B31.3) | Procedure No: SMS – 602 – RT – 004 | REVISION 2
8. Sindo Kou | Welding Metallurgy - Second Edition
9. Wiryosumarto, H., 2004, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradya Paramita, Jakarta.