



---

**TUGAS AKHIR - MN091382**

**ANALISIS PENGARUH BACKING PLATE MATERIAL  
PENGELASAN DUA SISI FRICTION STIR WELDING  
TERHADAP SIFAT MEKANIK ALUMINIUM 5083 PADA  
KAPAL KATAMARAN**

**SYAIFUL HAQQI**  
NRP. 4109 100 014

Dony Setyawan, S.T, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2014



---

**FINAL PROJECT - MN091382**

***ANALYSIS OF WELDING MATERIAL BACKING PLATE  
FRICTION STIR WELDING TWO SIDES OF ALUMINIUM  
5083 MECHANICAL PROPERTIES FOR CATAMARAN***

**SYAIFUL HAQQI  
NRP. 4109 100 014**

**Dony Setyawan, S.T, M.Eng.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2014**

## ABSTRAK

# ANALISIS PENGARUH BACKING PLATE MATERIAL PENGELASAN DUA SISI FRICTION STIR WELDING TERHADAP SIFAT MEKANIK ALUMINIUM 5083 PADA KAPAL KATAMARAN

**Nama Mahasiswa** : Syaiful Haqqi  
**NRP** : 4109 100 014  
**Jurusan** : Teknik Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Dony Setyawan., S.T.,M.Eng.

*Friction stir welding* (FSW) mulai banyak dikembangkan saat ini dikarenakan metode pengelasan menggunakan FSW dapat menghemat biaya dalam pembangunan kapal, karena FSW tidak perlu menggunakan elektroda untuk menyatukan plat dan juga pengelasan FSW membuat kekuatan sambungan las lebih kuat. Untuk saat ini metode FSW terus dikembangkan agar pengelasan dengan menggunakan FSW menjadi lebih sempurna. Sebelumnya untuk mengontrol suhu puncak dilakukan dengan cara pengelasan dua sisi. Penggunaan metode pengelasan dua sisi ini masih memiliki suhu yang relatif tinggi. Maka langkah untuk mengendalikan suhu puncak bisa dilakukan dengan penggunaan variasi landasan (*mild steel*, Al5083, dan Marmer) saat melakukan proses pengelasan. Metode variasi penggunaan landasan dilakukan pada Aluminium 5083 berukuran 400x300x6 menggunakan mesin *milling*. Selama proses pengelasan dilakukan pengukuran suhu setiap 5 cm di permukaan *joint line*. Hasil yang diperoleh menunjukkan suhu yang paling ideal dicapai menggunakan landasan *mild steel*, suhu yang di dapat tidak terlalu panas dan juga tidak terlalu dingin. Dari pengujian mekanik yang dilakukan dapat ditinjau dari pengujian Tarik (*Tensile Test*) penggunaan *mild steel* memiliki nilai kuat Tarik sebesar 286.9 Mpa, nilai yang paling tinggi dibandingkan penggunaan landasan Al5083 dan Marmer.

**Kata kunci:** Aluminium 5083, Dua sisi, *Friction Stir Welding* (FSW), Landasan, Mekanik, dan Suhu

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRACT

### ***ANALYSIS OF WELDING MATERIAL BACKING PLATE FRICTION STIR WELDING TWO SIDES OF ALUMINIUM 5083 MECHANICAL PROPERTIES FOR CATAMARAN***

**Student Name** : Syaiful Haqqi  
**NRP** : 4109 100 014  
**Department** : Teknik Perkapalan  
**Supervisor** : Dony Setyawan, S.T.,M.Eng.

*Friction stir welding (FSW) began much developed at this time due to the use of FSW welding method is considered to save costs in shipbuilding, , because FSW does not use electrodes to join plate and also FSW make stronger welded joints. FSW method currently being developed in order to use FSW welding becomes more be comprehensive. time ago, a method of controlling the peak temperature is done by two sides welding. application of this two sides welding method still have a relatively high temperature. then, the steps taken to control the peak temperature is the use of the runway variations (mild steel, Al5083, and Marble) while doing welding process. Method of uses variations on foundation performed on Aluminum 5083, 400x300x6-size using milling machines. During the welding process temperature measurements around the joint line, each 5 cm joint line. The test results showed that the most ideal temperature is achieved using mild steel foundation, which acquired temperature is not too hot and not too cold. From mechanical testing (Tensile Test) use variations of mild steel have a tensile strength value of 286.9 MPa, the highest value compared to other runway variation Al5083 and Marble.*

**Keywords:** *Aluminum 5083, Backing Plate, Friction Stir Welding (FSW), Mechanical, Temperature, and Two-sided*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH BACKING PLATE MATERIAL  
PENGELASAN DUA SISI FRICTION STIR WELDING  
TERHADAP SIFAT MEKANIK ALUMINIUM 5083 PADA  
KAPAL KATAMARAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Konstruksi  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Syaiful Haqqi**  
N.R.P. 4109 100 014

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Dony Setyawan, S.T, M.Eng.



**SURABAYA, [20 Januari 2014]**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih dan Penyayang, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS PENGARUH BACKING PLATE MATERIAL PENGELASAN DUA SISI FRICTION STIR WELDING TERHADAP SIFAT MEKANIK ALUMINIUM 5083 PADA KAPAL KATAMARAN” dengan baik. Selesaiannya laporan ini dengan baik tentunya tidak lepas dari peran berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis ucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Prof.Ir.I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D selaku Kepala Jurusan Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Ir. Heri Supomo M.Sc Selaku Dosen Wali atas bimbingannya selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan.
3. Bapak Dony Setyawan,S.T.,M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang dengan sabar telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Prof.Ir.Achmad Zubaydi, M.Eng.,Ph.D selaku kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS yang sudah mengijinkan penulis menggunakan fasilitas laboratorium selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Bapak Nurul Muhayat,S.T,M.T. atas segala bantuan dan bimbingannya selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
6. Staff Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
7. Bapak Viktor, Bapak Oscar beserta staff Bengkel Kerja ATMI Surakarta.
8. PT.PAL Indonesia atas bantuan material yang diberikan.
9. Keluarga tercinta ayahanda Edy Thamrin dan ibunda Endang Sumiarsih, adik Shofia Riska yang selalu memberikan doa serta dukungan moril dan materil hingga penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Yang teristimewa Gracedwi Dian Maytayani,S.T yang juga selalu mendoakan dan memberi motivasi.
11. Keluarga kedua penulis P-49 (LAKSAMANA) atas suka duka dan kebersamaannya selama kuliah di Jurusan Teknik Pekapalan.
12. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini sehingga dapat dikatakan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Namun demikian tugas akhir ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2014

Penulis



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1-I-1 <i>Flow chart</i> pengerjaan Tugas Akhir .....  | 5  |
| Gambar II-1 Prinsip Friction Stir Welding (FSW) .....  | 12 |
| Gambar II-2 Tampak depan dan samping pengelasan FSW (Khaled, 2005) .....   | 13 |
| Gambar II-3 Tampak 3D pengelasan FSW (Khaled, 2005) .....  | 13 |
| Gambar II-4 Contoh <i>tool</i> untuk pengelasan FSW .....  | 14 |
| Gambar II-5 Posisi <i>Advancing</i> dan <i>Retreating</i> .....  | 15 |
| Gambar II-6 Variasi daerah struktur mikro hasil pengelasan FSW (a) <i>base metal</i> , (b) HAZ, (c) TMAZ (d) <i>Stir Zone</i> . [Elangovan, dan Balasubramanian, (2008)] ..... | 15 |
| Gambar II-7 Pengelasan dua sisi .....  | 16 |
| Gambar II-8 Perlakuan pengelasan yang dilakukan FSW sisi beda .....  | 17 |
| Gambar II-9 - Distribusi suhu puncak friction stir weld in 7075Al-T651. Garis di sisi kanan gambar menunjukkan batas nugget .....  | 18 |
| Gambar II-10 Skema Landasan pada pengelasan FSW .....  | 20 |
| Gambar II-11 Cacat - cacat FSW .....   | 20 |
| Gambar II-12 Pembuatan <i>stiffened panel</i> model A (Paik, 2009) .....   | 21 |
| Gambar II-13 Pembuatan <i>stiffened panel</i> dengan metode B [Paik, (2009)] .....   | 21 |
| Gambar II-14 Pembuatan <i>stiffened panel</i> (a) metode C1 (b) metode C2 [Paik, (2009)] .....   | 22 |
| Gambar II-15 Pembuatan <i>stiffened panel</i> metode D (Paik, 2009) .....  | 22 |
| Gambar II-16 Specimen Bending test .....   | 24 |
| Gambar II-17 Simulasi Bending Test .....   | 24 |
| Gambar II-18 Prinsip kerja uji radiografi (en.wikipedia.org/wiki/Radiographic_testing) .....   | 25 |
| Gambar II-19 Hasil foto Makro .....  | 26 |
| Gambar II-20 Bentuk Indektor Vickres [Callister, (2001)] .....   | 27 |
| Gambar II-21 Pengujian Vickres .....   | 27 |
| Gambar II-22 Stress Strain Diagram untuk .....   | 29 |
| Gambar II-23 Rules Pengujian Tarik [BKI Vol VI Sec.11 (2009)] .....  | 29 |
| Gambar III-1 Material Aluminium 5083 .....   | 32 |
| Gambar III-2 Sketsa bentuk <i>tool</i> yang digunakan .....  | 33 |
| Gambar III-3 <i>Tools</i> yang siap digunakan .....  | 33 |
| Gambar III-4 Urutan Proses Pengelasan .....  | 36 |
| Gambar III-5 Pemasangan variasi landasan ( <i>backing plate</i> ) .....  | 37 |
| Gambar III-6 Pemasangan <i>rigid clamp</i> .....   | 37 |
| Gambar III-7 Pengaturan parameter pada mesin Fraiss .....  | 38 |
| Gambar III-8 Proses pengelasan dua sisi dengan sisi beda .....   | 38 |
| Gambar III-9 Skema pengukuran suhu .....   | 39 |
| Gambar III-10 Rules pembuatan test coupon [BKI Vol VI Sec.12, (2009)] .....  | 41 |
| Gambar III-11 Proses uji tarik proses uji tarik .....  | 42 |
| Gambar III-12 Proses uji bending .....   | 44 |
| Gambar III-13 Tabel ukuran specimen uji dan pemilihan diameter mandrel (BKI 2006 Vol VI Section 11) .....  | 45 |
| Gambar IV-1 pengelasan perlakuan variasi landasan <i>Mild Steel</i> .....  | 47 |
| Gambar IV-2 pengelasan perlakuan variasi landasan <i>Al5083</i> .....  | 49 |
| Gambar IV-3 Pengelasan Perlakuan Variasi Landasan <i>Marmar</i> .....  | 50 |
| Gambar IV-4 Hasil pengelasan perlakuan variasi landasan <i>mild steel</i> .....  | 54 |
| Gambar IV-5 Hasil pengelasan perlakuan variasi landasan marmar .....   | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar IV-6 Hasil radiografi pengelasan dengan landasan Mild Steel.....                | 55 |
| Gambar IV-7 Hasil radiografi pengelasan dengan landasan Al 5083.....                   | 55 |
| Gambar IV-8 Hasil radiografi pengelasan dengan landasan Marmer.....                    | 55 |
| Gambar IV-9 Foto makro perlakuan variasi landasan <i>mild steel</i> .....              | 56 |
| Gambar IV-10 Foto makro perlakuan variasi landasan Al5083 .....                        | 57 |
| Gambar IV-11 Foto makro perlakuan variasi landasan marmer.....                         | 57 |
| Gambar IV-12 Base metal pengelasan landasan Al5083.....                                | 58 |
| Gambar IV-13 Base metal Pengelasan landasan mild steel.....                            | 58 |
| Gambar IV-14 Base metal pengelasan landasan marmer. ....                               | 58 |
| Gambar IV-15 HAZ perlakuan variasi landasan <i>mild steel</i> .....                    | 59 |
| Gambar IV-16 HAZ perlakuan variasi landasan Al 5083 .....                              | 59 |
| Gambar IV-17 HAZ perlakuan variasi landasan marmer .....                               | 59 |
| Gambar IV-18 Bagian <i>nugget</i> pengelasan variasi landasan mild steel.....          | 60 |
| Gambar IV-19 Bagian <i>nugget</i> pengelasan variasi landasan Al 5083 .....            | 60 |
| Gambar IV-20 Bagian <i>nugget</i> pengelasan variasi landasan marmer .....             | 60 |
| Gambar IV-21 TMAZ perlakuan variasi landasan <i>mild steel</i> .....                   | 61 |
| Gambar IV-22 TMAZ perlakuan variasilandasan Al 5083 .....                              | 61 |
| Gambar IV-23 TMAZ perlakuan variasi landasan marmer .....                              | 61 |
| Gambar IV-24 Pengujian tarik hasil pengelasan dengan landasan <i>mild steel</i> .....  | 63 |
| Gambar IV-25 Pengujian tarik hasil pengelasan dengan landasan Al 5083 .....            | 63 |
| Gambar IV-26 Pengujian tarik hasil pengelasan dengan lanasan marmer .....              | 63 |
| Gambar IV-27 Hasil <i>face bend</i> pengelasan dengan landasan mild steel .....        | 65 |
| Gambar IV-28 Hasil <i>Face bend</i> pengelasan dengan landasan Al 5083.....            | 66 |
| Gambar IV-29 Hasil <i>Face bend</i> pengelasan dengan landasan marmer .....            | 66 |
| Gambar IV-30 Hasil uji root <i>bending</i> pengelasan dengan landasan Mild Steel ..... | 67 |
| Gambar IV-31 Hasil uji root <i>bending</i> pengelasan dengan landasan Al5083.....      | 67 |
| Gambar IV-32 Hasil uji root <i>bending</i> pengelasan dengan landasan Marmer.....      | 67 |
| Gambar IV-33 Hasil uji kekerasan untuk variasi landasan <i>mild steel</i> .....        | 71 |
| Gambar IV-34 Hasil uji kekerasan untuk variasi landasan Al 5083.....                   | 71 |
| Gambar IV-35 Hasil uji kekerasan untuk variasi landasan marmer .....                   | 71 |
| Gambar IV-36 Contoh uji kekerasan dengan deretan lekukan di <i>butt weld</i> .....     | 77 |

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                        | i    |
| LEMBAR REVISI .....                            | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                           | v    |
| ABSTRAK .....                                  | vii  |
| ABSTRACT .....                                 | ix   |
| DAFTAR ISI .....                               | xi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                            | xiii |
| DAFTAR TABEL .....                             | xv   |
| I. PENDAHULUAN .....                           | 1    |
| 1.1. LATAR BELAKANG MASALAH .....              | 1    |
| 1.2. PERUMUSAN MASALAH .....                   | 2    |
| 1.3. BATASAN MASALAH .....                     | 3    |
| 1.4. TUJUAN .....                              | 3    |
| 1.5. MANFAAT .....                             | 4    |
| 1.6. HIPOTESIS AWAL .....                      | 4    |
| 1.7. METODOLOGI PENELITIAN .....               | 4    |
| II. TINJAUAN PUSTAKA .....                     | 7    |
| 2.1. Aluminium .....                           | 7    |
| 2.1.1. Pengertian Aluminium .....              | 7    |
| 2.1.2. Paduan Aluminium .....                  | 7    |
| 2.1.3. Karakteristik Aluminium seri 5083 ..... | 8    |
| 2.1.4. Pengelasan Aluminium .....              | 11   |
| 2.2. Friction Stir Welding (FSW) .....         | 12   |
| 2.2.1. Prinsip Kerja FSW .....                 | 12   |
| 2.2.2. Parameter Pengelasan FSW .....          | 14   |
| 2.2.3. Daerah Terpengaruh Pengelasan .....     | 15   |
| 2.2.4. Pengelasan dua sisi .....               | 16   |
| 2.2.5. Pengelasan sisi beda .....              | 17   |
| 2.2.6. Distribusi suhu .....                   | 18   |
| 2.2.7. Landasan Friction Stir Welding .....    | 19   |
| 2.2.8. Cacat - cacat yang timbul .....         | 20   |
| 2.3. Aplikasi untuk pembangunan kapal .....    | 21   |
| 2.4. Pengujian hasil pengelasan .....          | 22   |
| 2.4.1. <i>Bending test</i> .....               | 23   |
| 2.4.2. Radiografi .....                        | 24   |
| 2.4.3. Makroetsa .....                         | 25   |
| 2.4.4. Foto Mikro .....                        | 26   |
| 2.4.5. <i>Hardness Test</i> .....              | 26   |
| 2.4.6. Uji Tarik ( <i>Tensile test</i> ) ..... | 28   |
| III. METODOLOGI PENELITIAN .....               | 33   |
| 3.1. Bahan Penelitian .....                    | 32   |
| 3.1.1. Material .....                          | 32   |
| 3.1.2. Tool .....                              | 32   |

|   |    |
|---|----|
| 3.2 Peralatan Penelitian.....   | 33 |
| 3.2.1. Peralatan untuk persiapan material .....                       | 33 |
| 3.2.2. Peralatan untuk proses pengelasan.....                         | 33 |
| 3.2.3. Peralatan untuk pembentukan specimen uji.....                  | 34 |
| 3.2.4. Peralatan untuk pemeriksaan metalografi (makro dan mikro)..... | 34 |
| 3.3    Proses Pengelasan.....   | 34 |
| 3.4    Pelaksanaan pengelasan.....                                    | 35 |
| 3.5    Data Konsumsi Waktu pengelasan .....                           | 40 |
| 3.6    Pengujian Radiografi .....                                     | 40 |
| 3.7    Pemotongan Specimen uji .....                                  | 41 |
| 3.8    Pengujian Tarik.....   | 42 |
| 3.9    Pengujian Metalografi (Foto Mikro) .....                       | 42 |
| 3.10   Pengujian Makroetsa .....                                      | 43 |
| 3.11   Pengujian Tekuk ( <i>Bending test</i> ) .....                  | 43 |
| IV.   ANALISA DAN PEMBAHASAN.....                                     | 49 |
| 4.1 Penentuan Parameter Tetap.....                                    | 49 |
| 4.2. Pemeriksaan suhu pengelasan.....                                 | 50 |
| 4.3. Pemeriksaan visual.....  | 52 |
| 4.3.1. Pemeriksaan sebelum pengelasan .....                           | 52 |
| 4.3.2. Pemeriksaan saat pengelasan .....                              | 52 |
| 4.3.3. Pemeriksaan setelah pengelasan .....                           | 53 |
| 4.4. Pemeriksaan Radiografi .....                                     | 54 |
| 4.5. Pemeriksaan Makroetsa .....                                      | 56 |
| 4.6. Pemeriksaan Metalografi (Mikro).....                             | 57 |
| 4.7. Pemeriksaan Kuat Tarik ( <i>Tensile Test</i> ).....              | 62 |
| 4.8. Pemeriksaan Tekuk ( <i>Bending Test</i> ) .....                  | 65 |
| 4.9. Pemeriksaan Kekerasan ( <i>Hardness test-Vickres</i> ) .....     | 68 |
| 4.10. Analisa Keseluruhan Hasil Pengujian.....                        | 72 |
| V.    KESIMPULAN DAN SARAN.....                                       | 83 |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 83 |
| 5.2 Saran.....  | 83 |
| DAFTAR PUSTAKA.....   | 85 |

LAMPIRAN I  
LAMPIRAN II  
LAMPIRAN III  
LAMPIRAN IV

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel II.1- Kandungan Aluminium 5083 (asm.matweb.com).....                                | 9  |
| Tabel II.2- <i>Physical properties</i> Aluminium 5083 (asm.matweb.com).....               | 9  |
| Tabel II.3- <i>Mechanical properties</i> Aluminium 5083 (asm.matweb.com).....             | 9  |
| Tabel II.4- <i>Electrical properties</i> Aluminium 5083 (asm.matweb.com).....             | 10 |
| Tabel II.5- <i>Thermal properties</i> Aluminium 5083 (asm.matweb.com).....                | 10 |
| Tabel II.6- <i>Processing properties</i> Aluminium 5083 (asm.matweb.com).....             | 11 |
| Tabel II.7 – <i>Friction Stir Welding</i> yang efisien untuk <i>Aluminium Alloy</i> ..... | 19 |
| Tabel III.1 Parameter pengelasan <i>friction stir welding</i> .....                       | 34 |
| Tabel III.2 Konsumsi Waktu Pengerjaan .....   | 40 |
| Tabel IV.1- Rekapitulasi Pengukuran Suhu .....  | 50 |
| Tabel IV.2- Data suhu Pengelasan variasi landasan Mild Steel .....                        | 50 |
| Tabel IV.3 - Data suhu Pengelasan variasi landasan Al 5083 .....                          | 51 |
| Tabel IV.4 - Data suhu Pengelasan variasi landasan Marmer .....                           | 51 |
| Tabel IV.5 - Analisa cacat hasil pengujian Makroetsa .....                                | 56 |
| Tabel IV.6 - Analisa ukuran butir hasil Uji Mikro .....                                   | 62 |
| Tabel IV.7 <i>Ultimate stress</i> hasil pengujian tarik. ....                             | 64 |
| Tabel IV.8 Rekapitulasi hasil Uji Tarik.....  | 64 |
| Tabel IV.9 Hasil Uji Bending ( <i>face bend</i> ).....                                    | 66 |
| Tabel IV.10 Hasil uji bending ( <i>Root bend</i> ) .....                                  | 67 |
| Tabel IV.11 Hasil uji kekerasan pada <i>base metal</i> .....                              | 68 |
| Tabel IV.12 Hasil uji kekerasan pada variasi landasan mild steel .....                    | 69 |
| Tabel IV.13 Hasil uji kekerasan pada variasi landasan Al 5083 .....                       | 69 |
| Tabel IV.14- Hasil uji kekerasan pada variasi landasan marmer .....                       | 70 |
| Tabel IV.15 - persyaratan minimal kuat Tarik untuk Aluminium Alloy.....                   | 74 |
| Tabel IV.16 - simbol cacat .....  | 76 |
| Tabel IV.17 - Peringkat evaluasi (untuk interpretasi statistik lebih komprehensif).....   | 76 |
| Tabel IV.18- Rekapitulasi Analisa Keseluruhan Pengujian .....                             | 78 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Katamaran adalah jenis kapal dengan memiliki dua lambung (*demihull*) yang juga memiliki fungsi menambah lambung timbul (*freeboard*) sebuah kapal. Saat ini banyak sekali dikembangkan kapal katamaran berbahan aluminium sebagai kapal produksi, antara lain kapal penumpang dan kapal ikan. [Clarke, 1972]

Umumnya aluminium banyak di gunakan pada kapal-kapal patroli atau kapal perang yang membutuhkan kecepatan. Dan saat ini aluminium mulai banyak di gunakan pada kapal katamaran karena sifatnya yang ringan dapat menambah daya angkat keatas pada kapal. Aluminium seri 5083 merupakan aluminium campuran yang paling baik untuk di gunakan di dunia marine atau perkapalan. Kebanyakan penyambungan atau pengelasan Aluminium dilakukan dengan proses GMAW dan GTAW. Akan tetapi kedua proses ini memungkinkan terbentuknya porositas dan deformasi pada material lebih banyak. Untuk meminimalisir hal tersebut, maka digunakan proses *Friction Stir Welding* (FSW).

*Friction Stir Welding* adalah proses pengelasan menggunakan gesekan untuk menyambung material. FSW tidak menggunakan material tambahan untuk menyambung, maka dari itu pengelasan dengan FSW minim cacat retak dan porositas pada sambungan las. Prinsip FSW menggunakan *tools* yang berputar, menggesek, dan bergerak melintas sehingga material terjadi penempaan pada pusat lasan dan akhirnya material dapat melebur. Variabel dalam proses pengelasan FSW yaitu parameter *tool* dan parameter pengelasan. Parameter pengelasan meliputi kecepatan putar, kemiringan *tool*, travel speed, penetrasi *shoulder*, penetrasi *probe*, bentuk dan dimensi *probe*, bentuk dan dimensi *shoulder*, material *tool*, dll.

Pada penelitian sebelumnya digunakan metode pengelasan dua sisi dengan sisi beda, yang bertujuan untuk menyetarakan kekuatan Antara sisi *Advancing* dan sisi *Retreating*. Dikarenakan adanya perbedaan ukuran butir pada sisi *advancing*, *retreating*, bagian permukaan serta akar las ini disebabkan adanya perbedaan suhu pengelasan serta adanya perbedaan dissipasi panas [Mishra dan Ma, (2005)]. Akan



tetapi suhu pengelasan masih tetap tinggi pada saat proses berlangsung, dan biasanya penurunan kekuatan mekanik sambungan terjadi pada daerah HAZ pada sisi *advancing* yang disebabkan tingginya suhu pengelasan.

Maka untuk mengurangi tingginya suhu pengelasan pada material saat proses pengelasan, digunakan metode penggantian landasan saat melakukan proses pengelasan dengan FSW. Prosedur yang digunakan adalah penggunaan metode pengelasan sisi beda dan penggantian atau variasi landasan yang digunakan saat pengelasan. Dengan begitu kedua sisi material bisa menjadi seimbang dan penurunan suhu puncak pada proses pengelasan. Sehingga kekuatan pada material menjadi relative lebih tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis berinisiatif untuk menganalisis pengaruh backing plate material pengelasan dua sisi friction stir welding terhadap sifat mekanik aluminium 5083. Konsentrasi khusus terletak pada analisa cacat hasil pengujian tekuk (*Bending Test*) dan Tarik (*Tensile Test*). Dari perbandingan keduanya akan didapatkan mana yang lebih optimal dari segi sifat mekanik hasil pengelasan.

## **1.2. PERUMUSAN MASALAH**

Sehubungan dengan latar belakang tersebut di atas permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana pengaruh backing plate (Landasan) material terhadap kekuatan tarik, tekuk, kekerasan, struktur mikro dan makro hasil pengelasan dua sisi *friction stir welding* pada material kapal katamaran berbahan aluminium?

## **1.3. BATASAN MASALAH**

Untuk mempermudah dalam pelaksanaan pengerjaan tugas akhir ini dan menghindari meluasnya pembahasan, maka analisa ini dibatasi pada beberapa hal:

- a. Studi kasus hanya dilakukan pada struktur Kapal lambung ganda (*Katamaran*) berbahan Aluminium 5083.
- b. Pengelasan dilakukan dengan metode *Friction Stir Welding* menggunakan mesin milling.
- c. Material plat dianggap rata.
- d. Jenis sambungan butt.
- e. Tool yang digunakan K100 Bohler.
- f. Pengujian yang dilakukan adalah :
  - Pengujian Makro
  - Pengujian Mikro
  - Pengujian Tarik (*Bending Test*)
  - Pengujian Tekuk (*Tensile Test*)
  - Uji Kekerasan (*Hardness Test*)
  - Radiografi
- g. Selama penelitian, faktor *eksternal* (kondisi perekonomian, politik dan sosial) diasumsikan dalam keadaan stabil.

#### **1.4. TUJUAN**

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menerapkan *friction stir welding* pada pembangunan kapal katamaran berbahan aluminium. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengujian sifat mekanik dan metalurgi hasil pengelasan dua sisi *friction stir welding* pada material kapal katamaran berbahan aluminium dengan perlakuan perbedaan penggunaan backing plate material.

#### **1.5. MANFAAT**

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mampu memberikan sumbangan pengetahuan tentang FSW terhadap industri perkapalan nasional dalam proses pengelasan FSW yang efektif dan efisien.

2. Mampu memberikan sumbangan pengetahuan tentang FSW terhadap industri perkapalan nasional dalam proses pengelasan yang ramah lingkungan dan hemat energi.
3. Diharapkan dapat jadi acuan untuk proses pembuatan kapal katamaran berbahan aluminium dengan teknologi penyambungan yang ramah lingkungan.

## 1.6. HIPOTESIS AWAL

Penggunaan backing plate material bervariasi pada FSW, didapat perbedaan pada daerah HAZ (Heat Affected Zone), kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro dibandingkan dengan pengelasan tanpa perlakuan penggunaan backing plate material yang bervariasi, dan didapat penambahan kekerasan pada material uji dikarenakan daerah HAZ yang berkurang.

## 1.7. METODOLOGI PENELITIAN

Proses dan langkah - langkah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1.7.1. Persiapan material dan studi literatur

Pada tahap ini dilakukan pemilihan material yang sesuai, yaitu Aluminium 5083 yang memenuhi sesuai dengan sifat dan karakteristik aslinya. Keaslian material bisa diuji menggunakan pengujian tarik dan pengujian *material composition* nya.

Tahap ini juga sekaligus dilakukan proses studi literatur guna mendapatkan data untuk menunjang penelitian.

### 1.7.2. Penentuan parameter tetap yang digunakan

Tahap ini adalah tahap penentuan parameter tetap yang digunakan pada proses pengelasan. Parameter tetap ini meliputi tekanan *tools* yang digantikan oleh *depth plunge*, RPM, *travel speed*, dan sudut inklinasi.

### 1.7.3. Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan dengan cara pengelasan dua sisi dan penggantian landasan sebagai variable pembanding, menggunakan parameter tetap yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya.

### 1.7.4. Pengukuran suhu pengelasan

Untuk mengetahui perilaku aliran material perlu mendapatkan data perubahan suhu yang terjadi pada material disekitar *tool* pengelasan. Pengukuran suhu pengelasan

dengan mengukur suhu pengelasan menggunakan infrared thermometer ditembakkan pada permukaan dibelakang *shoulder* sisi *advancing* dan *retreating* untuk mengukur temperatur yang diakibatkan variasi landasan saat pengelasan. Dari pengukuran ini dapat diketahui suhu maksimum pengelasan pada sisi *advancing* dan sisi *retreating* dengan variasi landasan.

#### 1.7.5. Proses pengujian

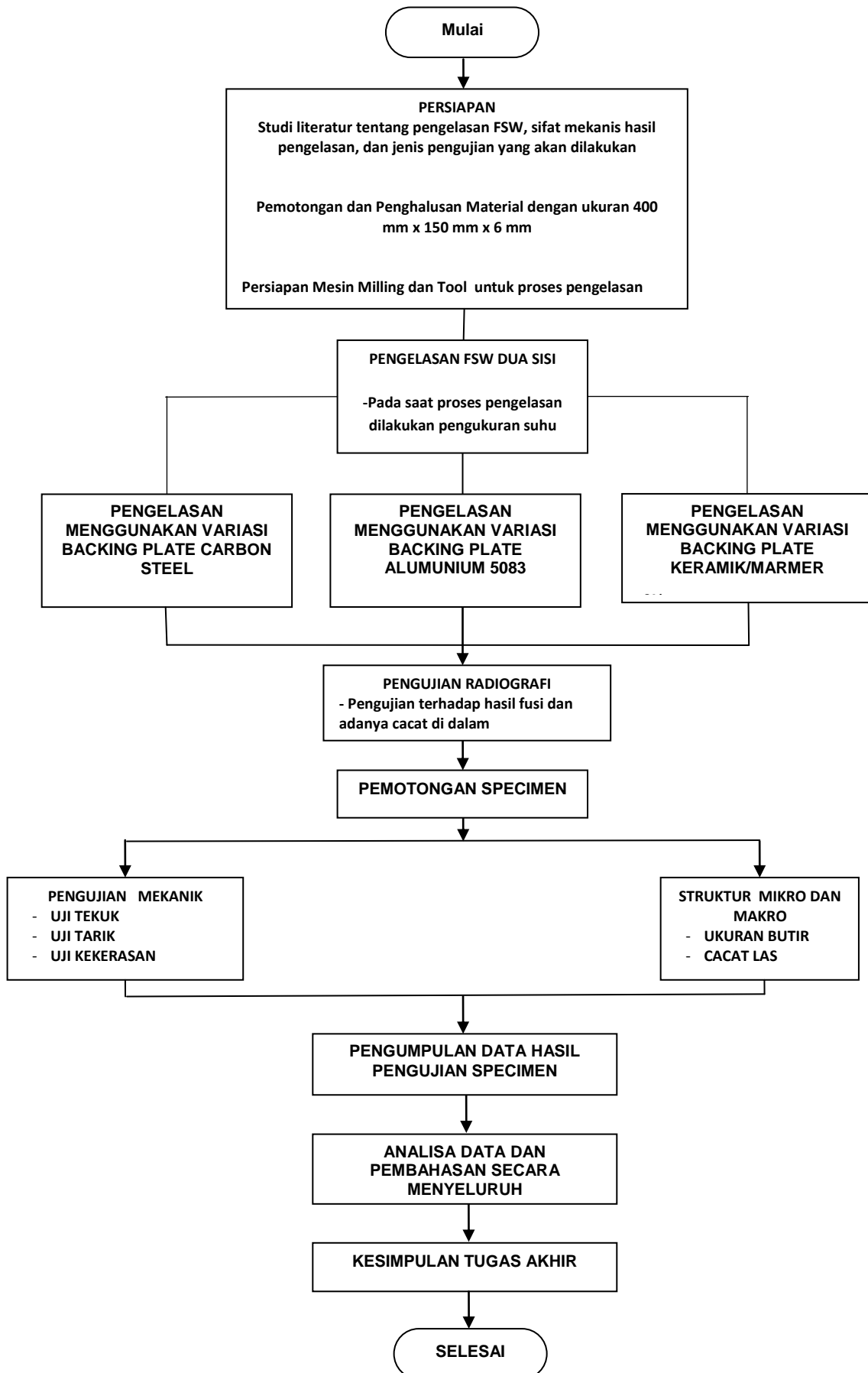
Beberapa pengujian yang dilakukan adalah Radiografi, Uji Tekuk, Uji Tarik, Uji Kekerasan, Makroetsa, dan Pengujian Miroskopik (SEM, EDAX).

#### 1.7.6. Analisa Data

Dari hasil pengujian didapatkan data dan kemudian dilakukan analisa dan sekaligus pembahasan.

#### 1.7.7. Kesimpulan

Urutan pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah mengikuti diagram alir pada Gambar 1-1 sebagai berikut.



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Aluminium**

##### **2.1.1. Pengertian Aluminium**

Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki ketahanan korosi lebih tinggi di bandingkan baja carbon, hantaran listrik dan sifat logam yang baik. Untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya maka ditambahkan Cu, Mg, Si, Mn, dsb yang juga memberikan efek penambahan ketahanan pada korosi, ketahanan aus, koefisien muai rendah dan sebagainya. Logam ini memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor panas dan listrik yang cukup baik. Aluminium dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi, dan alat-alat penyimpanan.

Aluminium merupakan logam yang berebeda dari logam-logam lainnya. Perbedaan ini dapat dilihat pada karakteristik utama saat dilakukan pengelasan. Karakteristik Aluminium yang perlu diperhatikan pada saat pengelasan adalah daya hantar panas, aluminium oksida, pemuaian, penyusutan, dan daya larut hidrogen pada saat pembekuan serta tidak adanya perubahan warna. [ Mandal,(2005)]

Maka dari itu daya hantar panas yang mempengaruhi kekuatan dari Aluminium perlu diteliti dengan menggunakan *Friction Stir Welding* (FSW).

##### **2.1.2. Paduan Aluminium**

Dalam keadaan murni aluminium sangat lunak dibandingkan dengan baja carbon, terutama kekakuannya sangat rendah, untuk dapat dipergunakan untuk keperluan teknik maka aluminium dicampur dengan unsur-unsur yang lain tetapi dapat mengurangi ketahanan terhadap korosi dan keuletan aluminium tersebut. Sedikit mangan, silikon, atau magnesium masih tidak banyak mengurangi sifat tahan korosi, tetapi seng, besi, timah putih dan tembaga cukup drastis menurunkan sifat tahan korosinya.

Aluminium campuran dapat digolongkan menjadi:

1. Aluminium *Wrought alloy*
2. Aluminium *Casting alloy*

Aluminium dapat diklasifikasikan menurut komposisi kimianya. Tiap jenis paduan diberi kode dengan empat digit angka. Angka pertama (Xxxx) menunjukkan jenis paduan aluminium berkaitan dengan kemurnian aluminium atau jenis unsur paduan yang utama. Angka kedua (xXxx) menunjukkan perubahan dari paduan orisinal. Angka 0 untuk paduan asli dan digit 1 sampai 9 untuk modifikasi. Digit ketiga dan keempat (xxXX) merupakan identitas campuran khusus paduan utama. Contoh pada paduan 5183, angka 5 menunjukkan jenis paduannya adalah magnesium, angka 1 merupakan modifikasi pertama dari 5083, dan angka 83 merupakan identifikasi pada seri 5xxx.

Sifat mekanik dari paduan aluminium tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi kimianya, tetapi juga tingkat deformasi (banyaknya paduan yang dapat mengalami *strain hardening*) dan *heat treatment* (perlakuan panas) pada proses fabrikasinya. Untuk memberikan pemahaman tentang sifat mekanik ini, dibelakang angka paduan aluminium juga dibutuhkan huruf yang menandai kondisi perlakuannya, W untuk *solution heat treated*, O untuk *annealed-recrystallized*, F untuk fabrikasi, T untuk *Thermally treated*, atau H untuk *strain-hardened*.

### 2.1.3. Karakteristik Aluminium seri 5083

Aluminium seri 5083 banyak digunakan untuk keperluan yang berhubungan dengan kelautan (*marine applications*). Paduan tempa ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan *nonheattreatable* (tanpa perlakuan panas) lain karena Al5083 mengandung 4.5% Mg, 0.7% Mn, dan 0.13% Cr. ([www.alcoa.com](http://www.alcoa.com))

Aluminium 5083 dipilih untuk *marine applications* karena kinerja yang luar biasa di lingkungan yang ekstrim. Al5083 sangat tahan terhadap air laut

dan lingkungan kimia dari industri. Aluminium 5083 juga memperlihatkan kekuatan yang luar biasa setelah proses pengelasan.

**Tabel 0.1-** Kandungan Aluminium 5083 (asm.matweb.com)

| Komponen                  | %           |
|---------------------------|-------------|
| Al                        | 92.4 – 95.6 |
| Mg                        | 4 – 4.9     |
| Mn                        | 0.4 - 1     |
| Si                        | Max 0.4     |
| Cr                        | 0.05 – 0.25 |
| Ti                        | Max 0.15    |
| Zn                        | Max 0.25    |
| Cu                        | Max 0.1     |
| Fe                        | Max 0.4     |
| Lainnya, masing<br>masing | Max 0.05    |
| Lainnya, total            | Max 0.15    |

**Tabel 0.2-** *Physical properties* Aluminium 5083 (asm.matweb.com)

| <i>Physical properties</i> | <i>Metric</i> | <i>English</i>            | Keterangan   |
|----------------------------|---------------|---------------------------|--------------|
| <i>Density</i> (Kepadatan) | 2.66 g/cc     | 0.0961 lb/in <sup>3</sup> | AA ; typical |

**Tabel 0.3-** *Mechanical properties* Aluminium 5083 (asm.matweb.com)

| <i>Mechanical Properties</i> | <i>Metric</i> | <i>English</i> | <i>Keterangan</i>                              |
|------------------------------|---------------|----------------|--|
| Hardness, Brinell            | 87            | 87             | 500 kg load with 10 mm ball. Calculated value. |
| Hardness, Knoop              | 111           | 111            | Converted from Brinell Hardness Value          |
| Hardness, Rockwell A         | 37.2          | 37.2           | Converted from Brinell Hardness Value          |



|                         |          |           |   |
|-------------------------|----------|-----------|---|
| Hardness, Rockwell B    | 54       | 54        | Converted from Brinell Hardness Value       |
| Hardness, Vickers       | 98       | 98        | Converted from Brinell Hardness Value       |
| UTS                     | 320 MPa  | 46400 psi |   |
| Tensile Strength, Yield | 250 MPa  | 36300 psi |   |
| Elongation at Break     | 10 %     | 10 %      | In 5 cm; Sample 1.6 mm thick                |
| Modulus of Elasticity   | 70.3 GPa | 10200 ksi | In Tension                                  |
| Compressive Modulus     | 71.7 GPa | 10400 ksi |   |
| Poisson's Ratio         | 0.33     | 0.33      | Estimated from trends in similar Al alloys. |
| Shear Modulus           | 26.4 GPa | 3830 ksi  |   |
| Shear Strength          | 195 MPa  | 28300 psi | Calculated value.                           |

**Table 0.4-** *Electrical properties Aluminium 5083 (asm.matweb.com)*

| <i>Electrical Properties</i> | <i>Metric</i>   | <i>English</i>  | <i>Keterangan</i>      |
|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Electrical Resistivity       | 5.9e-006 ohm-cm | 5.9e-006 ohm-cm | Electrical Resistivity |

**Table 0.5-** *Thermal properties Aluminiumr 5083 (asm.matweb.com)*

| <i>Thermal Properties</i> | <i>Metric</i>                       | <i>English</i>                        | <i>Keterangan</i>                         |
|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| CTE, linear<br>68°F       | 23.8 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$ | 13.2 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | AA; Typical; Average over 68-212°F range. |
| CTE, linear<br>250°C      | 26 $\mu\text{m/m-}^\circ\text{C}$   | 14.4 $\mu\text{in/in-}^\circ\text{F}$ | Average over the range 20-300°C           |
| Specific Heat Capacity    | 0.9 J/g-°C                          | 0.215 BTU/lb-°F                       |   |
| Thermal Conductivity      | 117 W/m-K                           | 812 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F     |   |
| Melting Point             | 591 -                               | 1095 -                                | AA; Typical range based                   |

|          |        |         |   |
|----------|--------|---------|---|
|          | 638 °C | 1180 °F | on typical composition for wrought products 1/4 inch thickness or greater |
| Solidus  | 591 °C | 1095 °F | AA; Typical   |
| Liquidus | 638 °C | 1180 °F | AA; Typical   |

**Tabel 0.6-** *Processing properties Aluminium 5083 (asm.matweb.com)*

| <i>Processing Properties</i> | <i>Metric</i>   | <i>English</i>  | <i>Keterangan</i>          |
|------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| Hot-Working Temperature      | 316 -<br>482 °C | 600 -<br>900 °F | Hot-Working<br>Temperature |

#### 2.1.4. Pengelasan Aluminium

Pengelasan Aluminium termasuk kurang baik jika dibandingkan dengan pengelasan baja. Kelemahan yang sering terjadi akibat sifat Aluminium yang mudah teroksidasi dan membentuk oksida Aluminium  $Al_2O_3$ . Karena itulah sebelum dilakukan pengelasan permukaan Aluminium dibersihkan dan langsung dilakukan pengelasan untuk menghindari oksidasi. Pengaruh lama oksidasi ini akan menimbulkan jelaga dan bintik-bintik kasar yang makin banyak di permukaan lasan. Pengaruh pada struktur mikro adalah penurunan prosentase partikel  $Mg_2Si$  sehingga kekerasan material pun juga ikut mengalami penurunan.

Pada umumnya penyambungan Aluminium ini dilakukan dengan proses GTAW dan GMAW. Pengelasan Aluminium yang tidak sesuai, memungkinkan terbentuknya porositas selama berlangsungnya proses pembekuan logam lasan. Kedua proses ini juga rawan akan terjadinya deformasi. Kelarutan hidrogen pada Aluminium dan paduannya timbul dan akan membentuk porositas. Jumlah kelarutan Hidrogen berbeda tergantung suhu pengelasan Aluminium dan paduannya tersebut. [Mathers, 2002]

Meskipun sifat ketahanan las Aluminium dan paduannya memang kurang baik jika dibandingkan dengan baja, hal ini dapat diatasi dengan penemuan alat dan proses las untuk penyempurnaannya. Penggunaan gas mulia dengan kemurnian tinggi sebagai

pelindung selama pengelasan dan proses pengelasan baru yang memiliki suhu dibawah titik lebur dapat memperbaiki sifat mampu las.

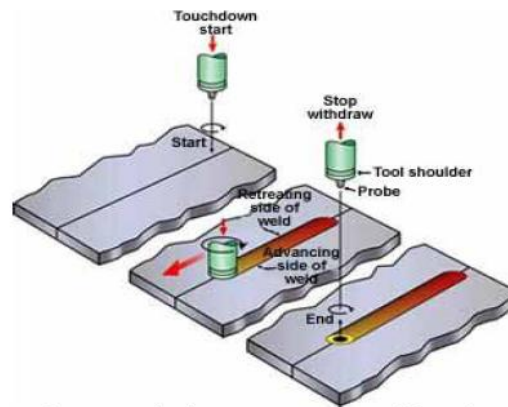
GMAW dan GTAW banyak digunakan untuk mengelas Aluminium yang tipis atau bila diperlukan las dengan masukan panas yang rendah. Akan tetapi kedua proses tersebut menghasilkan distorsi dan suhu yang lebih tinggi ([www.hitachirail.com](http://www.hitachirail.com)). Karena itulah, untuk memperbaiki kekurangan dari kedua proses tersebut maka sejak tahun 1991 ditemukanlah proses *friction stir welding*.

## **2.2. Friction Stir Welding (FSW)**

Proses adukan gesek merupakan bagian dari pengelasan adukan gesek, dimana pada proses ini hanya memanfaatkan gesekan tanpa melakukan penyambungan dengan material tambahan. Ditemukan pada tahun 1991, proses pengelasan adukan gesek (*Friction Stir Welding*) dikembangkan, dan dipatenkan oleh The Welding Institute (TWI) di Cambridge, kerajaan Inggris. [(Thomas,dkk. (1991)]

### **2.2.1. Prinsip Kerja FSW**

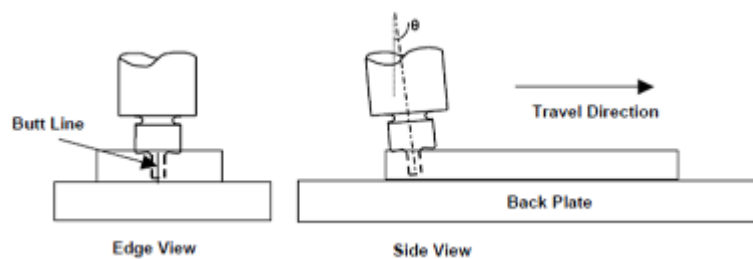
Friction Stir Welding (FSW) adalah proses penggabungan dengan solid-state (logam tidak meleleh) yang menggunakan alat bantu untuk menyatukan 2 permukaan material. Panas yang dihasilkan antara alat dan bahan yang mengarah ke kawasan yang sangat lembut di dekat alat FSW. Kemudian mekanis intermixes dua potong logam di tempat bergabung, maka logam melunak (karena suhu tinggi) dapat bergabung dengan menggunakan tekanan mekanik (yang diterapkan oleh alat), seperti bergabung dengan tanah liat, atau adonan. Hal ini terutama digunakan pada aluminium, dan paling sering pada aluminium ekstrusi (non-heat treatable alloys), dan pada struktur yang memerlukan kekuatan las kuat tanpa perlakuan panas pasca las. Visualisasi proses pengelasan Friction Stir Welding dapat dilihat pada Gambar 2-1.



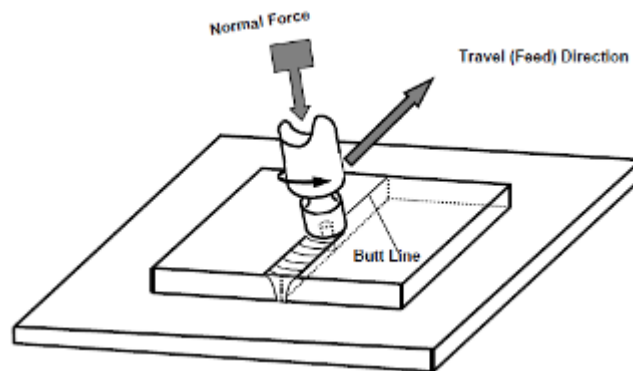
**Gambar 0-7** Prinsip Friction Stir Welding (FSW)

Setelah benda kerja dipasang rigid di atas material landasan, maka dilakukan proses pengelasan. Proses ini dengan memasukkan *pin* hingga *shoulder depth plunge* dari titik awal *joining line*. *Tool* diberi sudut inklinasi sebesar 2-4 derajat. Pada posisi ini, ditunggu beberapa saat (*dwell time*) hingga titik awal ini mulai melunak (70%-90%). Hal ini ditandai dengan adanya pergerakan yang ringan jika *tool* digerakkan ke arah pengelasan hingga akhir *joining line*. Untuk mengakhiri proses ini dengan mengangkat *tool* secara perlahan, dan meninggalkan lubang / *hole* di akhir garis penyambungan (Khaled, 2005).

Desain *shoulder* dan *probe* sangat penting untuk kualitas las, yang mana *probe* dari *tool* menghasilkan panas dan menggerakkan material yang sedang dilas, *shoulder* juga berperan pada bagian penting yaitu menyediakan *friction treatment* tambahan seperti halnya mencegah material plasticised lepas dari daerah las. Selain itu keduanya juga bergerak pada kecepatan tetap dan bergerak melintang pada kedua sambungan dari material yang akan disatukan. Rancangan *tool* adalah faktor yang sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan, karena rancangan *tool* yang tepat dapat meningkatkan kualitas las dan kecepatan las semaksimal mungkin.



**Gambar 0-8** Tampak depan dan samping pengelasan FSW (Khaled, 2005)



**Gambar 0-9** Tampak 3D pengelasan FSW (Khaled, 2005)

Panas yang dihasilkan dari gesekan *tool* dan material yang akan dilas sekitar 80% dari temperatur titik lebur material yang akan dilas. Material *tool* harus memiliki titik cair yang lebih tinggi dari material las, agar ketika proses pengelasan berlangsung material *tool* tidak ikut tercampur dengan lasan. Material *tool* harus mempunyai kekuatan yang cukup pada temperatur ini karena jika tidak maka *tool* dapat terpuntir dan retak. Oleh sebab itu diharapkan material *tool* cukup kuat, keras dan liat pada suhu pengelasan. Sebaiknya material yang digunakan juga mempunyai ketahanan oksida yang baik dan penghantar panas rendah untuk mengurangi kerugian panas dan kerusakan termal pada mesin.

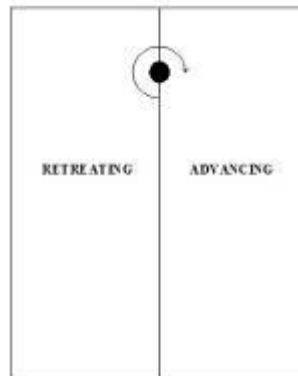
### 2.2.2. Parameter Pengelasan FSW

Pada *friction stir welding* terdapat beberapa parameter yang sangat mempengaruhi hasil pengelasan, diantaranya kecepatan putar *tool* (RPM), sudut pada *tool* dan kecepatan pengelasan (*travel speed*). Perputaran *tool* menghasilkan material yang teraduk disekitar *pin*, sedangkan pergerakan *tool* menyebabkan berpindahnya material yang teraduk dari depan ke belakang *pin* yang kemudian menyelesaikan proses pengelasan. Selain dua parameter tersebut kedalaman penekanan *tool* saat pengelasan dan bentuk geometri *tool* juga sangat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan *friction stir welding*.



**Gambar 0-10** Contoh *tool* untuk pengelasan FSW

Adanya perbedaan ukuran butir pada sisi *advancing*, *retreating*, bagian permukaan serta akar las ini disebabkan adanya perbedaan suhu pengelasan serta adanya perbedaan dissipasi panas [Mishra dan Ma, (2005)]. Biasanya penurunan kekuatan mekanik sambungan las terjadi pada daerah HAZ pada sisi *advancing* yang disebabkan tingginya suhu pengelasan. Pada Gambar 2-5berikut adalah visualisasi sisi *Advancing* dan *Retreating*.



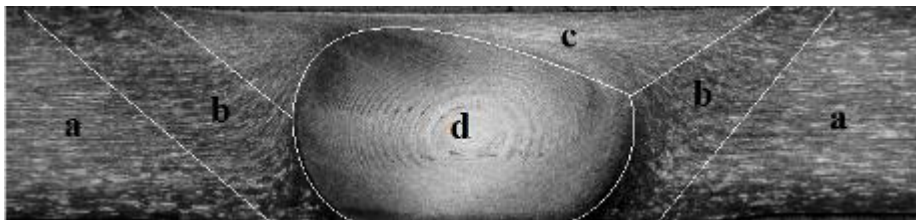
**Gambar 0-11** Posisi *Advancing* dan *Retreating*

Suhu pengelasan dipengaruhi oleh parameter *tool*, kecepatan putar *tool*, sudut kemiringan *tool*, gaya penekanan *tool*, dan kecepatan pengelasan. Semakin kasar permukaan *tool* akan menyebabkan suhu pengelasan semakin tinggi. Semakin tinggi kecepatan putar maka suhu pengelasan semakin meningkat. Demikian pula dengan peningkatan penekanan *tool* maka suhu pengelasan semakin meningkat [Rajakumar, dkk (2010)].

### 2.2.3. Daerah Terpengaruh Pengelasan

Karakterisasi struktur mikro butir dan presipitasi di daerah pengelasan FSW dibedakan menjadi *nugget zone*, *thermo-mechanically affected zone (TMAZ)*, *heat affected zone (HAZ)* dan *base material*. Variasi struktur mikro dapat dilihat pada gambar 2-6.

*Nugget zone* adalah daerah yang dipengaruhi oleh panas gesek dan deformasi plastis yang tinggi menyebabkan struktur mikro daerah ini adalah butir halus rekristalisasi. Bentuk *nugget* dipengaruhi oleh parameter pengelasan, temperature benda kerja dan konduktifitas thermal material. Ukuran butir didaerah *nugget* tergantung dari parameter pengelasan, suhu benda kerja, gaya tekan, komposisi kimia benda kerja, geometri *tool* dan laju pendinginan.



**Gambar 0-12** Variasi daerah struktur mikro hasil pengelasan FSW (a) *base metal*, (b) HAZ, (c) TMAZ (d) *Stir Zone*. [Elangovan, dan Balasubramanian, (2008)]

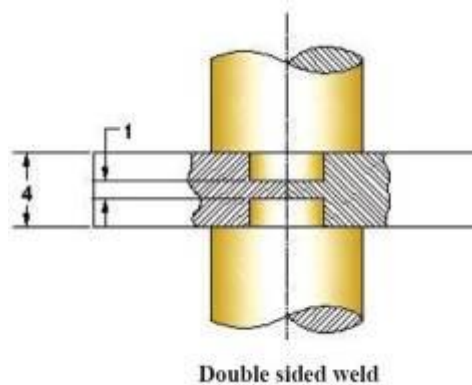
*Thermo-mechanically affected zone (TMAZ)* adalah daerah yang dipengaruhi oleh temperatur dan deformasi selama proses pengelasan. Struktur mikro di daerah TMAZ mengalami deformasi plastis yang tinggi tetapi tidak terjadi rekristalisasi. Sedangkan daerah *Heat-affected zone (HAZ)* mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis. Struktur butir pada daerah HAZ mempunyai struktur yang sama dengan *base material* [Mishra, dan Ma, (2005)].

### 2.2.4. Pengelasan dua sisi

Pada pengelasan *butt joint* biasa digunakan metode pengelasan dua sisi. Metode ini biasanya dilakukan pada penyambungan material dengan ukuran ketebalan yang besar. Selain itu juga ditujukan untuk memperoleh kekuatan yang lebih tinggi dari dua

belah sisi. Namun metode pengelasan dua sisi pada produksi kapal biasa dilakukan hanya pada bagian-bagian tertentu saja yang memungkinkan posisinya. Dengan *Friction Stir Welding* yang sampai saat ini belum ada mesin *portable* nya juga hanya memungkinkan pengelasan pada proses fabrikasi di bengkel.

Yang pernah melakukan penelitian tentang pengelasan dua sisi menggunakan FSW, hasil pengelasan dua sisi lebih baik dari pengelasan biasanya. Dengan pergerakan *tool* satu arah yang sama menghasilkan area pengelasan yang merata di bagian *retreating* dan *advancing* [Ram Kumar,(2012)]. Penelitian tersebut dilakukan pada material Aluminium 1100 H14. Berikut adalah visualisasi cara pengelasan dua sisi.



**Gambar 0-13** Pengelasan dua sisi

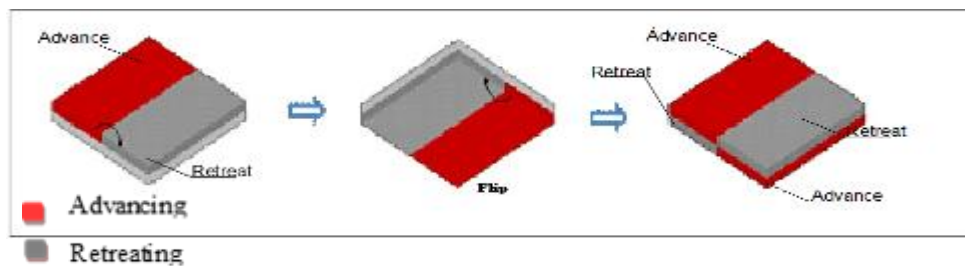
#### 2.2.5. Pengelasan sisi beda

Pada pengelasan friction stir welding sisi pertama, sisi yang kiri mendapat perlakuan sebagai sisi *advancing* dan sisi kanan sebagai sisi *retreating*, kemudian pada pengelasan sisi kedua tes kupon dibalik ke arah samping lalu di las kembali pada posisi yang sama sehingga kedua sisi permukaan dan akar las memiliki perlakuan yang berbeda. Dari hasil penelitian sebelumnya [Taufik, 2014] pengujian tarik didapatkan bahwa spesimen FSW sisi beda memiliki kekuatan tarik maksimum lebih besar 3.53% dari spesimen FSW sisi sama, hal ini sesuai dengan pernyataan yang menyatakan bahwa pengelasan FSW sisi sama akan mengalami penurunan sifat mekanik yang diakibatkan oleh besarnya suhu pengelasan pada sisi *advancing* yang berakumulasi. Hasil uji kekerasan pada hasil pengelasan FSW sisi beda memiliki nilai yang dominan lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan FSW sisi sama. Rata-rata



nilai kekerasan FSW sisi sama sebesar 82.43 HV dan rata-rata nilai kekerasan FSW sisi beda sebesar 70.16 HV, dengan nilai perbedaan rata-rata 17.01% ini dapat disimpulkan bahwa pengelasan FSW sisi beda lebih baik dibandingkan dengan pengelasan FSW sisi sama. Dari data hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa perlakuan pengelasan dua sisi FSW sisi beda memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada FSW sisi sama. Merujuk pada *acceptance criteria* BKI 2009 untuk pengelasan aluminium *alloy* untuk aplikasi pada struktur kapal, pengelasan dua sisi FSW sisi beda dapat diterapkan pada pengelasan struktur kapal katamaran berbahan aluminium[Taufik, 2014].

Perlakuan pengelasan FSW sisi beda memberikan hasil yang lebih baik secara keseluruhan. Dimulai dari nilai tegangan maksimum, nilai kekerasan yang lebih tinggi dan ukuran butir yang merata antara kedua sisi-nya.

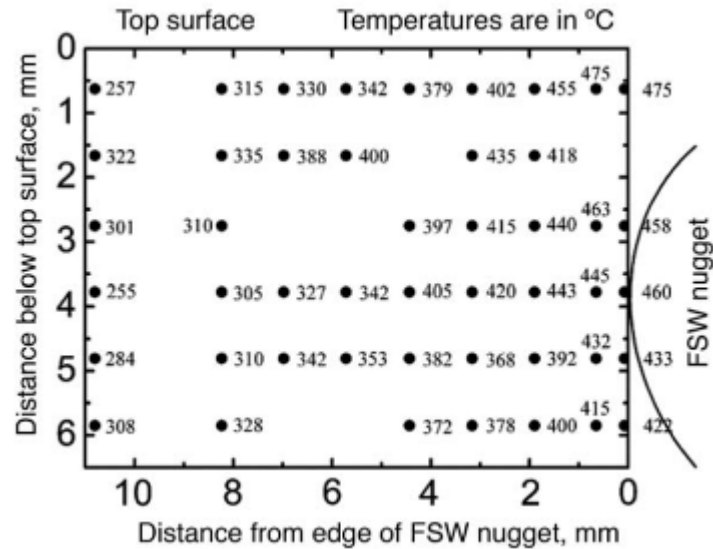


**Gambar 0-14** Perlakuan pengelasan yang dilakukan FSW sisi beda

### 2.2.6. Distribusi suhu

Sebuah penelitian evolusi mikrostruktur pada Al 7075 - T651 selama FSW oleh Rhodes dkk, menunjukkan pelarutan endapan yang lebih besar dan kembali mengendap di pusat lasan. Oleh karena itu, mereka menyimpulkan bahwa suhu proses maksimum adalah antara sekitar 400 dan 480°C dalam FSW 7075 Al - T651. Murr dan rekan kerjanya menunjukkan bahwa beberapa endapan tidak larut selama pengelasan dan menyarankan bahwa suhu puncak mencapai sekitar 400°C dalam FSW 6061AL. Baru-baru ini, Sato dkk mempelajari evolusi mikrostruktur 6063Al selama FSW menggunakan transmission elektron mikroskop (TEM) dan dibandingkan dengan simulasi siklus thermal las. Mereka menyimpulkan bahwa endapan dalam wilayah las (0-8,5 mm dari pusat las) benar-benar larut dalam matriks aluminium. Dengan membandingkan dengan mikro las simulasi siklus termal pada suhu puncak yang berbeda, mereka menyimpulkan bahwa daerah 0-8.5, 10, 12.5, dan 15 mm dari

pusat las *friction stir* dipanaskan sampai suhu lebih tinggi dari 402, 353, 302 °C dan lebih rendah dari 201 °C, berturut-turut.



**Gambar 0-15** - Distribusi suhu puncak friction stir weld in 7075Al-T651. Garis di sisi kanan gambar menunjukkan batas nugget

Tabel II.7 menunjukkan bahwa efisiensi sambungan las berkisar 65-96% untuk paduan aluminium dengan perlakuan panas dan 95-119% untuk paduan aluminium tanpa perlakuan panas 5083Al. Efisiensi sambungan FSW secara signifikan lebih tinggi dari pada pengelasan fusi konvensional, terutama untuk paduan aluminium dengan perlakuan panas.

**Tabel 0.7** – *Friction Stir Welding* yang efisien untuk *Aluminium Alloy*

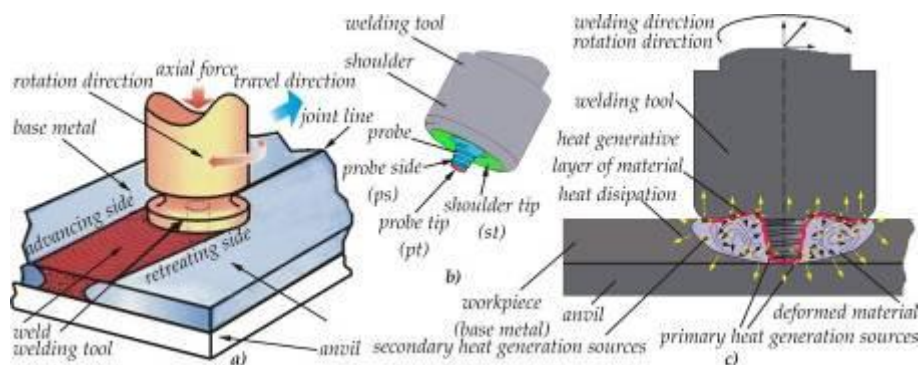
| Alloy               | Base metal UTS | Friction stir weld UTS | Joint efficiency (%) | References       |
|---------------------|----------------|------------------------|----------------------|------------------|
| APC458-T8           | 544,7          | 362,0                  | 66                   | [131]            |
| 2014-T651 (6 mm)    | 479-483        | 326-338                | 68-70                | [131,134]        |
| 2024-T351 (5 mm)    | 483-493        | 410-434                | 83-90                | [131,135]        |
| 2219-T87            | 475,8          | 310,3                  | 65                   | [131]            |
| 2195-T8             | 593,0          | 406,8                  | 69                   | [131]            |
| 5083-O (6-15 mm)    | 285-298        | 271-344                | 95-119               | [12,131,132,134] |
| 6061-T6 (5 mm)      | 319-324        | 217-252                | 67-79                | [131,135]        |
| 7050-T7451 (6,4 mm) | 545-558        | 427-441                | 77-81                | [102,131,138]    |
| 7075-T7351          | 472,3          | 455,1                  | 96                   | [131]            |
| 7075-T651 (6,4 mm)  | 622            | 468                    | 75                   | [41]             |
| 6056-T78 (6 mm)     | 332            | 247                    | 74                   | [133]            |
| 5005-H14 (3 mm)     | 158            | 118                    | 75                   | [135]            |
| 7020-T6 (5 mm)      | 385            | 325                    | 84                   | [135]            |
| 6063-T5 (4 mm)      | 216            | 155                    | 72                   | [78]             |
| 2024-T3 (4 mm)      | 478            | 425-441                | 89-90                | [136,137]        |
| 7475-T76            |                | 465                    | 92                   | [136]            |
| 6013-T6 (4 mm)      | 394-398        | 295-322                | 75-81                | [75,137]         |
| 6013-T4 (4 mm)      | 320            | 323                    | 94                   | [75]             |
| 2519-T87 (25,4 mm)  | 480            | 379                    | 79                   | [89]             |

### 2.2.7. Landasan Friction Stir Welding

Landasan pada proses pengelasan *friction stir welding* (FSW) digunakan agar pada saat proses pengelasan plat tidak berubah posisi. Landasan pada FSW merupakan permukaan datar, maka dari itu pengelasan pada FSW terbatas pada kondisi bagian-bagian yang datar atau lurus, tidak dapat di aplikasikan pada semua bagian kapan.

Penggunaan landasan pada FSW berpengaruh pada suhu puncak yang lebih tinggi dan laju pendinginan yang lebih rendah (Upadhyay, 2012). Landasan menerima panas saat proses pengelasan berlangsung. Panas yang di timbulkan akibat gesekan yang terjadi antara plat dan tool pada FSW.

Dengan penggunaan landasan yang pada FSW menunjukkan perbedaan suhu yang signifikan ketika menggunakan landasan yang berbeda. Menunjukkan bahwa penggunaan landasan yang memiliki konduktivitas bervariasi sangat penting (Upadhyay, 2012).



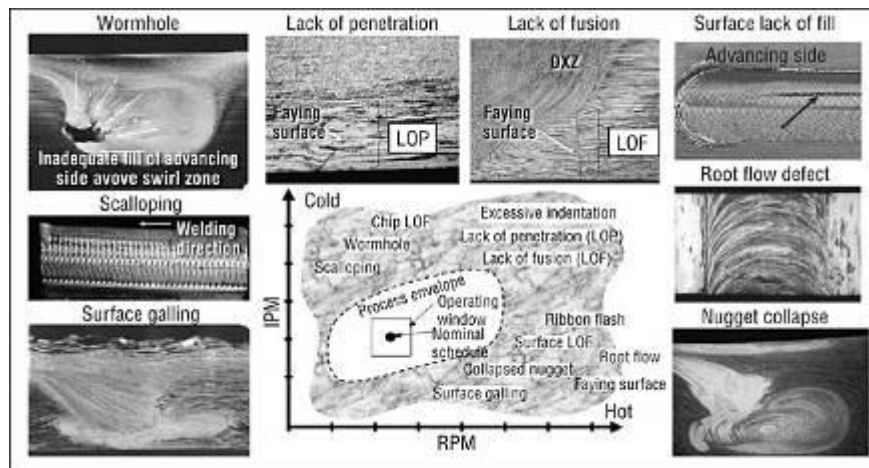
**Gambar 0-16** Skema Landasan pada pengelasan FSW

### 2.2.8. Cacat - cacat yang timbul

Pada hasil pengelasan FSW ada beberapa kemungkinan cacat yang akan timbul setelah proses pengelasan. Cacat dapat timbul karena parameter atau pun variabel yang tidak terpenuhi. Cacat yang mungkin timbul antara lain (lihat Gambar 2-9):

1. *Wormhole*
2. *Lack of Penetration*

3. *Lack of Fusion*
4. *Surface Lack of Fill*
5. *Scalloping*
6. *Root Flow Defect*
7. *Surface Galling*
8. *Nugget Collapse*



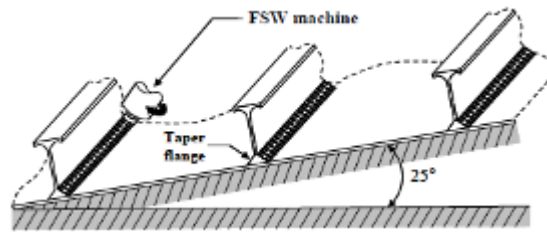
**Gambar 0-17** Cacat - cacat FSW

### 2.3. Aplikasi untuk pembangunan kapal

Didasarkan keterbatasan pengelasan *friction stir welding* dan keberadaan stok aluminium proses pembuatan *stiffened panel* kapal ada empat metode[Paik,(2009)], yaitu:

a. Metode A:

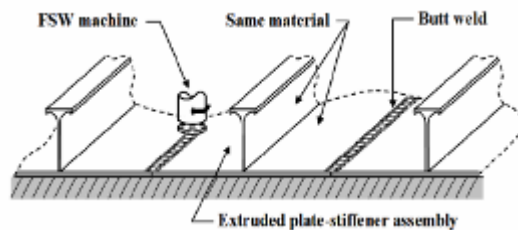
Bahan dasar adalah plat dan stiffener dengan flange tirus  $25^{\circ}$  kemudian *stiffener* disambung *fillet* dengan cara menaikkan plat beserta landasan  $25^{\circ}$ . Metode ini dapat dilakukan tetapi diperlukan pencekaman material yang lebih rumit. Gambar 2-10 menunjukkan skema proses pembuatan *stiffened panel* dengan konfigurasi sambungan *fillet*.



**Gambar 0-18** Pembuatan *stiffened panel* model A (Paik, 2009)

b. Metode B:

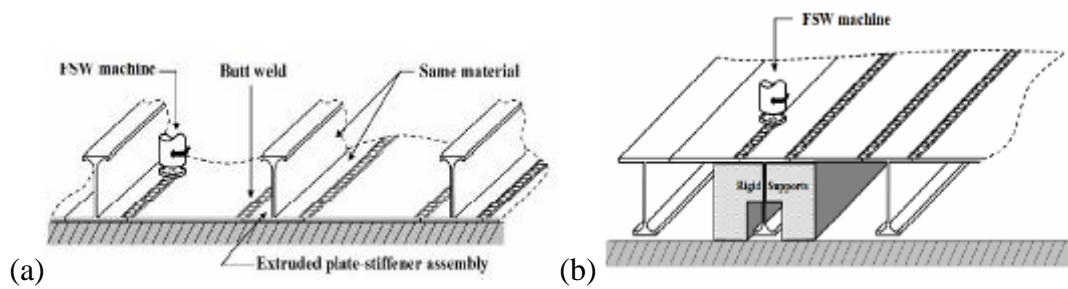
Bahan dasar adalah *stiffener extrude* integral dimana *flange* yang akan disambung sangat lebar sesuai dengan kebutuhan lebar *stiffened panel*, kemudian disambung butt untuk dijadikan sebuah *stiffened panel* yang lebih. Kelemahan dari metode ini adalah pengadaan *stiffener extrud integral* yang sulit. Metode ini mempunyai kelebihan tidak perlu adanya *finishing* pada sisi luar karena hasil lasan ini tampak halus dan tidak perlu menggerinda sisi luar.



**Gambar 0-19** Pembuatan *stiffened panel* dengan metode B [Paik, (2009)].

c. Metode C1 dan C2:

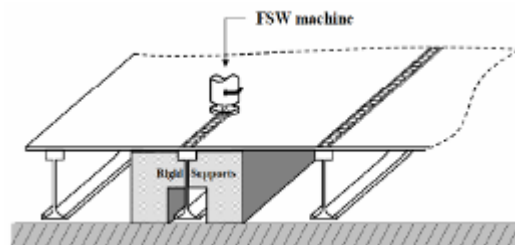
Bahan dasar terdiri dari plat *roll* dan *stiffener* dengan profil I yang disambung konfigurasi butt pada flange sebelah kiri maupun kanan dengan FSW (lihat gambar 2-12). Perbedaan antara metode C1 dan C2 adalah terletak pada arah pengelasan dimana C1 arah pengelasan dimulai dari sisi dalam sedangkan metode C2 arah pengelasan dimulai dari sisi luar *stiffener*. Metode pengelasan C1 mempunyai kekurangan yaitu akses tool terhalangi oleh profil sehingga tool tidak dapat bekerja dengan leluasa. Metode C2 lebih dapat dilaksanakan karena pencekam dapat dirancang agar tidak terganggu adanya profil sedangkan akses tool tidak terhalangi.



**Gambar 0-20** Pembuatan *stiffened panel* (a) metode C1 (b) metode C2 [Paik, (2009)].

d. Metode D:

Bahan dasar terdiri dari plat roll dan stiffener dengan profil T dimana profil T bagian bawah lebar disambung konfigurasi lap dari arah berlawanan dengan sisi luar stiffener.



**Gambar 0-21** Pembuatan *stiffened panel* metode D (Paik, 2009)

## 2.4. Pengujian hasil pengelasan

Pengujian hasil pengelasan dibagi menjadi dua metode. Metode yang pertama adalah *Destructive Test* (DT), adalah sebuah pengujian dimana dalam pengujiannya merusak material. Metode yang kedua adalah *Non Destructive Test* (NDT) dimana pengujian ini sifatnya tidak merusak material.

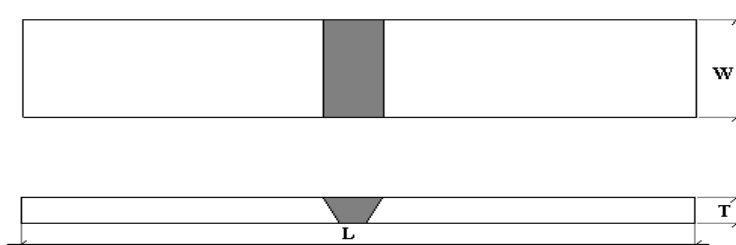
Dalam aplikasinya, NDT menggunakan bermacam-macam metode yang sekarang ini terus berkembang dengan pesat untuk memperoleh cara yang lebih baik. Ada beberapa metode dalam Non Destructive Testing antara lain, *Liquid Penetrant Test* (PT), *Visual Inspection* (VT), *Magnetic Particle Inspection* (MT), *Ultrasonic Inspection* (UT), *Radiographic Inspection* (RT), *Eddy Current Test* atau *Electromagnetic Test* (ET), *Acoustic Emission Testing* (AE) dan *Leak Test* (LT).

Sedangkan metode DT (*Destructive Test*) yaitu suatu cara pengujian hasil lasan dengan cara merusak lasan yang diuji. Tujuannya adalah untuk mengetahui kekuatan lasan terhadap suatu jenis pembebanan. Pengujian merusak antara lain *tensile test*, *bending test*, *hardness test* dan *impact test*.

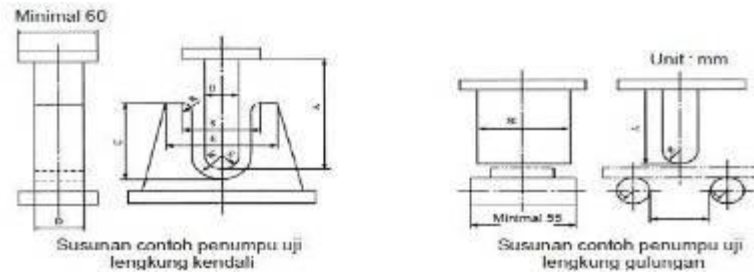
#### 2.4.1. *Bending test*

Uji lengkung (*bending test*) merupakan salah satu jenis pengujian bahan yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik suatu bahan teknik. Dalam prakteknya masih sedikit para praktisi pengujian bahan yang memperhatikan aspek dan pengaruh variasi dimensi benda uji terhadap data hasil uji lengkung. Pengujian tekuk dapat dilakukan pada *raw material* maupun sambungan las. Pada *raw material*, pengujian tekuk digunakan untuk mengevaluasi kekuatan tekuk suatu material. Kekuatan tekuk merupakan sifat mekanis material yang penting, terutama untuk perencanaan konstruksi maupu pengerjaan material tersebut. Namun pengujian ini tidak dapat dipakai sebagai metode kuantitatif untuk memprediksi *service performance* dalam *bending operation*.

Pada sambungan las, dalam hal ini butt joint, pengujian tekuk digunakan untuk menguji kualitas sambungan tersebut. Yaitu untuk mengetahui kekenyalan dan adanya cacat pada bagian dalam dari logam las tersebut. Untuk menentukan kuat tekuk suatu material, maka dilakukan pengujian tekuk pada material tersebut dengan cara meletakkan specimen uji dengan ukuran yang telah dibuat berdasarkan standar di atas dua buah *roll* penumpu yang dapat berputar dengan jarak tertentu. Selanjutnya bagian tengah specimen ditekan dengan Mandrel sehingga membentuk sudut tertentu, yang berkisar antara 90-180°.



**Gambar 0-22** Specimen Bending test



**Gambar 0-23** Simulasi Bending Test

Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji bending dibedakan menjadi 2 yaitu *transversal bending* dan *longitudinal bending*.

a) *Transversal Bending*

Pada *transversal bending* ini, pengambilan spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Berdasarkan arah pembebanan dan lokasi pengamatan, pengujian transversal bending dibagi menjadi tiga :

- *Face Bend* ( Bending pada permukaan las )
- *Root Bend* ( Bending pada akar las )
- *Side Bend* ( Bending pada sisi las )

#### 2.4.2. Radiografi

Setelah dilakukan pengelasan perlu dilakukan pengujian dan pemeriksaan hasil pengelasan untuk menjaga dan mengawasi kualitas hasil pengelasan. Pengujian radiografi merupakan salah satu cara mendeteksi baik atau tidaknya kualitas hasil pengelasan dengan cara menampilkan cacat-cacat yang ada.

Keuntungan uji radiografi :

- Mampu mendeteksi cacat internal
- Mampu memeriksa material logam dan non logam
- Mampu memeriksa baik *raw material* maupun hasil pengelasan
- Mampu menghasilkan rekaman permanen dari hasil pengujian

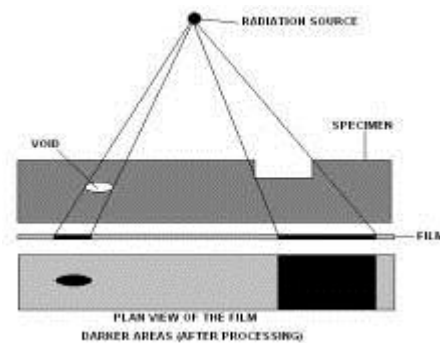
Kekurangan uji radiografi :

- Harga peralatan dan biaya operasional relatif mahal
- Adanya bahaya radiasi
- Waktu set-up lama



- Diperlukan akses dari kedua sisi komponen.

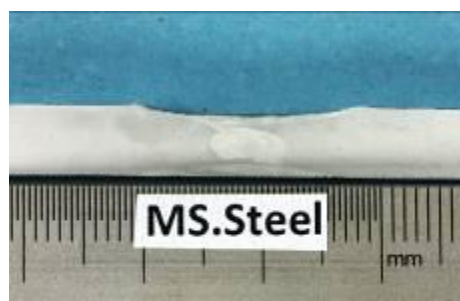
Uji radiografi termasuk pengujian material yang tidak merusak (non-destructive test). Pada dasarnya, pengujian ini adalah penyinaran benda uji / specimen dengan sinar elektromagnetik seperti sinar X atau sinar gamma yang berupa cahaya putih yang dapat menembus material.



**Gambar 0-24** Prinsip kerja uji radiografi  
([en.wikipedia.org/wiki/Radiographic\\_testing](http://en.wikipedia.org/wiki/Radiographic_testing))

### 2.4.3. Makroetsa

Struktur makro adalah struktur dari logam yang terlihat secara kasat mata pada permukaan yang dietsa dari spesimen yang telah dihaluskan. Etsa dilakukan untuk melihat struktur dari sebuah spesimen yang bertujuan untuk memberikan kontras pada spesimen uji sehingga struktur logam dapat dilihat dengan jelas. Pemeriksaan hasil etsa dilakukan dengan kaca pembesar atau mikroskop dengan pembesaran 0.5 sampai 50 kali.



**Gambar 0-25** Hasil foto Makro

#### 2.4.4. Foto Mikro

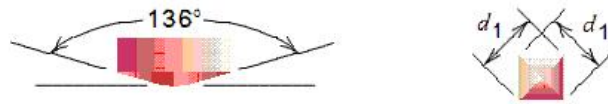
Pengujian mikrostruktur secara umum prosesnya miri dengan makroetsa, hanya saja pada saat proses pengambilan foto mikrostruktur menggunakan Scaning Electron Mcroscope (SEM) pembesaran sampai 2000 kali. Untuk tahap persiapan, spesimen dicelupkan ke dalam larutan *reagent keller's* yang terdiri dari 2 ml Hydrofluorid Acid (HF), 3 ml HCl, 20 ml HNO<sub>3</sub>, 175 ml Air aki selama 30 detik. Setelah dicelup ke larutan, dicelup ke alkohol 90% hingga terlihat bentuk daerah pengelasan. Specimen disiriam dengan air dan dikeringkan dengan *hair dryer*. Selanjutnya *speciment* siap dilakukan proses foto SEM (Scanning Electron Microscope) EDAX (Energy Dispersive X-ray Analyss).

#### 2.4.5. Hardness Test

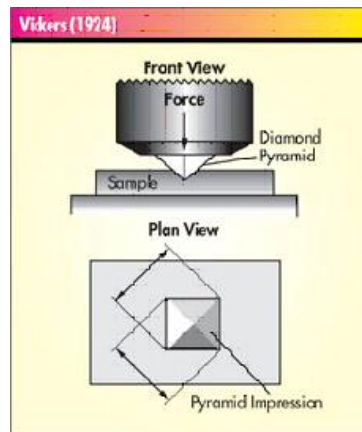
Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mangalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis itu sendiri mempunyai arti suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban identasi atau penetrasi (penekanan).

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid seperti ditunjukkan pada gambar 2-18. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian rockwell dan brinel yaitu antara 1 sampai 1000 gram.

Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indentor (A) yang dikalikan dengan  $\sin(136^\circ/2)$ . Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode vikers yaitu seperti yang tertulis dibawah ini.



**Gambar 0-26** Bentuk Indektor Vickres  
[Callister,(2001)]



**Gambar 0-27** Pengujian Vickres

$$HV = \frac{F}{A} \times \sin \frac{136^\circ}{2} \dots\dots\dots(1)$$

$$HV = \frac{F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{\frac{d^2}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(3)$$

**Dimana,**

HV = Angka kekerasan Vickers

F = Beban (kgf)

d = diagonal (mm)

#### 2.4.6. Uji Tarik (*Tensile test*)

*Tensile Test* merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Kekuatan elastis suatu material yang berbahan baja sangat penting untuk diketahui nilainya. Hal ini dikarenakan sifat material yakni mempunyai *yield point* (titik luluh). Oleh karena itu tegangan yang bekerja pada suatu bagian material dari konstruksi tersebut tidak boleh melebihi tegangan luluh (*yield point*) dari material yang digunakan karena jika beban yang bekerja pada konstruksi tersebut besarnya melebihi tegangan luluh (*yield point*), maka material tersebut akan mengalami deformasi plastis yang selanjutnya dapat mengakibatkan terjadinya kepecahan.

Dalam Pengujian tarik, banyak hal yang dapat kita ambil untuk dipelajari. Pada saat material uji menerima beban sebesar  $P$  kg maka material uji akan mengalami pertambahan panjang sebesar  $\Delta L$  mm. Pada saat itu juga pada material uji bekerja:

- Tegangan sebesar :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad [\text{kg/mm}^2]$$

- Regangan sebesar :

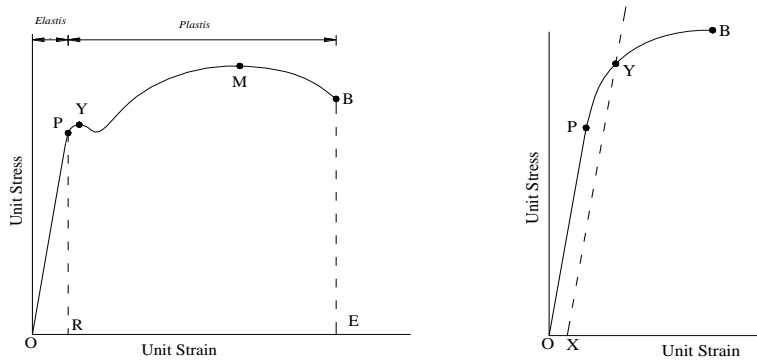
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad [\%]$$

#### Hukum Hooke (*Hooke's Law*)

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban mengikuti aturan Hooke sebagai berikut:

*rasio tegangan (stress) dan regangan (strain) adalah konstan*

Data yang diperoleh dari mesin tarik masih berupa grafik beban-pertambahan panjang (graik  $P - \Delta L$ ). Grafik ini menggambarkan kemampuan suatu material material uji menerima beban gaya untuk menggambarkan sifat bahan secara umum maka garafik tersebut dirubah menjadi diagram Tegangan –*Stress-Strain Diagram* seperti pada Gambar 2-28.

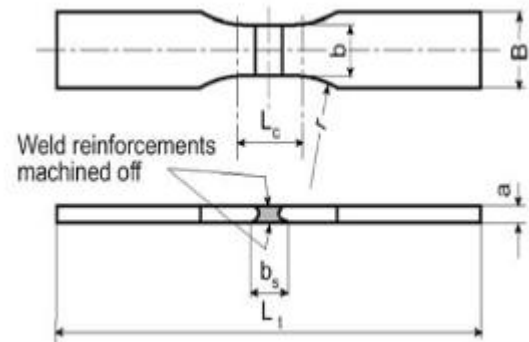


**Gambar 0-28** Stress Strain Diagram untuk Material *Ductile* (kiri) dan Material *Brittle* (kanan)

- Ket.
- P : Titik Batas Proporsional
  - Y : Titik Batas Luluh (*Yield Point*)
  - E : Batas Elastisitas (*Elasticity Limit*)
  - M : Titik Batas Maksimum (*Ultimate Point*)
  - B : Titik Patah (*Break Point*)

Dalam proses pengujian tarik,ada beberapa parameter untuk menentukan ukuran dari specimen nya. Dan untuk menentukannya terdapat rules yang digunakan sebagai acuan proses pengujian seperti yang terdapat pada Gambar 2-22 berikut.

| Specimen thickness $a$   | $\leq 5$                              | $> 5$<br>to<br>$\leq 10$ | $> 10$<br>to<br>$\leq 20$ | $> 20$<br>to<br>$\leq 30$ |
|--|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Specimen width $b$   | 15                                    | 20                       | 25                        | 30                        |
| Gauge length $L_c$   | Weld width $b_w + 80 \text{ mm}^{1)}$ |                          |                           |                           |
| Lead width $B$   | $\geq 25$                             | $\geq 30$                | $\geq 35$                 | $\geq 40$                 |
| Total length $L_t$   | $\geq L_c + 180$                      |                          |                           |                           |
| Radius at shoulder $r$   | $\geq 35$                             |                          |                           |                           |
| <sup>1)</sup> $b_w$ measured on the side of the weld with the greater seam width.<br>Note : Measurements in mm |                                       |                          |                           |                           |

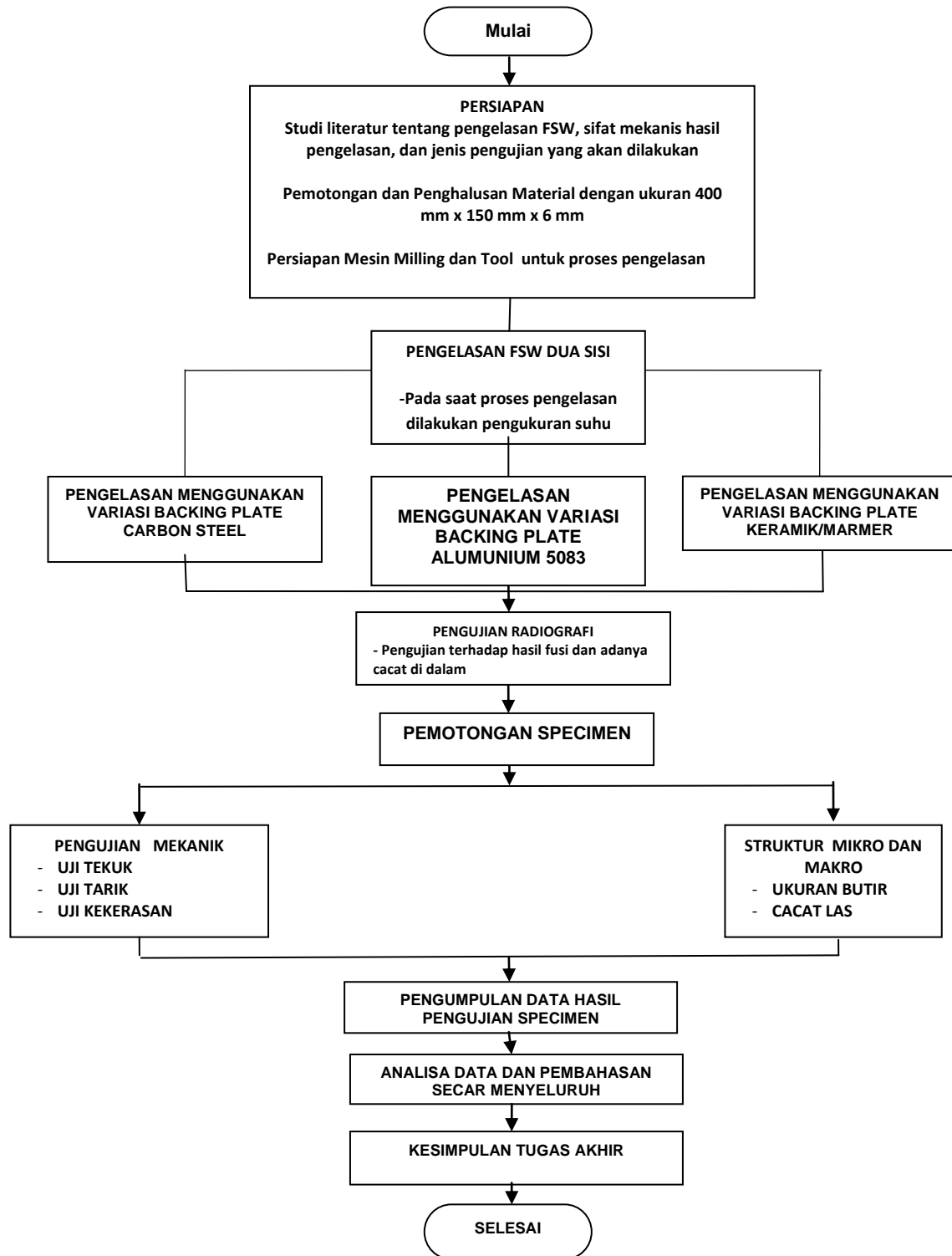


**Gambar 0-29** Rules Pengujian Tarik [BKI Vol VI Sec.11 (2009)]

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 3

## METODOLOGI PENELITIAN





### 3.1. Bahan Penelitian

Bahan bahan yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### 3.1.1. Material

Material yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan Aluminium 5083 dengan unsur paduan utama yaitu Aluminium (Al) dan Magnesium (Mg). Dimensi material yang dilakukan pengelasan sebagai berikut :

- Panjang : 400 mm
- Lebar : 150 mm
- Tebal : 6 mm
- Jumlah : 6 buah ( 3 pasang )



**Gambar 3-1** Material Aluminium 5083

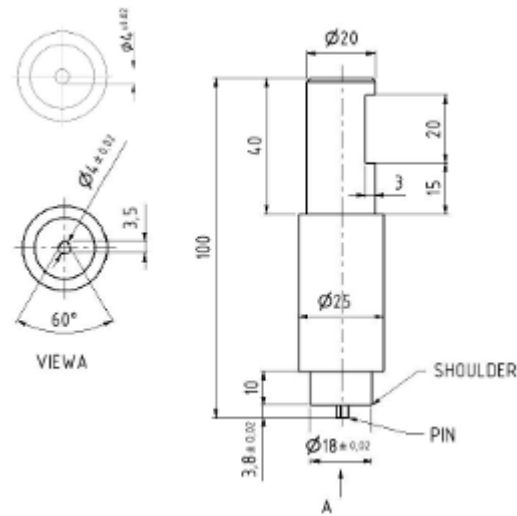
#### 3.1.2. Tool

Material yang digunakan dari bahan HSS (*high speed steel*). Bahan ini digunakan sebagai mata pahat untuk mesin bubut. Untuk pemilihan tool dan bentuk pin dilakukan menyesuaikan dengan jangkauan kedalaman pembenaman nya. Selain itu juga menggunakan referensi dari penelitian sebelumnya tentang variasi bentuk pin. Untuk itu *tool* yang akan digunakan memiliki bentuk *straight cylindrical* dengan bentuk *triangular pin* untuk pengelasan dua sisi dan *four-side pin* untuk pengelasan satu sisi (lihat Gambar 3-2 dan 3-3) dengan ukuran sebagai berikut :

Diameter *pin* = 4 mm

Panjang *pin* = 3.8 mm

Diameter *shoulder* = 18 mm



**Gambar 3-2** Sketsa bentuk *tool* yang digunakan



**Gambar 3-3** *Tools* yang siap digunakan

## 3.2 Peralatan Penelitian

Penelitian ini membutuhkan beberapa peralatan yang memiliki fungsi masing-masing dari persiapan material, proses pengelasan, pembentukan dan pemeriksaan *speciment* uji yang sesuai.

### 3.2.1. Peralatan untuk persiapan material

1. Gerinda
2. Kikir

### 3.2.2. Peralatan untuk proses pengelasan

1. Mesin frais / *milling machine*
2. *Clamp*
3. *Backing plate*

4. Alat pengukur suhu
5. Penggaris
6. *Marker*

### 3.2.3. Peralatan untuk pembentukan specimen uji

1. Mesin gergaji
2. Mesin gerinda
3. Ragum
4. Mesin poles
5. Kertas gosok
6. Mesin scrap
7. Kikir
8. Jangka sorong

### 3.2.4. Peralatan untuk pemeriksaan metalografi (makro dan mikro)

1. SEM (Scanning Electron Microscope) dan EDAX (Energy Dispersive X-ray Analysis)
2. Kamera foto makro

## 3.3 Proses Pengelasan

Proses pengelasan yang digunakan untuk menyambung dua buah aluminium 5083 ini adalah proses *friction stir welding* (FSW). Parameter yang digunakan dalam pengelasan ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Parameter pengelasan *friction stir welding*

|                                 |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| <b><i>Joints</i></b>            |                         |
| 1. <i>Joints design</i>         | I, <i>Square Groove</i> |
| 2. <i>Backing</i>               | yes                     |
| 3. <i>Backing material</i>      | <i>Carbon Steel</i>     |
| <b><i>Base Metal</i></b>        |                         |
| 4. <i>Specification</i>         | E5.4S/AL Mg 4.5 Mn/5083 |
| 5. Plate Thickness              | 6 [mm]                  |
| 6. <i>Type grade</i>            | Al 5083 H-116           |
| 7. <i>Plate Thickness range</i> | 3 ~ 12 [mm]             |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 8. <i>Preheat Temp</i>                    | <i>None</i>                   |
| 9. <i>Interpass Temp</i>                  | <i>80% melting point</i>      |
| 10. <i>PWHT</i>                           | <i>None</i>                   |
| <b>Position</b>                           |                               |
| 11. <i>Position</i>                       | <i>1 G (datar)</i>            |
| <b>Probe</b>                              |                               |
| 12. <i>Specification</i>                  | <i>HSS (High Speed Steel)</i> |
| <b>Probe Geometry</b>                     |                               |
| 13. <i>D/d ratio of tool</i>              | <i>None</i>                   |
| 14. <i>Pin Length (mm)</i>                | <i>3,8 [mm]</i>               |
| 15. <i>Tool shoulder diameter, D (mm)</i> | <i>18 [mm]</i>                |
| 16. <i>Pin diameter, d (mm)</i>           | <i>4 [mm]</i>                 |
| 17. <i>Tool inclined angle (degree)</i>   | <i>2.5° [degree]</i>          |
| <b>Technique</b>                          |                               |
| 18. <i>Technique</i>                      | <i>Friction and Stir</i>      |
| 19. <i>Single/Multipass</i>               | <i>Singlepass</i>             |
| <b>Welding Parameter</b>                  |                               |
| 20. <i>Rotational Speed (Rpm)</i>         | <i>1125 [Rpm]</i>             |
| 21. <i>Welding Speed (mm/s)</i>           | <i>30 [mm/min]</i>            |
| 22. <i>Axial Force (KN)</i>               | <i>None</i>                   |

3.4 P  
e  
l  
a  
k  
s  
a  
n  
a  
a  
n  
  
p  
e  
n  
g  
e

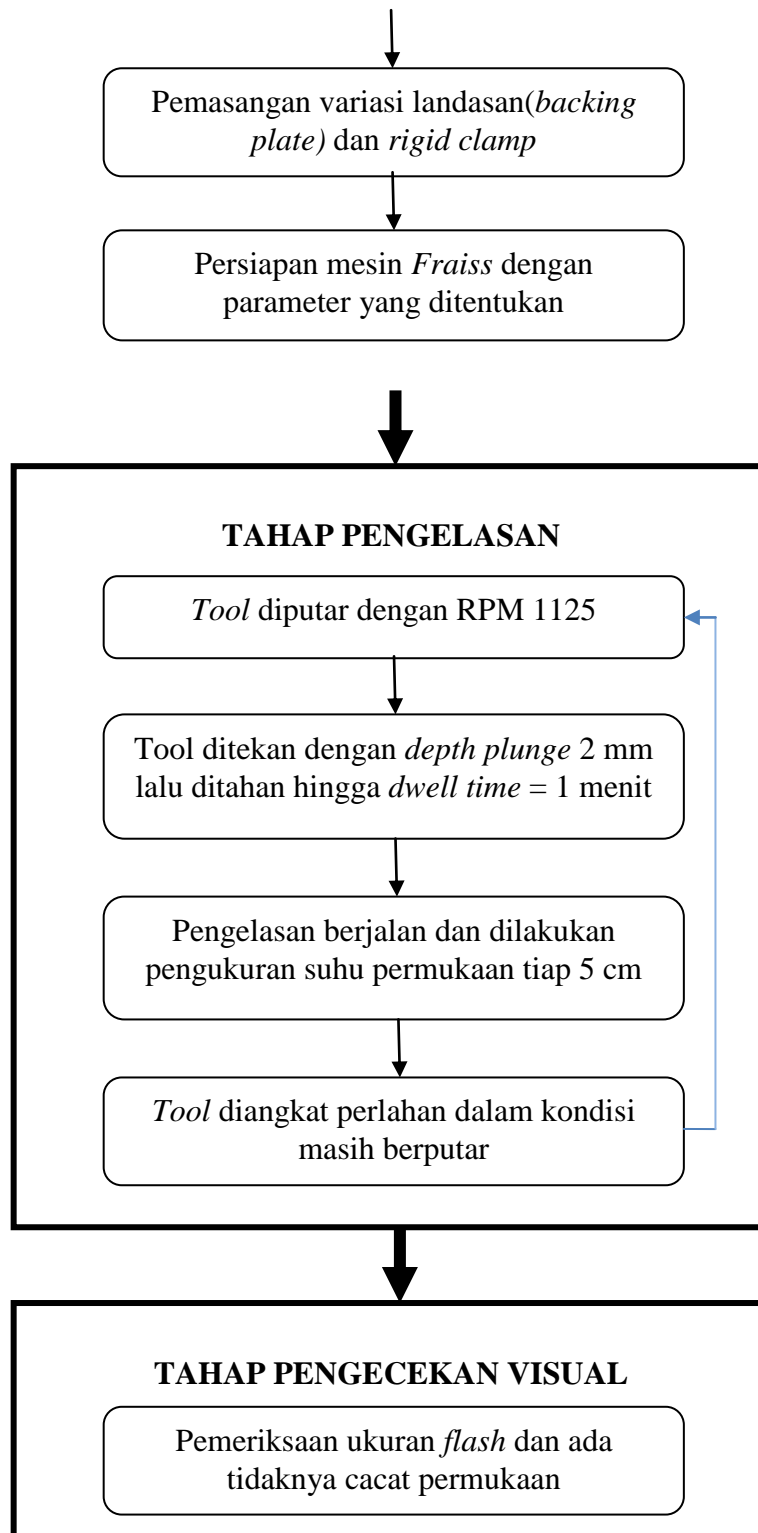
### lasan

Dari parameter pengelasan yang telah ditetapkan di atas, maka dilakukan tahapan-tahapan seperti pada Gambar 3-4 berikut. Untuk pengelasan dua sisi dilakukan dengan sudut tool 2,5° dan urutan yang sama dilakukan pada saat pengelasan di sisi kedua.

\

### TAHAP PERSIAPAN

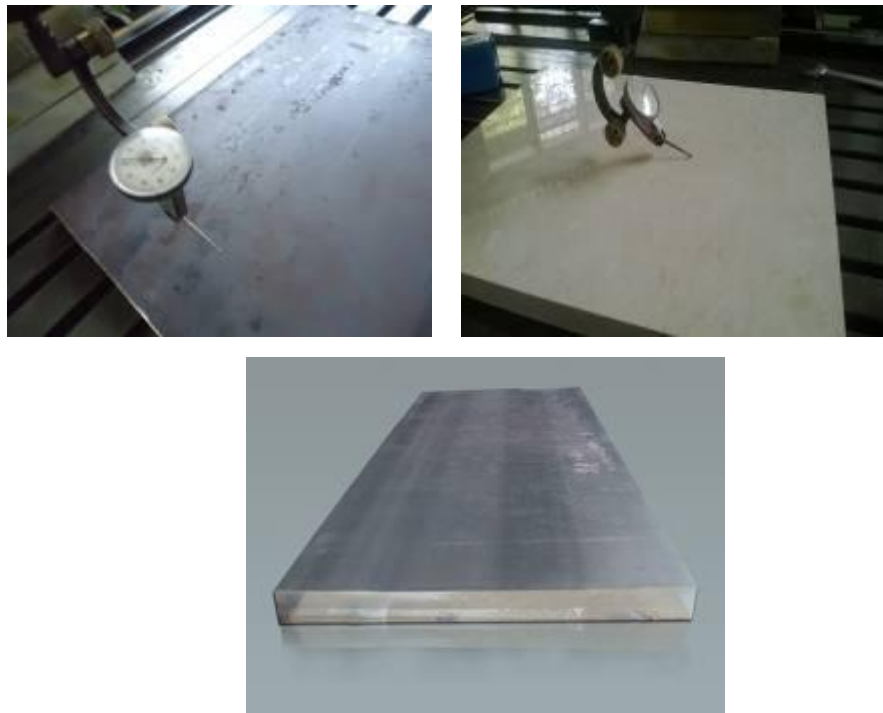
Pembersihan alur pengelasan



**Gambar 3-4** Urutan Proses Pengelasan

1. Tahap persiapan

- a. Pembersihan alur las dengan gerinda atau mesin *scrab*.
- b. Pemasangan landasan(*backing plate*) dan *rigid clamp* untuk meminimalisir deformasi yang akan terjadi saat proses pengelasan *butt joint*.
- c. Variasi landasan yang akan digunakan adalah landasan Mild Steel, landasan A15083, landasan Marmer.
- d. Pengaturan kelurusan dan kerataan Landasan(*backing plate*) terhadap material uji.



**Gambar 3-5** Pemasangan variasi landasan(*backing plate*)



**Gambar 3-6** Pemasangan *rigid clamp*

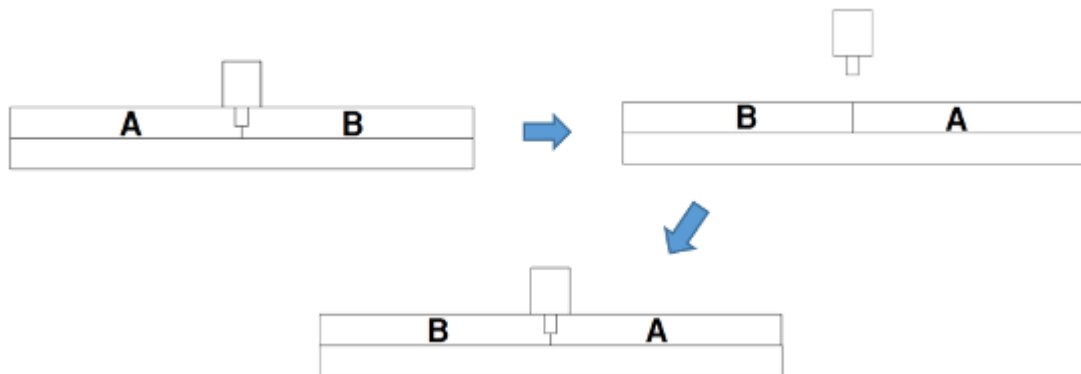
- e. Persiapan mesin fraiss / *milling* sesuai dengan parameter yang telah disebutkan.



**Gambar 3-7** Pengaturan parameter pada mesin Fraiss

## 2. Tahap pengelasan

Setelah dilakukan tahap persiapan di atas, maka dilakukan tahapan pengelasan menggunakan metode pengelasan dua sisi dengan sisi beda dan variasi landasan yang berbeda tiap spesimen. Gambar 3-8 menunjukkan skema proses pengelasan sisi dengan sisi beda.



**Gambar 3-8** Proses pengelasan dua sisi dengan sisi beda

Proses pengelasan ini tahapannya adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan pengelasan menggunakan material landasan (*backing plate*) yang berbeda.

### - Spesimen 1

Plat aluminium pertama di las menggunakan *friction stir welding* pengelasan dua sisi dengan sisi beda, kemudian menggunakan landasan (*backing plate*) material baja karbon.

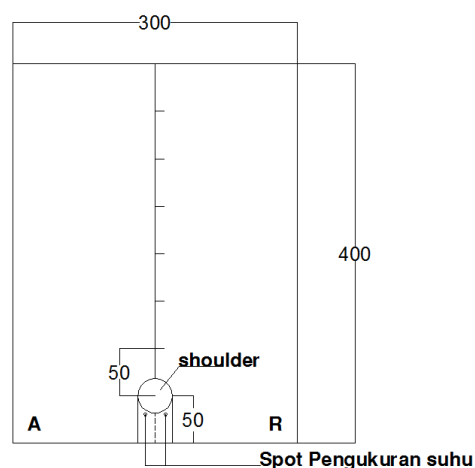
- Spesimen2

Plat aluminium kedua di las menggunakan *friction stir welding* pengelasan dua sisi dengan sisi beda, kemudian menggunakan landasan (*backing plate*) material aluminium.

- Specimen 3

Plat aluminium ketiga di las menggunakan *friction stir welding* pengelasan dua sisi dengan sisi beda, kemudian menggunakan landasan (*backing plate*) material keramik.

- b. *Tool* diputar dengan RPM 1125 dan menekan material hingga *shoulder* tepat menyentuh permukaan Aluminium 5083
- c. *Tool* yang telah menyentuh tepat di permukaan, dimasukan hingga kedalaman 2 mm. Penekanan ini disebut *shoulder depth plunge*, digunakan sebagai pengganti tekanan.
- d. Pin yang berada di dalam benda kerja dibiarkan beberapa saat hingga kondisi Aluminium 5083 hampir plastis. Benda kerja berada pada kondisi hampir plastis karena adanya pemanasan akibat dari gesekan antara pin dan *shoulder* dengan permukaan benda kerja. Kondisi hampir plastis ini ditandai dengan adanya pergerakan maju yang telah ringan.
- e. Saat proses pengelasan berlangsung, dilakukan pengukuran suhu tiap 5 cm di bagian joint line sisi *advancing* dan *retreating*. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan laser pengukur suhu (*infrared thermometer*).



**Gambar 0-9** Skema pengukuran suhu



- f. Sebelum pengelasan untuk sisi kedua, material plat didinginkan untuk menurunkan suhu pada material. Kemudian dilakukan penghalusan permukaan hasil las yang terdapat *flash* menggunakan mesin milling.
- g. Pengelasan sisi kedua tes kupon dibalik ke arah samping lalu di las kembali pada posisi yang sama sehingga kedua sisi permukaan dan akar las memiliki perlakuan yang berbeda.

Tahap pengecekan visual

Pengecekan hasil pengelasan dilakukan secara visual pada hasil permukaan pengelasan sebelum dilakukan pemeriksaan metalografi.

### 3.5 Data Konsumsi Waktu pengelasan

Proses pengelasan didapatkan data waktu pengerjaan. Data ini dapat digunakan untuk estimasi lama pengerjaan.

**Tabel 0.2** Konsumsi Waktu Pengerjaan

| No. | Proses  | Waktu yang diperlukan (menit) |
|-----|---|-------------------------------|
| 1.  | Tahap Persiapan<br>-Pemasangan landasan ( <i>backing plate</i> ) dan <i>rigid clamp</i><br>-Pengukuran kelurusan dan kerataan | 10 - 15<br><br>10 - 15        |
| 2.  | Proses Pengelasan   | 15 - 20                       |
| 3.  | Tahap Pembersihan <i>flash</i>  | 5 - 10                        |
| 4.  | pendinginan landasan( <i>backing plate</i> )  | 10 - 15                       |
|     | Total   | 50 - 75                       |

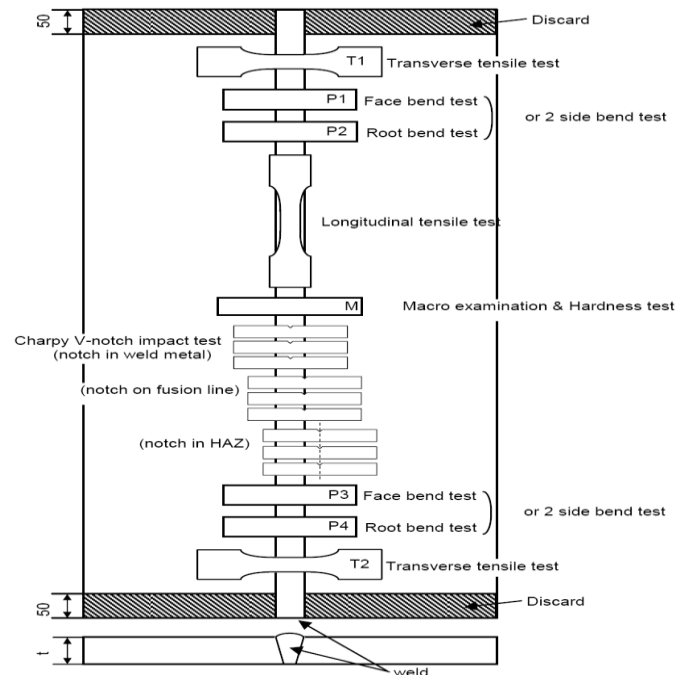
### 3.6 Pengujian Radiografi

Pengujian radiografi dilakukan untuk melihat ada atau tidaknya diskontinuitas atau cacat pada spesimen hasil lasan yang tidak bisa dilihat secara visual biasa. Peralatan yang digunakan dalam pengujian radiografi adalah sebagai berikut:

- Kamera Radiografi  
Berfungsi sebagai penampung unsur-unsur radiografi (radio isotop).
- *Film*  
Digunakan untuk menunjukkan gambar hasil penyinaran dari bagian benda uji.
- *Cranck cable*  
Berfungsi sebagai pengendali sumber radiasi.
- *Source cable*  
Digunakan untuk menyalurkan atau mengeluarkan sumber radiasi.
- *Local spot*  
Berfungsi untuk mengeluarkan radiasi.
- *Image quality indicator*  
Merupakan suatu indikator untuk melihat sensitifitas film.
- *Survey meter*  
Digunakan untuk mendeteksi sejauh mana radiasi tidak mengenai manusia.
- *Marker*  
Digunakan untuk menandai area baca dan juga untuk membuat inisial sehingga dapat dibaca pada film.

### **3.7 Pemotongan Specimen uji**

Untuk melakukan pengujian mekanik diperlukan proses pemotongan material menjadi specimen uji. Dalam proses pemotongan tersebut terdapat peraturan agar hasil dapat divalidasi. Salah satu peraturan tentang pembuatan *test coupon* adalah milik Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yang digunakan sebagai dasar pemotongan specimen dalam penelitian ini.



**Gambar 3-10** Rules pembuatan test coupon [BKI Vol VI Sec.12,(2009)]

### 3.8 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik (*tensile test*) dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pembuatan spesimen berdasarkan aturan BKI 2009 volume VI section 11-2. Spesimen untuk pengujian tarik dibutuhkan 2 buah..
- Pengukuran luas penampang bagian tengah dan *gauge length* spesimen sebagai data awal pengukuran tegangan dan *elongation*.
- Pelaksanaan pengujian tarik menggunakan *universal testing machine* (UTM)
- Material uji dipasang pada mesin tarik, dijepit dengan pencekam dari mesin tarik pada ujung-ujungnya dan ditarik kearah memanjang secara perlahan - lahan sampai putus (Gambar 3-9).
- Pengambilan data hasil pengujian



**Gambar 3-11** Proses uji tarik proses uji tarik

### 3.9 Pengujian Metalografi (Foto Mikro)

Langkah–langkah yang dilakukan dalam pengujian metalografi (foto mikro) specimen berukuran 60 x 10 x 6 mm ini adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan tiga buah *speciment*, permukaan *speciment* dipoleh hingga halus, bersih, mengilap, dan tidak ada goresan. Dimulai dari cw80 sampai cw4000.
- b. Persiapan larutan Reagent keller's yang terdiri dari
  - 2 ml Hydrofluorid Acid (HF)
  - 3 ml HCl
  - 20 ml HNO<sub>3</sub>
  - 175 ml Air aki
- c. *Speciment* dicelupkan dalam larutan reagent keller's selama 30 detik.
- d. Setelah proses pencelupan, dicelupkan ke dalam alkohol 90% hingga terlihat bentuk daerah pengelasan.
- e. *Speciment* disiram dengan air aki dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
- f. Selanjutnya *speciment* siap dilakukan proses foto mikro. Proses foto mikro ini menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive X-ray Analisis (EDAX) dengan pembesaran 2000 kali.
- g. Langkah terakhir adalah menyimpan foto ke dalam komputer

### 3.10 Pengujian Makroetsa

Langkah-langkah yang harus dilakukan selama pengujian foto makro adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan spesimen dengan menghaluskan permukaan dengan mesin gosok. Penghalusan mulai cw80 sampai cw2000.
- b. Persiapan larutan reagent keller's yang terdiri dari :
  - 2 ml Hydrofluorid Acid (HF)
  - 3 ml HCl
  - 20 ml HNO<sub>3</sub>
  - 175 ml air Aki
- c. *Speciment* dicelupkan dalam larutan hingga dua menit. Lalu dicelup dengan alkohol 90% hingga terlihat bentuk daerah pengelasan.
- d. *Speciment* disiram dengan air dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
- e. Selanjutnya *speciment* siap dilakukan proses foto makro.
- f. Langkah terakhir adalah pengambilan gambar dengan kamera

### 3.11 Pengujian Tekuk (*Bending test*)

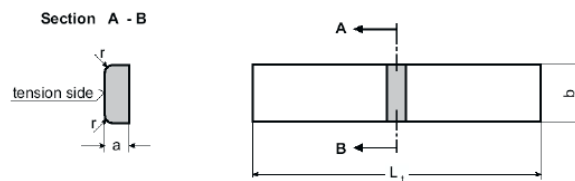
Pengujian bending ini menggunakan peraturan dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) yang memberikan *Rules for Welding*. Proses pengujian adalah seperti berikut ini :

- a. Persiapan specimen uji yang diambil dengan ukuran lebar 20 mm. Pemotongan specimen dilakukan sesuai persyaratan BKI, empat buah test piece (diambil dua di bagian separuh kanan material, dan dua buah lagi di separuh kiri material uji).
- b. Material yang sudah dipotong kemudian di gerinda bagian tengahnya untuk memperjelas saat analisa ada tidaknya *weld defect*, dan untuk menghilangkan daerah lancip di sekitar area yang di bending.
- c. Pengujian bending dengan ketentuan sebagai berikut :
  - Diameter mandrel = 38 mm
  - Sudut penekanan = 90°

- $D + 3a = 38 + 3(6 \text{ mm}) = 56 \text{ mm}$
- d. Pengujian dilakukan dua kali masing - masing untuk *root bend* dan *face bend*.
- e. Langkah terakhir adalah pengambilan gambar dan analisa adanya *weld defect* pada daerah yang di tekuk.

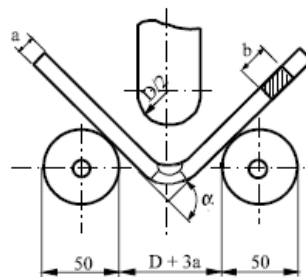


**Gambar 3-12** Proses uji bending



| Dimensions (mm)                           | Specimen thickness a |           |           |           |           |           |     |
|---|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
|   | ≤ 11                 | > 11 ≤ 14 | > 14 ≤ 17 | > 17 ≤ 22 | > 22 ≤ 27 | > 27 ≤ 35 |     |
| Specimen width b                          | 20                   | 30        | 30        | ≥ 1,5 a   | ≥ 1,5 a   | ≥ 1,5 a   |     |
| Specimen length $L_1$ <sup>1)</sup> where | $\frac{D}{a} \leq 3$ | 250       | 250       | 250       | 250       | 300       | 300 |
|   | $\frac{D}{a} = 4$    | 250       | 250       | 250       | 290       | 350       | 430 |
|   | $\frac{D}{a} = 6$    | 250       | 250       | 290       | 350       | 430       | 530 |
| Radius r, side in tension                 | ≤ 2                  | ≤ 2       | ≤ 2       | ≤ 3       | ≤ 3       | ≤ 3       |     |

<sup>1)</sup> If the specimen lengths  $L_1$  cannot be met, the minimum specimen lengths shown in Table 6 of DIN 50 121, Part 1 apply.  
D = diameter of mandrel



**Gambar 3-13** Tabel ukuran specimen uji dan pemilihan diameter mandrel (BKI 2006 Vol VI Section 11)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Penentuan Parameter Tetap

Penentuan parameter tetap ditentukan berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan pada Aluminium 5083.

##### 1. Pengelasan di Bengkel Produksi ATMI Surakarta

Jenis mesin : Mesin Fraiss

##### ➤ Percobaan 1 (Pengelasan variasi landasan Mild Steel)

|                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| <i>Shoulder diameter (mm)</i>  | : 18                |
| <i>Rotational speed (RPM)</i>  | : 1125              |
| <i>Travel speed</i>            | : 30 mm/menit       |
| <i>Tool inclined angle (°)</i> | : 2.5 °             |
| <i>Shoulder depth plunge</i>   | : 4 mm              |
| <i>Backing plate</i>           | : Mild Steel        |
| <i>Dwell Time</i>              | : 30 detik          |
| <i>Bentuk Pin</i>              | : <i>triangular</i> |

Gambar hasil pengelasan:





**Gambar 4-1** pengelasan perlakuan variasi landasan *Mild Steel*

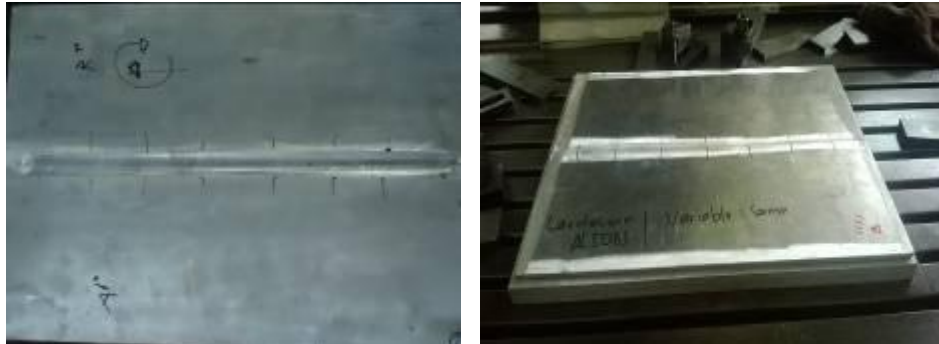
Keterangan :

- Saat proses pengelasan bagian *weld joint* di bagian ujung yang belum terkena proses pengelasan terbuka karena adanya tekanan yang besar dari perputaran dan gesekan *tool*, tetapi setelah itu akan tertutup kembali saat *tool* sudah mencapai sisi tersebut.
- Tidak ada cacat secara visual di permukaan lasan, hanya terdapat *ribbon flash* karena setiap FSW selalu muncul *ribbon flash* dan dapat di hilangkan dengan gerinda atau mesin milling.
- Permukaan hasil lasan sudah sesuai dengan karakteristik pengelasan FSW karena *travel speed* yang sesuai.
- Pengukuran suhu menggunakan *Infrared Thermometer* di lakukan di kedua sisi *Retreating* dan *Advancing* setiap jarak 5 (lima) cm dan menghasilkan variasi suhu yang cukup beraturan.

➤ **Percobaan II ( pengelasan variasi landasan Al5083 )**

|                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| <i>Shoulder diameter (mm)</i>  | : 18                |
| <i>Rotational speed (RPM)</i>  | : 1125°             |
| <i>Travel speed</i>            | : 30 mm/menit       |
| <i>Tool inclined angle (°)</i> | : 2,5 °             |
| <i>Shoulder depth plunge</i>   | : 4 mm              |
| <i>Backing plate</i>           | : Al5083            |
| <i>Dwell Time</i>              | : 30 detik          |
| <i>Bentuk Pin</i>              | : <i>triangular</i> |

Gambar hasil pengelasan :



**Gambar 4-2** pengelasan perlakuan variasi landasan *Al5083*

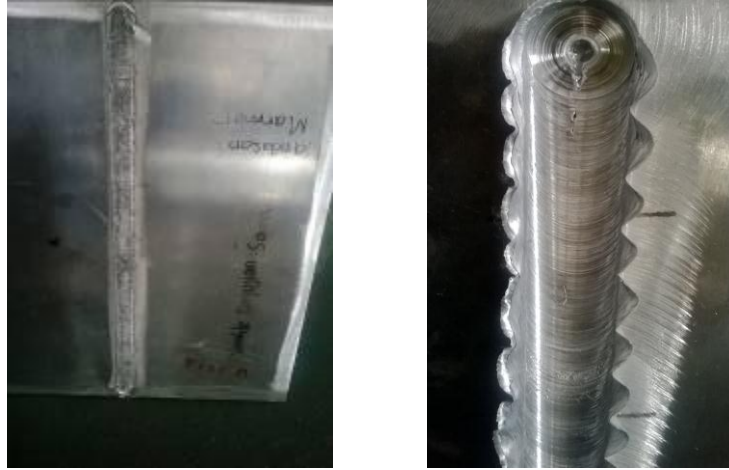
Keterangan :

- Karakteristik pengelasan tampak bagus secara visual, hasil secara visual sama dengan perlakuan variasi landasan *Mild Steel*.
- Tidak ada cacat secara visual, hanya saja tetap terdapat *ribbon flash* dan dapat di hilangkan dengan gerinda atau *mesin fraiss*.
- Pengukuran suhu menggunakan *Infrared Thermometer* di lakukan di kedua sisi *Retreating* dan *Advancing* setiap jarak 5 (lima) cm dan menghasilkan variasi suhu yang cukup beraturan.

➤ **Percobaan III ( pengelasan variasi landasan Marmer )**

|                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| <i>Shoulder diameter (mm)</i>  | : 18                |
| <i>Rotational speed (RPM)</i>  | : 1125°             |
| <i>Travel speed</i>            | : 30 mm/menit       |
| <i>Tool inclined angle (°)</i> | : 2,5 °             |
| <i>Shoulder depth plunge</i>   | : 4 mm              |
| <i>Backing plate</i>           | : Marmer            |
| <i>Dwell Time</i>              | : 30 detik          |
| <i>Bentuk Pin</i>              | : <i>triangular</i> |

Gambar hasil pengelasan :



**Gambar 4-3** Pengelasan Perlakuan Variasi Landasan *Marmar*

#### 4.2. Pemeriksaan suhu pengelasan

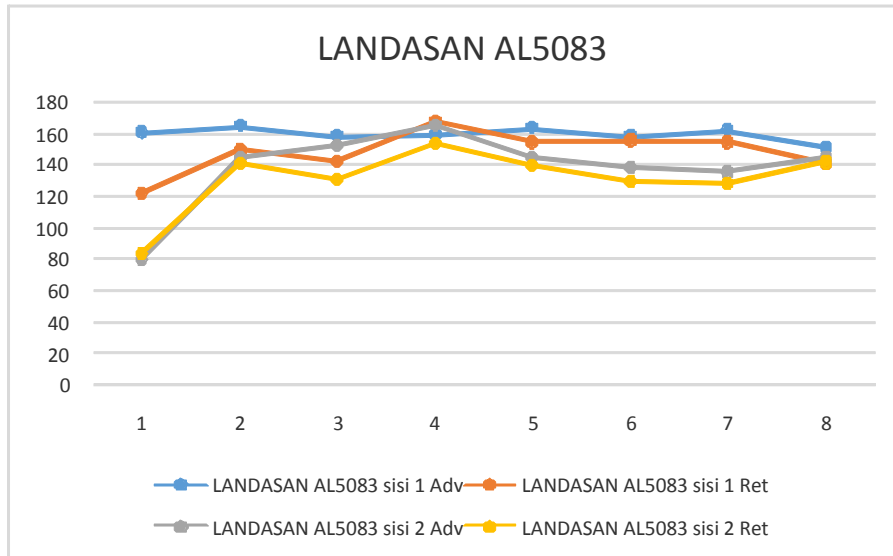
Pada saat proses pengelasan berlangsung dilakukan proses pengambilan data suhu setiap 5cm di daerah joint line. Pengambilan data suhu dilakukan di kedua sisi material, yaitu di sisi yaitu sisi *Retreating* dan *Advancing*.

**Tabel 4.1-** Rekapitulasi Pengukuran Suhu

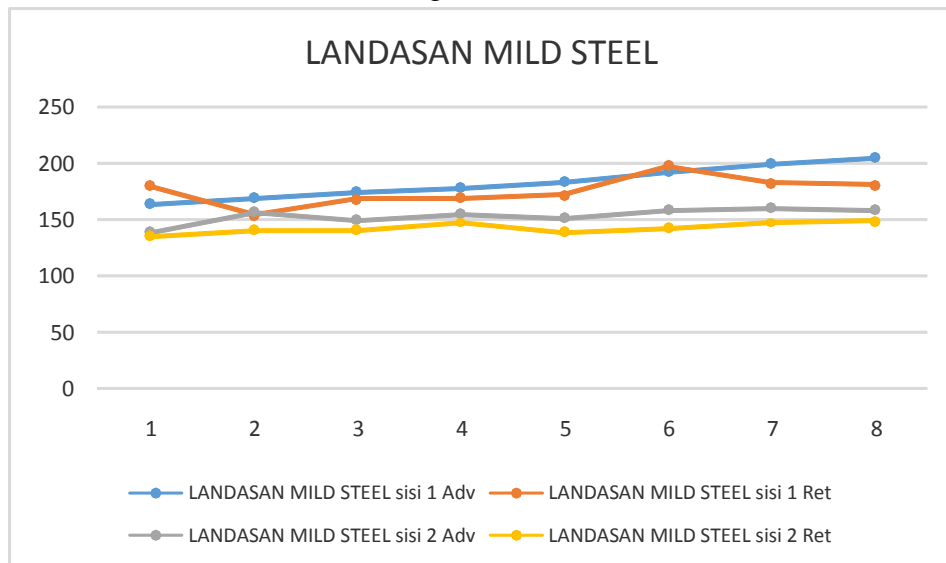
| Posisi  | LANDASAN MILD STEEL |         |        |        | LANDASAN AL5083 |     |        |         | LANDASAN MARME |        |         |       |
|---------|---------------------|---------|--------|--------|-----------------|-----|--------|---------|----------------|--------|---------|-------|
|         | sisi 1              |         | sisi 2 |        | sisi 1          |     | sisi 2 |         | sisi 1         |        | sisi 2  |       |
|         | Adv                 | Ret     | Adv    | Ret    | Adv             | Ret | Adv    | Ret     | Adv            | Ret    | Adv     | Ret   |
| 1       | 164                 | 180     | 139    | 135    | 160             | 122 | 79     | 83      | 118            | 123    | 182     | 184   |
| 2       | 170                 | 154     | 156    | 140    | 164             | 149 | 145    | 140     | 196            | 178    | 158     | 159   |
| 3       | 175                 | 168     | 149    | 140    | 158             | 142 | 152    | 130     | 194            | 190    | 164     | 154   |
| 4       | 178                 | 169     | 155    | 147    | 159             | 167 | 165    | 153     | 195            | 181    | 189     | 169   |
| 5       | 184                 | 172     | 152    | 139    | 163             | 154 | 145    | 139     | 193            | 184    | 187     | 183   |
| 6       | 193                 | 198     | 159    | 142    | 158             | 155 | 138    | 129     | 195            | 182    | 177     | 161   |
| 7       | 199                 | 183     | 160    | 147    | 162             | 154 | 135    | 128     | 197            | 195    | 195     | 173   |
| 8       | 205                 | 181     | 158    | 148    | 151             | 141 | 145    | 141     | 198            | 181    | 181     | 165   |
| rata    | 183.5               | 175.625 | 153.5  | 142.25 | 159.375         | 148 | 138    | 130.375 | 185.75         | 176.75 | 179.125 | 168.5 |
| selisih | 2.19%               |         | 3.80%  |        | 3.70%           |     | 2.84%  |         | 2.48%          |        | 3.06%   |       |

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa mayoritas suhu yang lebih tinggi terjadi di daerah *advancing*, baik pada sisi pengelasan pertama atau sisi pengelasan kedua. Hal ini sesuai dengan referensi literatur sebelumnya yang menyatakan bahwa suhu pengelasan *advancing* selalu lebih tinggi [Mishra & Ma, (2005)].

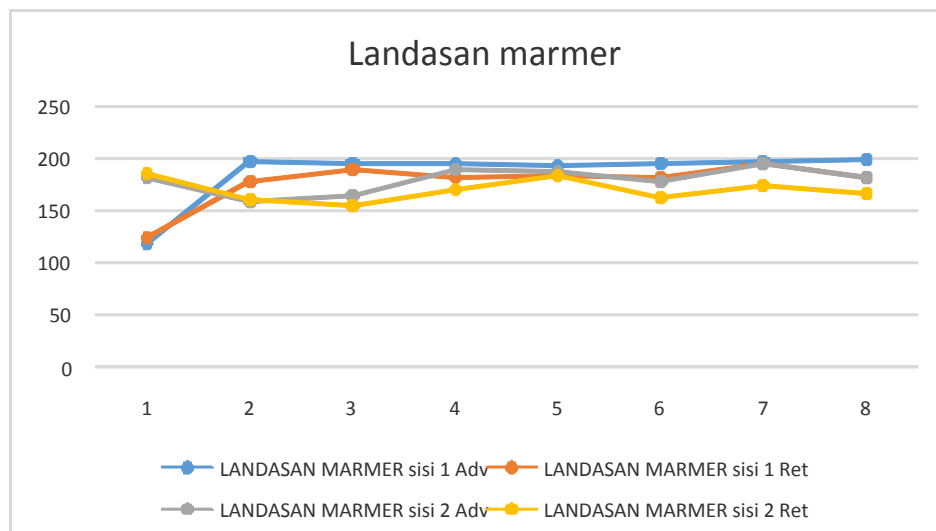
**Tabel 4.2-** Data suhu Pengelasan variasi landasan Mild Steel



**Tabel 4.3 -** Data suhu Pengelasan variasi landasan Al 5083



**Tabel 4.4 -** Data suhu Pengelasan variasi landasan Marmer



Dari hasil pemeriksaan suhu sepanjang pengelasan setiap material uji mempunyai angka suhu yang berbeda-beda. Pada material perlakuan variasi landasan Al5083 lebih rendah dibanding perlakuan variasi landasan mild steel dan marmer. Dan marmer memiliki rata-rata suhu yang paling tinggi.

### 4.3. Pemeriksaan visual

#### 4.3.1. Pemeriksaan sebelum pengelasan

a. Dimensi material

Panjang : 400 mm,

Lebar : 150 mm

Tebal : 6 mm

b. Perlengkapan pengelasan

Perlengkapan pengelasan ini meliputi *rigid clamp* dan landasan (*backing plate*) pada meja kerja mesin milling dan *tool* untuk melakukan FSW.

#### 4.3.2. Pemeriksaan saat pengelasan

a. *Joint*

- *Joint design* : *Joint line*

- *Gap* : Tidak ada

b. *Base material*

- *Specification* : Al 5083 116

- *Thickness* : 6 mm

c. Probe

- *Shoulder diameter* : 18 mm

- *D/d ratio of tool* : Tidak ada

- *Pin Length* : 3,8 mm

- Pin diameter, d : 4 mm

d. Parameter pengelasan

- *Rotational speed* : 1125 rpm

- *Travel speed* : 30 mm/min

- *Tool inclined angle* : 2.5°

- *Shoulder deep plunge* : 4 mm

e. Hasil Pengelasan

- Spesimen I

- Material : Al 5083
- Dimensi : 400 x 150 x 6 mm (2)
- Landasan : Mild Steel
- Welder* : Viktor (ATMI Surakarta)

- Spesimen II

- Material : Al 5083
- Dimensi : 400 x 150 x 6 mm (2)
- Landasan : Al 5083
- Welder* : Viktor (ATMI Surakarta)

- Spesimen III

- Material : Al 5083
- Dimensi : 400 x 150 x 6 mm (2)
- Landasan : Marmer
- Welder* : Viktor (ATMI Surakarta)

#### 4.3.3. Pemeriksaan setelah pengelasan

Setelah proses pengelasan selesai maka permukaan hasil pengelasan di periksa visual adanya *flash* dan apakah ada cacat atau tidak pada permukaan.

- a. Landasan *mild Steel* : pada pengelasan perlakuan variasi landasan mild steel tidak ditemukan cacat pada permukaan las. Hanya terdapat adanya *ribbon flash* dimana setiap pengelasan FSW selalu terdapat material sisa yang terbuang (*ribbon flash*), dan dapat di hilangkan dengan gerinda atau dengan mesin milling.
- b. Landasan Al5083 : pada perlakuan variasi landasan Al5083 juga tidak ditemukan adanya cacat visual pada permukaan las. Dan juga terdapat *ribbon flash*.
- c. Landasan Marmer : pada perlakuan variasi landasan marmer di temukan adanya cacat pada permukaan lasan dan adanya *ribbon flash*. Permukaan

lasan seperti mendapatkan panas yang berlebih yang menyebabkan terjadinya retak-retak pada permukaan, dan biasa disebut *surface gilling*.



**Gambar 4-4** Hasil pengelasan perlakuan variasi landasan *mild steel*

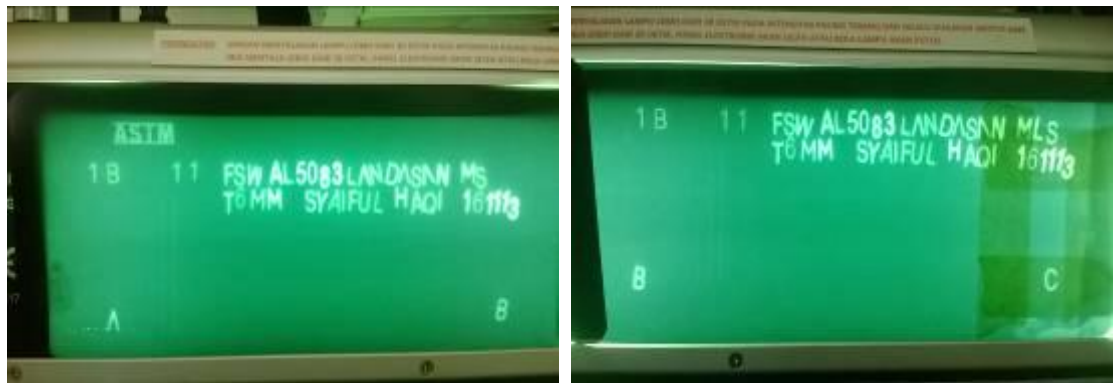


**Gambar 4-5** Hasil pengelasan perlakuan variasi landasan marmer

#### 4.4. Pemeriksaan Radiografi

*Radiografi test* di perlukan pada awal sebelum semua pengujian di lakukan, karena radiografi digunakan untuk melihat ada tidaknya cacat di dalam lasan dan berguna untuk mentukan apakah material layak atau tidak untuk pengujian selanjutnya.

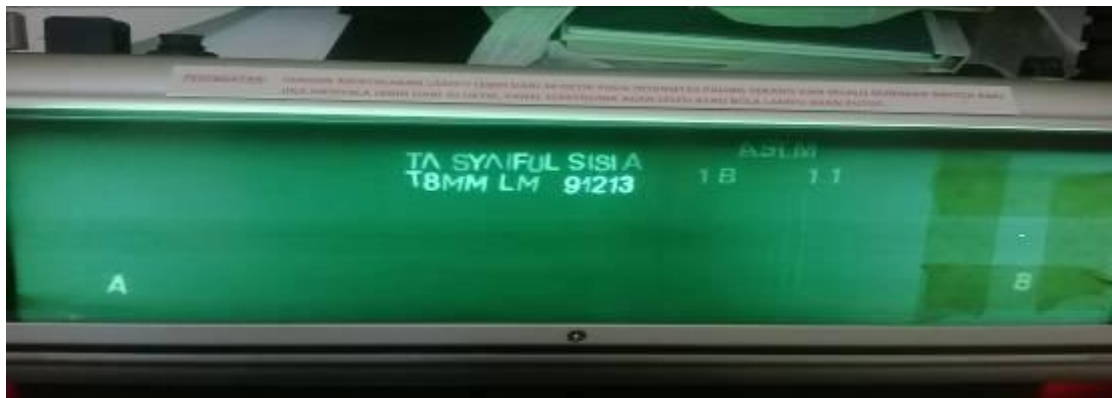
Pengujian radiografi menggunakan sinar *x ray* untuk mendeteksi jenis, letak, dan ukuran cacat. *Radiografi test* termasuk jenis pengujian tidak merusak (*Non Destructive Test*). Dari hasil pengujian radiografi material uji perilaku landasan *mild steel* dan landasan alumunium 5083 tidak mengalami cacat, tetapi hasil radiografi pada material perlakuan variasi landasan marmer mengalami cacat pada bagian dalam lasan.



**Gambar 4-6** Hasil radiografi pengelasan dengan landasan Mild Steel



**Gambar 4-7** Hasil radiografi pengelasan dengan landasan Al 5083



**Gambar 4-8** Hasil radiografi pengelasan dengan landasan Marmer

Dari hasil pengujian radiografi yang menunjukkan bahwa pengelasan menggunakan landasan marmer mempunyai kekurangan berupa cacat *Incomplete Penetration*. Sehingga material dengan perlakuan variasi landasan marmer *rejected*.



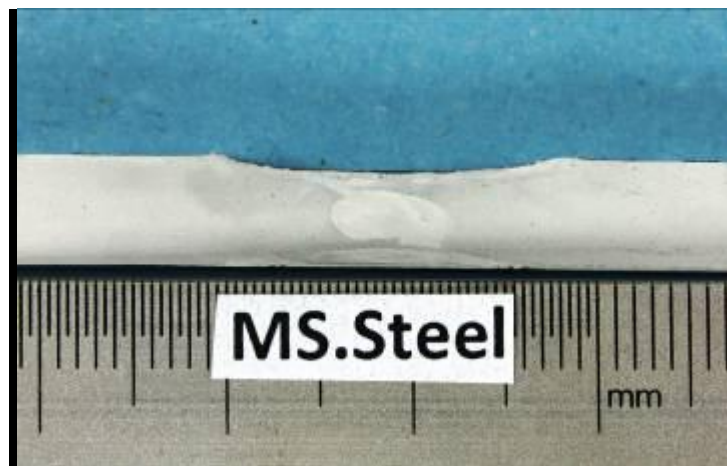
#### 4.5. Pemeriksaan Makroetsa

Pengujian makroetsa bertujuan untuk mengetahui hasil pengelasan dengan mengecek atau mendeteksi besar dan jumlah cacat yang terdapat pada permukaan potongan melintang material hasil pengelasan. Dengan melakukan pemolesan material yang dilanjutkan dengan foto makro dapat terlihat jelas jika ada cacat di bagian *weld metal*.

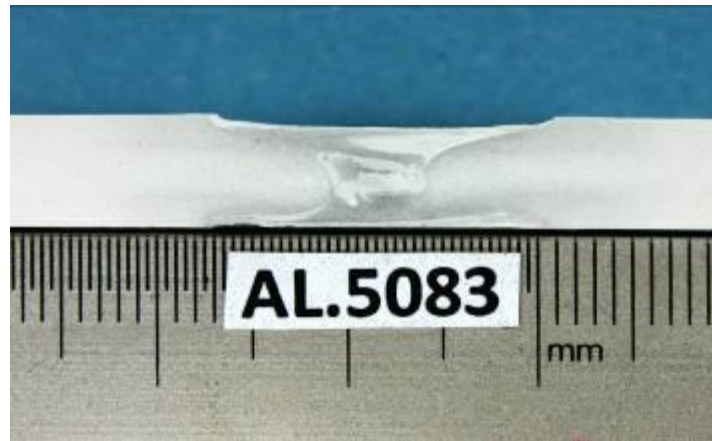
**Tabel 4.2** - Analisa cacat hasil pengujian Makroetsa

| No | Item                | Cacat                 | Ukuran cacat |
|----|---------------------|-----------------------|--------------|
| 1  | Landasan Mild Steel | Tidak ada             | -            |
| 2  | Landasan Al5083     | Tidak ada             | -            |
| 3  | Landasan Marmer     | Ada : <i>wormhole</i> | 0.83mm       |

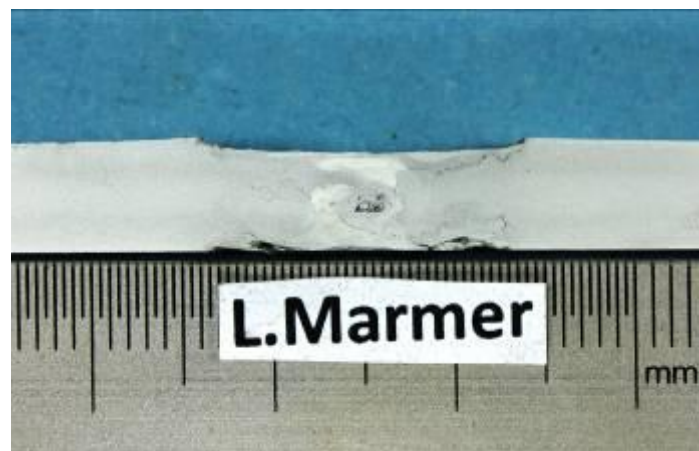
Dari makroetsa ini, cacat yang berupa *wormhole* di bagian tengah *weld metal* dapat terlihat dengan jelas di Gambar 4-12. *Wormhole* atau dapat juga disebut *incomplete penetration* dapat terjadi karena kurangnya penetrasi *tool* sehingga masuknya udara dalam *joint line* hasil pengelasan. Dapat juga terjadi diakibatkan karena pengadukan yang tidak merata di bagian tersebut.



**Gambar 4-9** Foto makro perlakuan variasi landasan *mild steel*



**Gambar 4-10** Foto makro perlakuan variasi landasan Al5083



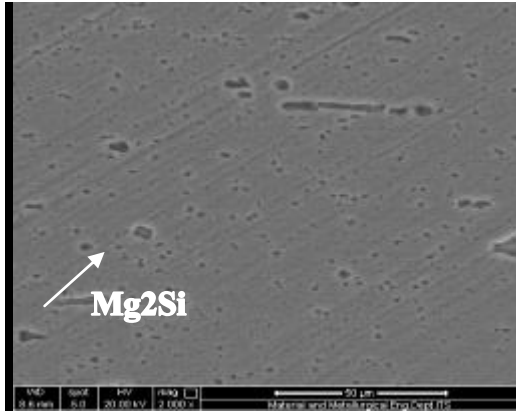
**Gambar 4-11** Foto makro perlakuan variasi landasan marmer

#### 4.6. Pemeriksaan Metalografi (Mikro)

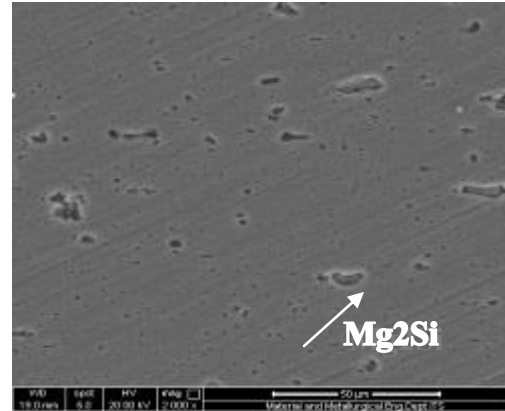
Pengujian mikro dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Analysis* (EDAX), pemeriksaan struktur mikro hasil pengelasan meliputi *base metal* dan *Weld nugget*. Material yang digunakan untuk penelitian ini adalah 5083 H116 dimana merupakan perpaduan tempa (*wrought alloys*) yang mendapat perlakuan berupa *strain hardening*, maka unsur yang menyusun adalah  $Mg_2Si$ . Karakteristik partikel tersebut adalah sebagai berikut :

- Partikel  $Mg_2Si$

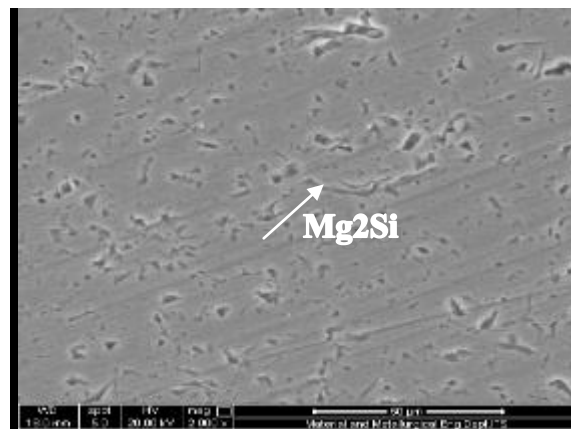
$Mg_2Si$  adalah partikel hitam yang terpisah merata pada matrik aluminium yang cenderung membuat material semakin ulet atau tangguh. Partikel ini memiliki kisi kristal berbentuk *cubic, fcc* dengan sel parameter  $a=6.351$ . Komposisi partikel ini terdiri dari 63.2% Mg dan 38.8% Si. Semakin banyak komposisi partikel ini maka semakin tinggi *ductile* dan tingkat kekerasan semakin rendah.



**Gambar 4-12** Base metal Pengelasan landasan mild steel



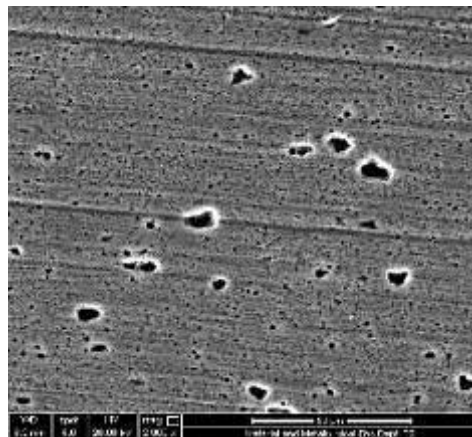
**Gambar 4-13** Base metal pengelasan landasan Al5083



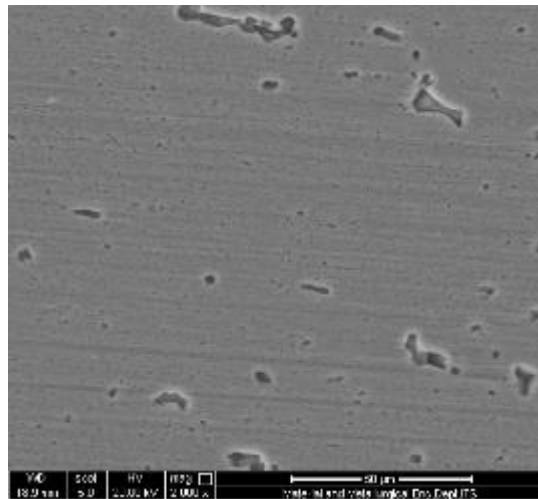
**Gambar 4-14** Base metal pengelasan landasan marmer.

Karena pada daerah *base metal* ini tidak terpengaruh oleh panas yang dihasilkan selama pengelasan *friction stir welding*, maka bentuk butirnya relatif panjang dan masih menjadi gumpalan-gumpalan besar, kecuali pada landasan marmer unsur-unsurnya mengembang dikarenakan *overheat* saat pengelasan.

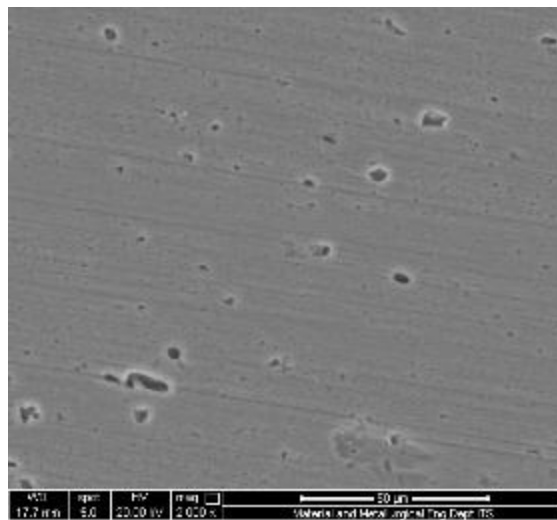
1. HAZ (*Heat Affected Zone*) perbesaran 2000x



**Gambar 4-15** HAZ perlakuan variasi landasan *mild steel*

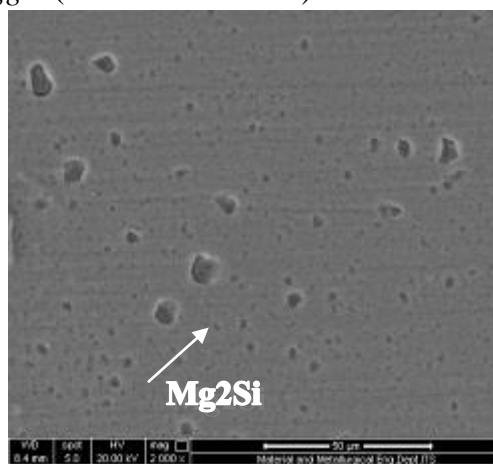


**Gambar 4-16** HAZ perlakuan variasi landasan Al 5083

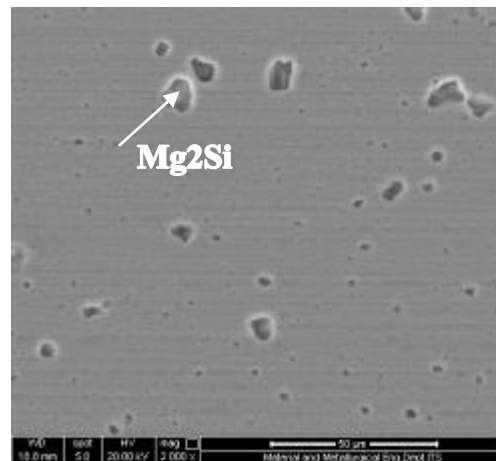


**Gambar 4-17** HAZ perlakuan variasi landasan marmer

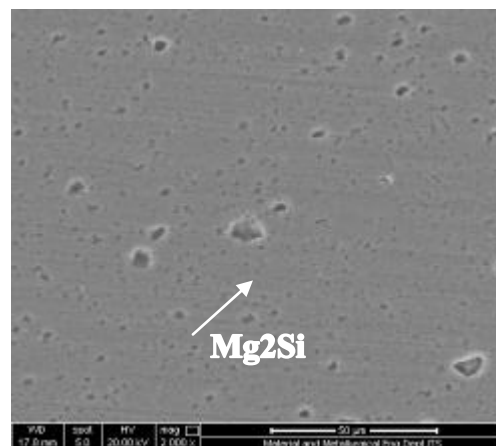
2. *Weld nugget* (Perbesaran 2000 x)



**Gambar 4.18** Bagian *nugget* pengelasan variasi landasan mild steel



**Gambar 4-19** Bagian *nugget* pengelasan variasi landasan Al 5083

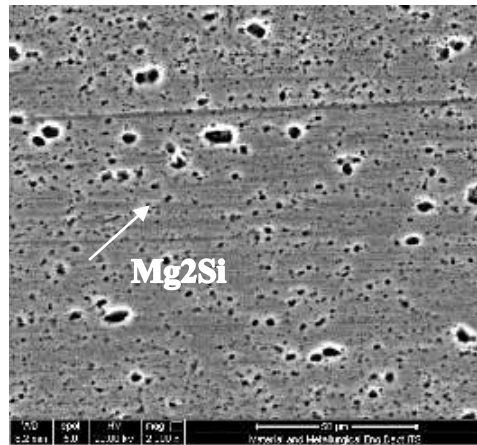


**Gambar 4-20** Bagian *nugget* pengelasan variasi landasan marmer

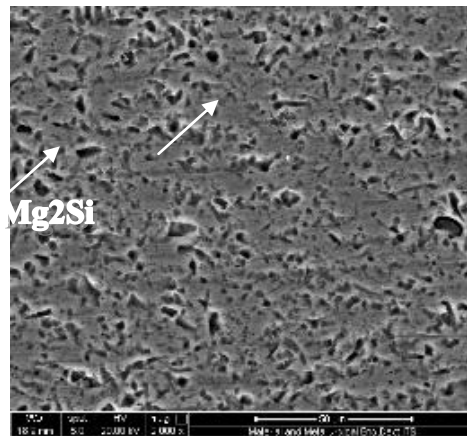
Perubahan struktur mikro pada proses pengelasan tidak terlepas dari panas yang ditimbulkan selama proses pengelasan. Pada proses *friction stir welding*, daerah HAZ adalah daerah terpengaruh panas antara TMAZ dan *base metal*. Pada daerah HAZ ini memiliki bentuk butir yang relatif panjang dan kecil tersebar di seluruh daerah HAZ.

Terdapat butiran berwarna hitam dan abu-abu. Untuk partikel berwarna hitam adalah Mg<sub>2</sub>Si yang terdiri dari Magnesium dan Silikon.

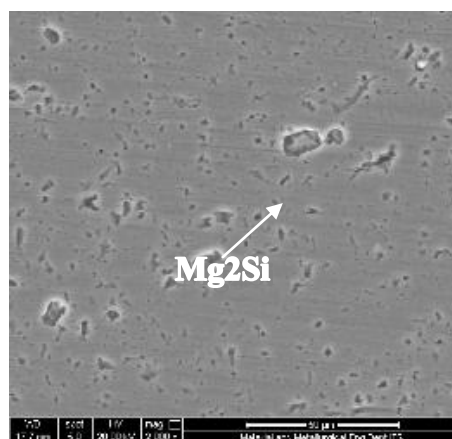
### 3. TMAZ (*Thermo-mechanically Affected Zone*)



**Gambar 4-21** TMAZ perlakuan variasi landasan *mild steel*



**Gambar 4-22** TMAZ perlakuan variasi landasan Al 5083



**Gambar 4.23** TMAZ perlakuan variasi landasan marmer

Pada proses FSW, daerah TMAZ adalah daerah terpengaruh panas antara HAZ dan *weld metal*. Pada daerah TMAZ ini memiliki bentuk butir yang memanjang dan

bentuknya cenderung melingkar. Terdapat partikel partikel berwarna hitam dan abu-abu.

Partikel berwarna hitam adalah  $Mg_2Si$  yang terdiri dari Magnesium dan Silikon. Ukuran butir dari pengujian yang telah dilakukan dapat dianalisa untuk menentukan kekuatan dari material tersebut. Semakin kecil ukuran butir dapat mengartikan material tersebut semakin kuat. Dari hasil pengujian mikro didapatkan analisa seperti pada Tabel 4.6 berikut.

Permukaan atas maupun bawah dari pengelasan menggunakan landsan mild steel dan Al 5083 memiliki struktur butir yang kecil dan merata di bagian *advancing* dan *retreating*. Sedangkan pada permukaan atas bagian *advancing* dari pengelasan menggunakan landsan marmer memiliki struktur butir yang cenderung lebih besar dan tidak tersebar merata.

**Tabel 4.3-** Analisa ukuran butir hasil Uji Mikro

| No | Posisi        | Landasan Mild Steel   | Landasan Al 5083  | Landasan Marmer  |
|----|---------------|---|---|--|
| 1  | HAZ           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran butir relatif dan tersebar tidak merata di permukaan atas dan bawah.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran butir relatif besar dan tersebar tidak merata</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Butir <math>Mg_2Si</math> sangat sedikit dan tidak tersebar merata</li> </ul>           |
| 2  | TMAZ          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran butir besar dan kecil tersebar merata di permukaan atas dan bawah.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran butir kecil dan merata di seluruh bagian</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Butir besar dan kecil tersebar sangat sedikit dibanding dengan spesimen lain</li> </ul> |
| 3  | <i>Nugget</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran butir cenderung besar dan ukuran butir kecil tersebar merata.</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran butir relatif besar dan tersebar tidak merata.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ukuran butir relatif kecil tetapi tidak tersebar merata</li> </ul>                      |

#### 4.7. Pemeriksaan Kuat Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material menerima beban gaya tarik. Dari hasil pengujian didapatkan tegangan maksimal dari material uji. Dari hasil tersebut akan dibandingkan dengan ketentuan tegangan maksimal (*ultimate stress*) dari material. Berikut adalah hasil pengujian tarik dari

material pengelasan dengan perlakuan variasi landasan *mild steel*, aluminium 5083, dan marmer.



**Gambar 4-24** Pengujian tarik hasil pengelasan dengan landasan *mild steel*



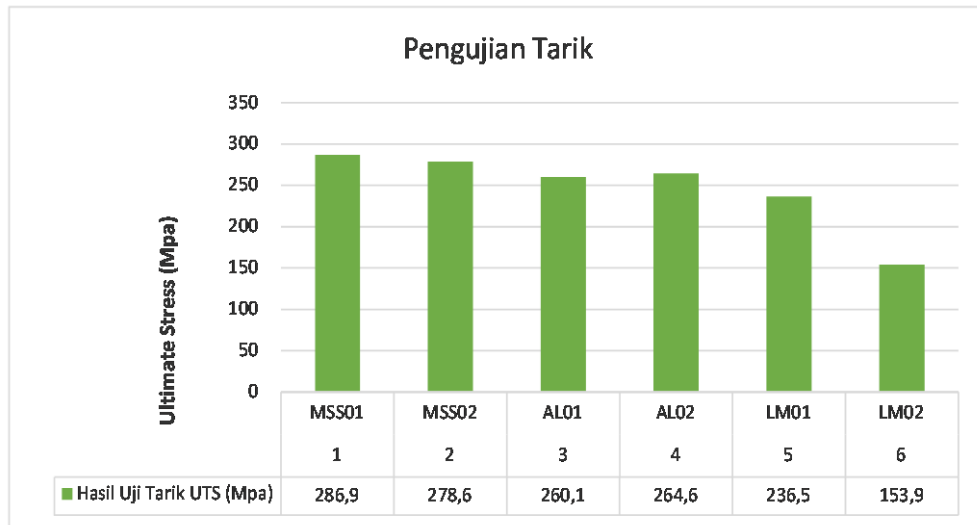
**Gambar 4-25** Pengujian tarik hasil pengelasan dengan landasan Al 5083



**Gambar 4.26** Pengujian tarik hasil pengelasan dengan lanasan marmer

Dari hasil pengujian tarik (*tensile test*) dapat dianalisa dari perbandingan kuat tarik yang dilihat dari *ultimate stress* tiap specimen uji. Tabel 4-7 berikut adalah grafik perbandingan hasil pengujian tarik hasil pengelasan dengan variasi landasan *mild steel*, Al5083, dan marmer.



**Tabel 4-4** *Ultimate stress* hasil pengujian tarik.

Dari tabel di atas dapat dilihat *ultimate stress* yang terjadi pada masing - masing specimen uji. Dari data yang yang diperoleh pengelasan yang mempunyai kuat tarik yang paling tinggi adalah pengelasan dengan perlakuan variasi landasan menggunakan mild stell, selanjutnya dengan landasan Al5083, dan yang paling rendah adalah penggunaan landasan marmer. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya cacat wormhole pada hasil pengelasan. Cacat tersebut dapat memulai adanya *initial crack* sehingga kuat tarik material berkurang. Daerah putus untuk pengelasan satu sisi dan dua sisi terjadi di bagian *weld metal*.

**Tabel 4-5** Rekapitulasi hasil Uji Tarik

| No | Item      | Spesifikasi Contoh |        |                        | Hasil Uji Tarik |              |               |                    | Breaking Position |
|----|-----------|--------------------|--------|------------------------|-----------------|--------------|---------------|--------------------|-------------------|
|    |           | W (mm)             | T (mm) | CSA (mm <sup>2</sup> ) | F Ultimate (kN) | F Yield (kN) | UTS (Mpa)     | Yield Stress (Mpa) |                   |
| 1  | MSS01     | 19.90              | 5.01   | 99.70                  | 28.6            | 24.4         | 286.9         | 244.7              | WM                |
| 2  | MSS02     | 20.14              | 4.99   | 100.50                 | 28              | 23.2         | 278.6         | 230.8              | WM                |
|    | Rata-rata |                    |        |                        |                 |              | <b>282.75</b> |                    |                   |
| 3  | AL01      | 20.38              | 4.81   | 98.03                  | 25.5            | 23.4         | 260.1         | 238.7              | WM                |
| 4  | AL02      | 20.16              | 4.78   | 96.36                  | 25.5            | 23.3         | 264.6         | 241.8              | WM                |
|    | Rata-rata |                    |        |                        |                 |              | <b>262.35</b> |                    |                   |
| 5  | LM01      | 20.24              | 4.91   | 99.38                  | 23.5            | 21.4         | 236.5         | 21.53              | WM                |
| 6  | LM02      | 19.95              | 4.59   | 91.57                  | 14              | 12.2         | 153.9         | 13.32              | WM                |
|    | Rata-rata |                    |        |                        |                 |              | <b>195.20</b> |                    |                   |

#### 4.8. Pemeriksaan Tekuk (*Bending Test*)

Pengujian tekuk (*Bending test*) bertujuan untuk menganalisa adanya *open defect* pada saat material mendapatkan beban tekuk (*bending*). Dari pengujian tekuk dapat dilihat bagian material yang mempunyai kekuatan tinggi maupun bagian yang terdapat cacat, karena cacat tersebut bermula dari *open defect* saat material diuji tekuk (*bending*).

Pada awal percobaan diberikan suatu material yang harus diukur terlebih dahulu, berikut data material :

##### 1. *Face bend*

- *Sample Mark* : *Face*
- *Width* : 30 mm
- *Thick* : 6 mm
- *Angle of Bend* :  $90^{\circ}$
- *DIA. Mandrel* : 38 mm



**Gambar 4-27** Hasil *face bend* pengelasan dengan landasan mild steel



**Gambar 4-28** Hasil *Face bend* pengelasan dengan landasan Al 5083



**Gambar 4-29** Hasil *Face bend* pengelasan dengan landasan marmer

Dari data yang didapat kemudian dilakukan pengujian tekuk (*bending test*). Setelah dilakukan *bending test*, material di analisa apakah terdapat *crack* atau cacat lainnya dengan jangka sorong dan kaca pembesar, setelah diamati maka didapat:

**Tabel 4-5** Hasil Uji Bending (*face bend*)

| No | Jenis Cacat        | Pengelasan          |                 |   |
|----|--------------------|---------------------|-----------------|---|
|    |                    | Landasan Mild Steel | Landasan A15083 | Landasan Marmer   |
| 1  | <i>Crack</i>       | Tidak ada           | Tidak ada       | -pada LM01 terdapat crack sepanjang 25,15mm<br>-Pada LM03 sepanjang 26,87mm |
| 2  | <i>Open defect</i> | Tidak ada           | Tidak ada       | Tidak ada   |

## 2. *Root bend*

- *Sample Mark* : *Root*
- *Width* : *30 mm*
- *Thick* : *6 mm*
- *Angle of Bend* : *90*
- *DIA. Mandrel* : *38 mm*



**Gambar 4-30** Hasil uji root *bending* pengelasan dengan landasan Mild Steel



**Gambar 4-31** Hasil uji root *bending* pengelasan dengan landasan Al5083



**Gambar 4-32** Hasil uji root *bending* pengelasan dengan landasan Marmer

**Tabel 4-5** Hasil uji bending (*Root bend*)

| No | Jenis Cacat        | Pengelasan          |                 |  |
|----|--------------------|---------------------|-----------------|--|
|    |                    | Landasan Mild Steel | Landasan Al5083 | Landasan Marmer  |
| 1  | <i>Crack</i>       | Tidak ada           | Tidak ada       | -Pada LM02 terdapat crack sepanjang 10,42mm<br>-Pada LM04 tidak terdapat cacat |
| 2  | <i>Open defect</i> | Tidak ada           | Tidak ada       | Tidak ada (dikarenakan sudah terjadi crack)                                    |

Dari hasil pengujian tekuk dapat terlihat ada atau tidaknya cacat dari hasil pengelasan variasi landasan mild steel dan Al5083. Akan tetapi pada pengelasan dengan variasi landasan marmer 3 dari 4 sample mengalami crack sepanjang daerah las.

#### 4.9. Pemeriksaan Kekerasan (*Hardness test-Vickres*)

Kekerasan suatu material sangat berpengaruh pada kekuatan sebuah material itu sendiri, semakin keras suatu material maka akan semakin kuat sifat mekaniknya. Tetapi jika kekerasan suatu material itu terlalu tinggi akan menyebabkan material menjadi getas atau mudah patah.

Batas maksimal kekerasan suatu material dilihat berdasarkan nilai kekerasan base metalnya, dikarenakan jika kekerasan pada weld metal lebih dari base metal akan menyebabkan weld metal lebih getas dibandingkan base metal.

**Tabel 4-6** Hasil uji kekerasan pada *base metal*

|            |          |
|------------|----------|
| base metal | 83.9     |
|            | 84       |
|            | 83.7     |
| Rata-Rata  | 83.86667 |

**Tabel 4.7** Hasil uji kekerasan pada variasi landasan mild steel

| Spesimen Mild Steel |   |             |             |
|---------------------|---|-------------|-------------|
| Jarak (mm)          |   | Pass weld 1 | Pass weld 2 |
| X                   | Y |             |             |
| 10                  | 0 | 73.9        | 69.8        |
| 9                   | 0 | 73          | 67.1        |
| 8                   | 0 | 77          | 69.5        |
| 7                   | 0 | 74.2        | 65.8        |
| 6                   | 0 | 74          | 73.6        |
| 5                   | 0 | 68          | 74.4        |
| 4                   | 0 | 73.9        | 66.1        |
| 3                   | 0 | 72.2        | 65.4        |
| 2                   | 0 | 65.2        | 66.5        |
| 1                   | 0 | 67.1        | 77.4        |
| 0                   | 0 | 72.2        | 70.7        |
| -1                  | 0 | 73.8        | 76.2        |
| -2                  | 0 | 69.2        | 75          |
| -3                  | 0 | 70.5        | 66.7        |
| -4                  | 0 | 71.9        | 74          |
| -5                  | 0 | 75.8        | 70.6        |
| -6                  | 0 | 71          | 70.4        |
| -7                  | 0 | 69.8        | 69.3        |
| -8                  | 0 | 75.8        | 71.6        |
| -9                  | 0 | 75.8        | 73.7        |
| -10                 | 0 | 75.6        | 74.5        |
|                     |   | 72.37619048 | 70.87142857 |

**Tabel 4.8** Hasil uji kekerasan pada variasi landasan Al 5083

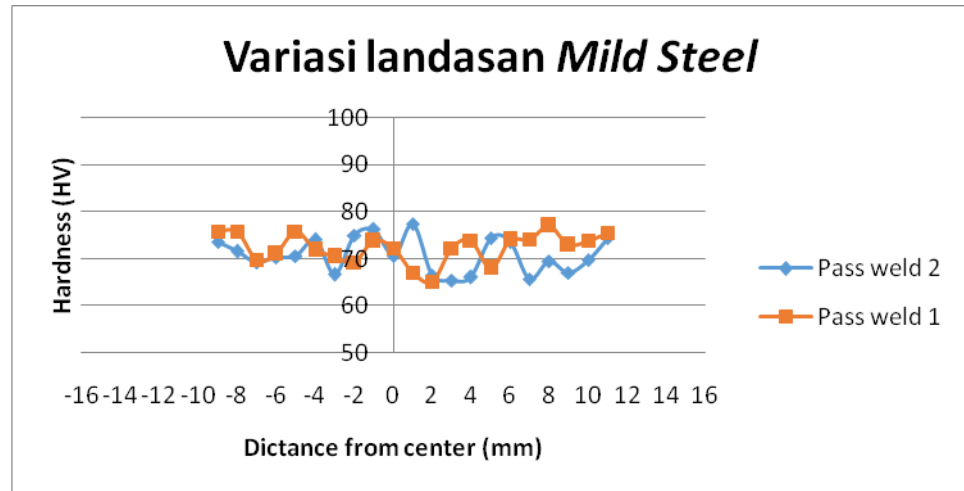
| Spesimen Landasan Al 5083 |   |             |             |
|---------------------------|---|-------------|-------------|
| Jarak (mm)                |   | Passweld 2  | Passweld 1  |
| X                         | Y |             |             |
| 10                        | 0 | 72.5        | 67.0        |
| 9                         | 0 | 72          | 69.2        |
| 8                         | 0 | 75.9        | 68.3        |
| 7                         | 0 | 72.2        | 71.4        |
| 6                         | 0 | 69.6        | 67.3        |
| 5                         | 0 | 64.4        | 63.7        |
| 4                         | 0 | 72.2        | 70.4        |
| 3                         | 0 | 66.7        | 66.0        |
| 2                         | 0 | 62.3        | 66.0        |
| 1                         | 0 | 69.2        | 64.1        |
| 0                         | 0 | 66.6        | 65.0        |
| -1                        | 0 | 68.6        | 66.9        |
| -2                        | 0 | 67.6        | 69.7        |
| -3                        | 0 | 67.2        | 66.2        |
| -4                        | 0 | 68.8        | 68.0        |
| -5                        | 0 | 68.3        | 67.0        |
| -6                        | 0 | 68.7        | 66.7        |
| -7                        | 0 | 61.7        | 68.6        |
| -8                        | 0 | 69.9        | 69.2        |
| -9                        | 0 | 74          | 72.5        |
| -10                       | 0 | 72.4        | 68.7        |
|                           |   | 69.08571429 | 67.70952381 |

**Tabel 4.9-** Hasil uji kekerasan pada variasi landasan marmer

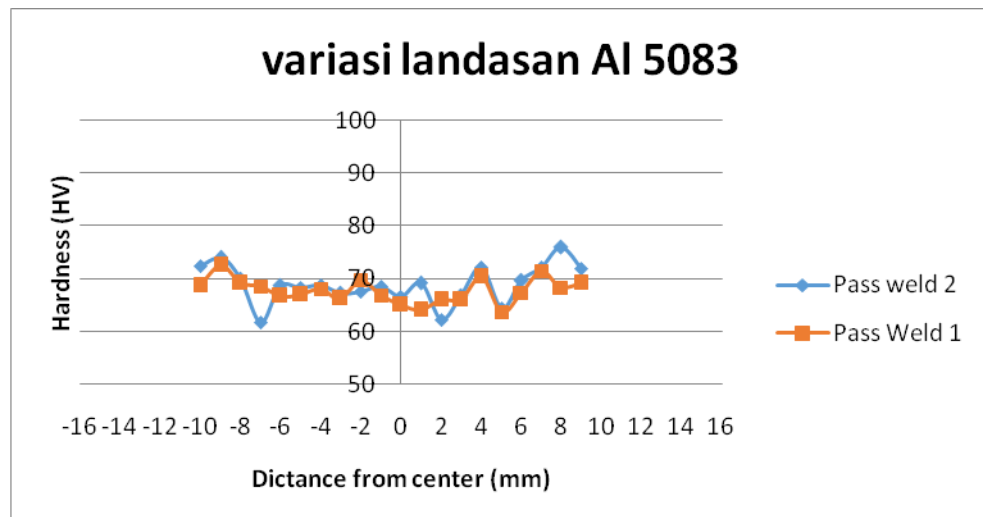
| Spesimen Landasan Marmer |   | Pass weld 2 | Pass weld 1 |
|--------------------------|---|-------------|-------------|
| Jarak (mm)               |   |             |             |
| X                        | Y |             |             |
| 10                       | 0 | 76.9        | 66.7        |
| 9                        | 0 | 65.5        | 68.9        |
| 8                        | 0 | 68.7        | 67.6        |
| 7                        | 0 | 64.7        | 68.3        |
| 6                        | 0 | 66.9        | 65.8        |
| 5                        | 0 | 68.1        | 70.1        |
| 4                        | 0 | 63.8        | 65.2        |
| 3                        | 0 | 67.1        | 70.3        |
| 2                        | 0 | 70.5        | 68.5        |
| 1                        | 0 | 71          | 67.3        |
| 0                        | 0 | 67.5        | 67.6        |
| -1                       | 0 | 67.9        | 68.6        |
| -2                       | 0 | 63.7        | 64.6        |
| -3                       | 0 | 67.7        | 63.7        |
| -4                       | 0 | 65.7        | 62          |
| -5                       | 0 | 64.1        | 58.4        |
| -6                       | 0 | 68.2        | 68.6        |
| -7                       | 0 | 70.6        | 67.6        |
| -8                       | 0 | 70.2        | 65.7        |
| -9                       | 0 | 73          | 71.5        |
| -10                      | 0 | 75.8        | 63.5        |
|                          |   | 68.45714286 | 66.69047619 |

Dari data diatas dapat diketahui bahwa kekerasan menggunakan variasi landasan mempunyai *trend* nya cukup cukup berbeda. Perbedaan kekerasan pada material dapat terjadi karena pengaruh distribusi panas yang berbeda sepanjang *joint line*. Proses pengelasan aluminium menyebabkan terjadinya presipitasi silikon pada daerah yang menerima input panas besar melampaui suhu kritis dari aluminium 5083 yaitu pada daerah HAZ dan *weld metal*. Oleh karena itu nilai kekerasan pada HAZ cenderung naik. Selain itu naiknya kekerasan dipengaruhi besarnya gumpalan struktur Mg<sub>2</sub>Si (Ratna, 2012).

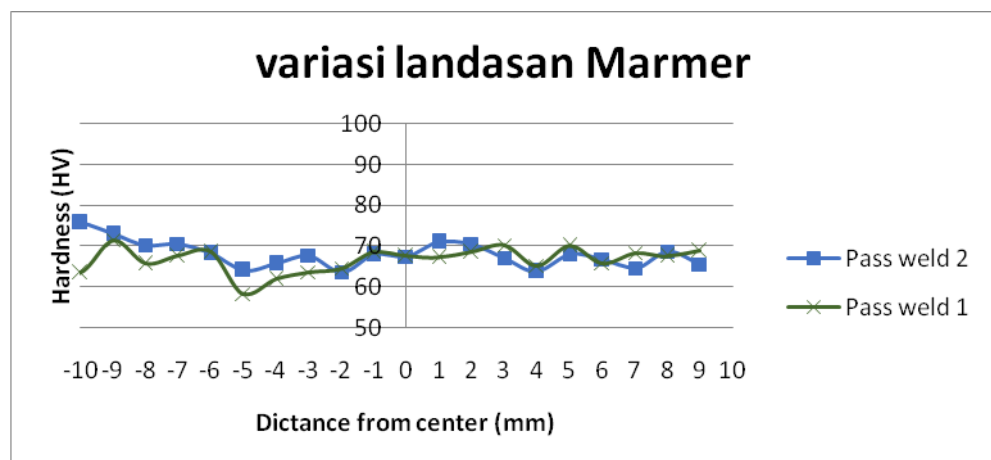
Pada pengelasan menggunakan variasi *mild steel* memiliki kekerasan yang paling tinggi dibandingkan dengan variasi menggunakan Al5083 dan Marmer. Pengelasan menggunakan *mild steel* mempunyai suhu yang ideal untuk pengelasan FSW tidak terlalu dingin (variasi landasan Al5083) ataupun terlalu panas (variasi landasan Marmer) karena suhu sangat berpengaruh terhadap pembentukan struktur mikro pada material.



**Gambar 4-33** Hasil uji kekerasan untuk variasi landasan *mild steel*



**Gambar 4-34** Hasil uji kekerasan untuk variasi landasan Al 5083



**Gambar 4-35** Hasil uji kekerasan untuk variasi landasan marmer



#### 4.10. Analisa Keseluruhan Hasil Pengujian

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, didapatkan data hasil masing-masing pengujian. Untuk itu diperlukan analisa keseluruhan data dari setiap hasil pengujian tersebut untuk membandingkan secara langsung. Batasan yang diambil untuk menentukan material mana yang terbaik untuk dipilih sebagai refresi pengelasan FSW selanjutnya. Batasan-batasan tersebut mengacu pada peraturan BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) tahun 2009.

Untuk pengelasan struktur hull, sebagai aturan umum (dasar) persetujuan diberikan pertama-tama atas dasar sebuah pekerjaan inspeksi dan jika perlu, tes kualifikasi tukang las itu sesuai dengan Bagian 3. Persyaratan untuk kinerja tes ini dan persyaratan yang berlaku untuk hasil tes yang diberikan dalam Bagian 4 dan dalam Bagian 12 sampai 16 (BKI Vol.6 Sec.2 D.2).

Bergantung dari jenis dan lingkup test yang dilakukan. Test Piece dan spesimen harus di evaluasi dan di bandingkan dengan standart spesifikasi. Mengacu pada kriteria yang ada :

- Thicknes (ketebalan), *reinforcement* dan kondisi las.
- *Radiograph*
- Kondisi kelelahan
- *Mechanical Propertise*
- *Metallographic spesimen*

#### Inspeksi Visual

Inspeksi visual pada sambungan las dimaksudkan untuk menentukan tingkat mutu sambungan las sesuai dengan persyaratan spesifikasi, desain dan standard yang telah ditentukan. Inspeksi visual hanya menggunakan kekuatan dan ketajaman mata untuk mengetahui kelainan-kelainan, ketidak sesuaian dan cacat-cacat permukaan pada sambungan las. Oleh karena itu diperlukan persyaratan yang ketat bagi inspector visual untuk dapat melaksanakan pekerjaannya dengan professional dan benar, seperti : kesehatan mata (tidakbuta warna dan tidak rabun), pengalaman yang luas tentang cacat permukaan las khususnya dan tehnologi las pada umumnya. Hal ini penting

mengingat inspeksi visual menentukan dapat diterima atau ditolaknya suatu sambungan las secara langsung, dan menentukan juga langkah-langkah tindak lanjut yang diperlukan untuk dapat mengetahui lebih lanjut tentang kondisi internal sambungan las tersebut, untuk kemudian mengambil langkah-langkah penanggulangan yang tepat sesuai persyaratan standard yang diacu sehubungan dengan kondisi internal sambungan las yang dapat diungkapkan. Kompetensi inspector las mutlak diperlukan karena inspeksi visual biasanya tidak menggunakan peralatan NDT, semata mata hanya mengandalkan pada pengetahuan (knowledge), pengetahuan praktik (know how) dan pengalaman (experience) nya tentang teknologi las yang luas dan mendalam. Dibawah ini diuraikan tentang jenis jenis cacat las, baik cacat permukaan (visual / surface), cacat akar (nonvisual / root) dan cacat internal yang memerlukan peralatan NDT guna mengungkapnya.

Cacat yang dapat di lihat secara visual: *Spatters surface Porosity, Pin Hole, Surface Cracks, Surface Cold Lap, Surface Galling, Surface Concavity, Surface Undercut*, dll.

### **Tensile Test**

Untuk prosedur test pengelasan dan test pada spesimen produk (*Base Metal*) yang berhubungan dengan aluminium alloy, nilai-nilainya ditentukan pada tabel 4.15 yang harus digunakan sebagai nilai standart spesimen *butt weld* yang diambil dari jenis aluminium alloy 5000 dan 6000 sebagaimana diatur dalam peraturan untuk material, BKI Vol.5. Dalam hal kekuatan tarik dari spesimen tidak kurang dari nilai yang ditetapkan minimum untuk bahan dasar dalam saat kondisi "lunak". Nilai kekuatan tarik yang ditetapkan berlaku untuk menguji spesimen mempertahankan kekuatan las. Paduan aluminium lainnya harus diklasifikasikan dalam cara yang sama, dan persyaratan untuk ini ditetapkan pada kasus-perkasus di bawah pertimbangan karakteristik bahan dasar dan faktor-faktor efisiensi bersama diatur dalam EN ISO 15614-2.

**Tabel 4.10** - persyaratan minimal kuat Tarik untuk Alumunium Alloy

| Base material |                      | Welded joints <sup>1)</sup>                              |  |   |                           |
|---------------|----------------------|--|--|---|---------------------------|
| Alloy No.     | Material designation | 0,2 %-proof stress <sup>2)</sup><br>[N/mm <sup>2</sup> ] | Tensile strength<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | Bending angle <sup>3)</sup><br>[degree] | Bending elongation<br>[%] |
| EN AW - 5083  | AlMg4,5Mn0,7         | 125  | 275                                      | 180                                     | 18                        |
| EN AW - 5086  | AlMg4                | 100  | 240                                      |   |                           |
| EN AW - 5383  | AlMg4,5Mn0,7mod.     | 145  | 290                                      |   |                           |
| EN AW - 5754  | AlMg3                | 80   | 190                                      |   |                           |
| EN AW - 5059  | AlMg5,5Mn0,8ZnZr     | 160  | 330                                      |   | 10                        |
| EN AW - 6005A | AlSiMg(A)            | 115  | 170                                      |   |                           |
| EN AW - 6061  | AlMgSiCu             | 115  | 170                                      |   |                           |
| EN AW - 6082  | AlSiMgMn             | 125  | 185                                      |   |                           |

<sup>1)</sup> Using a weld consumable of a quality grade in accordance with the base material according to Section 5, J.  
<sup>2)</sup> As far as established (on additional samples which are to be agreed).  
<sup>3)</sup> Bending mandrel- $\varnothing$  to be selected depending on the material group and condition according EN ISO 15614-2.

### Bending Test

Uji lengkung melintang harus dilakukan sesuai dengan EN 910 / ISO 5173. Dua dari empat spesimen uji harus ditekuk pada permukaan (*face*) dan dua lainnya harus ditekuk pada akar(*root*). Dalam kasus spesimen ketebalan  $\geq 12$  mm, empat spesimen uji sisi lengkung dapat diuji alternatif. Untuk Sambungan tumpul pelat baja heterogen, permukaan dan akar spesimen uji lengkung memanjang dapat digunakan sebagai pengganti dari spesimen uji lengkung melintang. Tes lentur harus dilakukan dengan menggunakan mandrel dengan diameter sebesar 4 kali ketebalan spesimen. Sudut lentur yang dibutuhkan  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$  di bawah kondisi pengujian yang ditentukan dalam EN 910 / ISO 5173 dianggap telah dicapai ketika spesimen telah didorong antara gulungan pendukung untuk jarak minimum yang ditunjukkan dalam standar ini. Elongasi lentur yang dibutuhkan harus dicapai sebelum celah baru pertama muncul. Eksposur pori-pori kecil atau sejenisnya hingga panjang maksimal 3 mm dapat ditoleransi. Permukaan benda uji yang pecah harus dievaluasi.

### Pengujian Makro dan Mikro

Pemeriksaan struktur makro harus dijalankan pada minimal satu bagian dipoles. Permukaan dipoles bagian harus diambil tegak lurus dengan sumbu las. Spesimen makro harus ukuran tersebut dan diperlakukan oleh grinding dan etsa sedemikian rupa untuk mengungkapkan sifat dan struktur kristalisasi dari logam las dan zona yang terkena panas serta tekstur logam dasar. Untuk pemeriksaan makro, minimum 10 mm keluar dari zona panas terpengaruh dari bahan dasar harus dipertimbangkan. Bagian dipoles akan difoto dan foto-foto ditambahkan ke laporan inspeksi. Macrographs secara normal adalah dengan skala 1:1 sampai 1:3; jika luas penampang las kecil, mereka dapat diperbesar. Spesimen harus dinilai sesuai dengan ISO 5817, tingkat kualitas “B”, kecuali untuk logam las kelebihan dan kelebihan penetrasi yang tingkat kualitas “C” berlaku.

### Radiograph

Dalam kasus pengujian radiografi dan, jika memungkinkan, metode pengujian permukaan, referensi angka dan / atau simbol sesuai dengan EN 26520/ISO 6520 atau, sebagaimana berlaku, dalam Tabel 4.16 (ekstrak dari standar) dapat digunakan untuk mengidentifikasi (jelaskan) hasil tes (misalnya pengelasan cacat).

**Tabel 4.11** - simbol cacat

| Reference No. / Symbol conforming to the IIW X-ray manual |    | Description <sup>1)</sup>                      |
|---|----|--|
| 100   | E  | Cracks   |
| 101   | Ea | Longitudinal crack                             |
| 102   | Eb | Transverse crack                               |
| 104   | Ec | End crater crack                               |
| 2011  | Aa | Pore   |
| 2015  | Ab | Elongated cavity (Gas pocket)                  |
| 2016  | Ab | Worm hole                                      |
| 2024  | K  | Crater pipe (End crater cavity)                |
| 301   | Ba | Slag inclusion                                 |
| 304   | H  | Metallic inclusion                             |
| 4011  | –  | Lack of side-wall fusion                       |
| 4012  | –  | Lack of inter-run fusion                       |
| 4013  | C  | Lack of root fusion                            |
| 402   | D  | Lack of penetration (Incomplete penetration)   |
| 5011  | F  | Undercut, continuous                           |
| 5012  | F  | Undercut, intermittent                         |
| 5013  | –  | Shrinkage groove, groove in the root (see 515) |
| 502   | –  | Excessive weld reinforcement (butt weld)       |
| 503   | –  | Excessive convexity (fillet weld)              |
| 504   | –  | Excessive root reinforcement                   |
| 507   | –  | Misalignment of edges                          |
| 510   | –  | Burn-through                                   |
| 511   | –  | Incompletely filled groove                     |
| 515   | –  | Root concavity (see 5013)                      |
| 517   | –  | Poor restart                                   |

<sup>1)</sup> For explanations and illustrations, see EN 26520/ISO 6520.

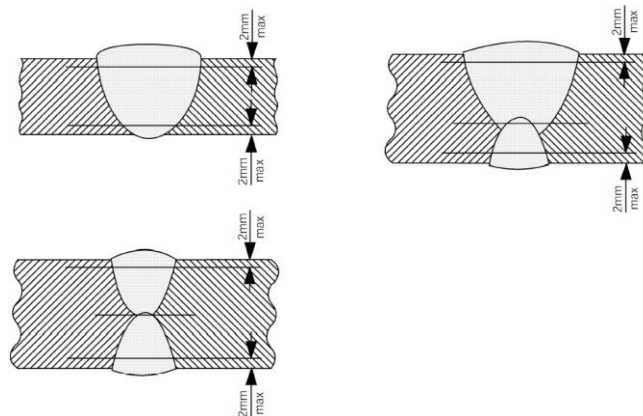
**Tabel 4.12** - Peringkat evaluasi (untuk interpretasi statistik lebih komprehensif)

| Findings   | Rating             | Remarks   |
|--|--------------------|---|
| Weld free from detectable defects  | 1 = good           | -   |
| Minor defects such as isolated pores and small slag inclusion which do not reduce the strength or tightness of the welded joint                              | 2 = serviceable    | -   |
| Avoidable defects such as small rows or clusters of pores, small slag lines short root defects and minor lack of fusion                                      | 3 = leave as is    | Repair not recommended for components subject to normal stresses. Short root defects and minor lack of fusion may be left only at non-critical points |
| Defects which shall be avoided, e.g. coarse slag inclusion, accumulations of pores, generally all root defects and lack of fusion, and small isolated cracks | 4 = to be repaired | Repair of defect required. Exceptions only for components without particular requirements on strength and tightness, but not at cracks.               |
| Extensive major defects and cracks   | 5 = to be replaced | Replacement of the section of weld or of the entire welded joint required.  |

### Hardness

Uji kekerasan diperlukan untuk baja dengan kuat luluh minimum spesifikasi dari  $ReH \geq 355 \text{ N/mm}^2$  dan secara umum untuk cor baja dan tempa. Metode Vickers dengan kekuatan uji 98N (HV10) yang biasanya digunakan. Kekerasan harus diverifikasi di lapangan dan spesimen terukir, dengan permukaan uji tegak lurus dengan sumbu las. Metode uji lainnya harus disepakati dengan BKI sebelum pengujian. Dua baris tes yang diperlukan sesuai dengan Gambar 4.36.

Setidaknya tiga lekukan individu dalam logam las, zona terpengaruh panas (kedua sisi las) dan logam dasar (kedua sisi las). Jarak antara lekukan adalah 1 mm dalam kasus Vickers HV10. Contoh lebih lanjut mengenai lekukan kekerasan disajikan dalam EN 1043-1 / ISO 6507-1. Hasil dari uji kekerasan harus tidak melebihi kekerasan 350 HV10.

**Gambar 4-36** Contoh uji kekerasan dengan deretan lekukan di *butt weld*

Kecuali dinyatakan khusus untuk masing-masing komponen atau sambungan las pada bagian-aplikasi spesifik dari Bagian 12 sampai 16, kategori evaluasi sesuai dengan EN 30042 / ISO 10042 untuk paduan aluminium.

Dari hasil analisa diatas maka didapatkan table rekapitulasi analisa keseluruhan pengujian.

**Tabel 4.13-** Rekapitulasi Analisa Keseluruhan Pengujian

| <b>Jenis Pengujian</b>               | <b>Pengelasan variasi landasan Mild Steel</b>  | <b>Pengelasan variasi landasan Al5083</b>  | <b>Pengelasan variasi landasan Marmer</b>  |
|--------------------------------------|--|--|--|
| Visual Test                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak terdapat cacat</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak terdapat cacat</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat cacat berupa <i>Surface Gallling</i></li> </ul>                                |
| Radiografi                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak terdapat cacat</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak terdapat cacat</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat IP sepanjang lasan</li> </ul>  |
| Uji Tarik<br>( <i>Tensile Test</i> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ultimate stress</i> = 282.75 Mpa</li> <li>• Patah di bagian WM</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ultimate stress</i> = 262.35 Mpa</li> <li>• Patah di bagian WM</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ultimate stress</i> = 195.20 Mpa</li> <li>• Patah di bagian WM</li> </ul>            |
| Suhu                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sisi 1 : Adv = 183.5, Ret = 175.6</li> <li>• Sisi 2 : Adv = 153.5, Ret = 142.3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sisi 1 : Adv = 159.4, Ret = 148</li> <li>• Sisi 2 : Adv = 138, Ret = 130.7</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sisi 1 : Adv = 185.8, Ret = 176.7</li> <li>• Sisi 2 : Adv = 179.1, Ret = 168</li> </ul> |
| Makroetsa                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak terdapat cacat</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak terdapat cacat</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat cacat pengelasan <i>wormhole</i> berukuran 0.83 mm.</li> </ul>                 |
| Uji Mikrostruktur                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ukuran butir besar dan kecil merata di seluruh bagian.</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ukuran butir pada bagian HAZ dan <i>nugget</i> lebih besar.</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ukuran butir relatif kecil dan tidak tersebar merata di seluruh bagian.</li> </ul>      |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Uji Kekerasan<br>( <i>Hardness Test</i> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rata - rata nilai kekerasan lebih besar yaitu : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisi 1 = 72.376190 HV</li> <li>- Sisi 2 = 70.871428 HV</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rata - rata nilai kekerasan lebih kecil yaitu : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisi 1 = 69.085714 HV</li> <li>- Sisi 2 = 67.79523 HV</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rata - rata nilai kekerasan lebih kecil yaitu : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisi 1 = 68.457142 HV</li> <li>- Sisi 2 = 66.690476 HV</li> </ul> </li> </ul>               |
| Uji Tekuk<br>( <i>Bending Test</i> )      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tidak terdapat cacat</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tidak terdapat cacat</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Terdapat crack, <ul style="list-style-type: none"> <li>LM01 = 25.15mm,</li> <li>LM02 = 10.42mm,</li> <li>LM03 = 26.87mm,</li> <li>LM04 = tidak terdapat cacat</li> </ul> </li> </ul> |
| keterangan                                | Accepted  | Rejected   | Rejected  |

Dari seluruh hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengelasan dengan menggunakan landasan mild steel mempunyai *trend* yang lebih baik. Mulai dari tidak adanya cacat permukaan maupun cacat dalam *joint line*. Dan jika dilihat dari hasil pengujian tarik maupun *hardness test*, pengelasan menggunakan landasan *mild steel* menunjukkan kekuatan yang lebih baik dari pengelasan menggunakan landasan Al5083 dan Marmer . Hal tersebut didukung pula dengan hasil pengujian mikro yang menunjukkan bahwa ukuran butir pada pengelasan *mild steel* lebih merata. Dan pengujian *bending* yang tidak menunjukkan adanya *open defect* ataupun *crack* pada pengelasan menggunakan landasan *mild steel*.

Berbanding terbalik dengan itu, untuk pengelasan menggunakan landasan marmer mempunyai *trend* yang kurang baik seperti adanya cacat *wormhole* serta nilai tensile yang lebih kecil dari pengelasan penggunaan variasi landasan *mild steel* dan

al5083. Secara umum dapat ditarik korelasi bahwa cacat *wormhole* pada pengelasan penggunaan landasan marmer tersebut terjadi karena suhu pengelasan yang terlalu tinggi dikarenakan marmer yang tidak bisa menghantarkan panas sehingga terjadi over heat pada pengelasan menggunakan landasan marmer. Kemudian terdapat cacat di bagian tersebut yang menyebabkan sifat mekaniknya menjadi tidak baik.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari percobaan yang dilakukan di atas, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil pengelasan yang paling baik dengan penggunaan landasan *mild steel*, karena penggunaan landasan *mild steel* menghasilkan kekuatan yang lebih baik dari segi kekuatan dan kekerasannya dibandingkan dengan menggunakan Al5083 dan Marmer.
- Pada pengujian radiografi, *bending*, mikro dan makroetsa juga menunjukkan tidak adanya cacat permukaan, cacat dalam, maupun *open defect* pada pengelasan dengan landasan *mild steel*.
- Variasi landasan menggunakan *mild steel* bisa menjadi acuan dalam pembangunan kapal apabila membutuhkan kekuatan material yang lebih baik.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran untuk tugas akhir selanjutnya adalah :

- Penggunaan alat FSW yang terqualifikasi untuk FSW agar menghasilkan hasil pengelasan yang lebih baik.
- Menggunakan pin yang berulir, agar dapat melakukan proses pengadukan material yang lebih baik untuk jenis aluminium seri 5083.
- Pengaplikasian dalam bentuk model agar dapat memperkirakan kekuatan keseluruhan dari metode pengelasan dua sisi menggunakan variasi landasan las.
- Pada pengujian radiografi sebaiknya dilakukan dengan sensitifitas film D2 agar hasilnya terlihat lebih jelas.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

## DAFTAR PUSTAKA

- Baihaqi, Taufik. 2013. “Analisis Pengaruh Sisi Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Dua Sisi Friction Stir Welding Aluminium 5083 Pada Kapal Katamaran, Surabaya : Tugas Akhir Teknik Perkapalan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- BKI 2009 Volume VI *Rules for Welding* Section 11
- BKI 2009 Volume VI *welding of Hull Structures* 12
- Callister, William D, 2001, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Inc.
- Chao, Y.J.,and Qi, X., (1998): *Thermal and Thermo-Mechanical Modeling of Friction Stir Welding of Aluminium Alloy 6061-T6*. Journal of Materials processing & Manufacturing Science, V. 7, pp. 215-233, 1998.
- Elangovan, K., Balasubramanian, V., (2008): *Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy*, journal of materials processing technology 200 (2008) 163–175
- Endartyana, R. F. 2013. “Studi Perbandingan Sifat Mekanik pada Pengelasan Satu Sisi dan Dua Sisi Friction Stir Welding Aluminium 5083 Kapal Katamaran, Surabaya : Tugas Akhir Teknik Perkapalan FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Insel,M.,Molland,A.F. (1991). *An Investigation into Resistance Components of High Speed Displacement Catamaran*,Royal Institution of Naval Architects, Spring Meeting No.11
- Kumar, A. R., Varghese, S., & Shivapragash, M. (2012). *A Comparative Study of the Mechanical Properties of Single and Double Sided Friction Stir Welded Aluminium Joints*. Procedia Engineering 38, 3955-3961.
- Kusumawardhani, D. (2011). *Pengaruh Diameter Tool Shoulder Terhadap Metalurgi Aluminium Seri 5083 dengan Proses Friction Stir Welding*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS
- Liu, H., Fujii, H., Maeda, M., & Nogi, K. (2003). Tensile Properties and Fracture Locations of Friction-Stir-Welded Joints of 2017-T351 Aluminium Alloy. *Journal of Materials Processing Technology* 142, 692-696.
- Mishra, RS., and Ma, Z.Y. (2005): *Friction stir welding and processing*, Materials Science and Engineering R 50 1–78.
- Mathers, G. (2002). *The Welding of Aluminium and its alloys*. Cambridge: CRC Press.

Paik, J.K., (2009): *Mechanical properties of friction stir welded aluminum alloys 5083 and 5383*, Inter J Nav Archit Oc Engng (2009) 1:39~49.

Paik, JK, (2009) *Buckling collapse testing of Friction stir welded aluminum stiffened plate structure*, SSC 456 Ship Structure Commite

Rajakumar, S., & Balasubramanian, V. (2011). *Correlation between weld nugget grain size, weld nugget hardness and tensile*. *Materials and Design* 34, 250-251.

Santosa, B., Utama IKAP, Zubaydi, A., Setyawan, D., Huda, M., Hardy S, Ifa, U., (2012), *Analisa umur kekuatan struktur katamaran berbahan aluminium*, Laporan Penelitian Laboratorium, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS.

Suherman, Wahid. (1987). *“Ilmu Bahan I”*. Diktat Jurusan Teknik Mesin Fakultas Industri. ITS

[www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy\\_5083-0~H111](http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_5083-0~H111) (di akses tanggal 19 Maret 2013)

[www.id.wikipedia.org/wiki/Aluminium](http://www.id.wikipedia.org/wiki/Aluminium) (di akses tanggal 19 Maret 2013)

[www.asm.matweb.com](http://www.asm.matweb.com) (di akses tanggal 17 April 2013)

[journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JKT/article/view/115](http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JKT/article/view/115) (di akses tanggal 17 April 2013)

[www.mig-welding.co.uk/wiki/Macro\\_Etch](http://www.mig-welding.co.uk/wiki/Macro_Etch) (di akses tanggal 23 Juni 2013)

## BIODATA PENULIS



**SYAIFUL HAQQI** lahir 23 tahun yang lalu 26 November 1990 di Surabaya kota pahlawan dan menetap di Gresik kota pudak. Setelah menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah GKB, SMP Muhammadiyah 12 GKB Gresik, dan SMA N 1 Manyar, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Teknik Perkapalan FTK-ITS Program S-1 melalui jalur PMDK-Reguler.

Minat penulis terhadap seni dan tulis menulis muncul sejak usia yang cukup dini. Dan selama menempuh pendidikan formal, penulis menuangkannya dalam beberapa kompetisi hingga mendapatkan penghargaan sebagai penulis remaja saat duduk di bangku SMA.

Sejak kecil penulis sudah aktif dalam organisasi, IRM ( Ikatan Remaja Muhammadiyah, karangtaruna, pecinta alam "VOLCANO". Dan saat menginjak masa perkuliahan penulis juga aktif dalam organisasi jurusan yang bernama HIMATEKPAL (Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan). Selain itu penulis juga menjadi panitia Semarak Mahasiswa Perkapalan atau yang biasa disebut SAMPAN 6 ITS, lebih tepatnya penanggung jawab pada sub kegiatan GOWES SAMPAN.

Ketertarikan penulis terhadap bidang konstruksi yang lebih tepatnya *welding* yang saat ini sangat banyak berkembang metode dan teknologinya mendorong keinginan penulis untuk mengambil topik dibidang pengelasan agar dapat menyumbangkan ilmu dalam dunia pengelasan. Tugas Akhir mengenai metode pengelasan yang cukup baru *Friction Stir Welding* di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Teknik Perkapalan ITS dibawah bimbingan Bapak Dony Setyawan, S.T., M.Eng. Penulis menyelesaikan Tugas Akhir di semester ke-9 dan lulus tepat waktu pada tahun 2013.

## LEMBAR REVISI

# ANALISIS PENGARUH BACKING PLATE MATERIAL PENGELASAN DUA SISI FRICTION STIR WELDING TERHADAP SIFAT MEKANIK ALUMINIUM 5083 PADA KAPAL KATAMARAN

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir  
24 Januari 2014

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Konstruksi  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Syaiful Haqqi  
N.R.P. 4109 100 014

Disetujui oleh Dosen Penguji Tugas Akhir :

1. Wing Hendro PAP, ST., M.Eng.
2. Muhammad Nurul Misbah, ST., MT.
3. Dr. Ir. I Ketut Suastika

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



SURABAYA, [28 Januari 2014]

## LAMPIRAN I

**Peralatan untuk persiapan material, peralatan proses pengelasan, peralatan untuk pembentukan specimen uji dan Peralatan untuk pemeriksaan metalografi (makro dan mikro)**

Peralatan untuk persiapan material

1. Gerinda

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| Merek              | : BOSCH                        |
| Jenis batu gerinda | : 100 mm                       |
| Daya               | : 670 W                        |
| Power supply       | : 220 V- 230V, 50 – 60 Hz, 3 A |
| RPM kerja          | : 11000 Rev/min                |



Gambar 1. Gerinda

2. Kikir

Jenis : Kikir bulat, kikir segitiga, kikir pipih, kikir setengah lingkaran



Gambar 2. Kikir



Peralatan untuk proses pengelasan

1. Mesin fraiss / *milling machine*

Merek : PaoFong Industry.Co.,Ltd.  
Type : PF-5S  
Power supply : 380 V, 2A  
Daya : 3 KW  
Max Rpm : 3600 rpm



Gambar 3. Mesin Fraiss

2. Clamp

3. Backing plate

4. Alat pengukur suhu

Merek : Krisbow KW06-304  
Temperatur Range : (-50) - 750°C



Gambar 4. Pengukur Temperatur

5. Penggaris  
Merek : Joyko



Gambar 5. Penggaris

6. Marker  
Merek : Snowman Boardmarker

Peralatan untuk pembentukan specimen uji

1. Mesin gerinda

- Merek : BOSCH  
Jenis batu gerinda : 100 mm  
Daya : 670 W  
Power supply : 220 V- 230V, 50 – 60 Hz, 3 A  
RPM kerja : 11000 Rev/min

2. Ragum

- Merek : Swordfish  
Jangkauan : 125 mm & 150 mm



Gambar 7. Ragum

#### 4. Mesin poles

Merek : Buehler Ecomet III Polisher & Grinder

Daya : 1 PH

Power supply : 220 V, 50 – 60 Hz, 3A

Pendingin : air



Gambar 8. Mesin poles

#### 5. Kertas gosok CW80 – CW2000

#### 6. Kikir

Jenis : kikir pipih dan kikir setengah lingkaran

#### 7. Jangka sorong

Merek : Tricle brand, Mitutoyo

Ketelitian : 0.1 mm



Gambar 9. Jangka Sorong

Peralatan untuk pemeriksaan metalografi (makro dan mikro)

1. Scanning Electron Microscope

Merek : Olympus  
Type : BX 60 MF5  
Ampere : 2,8 / 1,8 A  
Made in : Japan



Gambar 10. SEM EDAX

2. Kamera foto makro

Merek : Canon 550D  
Pixel : 10 MP



Gambar 11. Kamera untuk foto makro

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LAMPIRAN II**

**Hasil Pengujian foto SEM dan EDAX**

## **LAMPIRAN III**

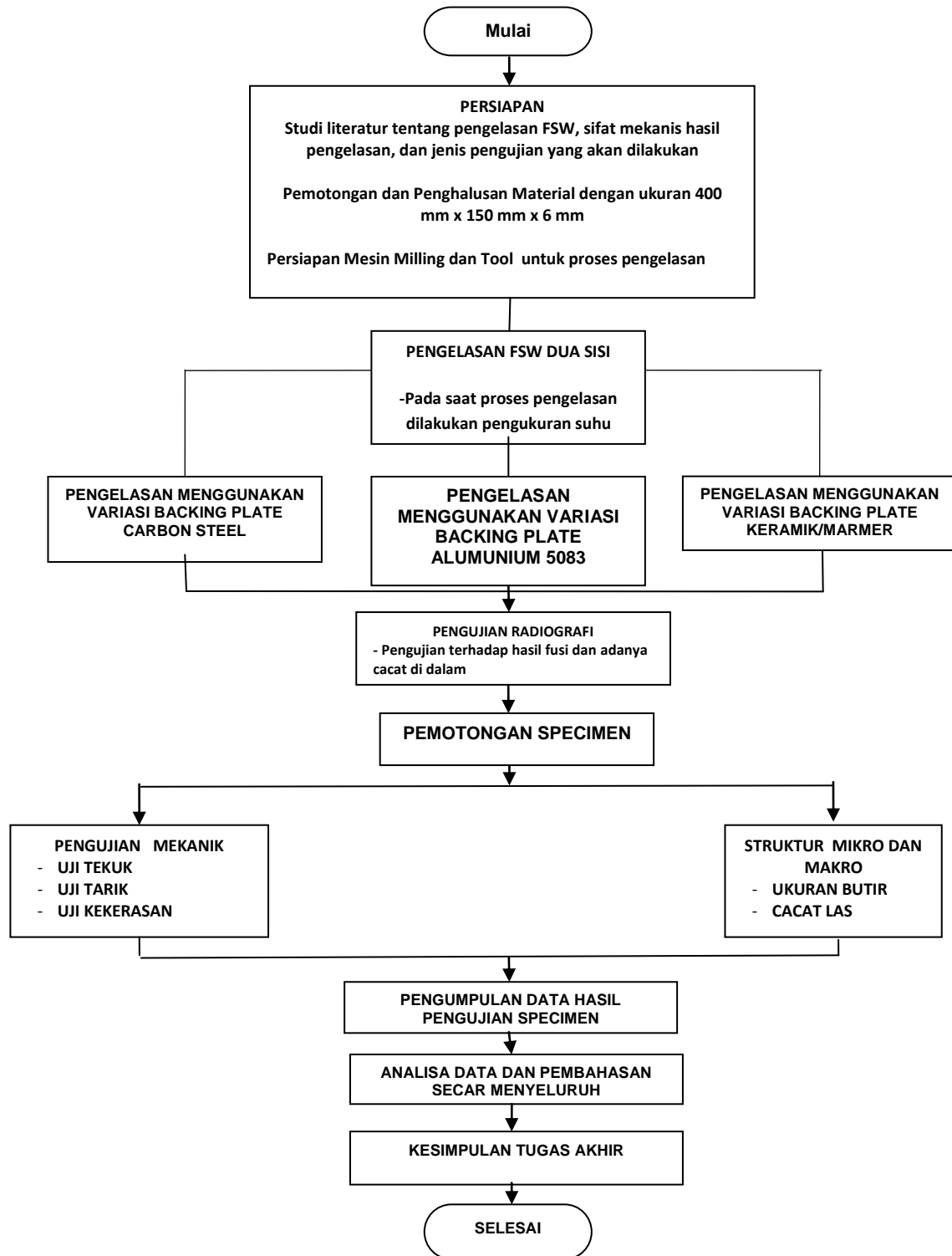
**Laporan hasil Pengujian Tarik (Tensile Test), Radiografi Test, Apendix 7**

**LAMPIRAN IV**  
**Sertifikat Material Aluminium 5083**



# BAB 3

## METODOLOGI PENELITIAN



### 3.1. Bahan Penelitian

Bahan bahan yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### 3.1.1. Material

Material yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan Aluminium 5083 dengan unsur paduan utama yaitu Aluminium (Al) dan Magnesium (Mg). Dimensi material yang dilakukan pengelasan sebagai berikut :

- Panjang : 400 mm
- Lebar : 150 mm
- Tebal : 6 mm
- Jumlah : 6 buah ( 3 pasang )



**Gambar 3-1** Material Aluminium 5083

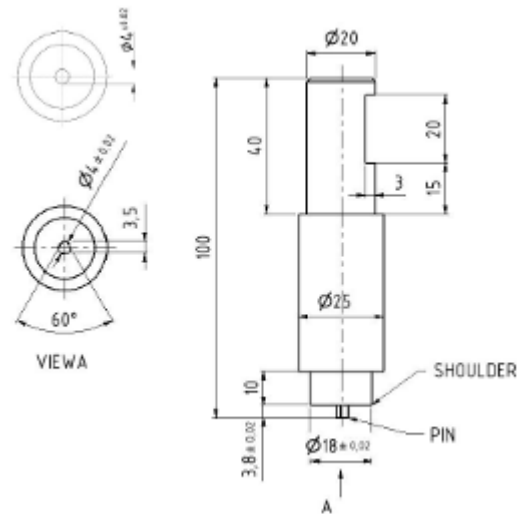
#### 3.1.2. Tool

Material yang digunakan dari bahan HSS (*high speed steel*). Bahan ini digunakan sebagai mata pahat untuk mesin bubut. Untuk pemilihan tool dan bentuk pin dilakukan menyesuaikan dengan jangkauan kedalaman pembenaman nya. Selain itu juga menggunakan referensi dari penelitian sebelumnya tentang variasi bentuk pin. Untuk itu *tool* yang akan digunakan memiliki bentuk *straight cylindrical* dengan bentuk *triangular pin* untuk pengelasan dua sisi dan *four-side pin* untuk pengelasan satu sisi (lihat Gambar 3-2 dan 3-3) dengan ukuran sebagai berikut :

Diameter *pin* = 4 mm

Panjang *pin* = 3.8 mm

Diameter *shoulder* = 18 mm



**Gambar 3-2** Sketsa bentuk *tool* yang digunakan



**Gambar 3-3** *Tools* yang siap digunakan

## 3.2 Peralatan Penelitian

Penelitian ini membutuhkan beberapa peralatan yang memiliki fungsi masing-masing dari persiapan material, proses pengelasan, pembentukan dan pemeriksaan *speciment* uji yang sesuai.

### 3.2.1. Peralatan untuk persiapan material

1. Gerinda
2. Kikir

### 3.2.2. Peralatan untuk proses pengelasan

1. Mesin frais / *milling machine*
2. *Clamp*
3. *Backing plate*

4. Alat pengukur suhu
5. Penggaris
6. *Marker*

### 3.2.3. Peralatan untuk pembentukan specimen uji

1. Mesin gergaji
2. Mesin gerinda
3. Ragum
4. Mesin poles
5. Kertas gosok
6. Mesin scrap
7. Kikir
8. Jangka sorong

### 3.2.4. Peralatan untuk pemeriksaan metalografi (makro dan mikro)

1. SEM (Scanning Electron Microscope) dan EDAX (Energy Dispersive X-ray Analysis)
2. Kamera foto makro

## 3.3 Proses Pengelasan

Proses pengelasan yang digunakan untuk menyambung dua buah aluminium 5083 ini adalah proses *friction stir welding* (FSW). Parameter yang digunakan dalam pengelasan ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Parameter pengelasan *friction stir welding*

|                                 |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| <b><i>Joints</i></b>            |                         |
| 1. <i>Joints design</i>         | I, <i>Square Groove</i> |
| 2. <i>Backing</i>               | yes                     |
| 3. <i>Backing material</i>      | <i>Carbon Steel</i>     |
| <b><i>Base Metal</i></b>        |                         |
| 4. <i>Specification</i>         | E5.4S/AL Mg 4.5 Mn/5083 |
| 5. Plate Thickness              | 6 [mm]                  |
| 6. <i>Type grade</i>            | Al 5083 H-116           |
| 7. <i>Plate Thickness range</i> | 3 ~ 12 [mm]             |

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 8. <i>Preheat Temp</i>                    | <i>None</i>                     |
| 9. <i>Interpass Temp</i>                  | <i>80% melting point</i>        |
| 10. <i>PWHT</i>                           | <i>None</i>                     |
| <b>Position</b>                           |                                 |
| 11. <i>Position</i>                       | 1 G (datar)                     |
| <b>Probe</b>                              |                                 |
| 12. <i>Specification</i>                  | HSS ( <i>High Speed Steel</i> ) |
| <b>Probe Geometry</b>                     |                                 |
| 13. <i>D/d ratio of tool</i>              | <i>None</i>                     |
| 14. <i>Pin Length (mm)</i>                | 3,8 [mm]                        |
| 15. <i>Tool shoulder diameter, D (mm)</i> | 18 [mm]                         |
| 16. <i>Pin diameter, d (mm)</i>           | 4 [mm]                          |
| 17. <i>Tool inclined angle (degree)</i>   | 2.5° [ <i>degree</i> ]          |
| <b>Technique</b>                          |                                 |
| 18. <i>Technique</i>                      | <i>Friction and Stir</i>        |
| 19. <i>Single/Multipass</i>               | <i>Singlepass</i>               |
| <b>Welding Parameter</b>                  |                                 |
| 20. <i>Rotational Speed (Rpm)</i>         | 1125 [Rpm]                      |
| 21. <i>Welding Speed (mm/s)</i>           | 30 [mm/min]                     |
| 22. <i>Axial Force (KN)</i>               | <i>None</i>                     |

3.4 P  
e  
l  
a  
k  
s  
a  
n  
a  
a  
n  
  
p  
e  
n  
g  
e

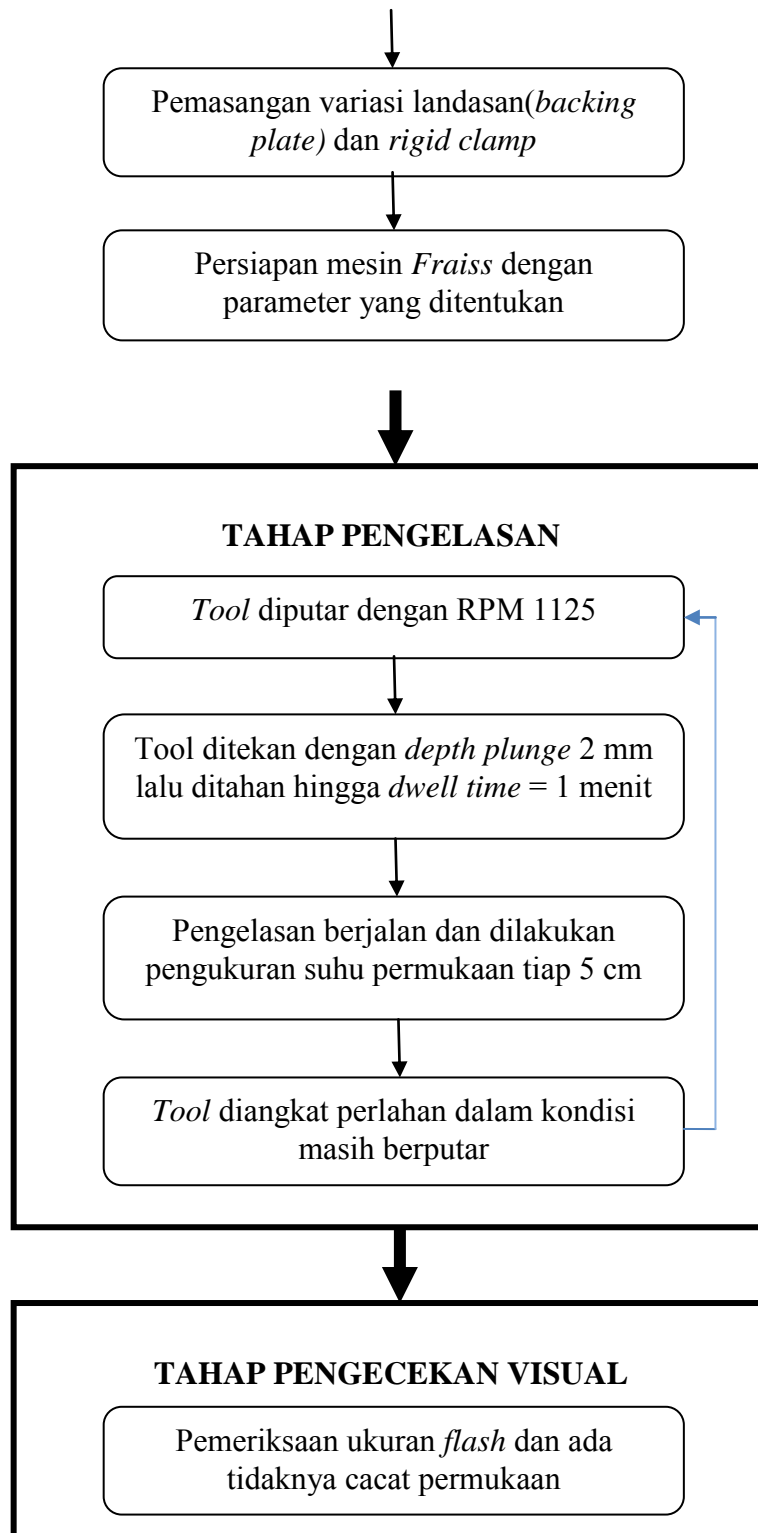
### lasan

Dari parameter pengelasan yang telah ditetapkan di atas, maka dilakukan tahapan-tahapan seperti pada Gambar 3-4 berikut. Untuk pengelasan dua sisi dilakukan dengan sudut tool 2,5° dan urutan yang sama dilakukan pada saat pengelasan di sisi kedua.

\

### TAHAP PERSIAPAN

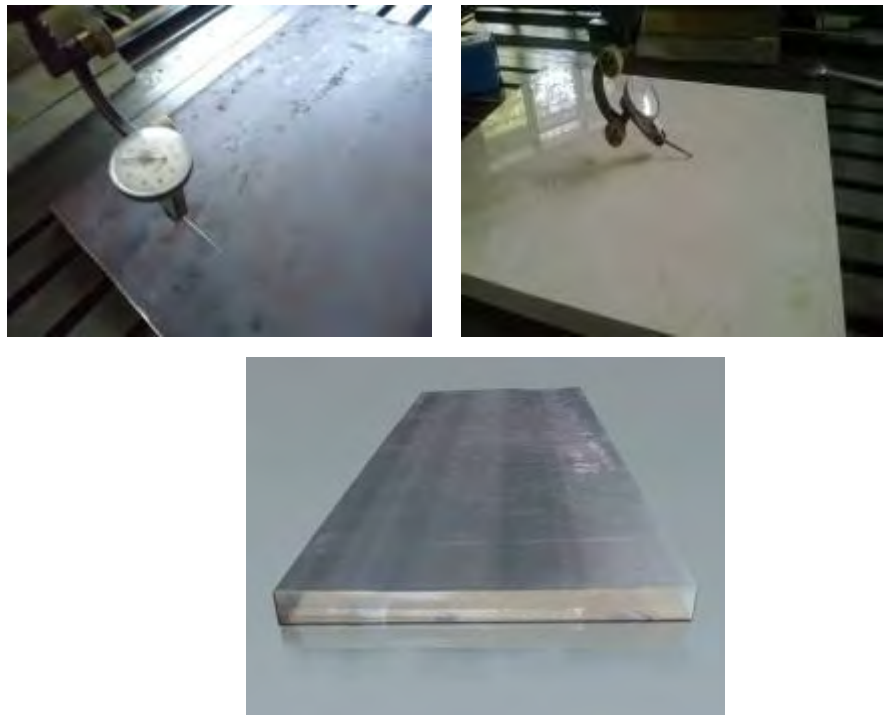
Pembersihan alur pengelasan



**Gambar 3-4** Urutan Proses Pengelasan

1. Tahap persiapan

- a. Pembersihan alur las dengan gerinda atau mesin *scrab*.
- b. Pemasangan landasan(*backing plate*) dan *rigid clamp* untuk meminimalisir deformasi yang akan terjadi saat proses pengelasan *butt joint*.
- c. Variasi landasan yang akan digunakan adalah landasan Mild Steel, landasan Al5083, landasan Marmer.
- d. Pengaturan kelurusan dan kerataan Landasan(*backing plate*) terhadap material uji.



**Gambar 3-5** Pemasangan variasi landasan(*backing plate*)



**Gambar 3-6** Pemasangan *rigid clamp*

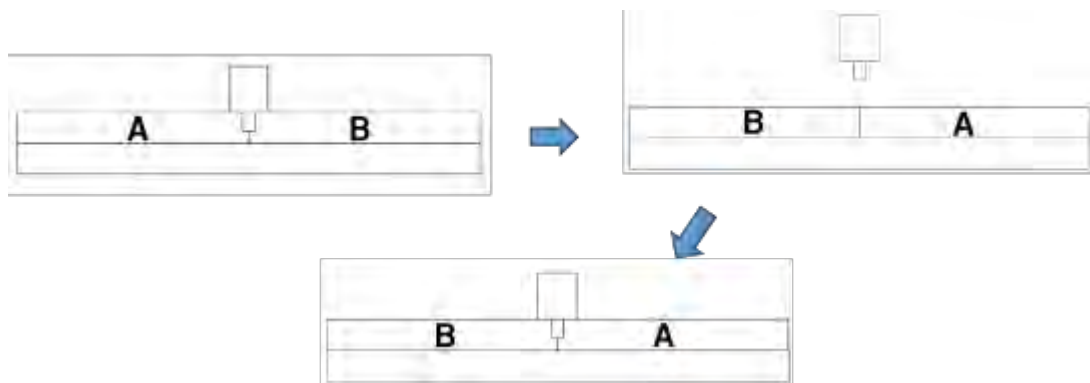
- e. Persiapan mesin fraiss / *milling* sesuai dengan parameter yang telah disebutkan.



**Gambar 3-7** Pengaturan parameter pada mesin Fraiss

## 2. Tahap pengelasan

Setelah dilakukan tahap persiapan di atas, maka dilakukan tahapan pengelasan menggunakan metode pengelasan dua sisi dengan sisi beda dan variasi landasan yang berbeda tiap spesimen. Gambar 3-8 menunjukkan skema proses pengelasan sisi dengan sisi beda.



**Gambar 3-8** Proses pengelasan dua sisi dengan sisi beda

Proses pengelasan ini tahapannya adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan pengelasan menggunakan material landasan (*backing plate*) yang berbeda.

### - Spesimen 1

Plat aluminium pertama di las menggunakan *friction stir welding* pengelasan dua sisi dengan sisi beda, kemudian menggunakan landasan (*backing plate*) material baja karbon.



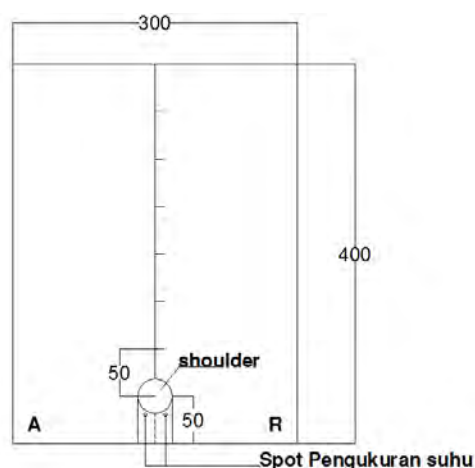
- Spesimen2

Plat aluminium kedua di las menggunakan *friction stir welding* pengelasan dua sisi dengan sisi beda, kemudian menggunakan landasan (*backing plate*) material aluminium.

- Specimen 3

Plat aluminium ketiga di las menggunakan *friction stir welding* pengelasan dua sisi dengan sisi beda, kemudian menggunakan landasan (*backing plate*) material keramik.

- b. *Tool* diputar dengan RPM 1125 dan menekan material hingga *shoulder* tepat menyentuh permukaan Aluminium 5083
- c. *Tool* yang telah menyentuh tepat di permukaan, dimasukan hingga kedalaman 2 mm. Penekanan ini disebut *shoulder depth plunge*, digunakan sebagai pengganti tekanan.
- d. Pin yang berada di dalam benda kerja dibiarkan beberapa saat hingga kondisi Aluminium 5083 hampir plastis. Benda kerja berada pada kondisi hampir plastis karena adanya pemanasan akibat dari gesekan antara pin dan *shoulder* dengan permukaan benda kerja. Kondisi hampir plastis ini ditandai dengan adanya pergerakan maju yang telah ringan.
- e. Saat proses pengelasan berlangsung, dilakukan pengukuran suhu tiap 5 cm di bagian joint line sisi *advancing* dan *retreating*. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan laser pengukur suhu (*infrared thermometer*).



**Gambar 0-9** Skema pengukuran suhu

- f. Sebelum pengelasan untuk sisi kedua, material plat didinginkan untuk menurunkan suhu pada material. Kemudian dilakukan penghalusan permukaan hasil las yang terdapat *flash* menggunakan mesin milling.
- g. Pengelasan sisi kedua tes kupon dibalik ke arah samping lalu di las kembali pada posisi yang sama sehingga kedua sisi permukaan dan akar las memiliki perlakuan yang berbeda.

Tahap pengecekan visual

Pengecekan hasil pengelasan dilakukan secara visual pada hasil permukaan pengelasan sebelum dilakukan pemeriksaan metalografi.

### 3.5 Data Konsumsi Waktu pengelasan

Proses pengelasan didapatkan data waktu pengerjaan. Data ini dapat digunakan untuk estimasi lama pengerjaan.

**Tabel 0.2** Konsumsi Waktu Pengerjaan

| No. | Proses  | Waktu yang diperlukan (menit) |
|-----|---|-------------------------------|
| 1.  | Tahap Persiapan<br>-Pemasangan landasan ( <i>backing plate</i> ) dan <i>rigid clamp</i><br>-Pengukuran kelurusan dan kerataan | 10 -15<br><br>10 - 15         |
| 2.  | Proses Pengelasan   | 15 - 20                       |
| 3.  | Tahap Pembersihan <i>flash</i>  | 5 - 10                        |
| 4.  | pendinginan landasan( <i>backing plate</i> )  | 10 - 15                       |
|     | Total   | 50 - 75                       |

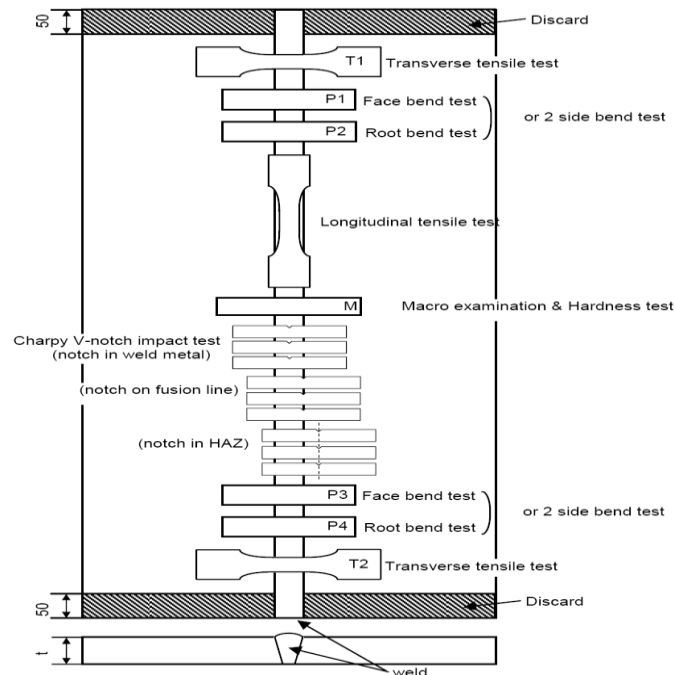
### 3.6 Pengujian Radiografi

Pengujian radiografi dilakukan untuk melihat ada atau tidaknya diskontinuitas atau cacat pada spesimen hasil lasan yang tidak bisa dilihat secara visual biasa. Peralatan yang digunakan dalam pengujian radiografi adalah sebagai berikut:

- Kamera Radiografi  
Berfungsi sebagai penampung unsur-unsur radiografi (radio isotop).
- *Film*  
Digunakan untuk menunjukkan gambar hasil penyinaran dari bagian benda uji.
- *Cranck cable*  
Berfungsi sebagai pengendali sumber radiasi.
- *Source cable*  
Digunakan untuk menyalurkan atau mengeluarkan sumber radiasi.
- *Local spot*  
Berfungsi untuk mengeluarkan radiasi.
- *Image quality indicator*  
Merupakan suatu indikator untuk melihat sensitifitas film.
- *Survey meter*  
Digunakan untuk mendeteksi sejauh mana radiasi tidak mengenai manusia.
- *Marker*  
Digunakan untuk menandai area baca dan juga untuk membuat inisial sehingga dapat dibaca pada film.

### **3.7 Pemotongan Specimen uji**

Untuk melakukan pengujian mekanik diperlukan proses pemotongan material menjadi specimen uji. Dalam proses pemotongan tersebut terdapat peraturan agar hasil dapat divalidasi. Salah satu peraturan tentang pembuatan *test coupon* adalah milik Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yang digunakan sebagai dasar pemotongan specimen dalam penelitian ini.



**Gambar 3-10** Rules pembuatan test coupon [BKI Vol VI Sec.12,(2009)]

### 3.8 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik (*tensile test*) dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pembuatan spesimen berdasarkan aturan BKI 2009 volume VI section 11-2. Spesimen untuk pengujian tarik dibutuhkan 2 buah..
- Pengukuran luas penampang bagian tengah dan *gauge length* spesimen sebagai data awal pengukuran tegangan dan *elongation*.
- Pelaksanaan pengujian tarik menggunakan *universal testing machine* (UTM)
- Material uji dipasang pada mesin tarik, dijepit dengan pencekam dari mesin tarik pada ujung-ujungnya dan ditarik kearah memanjang secara perlahan - lahan sampai putus (Gambar 3-9).
- Pengambilan data hasil pengujian



**Gambar 3-11** Proses uji tarik proses uji tarik

### 3.9 Pengujian Metalografi (Foto Mikro)

Langkah–langkah yang dilakukan dalam pengujian metalografi (foto mikro) specimen berukuran 60 x 10 x 6 mm ini adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan tiga buah *speciment*, permukaan *speciment* dipoleh hingga halus, bersih, mengilap, dan tidak ada goresan. Dimulai dari cw80 sampai cw4000.
- b. Persiapan larutan Reagent keller's yang terdiri dari
  - 2 ml Hydrofluorid Acid (HF)
  - 3 ml HCl
  - 20 ml HNO<sub>3</sub>
  - 175 ml Air aki
- c. *Speciment* dicelupkan dalam larutan reagent keller's selama 30 detik.
- d. Setelah proses pencelupan, dicelupkan ke dalam alkohol 90% hingga terlihat bentuk daerah pengelasan.
- e. *Speciment* disiram dengan air aki dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
- f. Selanjutnya *speciment* siap dilakukan proses foto mikro. Proses foto mikro ini menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive X-ray Analisis (EDAX) dengan pembesaran 2000 kali.
- g. Langkah terakhir adalah menyimpan foto ke dalam komputer

### 3.10 Pengujian Makroetsa

Langkah-langkah yang harus dilakukan selama pengujian foto makro adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan spesimen dengan menghaluskan permukaan dengan mesin gosok. Penghalusan mulai cw80 sampai cw2000.
- b. Persiapan larutan reagent keller's yang terdiri dari :
  - 2 ml Hydrofluorid Acid (HF)
  - 3 ml HCl
  - 20 ml HNO<sub>3</sub>
  - 175 ml air Aki
- c. *Speciment* dicelupkan dalam larutan hingga dua menit. Lalu dicelup dengan alkohol 90% hingga terlihat bentuk daerah pengelasan.
- d. *Speciment* disiram dengan air dan dikeringkan dengan *hair dryer*.
- e. Selanjutnya *speciment* siap dilakukan proses foto makro.
- f. Langkah terakhir adalah pengambilan gambar dengan kamera

### 3.11 Pengujian Tekuk (*Bending test*)

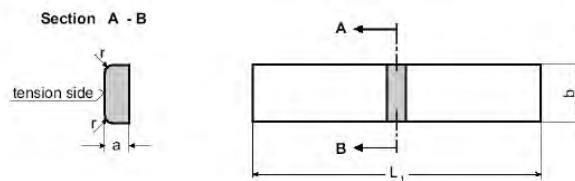
Pengujian bending ini menggunakan peraturan dari BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) yang memberikan *Rules for Welding*. Proses pengujian adalah seperti berikut ini :

- a. Persiapan specimen uji yang diambil dengan ukuran lebar 20 mm. Pemotongan specimen dilakukan sesuai persyaratan BKI, empat buah test piece (diambil dua di bagian separuh kanan material, dan dua buah lagi di separuh kiri material uji).
- b. Material yang sudah dipotong kemudian di gerinda bagian tengahnya untuk memperjelas saat analisa ada tidaknya *weld defect*, dan untuk menghilangkan daerah lancip di sekitar area yang di bending.
- c. Pengujian bending dengan ketentuan sebagai berikut :
  - Diameter mandrel = 38 mm
  - Sudut penekanan = 90°

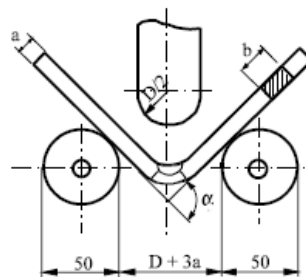
- $D + 3a = 38 + 3(6 \text{ mm}) = 56 \text{ mm}$
- d. Pengujian dilakukan dua kali masing - masing untuk *root bend* dan *face bend*.
- e. Langkah terakhir adalah pengambilan gambar dan analisa adanya *weld defect* pada daerah yang di tekuk.



**Gambar 3-12** Proses uji bending



| Dimensions (mm)   | Specimen thickness a |           |           |           |           |           |     |
|---|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
|   | ≤ 11                 | > 11 ≤ 14 | > 14 ≤ 17 | > 17 ≤ 22 | > 22 ≤ 27 | > 27 ≤ 35 |     |
| Specimen width b  | 20                   | 30        | 30        | ≥ 1,5 a   | ≥ 1,5 a   | ≥ 1,5 a   |     |
| Specimen length L <sub>1</sub> <sup>b)</sup> where  | $\frac{D}{a} \leq 3$ | 250       | 250       | 250       | 250       | 300       | 300 |
|   | $\frac{D}{a} = 4$    | 250       | 250       | 250       | 290       | 350       | 430 |
|   | $\frac{D}{a} = 6$    | 250       | 250       | 290       | 350       | 430       | 530 |
| Radius r, side in tension   | ≤ 2                  | ≤ 2       | ≤ 2       | ≤ 3       | ≤ 3       | ≤ 3       |     |
| <sup>b)</sup> If the specimen lengths L <sub>1</sub> cannot be met, the minimum specimen lengths shown in Table 6 of DIN 50 121, Part 1 apply.<br>D = diameter of mandrel |                      |           |           |           |           |           |     |



**Gambar 3-13** Tabel ukuran specimen uji dan pemilihan diameter mandrel (BKI 2006 Vol VI Section 11)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

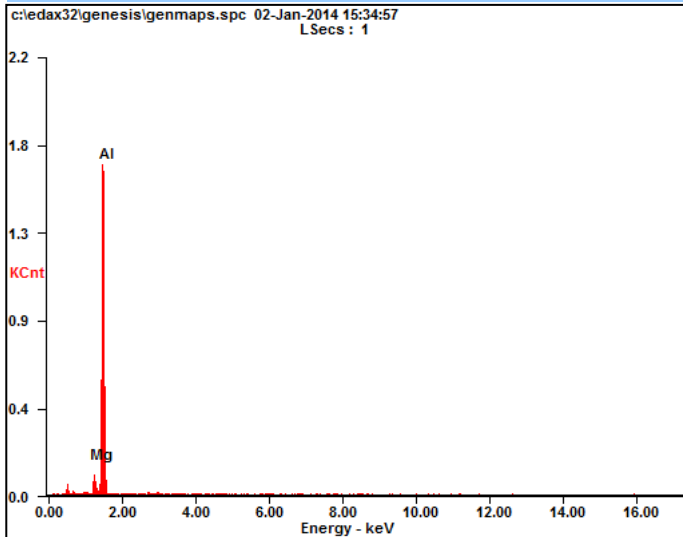


# Microanalysis Report

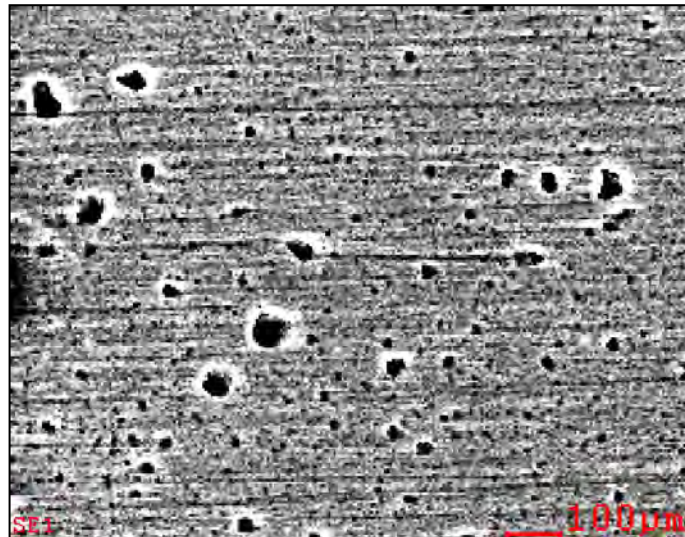
Prepared for: *Landasan Mild Steel*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/2/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 04.45      | 04.92      |
| <i>AlK</i>     | 95.55      | 95.08      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

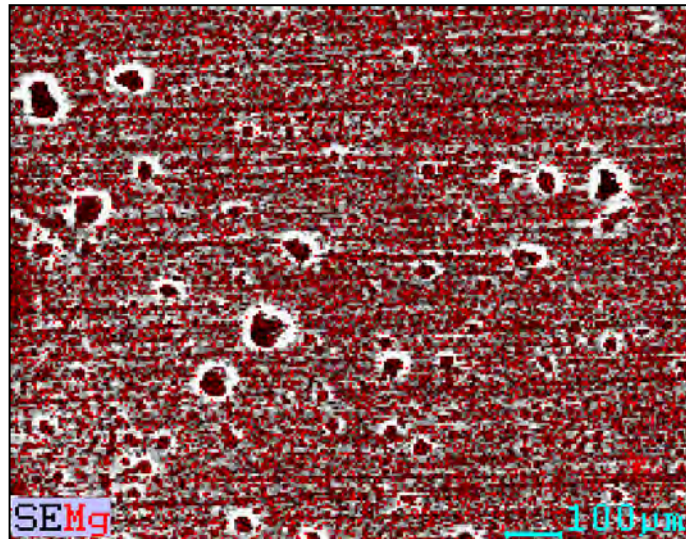
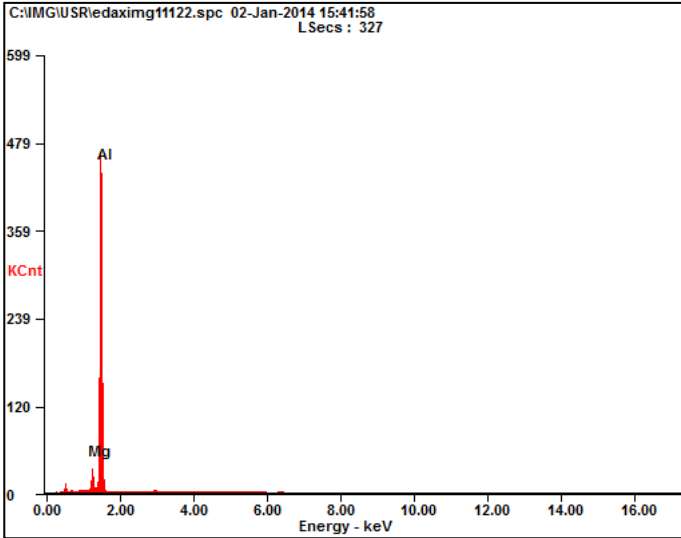


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Mild Steel*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/2/2014*

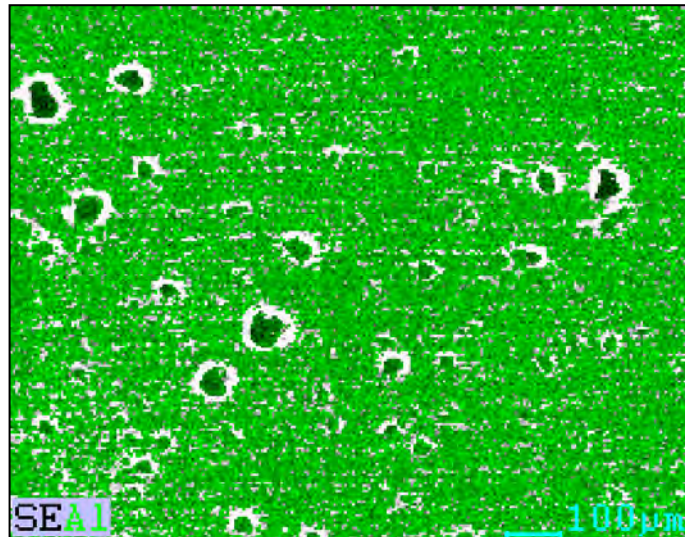
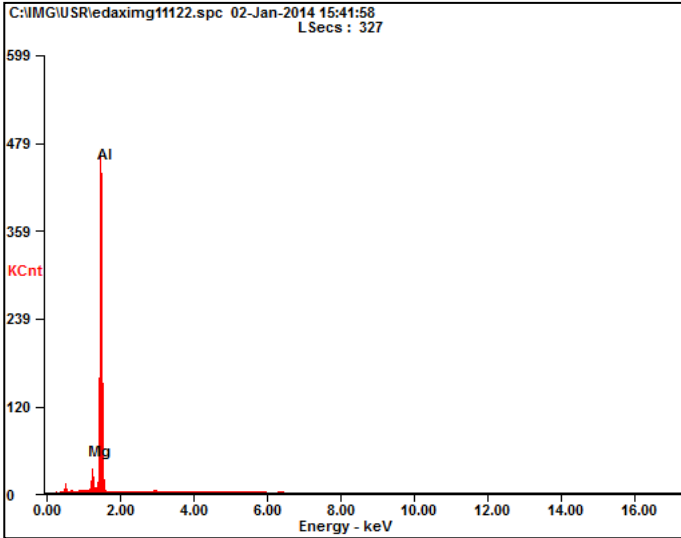


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Mild Steel*

Prepared by: *Your Name Here*

1/2/2014

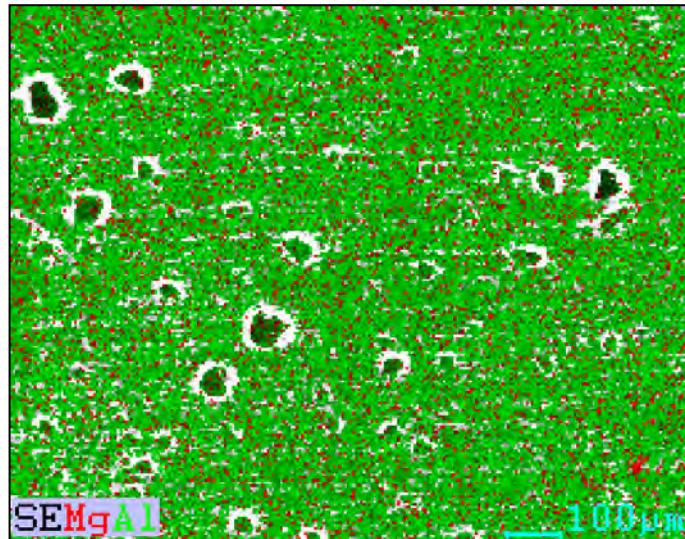
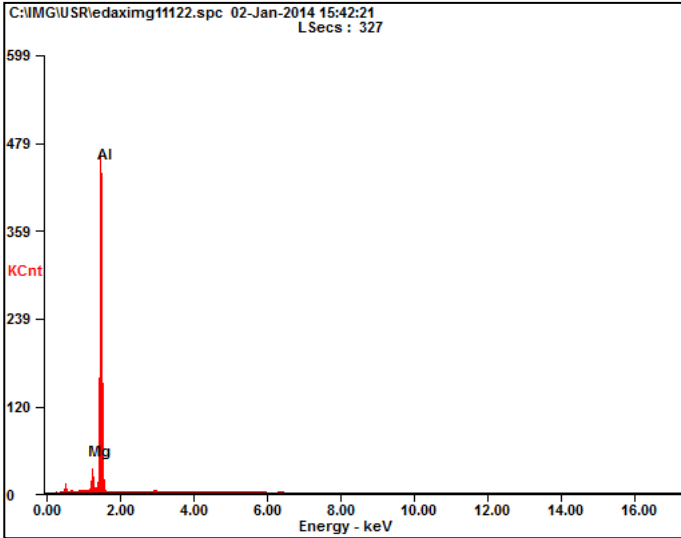


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Mild Steel*

Prepared by: *Your Name Here*

1/2/2014

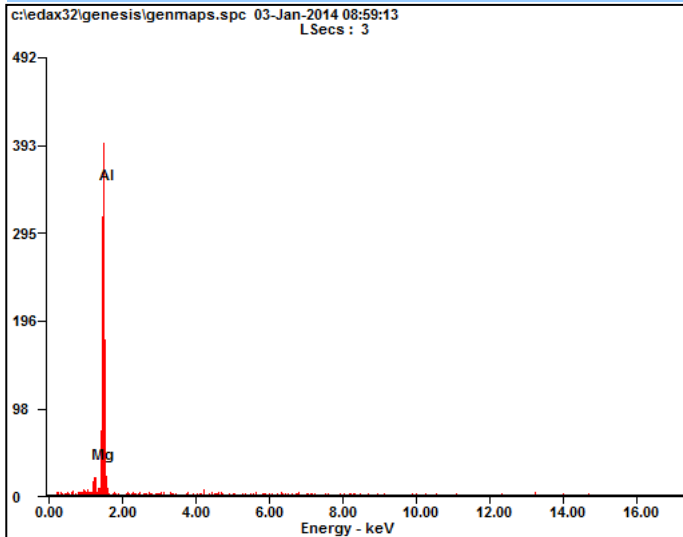


# Microanalysis Report

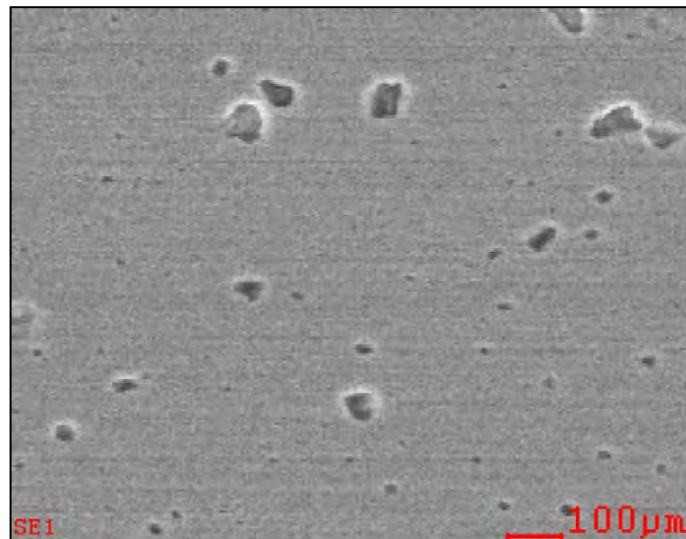
Prepared for: *Landasan Al5083*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 04.48      | 04.95      |
| <i>AlK</i>     | 95.52      | 95.05      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

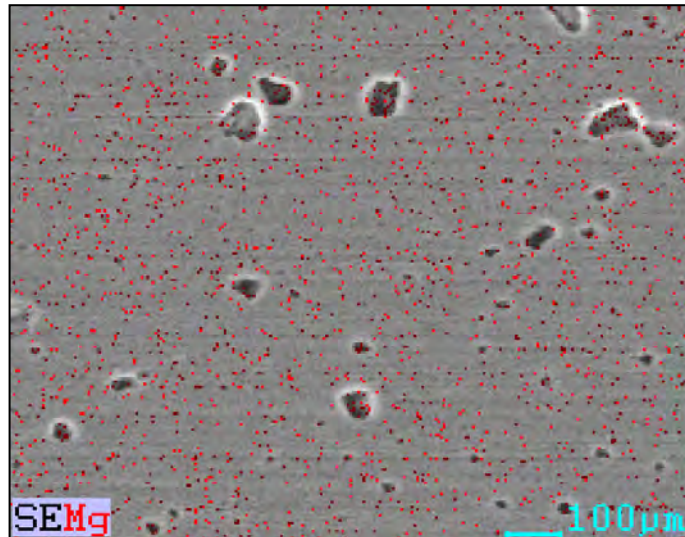
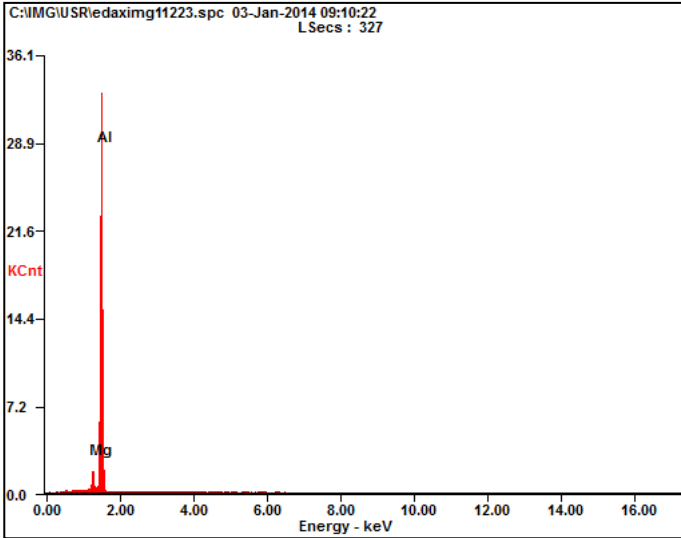


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Al5083*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*

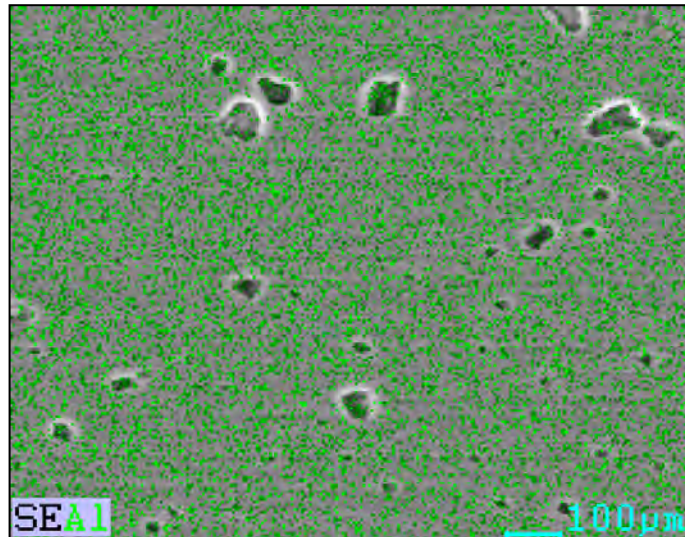
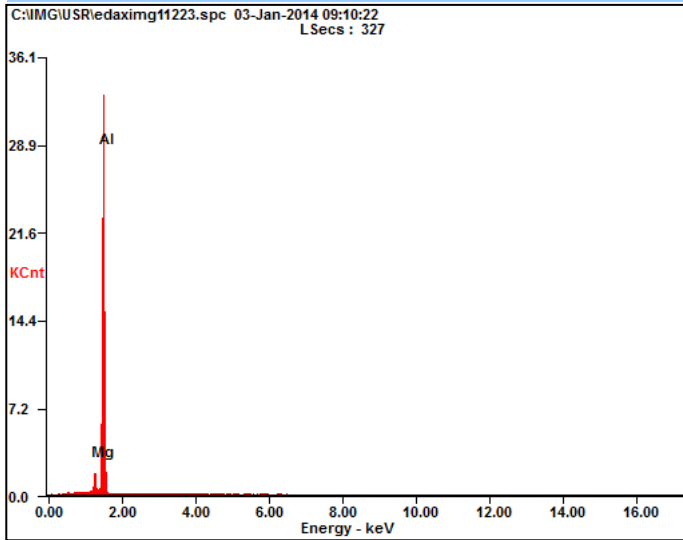


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Al5083*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*

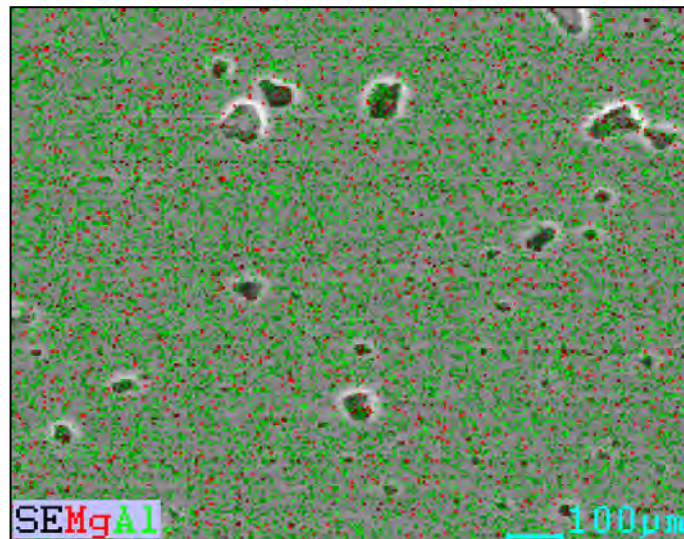
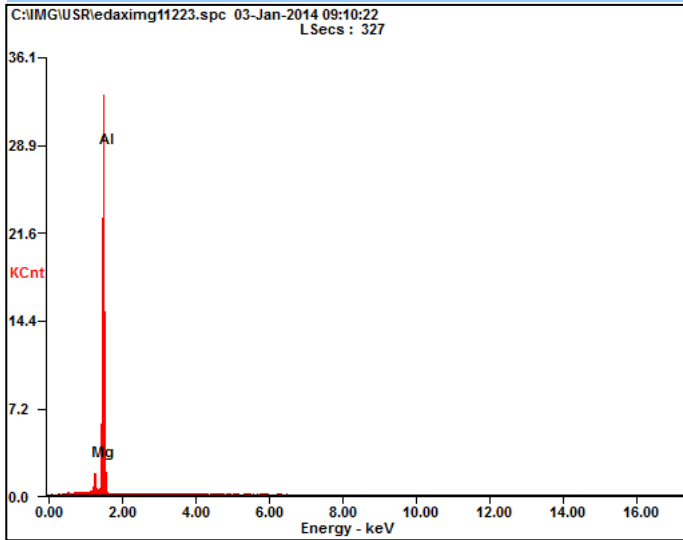


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Al5083*

Prepared by: *Your Name Here*

1/3/2014



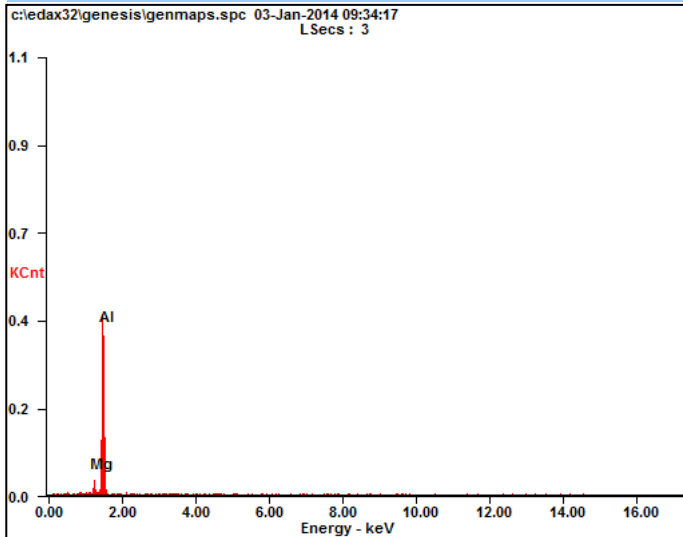


# Microanalysis Report

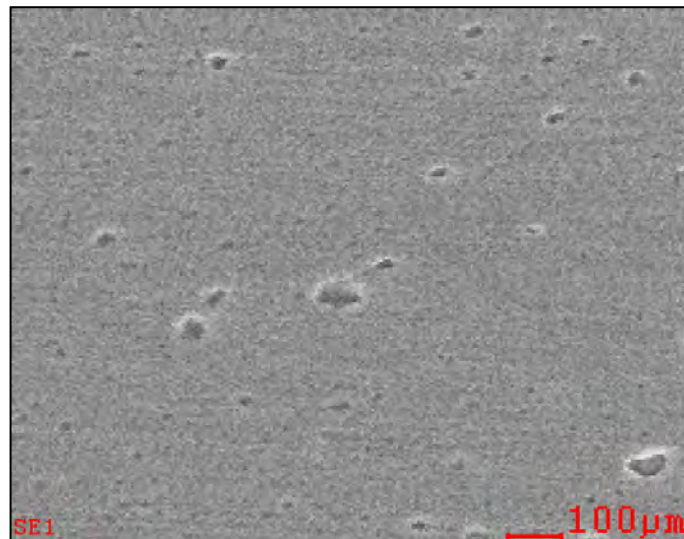
Prepared for: *Landasan Marmer*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 04.94      | 05.45      |
| <i>AlK</i>     | 95.06      | 94.55      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

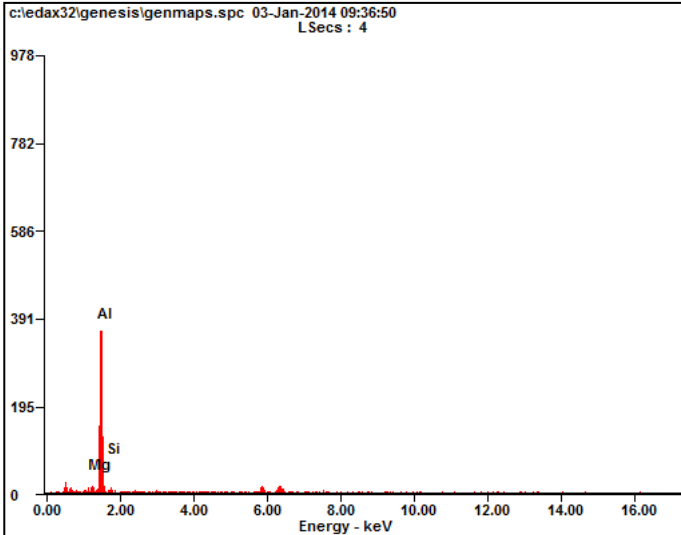


# Microanalysis Report

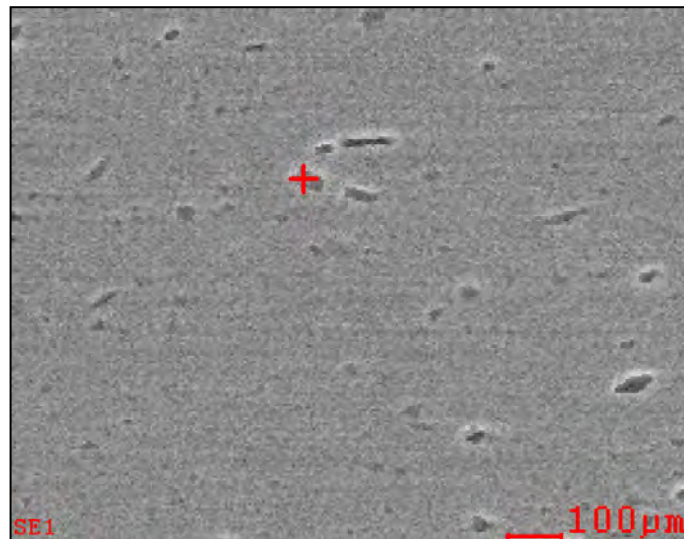
Prepared for: *Landasan Marmer*

Prepared by: *Your Name Here*

1/3/2014



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 02.75      | 03.05      |
| <i>AlK</i>     | 91.04      | 90.99      |
| <i>SiK</i>     | 06.21      | 05.96      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

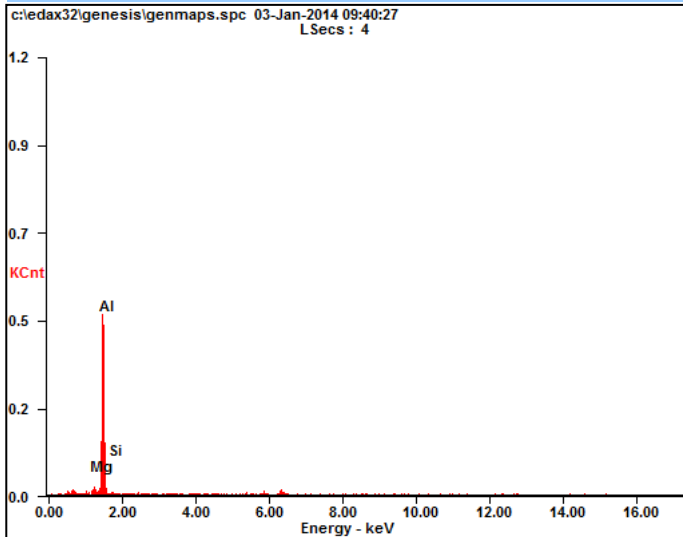


# Microanalysis Report

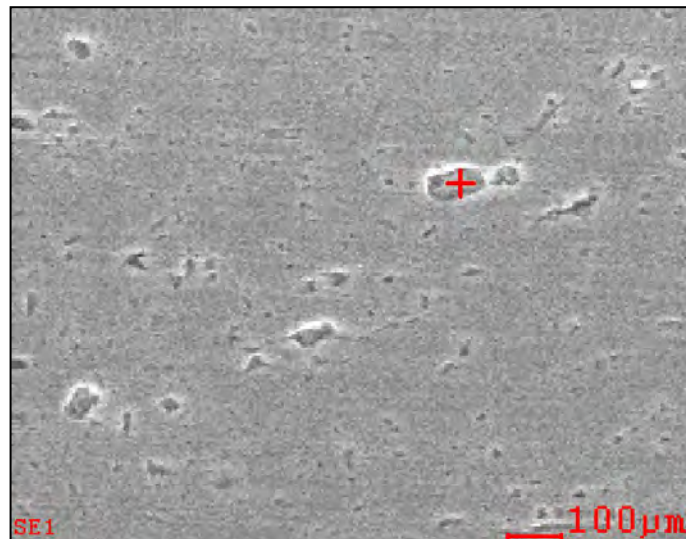
Prepared for: *Landasan Marmer*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 03.71      | 04.11      |
| <i>AlK</i>     | 91.05      | 90.86      |
| <i>SiK</i>     | 05.24      | 05.02      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

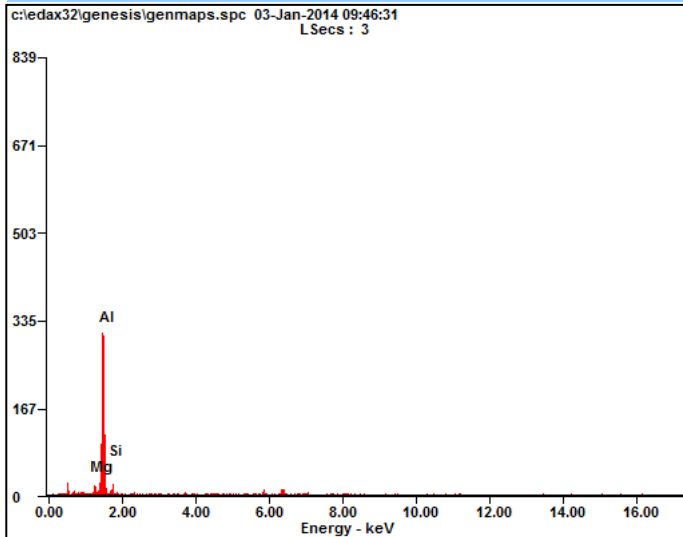


# Microanalysis Report

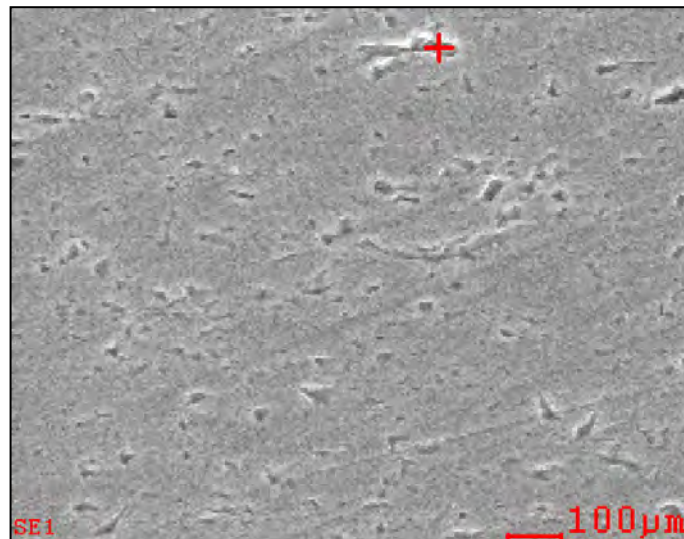
Prepared for: *Landasan Marmer*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 03.44      | 03.82      |
| <i>AlK</i>     | 84.46      | 84.54      |
| <i>SiK</i>     | 12.11      | 11.64      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |





**REPORT ON TEST RESULT NO. : ..... /PT.12.LK/KP/201**

DATE : 23 - 12 - 2013  
ORDER FROM : Syariful Hidayat  
ITEM / WELDER NAME :  
MATERIAL TEST : A-5003 Perbaikan Landasan mild steel  
STANDARD :  
PROJECT :

**1. TENSION TEST**

| NO | CODE MATERIAL | SPECIFICATION SAMPLE |       |      |                    | TENSILE TEST RESULTS |                   |          |
|----|---------------|----------------------|-------|------|--------------------|----------------------|-------------------|----------|
|    |               | WIDTH                | THICK | DIA. | CSA                | YIELD STRENGTH       | ULTIMATE STRENGTH | BREAKING |
|    |               | (mm)                 | (mm)  | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | MPa                  | MPa               |          |
| 01 | MSS 01        | 19,90                | 5,01  |      | 99,70              | 24,07                | 28,69             | WM       |
| 02 | MSS 02        | 20,44                | 4,99  |      | 100,50             | 23,08                | 27,86             | WM       |
| NO | F. YIELD      |                      |       |      | F. ULTIMATE        |                      |                   |          |
|    | KN            |                      | N     |      | KN                 |                      | N                 |          |
| 01 | 24,4          |                      | 24400 |      | 28,6               |                      | 28600             |          |
| 02 | 23,2          |                      | 23200 |      | 28                 |                      | 28000             |          |

**II. NICK BREAK TEST**

| NO | SAMPLE MARK | SPECIFICATION SAMPLE |        |                    | TEST RESULTS |             |        |
|----|-------------|----------------------|--------|--------------------|--------------|-------------|--------|
|    |             | WIDTH                | THICK. | C.S.A              | FORCE        | T. STRENGTH | REMARK |
|    |             | (mm)                 | (mm)   | (mm <sup>2</sup> ) | (KN)         | (Mpa)       |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |

**III. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 0 DIA. MANDREL : mm**

| NO | SAMPLE MARK | IDENTIFICATION | WIDTH | THICK. | TEST RESULTS     |            |
|----|-------------|----------------|-------|--------|------------------|------------|
|    |             |                | (mm)  | (mm)   | OPEN DEFECT (mm) | CRACK (mm) |
| 1  | MSS 01      |                | 24,20 | 6      |                  |            |
| 2  | MSS 02      |                | 24,90 | 6      | NONE             | NONE       |
| 3  | MSS 03      |                | 25,83 | 6      |                  |            |
| 4  | MSS 04      |                | 25,52 | 6      |                  |            |

Witnessed by :  
Material Strength and Ship Construction Laboratory  
FT. Kelautan ITS  
Tester  
*[Signature]*

REPORT ON TEST RESULT NO. : ..... /PT.12.LK/K/P/201

DATE : 23.12.2013  
ORDER FROM : Syariful Hidayat  
ITEM / WELDER NAME :  
MATERIAL TEST : AL.5083 Perbaikan landasan AL.5083  
STANDARD :  
PROJECT :

1. TENSION TEST

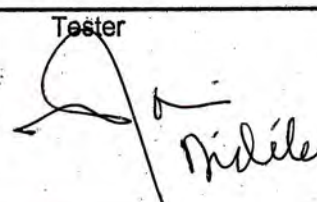
| NO | CODE MATERIAL | SPECIFICATION SAMPLE |       |      |                    | TENSILE TEST RESULTS |                   |          |
|----|---------------|----------------------|-------|------|--------------------|----------------------|-------------------|----------|
|    |               | WIDTH                | THICK | DIA. | CSA                | YIELD STRENGTH       | ULTIMATE STRENGTH | BREAKING |
|    |               | (mm)                 | (mm)  | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | MPa                  | MPa               |          |
| 1  | AL.01         | 20,38                | 4,81  |      | 88,03              | 23,87                | 26,01             | WM       |
| 2  | AL.02         | 20,16                | 4,78  |      | 86,36              | 24,18                | 26,96             | WM       |
| NO | F. YIELD      |                      |       |      | F. ULTIMATE        |                      |                   |          |
|    | KN            | N                    |       |      | KN                 | N                    |                   |          |
| 1  | 23,4          | 23400                |       |      | 25,5               | 25500                |                   |          |
| 2  | 23,3          | 23300                |       |      | 25,5               | 25500                |                   |          |

II. NICK BREACK TEST

| NO | SAMPLE MARK | SPECIFICATION SAMPLE |        |                    | TEST RESULTS |             |        |
|----|-------------|----------------------|--------|--------------------|--------------|-------------|--------|
|    |             | WIDTH                | THICK. | C.S.A              | FORCE        | T. STRENGTH | REMARK |
|    |             | (mm)                 | (mm)   | (mm <sup>2</sup> ) | (KN)         | (Mpa)       |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |

III. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 0° DIA. MANDREL : mm

| NO | SAMPLE MARK | IDENTIFICATION | WIDTH | THICK. | TEST RESULTS     |            |
|----|-------------|----------------|-------|--------|------------------|------------|
|    |             |                | (mm)  | (mm)   | OPEN DEFECT (mm) | CRACK (mm) |
| 1  | AL.01       |                | 24,91 | 6      |                  |            |
| 2  | AL.02       |                | 24,62 | 6      | NONE             | NONE       |
| 3  | AL.03       |                | 26,08 | 6      |                  |            |
| 4  | AL.04       |                | 25,56 | 6      |                  |            |

Witnessed by : \_\_\_\_\_  
Material Strength and Ship Construction Laboratory  
FT. Kelautan ITS  
Tester  


REPORT ON TEST RESULT NO. : ..... /PT.12.LK/KP/2013

DATE : 23-12-2013  
ORDER FROM : Syaiful Hidayat  
ITEM / WELDER NAME :  
MATERIAL TEST : AL. 5083 Perbaikan Landasan Marmor  
STANDARD :  
PROJECT :

1. TENSION TEST

| NO | CODE MATERIAL | SPECIFICATION SAMPLE |       |      |                    | TENSILE TEST RESULTS |                   |          |
|----|---------------|----------------------|-------|------|--------------------|----------------------|-------------------|----------|
|    |               | WIDTH                | THICK | DIA. | CSA                | YIELD STRENGTH       | ULTIMATE STRENGTH | BREAKING |
|    |               | (mm)                 | (mm)  | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | MPa                  | MPa               |          |
| 1  | LM 01         | 20,24                | 2,91  |      | 89,38              | 21,53                | 29,95             | WMA      |
| 2  | LM 02         | 19,95                | 2,59  |      | 91,57              | 13,32                | 15,29             | WMA      |
| NO |               | F. YIELD             |       |      |                    | F. ULTIMATE          |                   |          |
|    |               | KN                   | N     |      | KN                 |                      | N                 |          |
| 1  |               | 21,2                 | 21400 |      | 28,5               |                      | 23500             |          |
| 2  |               | 12,2                 | 12200 |      | 12                 |                      | 14000             |          |

II. NICK BREACK TEST

| NO | SAMPLE MARK | SPECIFICATION SAMPLE |        |                    | TEST RESULTS |             |        |
|----|-------------|----------------------|--------|--------------------|--------------|-------------|--------|
|    |             | WIDTH                | THICK. | C.S.A              | FORCE        | T. STRENGTH | REMARK |
|    |             | (mm)                 | (mm)   | (mm <sup>2</sup> ) | (KN)         | (Mpa)       |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |

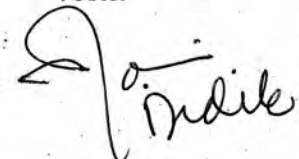
III. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 0 DIA. MANDREL : mm

| NO | SAMPLE MARK | IDENTIFICATION | WIDTH | THICK. | TEST RESULTS     |            |
|----|-------------|----------------|-------|--------|------------------|------------|
|    |             |                | (mm)  | (mm)   | OPEN DEFECT (mm) | CRACK (mm) |
| 1  | LM 01       | (Face Bend)    | 25,15 | 6      | -                | 25,15      |
| 2  | LM 02       | (Root Bend)    | 25,81 | 6      | -                | 10,42      |
| 3  | LM 03       | (Face Bend)    | 26,87 | 6      | -                | 26,87      |
| 4  | LM 04       | (Root Bend)    | 23,20 | 6      | -                | -          |

Witnessed by :

Material Strength and Ship Construction Laboratory  
FT. Kelautan ITS

Tester





# RADIOGRAPHY TEST REPORT

|                     |                           |                                |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Project Name : -    | Drawing No. : -           | Report No : 01-RT/RBT-SM/XI/13 |
| Customer : ITS      | Procedure No. : RBT-P-05  | Date : 16-11-2013              |
| Location : SURABAYA | Applicable Code : ASME IX | NCR Ref No : -                 |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>PART</b><br>Name : WPS<br>ID/OD : - Inch<br>Mat'l Type : AL 5083<br>Mat'l.Thk. : 6 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Weld Thk. : - In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Reinforc. Thk. : - In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Backing Ring : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RADIATION SOURCE</b><br>Isotope : Ir-192 <input checked="" type="checkbox"/> Co-60 <input type="checkbox"/><br>Activity : 11 Ci<br>Size : 3 X 3 mm<br><br><b>TECHNIQUE</b><br>Exposure : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br>Viewing : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br>Exposure Time : 5 menit<br>Min. SOD* : 15 inchi Min. DSSOF** : 16inchi<br>No.of Film in Holder : Single <input checked="" type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> | <b>EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH</b><br><input type="checkbox"/> Panoramic / SWSV <input checked="" type="checkbox"/> SWSV<br><br><input type="checkbox"/> DWSV <input checked="" type="checkbox"/> DWSV<br><input type="checkbox"/> DWSV <input checked="" type="checkbox"/> DWDV<br><input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> Other |
| <b>FILM</b><br>Manufacture's : AGFA<br><br>Type of Film : D4<br>Dimension : 4 X 10 Inch   | <b>IMAGE QUALITY INDICATOR ( IQI )</b><br>Wire <input checked="" type="checkbox"/> No. : ASTM IB 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/><br>Hole <input type="checkbox"/> No. : ..... 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/><br>Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/><br>Block Thickness : ..... Mm                      | <b>Notes for Sketch :</b><br>1).SWSV = Single Wall Single Viewing<br>2).DWSV = Double Wall Single Viewing<br>3).DWDV = Double Wall Double Viewing<br>4).Other = Other than listed ( Please Sketch )  |
| <b>SCREEN</b><br>Lead : Front <input checked="" type="checkbox"/> Back <input checked="" type="checkbox"/><br>Thickness : 0.125 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/>  | <b>DENSITY</b><br>MIN : 2<br>MAX : 4  | <b>SENSITIVITY</b><br>2%   |

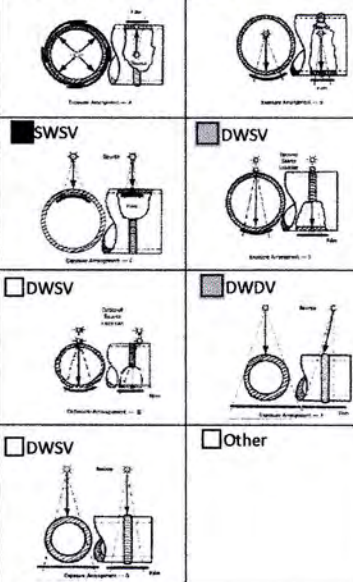
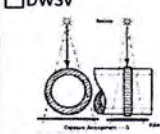
| Date of RT             | Welder Stamp | Identification |          | Result |     | Discontinuities Type |    |    |     |   |      | Remark & Comment |
|------------------------|--------------|----------------|----------|--------|-----|----------------------|----|----|-----|---|------|------------------|
|                        |              | Joint No       | Location | ACC    | REP | IF                   | IP | RC | RUC | P | Incl |                  |
| <b>FSW LANDASAN ML</b> |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
| 16/11/13               | -            | SYAIFUL HAQQI  | A-B      | Acc    | -   |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                | B-C      | Acc    | -   |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |

|                                 |                            |                                      |                               |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Radiographed by : <u>BILLAM</u> | Examined by : _____        | Reviewed by : _____                  | Reviewed by : _____           |
| <br>Date : <u>16/11/13</u>      | Date : _____<br>Client Rep | Date : _____<br>Authorised Inspector | Date : _____<br>Customer Rep. |

Note : \*) SOD = Source to Object Distance, \*\*) DSSOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance  
 IF = Incomplete Fusion, IP = Incomplete Penetration, RC = Root Concavity, RUC = Root Undercut, P = Porosity, Incl = Inclusion, Crk = Crack

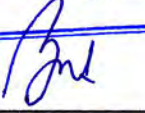



# RADIOGRAPHY TEST REPORT

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>Project Name</b> : -<br><b>Customer</b> : ITS<br><b>Location</b> : SURABAYA   | <b>Drawing No.</b> :-<br><b>Procedure No.</b> : RBT-P-05<br><b>Applicable Code</b> : ASME IX  | <b>Report No</b> : 01-RT/RBT-SM/XI/13<br><b>Date</b> : 16-11-2013<br><b>NCR Ref No</b> : -   |
| <b>PART</b><br><b>Name</b> : WPS<br><b>ID/OD</b> : - Inch<br><b>Mat'l Type</b> : AL 5083<br><b>Mat'l.Thk.</b> : 6 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br><b>Weld Thk.</b> : - In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br><b>Reinforc. Thk.</b> : - In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br><b>Backing Ring</b> : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RADIATION SOURCE</b><br><b>Isotope</b> : Ir-192 <input checked="" type="checkbox"/> Co-60 <input type="checkbox"/><br><b>Activity</b> : 11 Ci<br><b>Size</b> : 3 X 3 mm<br><b>TECHNIQUE</b><br><b>Exposure</b> : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br><b>Viewing</b> : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br><b>Exposure Time</b> : 5 menit<br><b>Min. SOD*</b> : 15 inchi <b>Min. DSSOF**:</b> 16inchi<br><b>No.of Film in Holder</b> : Single <input checked="" type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> | <b>EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH</b><br><input type="checkbox"/> Panoramic / SWSV <input checked="" type="checkbox"/> SWSV<br> |
| <b>FILM</b><br><b>Manufacture's</b> : AGFA<br><br><b>Type of Film</b> : D4<br><b>Dimension</b> : 4 X 10 Inch   | <b>IMAGE QUALITY INDICATOR ( IQI )</b><br><b>Wire</b> <input checked="" type="checkbox"/> No. : ASTM IB 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/><br><b>Hole</b> <input type="checkbox"/> No. : ..... 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/><br><b>Placement</b> : Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/><br><b>Block Thickness</b> : ..... Mm  | <input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> Other<br>   |
| <b>SCREEN</b><br><b>Lead</b> : Front <input checked="" type="checkbox"/> Back <input checked="" type="checkbox"/><br><b>Thickness</b> : 0.125 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/>   | <b>DENSITY</b><br><b>MIN</b> : 2<br><b>MAX</b> : 4  | <b>SENSITIVITY</b><br>2%   |

- Notes for Sketch :**
- 1).SWSV = Single Wall Single Viewing
  - 2).DWSV = Double Wall Single Viewing
  - 3).DWDV = Double Wall Double Viewing
  - 4).Other = Other than listed ( Please Sketch )

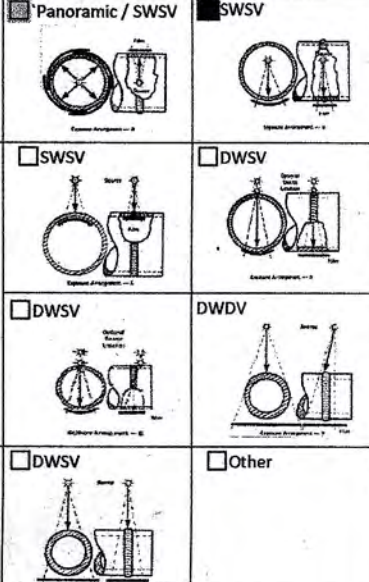
| Date of RT             | Welder Stamp | Identification |          | Result |     | Discontinuities Type |    |    |     |   |      | Remark & Comment |
|------------------------|--------------|----------------|----------|--------|-----|----------------------|----|----|-----|---|------|------------------|
|                        |              | Joint No       | Location | ACC    | REP | IF                   | IP | RC | RUC | P | Incl |                  |
| <b>FSW LANDASAN AL</b> |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
| 16/11/13               | -            | SYAIFUL HAQQI  | A-B      | Acc    | -   |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                | B-C      | Acc    | -   |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| <b>Radiographed by :</b> <u>BILLAH</u><br><br><br><b>Date :</b> 16-11-13 | <b>Examined by :</b> _____<br><br><b>Date :</b> _____ | <b>Reviewed by :</b> _____<br><br><b>Date :</b> _____ | <b>Reviewed by :</b> _____<br><br><b>Date :</b> _____ |
| Client Rep  | Authorised Inspector                                  | Customer Rep.   |   |

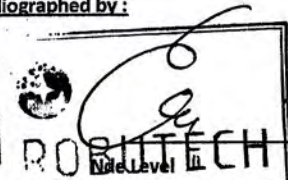
**Note :** \*) SOD = Source to Object Distance, \*\*) DSSOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance  
 IF = Incomplete Fusion, IP = Incomplete Penetration, RC = Root Concavity, RUC = Root Undercut, P = Porosity, Incl = Inclusion, Crk = Crack

# RADIOGRAPHY TEST REPORT

|                      |                           |                                 |
|----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Project Name : _____ | Drawing No. : -           | Report No : 01/RT/RBT-TA/XII/13 |
| Customer : _____     | Procedure No. : RBT-P-05. | Date : 07-10-2013               |
| Location : SURABAYA  | Applicable Code : ASME IX | NCR Ref No : -                  |

| <b>PART</b><br>Name : PLATE<br>ID/OD : - Inch<br>Mat'l Type : ALUMINIUM<br>Mat'l.Thk. : 4 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Weld Thk. : 3 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Reinfrc. Thk. : - In <input type="checkbox"/> mm <input type="checkbox"/><br>Backing Ring : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RADIATION SOURCE</b><br>Isotope : Ir-192 <input checked="" type="checkbox"/> Co-60 <input type="checkbox"/><br>Activity : 21 Ci<br>Size : 3 X 3 mm<br><br><b>TECHNIQUE</b><br>Exposure : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br>Viewing : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br>Exposure Time : 5 menit<br>Min. SOD* : 15 inch Min. DSSOF** : 15 inch<br>No. of Film in Holder : Single <input checked="" type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> | <b>EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH</b><br><input checked="" type="checkbox"/> Panoramic / SWSV <input checked="" type="checkbox"/> SWSV<br> |             |         |    |         |  |
|---|---|--|-------------|---------|----|---------|--|
| <b>FILM</b><br>Manufacture's : AGFA<br>Type of Film : D4<br>Dimension : 4 X 15 Inch   | <b>IMAGE QUALITY INDICATOR ( IQI )</b><br>Wire <input checked="" type="checkbox"/> No. : ASTM IB 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/><br>Hole <input type="checkbox"/> No. : ..... 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/><br>Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/><br>Block Thickness : ..... Mm                                 | <b>Notes for Sketch :</b><br>1).SWSV = Single Wall Single Viewing<br>2).DWSV = Double Wall Single Viewing<br>3).DWDV = Double Wall Double Viewing<br>4).Other = Other than listed ( Please Sketch )                      |             |         |    |         |  |
| <b>SCREEN</b><br>Lead : Front <input checked="" type="checkbox"/> Back <input type="checkbox"/><br>Thickness : 0.125 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/>   | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">DENSITY</th> <th style="width: 50%;">SENSITIVITY</th> </tr> <tr> <td>MIN : 2</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">2%</td> </tr> <tr> <td>MAX : 4</td> </tr> </table>  | DENSITY  | SENSITIVITY | MIN : 2 | 2% | MAX : 4 |  |
| DENSITY   | SENSITIVITY   |  |             |         |    |         |  |
| MIN : 2   | 2%  |  |             |         |    |         |  |
| MAX : 4   |   |  |             |         |    |         |  |

| Date of RT          | Welder Stamp | Identification |          | Result |     | Discontinuities Type |    |    |     |   |      | Remark & Comment |
|---------------------|--------------|----------------|----------|--------|-----|----------------------|----|----|-----|---|------|------------------|
|                     |              | Joint No       | Location | ACC    | REJ | IF                   | IP | RC | RUC | P | Incl |                  |
| # TA - SAIPUL . H # |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
| -                   | -            | PU             | A - B    | -      | √   |                      | √  |    |     |   |      |                  |
|                     |              | PWC            | A - B    | -      | √   |                      | √  |    |     |   |      |                  |
|                     |              | LM             | A - B    | -      | √   |                      | √  |    |     |   |      |                  |
|                     |              | COS            | A - B    | -      | √   |                      | √  |    |     |   |      |                  |

|   |                                   |                                   |                                   |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Radiographed by :<br><br>Date : 10-12-2013 | Examined by :<br><br>Date : _____ | Reviewed by :<br><br>Date : _____ | Reviewed by :<br><br>Date : _____ |
| Client Rep  | Authorised Inspector              | Customer Rep                      |                                   |

Note : \*) SOD = Source to Object Distance, \*\*) DSSOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance  
 IF = Incomplete Fusion, IP = Incomplete Penetration, RC = Root Concavity, RUC = Root Undercut, P = Porosity, Incl = Inclusion, Crk = Crack

**INSPECTION CERTIFICATE**

Cert-No: 327A  
DATE: 3/4/2003

CUSTOMER : EMPIRE RESOURCES(AUSTRALIA)

CUSTOMER'S ORDER : ER-2781-P/R108717

DNV CERTIFICATE No. AMM-1411

DESTINATION : FREMANTLE

ELVAL ORDER : E9969

INVOICE NR : 32384

ALLOY : 5083 H116

WEIGHT : 18261 KGS

MARKING : ELVAL, NV11003065,5083 H116/H321,  
COIL NR,HEAT NR,THICKNESS,ASTM B209.

QUALITY ACCORDING TO DNV RULES AND AA STANDARDS.

| CASE NR        | HEAT NR | COIL NR   | PROCESS    | SHEETS | DIMENSIONS (mm)            | MECHANICAL PROPERTIES |                       |            |
|----------------|---------|-----------|------------|--------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
|                |         |           |            |        |                            | R N/mm <sup>2</sup>   | R02 N/mm <sup>2</sup> | A %        |
| 81             | 30270   | 030104401 | HOT ROLLED | 32     | 5.0000 x 2200.00 x 9000.00 | 350.8                 | 240.6                 | 13.0       |
| 82             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| 83             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| 84             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| 50             | 30166   | 030046101 | HOT ROLLED | 12     | 6.0000 x 2200.00 x 9000.00 | 358.6                 | 253.4                 | 13.9       |
| 51             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| 42             | 30262   | 030105302 | HOT ROLLED | 12     | 6.0000 x 2200.00 x 9000.00 | 329.5                 | 246.1                 | 15.8       |
| 52             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| SPECIFICATIONS |         |           |            |        |                            | Min.                  |                       |            |
|                |         |           |            |        |                            | Max.                  | 305.0                 | 215.0 12.0 |

CHEMICAL ANALYSIS

| HEAT NR | Si   | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Cr   | Zn   | Ti   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 30166   | 0.11 | 0.33 | 0.05 | 0.51 | 4.77 | 0.18 | 0.02 | 0.01 |
| 30262   | 0.13 | 0.24 | 0.09 | 0.73 | 4.74 | 0.15 | 0.02 | 0.01 |
| 30270   | 0.12 | 0.24 | 0.06 | 0.74 | 4.75 | 0.14 | 0.01 | 0.01 |

SPECIFICATIONS

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Min. |      |      |      | 0.40 | 4.00 | 0.05 |      |      |
| Max. | 0.40 | 0.40 | 0.10 | 1.00 | 4.90 | 0.25 | 0.25 | 0.15 |

Others Each :0.05%max

Others Total :0.15%max

We hereby certify that the material has been made by an approved process and has been satisfactorily tested in accordance with DNV Rules for Classification.

ELVAL S.A. QUALITY DEPARTMENT

P/P G. KALKANTZIS

TEST RESULTS

MECHANICAL PROPERTIES

TENSILE PROPERTIES

CHARPY V-NOTCH IMPACT PROPERTIES

| Cast No | Test No | Yield point<br>R <sub>m</sub> or R <sub>p0.2</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Tensile strength<br>R <sub>m</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Elongation<br>A <sub>5</sub><br>% | Reduction of area<br>Z<br>% | Orientation<br>L or T | Test temp<br>°C | Width of test piece<br>mm | Energy, J. min. |   |   |     |  |
|---------|---------|---|---|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---|---|-----|--|
|         |         |   |   |                                   |                             |                       |                 |                           | 1               | 2 | 3 | Ave |  |
| 30270   | 1       | 238.04  | 349.45  | 13.5                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30270   | 2       | 243.59  | 351.53  | 12.9                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30270   | 3       | 245.60  | 351.76  | 12.4                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30270   | 4       | 235.30  | 350.01  | 13.3                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30270   | 5       | 240.82  | 351.30  | 12.9                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 6       | 266.87  | 365.83  | 13.3                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 7       | 247.42  | 354.19  | 12.9                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 8       | 247.15  | 357.59  | 14.7                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 9       | 252.27  | 357.15  | 14.5                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 10      | 250.19  | 359.00  | 12.8                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 11      | 256.57  | 358.28  | 15.8                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30262   | 12      | 246.92  | 331.98  | 15.2                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30262   | 13      | 251.44  | 331.26  | 13.1                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30262   | 14      | 241.65  | 326.81  | 16.9                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |
| 30262   | 15      | 244.34  | 328.11  | 17.1                              |                             |                       |                 |                           |                 |   |   |     |  |

Remarks

Test Nos 1-5 : Coil No 030104401/ Case Nos: 51-54

Test Nos 6-11 : Coil No 030046101/ Case Nos: 50-51

Test Nos 12-15 : Coil No 030105302/ Case Nos: 42 & 52

CHEMICAL COMPOSITION

| Cast No. | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Cr % | Zn % | Ti % | Al % |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 30270    | 0.12 | 0.24 | 0.08 | 0.74 | 4.75 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | Rest |
| 30166    | 0.11 | 0.33 | 0.06 | 0.51 | 4.77 | 0.18 | 0.02 | 0.01 | Rest |
| 30262    | 0.13 | 0.24 | 0.09 | 0.73 | 4.74 | 0.15 | 0.02 | 0.01 | Rest |

Remarks

Exfoliation Corrosion Test acc. to ASTM G68: Pitting degree C

Process

HOT ROLLED

Heat treatment (state temperatures, °C)

Non-destructive testing

ADDITIONAL INSPECTION

Type and extent of inspection



# DET NORSKE VERITAS

## INSPECTION CERTIFICATE OF MATERIALS

- DNV certificate according to Classification Rules  
 3.1 C according to ISO 10474/EN 10204

|  |   |
|--|---|
| <b>Product</b><br>32 pcs aluminium plates 5 X 2200 X 9000 mm<br>24 pcs aluminium plates 6 X 2200 X 9000 mm | <b>Total mass</b><br>18281 kgs                    |
| <b>Manufacturer</b><br>ELVAL S.A. INOFITA / GREECE   | <b>Manufacturer's order No.</b><br>9959           |
| <b>Purchaser</b><br>EMPIRE RESOURCES - AUSTRALIA   | <b>Purchaser's order No.</b><br>ER-2781-P/R108717 |
| <b>Destination/Supplementary information</b><br>FREMANTLE  |   |

### MATERIAL SPECIFICATION

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| <b>Material standard and grade</b><br>DNV - Rules for Ships Pt.2, Sec. 9<br>NV 5083 H321 | <b>Any additional requirements</b> |
|--|------------------------------------|

### SPECIFIED MECHANICAL PROPERTIES

| Specimen type/<br>dimensions | Yield point<br>R <sub>eH</sub> or R <sub>eL</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Tensile<br>strength<br>R <sub>m</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Elongation<br>A <sub>5</sub><br>% | Reduction<br>of area<br>Z<br>% | CHARPY V-NOTCH IMPACT PROPERTIES |                    |                              |  |
|------------------------------|--|--|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------------|--|
|                              |  |  |                                   |                                | Orientation<br>L or T            | Test<br>temp<br>°C | Width of<br>test piece<br>mm | Energy, J, min.<br><br>Single      Average |
| Flat                         | min.215  | 305-380  | min.12                            |                                |                                  |                    |                              |  |

Remarks

### SPECIFIED CHEMICAL COMPOSITION

| Element                     | Si %        | Fe %        | Cu %        | Mn %          | Mg %        | Cr %          | Zn %        | Ti %        | Al % |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|-------------|------|
| Specific<br>value(s)<br>[%] | max<br>0.40 | max<br>0.40 | max<br>0.10 | 0.40-<br>1.05 | 4.0-<br>4.9 | 0.05-<br>0.25 | max<br>0.25 | max<br>0.15 | Rest |

Remarks

|  |  |
|--|--|
| <b>Marking</b><br>ELVAL, NV11003065,<br>5083 H11B/H321, COILNR,<br>HEAT NR, THICKNESS,<br>ASTM B209<br><br>The stamping is placed:<br><b>INKJET MARKING ON<br/>         ONE SIDE</b> | The material has been tested and inspected in the <b>finished</b> condition<br>and are found to be in accordance with the above specification. (For test result, see overleaf)<br><br>If applicable state drawing number and approval date<br><br><div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">           Piraeus, Greece<br/>Place         </div> <div style="width: 30%;">           2003-04-04<br/>Date         </div> <div style="width: 30%; text-align: right;"> <br/> <b>ANDREAS PAGALOS</b><br/>Inspector         </div> </div> |
|--|--|

\* Any person who has lost or damaged which is proved to have been caused by any negligence act or omission of Det Norske Veritas, then Det Norske Veritas shall pay compensation in full person to the insured direct loss of damage. However, the compensation shall not exceed an amount equal to ten times the fee charged for the service in question. Provided that the maximum compensation shall never exceed USD 2 million. In this provision Det Norske Veritas shall mean the Det Norske Veritas as well as all its subsidiaries, divisions, offices, employees, agents and any other acting on behalf of Det Norske Veritas.

## LAMPIRAN I

**Peralatan untuk persiapan material, peralatan proses pengelasan, peralatan untuk pembentukan specimen uji dan Peralatan untuk pemeriksaan metalografi (makro dan mikro)**

Peralatan untuk persiapan material

1. Gerinda

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| Merek              | : BOSCH                        |
| Jenis batu gerinda | : 100 mm                       |
| Daya               | : 670 W                        |
| Power supply       | : 220 V- 230V, 50 – 60 Hz, 3 A |
| RPM kerja          | : 11000 Rev/min                |



Gambar 1. Gerinda

2. Kikir

Jenis : Kikir bulat, kikir segitiga, kikir pipih, kikir setengah lingkaran



Gambar 2. Kikir

Peralatan untuk proses pengelasan

1. Mesin fraiss / *milling machine*

Merek : PaoFong Industry.Co.,Ltd.  
Type : PF-5S  
Power supply : 380 V, 2A  
Daya : 3 KW  
Max Rpm : 3600 rpm



Gambar 3. Mesin Fraiss

2. Clamp

3. Backing plate

4. Alat pengukur suhu

Merek : Krisbow KW06-304  
Temperatur Range : (-50) - 750°C



Gambar 4. Pengukur Temperatur

5. Penggaris  
Merek : Joyko



Gambar 5. Penggaris

6. Marker  
Merek : Snowman Boardmarker

Peralatan untuk pembentukan specimen uji

1. Mesin gerinda

- Merek : BOSCH  
Jenis batu gerinda : 100 mm  
Daya : 670 W  
Power supply : 220 V- 230V, 50 – 60 Hz, 3 A  
RPM kerja : 11000 Rev/min

2. Ragum

- Merek : Swordfish  
Jangkauan : 125 mm & 150 mm



Gambar 7. Ragum



#### 4. Mesin poles

Merek : Buehler Ecomet III Polisher & Grinder

Daya : 1 PH

Power supply : 220 V, 50 – 60 Hz, 3A

Pendingin : air



Gambar 8. Mesin poles

#### 5. Kertas gosok CW80 – CW2000

#### 6. Kikir

Jenis : kikir pipih dan kikir setengah lingkaran

#### 7. Jangka sorong

Merek : Tricle brand, Mitutoyo

Ketelitian : 0.1 mm

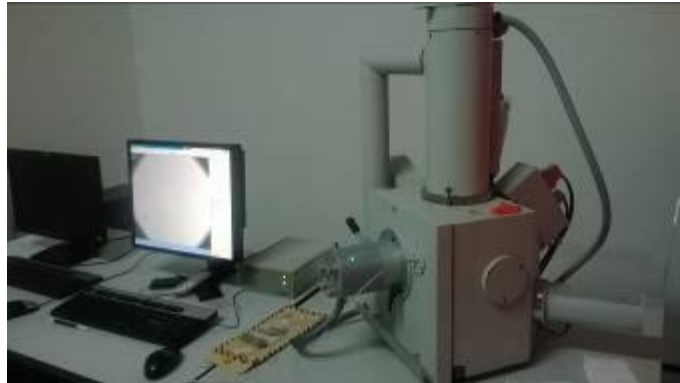


Gambar 9. Jangka Sorong

Peralatan untuk pemeriksaan metalografi (makro dan mikro)

1. Scanning Electron Microscope

Merek : Olympus  
Type : BX 60 MF5  
Ampere : 2,8 / 1,8 A  
Made in : Japan



Gambar 10. SEM EDAX

2. Kamera foto makro

Merek : Canon 550D  
Pixel : 10 MP



Gambar 11. Kamera untuk foto makro

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LAMPIRAN II**

**Hasil Pengujian foto SEM dan EDAX**

## **LAMPIRAN III**

**Laporan hasil Pengujian Tarik (Tensile Test), Radiografi Test, Apendix 7**

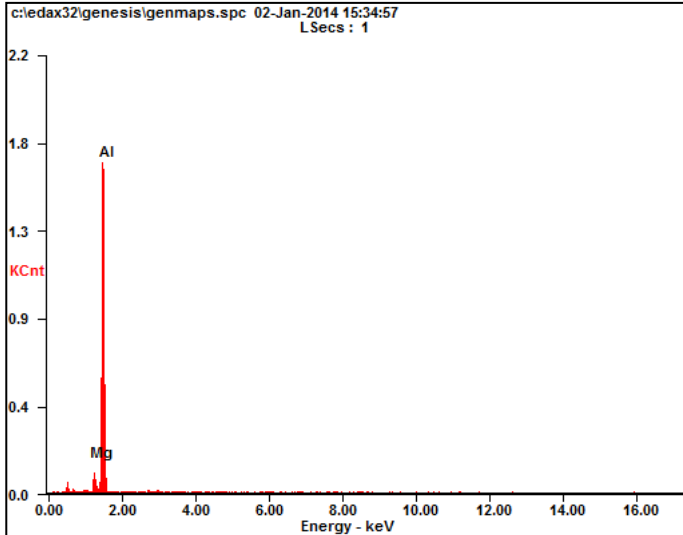
**LAMPIRAN IV**  
**Sertifikat Material Aluminium 5083**

# Microanalysis Report

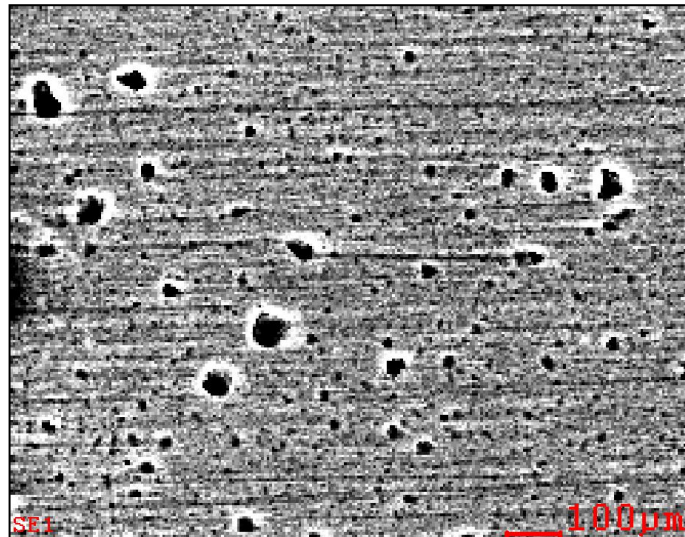
Prepared for: *Landasan Mild Steel*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/2/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 04.45      | 04.92      |
| <i>AlK</i>     | 95.55      | 95.08      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

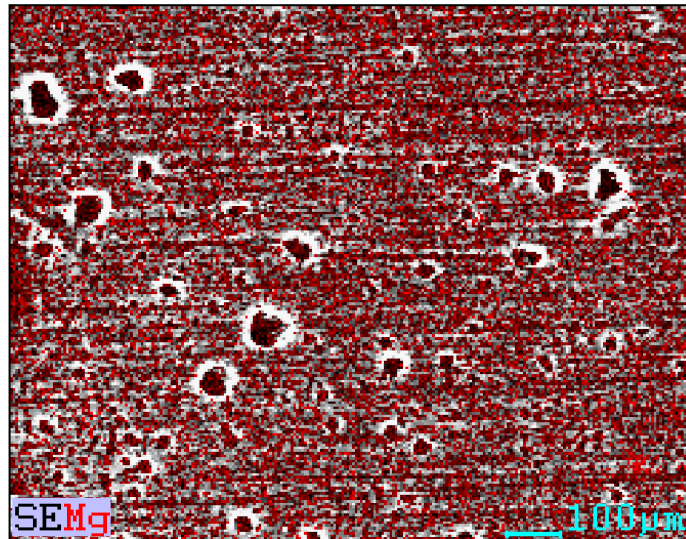
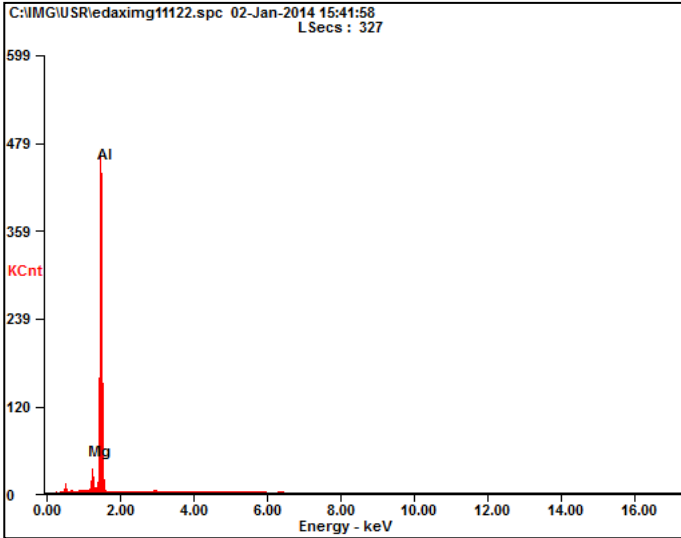


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Mild Steel*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/2/2014*



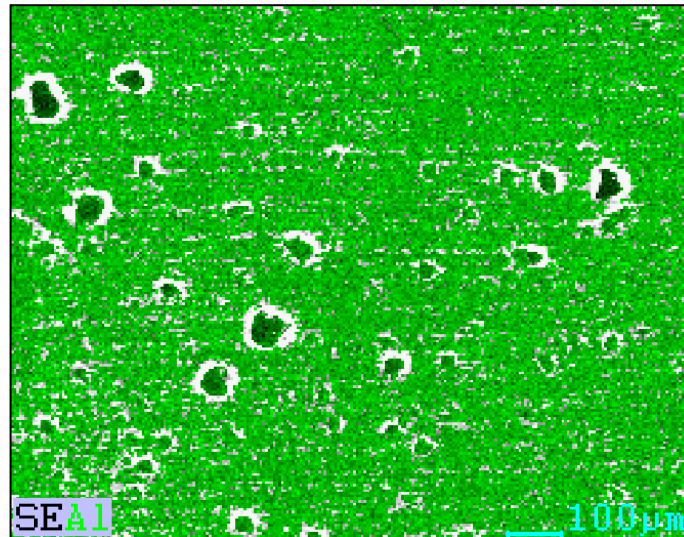
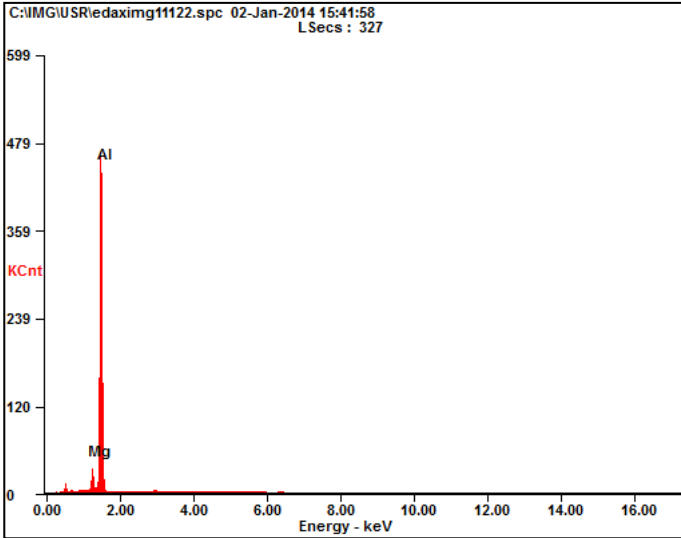


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Mild Steel*

Prepared by: *Your Name Here*

1/2/2014

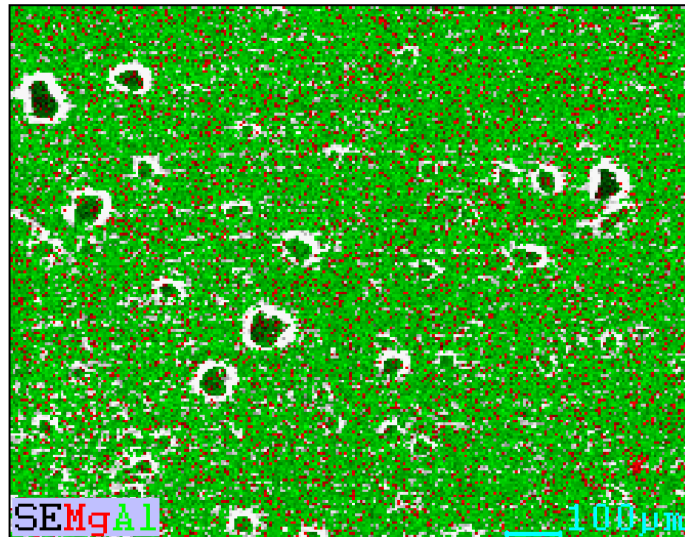
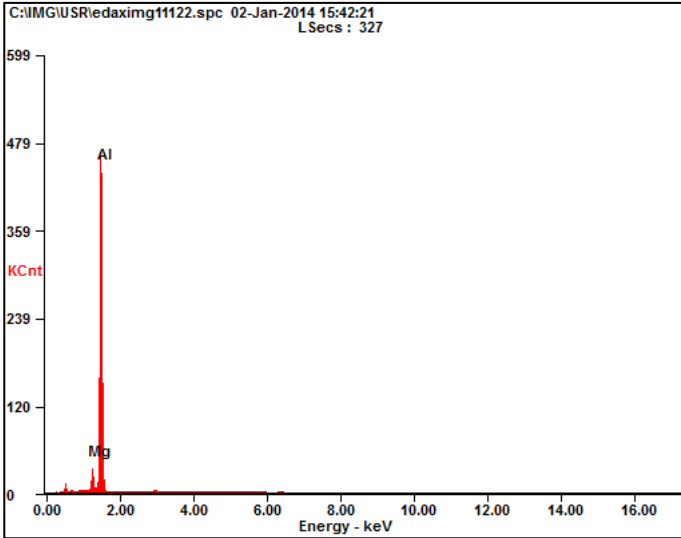


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Mild Steel*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/2/2014*

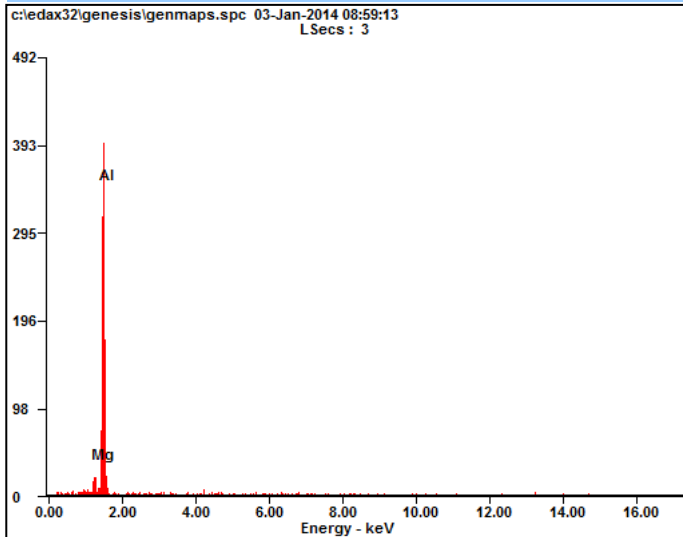


# Microanalysis Report

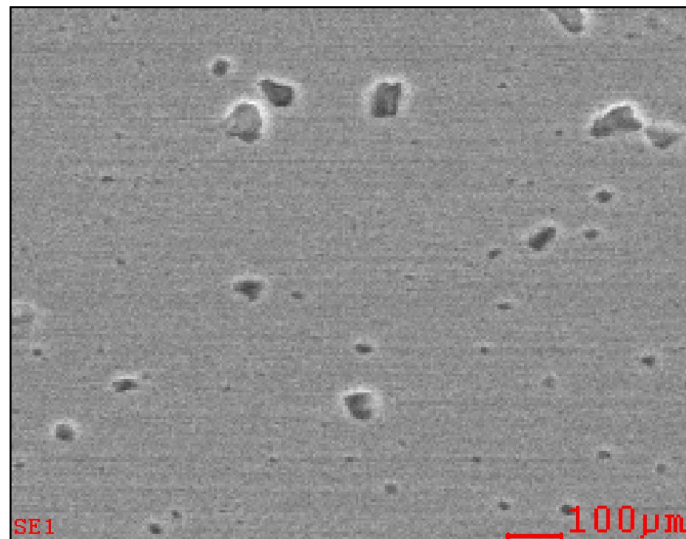
Prepared for: *Landasan Al5083*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 04.48      | 04.95      |
| <i>AlK</i>     | 95.52      | 95.05      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

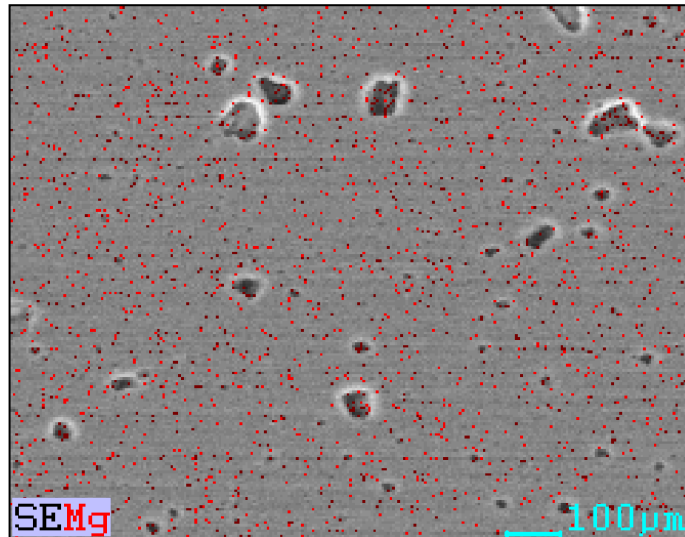
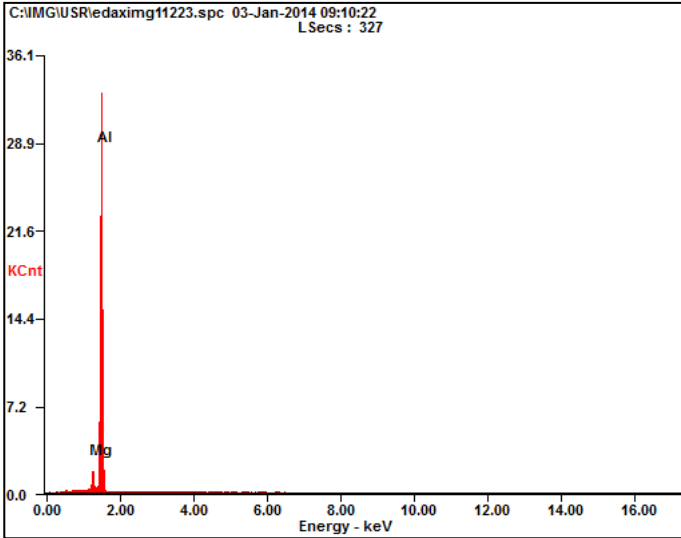


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Al5083*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*

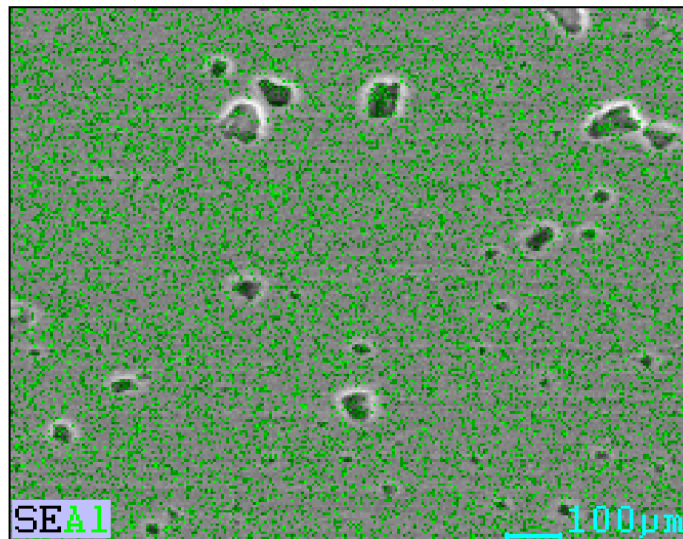
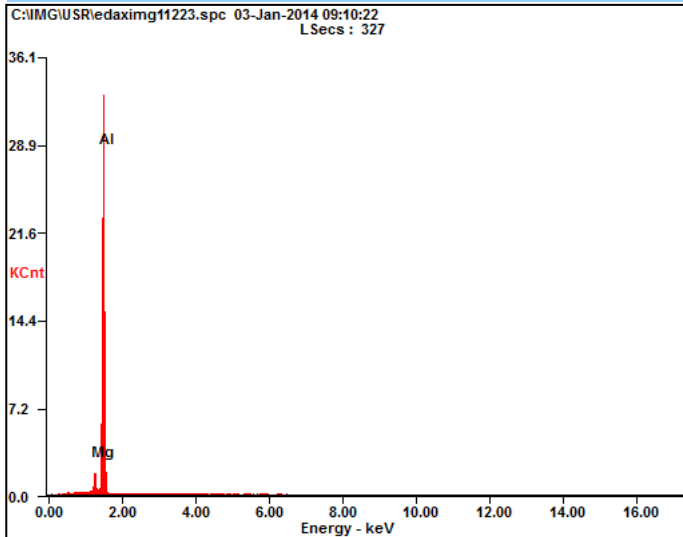


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Al5083*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*

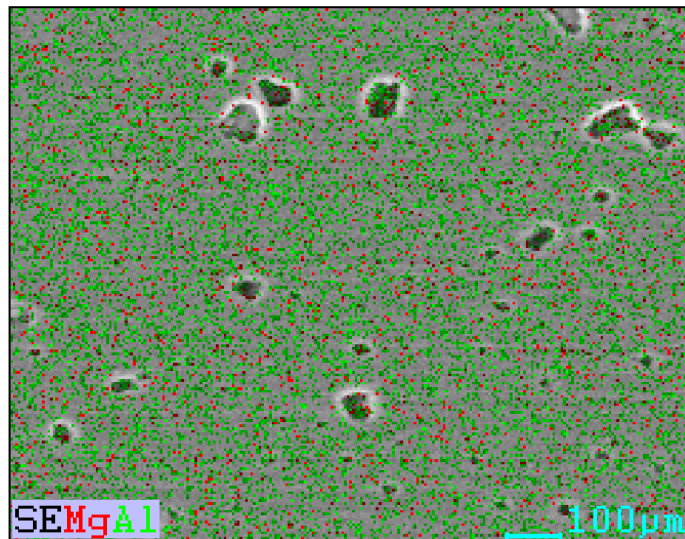
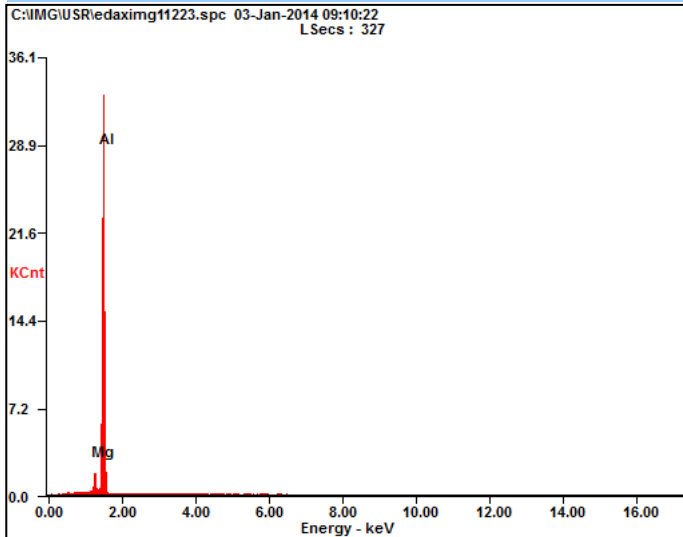


# Microanalysis Report

Prepared for: *Landasan Al5083*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*

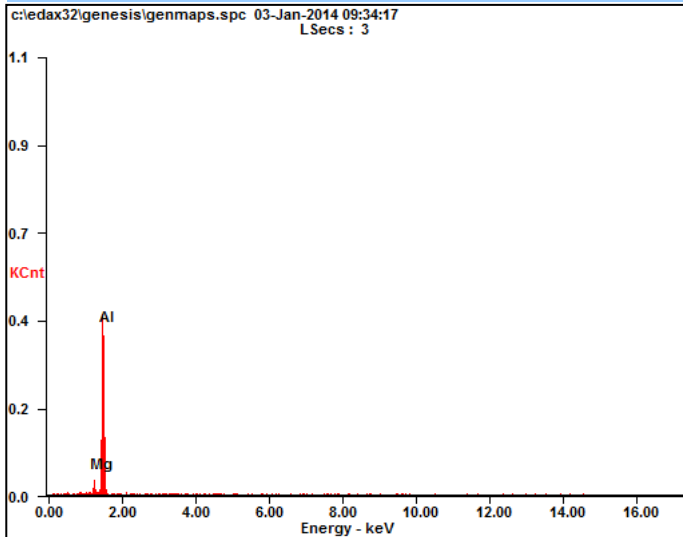


# Microanalysis Report

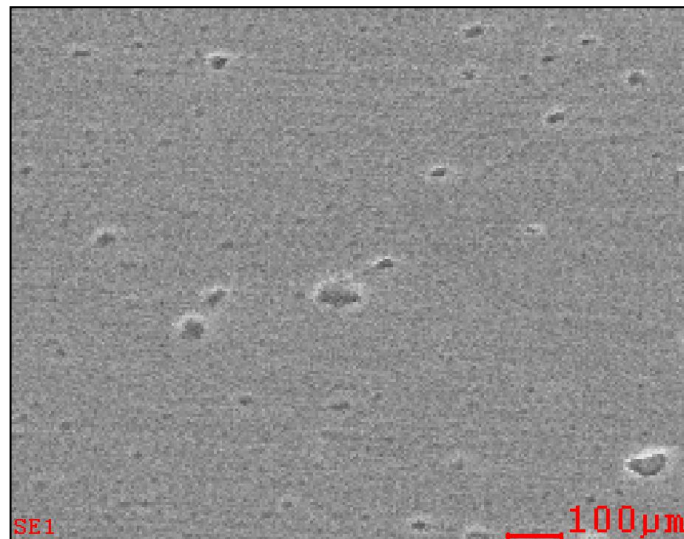
Prepared for: *Landasan Marmer*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 04.94      | 05.45      |
| <i>AlK</i>     | 95.06      | 94.55      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

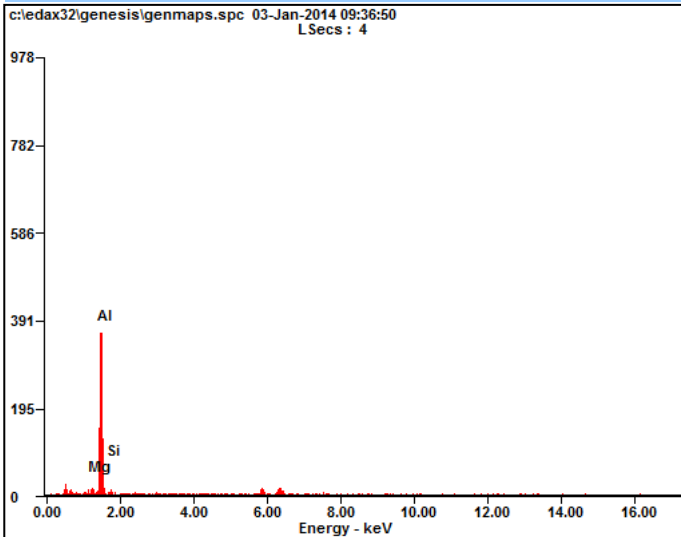


# Microanalysis Report

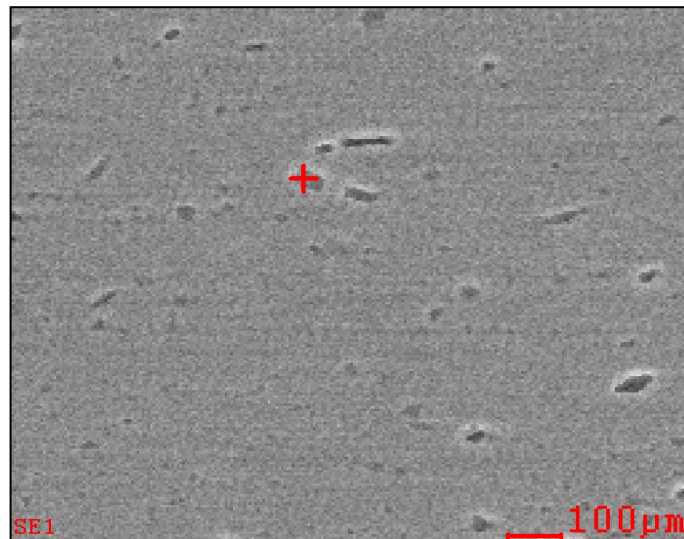
Prepared for: *Landasan Marmer*

Prepared by: *Your Name Here*

1/3/2014



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 02.75      | 03.05      |
| <i>AlK</i>     | 91.04      | 90.99      |
| <i>SiK</i>     | 06.21      | 05.96      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |



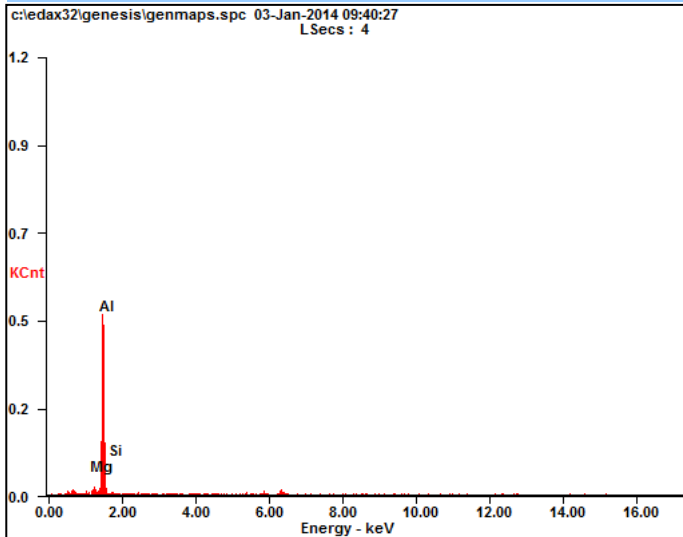


# Microanalysis Report

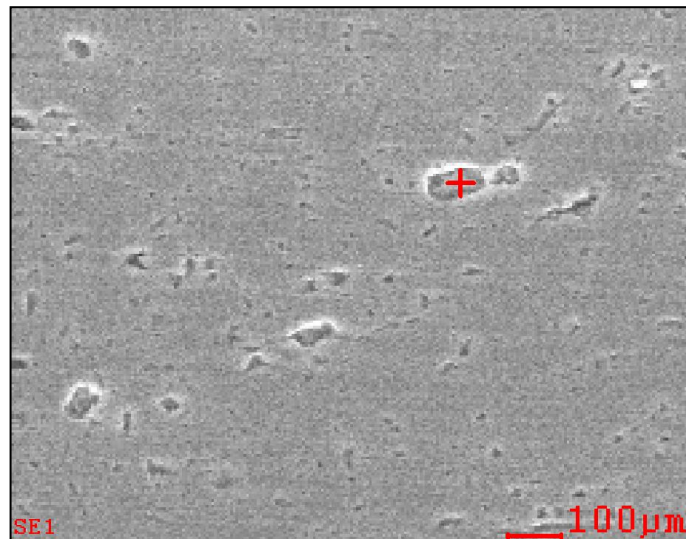
Prepared for: *Landasan Marmer*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 03.71      | 04.11      |
| <i>AlK</i>     | 91.05      | 90.86      |
| <i>SiK</i>     | 05.24      | 05.02      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |

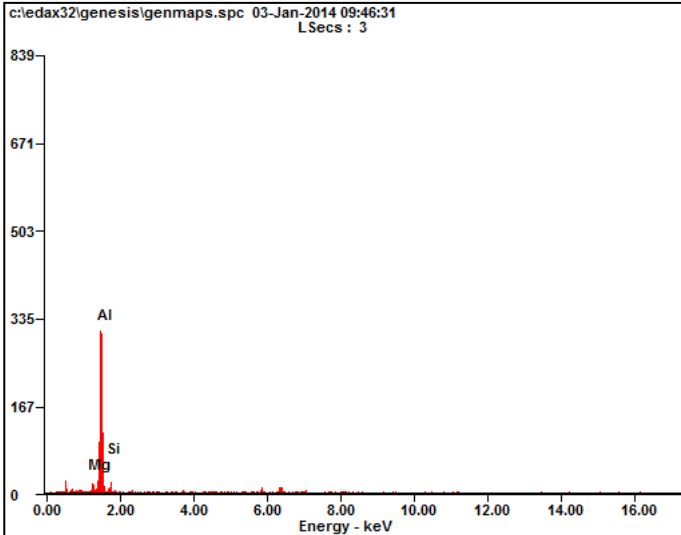


# Microanalysis Report

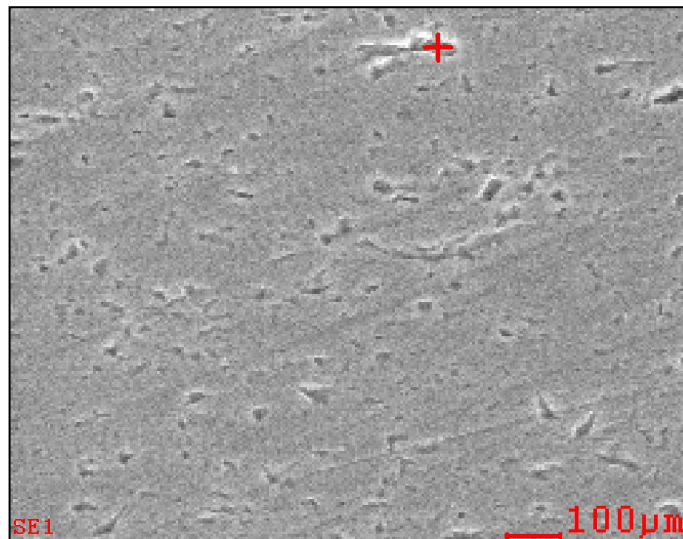
Prepared for: *Landasan Marmer*

Prepared by: *Your Name Here*

*1/3/2014*



| <i>Element</i> | <i>Wt%</i> | <i>At%</i> |
|----------------|------------|------------|
| <i>MgK</i>     | 03.44      | 03.82      |
| <i>AlK</i>     | 84.46      | 84.54      |
| <i>SiK</i>     | 12.11      | 11.64      |
| <i>Matrix</i>  | Correction | ZAF        |





**REPORT ON TEST RESULT NO. : ..... /PT.12.LK/KP/201**

DATE : 23 - 12 - 2013  
ORDER FROM : Syarif Hidayat  
ITEM / WELDER NAME :  
MATERIAL TEST : A-5003 Perbaikan landasan mild steel  
STANDARD :  
PROJECT :

**1. TENSION TEST**

| NO | CODE MATERIAL | SPECIFICATION SAMPLE |       |      |                    | TENSILE TEST RESULTS |                   |          |
|----|---------------|----------------------|-------|------|--------------------|----------------------|-------------------|----------|
|    |               | WIDTH                | THICK | DIA. | CSA                | YIELD STRENGTH       | ULTIMATE STRENGTH | BREAKING |
|    |               | (mm)                 | (mm)  | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | MPa                  | MPa               |          |
| 01 | MSS 01        | 19,90                | 5,01  |      | 99,70              | 24,07                | 28,69             | WM       |
| 02 | MSS.02        | 20,44                | 4,99  |      | 100,50             | 23,0,8               | 27,86             | WM       |
| NO | F. YIELD      |                      |       |      | F. ULTIMATE        |                      |                   |          |
|    | KN            |                      | N     |      | KN                 |                      | N                 |          |
| 01 | 24,4          |                      | 24400 |      | 28,6               |                      | 28600             |          |
| 02 | 23,2          |                      | 23200 |      | 28                 |                      | 28000             |          |

**II. NICK BREACK TEST**

| NO | SAMPLE MARK | SPECIFICATION SAMPLE |        |                    | TEST RESULTS |             |        |
|----|-------------|----------------------|--------|--------------------|--------------|-------------|--------|
|    |             | WIDTH                | THICK. | C.S.A              | FORCE        | T. STRENGTH | REMARK |
|    |             | (mm)                 | (mm)   | (mm <sup>2</sup> ) | (KN)         | (Mpa)       |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |

**III. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 0 DIA. MANDREL : mm**

| NO | SAMPLE MARK | IDENTIFICATION | WIDTH | THICK. | TEST RESULTS     |            |
|----|-------------|----------------|-------|--------|------------------|------------|
|    |             |                | (mm)  | (mm)   | OPEN DEFECT (mm) | CRACK (mm) |
| 1  | MSS.01      |                | 24,20 | 6      |                  |            |
| 2  | MSS.02      |                | 24,90 | 6      |                  |            |
| 3  | MSS.03      |                | 25,83 | 6      | None             | None       |
| 4  | MSS.04      |                | 25,52 | 6      |                  |            |

Witnessed by :  
Material Strength and Ship Construction Laboratory  
FT. Kelautan ITS  
Tester  
*[Signature]*

REPORT ON TEST RESULT NO. : ..... /PT.12.LK/K/P/201

DATE : 23.12.2013  
ORDER FROM : Syariful Hidayat  
ITEM / WELDER NAME :  
MATERIAL TEST : AL.5083 Perbaikan landasan AL.5083  
STANDARD :  
PROJECT :

1. TENSION TEST

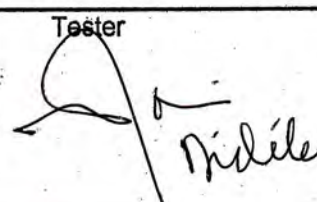
| NO | CODE MATERIAL | SPECIFICATION SAMPLE |       |      |                    | TENSILE TEST RESULTS |                   |          |
|----|---------------|----------------------|-------|------|--------------------|----------------------|-------------------|----------|
|    |               | WIDTH                | THICK | DIA. | CSA                | YIELD STRENGTH       | ULTIMATE STRENGTH | BREAKING |
|    |               | (mm)                 | (mm)  | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | MPa                  | MPa               |          |
| 1  | AL.01         | 20,38                | 4,81  |      | 88,03              | 23,87                | 26,01             | WM       |
| 2  | AL.02         | 20,16                | 4,78  |      | 86,36              | 24,18                | 26,96             | WM       |
| NO | F. YIELD      |                      |       |      | F. ULTIMATE        |                      |                   |          |
|    | KN            | N                    |       |      | KN                 | N                    |                   |          |
| 1  | 23,4          | 23400                |       |      | 25,5               | 25500                |                   |          |
| 2  | 23,3          | 23300                |       |      | 25,5               | 25500                |                   |          |

II. NICK BREACK TEST

| NO | SAMPLE MARK | SPECIFICATION SAMPLE |        |                    | TEST RESULTS |             |        |
|----|-------------|----------------------|--------|--------------------|--------------|-------------|--------|
|    |             | WIDTH                | THICK. | C.S.A              | FORCE        | T. STRENGTH | REMARK |
|    |             | (mm)                 | (mm)   | (mm <sup>2</sup> ) | (KN)         | (Mpa)       |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |

III. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 0° DIA. MANDREL : mm

| NO | SAMPLE MARK | IDENTIFICATION | WIDTH | THICK. | TEST RESULTS     |            |
|----|-------------|----------------|-------|--------|------------------|------------|
|    |             |                | (mm)  | (mm)   | OPEN DEFECT (mm) | CRACK (mm) |
| 1  | AL.01       |                | 24,91 | 6      |                  |            |
| 2  | AL.02       |                | 24,62 | 6      | NONE             | NONE       |
| 3  | AL.03       |                | 26,08 | 6      |                  |            |
| 4  | AL.04       |                | 25,56 | 6      |                  |            |

Witnessed by : \_\_\_\_\_  
Material Strength and Ship Construction Laboratory  
FT. Kelautan ITS  
Tester  


REPORT ON TEST RESULT NO. : ..... /PT.12.LK/KP/2013

DATE : 23-12-2013  
ORDER FROM : Syaiful Hidayat  
ITEM / WELDER NAME :  
MATERIAL TEST : AL. 5083 Perbaikan Landasan Marmor  
STANDARD :  
PROJECT :

1. TENSION TEST

| NO | CODE MATERIAL | SPECIFICATION SAMPLE |       |      |                    | TENSILE TEST RESULTS |                   |          |
|----|---------------|----------------------|-------|------|--------------------|----------------------|-------------------|----------|
|    |               | WIDTH                | THICK | DIA. | CSA                | YIELD STRENGTH       | ULTIMATE STRENGTH | BREAKING |
|    |               | (mm)                 | (mm)  | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | MPa                  | MPa               |          |
| 1  | LM 01         | 20,24                | 2,91  |      | 89,38              | 21,53                | 23,95             | WMA      |
| 2  | LM 02         | 19,95                | 2,59  |      | 91,57              | 13,32                | 15,23             | WMA      |
| NO | F. YIELD      |                      |       |      | F. ULTIMATE        |                      |                   |          |
|    | KN            | N                    |       | KN   | N                  |                      |                   |          |
| 1  | 21,2          | 21400                |       | 23,5 | 23500              |                      |                   |          |
| 2  | 12,2          | 12200                |       | 12   | 14000              |                      |                   |          |

II. NICK BREACK TEST

| NO | SAMPLE MARK | SPECIFICATION SAMPLE |        |                    | TEST RESULTS |             |        |
|----|-------------|----------------------|--------|--------------------|--------------|-------------|--------|
|    |             | WIDTH                | THICK. | C.S.A              | FORCE        | T. STRENGTH | REMARK |
|    |             | (mm)                 | (mm)   | (mm <sup>2</sup> ) | (KN)         | (Mpa)       |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |
|    |             |                      |        |                    |              |             |        |

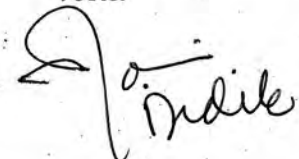
III. BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 0 DIA. MANDREL : mm

| NO | SAMPLE MARK | IDENTIFICATION | WIDTH | THICK. | TEST RESULTS     |            |
|----|-------------|----------------|-------|--------|------------------|------------|
|    |             |                | (mm)  | (mm)   | OPEN DEFECT (mm) | CRACK (mm) |
| 1  | LM 01       | (Face Bend)    | 25,15 | 6      | -                | 25,15      |
| 2  | LM 02       | (Root Bend)    | 25,81 | 6      | -                | 10,42      |
| 3  | LM 03       | (Face Bend)    | 26,87 | 6      | -                | 26,87      |
| 4  | LM 04       | (Root Bend)    | 23,20 | 6      | -                | -          |

Witnessed by :

Material Strength and Ship Construction Laboratory  
FT. Kelautan ITS

Tester





# RADIOGRAPHY TEST REPORT

|                     |                           |                                |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Project Name : -    | Drawing No. : -           | Report No : 01-RT/RBT-SM/XI/13 |
| Customer : ITS      | Procedure No. : RBT-P-05  | Date : 16-11-2013              |
| Location : SURABAYA | Applicable Code : ASME IX | NCR Ref No : -                 |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>PART</b><br>Name : WPS<br>ID/OD : - Inch<br>Mat'l Type : AL 5083<br>Mat'l.Thk. : 6 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Weld Thk. : - In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Reinforc. Thk. : - In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Backing Ring : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RADIATION SOURCE</b><br>Isotope : Ir-192 <input checked="" type="checkbox"/> Co-60 <input type="checkbox"/><br>Activity : 11 Ci<br>Size : 3 X 3 mm<br><br><b>TECHNIQUE</b><br>Exposure : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br>Viewing : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br>Exposure Time : 5 menit<br>Min. SOD* : 15 inchi Min. DSSOF** : 16inchi<br>No.of Film in Holder : Single <input checked="" type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> | <b>EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH</b><br><input type="checkbox"/> Panoramic / SWSV <input checked="" type="checkbox"/> SWSV<br><br><input type="checkbox"/> DWSV <input checked="" type="checkbox"/> DWSV<br><input type="checkbox"/> DWSV <input checked="" type="checkbox"/> DWDV<br><input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> Other |
| <b>FILM</b><br>Manufacture's : AGFA<br><br>Type of Film : D4<br>Dimension : 4 X 10 Inch   | <b>IMAGE QUALITY INDICATOR ( IQI )</b><br>Wire <input checked="" type="checkbox"/> No. : ASTM IB 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/><br>Hole <input type="checkbox"/> No. : ..... 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/><br>Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/><br>Block Thickness : ..... Mm                      | <b>Notes for Sketch :</b><br>1).SWSV = Single Wall Single Viewing<br>2).DWSV = Double Wall Single Viewing<br>3).DWDV = Double Wall Double Viewing<br>4).Other = Other than listed ( Please Sketch )  |
| <b>SCREEN</b><br>Lead : Front <input checked="" type="checkbox"/> Back <input checked="" type="checkbox"/><br>Thickness : 0.125 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/>  | <b>DENSITY</b><br>MIN : 2<br>MAX : 4  | <b>SENSITIVITY</b><br>2%   |

| Date of RT             | Welder Stamp | Identification |          | Result |     | Discontinuities Type |    |    |     |   |      | Remark & Comment |
|------------------------|--------------|----------------|----------|--------|-----|----------------------|----|----|-----|---|------|------------------|
|                        |              | Joint No       | Location | ACC    | REP | IF                   | IP | RC | RUC | P | Incl |                  |
| <b>FSW LANDASAN ML</b> |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
| 16/11/13               | -            | SYAIFUL HAQQI  | A-B      | Acc    | -   |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                | B-C      | Acc    | -   |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                        |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |

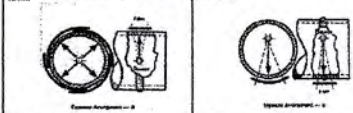
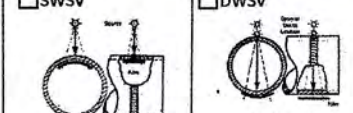
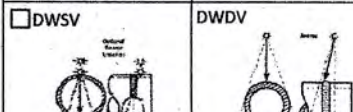
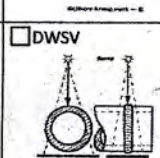
|                                 |                            |                                      |                               |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Radiographed by : <u>BILLAM</u> | Examined by : _____        | Reviewed by : _____                  | Reviewed by : _____           |
| <br>Date : <u>16/11/13</u>      | Date : _____<br>Client Rep | Date : _____<br>Authorised Inspector | Date : _____<br>Customer Rep. |

Note : \*) SOD = Source to Object Distance, \*\*) DSSOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance  
 IF = Incomplete Fusion, IP = Incomplete Penetration, RC = Root Concavity, RUC = Root Undercut, P = Porosity, Incl = Inclusion, Crk = Crack

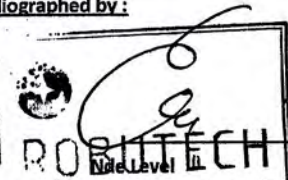


# RADIOGRAPHY TEST REPORT

|                      |                           |                                 |
|----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Project Name : _____ | Drawing No. : -           | Report No : 01/RT/RBT-TA/XII/13 |
| Customer : _____     | Procedure No. : RBT-P-05. | Date : 07-10-2013               |
| Location : SURABAYA  | Applicable Code : ASME IX | NCR Ref No : -                  |

| <b>PART</b><br>Name : PLATE<br>ID/OD : - Inch<br>Mat'l Type : ALUMINIUM<br>Mat'l.Thk. : 4 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Weld Thk. : 3 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/><br>Reinfrc. Thk. : - In <input type="checkbox"/> mm <input type="checkbox"/><br>Backing Ring : Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> | <b>RADIATION SOURCE</b><br>Isotope : Ir-192 <input checked="" type="checkbox"/> Co-60 <input type="checkbox"/><br>Activity : 21 Ci<br>Size : 3 X 3 mm<br><br><b>TECHNIQUE</b><br>Exposure : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br>Viewing : Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/><br>Exposure Time : 5 menit<br>Min. SOD* : 15 inch Min. DSSOF** : 15 inch<br>No. of Film in Holder : Single <input checked="" type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> | <b>EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH</b><br><input checked="" type="checkbox"/> Panoramic / SWSV <input checked="" type="checkbox"/> SWSV<br><br><input type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> DWSV<br><br><input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV<br><br><input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> Other<br> |             |         |    |         |  |
|---|---|---|-------------|---------|----|---------|--|
| <b>FILM</b><br>Manufacture's : AGFA<br><br>Type of Film : D4<br>Dimension : 4 X 15 Inch   | <b>IMAGE QUALITY INDICATOR ( IQI )</b><br>Wire <input checked="" type="checkbox"/> No. : ASTM IB 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/><br>Hole <input type="checkbox"/> No. : ..... 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/><br>Placement : Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/><br>Block Thickness : ..... Mm                                 | <b>Notes for Sketch :</b><br>1).SWSV = Single Wall Single Viewing<br>2).DWSV = Double Wall Single Viewing<br>3).DWDV = Double Wall Double Viewing<br>4).Other = Other than listed ( Please Sketch )   |             |         |    |         |  |
| <b>SCREEN</b><br>Lead : Front <input checked="" type="checkbox"/> Back <input type="checkbox"/><br>Thickness : 0.125 In <input type="checkbox"/> mm <input checked="" type="checkbox"/>   | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">DENSITY</th> <th style="width: 50%;">SENSITIVITY</th> </tr> <tr> <td>MIN : 2</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">2%</td> </tr> <tr> <td>MAX : 4</td> </tr> </table>  | DENSITY   | SENSITIVITY | MIN : 2 | 2% | MAX : 4 |  |
| DENSITY   | SENSITIVITY   |   |             |         |    |         |  |
| MIN : 2   | 2%  |   |             |         |    |         |  |
| MAX : 4   |   |   |             |         |    |         |  |

| Date of RT          | Welder Stamp | Identification |          | Result |     | Discontinuities Type |    |    |     |   |      | Remark & Comment |
|---------------------|--------------|----------------|----------|--------|-----|----------------------|----|----|-----|---|------|------------------|
|                     |              | Joint No       | Location | ACC    | REJ | IF                   | IP | RC | RUC | P | Incl |                  |
| # TA - SAIPUL . H # |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
| -                   | -            | PU             | A - B    | -      | √   |                      | √  |    |     |   |      |                  |
|                     |              | PWC            | A - B    | -      | √   |                      | √  |    |     |   |      |                  |
|                     |              | LM             | A - B    | -      | √   |                      | √  |    |     |   |      |                  |
|                     |              | COS            | A - B    | -      | √   |                      | √  |    |     |   |      |                  |
|                     |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |
|                     |              |                |          |        |     |                      |    |    |     |   |      |                  |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>Radiographed by :</b><br><br>Date : 10-12-2013 | <b>Examined by :</b><br><br>Date : _____ | <b>Reviewed by :</b><br><br>Date : _____ | <b>Reviewed by :</b><br><br>Date : _____ |
| Client Rep   | Authorised Inspector                     | Customer Rep                             |  |

Note : \*) SOD = Source to Object Distance, \*\*) DSSOF = Distance from Source Side of Object to the Film at the minimum Source to Object Distance  
 IF = Incomplete Fusion, IP = Incomplete Penetration, RC = Root Concavity, RUC = Root Undercut, P = Porosity, Incl = Inclusion, Crk = Crack



**INSPECTION CERTIFICATE**

Cert-No: 327A  
DATE: 3/4/2003

CUSTOMER : EMPIRE RESOURCES(AUSTRALIA)

CUSTOMER'S ORDER : ER-2781-P/R108717

DNV CERTIFICATE No. AMM-1411

DESTINATION : FREMANTLE

ELVAL ORDER : E9969

INVOICE NR : 32384

ALLOY : 5083 H116

WEIGHT : 18261 KGS

MARKING : ELVAL, NV11003065,5083 H116/H321,  
COIL NR,HEAT NR,THICKNESS,ASTM B209.

QUALITY ACCORDING TO DNV RULES AND AA STANDARDS.

| CASE NR        | HEAT NR | COIL NR   | PROCESS    | SHEETS | DIMENSIONS (mm)            | MECHANICAL PROPERTIES |                       |            |
|----------------|---------|-----------|------------|--------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
|                |         |           |            |        |                            | R N/mm <sup>2</sup>   | R02 N/mm <sup>2</sup> | A %        |
| 81             | 30270   | 030104401 | HOT ROLLED | 32     | 5.0000 x 2200.00 x 9000.00 | 350.8                 | 240.6                 | 13.0       |
| 82             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| 83             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| 84             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| 50             | 30166   | 030046101 | HOT ROLLED | 12     | 6.0000 x 2200.00 x 9000.00 | 358.6                 | 253.4                 | 13.9       |
| 51             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| 42             | 30262   | 030105302 | HOT ROLLED | 12     | 6.0000 x 2200.00 x 9000.00 | 329.5                 | 246.1                 | 15.8       |
| 52             |         |           |            |        |                            |                       |                       |            |
| SPECIFICATIONS |         |           |            |        |                            | Min.                  |                       |            |
|                |         |           |            |        |                            | Max.                  | 305.0                 | 215.0 12.0 |

CHEMICAL ANALYSIS

| HEAT NR | Si   | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Cr   | Zn   | Ti   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 30166   | 0.11 | 0.33 | 0.05 | 0.51 | 4.77 | 0.18 | 0.02 | 0.01 |
| 30262   | 0.13 | 0.24 | 0.09 | 0.73 | 4.74 | 0.15 | 0.02 | 0.01 |
| 30270   | 0.12 | 0.24 | 0.06 | 0.74 | 4.75 | 0.14 | 0.01 | 0.01 |

SPECIFICATIONS

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Min. |      |      |      | 0.40 | 4.00 | 0.05 |      |      |
| Max. | 0.40 | 0.40 | 0.10 | 1.00 | 4.90 | 0.25 | 0.25 | 0.15 |

Others Each : 0.05%max

Others Total : 0.15%max

We hereby certify that the material has been made by an approved process and has been satisfactorily tested in accordance with DNV Rules for Classification.

ELVAL S.A. QUALITY DEPARTMENT

P/P G. KALKANTZIS

TEST RESULTS

MECHANICAL PROPERTIES

TENSILE PROPERTIES

CHARPY V-NOTCH IMPACT PROPERTIES

| Cast No | Test No | Yield point<br>R <sub>m</sub> or R <sub>p0.2</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Tensile<br>strength<br>R <sub>m</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Elong-<br>ation<br>A <sub>5</sub><br>% | Reduction<br>of area<br>Z<br>% | Orien-<br>tation<br>L or T | Test<br>temp<br>°C | Width of<br>test piece<br>mm | Energy, J. min. |   |   |     |  |
|---------|---------|---|--|--|--------------------------------|----------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|---|---|-----|--|
|         |         |   |  |  |                                |                            |                    |                              | 1               | 2 | 3 | Ave |  |
| 30270   | 1       | 238.04  | 349.45   | 13.5                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30270   | 2       | 243.59  | 351.53   | 12.9                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30270   | 3       | 245.60  | 351.76   | 12.4                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30270   | 4       | 235.30  | 350.01   | 13.3                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30270   | 5       | 240.82  | 351.30   | 12.9                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 6       | 266.87  | 365.83   | 13.3                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 7       | 247.42  | 354.19   | 12.9                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 8       | 247.15  | 357.59   | 14.7                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 9       | 252.27  | 357.15   | 14.5                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 10      | 250.19  | 359.00   | 12.8                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30166   | 11      | 256.57  | 358.28   | 15.8                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30262   | 12      | 246.92  | 331.98   | 15.2                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30262   | 13      | 251.44  | 331.26   | 13.1                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30262   | 14      | 241.65  | 326.81   | 16.9                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |
| 30262   | 15      | 244.34  | 328.11   | 17.1                                   |                                |                            |                    |                              |                 |   |   |     |  |

Remarks

Test Nos 1-5 : Coil No 030104401/ Case Nos: 51-54

Test Nos 6-11 : Coil No 030046101/ Case Nos: 50-51

Test Nos 12-15 : Coil No 030105302/ Case Nos: 42 & 52

CHEMICAL COMPOSITION

| Cast No. | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Cr % | Zn % | Ti % | Al % |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 30270    | 0.12 | 0.24 | 0.08 | 0.74 | 4.75 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | Rest |
| 30166    | 0.11 | 0.33 | 0.06 | 0.51 | 4.77 | 0.18 | 0.02 | 0.01 | Rest |
| 30262    | 0.13 | 0.24 | 0.09 | 0.73 | 4.74 | 0.15 | 0.02 | 0.01 | Rest |

Remarks

Exfoliation Corrosion Test acc. to ASTM G68: Pitting degree C

Process

HOT ROLLED

Heat treatment (state temperatures, °C)

Non-destructive testing

ADDITIONAL INSPECTION

Type and extent of inspection



# DET NORSKE VERITAS

## INSPECTION CERTIFICATE OF MATERIALS

- DNV certificate according to Classification Rules  
 3.1 C according to ISO 10474/EN 10204

|  |   |
|--|---|
| <b>Product</b><br>32 pcs aluminium plates 5 X 2200 X 9000 mm<br>24 pcs aluminium plates 6 X 2200 X 9000 mm | <b>Total mass</b><br>18281 kgs                    |
| <b>Manufacturer</b><br>ELVAL S.A. INOFITA / GREECE   | <b>Manufacturer's order No.</b><br>9959           |
| <b>Purchaser</b><br>EMPIRE RESOURCES - AUSTRALIA   | <b>Purchaser's order No.</b><br>ER-2781-P/R108717 |
| <b>Destination/Supplementary information</b><br>FREMANTLE  |   |

### MATERIAL SPECIFICATION

|  |   |
|--|---|
| <b>Material standard and grade</b><br>DNV - Rules for Ships Pt.2, Sec. 9<br>NV 5083 H321 | <b>Any additional requirements</b><br>(Empty) |
|--|---|

### SPECIFIED MECHANICAL PROPERTIES

| Specimen type/<br>dimensions | Yield point<br>R <sub>eH</sub> or R <sub>0.2</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Tensile<br>strength<br>R <sub>m</sub><br>N/mm <sup>2</sup> | Elongation<br>A <sub>5</sub><br>% | Reduction<br>of area<br>Z<br>% | CHARPY V-NOTCH IMPACT PROPERTIES |                    |                              |  |
|------------------------------|---|--|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------------|--|
|                              |   |  |                                   |                                | Orientation<br>L or T            | Test<br>temp<br>°C | Width of<br>test piece<br>mm | Energy, J, min.<br>Single      Average |
| Flat                         | min.215   | 305-380  | min.12                            |                                |                                  |                    |                              |  |

Remarks

### SPECIFIED CHEMICAL COMPOSITION

| Element               | Si %     | Fe %     | Cu %     | Mn %      | Mg %    | Cr %      | Zn %     | Ti %     | Al % |
|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|---------|-----------|----------|----------|------|
| Specific value(s) [%] | max 0.40 | max 0.40 | max 0.10 | 0.40-1.05 | 4.0-4.9 | 0.05-0.25 | max 0.25 | max 0.15 | Rest |

Remarks

|  |   |   |                    |   |
|--|---|---|--------------------|---|
| <b>Marking</b><br>ELVAL, NV11003065,<br>5083 H11B/H321, COILNR,<br>HEAT NR, THICKNESS,<br>ASTM B209<br><br>The stamping is placed:<br><b>INKJET MARKING ON<br/>         ONE SIDE</b> | The material has been tested and inspected in the <b>finished</b> condition and are found to be in accordance with the above specification. (For test result, see overleaf)<br><br>If applicable state drawing number and approval date<br><br><table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">Piraeus, Greece<br/>Place</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">2003-04-04<br/>Date</td> <td style="width: 40%; text-align: right;"> <br/> <b>ANDREAS PAGALOS</b><br/>           Inspector         </td> </tr> </table> | Piraeus, Greece<br>Place                | 2003-04-04<br>Date | <br><b>ANDREAS PAGALOS</b><br>Inspector |
| Piraeus, Greece<br>Place   | 2003-04-04<br>Date  | <br><b>ANDREAS PAGALOS</b><br>Inspector |                    |   |

\* Any person who has lost or damaged which is proved to have been caused by any negligence act or omission of Det Norske Veritas, then Det Norske Veritas shall pay compensation in full person to the amount of loss or damage. However, the compensation shall not exceed an amount equal to ten times the fee charged for the service in question. Provided that the maximum compensation shall never exceed USD 2 million. In this provision Det Norske Veritas shall mean the Det Norske Veritas as well as all its subsidiaries, divisions, offices, employees, agents and any other acting on behalf of Det Norske Veritas.