



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH ARUS PADA PENGELASAN RESISTANSI
TITIK LOGAM *DISSIMILAR* DUA TUMPUKAN (SPCC/A5052)
DAN TIGA TUMPUKAN (SPCC/A5052/ SPCC) TERHADAP
SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN**

SKRIPSI

FAUZI BAHANAN

0806331550

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH ARUS PADA PENGELASAN RESISTANSI
TITIK LOGAM *DISSIMILAR* DUA TUMPUKAN (SPCC/A5052)
DAN TIGA TUMPUKAN (SPCC/A5052/ SPCC) TERHADAP
SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

FAUZI BAHANAN

0806331550

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Fauzi Bahanan

NPM : 0806331550

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Fauzi Bahanan
NPM : 0806331550
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi :

**Studi Pengaruh Arus Pada Pengelasan Resistansi Titik Logam *Dissimilar*
Dua Tumpukan (SPCC/A5052) dan Tiga Tumpukan (SPCC/A5052/ SPCC)
terhadap Sifat Mekanik Sambungan**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Badrul Munir S.T., M.Eng.Sc. (.....)
Penguji 1 : Dr. Ir. Winarto, M.Sc. (.....)
Penguji 2 : Dwi Marta Nurjaya S.T., M.T. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Rasulullah SAW. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Dalam proses penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penulis mendapat dukungan yang sangat berharga dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

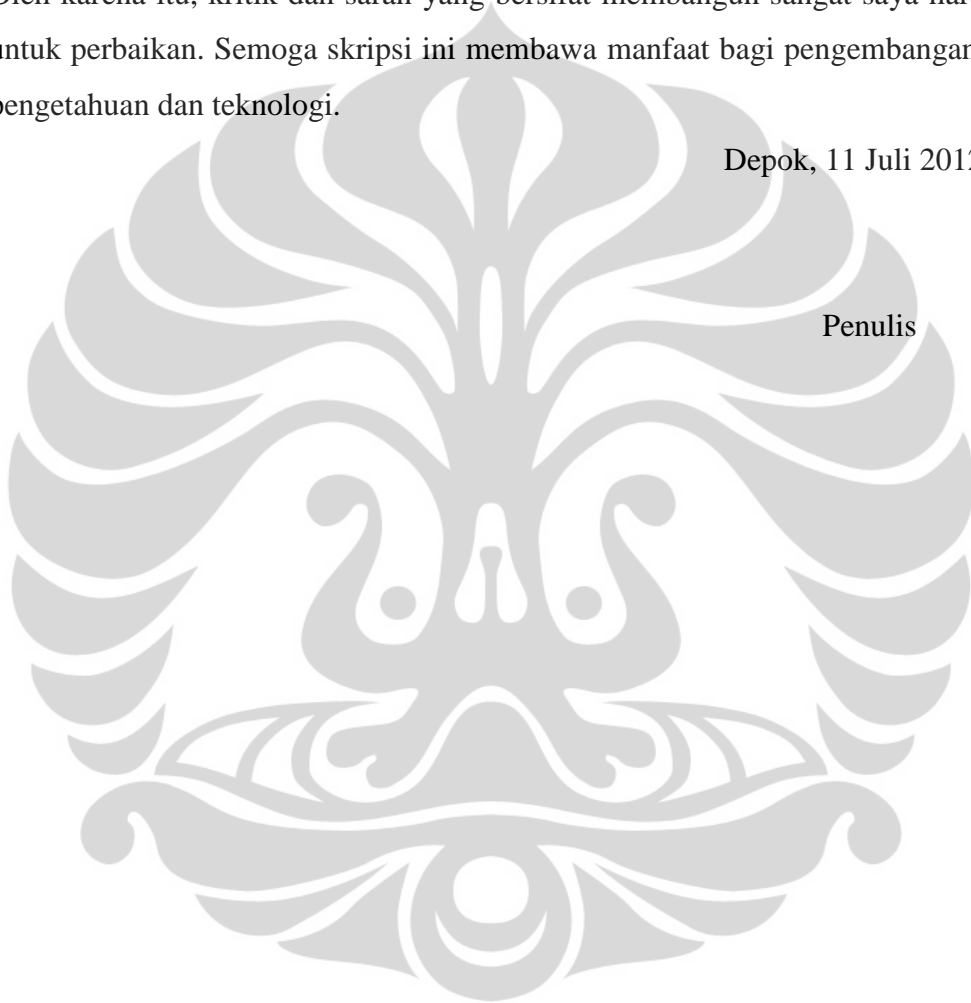
1. Allah SWT yang telah meridhai saya untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini serta melancarkan segala urusan saya;
2. Kedua orang tua dan kakak-kakak saya yang telah banyak memberikan dukungan materi dan moril kepada saya;
3. Dr. Badrul Munir ST., M.Eng.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga dan pemikiran dalam mengarahkan saya dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini;
4. Achmad Dzulfikar Fajar sebagai teman kerja dalam penelitian ini;
5. Terry Atmajaya dan Anugrah (Coky) yang telah membantu dalam proses pengujian kekerasan di PT FSCM;
6. Bapak Sudrajat dan Bapak Ambyah Suliwarno yang telah membantu dalam proses pengujian tarik-geser di PATIR-BATAN;
7. Karyawan workshop Departemen Teknik Metalurgi dan Material UI (Bang Mamat, Bang Jali, dkk.) yang telah melatih penggunaan mesin spot welding dan peralatan pendukung lainnya.
8. Teman-teman asisten lab metalurgi proses yang telah memberikan semangat dalam mengerjakan penelitian ini;
9. Teman-teman mahasiswa dan karyawan Departemen Teknik Metalurgi dan Material UI yang selalu memberikan dukungan dan perhatiannya kepada saya; dan

10. Amel yang telah memberikan dukungan dan semangat selama pengerjaan skripsi ini;

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan skripsi ini. Saya menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat saya harapkan untuk perbaikan. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 11 Juli 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fauzi Bahanan
NPM : 0806331550
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Studi Pengaruh Arus Pada Pengelasan Resistansi Titik Logam *Dissimilar*
Dua Tumpukan (SPCC/A5052) dan Tiga Tumpukan (SPCC/A5052/ SPCC)
terhadap Sifat Mekanik Sambungan**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 11 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Fauzi Bahanan)

ABSTRAK

Nama : Fauzi Bahanan
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul :

Studi Pengaruh Arus Pada Pengelasan Resistansi Titik Logam *Dissimilar* Dua Tumpukan (SPCC/A5052) dan Tiga Tumpukan (SPCC/A5052/ SPCC) terhadap Sifat Mekanik Sambungan

Pengelasan resistansi titik dengan dua material berbeda telah banyak digunakan pada struktur kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dari pengelasan dua material yang berbeda. Pada penelitian ini pengelasan dilakukan antara baja karbon rendah SPCC dan aluminium paduan A5052 dengan pengelasan resistansi titik dengan dua tipe penyambungan. Tipe pertama menyambungkan dua tumpukan (SPCC/A5052) dan tipe kedua menyambungkan tiga tumpukan (SPCC/A5052/SPCC). Pembahasan utama dalam penelitian ini adalah menganalisa pengaruh arus pengelasan terhadap sifat mekanik sambungan dari kedua tipe penyambungan tersebut. Parameter pengelasan yang digunakan adalah waktu pengelasan 1 detik, tekanan elektroda 150 kgf, dan variasi arus 6kA, 8kA, 10kA, dan 12 kA. Karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian tarik-geser, pengujian kekerasan mikrovickers, dan pengukuran lebar manik las yang terbentuk. Berdasarkan penelitian ini didapatkan hasil bahwa pada pengelasan dua tumpukan kekuatan tarik-geser tertinggi pada arus 6kA dan pada pengelasan tiga lembar kekuatan tarik-geser meningkat seiring peningkatan arus pengelasan. Nilai kekerasan vickers tertinggi pada daerah lasan mencapai 249,2 HV. Nilai kekerasan meningkat dengan meningkatnya arus pengelasan di kedua tipe sambungan.

Kata kunci:

Las resistansi titik, *Dissimilar welding*, intermetalik, *multiple sheets weld*

ABSTRACT

Name : Fauzi Bahanan
Study Program : Metallurgy and Material Science Engineering
Title :

Study of Influences of Welding Current of Dissimilar Resistance Spot Welding Two Stack Sheets (SPCC/A5052) and Three Stack Sheets (SPCC/A5052/ SPCC) to the Mechanical Properties

Resistance spot welding with dissimilar workpiece have been widely used in the structure of the vehicle. This study aims to determine the mechanical properties of this joint. In this research, low carbon steel SPCC and aluminium alloy A5052 has been welded using resistance spot welding with two kind of joint type. The first type is joined two stack sheets (SPCC/A5052) and the second type is joined three stack sheets (SPCC/A5052/SPCC). The main discussion in this research is to analyse the influences of welding current to the mechanical properties of the both of joint types. Welding parameters used are 1 second welding time, 150 kgf electrode pressure, and current variations are 6kA, 8kA, 10kA, and 12kA. The characterizations including tensile-shear testing, mikrovickers hardness testing, and measurement of nugget width. It is found that the highest tensile-shear strength of two stack sheets is on the welding current 6 kA and the tensile-shear strength of three stack sheets increases with increasing welding current. The highest vickers hardness value in the weld area reached 249,2 HV. Hardness values increased with increasing welding current in both of joint types.

Key words:

Resistance Spot Welding, Dissimilar welding, intermetallic, multiple sheets weld

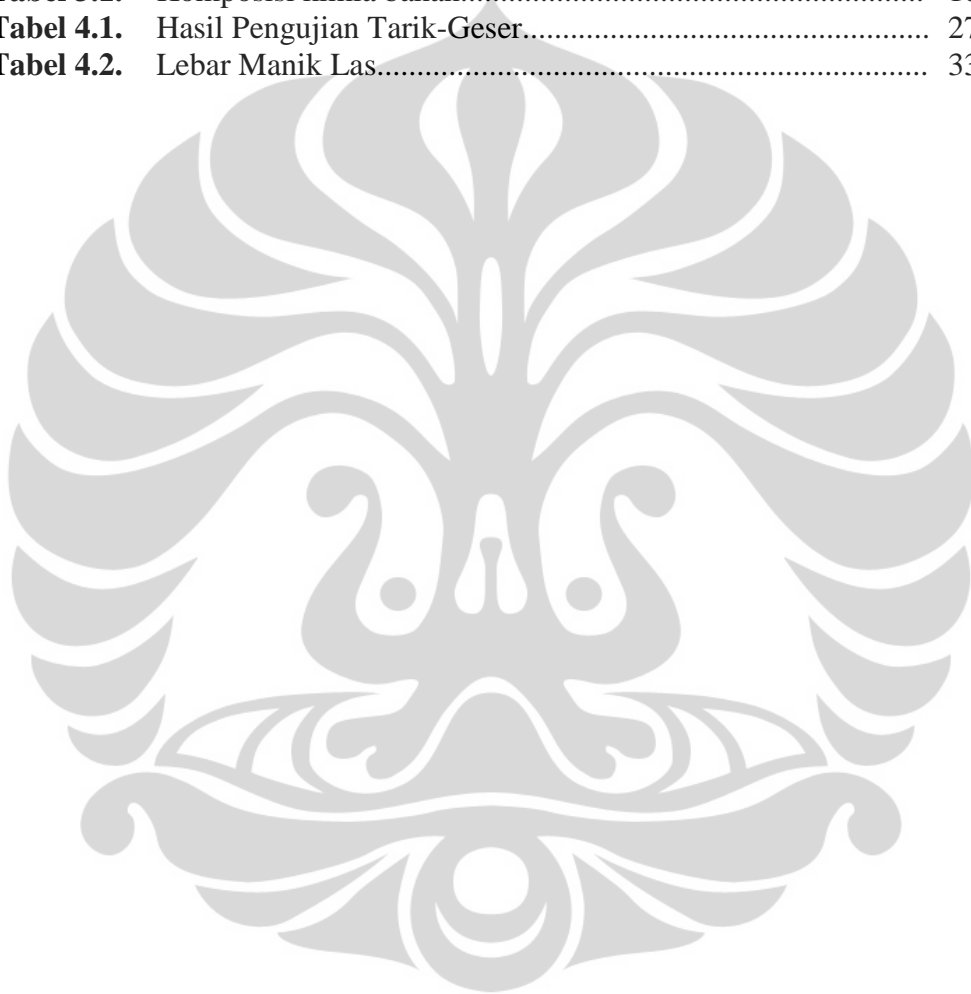
DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..... | vi |
| ABSTRAK..... | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.3 Batasan Penelitian | 3 |
| 1.4 Sistematika Penulisan..... | 3 |
| BAB 2 DASAR TEORI..... | 5 |
| 2.1 Prinsip Las Titik | 5 |
| 2.2 Distribusi Panas pada Daerah Las | 6 |
| 2.3 Siklus Las titik..... | 7 |
| 2.4 Pengaruh Parameter Las terhadap Hasil Lasan | 8 |
| 2.4.1 Pengaruh Tekanan Elektroda | 9 |
| 2.4.2 Pengaruh Waktu Las | 10 |
| 2.4.3 Pengaruh Arus Las | 10 |
| 2.4.4 Kotak Toleransi (Tolerance Box)..... | 11 |
| 2.6 Pengelasan Logam Dissimilar | 12 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN..... | 16 |
| 3.1 Diagram Alir | 16 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 17 |
| 3.2.1 Alat | 17 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.2 Bahan..... | 17 |
| 3.3 Persiapan Sample | 17 |
| 3.4 Pengelasan Titik | 18 |
| 3.5 Pengukuran Manik Las..... | 21 |
| 3.6 Pengujian Tarik-geser | 21 |
| 3.7 Pengujian Kekerasan Mikro | 23 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | 24 |
| 4.1. Hasil Pengelasan Titik..... | 24 |
| 4.2. Hasil Pengujian Tarik-Geser | 27 |
| 4.2.1 Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik-Geser | 27 |
| 4.3. Hasil Pengujian Kekerasan..... | 29 |
| 4.4. Pengaruh Ukuran Manik Las Terhadap Sifat Sambungan | 33 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN..... | 38 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 38 |
| 5.2 Saran..... | 38 |
| DAFTAR PUSTAKA | 39 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 2.1. Sifat Spesifik Material Baja Karbon Rendah dan Paduan Aluminium A5052..... | 13 |
| Tabel 2.2. Sifat Mekanik Aluminium A5052..... | 13 |
| Tabel 2.3. Paduan Intermetalik..... | 14 |
| Tabel 3.1. Komposisi kimia bahan..... | 18 |
| Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tarik-Geser..... | 27 |
| Tabel 4.2. Lebar Manik Las..... | 33 |



DAFTAR GAMBAR

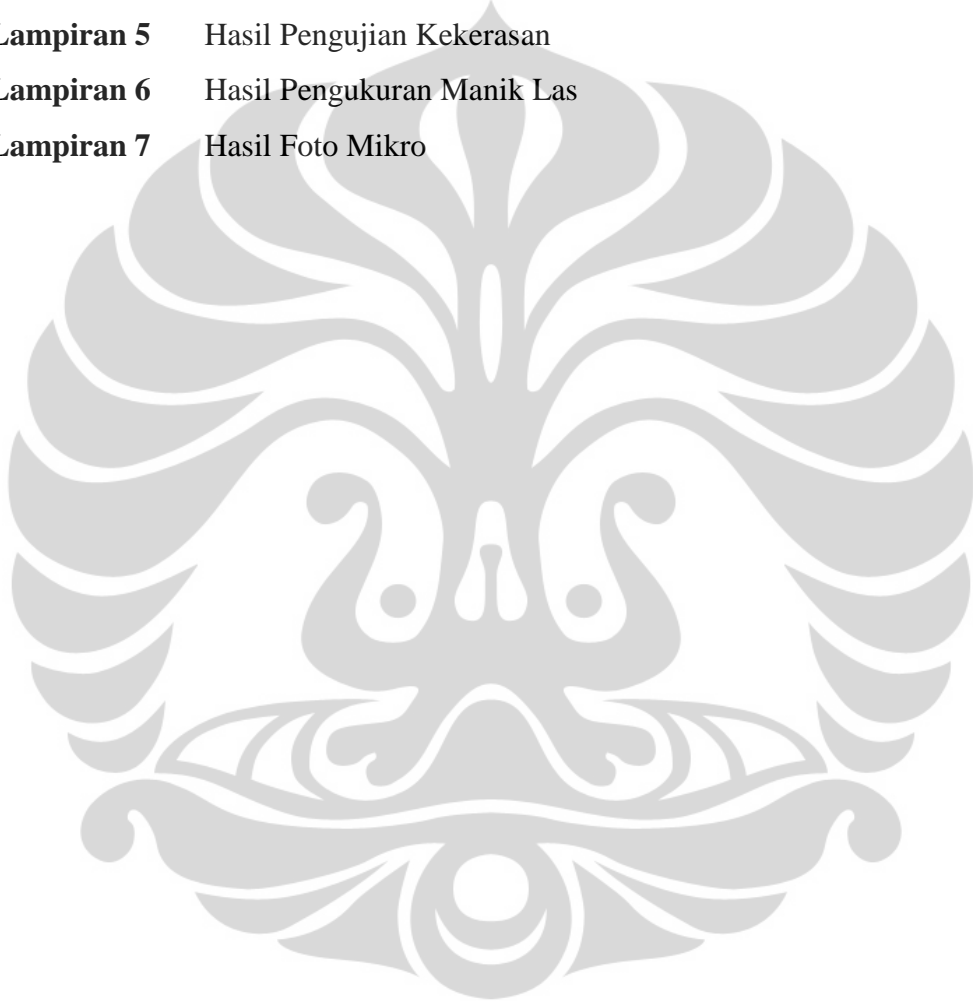
| | | Halaman |
|--------------------|--|---------|
| Gambar 1.1 | Struktur Mobil yang di Las dengan Resistance <i>Spot Welding Multiple Stacks</i> (a) <i>Inner Wing</i> dan (b) <i>Bulkhead</i> | 2 |
| Gambar 2.1. | Proses Pengelasan Titik..... | 5 |
| Gambar 2.2. | Hambatan pada Las Titik..... | 7 |
| Gambar 2.3. | Siklus Pengelasan pada Las Titik..... | 8 |
| Gambar 2.4. | Proses dan Siklus Pengelasan Titik..... | 8 |
| Gambar 2.5. | Variasi Tahanan Kontak dengan Tekanan Ujung Elektroda..... | 9 |
| Gambar 2.6. | Pengaruh Waktu Las pada Las Hambatan Titik..... | 10 |
| Gambar 2.7. | Pengaruh Arus pada Las Hambatan Titik terhadap Kuat Geser..... | 11 |
| Gambar 2.8. | <i>Tolerance Box</i> atau <i>Weldability Lobe</i> | 11 |
| Gambar 2.9. | Hubungan Antara Arus Pengelasan Dan Kekuatan Tarik-Geser Pada Pengelasan Logam <i>Dissimilar</i> | 14 |
| Gambar 3.1. | Diagram Alir Penelitian..... | 15 |
| Gambar 3.2. | Mesin Spot Welding WIM model PMC 25..... | 18 |
| Gambar 3.3. | Bentuk Sambungan Benda Kerja dan Dimensinya (a) Tiga Lembaran (b) Dua Lembaran..... | 19 |
| Gambar 3.4. | Penampang Melintang Nugget Hasil Las dan Dimensinya..... | 20 |
| Gambar 3.5. | Mesin Uji Tarik-geser Strograp-R1 Toyoseiki..... | 21 |
| Gambar 3.6. | Ilustrasi Pembebanan Tarik Geser Pada Sampel Uji..... | 21 |
| Gambar 3.7. | Perpatahan yang Dapat Terjadi Pada Sambungan..... | 21 |
| Gambar 3.8. | Indentor dan Hasil Jejak Uji Kekerasan Vicker..... | 22 |
| Gambar 4.1. | Hasil pengelasan resistansi listrik dua lembaran (a) dan tiga lembaran (b)..... | 25 |
| Gambar 4.2. | Foto Mikro Daerah Lasan Pada Sampel Dua Lembaran Dengan Perbesaran 50X..... | 25 |
| Gambar 4.3. | Foto Makro Perbesaran 10x Pada Dua Tumpukan (a) dan Tiga Tumpukan (b)..... | 26 |
| Gambar 4.4. | Grafik Perbandingan Arus Las Dengan Beban Tarik-Geser Pada Sambungan Dua Lembaran..... | 28 |
| Gambar 4.5. | Grafik Perbandingan Arus Las Dengan Beban Tarik-Geser Pada Sambungan Tiga Lembaran..... | 29 |
| Gambar 4.6. | Ilustrasi posisi pengujian kekerasan (a) dan Grafik Nilai Kekerasan Pada Sampel Dua Lembaran (b)..... | 30 |
| Gambar 4.7. | Grafik Hubungan Antara Nilai Kekerasan Dengan Arus Pengelasan Pada Sampel Dua Lembaran..... | 31 |
| Gambar 4.8. | Grafik Nilai Kekerasan Pada Sampel Tiga Lembaran..... | 32 |
| Gambar 4.9. | Grafik Hubungan Antara Nilai Kekerasan Dengan Arus Pengelasan Pada Daerah Lasan Sampel Dua Lembaran Dan Tiga Lembaran..... | 33 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 4.10. | Grafik Hubungan Antara Arus Pengelasan Dengan Lebar Manik las Yang Terbentuk..... | 34 |
| Gambar 4.11. | Grafik Hubungan Antara Lebar Manik las Dengan Kekuatan Tarik-Geser Pada Sampel Dua Lembaran (a) Dan Sampel Tiga Lembaran (b)..... | 35 |
| Gambar 4.12. | Foto mikro antarmuka baja karbon rendah dengan paduan aluminium A5052 dengan perbesaran 500x..... | 36 |
| Gambar 4.13. | Permukaan Patahan Sisi A5052 Pada Arus Pengelasan 6 kA (a), 8 kA (b), 10 kA (c), dan 12 kA (d) Serta Skema Ilustrasinya (e),(f),(g),(h)..... | 37 |



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Jadwal Kegiatan Penelitian
- Lampiran 2** Tanda Terima Sampel Baja
- Lampiran 3** Hasil Uji Komposisi Material Baja
- Lampiran 4** Hasil Pengujian Tarik-Geser
- Lampiran 5** Hasil Pengujian Kekerasan
- Lampiran 6** Hasil Pengukuran Manik Las
- Lampiran 7** Hasil Foto Mikro



BAB 1

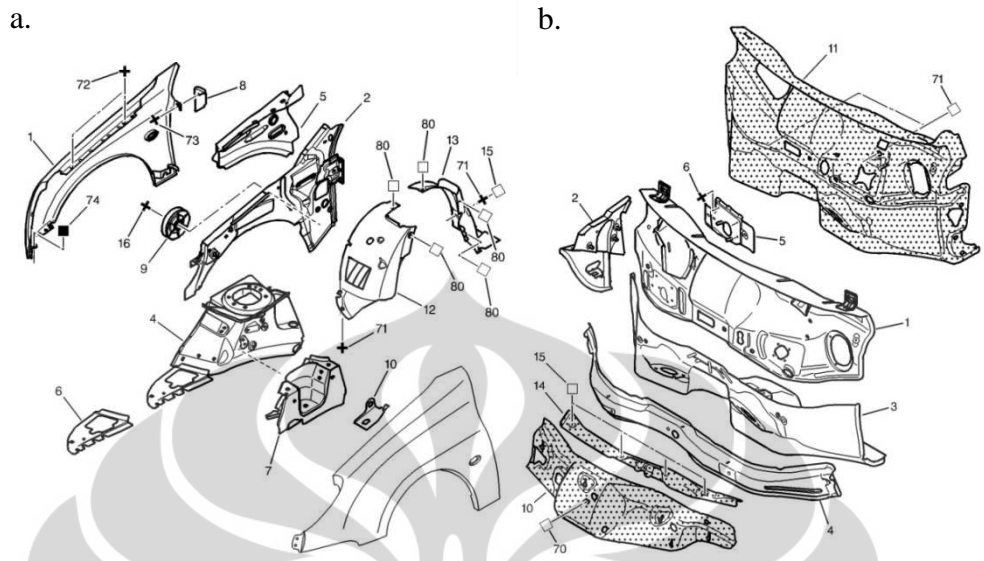
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode pengelasan resistansi titik (*resistance spot welding*) termasuk salah satu metode pengelasan tertua yang telah banyak digunakan untuk menyambungkan berbagai material. Metode ini merupakan salah satu dari beberapa metode pengelasan resistansi (*resistance welding*), yaitu pengelasan tumpukan logam yang memanfaatkan hambatan listrik sebagai sumber panas dan juga tekanan. Pengelasan resistansi titik telah digunakan secara luas dalam berbagai macam keperluan fabrikasi, terutama pada industri otomotif. Contohnya, pada penyambungan badan mobil saat ini memerlukan 7.000 sampai 12.000 titik pengelasan tergantung dari jenis dan ukuran mobil tersebut, oleh karena itu pengelasan titik merupakan proses yang penting dalam suatu industri otomotif. ⁽¹⁾

Seiring dengan perkembangan zaman, mobilitas manusia dituntut semakin tinggi. Oleh karena itu diperlukan kendaraan yang lebih cepat tetapi tetap memiliki efisiensi tinggi dalam penggunaan bahan bakar. Salah satu jalan adalah dengan mereduksi bobot dari suatu kendaraan. Penggunaan struktur hibrida aluminium paduan (*aluminum alloy*) dan baja untuk suatu produksi mobil merupakan satu cara yang dapat dilakukan untuk mereduksi bobot mobil tersebut.

Dengan meningkatnya permintaan akan struktur kendaraan yang ringan tersebut, maka pengelasan resistansi titik dengan beberapa tumpukan (*multiple stacks*) baik dengan material yang sama (*similar*) ataupun dengan material yang berbeda (*dissimilar*) semakin banyak diterapkan di beberapa struktur yang rumit, seperti pada *front longitudinal rails*, *A-*, *B-*, and *C-pillars*, dan *the bulkhead to inner wing*. ⁽²⁾



Gambar 1.1 Struktur Mobil yang di Las dengan *Resistance Spot Welding Multiple Stacks* (a) *Inner Wing* dan (b) *Bulkhead* ⁽³⁾

Walaupun demikian, karena kerumitan struktur dari *multiple stacks* dengan adanya variasi ukuran dimensi dan jenis tumpukan, maka kualitas dari pembentukan manik las (*nugget*) menjadi perhatian yang penting. Bentuk dan ukuran manik las yang dihasilkan akan menentukan kualitas dari sambungan tumpukan-tumpukan tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan adanya penelitian yang memfokuskan terhadap masalah pengaruh pembentukan manik las terhadap kualitas sambungan pada pengelasan titik *multiple stacks* dengan material yang berbeda.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh beda arus pengelasan terhadap sifat sambungan dengan pengelasan hambatan titik dua tumpukan dan tiga tumpukan.
2. Mengetahui pengaruh ukuran manik las pada pengelasan hambatan titik dua tumpukan dan tiga tumpukan terhadap sifat fisik sambungan.
3. Mengetahui perbandingan sifat mekanik hasil lasan antara baja karbon rendah-A5052 tiga tumpukan dan dua tumpukan.

1.3 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah:

1. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - a. Material elektroda paduan tembaga (Cu).
 - b. Tumpukan baja karbon rendah dengan ketebalan 0,6 mm.
 - c. Tumpukan aluminium paduan A5052 dengan ketebalan 1,5 mm.
2. Proses pengelasan titik dilakukan dengan tiga tumpukan dan dua tumpukan, dengan susunan baja karbon rendah - aluminium paduan - baja karbon rendah untuk tiga tumpukan dan baja karbon rendah - aluminium paduan untuk dua tumpukan.
3. Variabel parameter las yang digunakan adalah:
 - Waktu konstan 1 detik
 - Besar Arus: 6.000, 8.000, 10.000 dan 12.000 A
 - Besar tekanan yang diberikan 150 kgf
4. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:
 - a. Pengujian tarik untuk sampel pengelasan titik.
 - b. Pengamatan struktur makro sambungan setelah pengelasan titik dan pengukuran manik las.
 - c. Pengujian kekerasan mikro di sepanjang daerah lasan.

1.4 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun menjadi lima bab, yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, dan kesimpulan.

Bab 1 Pendahuluan, berisi mengenai latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Dasar Teori, berisi teori yang mengacu pada penelitian, diantaranya tentang prinsip pengelasan titik, pengaruh parameter las titik, dan pengelasan titik logam *dissimilar*.

Bab 3 Metodologi Penelitian, berisi diagram alir penelitian, peralatan, dan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian, dan prosedur pengujian yang dilakukan.

Bab 4 Hasil dan Pembahasan, berisi pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar maupun grafik serta pembahasan mengenai hasil pengujian dan membandingkan dengan teori serta hasil penelitian sebelumnya.

Bab 5 Kesimpulan, berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

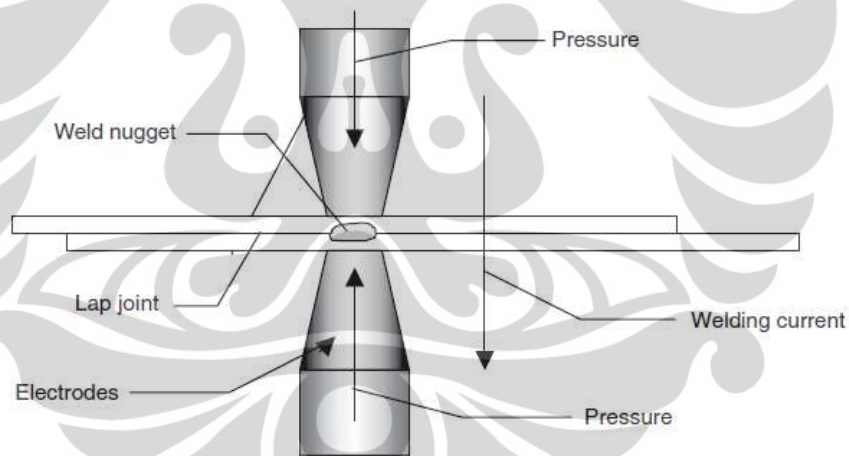


BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Prinsip Las Titik

Pengelasan hambatan titik merupakan suatu proses *fusion welding* yang membutuhkan penerapan panas dan juga tekanan untuk mendapatkan sambungan yang baik. Panas yang dibutuhkan untuk mencairkan antar muka logam didapatkan dengan memanfaatkan hambatan listrik pada material yang akan disambung. Arus diberikan pada material yang disusun menumpuk (*lap joint*) kemudian karena adanya hambatan listrik yang besar pada antarmuka logam maka akan timbul panas. Ciri utama proses ini adalah arus yang diberikan pada proses ini sangat singkat sehingga membutuhkan arus yang besar untuk menghasilkan panas yang cukup besar untuk menyambung material. ⁽⁴⁾



Gambar 2.1 Proses Pengelasan Titik ⁽⁵⁾

Energi panas yang digunakan untuk menyambungkan material dihasilkan karena adanya arus yang mengalir dan mengalami kontak listrik akibat bertemu dengan hambatan di antara dua tumpukan material, seperti yang diberikan pada persamaan berikut ⁽⁶⁾:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.1)$$

Dimana:

Q = Panas yang dihasilkan (Joule)

I = Arus (Ampere)

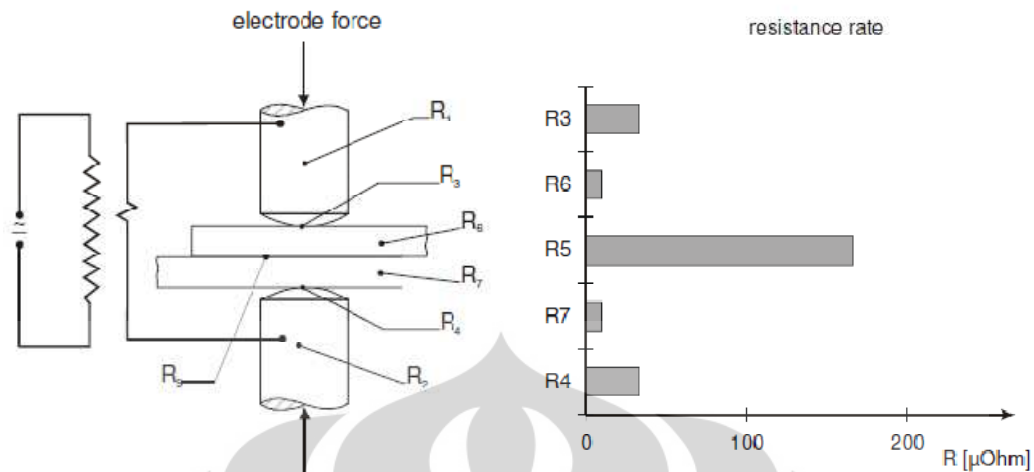
R = Tahanan listrik antara permukaan benda kerja (Ohm)

t = Waktu aliran (detik)

2.2 Distribusi Panas pada Daerah Las

Energi panas yang dihasilkan pada suatu lokasi yang dialiri arus listrik yang sama, besarnya proporsional terhadap tahanan listrik yang terjadi. Pada daerah antara elektroda dan benda kerja, terdapat zona - zona yang memiliki tahanan listrik yang berbeda, seperti terlihat pada Gambar 2.2. Dengan demikian secara otomatis akan menimbulkan distribusi panas selama proses pengelasan berlangsung. Zona-zona tersebut umumnya adalah ⁽⁷⁾:

1. Elektroda bagian atas (R_1)
2. Kontak antara elektroda dengan benda kerja bagian atas (R_3)
3. Tumpukan kerja bagian atas (R_6)
4. Kontak antara permukaan benda kerja (R_5)
5. Tumpukan benda kerja bagian bawah (R_7)
6. Kontak antara elektroda dengan benda kerja bagian bawah (R_4)
7. Elektroda bagian bawah (R_2)

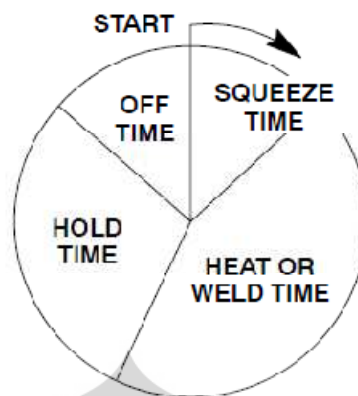


Gambar 2.2 Hambatan pada Las Titik⁽⁸⁾

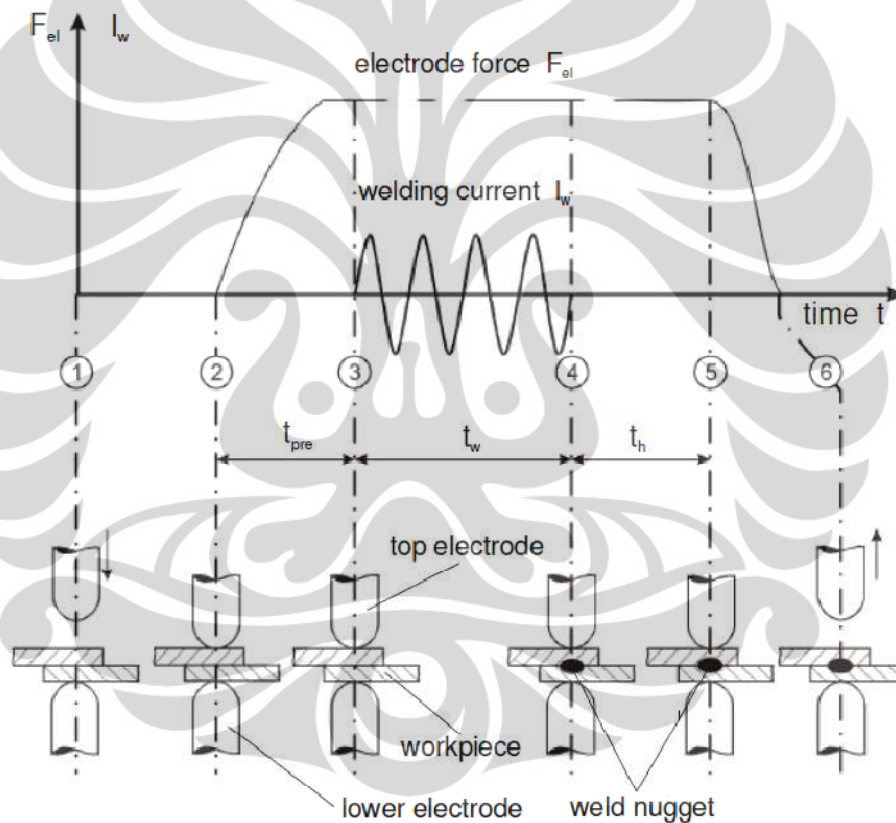
2.3 Siklus Las titik

Dalam pengelasan titik dikenal siklus las, Gambar 2.3 merupakan siklus selama proses pengelasan. Pada las titik dikenal empat siklus pengelasan :

1. *Squeeze Time*, selang waktu antara awal pemberian gaya (penekanan) pada logam dasar sampai awal pemberian arus. *Squeeze time* diperlukan untuk menunda pemberian arus pengelasan hingga gaya tekan elektroda mencapai tekanan yang telah diatur.
2. *Weld Time*, selang waktu pemberian arus ke benda kerja dengan gaya elektroda konstan.
3. *Hold Time*, waktu pemberian gaya elektroda konstan pada titik hasil las (manik las) dimana arus sudah tidak mengalir. Saat ini manik las membeku, sampai memiliki kekuatan yang cukup.
4. *Off Time*, waktu elektroda tidak bekerja pada logam induk dan siap pada lokasi las lainnya.



Gambar 2.3 Siklus Pengelasan pada Las Titik⁽⁹⁾



Gambar 2.4 Proses dan Siklus Pengelasan Titik⁽⁸⁾

2.4 Pengaruh Parameter Las terhadap Hasil Lasan

Ada tiga variabel penting dalam teknik pengelasan hambatan titik, yaitu:

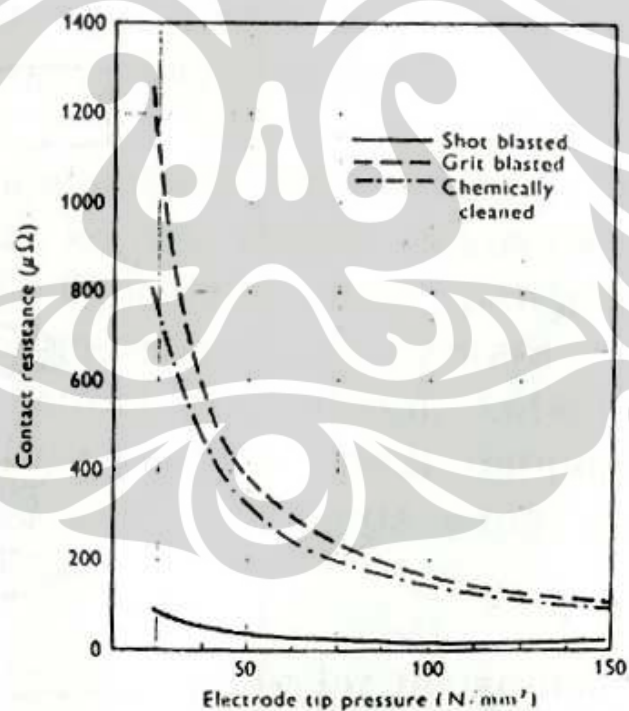
- a. Tahanan listrik

- b. Tekanan elektroda
- c. Arus dan waktu pengelasan

Tahanan listrik seperti yang tertulis dalam persamaan (2.1) telah di jelaskan pada subbab 2.2. Tahanan listrik terbesar yang diharapkan pada pengelasan ini adalah pada antar muka benda kerja, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.

2.4.1 Pengaruh Tekanan Elektroda

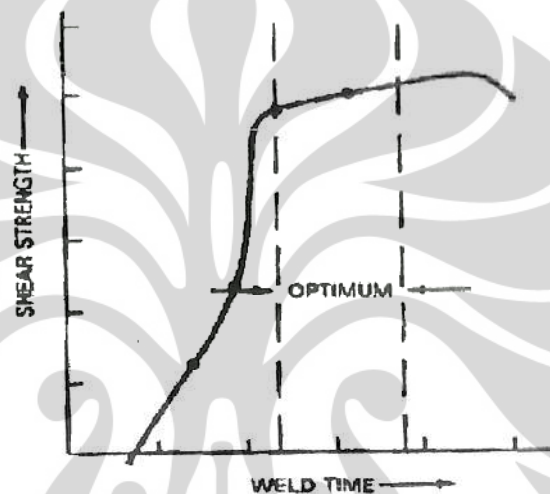
Tekanan elektroda mempunyai fungsi sebagai penempaan terhadap benda kerja sehingga dapat menghasilkan deposit las yang memiliki butir yang halus dan juga membuat kontak antar permukaan benda kerja baik. Dengan adanya peningkatan pada tekanan elektroda maka berpengaruh terhadap penurunan tahanan kontak seperti diperlihatkan pada Gambar 2.5 untuk material baja.



Gambar 2.5 Variasi Tahanan Kontak dengan Tekanan Ujung Elektroda⁽¹⁰⁾

2.4.2 Pengaruh Waktu Las

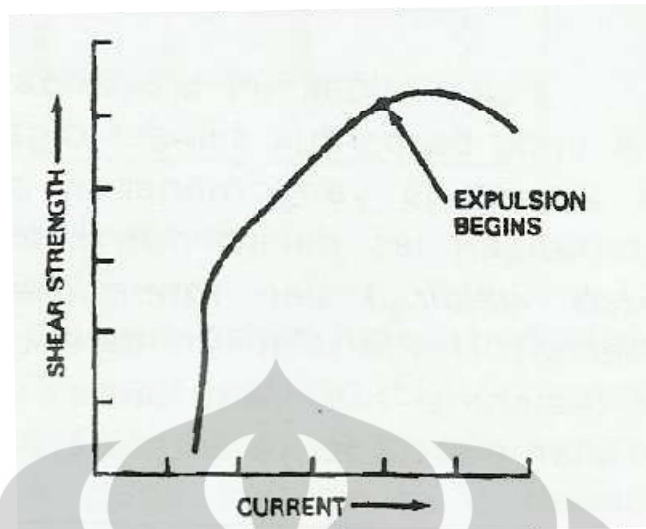
Waktu dan Arus pengelasan merupakan parameter yang menentukan masukan panas yang diberikan kepada benda kerja. Pengaruh waktu pengelasan terhadap kuat geser dapat dilihat pada gambar 2.6. Pada grafik tersebut diperlihatkan adanya area optimum untuk waktu pengelasan, bila waktu pengelasan terlalu singkat maka kuat geser akan turun begitu juga bila waktu pengelasan terlalu lama maka kuat geser akan menurun.



Gambar 2.6 Pengaruh Waktu Las pada Las Hambatan Titik⁽¹⁰⁾

2.4.3 Pengaruh Arus Las

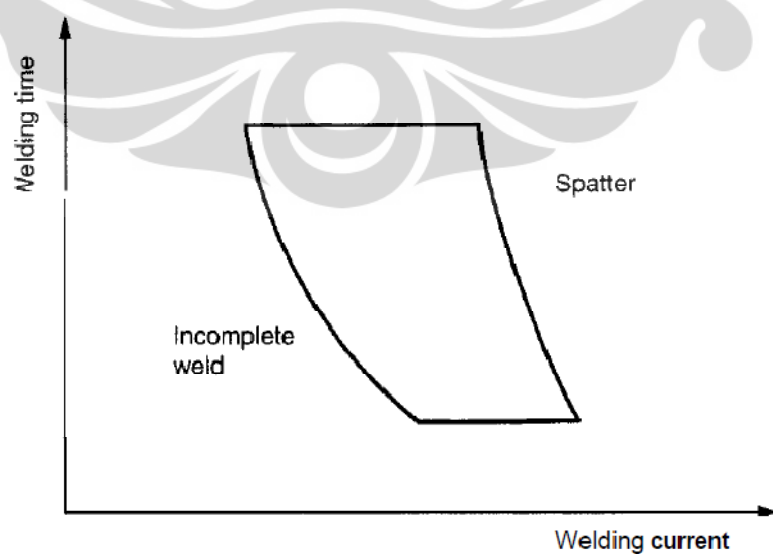
Arus pengelasan menentukan kecepatan pemberian panas sehingga arus merupakan salah satu variabel yang paling kritis. Pengaruh arus terhadap kuat geser dapat dilihat pada Gambar 2.7. Jumlah masukan panas yang diberikan proporsional terhadap kuadrat arus las yang diberikan. Densitas arus yang terlalu tinggi akan menyebabkan logam cair terlempar (*spatter*) sehingga terbentuk rongga, retak dan berdampak pada sifat mekanik lasan yang rendah. Densitas arus yang terlalu rendah juga menghasilkan sifat mekanik lasan yang rendah karena area lasan yang terlalu kecil.⁽⁶⁾



Gambar 2.7 Pengaruh Arus pada Las Resistansi Titik terhadap Kuat Geser⁽¹⁰⁾

2.4.4 Kotak Toleransi (*Tolerance Box*)

Area yang terdapat pada diagram yang menunjukkan hasil lasan titik yang dapat diterima dapat dihasilkan disebut kotak toleransi atau *weldability lobe*. Densitas arus yang terlalu tinggi akan menyebabkan logam cair terlempar (*spatter*) sehingga terbentuk rongga, retak dan berdampak pada sifat mekanik lasan yang rendah. Densitas arus yang terlalu rendah juga menghasilkan sifat mekanik lasan yang rendah karena area lasan yang terlalu kecil.



Gambar 2.8 *Tolerance Box* atau *Weldability Lobe*⁽⁶⁾

S.Aslanlar ⁽¹¹⁾ menunjukkan bahwa pada pengelasan titik dua lembar baja dengan beda ketebalan, diameter manik las saja atau tinggi manik las saja tidak cukup untuk menjelaskan pengaruh manik las terhadap kekuatan tarik-geser pada baja karbon, tetapi rasio keduanya dapat menjelaskan hal tersebut. Dalam penelitiannya tersebut, semakin tinggi rasio antara tinggi dengan diameter manik las maka kekuatan tarik-geser dari sambungan akan menurun dan terdapat daerah optimal.

Pada penelitian tentang pengelasan titik dua tumpukan antara aluminium paduan A5052 dengan baja SPCC yang dilakukan oleh Qiu, et al ⁽¹²⁾ menunjukkan bahwa pada kuat arus las 6 kA memiliki kuat tarik-geser yang paling baik dari kuat arus 6-12 kA. Pada penelitiannya tersebut juga dijelaskan bahwa sambungan yang kuat antara aluminium paduan A5052 dengan baja SPCC dapat dihasilkan dengan proses pengelasan yang dapat membentuk *discontinuous reaction layer formation* pada antarmuka lasan. Shen, et al ⁽²⁾ yang meneliti tentang pengelasan titik tumpukan baja dengan tiga tumpukan menunjukkan bahwa penempatan baja dengan grade berbeda dan tebal berbeda pada tiga tumpukan baja tersebut mempengaruhi ukuran dari manik las dan penetrasinya. Hal tersebut karena adanya perbedaan kontak resistivitas dari grade baja yang berbeda.

2.5 Pengelasan Logam *Dissimilar*

Pada pengelasan material, konduktivitas panas, perbedaan titik leleh dan kelarutan dari masing-masing material yang disambungkan merupakan unsur penting yang berperan dalam menentukan karakteristik mekanik suatu hasil sambungan. Penyambungan dua material yang berbeda sangat bergantung pada sifat kedua material. Berdasarkan pada sifat spesifik material, banyak perbedaan yang signifikan antara kedua material dari titik leleh, konduktivitas termal, hingga resistivitas listrik yang dapat memicu berbagai masalah selama penyambungan terutama dengan cara pengelasan titik. Pada penelitian ini penyambungan yang akan dilakukan adalah antara material baja karbon rendah dengan paduan aluminium A5052, tabel 2.1 akan membandingkan antara sifat spesifik dua material tersebut yang akan mempengaruhi hasil sambungan.

Tabel 2.1 Sifat Spesifik Material Baja Karbon Rendah dan Paduan Aluminium A5052

(13,14)

| Material | Tm (°C) | Electrical resistivity (ohm.cm) | Thermal conductivity (W/m.K) |
|--------------------|---------|---------------------------------|------------------------------|
| Baja Karbon Rendah | 1426 | 0,0000142 | 65,2 |
| A5052 | 607-649 | 0,00000499 | 138 |

Aluminium 5052 adalah paduan aluminium-magnesium yang dapat dikeraskan dengan metode pengerjaan dingin. Paduan aluminium A5052 mengandung magnesium sekitar 2,5% dan 0,25% kromium. Paduan aluminium ini memiliki kemampu lasan yang baik, kekuatan fatik yang tinggi, kekuatan statik yang cukup baik, dan memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Tabel 2.2 berikut memperlihatkan beberapa sifat dari paduan aluminium A5052.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium A5052⁽¹⁴⁾

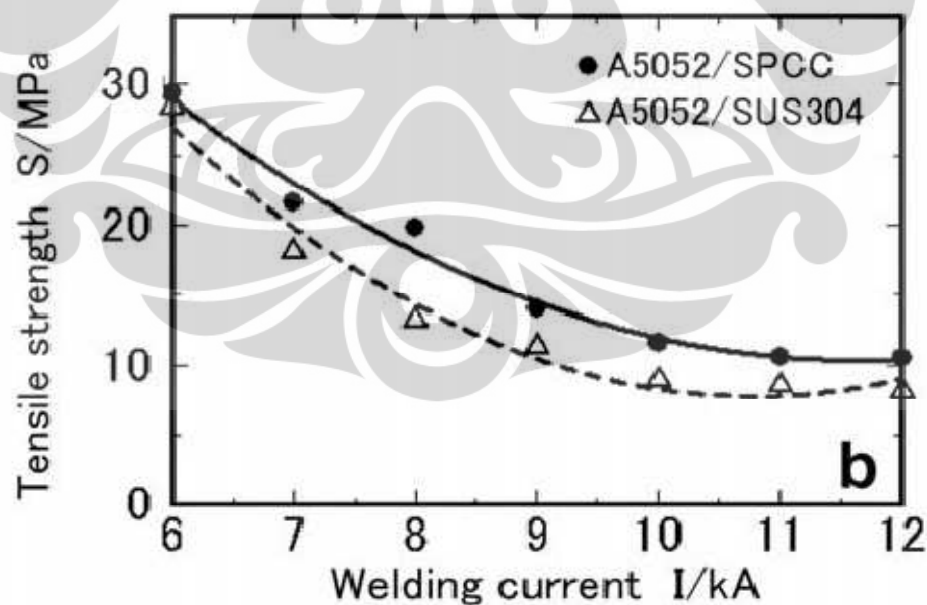
| Sifat | |
|---------------------|----------|
| Kekerasan, Brinell | 68 |
| Kekerasan, Knoop | 91 |
| Kekerasan, Vickers | 78 |
| UTS | 262 Mpa |
| Kekuatan tensile | 214 Mpa |
| Modulus elastisitas | 70,3 Gpa |
| Kekuatan geser | 145 Mpa |
| Modulus geser | 25,9 Gpa |

Penyambungan antara baja karbon dan paduan aluminium ini memiliki masalah sebagai konsekuensinya yaitu pembentukan paduan intermetalik. Paduan intermetalik ini umumnya memiliki kekerasan yang jauh lebih tinggi dari fasa matriknya yang mengakibatkan dapat terbentuknya retakan pada sambungan. Pada tabel 2.3 diperlihatkan fasa intermetalik yang dapat terbentuk antara baja dan aluminium serta kekerasannya.

Tabel 2.3 Paduan Intermetalik ⁽¹⁵⁾

| Fasa | Kandungan Al (at.%) | Struktur | Microhardness | Densitas (g/cm ³) |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Fe ₃ Al | 25 | Ordered BCC | 250–350 | 6.67 |
| FeAl | 50 | Ordered BCC | 400–520 | 5.37 |
| Fe ₂ Al ₇ | 63 | Complex BCC | 650–680 | NA |
| FeAl ₂ | 66–67 | Complex rhombohedral | 1000–1050 | 4.36 |
| Fe ₂ Al ₅ | 69.7–73.2 | BCC orthorhombic | 1000–1100 | 4.11 |
| FeAl ₃ | 74–76 | Highly complex monoclinic BCC | 820–980 | 3.95 |

Pada penelitian tentang pengelasan resistansi titik dengan benda kerja *dissimilar* antara baja SPCC dan aluminium paduan A5052, Qiu, et al ⁽¹²⁾ menunjukkan bahwa pada kuat arus las 6 kA memiliki kuat tarik-geser yang paling baik dari kuat arus 6-12 kA. Pada gambar 2.9 diperlihatkan hubungan antara pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik pada logam *dissimilar*.



Gambar 2.9 Hubungan Antara Arus Pengelasan Dan Kekuatan Tarik-Geser Pada Pengelasan Logam *Dissimilar* ⁽¹²⁾

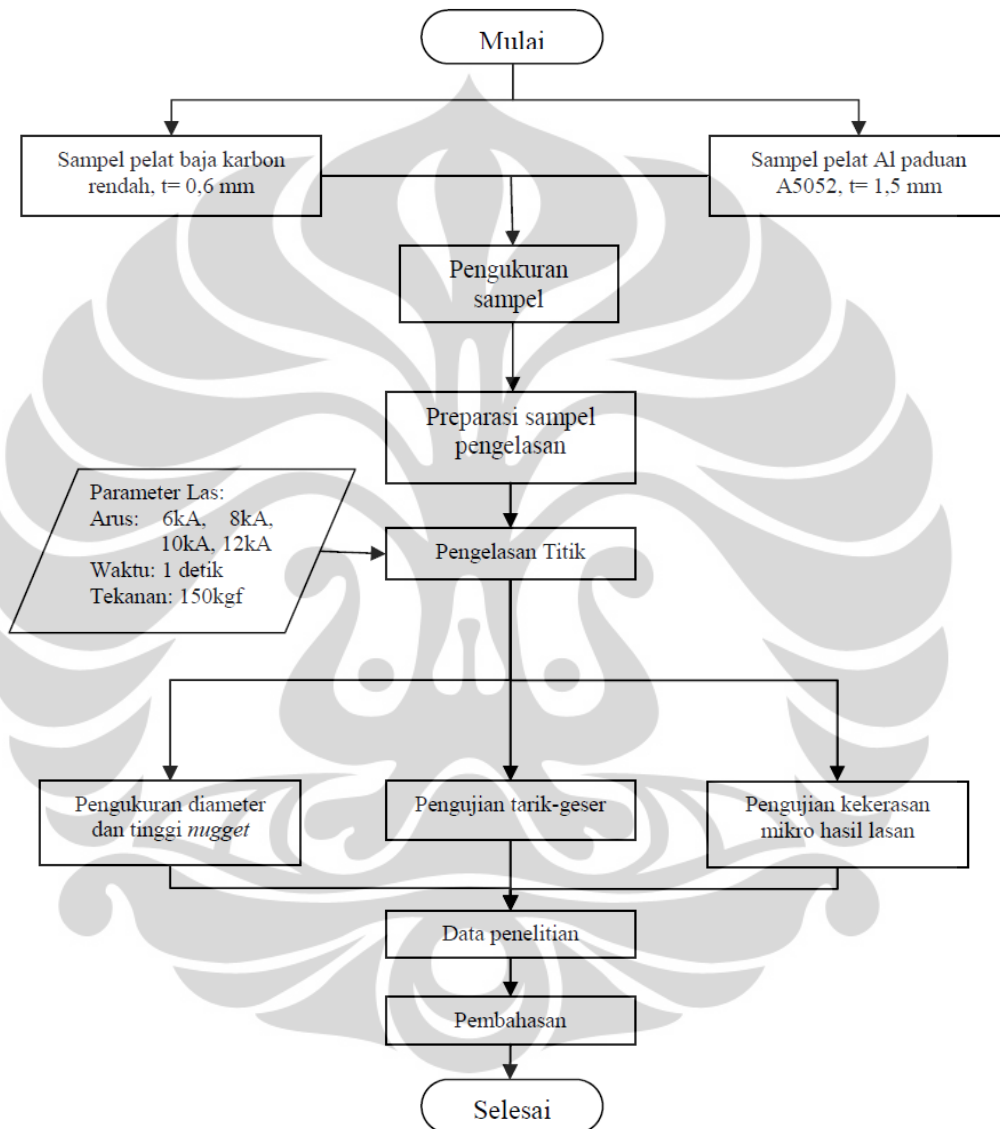
Pada gambar tersebut juga diperlihatkan bahwa dengan kenaikan arus pengelasan maka kekuatan tarik dari sambungan akan meningkat. Qiu, et al ⁽¹²⁾ juga menyebutkan bahwa hal tersebut terjadi karena adanya pengaruh *reaction layer* antara dua logam berbeda tersebut. Bila fraksi antara *discontinuous reaction layer* dan diameter manik las semakin besar maka kekuatan tarik dari sambungan akan semakin besar.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yg digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin Las titik
2. Alat potong
3. Penggaris
4. Mikroskop ukur
5. Mesin Uji Kekerasan Vickers
6. Mesin uji tarik-geser
7. Mesin Poles
8. Mesin Amplas
9. Makroskop optik untuk foto makro

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Tumpukan baja karbon rendah dengan ketebalan 0,6 mm
2. Tumpukan aluminium paduan A5052 dengan ketebalan 1,5 mm
3. Elektroda Cu-Cr
4. Kertas amplas
5. Media pembersih tumpukan dari debu dan sisa oli
6. Titanium Dioksida (TiO₂)
7. Kain Beludru
8. Zat Etsa Kimia

3.3 Persiapan Sample

Proses pembuatan sampel ini dibagi menjadi dua, yang pertama menggunakan material baja karbon rendah yang berasal dari *scrap* dari perusahaan produsen mobil yang kemudian dipotong sesuai ISO 14273-2001 dengan ukuran 105 x 30 mm dan yang kedua menggunakan material aluminium

paduan A5052 dipotong dengan ukuran 35 x 30 mm dan 105 x 30 mm. Tahapan pembuatan sampel adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan sampel material.
2. Mengukur dimensi sampel yang akan digunakan dengan menggunakan penggaris rotring dan spidol.
3. Memotong sampel dengan bantuan alat potong besi.
4. Membersihkan sample dari lemak dan oksida.

Komposisi dari kedua material tersebut ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Komposisi kimia bahan

| Unsur | baja karbon rendah | Aluminium A5052 |
|-------|--------------------|-----------------|
| C | 0,005 | - |
| Fe | 99,801 | < 0,4 |
| Si | 0,01 | < 0,25 |
| Mn | 0,133 | < 0,1 |
| P | < 0,01 | - |
| S | < 0,01 | - |
| Cr | 0,014 | 0,15 – 0,35 |
| Mo | < 0,01 | - |
| Ni | < 0,01 | - |
| Al | 0,0362 | 95,7 – 97,7 |
| Co | < 0,01 | - |
| Cu | < 0,005 | < 0,1 |
| Nb | < 0,005 | - |
| Ti | 0,0108 | - |
| V | < 0,005 | - |
| W | < 0,0250 | - |
| Pb | < 0,050 | - |
| Mg | - | 2,2 – 2,8 |
| Zn | - | < 0,1 |

3.4 Pengelasan Titik

Proses ini dilakukan dengan mesin las titik merk WIM model PMC 25. Dalam penelitian ini dibuat parameter las dengan waktu konstan dan arus yang bervariasi. Tahapan pengelasan titik adalah sebagai berikut:

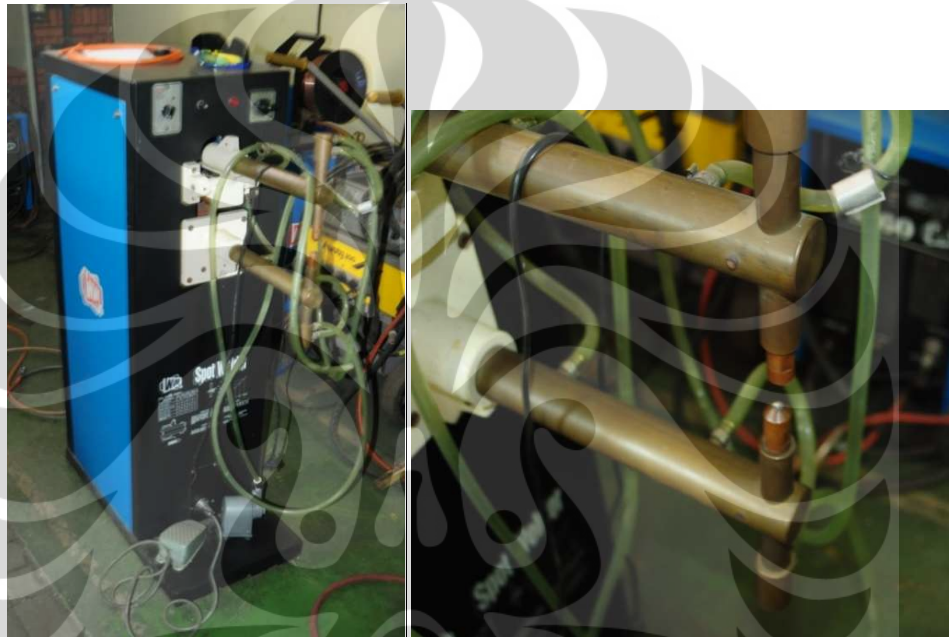
1. Menetapkan parameter las yang digunakan.

Parameter las yang digunakan adalah:

Waktu konstan 1 detik

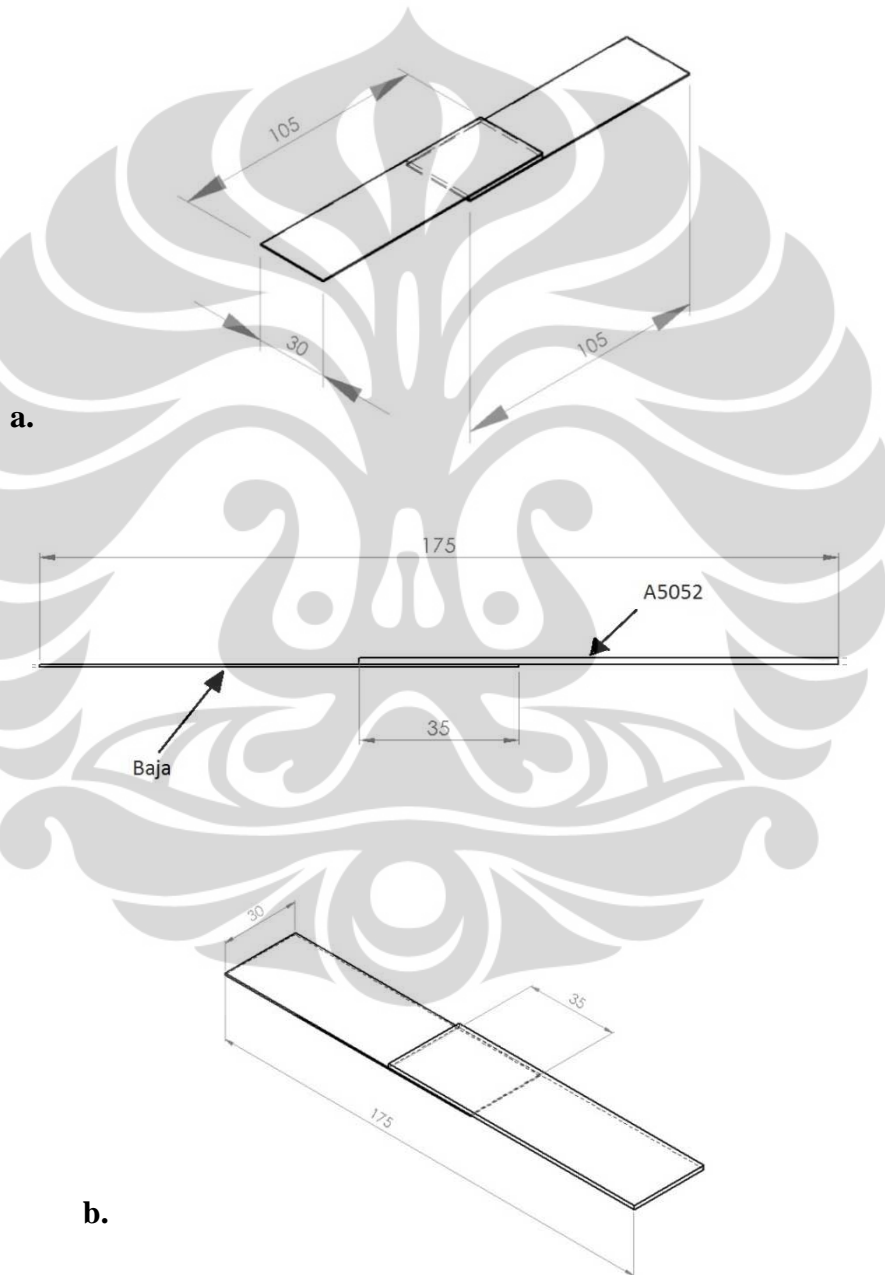
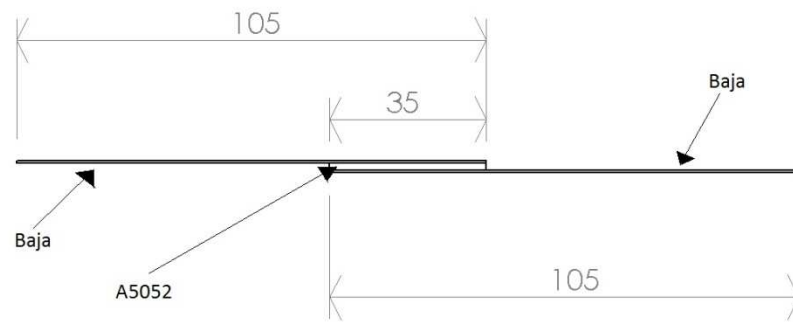
Besar Arus: 6.000, 8.000, 10.000 dan 12.000 A

Besar tekanan yang diberikan 150 kgf



Gambar 3.2 Mesin Spot Welding WIM model PMC 25

2. Menyambungkan material sampel dengan tipe *lap joint* (tumpang tindih), dengan panjang *lap joint* adalah 35 mm. Pengelasan dilakukan dengan dua tipe benda kerja, pertama dengan tiga tumpukan seperti pada Gambar 3.3a dan kedua dengan dua tumpukan seperti pada Gambar 3.3b.

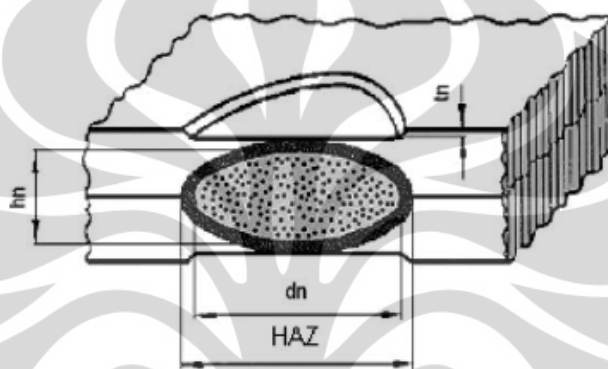


Gambar 3.3 Bentuk Sambungan Benda Kerja dan Dimensinya (a) Tiga Tumpukan
(b) Dua Tumpukan.

3. Melakukan proses las untuk kedua parameter yang telah ditentukan.

3.5 Pengukuran Manik las

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besar dimensi hasil las yang terbentuk setelah proses pengelasan dilakukan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan mikroskop ukur. Dimensi manik las yang diukur adalah lebar manik las (d_n).



Gambar 3.4 Penampang Melintang Manik las Hasil Las dan Dimensinya⁽¹¹⁾

3.6 Pengujian Tarik-geser

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan terhadap kerusakan akibat beban yang diberikan. Pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan mesin tarik tensile tester Strograp-R1 Toyoseiki yang terdapat di Laboraturum Kelompok Bahan Industri, Bidang Proses Radiasi-PATIR-BATAN. Adapun kecepatan penarikan yang digunakan adalah 500 mm/menit. Dari hasil pengujian selanjutnya akan dilihat nilai dari kekuatan maksimum yang dimiliki (*ultimate tensile strength*).

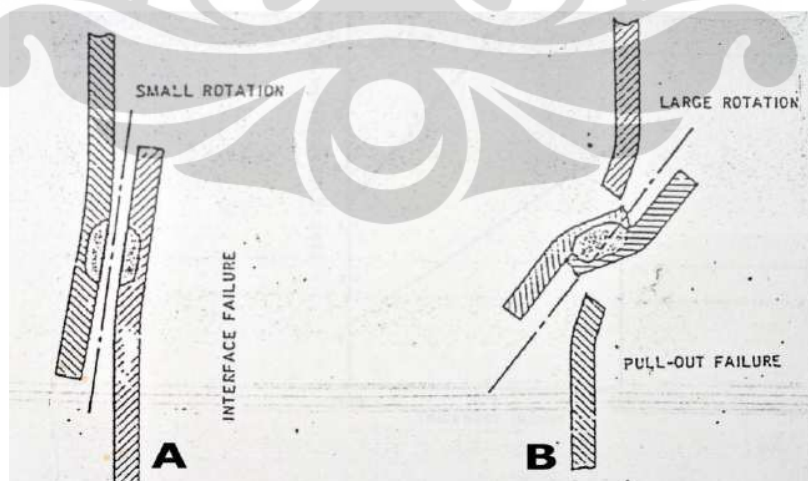


Gambar 3.5 Mesin Uji Tarik-geser Strograp-R1 Toyoseiki

Secara skematis Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 memperlihatkan pergerakan beban pada sampel las titik saat pengujian tarik geser dan bentuk perpatahan yang dapat terjadi pada sambungan.



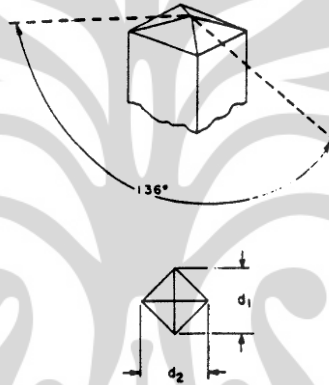
Gambar 3.6 Ilustrasi Pembebanan Tarik Geser Pada Sampel Uji⁽⁷⁾



Gambar 3.7 Perpatahan yang Dapat Terjadi Pada Sambungan⁽⁷⁾

3.7 Pengujian Kekerasan Mikro

Metode pengujian kekerasan yang dipakai yaitu metode kekerasan mikro Vickers yang menggunakan standar ASTM E384. Pengujian ini dilakukan di PT. FSCM. Pengujian kekerasan mikro dilakukan di sepanjang daerah hasil lasan. Prinsip pengujiannya yaitu dengan melakukan penjejakan atau indentasi pada sampel dengan indentor intan berbentuk piramida dengan kemiringan sekitar 136° . Jejak indentasi yang terdapat pada sampel akan berbentuk segi empat atau belah ketupat yang dapat dihitung panjang diagonal-diagonalnya (lihat Gambar 3.8).



Gambar 3.8 Indentor dan Hasil Jejak Uji Kekerasan Vickers⁽¹⁶⁾

Panjang diagonal jejak yang dihasilkan selama proses penjejakan dapat dihitung dengan menggunakan skala penghitung yang terdapat pada mikroskop mesin uji kekerasan mikro Vickers. Setelah panjang diagonal-diagonalnya diketahui maka nilai kekerasan dari sampel dapat diketahui dengan menggunakan rumus kekerasan Vickers. Berikut merupakan persamaan untuk mencari kekerasan Vickers⁽¹⁶⁾:

$$HV = \frac{1854.4 \times P}{d^2} \quad (3.1)$$

Dimana :

P = beban yang digunakan (gram)

d = rata-rata diagonal jejak (μm)

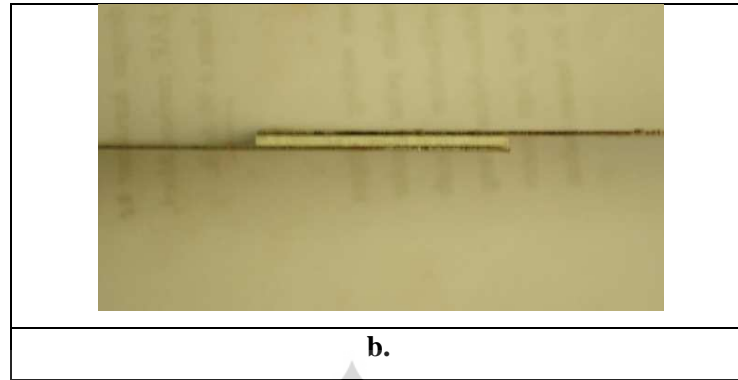
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengelasan Titik

Pengelasan resistansi titik dilakukan pada dua material yang berbeda antara baja karbon rendah dan aluminium paduan A5052. Setelah dilakukan proses pengelasan kedua material ini tersambung dengan baik. Hasil dari pengelasan dua tumpukan dan tiga tumpukan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.1(a) dan gambar 4.1(b), tumpukan yang berwarna abu-abu gelap adalah baja karbon rendah dan yang berwarna abu-abu terang adalah aluminium paduan A5052.





Gambar 4.1 Hasil pengelasan resistansi listrik dua tumpukan (a) dan tiga tumpukan (b)

Dari hasil pengelasan yang telah tersambung dengan baik, sampel kemudian dipotong tepat ditengah sambungan yang terbentuk untuk melihat penampang melintang dari hasil pengelasan. Pada gambar 4.2 diperlihatkan foto mikro penampang melintang dari sampel dua tumpukan dengan perbesaran 50 kali.

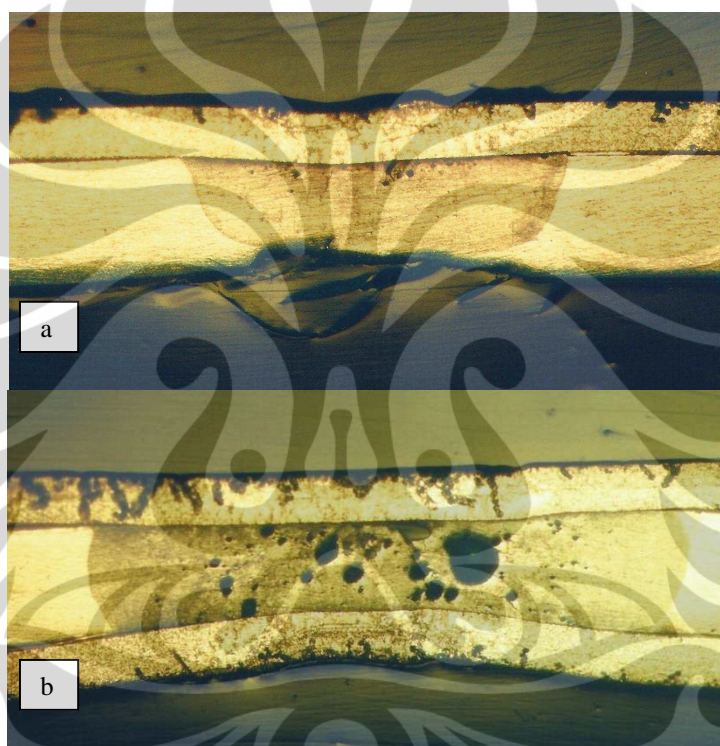


Gambar 4.2 Foto Mikro Daerah Lasan Pada Sampel Dua Tumpukan Dengan Perbesaran 50X

Gambar tersebut menunjukkan foto mikro dari daerah hasil lasan, batas garis merah merupakan batas daerah lasan. Letak manik las yang dihasilkan dari pengelasan logam *dissimilar* ini tidak berada tepat di tengah antarmuka logam.

Penetrasi yang dihasilkan lebih besar pada baja karbon rendah dibandingkan pada aluminium paduan A5052. Perbedaan besar penetrasi ini disebabkan karena perbedaan dari sifat awal kedua logam yang berbeda cukup jauh. Karena resistivitas listrik baja karbon rendah lebih tinggi ($14,2 \times 10^{-6}$ ohm.cm) dibandingkan dengan A5052 ($4,99 \times 10^{-6}$ ohm.cm), maka panas yang dihasilkan di daerah baja karbon rendah lebih tinggi sesuai dengan persamaan (2.1).

Gambar 4.3 dibawah ini menunjukkan foto makro dari penampang melintang hasil las dua tumpukan dan tiga tumpukan.



Gambar 4.3 Foto Makro Perbesaran 10x Pada Dua Tumpukan (a) dan Tiga Tumpukan (b)

Gambar tersebut juga memperlihatkan perbedaan manik las yang terbentuk dari hasil lasan dua tumpukan dan tiga tumpukan.

4.2. Hasil Pengujian Tarik-Geser

Pengujian tarik-geser dilakukan pada sampel dua tumpukan dan tiga tumpukan dengan arus las bervariasi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui

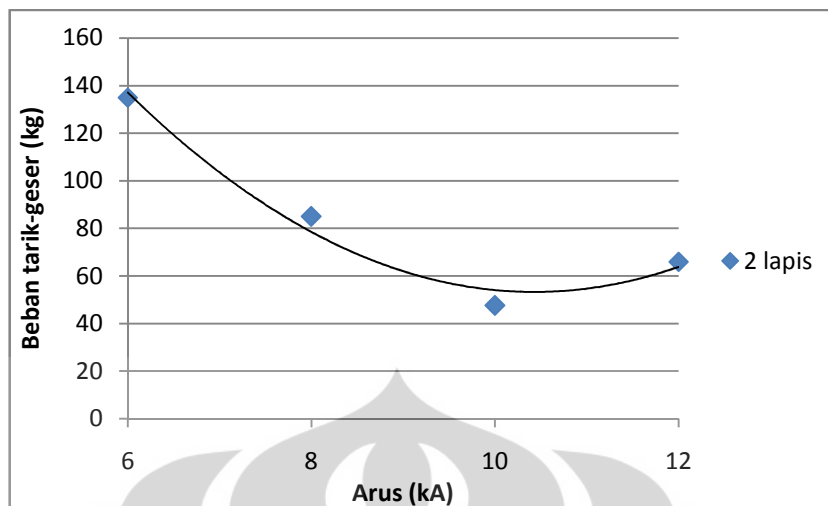
besar kekuatan dari sambungan kedua material berbeda tersebut. Dengan adanya variasi besar arus las akan diketahui bagaimana pengaruh terhadap kekuatan tarik-geser dari sambungan. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian tarik geser dari masing-masing sampel.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tarik-Geser

| Sampel | Arus (kA) | Beban tarik-geser (kg) |
|------------|-----------|------------------------|
| 2 tumpukan | 6 | 135 |
| | 8 | 85 |
| | 10 | 47,6 |
| | 12 | 66 |
| 3 tumpukan | 6 | 67,3 |
| | 8 | 71,8 |
| | 10 | 78,2 |
| | 12 | 110,2 |

4.2.1 Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik-Geser

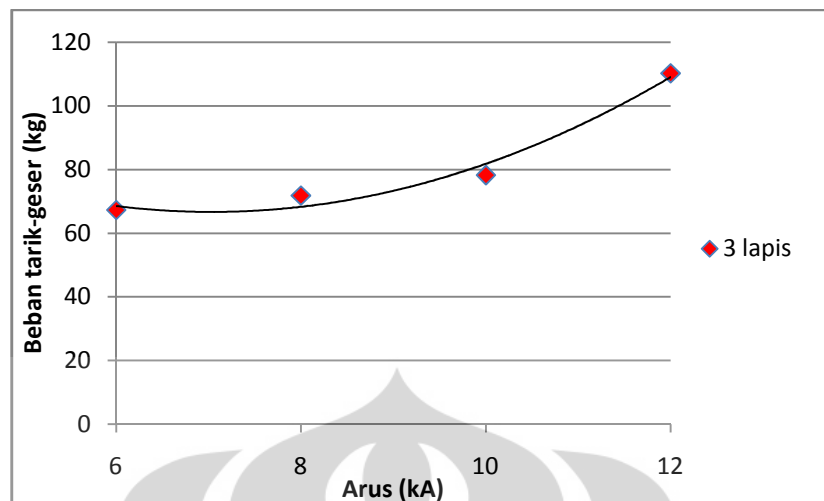
Pada sampel las dengan dua tumpukan (baja karbon rendah-A5052) telah didapatkan hasil pengujian tarik dari masing-masing parameter arus las dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Arus Las Dengan Beban Tarik-Geser Pada Sambungan Dua Tumpukan

Gambar 4.4 tersebut menunjukkan hubungan antara parameter arus las dengan beban tarik-geser sambungan dua tumpukan. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa pada sampel dengan arus las 6 kA memiliki beban tarik-geser terbesar (135 kg). Seiring dengan peningkatan parameter arus las, maka terjadi penurunan beban tarik-geser. Hasil pengujian ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya ⁽¹²⁾ yang menyatakan bahwa pada pengelasan antara baja karbon rendah dengan aluminium paduan A5052, kekuatan tarik-geser terbesar ada pada parameter arus las 6 kA dan akan menurun seiring dengan penambahan arus las.

Pada pengujian tarik-geser sampel tiga tumpukan (baja karbon rendah-A5052- baja karbon rendah) didapatkan hasil yang berbeda dengan sampel dua tumpukan. Hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5.

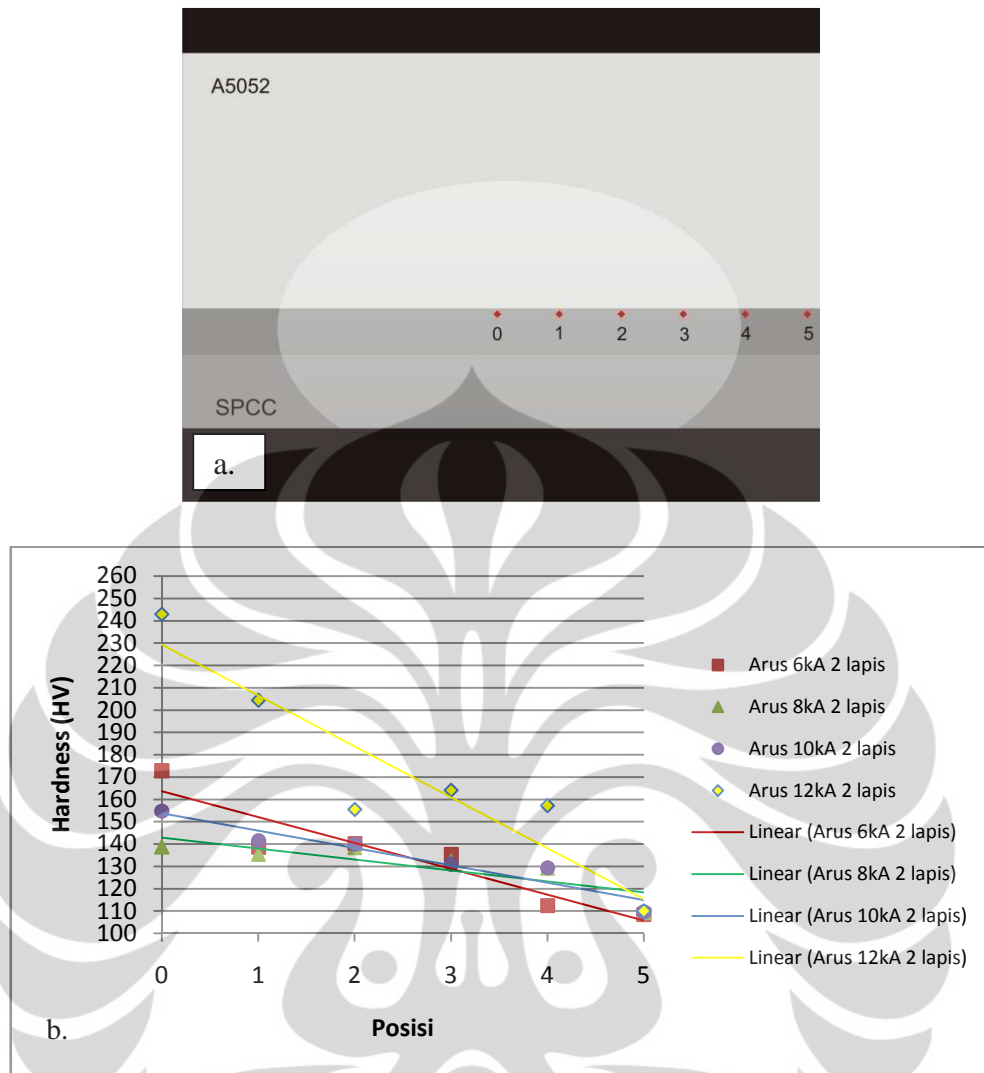


Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Arus Las Dengan Beban Tarik-Geser Pada Sambungan Tiga Tumpukan

Hubungan yang ditunjukkan pada gambar 4.5 sama dengan teori dasar pengelasan resistansi titik dimana seiring dengan pertambahan arus pengelasan, maka kekuatan tarik-gesernya akan meningkat hingga titik maksimal yang merupakan awal terjadinya *expulsion* (loncatan material).

4.3. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan pada hasil sambungan dan sekitar sambungan yang dihasilkan pada pengelasan *dissimilar* metal ini dan pengaruh besar arus pengelasan terhadap kekerasan yang dihasilkan. Pada gambar 4.6 diperlihatkan nilai kekerasan vickers dari hasil las dua tumpukan (baja karbon rendah-A5052), posisi awal pengukuran kekerasan merupakan titik tengah sambungan.

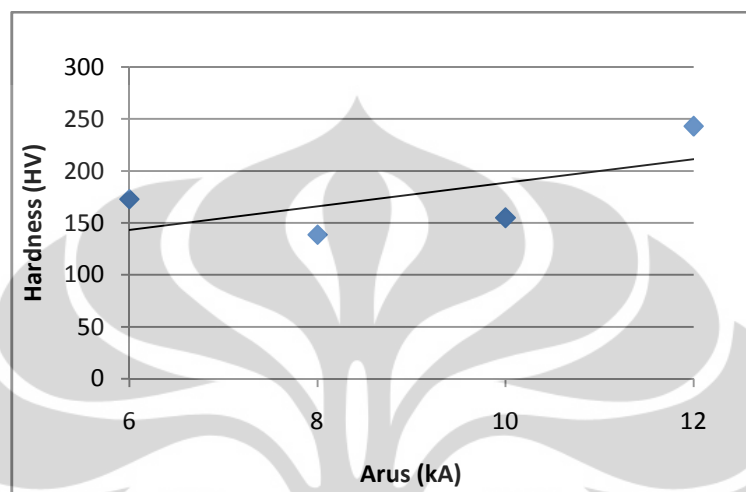


Gambar 4.6 Ilustrasi posisi pengujian kekerasan (a) dan Grafik Nilai Kekerasan Pada Sampel Dua Tumpukan (b)

Dari gambar 4.6 diperlihatkan bahwa pada tiap sampel dengan arus pengelasan berbeda, nilai kekerasannya pada titik tengah daerah lasan merupakan yang paling tinggi. Hal ini disebabkan daerah tengah lasan merupakan daerah yang terkena pengaruh panas akibat las paling tinggi. Bila dibandingkan nilai kekerasan di daerah lasan dengan nilai kekerasan pada logam induknya memiliki perbedaan kekerasan yang sangat jauh. Material induk (baja karbon rendah $C < 0,005$) memiliki kekerasan berkisar antara 100 – 115 HV, sedangkan pada daerah lasan mencapai 242,9 HV. Peningkatan kekerasan yang mencapai dua kali lipat dari kekerasan material induknya bisa disebabkan karena adanya

pembentukan senyawa intermetalik Fe-Al yang memiliki kekerasan tinggi bila dibandingkan dengan kekerasan baja karbon rendah.

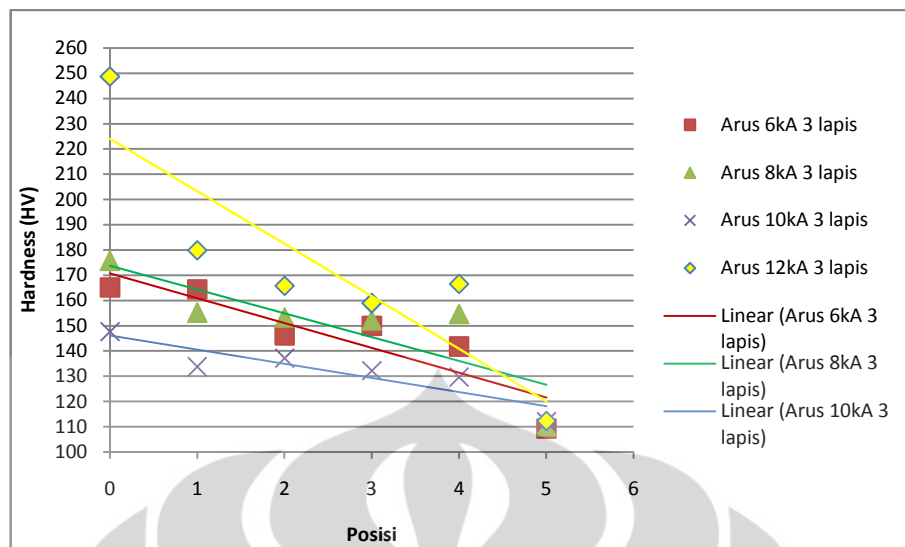
Pada gambar 4.7 dibawah ini menunjukkan nilai kekerasan pada titik tengah lasan pada sampel dua tumpukan dengan arus pengelasan berbeda.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Nilai Kekerasan Dengan Arus Pengelasan Pada Sampel Dua Tumpukan

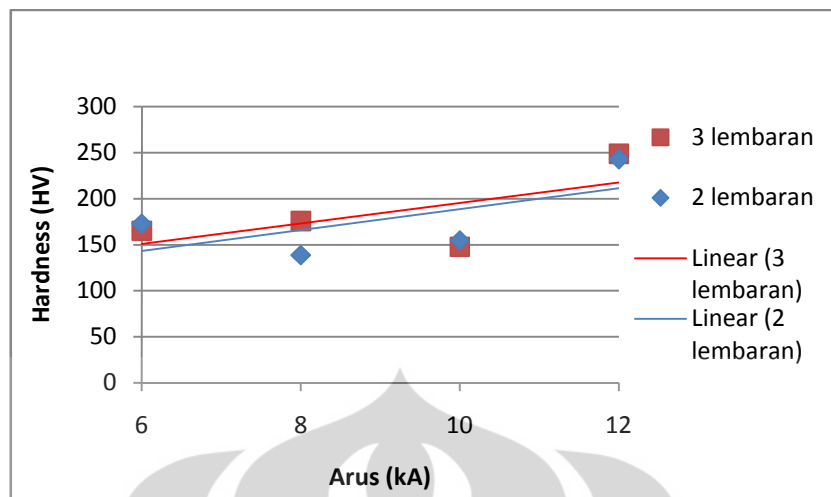
Gambar tersebut juga menjelaskan bahwa nilai kekerasan pada daerah lasan akan meningkat dengan meningkatnya arus pengelasan. Dengan adanya peningkatan arus pengelasan maka panas yang ditimbulkan selama proses pengelasan akan meningkat pula sesuai dengan persamaan (2.1) jumlah masukan panas yang diberikan proporsional terhadap kuadrat arus las yang diberikan, dengan adanya peningkatan panas tersebut akan mempengaruhi banyaknya pembentukan fasa pearlite, yang memiliki kekerasan lebih tinggi dari ferit, pada daerah yang terkena panas.

Pada pengujian kekerasan mikro pada sampel tiga tumpukan (baja karbon rendah-A5052-baja karbon rendah) menunjukkan hasil yang hampir sama dengan sampel dua tumpukan, hasil pengujian kekerasan sampel tiga tumpukan diperlihatkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Nilai Kekerasan Pada Sampel Tiga Tumpukan

Pada pengelasan tiga tumpukan hasil yang didapatkan ternyata hampir sama dengan hasil yang didapat dari sampel dua tumpukan. Kekerasan pada daerah tengah lasan memiliki nilai yang paling tinggi. Perbedaan yang terlihat antara nilai kekerasan dua tumpukan dan tiga tumpukan adalah besar nilai kekerasan pada sampel tiga tumpukan sedikit lebih tinggi. Gambar 4.9 membandingkan nilai kekerasan di daerah lasan antara sampel dua tumpukan dan tiga tumpukan dengan sumbu x adalah variabel arus pengelasan. Hal ini dikarenakan pada pengelasan tiga tumpukan terdapat dua titik terpanas, yaitu pada antarmuka baja karbon rendah bagian atas dengan aluminium paduan A5052 dan antarmuka aluminium paduan A5052 dengan baja karbon rendah bagian bawah. Seperti yang telah dijelaskan pada bagian 2.2 bahwa antarmuka logam memiliki resistansi terbesar yang berdasarkan persamaan (2.1) berarti panas yang terbesar terdapat pada antarmuka logam. Jadi pengelasan tiga tumpukan menerima panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan dua tumpukan sehingga berpengaruh terhadap banyaknya pembentukan fasa pearlite.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara Nilai Kekerasan Dengan Arus Pengelasan Pada Daerah Lasan Sampel Dua Tumpukan Dan Tiga Tumpukan

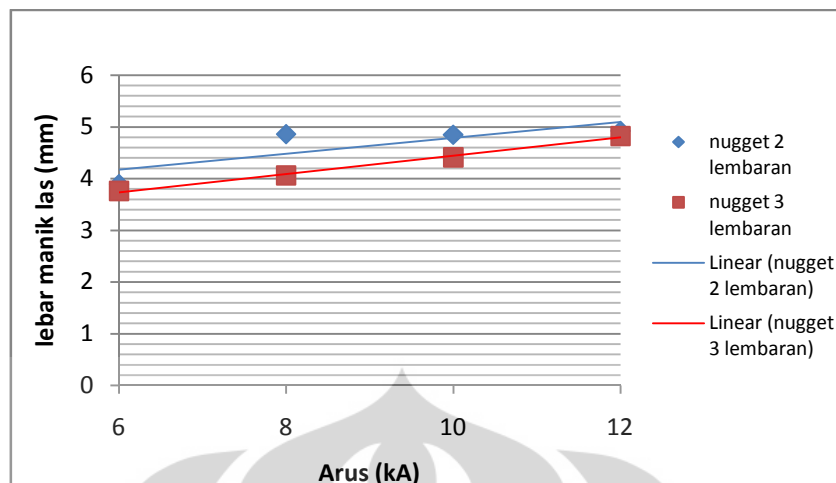
4.4. Pengaruh Ukuran Manik las Terhadap Sifat Sambungan

Hasil lasan yang telah tersambung dengan baik diukur lebar daerah manik las dan dibandingkan dengan arus pengelasan dan sifat mekanik sambungan tersebut. Tabel 4.2 dibawah ini merupakan besar rata-rata lebar manik las dari empat kali pengukuran.

Tabel 4.2 Lebar manik las

| Sampel | Arus (kA) | Lebar manik las rata-rata (mm) |
|------------|-----------|--------------------------------|
| 2 tumpukan | 6 | 3,895 |
| | 8 | 4,8625 |
| | 10 | 4,85 |
| | 12 | 4,925 |
| 3 tumpukan | 6 | 3,7625 |
| | 8 | 4,0625 |
| | 10 | 4,4125 |
| | 12 | 4,825 |

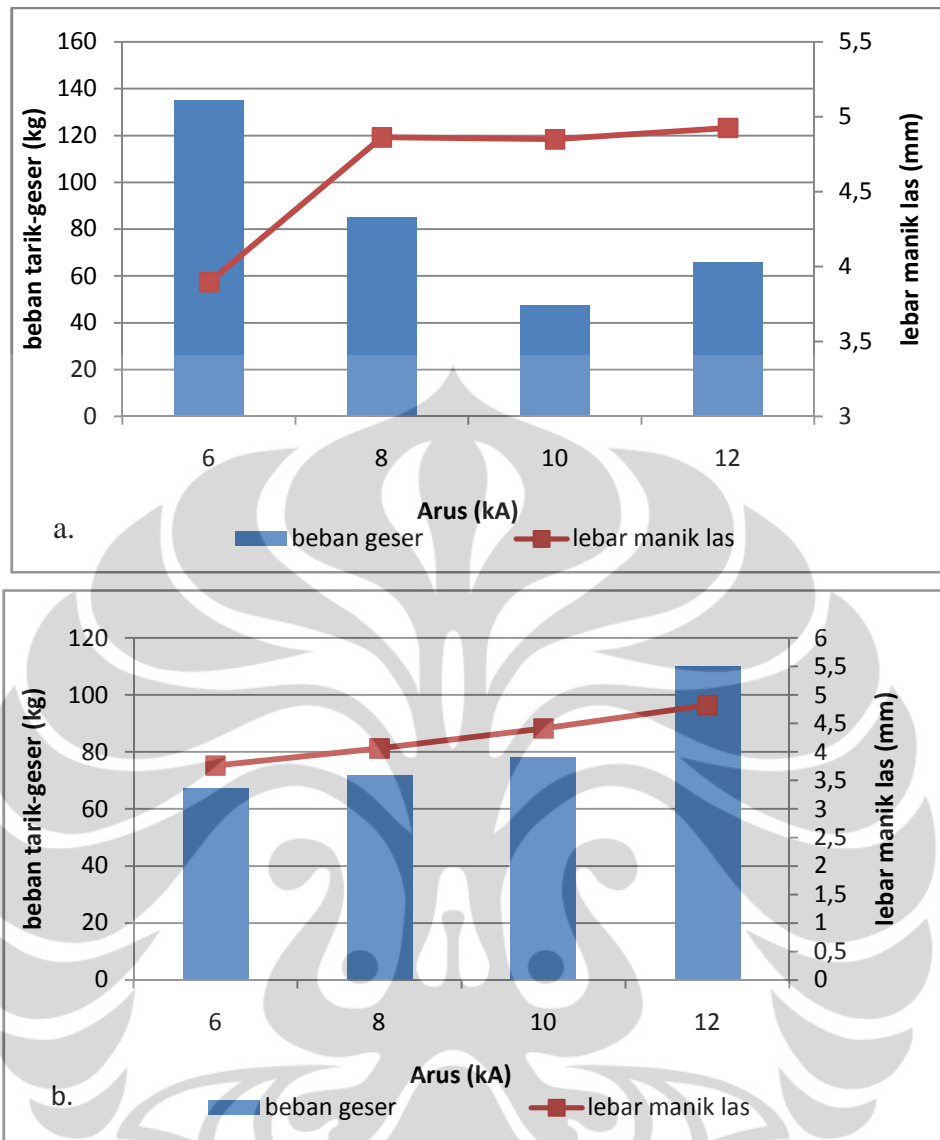
Gambar 4.10 merupakan hubungan antara besar arus pengelasan dan lebar manik las yang terbentuk.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Antara Arus Pengelasan Dengan Lebar Manik las Yang Terbentuk

Dari gambar 4.10 dapat diamati bahwa dengan parameter arus pengelasan yang bertambah maka pembentukan lebar manik las juga akan bertambah. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa dengan bertambahnya arus pengelasan maka lebar manik las akan bertambah⁽¹²⁾. Pada gambar 4.8 tersebut juga dapat dilihat bahwa pada sampel tiga tumpukan lebar manik las yang terbentuk lebih kecil dari lebar manik las yang terbentuk pada sampel dua tumpukan. Hasil ini disebabkan karena perbedaan ketebalan sampel yang berbeda. Pada parameter dan kondisi pengelasan yang sama, sampel dengan tiga tumpukan memiliki ketebalan keseluruhan sebesar 2,7 mm sedangkan pada sampel dua tumpukan ketebalan keseluruhan sebesar 2,1 mm, perbedaan ketebalan ini mempengaruhi arus listrik yang mengalir ke sampel.

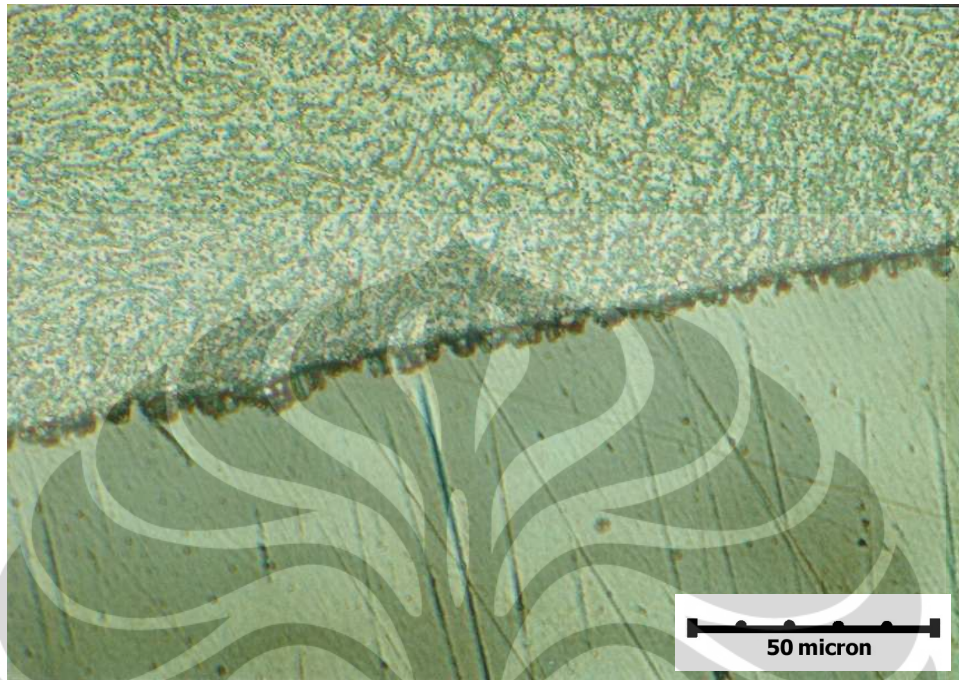
Besar lebar manik las dari hasil lasan resistansi titik memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik dari sambungan. Pada hasil pengujian tarik-geser sebelumnya telah diperlihatkan pengaruh arus terhadap kekuatan tarik-geser pada pengelasan logam *dissimilar* dua tumpukan dan tiga tumpukan. Pada gambar 4.11 berikut ini diperlihatkan hubungan antara besar lebar manik las dengan kekuatan tarik-gesernya.



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Lebar Manik las Dengan Kekuatan Tarik-Geser Pada Sampel Dua Tumpukan (a) dan Sampel Tiga Tumpukan (b)

Pada pengelasan sampel tiga tumpukan, kenaikan besar lebar manik las berbanding lurus dengan naiknya kekuatan tarik-geser dan arus pengelasan. Sedangkan pada pengelasan sampel dua tumpukan, kenaikan besar lebar manik las tidak diikuti dengan naiknya kekuatan tarik-geser. Pada sampel dua tumpukan, pada arus 6 kA lebar manik lasnya adalah yang terkecil dibandingkan arus yang lebih tinggi tetapi memiliki kekuatan tarik-geser paling tinggi. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari pembentukan paduan intermetalik yang berada pada antarmuka baja yang biasa disebut *reaction layer*. Pada gambar 4.12 dibawah ini

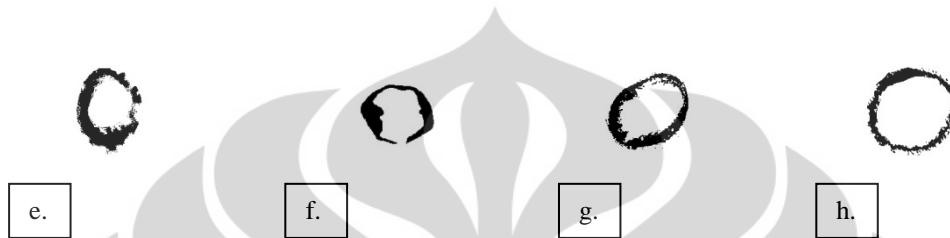
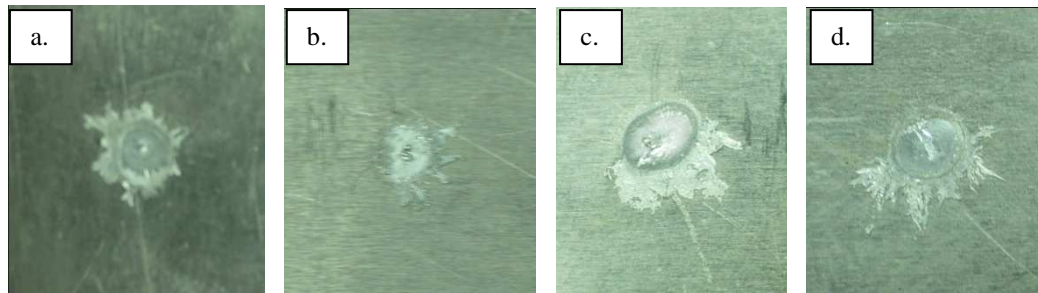
menunjukkan foto mikro antarmuka antara baja karbon rendah dengan paduan aluminium A5052.



Gambar 4.12 Foto mikro antarmuka baja karbon rendah dengan paduan aluminium A5052 dengan perbesaran 500x.

Gambar tersebut memperlihatkan antarmuka antara kedua material yang dilas, pada bagian atas merupakan paduan aluminium A5052 dan bagian bawah adalah baja karbon rendah. Daerah yang berwarna lebih gelap diantara kedua logam tersebut merupakan fasa intermetalik yang terbentuk atau *reaction layer*.

Menurut Qiu, et al⁽¹²⁾ semakin meningkatnya fraksi *discontinuous reaction layer*, maka kekuatan tarik-geser akan meningkat. Besar fraksi *discontinuous reaction layer* dapat dilihat dari permukaan patahan dari pengujian tarik-geser. Gambar 4.13 menunjukkan permukaan patahan dari sampel dua tumpukan, bagian yang berwarna lebih gelap merupakan *discontinuous reaction layer*.



Gambar 4.13 Permukaan Patahan Sisi A5052 Pada Arus Pengelasan 6 kA (a), 8 kA (b), 10 kA (c), dan 12 kA (d) Serta Skema Ilustrasinya (e),(f),(g),(h)

Pada gambar tersebut permukaan patahan pada sampel dengan arus pengelasan 6 kA memiliki diameter yang paling kecil tetapi fraksi diameter manik las dengan area *discontinuous reaction layer* (warna hitam pada skema ilustrasi) merupakan yang paling besar karena itu kekuatan tarik-gesernya yang paling besar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik-geser pada pengelasan tiga tumpukan (baja karbon rendah - A5052 - baja karbon rendah) adalah berbanding lurus pada arus pengelasan 6-12 kA. Sedangkan pada pengelasan dua tumpukan (baja karbon rendah - A5052), semakin tinggi arus pengelasan maka kekuatan tarik-geser menurun karena berpengaruh terhadap fraksi *discontinuous reaction layer*.
2. Lebar manik las akan bertambah seiring dengan pertambahan arus pengelasan. Bertambahnya besar lebar manik las pada pengelasan tiga tumpukan akan meningkatkan kekuatan tarik-gesernya.
3. Semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan, maka kekerasan pada daerah lasan akan semakin tinggi pula. Kekerasan pada daerah lasan tiga tumpukan lebih tinggi dibandingkan pada daerah lasan dua tumpukan karena pengaruh panas yang lebih tinggi pada pengelasan tiga tumpukan.
4. Pengelasan resistansi titik tiga tumpukan *dissimilar* (baja karbon rendah - A5052 - baja karbon rendah), dengan parameter pengelasan yang sama, memiliki kualitas sambungan yang sama dengan pengelasan dua tumpukan.

5.2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan diteliti dengan menggunakan arus pengelasan yang lebih tinggi dari 12 kA.
2. Penelitian selanjutnya sebaiknya preparasi permukaan logam dilakukan lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Zaid Bin Din, Mohd. *Experimental Study On Strength Of Spot Welded*. s.l. : Universiti Malaysia Pahang, 2008.
2. Shen, Jie, et al. *Modeling of resistance spot welding of multiple stacks of steel sheets*. *Materials & Design* (32). s.l. : Elsevier Ltd, 2010, Vol. 32.
3. *samcofrance* . [Online] [Dikutip: 20 Maret 2012.] <http://samcofrance.net/blog/auto-parts/body-floor-covering/>.
4. Winarto. *Materi Kuliah Las Tahanan Listrik (electric resistant welding)*. s.l. : Departemen Metalurgi dan Material-FTUI, 2010.
5. Mathers, Gene. Chapter 9 - Resistance welding processes. *The welding of aluminium and its alloys*.166-167. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2002.
6. Weman, Klas. *Welding Processes Handbook*. Cambridge : Woodhead Publishing Ltd, 2003. ISBN 1 85573 689 6.
7. Witjaksono, Haryanto. *Perbandingan Kinerja Elektroda Cu-Cr dan Cu-Cr-Zr pada Proses Las Titik Tumpukan Baja Elektrogalvanis*. Depok : Program Studi Teknik Metalurgi dan Material - Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009.
8. Aachen ISF. *Chapter 8 - Resistance Spot-, Resistance Projection- and Resistance Seam Welding*. s.l. : aachen ISF , 2002.
9. Miller. *Handbook for Resistance Spot Welding*.7-9. s.l. : Miller, 2005.
10. Anis, Muhammad. *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*. Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2008.

11. S.Aslanlar. *The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry*. Materials & Design (27). s.l. : Elsevier, 2006, Vol. 27.
12. Ranfeng Qiu, Shinobu Satonaka, & Chihiro Iwamoto. *Effect of interfacial reaction layer continuity on the tensile strength of resistance spot welded joints between aluminum alloy and steels*. Materials & Design (30). s.l. : Elsevier, 2009, Vol. 30.
13. AISI 1008 Steel. *Matweb material property data*. [Online] [Dikutip: 11 Juni 2012.]
<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=e3df7e90a7d6404f8b5366fd1e6f9941&ckck=1>.
14. Aluminium 5052. *ASM Aerospace Specification Metals Inc*. [Online] [Dikutip: 11 Juni 2012.]
<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA5052H34>.
15. Tricarico, L., et al. *Effects of heat treatments on mechanical properties of Fe/Al explosion-welded*. Materials & Design (30). s.l. : Elsevier Ltd., 2009.
16. *ASTM E 384. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*. s.l. : ASTM International, 2002.



Lampiran 1. Jadwal Pelaksanaan

| Uraian Kegiatan | Bulan | | | | | |
|---|-------|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Studi Literatur | ■ | ■ | ■ | | | |
| Persiapan bahan-bahan | ■ | | | | | |
| Persiapan Mesin Las dan uji coba | | ■ | | | | |
| Pengelasan | | | ■ | | | |
| Pengukuran <i>nugget</i> | | | ■ | ■ | | |
| Pengujian tarik-geser | | | ■ | ■ | | |
| Pengujian kekerasan mikro | | | ■ | ■ | | |
| Analisis | | | | ■ | ■ | |
| Penulisan Laporan Tugas Akhir & Skripsi | | | | ■ | ■ | ■ |

Lampiran 2 : Tanda terima sampel baja

PT. TOYOTA MOTOR MANUFACTURING INDONESIA
SURAT JALAN/PENGIRIMAN BARANG
SERI : AA
NO. : 105174

Lembar 1 (putih) : Setelah ditandatangani penerima kembali pada pengiriman
Lembar 2 (merah) : Untuk si penerima
Lembar 3 (biru) : Untuk Security
Lembar 4 (kuning) : Untuk asip, si pengiriman

(Tulis dengan huruf cetak)

| | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Lembar ke 2 | Tanggal Kirim 9/02 2012 | Pengirim Akino F | Kepada Unusir |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|

| No. Urut | No. Kode | Nama Barang | Satuan | Banyaknya | Isi Tiap Pallet | Jumlah Pallet | Keterangan |
|----------|----------|-------------|--------|-----------|-----------------|---------------|--------------|
| | | plat 15x15 | lembar | 1 buah | | | uji material |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Yang Mengeluarkan Barang

| | |
|---------------|--------------------|
| Nama | ARULIA |
| Jabatan | SAKSI |
| Tanda Tangan | <i>[Signature]</i> |
| Disahkan Oleh | |
| Nama | JUGANDA |
| Jabatan | QA |
| Tanda Tangan | <i>[Signature]</i> |

Pengangkutan Barang

| | |
|--------------|--------------------|
| No. Kend. | Rakor |
| Nopol | E 9982 EV |
| Nomor Sopir | |
| Tanda Tangan | <i>[Signature]</i> |

Diperiksa Security

| | |
|--------------|--------------------|
| Tanggal | 09/02/2012 |
| Jam | 19.00 |
| Nama | ANOR |
| Tanda Tangan | <i>[Signature]</i> |

Barang Diterima

| | |
|--------------|--------------------|
| Tanggal | 09/02/2012 |
| Jam | 15.00 |
| Nama | FAYR |
| Labatani | |
| Tanda Tangan | <i>[Signature]</i> |

AA = Umum (Barang yang tidak dibebani Biaya)

Lampiran 3 : Hasil uji komposisi material baja



Department of Metallurgy and Materials Engineering
UNIVERSITY OF INDONESIA

CHEMICAL COMPOSITION TEST REPORT

Contract No. / No. Kontrak : Pak Munir

Standards / Standar : ASTM A751

Customer / Pemberi Kerja :

Materials / Material :

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|-----|--------|----------|----------|-------|----------|----------|--------|----------|
| 1 | 99.784 | < 0.0050 | < 0.0100 | 0.145 | < 0.0100 | < 0.0100 | 0.0196 | < 0.0100 |
| 2 | 99.806 | < 0.0050 | < 0.0100 | 0.129 | < 0.0100 | < 0.0100 | 0.0129 | < 0.0100 |
| 3 | 99.812 | < 0.0050 | < 0.0100 | 0.127 | < 0.0100 | < 0.0100 | 0.0113 | < 0.0100 |
| 4 | 99.803 | < 0.0050 | < 0.0100 | 0.132 | < 0.0100 | < 0.0100 | 0.0120 | < 0.0100 |
| Ave | 99.801 | < 0.0050 | < 0.0100 | 0.133 | < 0.0100 | < 0.0100 | 0.0140 | < 0.0100 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|-----|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|
| 1 | < 0.0100 | 0.0356 | < 0.0100 | < 0.0050 | < 0.0050 | 0.0111 | < 0.0050 | < 0.0250 |
| 2 | < 0.0100 | 0.0355 | < 0.0100 | < 0.0050 | < 0.0050 | 0.0117 | < 0.0050 | < 0.0250 |
| 3 | < 0.0100 | 0.0372 | < 0.0100 | < 0.0050 | < 0.0050 | 0.0092 | < 0.0050 | < 0.0250 |
| 4 | < 0.0100 | 0.0364 | < 0.0100 | < 0.0050 | < 0.0050 | 0.0112 | < 0.0050 | < 0.0250 |
| Ave | < 0.0100 | 0.0362 | < 0.0100 | < 0.0050 | < 0.0050 | 0.0108 | < 0.0050 | < 0.0250 |

| | Pb |
|-----|----------|
| 1 | < 0.0500 |
| 2 | < 0.0500 |
| 3 | < 0.0500 |
| 4 | < 0.0500 |
| Ave | < 0.0500 |

Datum / date
2/29/2012

Tested by / Diuji oleh :

Approved by / Disetujui oleh :

Center of Materials Processing and Failure Analysis
Dept. of Metallurgy and Material Engineering
Gedung Metalurgi dan Material FTUI
Kampus Baru Universitas Indonesia
Depok - West Java INDONESIA 16424
Tel. : +62 21 7863510 Fax: +62 21 7872350
Web: www.metal.ui.ac.id
e-mail: cmpfa@metal.ui.ac.id

Lampiran 4: Hasil pengujian tarik geser

Uji tensile strength dilakukan (pada laboratorium kelompok Bahan Industri, Bidang Proses radiasi-PATIR-BATAN) dengan menggunakan tensile tester : Strograp-R1 Toyoseiki,

| No | Sampel | Beban putus, kg | Yield, kg |
|----|--------------|--------------------|--------------|
| 1 | 6kA (I) 3lps | 49,7 (67,3) | |
| 2 | 10kA 2lps | 47,6 | |
| 3 | 12kA 2lps | 66 | |
| 4 | 6kA 2lps | 135 | |
| 5 | 8kA 3lps | 71,8 | |
| 6 | 10kA 3lps | 78,2 | |
| 7 | 12kA 3lps | 110,2 | |
| 8 | 8kA 2lps | 85,0 | |

Jakarta, 8/6-2012

Penanggung jawab Analisis,



Drs. Ambyah Suliwarno M Sc.

Lampiran 5. Hasil uji kekerasan

| Arus las | Posisi | dua tumpuk | tiga tumpuk |
|----------|--------|------------|-------------|
| | | HV | HV |
| 6 | 0 | 172,8 | 165,2 |
| | 1 | 138,6 | 164,4 |
| | 2 | 140,3 | 146,2 |
| | 3 | 135,2 | 150 |
| | 4 | 112,5 | 141,8 |
| | 5 | 108,5 | 109,3 |
| 8 | 0 | 138,7 | 175,7 |
| | 1 | 135,3 | 155,1 |
| | 2 | 138,4 | 153,3 |
| | 3 | 132,4 | 152,1 |
| | 4 | 129,2 | 154,7 |
| | 5 | 109,2 | 110,2 |
| 10 | 0 | 154,8 | 147,7 |
| | 1 | 141,6 | 133,8 |
| | 2 | 139,8 | 137,2 |
| | 3 | 130,9 | 132,2 |
| | 4 | 129,4 | 129,7 |
| | 5 | 109,6 | 112 |
| 12 | 0 | 242,9 | 248,7 |
| | 1 | 204,3 | 179,9 |
| | 2 | 155,5 | 165,8 |
| | 3 | 164,1 | 158,9 |
| | 4 | 157,1 | 166,6 |
| | 5 | 110 | 112,3 |

Lampiran 6. Pengukuran manik las

Dua tumpuk

| Arus | d1 | d2 | rata2 1 | rata2 |
|------|------|------|---------|--------|
| 6 | 3,28 | 4,15 | 3,715 | 3,895 |
| | 4,3 | 3,85 | 4,075 | |
| 8 | 5,15 | 4,8 | 4,975 | 4,8625 |
| | 4,75 | 4,75 | 4,75 | |
| 10 | 4,5 | 4,9 | 4,7 | 4,85 |
| | 5 | 5 | 5 | |
| 12 | 4,65 | 5,25 | 4,95 | 4,925 |
| | 4,8 | 5 | 4,9 | |

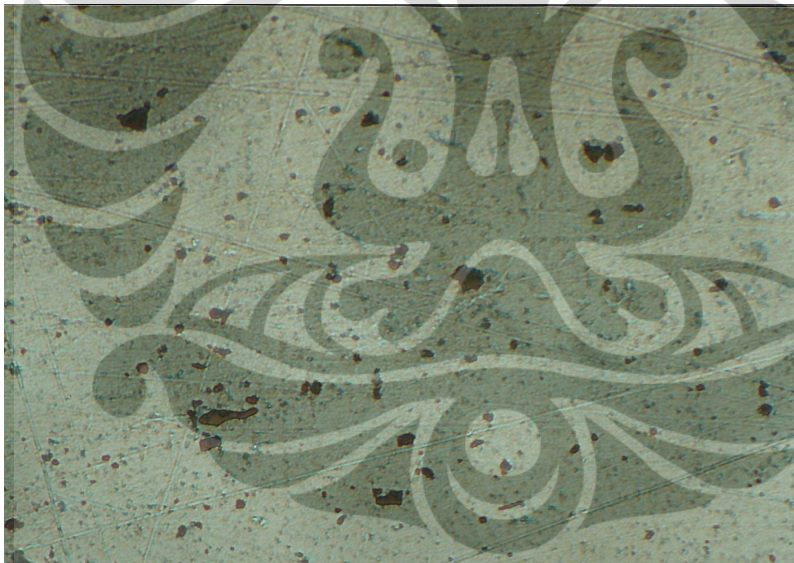
Tiga tumpuk

| Arus | d1 | d2 | rata2 1 | rata2 |
|------|------|------|---------|--------|
| 6 | 3,95 | 3,75 | 3,85 | 3,7625 |
| | 3,6 | 3,75 | 3,675 | |
| 8 | 3,95 | 4,1 | 4,025 | 4,0625 |
| | 3,9 | 4,3 | 4,1 | |
| 10 | 4,35 | 4,35 | 4,35 | 4,4125 |
| | 4,5 | 4,45 | 4,475 | |
| 12 | 4,65 | 4,9 | 4,775 | 4,825 |
| | 4,8 | 4,95 | 4,875 | |

Lampiran 7. Hasil Foto Mikro



Material induk baja karbon rendah, etsa nital 2%, perbesaran 500x



Material induk Al A5052, etsa HF 0,5%, perbesaran 500x

Lampiran 7. Hasil Foto Mikro (Lanjutan)

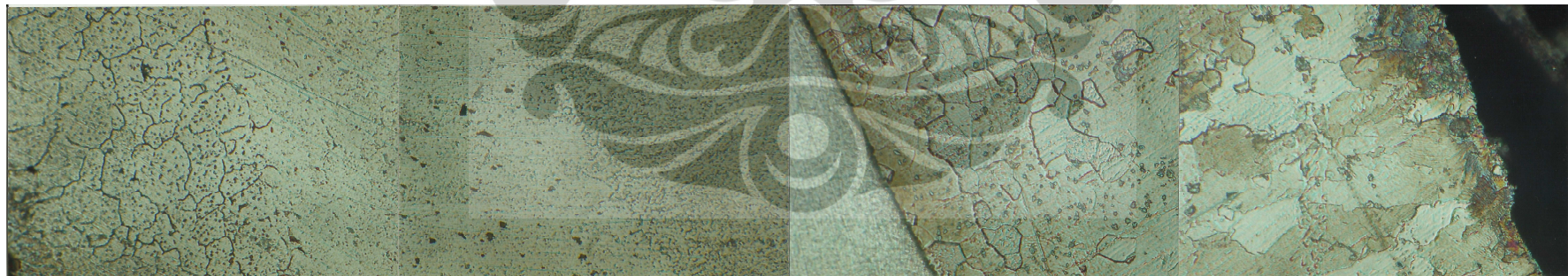
a. Dua tumpukan



A5052

Baja karbon rendah

Antarmuka baja karbon rendah-
Aluminium A5052 etsa nital 2%
perbesaran 100x.

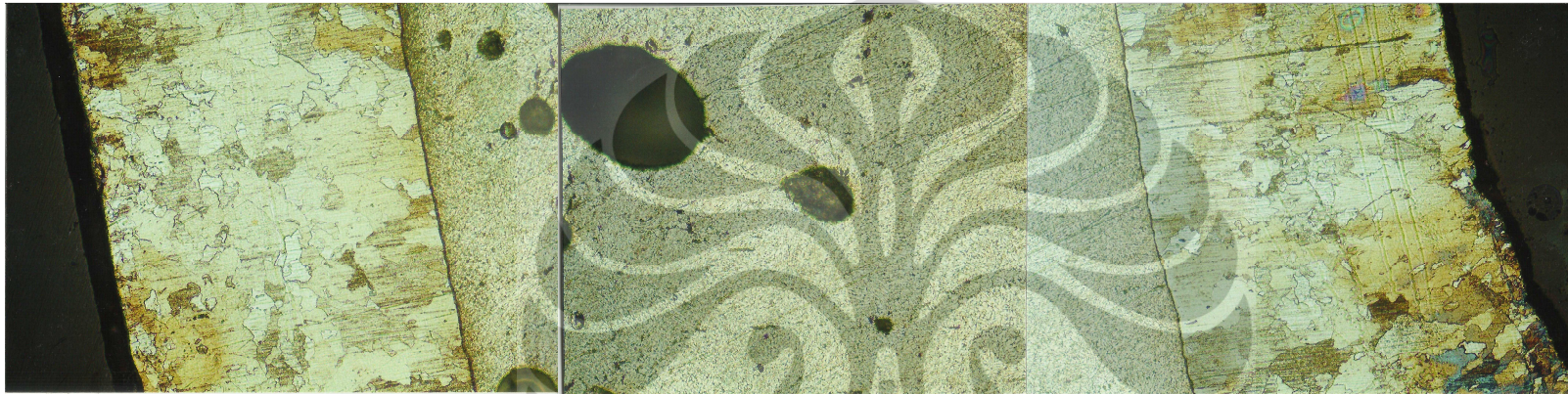


Batas HAZ A5052

Batas A5052-baja karbon rendah

Antarmuka baja karbon rendah-Aluminium A5052 perbesaran 500x.

b. Tiga tumpukan

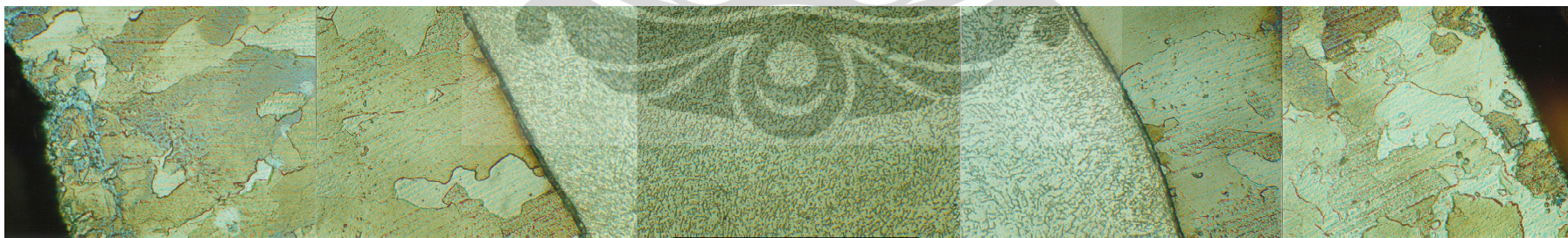


Baja karbon rendah

A5052

Baja karbon rendah

Antarmuka baja karbon rendah-Aluminium A5052-baja karbon rendah perbesaran 100x.



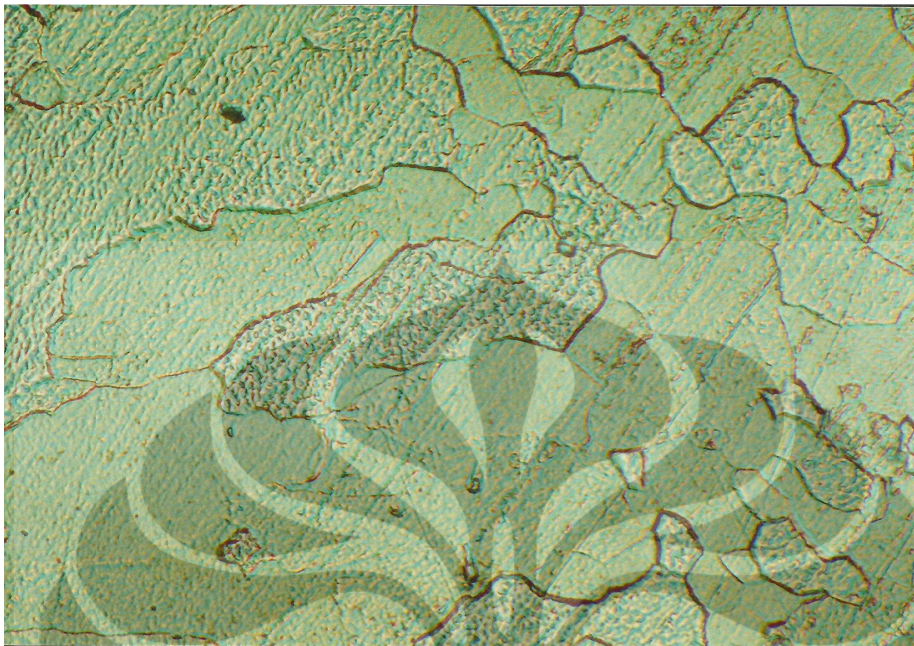
baja karbon rendah - A5052

Daerah Las A5052

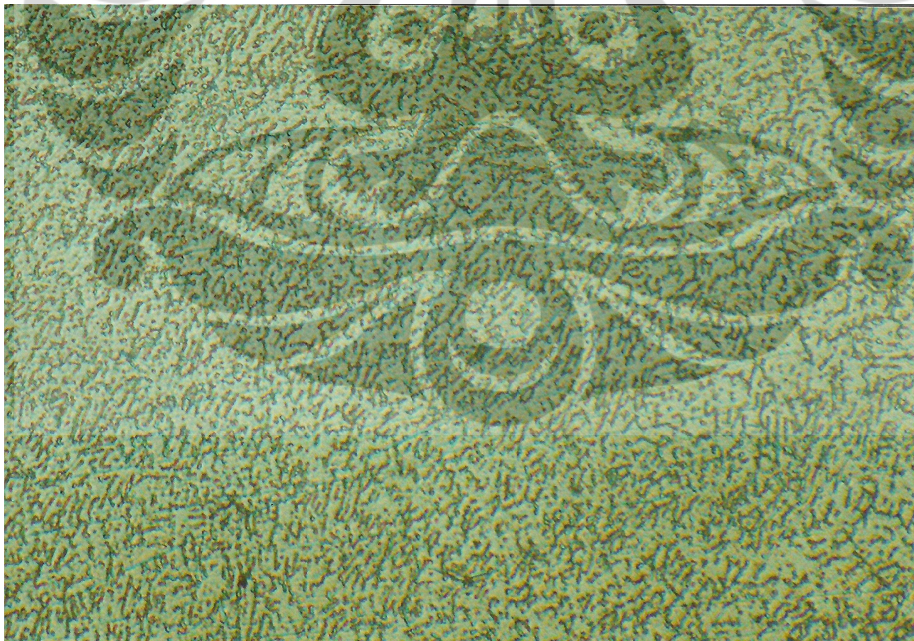
A5052 - baja karbon rendah

Antarmuka baja karbon rendah-Aluminium A5052-baja karbon rendah perbesaran 500x.

Lampiran 7. Hasil Foto Mikro (Lanjutan)



Daerah HAZ di baja karbon rendah, etsa nital 2% perbesaran 500x.
Fasa perlit yang berwarna lebih gelap dan fasa ferit yang berwarna lebih terang.



Daerah Lasan di A5052, etsa HF 0,5% perbesaran 500x.