



**KARAKTERISASI PENGELASAN *DISSIMILAR*  
BAJA AISI 1045 DAN AISI 4140 DENGAN  
METODE *FRICTION WELDING***

**SKRIPSI**

Oleh  
**Fabiyani Deni Maulana**  
**NIM 121910101095**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**KARAKTERISASI PENGELASAN *DISSIMILAR*  
BAJA AISI 1045 DAN AISI 4140 DENGAN  
METODE *FRICTION WELDING***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh  
**Fabiyani Deni Maulana**  
**NIM 121910101095**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayahnya kepada kita semua dan sholawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. Dengan ini saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Ibu Tufyani dan Bapak Imam Fadlillah tercinta yang telah memberikan kasih sayang, iringan do'a, dan pengorbanan yang tulus untuk kesuksesan anak-anaknya selama ini dan telah memberikan bimbingan dan motivasi disetiap langkah yang dilalui oleh penulis;
2. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan skripsi kepada saya terutama Bapak Dr. Salahuddi Junus, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T., selaku dosen penguji I dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji II;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan Perguruan Tinggi yang terhormat, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. Sahabat-sahabat yang telah memberikan warna dalam perjalanan hidup ini;
5. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin UNEJ angkatan 2012 yang telah menemani dalam masa studi penulis;
6. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTTO**

*“Walladziina jaahaduu fiinaa, lanahdiyannahum subulanaa..”*

“Dan orang-orang yang berjihad di jalan kami/ bersungguh-sungguh dalam mencari keridhaan Kami, sungguh Kami beri petunjuk mereka pada jalan Kami.”

(Q.s. Al-Ankabut : 69)

*“Yarfaiillahulladzina Amanu Minkum Walladzina Utul Ilma Darojat”*

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antarmu dan orang-orang yang diberi ilmupengetahuan beberapa derajat “

(Q.s. al-Mujadalah : 11)

‘Muliakanlah anak-anakmu dan baguskanlah pendidikan mereka’.

(H.R.At-thabrani dan khatib)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fabiyan Deni Maulana

NIM : 121910101095

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul : “Karakterisasi Pengelasan *Dissimilar* Baja AISI 1045 dan AISI 4140 dengan Metode *Friction Welding*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 14 Juli 2017

Yang menyatakan,

Fabiyan Deni Maulana

NIM. 121910101095

**SKRIPSI**

**KARAKTERISASI PENGELASAN *DISSIMILAR* BAJA AISI 1045 DAN AISI  
4140 DENGAN METODE *FRICTION WELDING***

Oleh

**Fabiyani Deni Maulana**

**NIM 121910101095**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Karakterisasi Pengelasan *Dissimilar* Baja AISI 1045 dan AISI 4140 dengan Metode *Friction Welding*” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal : Kamis, 20 Juli 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T.  
NIP 19751006 200212 1 002

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.  
NIP 19600812 199802 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Imam Sholahuddin, S.T., M.T.  
NIP 19811029 200812 1 003

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.  
NIP 19700228 199702 1 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM  
NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Karakterisasi Pengelasan *Dissimilar* Baja AISI 1045 dan AISI 4140 dengan Metode *Friction Welding***; Fabiyan Deni Maulana., 121910101095; 2017; 89 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Metode pengelasan tradisional yang digunakan untuk menyambung bahan yang berbeda sulit untuk dilakukan karena perbedaan dari komposisi kimia, struktur kristal dan titik lelehnya, tetapi dapat dilakukan dengan metode pengelasan solid state, yaitu dengan metode *Friction Welding*. *Dissimilar Friction Welding* adalah proses penyambungan dua material logam dengan menggunakan panas yang dihasilkan dari perubahan energi mekanik kedalam energi panas pada permukaan benda yang digesekkan serta logam yang digunakan memiliki perbedaan dari karakteristik sifat mekanik, struktur mikro, komposisi kimia dan titik lebur logam.

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah baja AISI 1045 dan AISI 4140 yang diaplikasikan untuk pembuatan poros, batang penghubung, serta bantalan karena memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, sedikit ulet dan tangguh. Proses yang dilakukan dalam pengelasan gesek ini adalah dengan memvariasikan waktu gesek sebesar 10 detik, 20 detik, 30 detik, dan 40 detik.

Dari hasil penelitian didapat kekuatan tarik tertinggi sebesar  $741 \text{ N/mm}^2$  yaitu variasi waktu gesek 30 detik, sedangkan kekuatan tarik terendah sebesar  $534 \text{ N/mm}^2$  pada variasi waktu gesek 10 detik. Hasil pengujian kekerasan tertinggi pada variasi waktu 40 detik dengan nilai  $Zud$  229.00 BHN,  $Zpd$  259.33 BHN,  $Zpl$  252.33 BHN,  $Zpd'$  268.66 BHN dan  $Zud'$  246.00 BHN. Sementara hasil pengujian kekerasan terendah diperoleh dari variasi waktu 10 detik dengan nilai masing-masing  $Zud$  226.00 BHN,  $Zpd$  239.66 BHN,  $Zpl$  227.33 BHN,  $Zpd'$  258.00 BHN dan  $Zud'$  245.66 BHN. Dari pemeriksaan struktur mikro Ukuran butir pada daerah weld metal lebih kecil dan lebih halus dari daerah HAZ

**Kata kunci : AISI 1045 dan AISI 4140, *Dissimilar*, waktu gesek**

## SUMMARY

**Characterization of Welding Dissimilar Steel AISI 1045 and AISI 4140 with Friction Welding Method;** Fabiyan Deni Maulana., 121910101095 ; 2017; 89 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Traditional welding methods used to connect different materials are difficult to do because of differences in chemical composition, crystal structure and melting point, but can be done by solid state welding method, the most commonly used one of them by Friction Welding method. Dissimilar Friction Welding is the process of connecting two metal materials by heat generated from the change of mechanical energy into heat energy on the surfaces of the swiped object and the metal used has differences from the characteristics of mechanical properties, microstructure, chemical composition and melting point of metal.

In this study the materials used are AISI 1045 and AISI 4140 steel which are applied for the manufacture of shaft, connecting rod, and cushion as it has modifiable properties, a bit ductile and tough. The process performed in this frictional friction is to vary the friction time by 10 seconds, 20 seconds, 30 seconds, and 40 seconds.

From the research results obtained the highest tensile strength of 741 N / mm<sup>2</sup> is the friction time variation of 30 seconds, while the lowest tensile strength of 534 N / mm<sup>2</sup> at 10 seconds friction time variation. The highest hardness test result is obtained from the variation of time 40 seconds with the value Zud 229.00 BHN, Zpd 259.33 BHN, Zpl 252.33 BHN, Zpd '268.66 BHN and Zud' 246.00 BHN. While the lowest hardness test results obtained from the variation of time 10 seconds with the value of each Zud 226.00 BHN, Zpd 239.66 BHN, Zpl 227.33 BHN, Zpd '258.00 BHN and Zud' 245.66 BHN. From microstructure examination The grain size on the weld metal area is smaller and smoother than the HAZ area

**Keywords: AISI 1045 Steel, friction welding, forging pressure**

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Karakterisasi Pengelasan Dissimilar Baja AISI 1045 dan AISI 4140 dengan Metode Friction Welding*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua.
2. Bapak Imam Fadlillah dan Ibu Tufyani yang selalu memberikan bimbingan hidup, kasih sayang, pengorbanan yang tulus dan panjatan do'a-do'a setiap saat agar anak-anaknya mendapat berkah dunia dan akhirat.
3. Adikku tersayang Nida Liswandani Maulidian dan Ahmad Balya Ubaidillah yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan.
4. Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji II yang memberikan kritik dan saran untuk kesempurnaan penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., sebagai dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan memberikan motivasi selama masa perkuliahan ini.
7. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran selama di bangku perkuliahan.

8. *Friction welding* team (Ulil, Riko, Budi, Kholid, dan mas Anam) yang telah menjadi teman senasib seperjuangan dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.
9. Kepada seluruh teman - teman teknik mesin angkatan 2012 dan semua teknisi laboratorium tempat pengujian yang sudah bersedia membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini. Terimakasih atas semua kontribusi yang kalian berikan.
10. Sahabat-sahabatku Aji, Junaidi, Dian, Febri, Sulhan, Ivan, Yuski, Mukri, Latif, Ulil, Sandra, Anam, Zainul, Rachell, Imron Rosyidi, Hafizatul Hasanah dan Masykuratun Nuraniyah yang telah memberikan doa semangat dan motivasi untuk menyelesaikan penyusunan skripsi.
11. Seluruh keluarga besar KKN 89 Desa Sukosari Lor Kecamatan Sukosari Kabupaten Bondowoso, terimakasih atas kekeluargaan, kebersamaan, canda tawa dan pengalaman selama KKN berlangsung.
12. Serta seluruh pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sebagai manusia yang tak lepas dari kekhilafan dan kekurangan. Oleh karena itu, Penulis menerima segala kritik, saran dan ide yang bersifat konstruktif dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 14 Juli 2017

Penulis

**DAFTAR ISI**

|  |      |
|--|------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                                     | i    |
| <b>PERSEMBAHAN</b> .....                                       | ii   |
| <b>MOTTO</b> .....   | iii  |
| <b>PERNYATAAN</b> .....  | iv   |
| <b>PEMBIMBING</b> .....  | v    |
| <b>PENGESAHAN</b> .....  | vi   |
| <b>RINGKASAN</b> .....   | vii  |
| <b>SUMARRY</b> .....   | viii |
| <b>PRAKATA</b> .....   | ix   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | xi   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                      | xiv  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                     | xv   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                                   | xvii |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....                                | 1    |
| <b>1.1 Latar Belakang</b> .....                                | 1    |
| <b>1.2 Perumusan Masalah</b> .....                             | 2    |
| <b>1.3 Tujuan dan Manfaat</b> .....                            | 2    |
| 1.3.1 Tujuan Penelitian .....                                  | 2    |
| 1.3.2 Manfaat Penelitian .....                                 | 3    |
| <b>1.4 Batasan Masalah</b> .....                               | 3    |
| <b>1.5 Hipotesis</b> .....                                     | 3    |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                           | 4    |
| <b>2.1 Pengelasan</b> .....                                    | 4    |
| 2.1.1 <i>Friction Welding</i> .....                            | 5    |
| 2.1.2 Daerah sambungan <i>Friction Welding</i> .....           | 7    |
| 2.1.3 Kelebihan dan Keterbatasan <i>Friction Welding</i> ..... | 7    |

|   |    |
|---|----|
| <b>2.2 Baja</b> .....   | 8  |
| 2.2.1 Baja AISI 1045 .....  | 11 |
| 2.2.2 Baja AISI 4140 .....  | 12 |
| <b>2.3 Pengujian Bahan</b> .....                                      | 13 |
| 2.3.1 Uji Tarik .....   | 13 |
| 2.3.2 Pengujian Kekerasan .....                                       | 16 |
| <b>2.4 Pengujian Metalografi</b> .....                                | 20 |
| 2.4.1 <i>Cutting</i> (Pemotongan) .....                               | 20 |
| 2.4.2 <i>Mounting</i> .....   | 21 |
| 2.4.3 <i>Grinding</i> (pengamplasan) <i>Mounting</i> .....            | 22 |
| 2.4.4 <i>Polishing</i> (pemolesan) .....                              | 22 |
| 2.4.5 Etching (Etsa) .....  | 23 |
| <b>2.5 Fish Bond Diagram Penelitian <i>Friction Welding</i></b> ..... | 25 |
| <b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....                                 | 26 |
| <b>3.1 Metode Penelitian</b> .....                                    | 26 |
| <b>3.2 Tempat dan Waktu</b> .....                                     | 26 |
| <b>3.3 Bahan dan Alat</b> .....                                       | 26 |
| 3.3.1 Bahan .....   | 26 |
| 3.3.2 Alat .....  | 27 |
| <b>3.4 Variabel Penelitian</b> .....                                  | 27 |
| 3.4.1 Variabel Bebas .....  | 27 |
| 3.4.2 Variabel Terikat .....  | 27 |
| 3.4.3 Variabel Kontrol .....  | 28 |
| <b>3.5 Proses Pengelasan</b> .....                                    | 28 |
| <b>3.6 Dimensi Benda Kerja</b> .....                                  | 29 |
| <b>3.7 Proses Pengujian</b> .....                                     | 30 |
| 3.7.1 Pengujian Tarik .....   | 30 |
| 3.7.2 Pengujian Kekerasan .....                                       | 31 |
| 3.7.3 Pengujian Metalografi .....                                     | 33 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.8 Teknik Pengolahan dan Analisa Data .....   | 33        |
| 3.9 Diagram Alir Penelitian .....  | 34        |
| <b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>   | <b>35</b> |
| 4.1 Hasil Pengelasan <i>Dissimilar Friction Welding</i> Antara<br>Baja AISI 1045 dan AISI 4140 ..... | 35        |
| 4.2 Uji Tarik.....   | 36        |
| 4.2.1 Hasil Pengujian Tarik Logam Induk AISI 1045<br>dan AISI 4140 .....                             | 36        |
| 4.2.2 Hasil Pengujian Tarik Sambungan <i>Dissimilar<br/>        Friction welding</i> .....           | 37        |
| 4.3 Uji Kekerasan .....  | 40        |
| 4.4 Pengamatan Struktur Mikro .....  | 48        |
| 4.4.1 Hasil Pengujian Struktur Mikro Logam AISI 1045<br>dan logam AISI 4140 .....                    | 48        |
| 4.4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Struktur<br>mikro Sambungan <i>Friction welding</i> .....       | 49        |
| <b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>54</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 54        |
| 5.2 Saran .....  | 54        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>  |           |
| <b>LAMPIRAN</b>  |           |

**DAFTAR TABEL**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Klasifikasi Baja Karbon.....                    | 9  |
| 2.2 Sifat Baja.....                                 | 10 |
| 2.3 Sifat-sifat Mekanis Baja Karbon AISI 1045 ..... | 11 |
| 2.4 Unsur kimia Baja AISI 1045 .....                | 11 |
| 2.5 Sifat-sifat Mekanis Baja Karbon AISI 4140 ..... | 12 |
| 2.6 Unsur kimia Baja AISI 4140 .....                | 12 |
| 3.1 Parameter Pengujian .....                       | 30 |
| 3.2 Rancangan Perhitungan Uji Tarik.....            | 31 |
| 3.3 Data Uji Kekerasan.....                         | 32 |
| 4.1 Hasil Pengujian Tarik.....                      | 37 |
| 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Brinell .....         | 40 |
| 4.3 Rata – Rata Nilai Uji Kekerasan .....           | 41 |

DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Tahap <i>friction welding</i> .....   | 5  |
| 2.2 Skema <i>Direct-drive welding</i> .....   | 6  |
| 2.3 Skema <i>Inertia-drive welding</i> .....  | 6  |
| 2.4 Bagian Sambungan Las .....  | 7  |
| 2.5 Skema Uji Tarik .....   | 15 |
| 2.6 Inden Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji<br>terbuat baja ulet tasi dengan Metode Brinell ..... | 16 |
| 2.7 Bentuk perpatahan pada uji tarik .....  | 16 |
| 2.8 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell .....  | 17 |
| 2.9 Hasil indentasi Brinell berupa jejak berbentuk lingkaran<br>dengan ukuran diameter dalam skala mm .....   | 18 |
| 2.10 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell .....   | 19 |
| 2.11 <i>Fish Bond</i> diagram penelitian <i>Friction Welding</i> .....  | 25 |
| 3.1 Skema alat <i>Direct-Drive Friction Welding</i> .....   | 29 |
| 3.2 Spesimen Uji .....  | 29 |
| 3.3 Daerah pengujian kekerasan .....  | 32 |
| 3.4 Diagram Alir Penelitian .....   | 34 |
| 4.1 Hasil Sambungan Baja AISI 1045 dan AISI 4140 .....  | 35 |
| 4.2 Spesimen uji tarik logam AISI 104 Alat Uji Tarik<br>( <i>Universal Testing Machine</i> ) .....            | 36 |
| 4.3 Grafik hubungan antara tekanan tempa dan rata-rata UTS .....  | 38 |
| 4.4 Grafik Kekerasan WAKtu Gesek 10 Detik .....   | 42 |
| 4.5 Grafik Kekerasan WAKtu Gesek 20 Detik .....   | 43 |
| 4.6 Grafik Kekerasan WAKtu Gesek 30 Detik .....   | 44 |
| 4.7 Grafik Kekerasan WAKtu Gesek 40 Detik .....   | 45 |

|  |    |
|--|----|
| 4.8 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada Setiap Variasi Waktu Gesek .....                  | 46 |
| 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada Setiap Variasi Waktu Gesek Dan Tekanan Gesek..... | 47 |
| 4.10 Struktur Mikro Logam Induk.....   | 49 |
| 4.11 Foto Mikro Dissimilar <i>Friction welding</i> Dengan Waktu Gesek 10 Detik.....            | 49 |
| 4.12 Foto Mikro Dissimilar <i>Friction welding</i> Dengan Waktu Gesek 20 Detik.....            | 50 |
| 4.13 Foto Mikro Dissimilar <i>Friction welding</i> Dengan Waktu Gesek 30 Detik.....            | 51 |
| 4.14 Foto Mikro Dissimilar <i>Friction welding</i> Dengan Waktu Gesek 40 Detik.....            | 52 |
| 4.15 Foto Mirko <i>Dissimilar Friction Welding</i> AISI 2205 Dan AISI 1020 .....               | 51 |
| 4.16 Foto Mikro Sambungan <i>Friction Welding</i> dengan Tekanan Tempa 55 Mpa .....            | 51 |
| 4.17 Foto Mikro Sambungan <i>Friction Welding</i> dengan Tekanan Tempa 65 Mpa .....            | 52 |

**DAFTAR LAMPIRAN**

|  |    |
|--|----|
| A1. Tabel Data Hasil Pengujian Tarik .....       | 56 |
| A2. Grafik Tegangan dan Regangan Uji Tarik ..... | 57 |
| A3. Tabel dan Garafik Uji Kekerasan .....        | 59 |
| B1. Foto Spesimen .....                          | 60 |
| B2. Spesimen Uji Tarik .....                     | 62 |
| B3. Hasil Patahan Uji Tarik .....                | 63 |
| B4. Spesimen Uji Mikro dan Uji Kekerasan .....   | 64 |
| C1. Alat dan Bahan .....                         | 65 |
| D1. Sertifikasi pengujian .....                  | 68 |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Metode pengelasan tradisional yang digunakan untuk menyambung bahan yang berbeda merupakan satu kebutuhan penting dalam industri tetapi sulit untuk dilakukan karena hasil sambungan rapuh serta perbedaan dari komposisi kimia, struktur kristal dan titik lelehnya, tetapi dapat dilakukan dengan metode pengelasan *solid state*, yang paling umum digunakan salah satunya dengan metode *dissimilar friction welding* yang hemat bahan, waktu produksi rendah, dan dapat menyambung logam yang berbeda atau paduan yang digunakan untuk pembuatan katup, roda gigi *bandix*, poros gardan, *gear shaft components*, *turbocharged fan shafts*, *fork-shaft connections* (Celik *et al* 2009)

*Dissimilar friction welding* adalah pengelasan *solid state* tanpa menggunakan logam pengisi dengan proses penggabungan antara laju putaran salah satu logam dengan gaya tekan yang diberikan logam yang lain dengan menggunakan logam yang berbeda dari karakteristik sifat mekanik, struktur mikro, komposisi kimia dan titik leleh logam tersebut (Uday *et al* 2015).

Baja sangat memiliki peranan yang penting dalam dunia industri dimana banyak rancangan komponen mesin pabrik menggunakan material tersebut. Sifat mekanik yang dimiliki material ini cukup mampu untuk berbagai penggunaan lapangan dalam berbagai aplikasi. Efisiensi dan efektifitas dari baja itu sendiri selalu menjadi pertimbangan dalam pemilihan material sesuai dengan pemakaiannya (Sugiartha *et al*, 2013)

Baja AISI 1045 dan AISI 4140 termasuk dalam baja karbon sedang dan baja karbon paduan rendah yang banyak digunakan dalam pembuatan bagian-bagian dalam industri terutama dalam industri otomotif seperti katup, poros engkol, poros gardan karena memiliki sifat yang mudah untuk dimodifikasi ulet serta tangguh.

(Mercan, S *et al* 2015) dalam penelitiannya yang menganalisa tentang pengaruh parameter pengelasan pada sifat kelelahan bahan AISI 2205 dan AISI 4140 dengan metode *Friction welding*. Kelelahan maksimal terdapat pada spesimen no 7 dengan rpm 1500 tekanan gesek 30 Mpa dan waktu gesek 4 detik, kekuatan tarik dan kelelahan menurun dengan meningkatnya waktu gesek, untuk Rpm 1300 kekuatan tarik dan kelelahan akan meningkat dengan waktu gesek cukup, namun untuk rpm 1500 peningkatan tekanan gesek akan menurunkan kekuatan tarik dan kelelahan. Kualitas sambungan tergantung dari pemilihan parameter yang tepat.

Waktu gesek meningkat 1 sampai 4 detik lebar IMZ tumbuh hingga nilai kritis 3 mikro meter, dibawah nilai kritis ini maka dapat membuat ikatan logam yang kuat, waktu gesek semakin lama sampel akan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dan kekuatan rata-rata tarik maksimum 560 Mpa diperoleh dari waktu gesek 4 detik. Namun waktu gesek yang terlalu lama akan menumbuhkan IMCS terdeteksi pada permukaan logam sehingga menunjukkan mekanisme patah getas ( Li, Peng *et al* 2014).

Berdasarkan latar belakang diatas , Penelitian ini akan melakukan pengamatan tentang pengaruh proses pengelasan *dissimilar friction welding* terhadap karakteristik fisik dan mekanik baja AISI 1045 dan AISI 4140

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang penting dikaji dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimanakah pengaruh pengelasan dissimilar dengan metode *friction welding* terhadap kekerasan sambungan baja AISI 1045 dan AISI 4140.
2. Bagaimanakah pengaruh pengelasan dissimilar dengan metode *friction welding* terhadap kekuatan tarik sambungan baja AISI 1045 dan AISI 4140.
3. Bagaimanakah pengaruh pengelasan dissimilar dengan metode *friction welding* terhadap struktur mikro sambungan baja AISI 1045 dan AISI 4140.

### 1.3. Tujuan dan Manfaat

#### 1.3.1 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini nantinya diharapkan dapat mengetahui beberapa hal sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh pengelasan dissimilar dengan metode *friction welding* terhadap kekerasan sambungan baja AISI 1045 dan AISI 4140.
- b. Mengetahui pengaruh pengelasan dissimilar dengan metode *friction welding* terhadap kekuatan tarik sambungan baja AISI 1045 dan AISI 4140.
- c. Mengetahui pengaruh pengelasan dissimilar dengan metode *friction welding* terhadap struktur mikro sambungan baja AISI 1045 dan AISI 4140.

#### 1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Dapat mengaplikasikan teori yang didapat selama perkuliahan khususnya yang berhubungan dengan pengelasan logam.
- b. Memberikan informasi mengenai alternatif penyambungan logam dengan menggunakan bahan yang berbeda.
- c. Sebagai dasar acuan untuk penelitian lebih lanjut.

### 1.4. Batasan Masalah

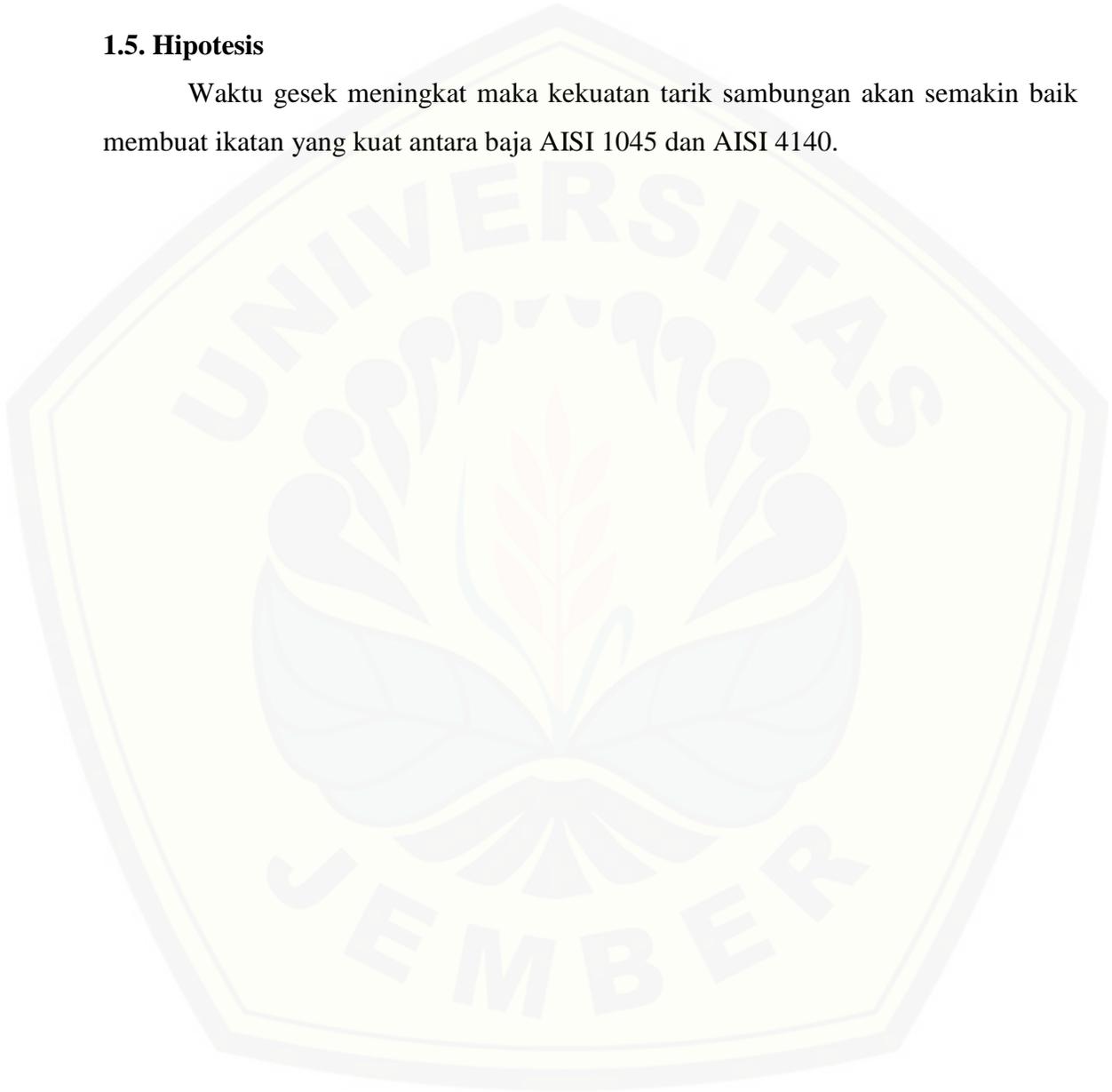
Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Material yang dilas adalah baja AISI 1045 dan AISI 4140 dengan diameter 16 mm.
- b. Proses pengelasan gesek dilakukan pada temperature kamar (30°).
- c. Pengujian meliputi uji tarik uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro.
- d. Temperatur benda kerja diabaikan.
- e. Kondisi peralatan yang digunakan saat pengambilan data diasumsikan terkalibrasi.

- f. Seluruh variable pendukung dianggap konstan.
- g. Tegangan sisa diabaikan.

### **1.5. Hipotesis**

Waktu gesek meningkat maka kekuatan tarik sambungan akan semakin baik membuat ikatan yang kuat antara baja AISI 1045 dan AISI 4140.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan sehingga menghasilkan sambungan yang kontinu (Sonawan dan Suratman, 2003:1). Menurut *Deutche Industrie Normen* (DIN) Las juga dapat didefinisikan sebagai ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair.

Fitriyanto (2014) Pada saat ini sekitar 40 jenis pengelasan yang dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu pengelasan lebur dan padat. Adapun macam dari pengelasan lebur yaitu Pengelasan Busur (Arc Welding), Pengelasan Resistansi Listrik (Resistance Welding), Pengelasan Gas (Oxyfuel Gas Welding), dan macam dari pengelasan padat yaitu Pengelasan Difusi (Diffusion Welding), Pengelasan Gesek, (Friction Welding,), Pengelasan Ultrasonik (Ultrasonic Welding,).

Menurut cara kerjanya pengelasan dibagi dalam (Wiryo Sumarto, 2000:7):

#### 1. Pengelasan cair

Proses pengelasan dimana dua atau lebih logam dipanaskan sampai melebur dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

#### 2. Pengelasan tekan

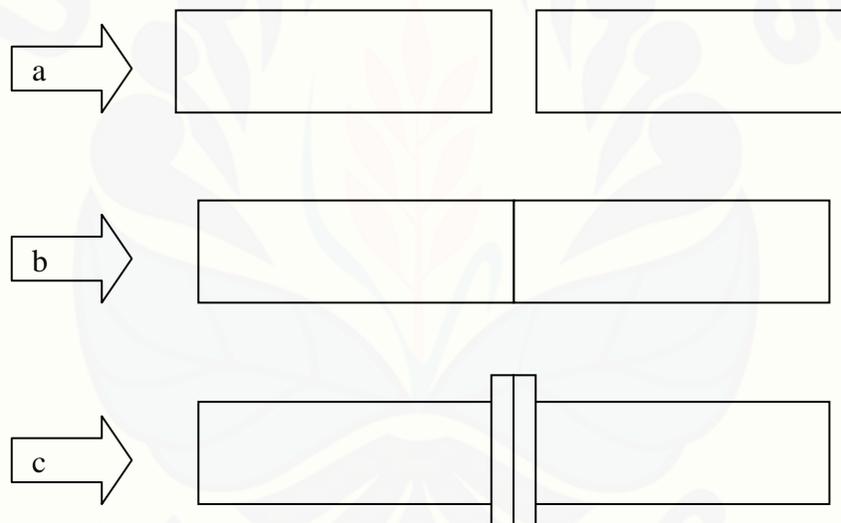
Pengelasan dimana dua atau lebih logam dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu, sumber panas berasal dari logam yang dilas.

#### 3. Pematrian

Pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, logam induk tidak ikut mencair.

### 2.1.1 Friction Welding

Istiawan (2014) *Friction welding* adalah proses pengelasan padat dimana panas untuk pengelasan dihasilkan oleh gerakan relatif antara dua permukaan yang saling bergesekan. Metode ini bergantung pada konversi langsung dari energi mekanik ke energi termal yang membuat kedua benda melebur untuk membentuk hasil lasan tanpa aplikasi panas dari sumber lain. Prinsip kerja las gesekan ini adalah menggesekan dua buah komponen logam dimana satu komponen itu berputar dan yang lainnya didorong maju pada komponen pertama sehingga terjadi gesekan satu sama lain. Akibat terjadinya gesekan, pada permukaan yang saling kontak mengalami peningkatan temperatur (Sonawan dan Suratman, 2003:10)

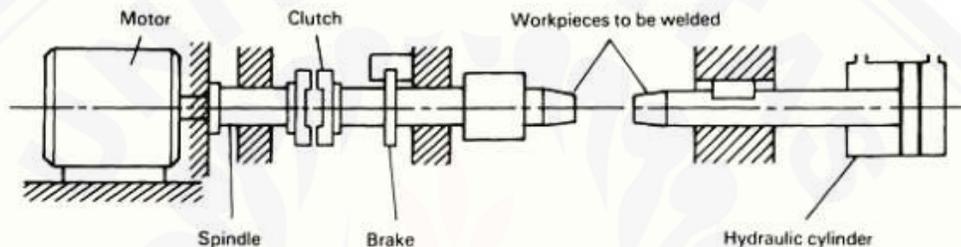


Gambar 2.1 Tahap *friction welding* a). Tahap pemanasan Dan pemutaran, b) tahap pembangkitan panas akibat Gesekan, d). Tahap akhir penekanan lanjut (Tiwan dan Ardian, 2005).

*Friction welding* dipengaruhi oleh 5 faktor yaitu : Kecepatan relatif antar permukaan, Tekanan yang dikenakan, Temperatur yang terbentuk pada permukaan, Sifat dari material, Kondisi permukaan. Untuk melakukan *friction welding* ada dua cara yaitu *direct drive welding* dan *inertia drive welding* (Tiwan dan Ardian, 2005).

### 1 *Direct-Drive Welding*

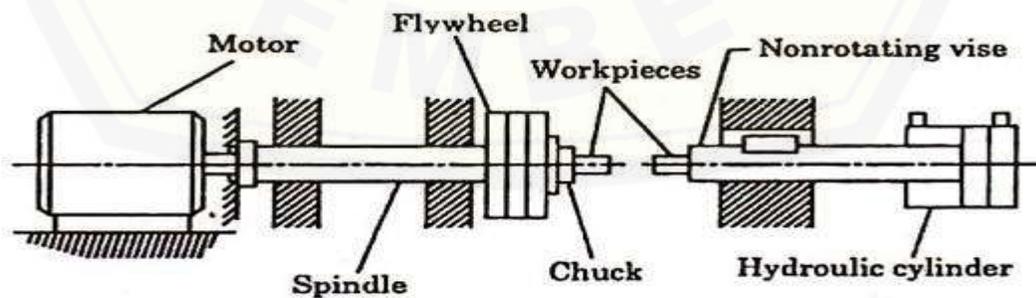
Skema pengelasan *Direct-drive welding* ditunjukkan pada gambar 2.2 Benda kerja yang diam harus dicekam dengan kaku untuk mencegahnya ikut berputar. Putaran terus dilakukan hingga seluruh permukaan yang disambung mencapai temperatur yang diinginkan. Kemudian putaran dihentikan dan gaya tekan diberikan pada proses akhir pengelasan. Pada kasus ini parameter proses pengelesan gesek ini antara lain kecepatan putar, gaya tekan aksial (Tiwon dan Ardian, 2005)



Gambar 2.2 Skema *Direct-drive welding* (sumber: ASM HANDBOOK)

### 2 *Inertia-Drive Welding*

Pengelasan menggunakan inertia drive welding hampir sama dengan proses pengelasan direct drive welding tetapi pada *spindle* diberi *flywheel* sebagai penyimpan tenaga seperti terlihat pada gambar 2.3. *flywheel* dirancang agar dapat ditambah atau dikurangi massanya. Jumlah energi yang tersimpan dalam *flywheel* dikontrol oleh kecepatan kemudian tekanan aksial diberikan secara konstan selama proses pengelasan dapat pula dilakukan diakhir proses.

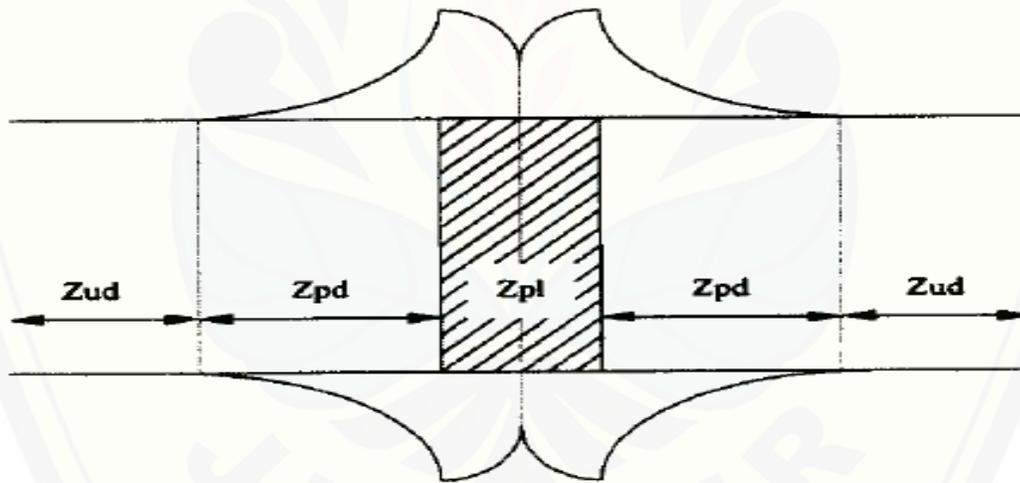


Gambar 2.3 Skema *Inertia-drive welding* (sumber: ASM HANDBOOK)

### 2.1.2 Daerah sambungan *Friction Welding*

Pada sambungan *friction welding* terdapat daerah *heat affected zone* (HAZ) yang berbeda dan luas daerah HAZ dapat diketahui seberapa besar Pengaruh panas terhadap perubahan struktur material disekitar sambungan. Lin et al (1999) membagi sambungan las menjadi tiga bagian yaitu :

1. *Fully plasticized (Zpl)* yaitu daerah sambungan material las gesek yang mengalami penyatuan kedua material secara sempurna akibat pengelasan.
2. *Partially deformed (Zpd)* yaitu daerah material yang mengalami pengaruh panas sebagian akibat pengelasan gesek, atau yang sering disebut daerah HAZ (*Heat Affected Zone*)
3. *Undeformed regions (Zud)* yaitu daerah material las gesek yang tidak terpengaruh panas



Gambar 2.4 Bagian Sambungan Las Gesek (Lin et al, 1999)

### 2.1.3 Kelebihan dan Keterbatasan *Friction Welding*

Tiwan dan Ardian (2005) Bila dibandingkan dengan proses penyambungan secara fusi dan brazing, *friction welding* kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan adalah sebagai berikut.

a. Kelebihan *Friction Welding*

1. Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi kebagian luar.
2. Tidak memerlukan logam pengisi, pelindung *flux* dan gas pelindung selama proses.
3. Tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan.
4. Dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda.
5. Ongkos pengerjaan lebih ringan.

b. Keterbatasan *Friction Welding*

1. Benda yang disambung harus simetris
2. Proses umumnya terbatas pada permukaan plat dan bentuk batang bulat.
3. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu dideformasi secara plastis.

2.1.4 *Dissimilar Friction Welding*

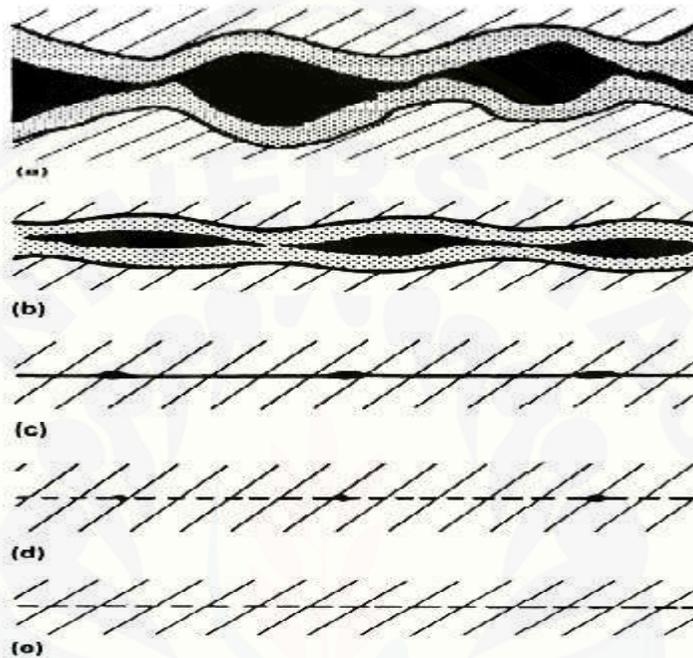
Pengelasan *dissimilar* dengan metode *friction welding* adalah proses pengelasan dengan cara menyambungkan dua logam yang berbeda dengan menggunakan panas yang dihasilkan dari gesekan permukaan benda kerja, perbedaannya seperti struktur kristal, komposisi kimia, titik leleh dan sifat mekanik logam (Uday *et al*,2015).

Dissimilar friction stir welding adalah proses pengelasan *solid state* yang digunakan untuk menyambungkan antara bahan yang berbeda seperti 1100 aluminium paduan dan AISI 1045 terutama dalam perbedaan bahan di titik lebur, struktur mikro, dan sifat mekanik (Karimi *et al* 2012).

Pengelasan antara baja AISI 4140 dan AISI 1050 menggunakan metode *dissimilar friction welding* yang termasuk dalam pengelasan *solid state* karena hasil sambungan dengan pengelasan konvensional menghasilkan sambungan rapuh karena perbedaan sifat mekanik, titik lebur, struktur mikro bahan (Celik 2009)

### 2.1.5 Mekanisme Proses Fusi *Friction Welding*

Proses perubahan yang terjadi saat proses pengelasan akan dijelaskan pada gambar dibawah ini (Nugroho 2010)



Gambar 2. Proses Fusi Friction Welding (Nugroho 2010)

Pada proses fusi terdapat 5 tahap yang terjadi yaitu sebagai berikut :

1. Titik awal kontak dan kontaminan lapisan oksida.
2. Setelah beberapa titik kontak yield dan creep, lapisan tipis oksida menghasilkan void yang besar.
3. Setelah yield dan creep terakhir, beberapa void dan lapisan oksida menjadi sangat tipis.
4. Dilanjutkan dengan difusi vacancy yang menghilangkan lapisan oksida dan beberapa void kecil
5. ikatan selesai

## 2.2 Baja

Baja merupakan paduan dari besi dengan karbon 0.08% sampai 2.0% dan terdapat bahan tambah lainnya seperti Si, Mn, P, S dan Cu, baja dikelompokkan berdasarkan kadar karbon yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. (Wiryosumarto, 2000:90)

Semakin besar kadar karbon dalam baja maka kekuatan dan kekerasan akan semakin tinggi tetapi keuletan akan menurun serta akan lebih sulit untuk dilakukan proses pengelasan. Baja karbon dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada dan hasilnya akan baik bila persiapan dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon adalah baja yang mudah di las.

Dibawah ini adalah tabel klasifikasi baja karbon sesuai dengan jenis dan kelas sesuai kandungan karbonnya, Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon (Wiryosumarto 2000:90)

| Jenis              | Kadar Karbon | Kekuatan Melebur (kg/mm <sup>2</sup> ) | Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> ) | Perpanjangan (%) | Kekerasan Brinell | Aplikasi                    |
|--------------------|--------------|--|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------------|
| Baja karbon rendah | 0,08         | 8-28                                   | 32-36                                | 40-30            | 95-100            | pelat tipis                 |
|                    | 0,08-0,12    | 20-29                                  | 36-42                                | 40-30            | 80-120            | batang, kawat               |
|                    | 0,12-0,20    | 22-30                                  | 38-48                                | 16-24            | 100-130           | Konstruksi                  |
|                    | 0,20 0,30    | 24-36                                  | 44-55                                | 32-22            | 112-145           | umum.                       |
| Baja karbon sedang | 0,30-0,40    | 30-40                                  | 50-60                                | 30-17            | 140- 170          | Alat-alat mesin.            |
|                    | 0,04 0,50    | 34-46                                  | 58 -70                               | 26-14            | 1 60,200          | Perkakas                    |
| Baja Karbon tinggi | 0,50 0,80    | 36-47                                  | 65- 100                              | 20-11            | I 80-235          | Rel, pegas, dan kawat piano |

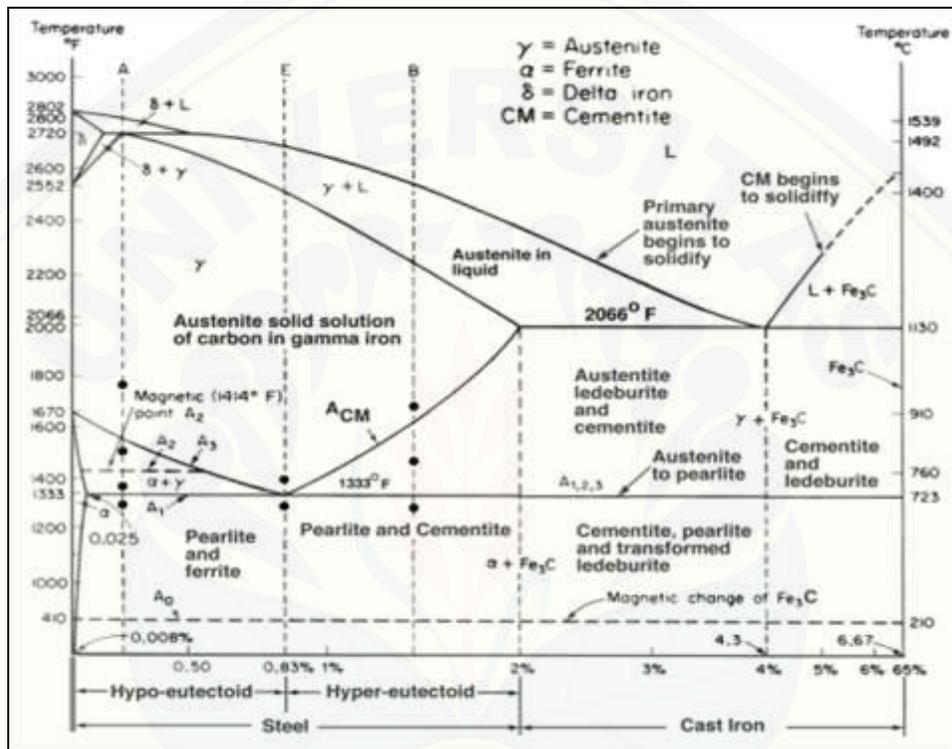
Ditinjau dari paduannya baja diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu baja paduan rendah (*low alloy steel*) dan baja paduan tinggi (*high alloy steel*). Baja paduan rendah merupakan baja yang sedikit paduan unsur lainnya kecuali karbon dan sedikit mangan, sedangkan baja dengan paduan tinggi terdapat banyak unsur-unsur lain untuk meningkatkan karakteristik tertentu dari logam baja tersebut.

Tabel 2.2 Sifat Baja (irwandy, 2013)

| Campuran logam  | Pengaruh terhadap sifat baja  |  |
|-----------------|---|--|
|                 | Menambah  | Mengurangi   |
| Karbon (C)      | Ketangguhan, kekerasan, sifat pengerasan.                                       | Titik lebur, keuletan, regangan sifat mengelas dan menempa |
| Silisium (Si)   | Menambah elastisitas, ketangguhan, kekerasan dan tahan karat                    | Sifat mengelas   |
| Fosfor (P)      | Leburan encer   | Regangan dan gaya kekuatan pukul                           |
| Sulfur (S)      | Serpihan mudah patah  | Daya kekuatan pukul  |
| Mangan (Mg)     | Kekerasan, ketangguhan, daya kekuatan pukul dan daya keausan                    | Sifat membuat serpih                                       |
| Nikel (Ni)      | Keuletan regangan, ketangguhan, daya tahan karat, tahan listrik dan suhu tinggi | Tegangan oleh suhu tinggi                                  |
| Khrom (Cr)      | Kekerasan, ketangguhan, daya tahan karat, suhu tinggidan ketajaman              | Regangan   |
| Varadium (V)    | Daya tahan lama, kekerasan dan keuletan   | Daya tahan suhu tinggi                                     |
| Molybdenum (Mo) | Kekerasan daya tahan lama   | Regangan dan sifat menempa                                 |
| Kobal           | Kekerasan ketajaman   | Keuletan mengurangi daya tahan suhu tinggi                 |
| Wolfram (W)     | Kekerasan, ketangguhan, daya tahan karat, suhu tinggi dan ketajaman             | Regangan   |

### 2.2.1 Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C merupakan diagram yang menjelaskan mengenai perubahan fasa



Gambar 2. Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C (Anonymous C, 2012):

1. A<sub>1</sub> adalah temperatur reaksi eutektoid yaitu perubahan fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$ +Fe<sub>3</sub>C (*pearlite*) untuk baja *hypo-eutectoid*.
2. A<sub>2</sub> adalah titik *Currie* (pada temperatur 769 °C), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.

3.  $A_3$  adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$  (*ferite*) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
4.  $A_{cm}$  adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $Fe_3C$  (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
5.  $A_{123}$ , adalah temperatur transformasi  $\gamma$  menjadi  $\alpha+Fe_3C$  (*pearlite*) untuk baja *hypereutectoid*.

### 2.2.2 Struktur Mikro Baja

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon adalah (Yogantoro, 2010):

#### a. Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit atau perlit dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan ketangguhan tinggi. Kelarutan maksimal kandungan karbon sebesar  $\pm 2,06\%$  pada suhu  $1148\text{ }^\circ\text{C}$ , struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*). Sifat ketangguhan tinggi dan tidak stabil pada suhu ruang

#### b. Ferit

Fasa ini disebut alpha ( $\alpha$ ). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon  $\pm 0,025\% \text{ C}$  pada temperatur  $723\text{ }^\circ\text{C}$ , struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang, kadar kelarutan karbonnya  $\pm 0,008\%$  sehingga dapat dianggap besi murni. Ferit bersifat magnetik sampai suhu  $768\text{ }^\circ\text{C}$ . Sifat-sifat ferit adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram  $Fe_3C$ .

### c. Perlit

Perlit ialah campuran *eutectoid* antara *ferrite* dengan *cementite* yang terbentuk pada suhu 723 °C dengan kandungan karbon 0,83% (Aisyah, 2012). Fasa perlit merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025% dan sementit dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi, perlit merupakan struktur mikro dari reaksi eutektoid *lamellar*.

### d. Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa austenit ke suhu antara 250 - 550 °C dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). Bainit adalah struktur mikro dari reaksi eutektoid ( $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) *non lamellar*. Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300 - 400 HVN.

### e. Martensit

Martensit merupakan fasa diantara ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan *lamellar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya prepitasi  $\text{Fe}_3\text{C}$  unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada 260 °C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dan matriks ferit.

### f. Sementit (karbida besi)

Sementit merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Karbida besi mempunyai komposisi kimia  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan 16 kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat.

### 2.2.2 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 termasuk dalam baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0.45%. pengaplikasiannya biasanya dalam pembuatan komponen permesianan dimana dapat dilakukan dengan cara pengelasan gesek. (Prasetyono dan subiyanto, 2012). AISI merupakan kepanjangan dari (*American Institute for Steel and Iron*) cara pembacaan dari AISI 1045 yaitu untuk angka 10 menunjukkan kandungan paduan baja sedangkan untuk angka 45 menunjukkan kadar karbon.

Tabel 2.3 Sifat-sifat mekanis Baja Karbon AISI 1045 (Interlloy Pty Ltd).

| No | Hardness<br>(BHN) | Tensile<br>Strength<br>(MPa) | Yield strength<br>(MPa) | Elongation % |
|----|-------------------|------------------------------|-------------------------|--------------|
| 1  | 190 - 270         | 640 – 850                    | 500 – 650               | 8            |

Table 2.4 Unsur kimia baja AISI 1045 (Brammer Standard Company, Inc).

| Element    | %     | Element  | %        |
|------------|-------|----------|----------|
| Carbon     | 0.457 | Aluminum | 0.002    |
| Manganese  | 0.75  | Antimony | (0.002)  |
| Phosphorus | 0.016 | Arsenic  | (0.005)  |
| Sulfur     | 0.024 | Boron    | (0.0004) |
| Silicon    | 0.34  | Calcium  | 0.0012   |
| Copper     | 0.22  | Cobalt   | 0.009    |
| Nickel     | 0.056 | Nitrogen | 0.0090   |
| Chromium   | 0.058 | Tin      | 0.029    |
| Molybdenum | 0.012 | Titanium | 0.002    |
| Vanadium   | 0.013 | Tungsten | <0.005   |

### 2.2.3 Baja AISI 4140

Baja AISI 4140 termasuk dalam baja karbon rendah karena memiliki kadar karbon dari 0.40 %,

Tabel 2.5 Sifat-sifat mekanis Baja Karbon AISI 4140 (Interlloy Pty Ltd).

| No | Hardness<br>(BHN) | Tensile<br>Strength<br>(MPa) | Yield strength<br>(MPa) | Elongation % |
|----|-------------------|------------------------------|-------------------------|--------------|
| 1  | 258               | 1059                         | 650 – 800               | 12           |

Tabel 2.6 Unsur Kimia Baja Karbon AISI 4140 (Brammer Standard Company, Inc)

| Element | %     | Element | %     |
|---------|-------|---------|-------|
| C       | 0.417 | Nb< Ni  | 0.002 |
| Mn      | 0.772 | Ti      | 0.051 |
| P       | 0.008 | Al      | 0.002 |
| S       | 0.005 | Cu      | 0.029 |
| Si      | 0.260 | V       | 0.050 |
| Cr      | 0.923 | W       | 0.003 |
| Mo      | 0.157 | Pb      | 0.002 |
| Co      | 0.006 |         |       |

## 2.3 Pengujian Bahan

### 2.3.1 Uji Tarik

Dalam penelitian sugiaro et al (2013) Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis logam seperti keuletan, ketangguhan, kekuatan. Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinyu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji.

Bentuk yang umum digunakan untuk pengujian ini adalah bentuk silinder pejal, tetapi spesimen uji juga dapat berbentuk datar atau berbentuk tabung. Spesimen uji tarik umumnya disiapkan berdasarkan standar yang digunakan. Standar yang digunakan dapat menggunakan ASTM, JIS atau DIN tergantung kepada peneliti (kalpakjian et. al, 2009:57) Agar hasil pengujian dapat di bandingkan maka ditentukan tegangan dan regangan. Dengan tegangan diartikan gaya tiap satuan luas. Untuk menghitung tegangan  $\sigma$  dengan rumus (Lehrmitte, *et al*, dalam Istiawan 2014)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$\sigma$  = Tegangan ( $N/mm^2$ )

$F$  = Beban (N)

$A$  = Luas penampang ( $mm^2$ )

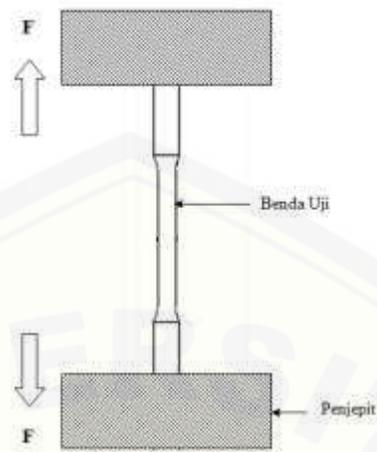
Untuk menghitung regangan  $\epsilon$  maka perpanjangan dibagi dengan ukuran panjang batang semula (Lehrmitte, *et al*, dalam Istiawan 2014) atau :

$$\epsilon = \frac{L - L_o}{L_o} 100 \%$$

$\epsilon$  = Regangan

$L_o$  = Panjang awal

$L$  = Panjang setelah ditarik



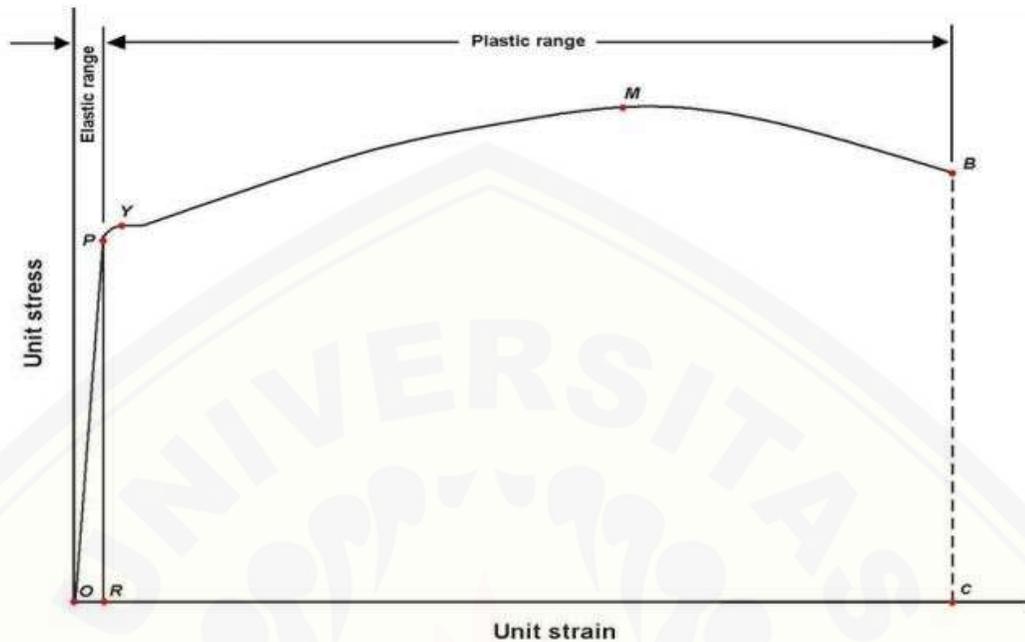
Gambar 2.5 Skema Uji Tarik

(Sumber: Diadaptasi dari jurnal Fitriyanto 2014)

Dalam diagram tegangan regangan terdapat sifat atau perilaku dari material yaitu sebagai berikut :

#### 1. Modulus elastisitas

Garis lurus pada diagram tegangan regangan menunjukkan tegangan meningkat berbanding lurus dengan regangan (Hukum Hooke) yang biasa disebut garis-garis modulus. Sudut yang dibentuk garis modulus dengan garis horizontal tidak sama untuk tiap bahan. Pada tegangan yang sama regangan yang bersangkutan tidak sama untuk tiap bahan (Istiawan 2014). modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat baja ulet

(Sumber: Yuwono, 2009)

$$E = t g \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$E$  = modulus kenyal/elastisitas

$\epsilon$  = Regangan

$\sigma$  = Tegangan

## 2. Kekuatan Tarik

Tegangan tertinggi yang terlihat pada diagram tegangan regangan merupakan kekuatan tarik  $\sigma_B$  yang dihitung dari gaya terbesar dibagi luas penampang semula (Istiawan 2014).

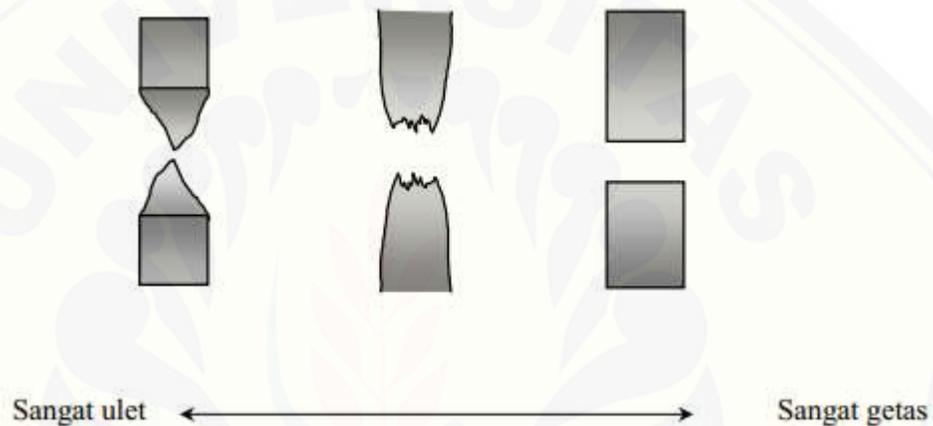
$$\sigma_B = \frac{FB}{A_0}$$

$\sigma_B$  = kekuatan tarik

FB = gaya terbesar

### 3. Batas elastis (*elastic limit*)

Daerah elastis adalah daerah dimana bahan akan kembali kepada panjang semula bila tegangan luar dihilangkan. Daerah proporsionalitas merupakan bagian dari batas elastik ini. Selanjutnya bila bahan terus diberikan tegangan (deformasi dari luar) akan menyebabkan terjadinya deformasi permanen (plastis) pertama kalinya. Kebanyakan material teknik memiliki batas elastis yang hampir berimpitan dengan batas proporsionalitasnya (Yuwono, 2009).



Gambar 2.7 Bentuk perpatahan pada uji tarik (Yuwono, 2009).

Dari gambar dapat dilihat perbedaan karakteristik antara perpatahan ulet dan getas, untuk patah ulet karakteristiknya berserabut (*fibrous*) dan gelap (*dull*), sementara perpatahan getas ditandai dengan permukaan patahan yang berbutir (*granular*) dan terang.

#### 2.3.2 Pengujian Kekerasan

Pada prinsipnya pengujian kekerasan ini mempunyai tiga metode yaitu penggoresan (*scratching*), pantulan ataupun indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji. Berdasarkan mekanisme penekanan tersebut, dikenal 3 metode uji kekerasan yaitu metode gores, metode elastik/pantul (*rebound*), dan metode indentasi (Yuwono, 2009).

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Dalam pengujian kekerasan seperti pada pengujian statik lainnya diukur ketahanan terhadap deformasi (Surdia, 2000:32).

Berdasarkan mekanisme penekanan dikenal 3 metode uji kekerasan yaitu penggoresan, pantulan dan indentasi.

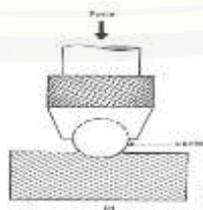
Metode indentasi Pengujian dilakukan dengan penekanan benda uji dengan indenter dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalam ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Berdasarkan prinsip bekerjanya metode uji kekerasan dengan cara indentasi ada tiga metode yaitu metode Brinell, metode Vickers, dan metode Rockwell. Pengujian yang paling sering digunakan untuk meneliti suatu kekerasan suatu material adalah metode Brinell (Yuwono, 2009).

#### 1. Metode Brinell

Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh J.A. Brinell pada tahun 1900. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras (hardened steel ball) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.13. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop khusus pengukur jejak. Contoh pengukuran hasil penjejakan diberikan oleh Gambar 2.13. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

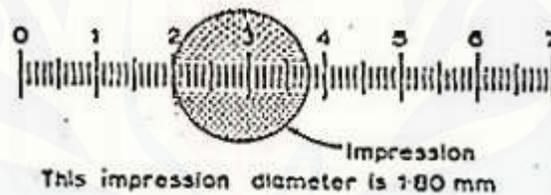
$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.5)$$

dimana P adalah beban (kg), D diameter indenter (mm) dan d diameter jejak (mm).



Gambar 2.8 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell (Yuwono, 2009)

Prosedur standar pengujian mensyaratkan bola baja dengan diameter 10 mm dan beban 3000 kg untuk pengujian logam-logam ferrous, atau 500 kg untuk logam-logam non-ferrous. Untuk logam-logam ferrous, waktu indentasi biasanya sekitar 10 detik sementara untuk logam-logam non-ferrous sekitar 30 detik. Walaupun demikian pengaturan beban dan waktu indentasi untuk setiap material dapat pula ditentukan oleh karakteristik alat penguji. Nilai kekerasan suatu material yang dinotasikan dengan 'HB' tanpa tambahan angka di belakangnya menyatakan kondisi pengujian standar dengan indenter bola baja 10 mm, beban 3000 kg selama waktu 1—15 detik. Untuk kondisi yang lain, nilai kekerasan HB diikuti angka-angka yang menyatakan kondisi pengujian. Contoh: 75 HB 10/500/30 menyatakan nilai kekerasan Brinell sebesar 75 dihasilkan oleh suatu pengujian dengan indenter 10 mm, pembebanan 500 kg selama 30 detik.



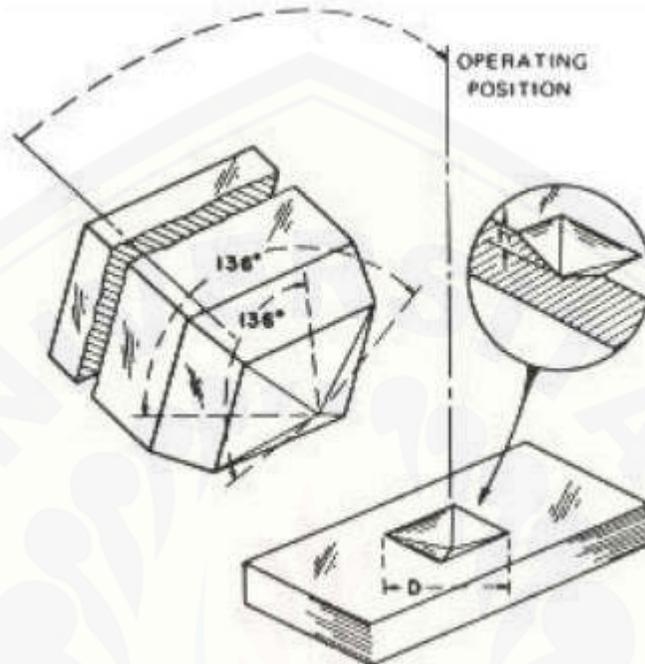
Gambar 2.9 Hasil indentasi Brinell berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm. (sumber : Yuwono, 2009)

## 2. Metode Vickers

Pada metode ini digunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut 136o, seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.3. Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinell, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh :

$$VHN = \frac{1.854 P}{d^2}$$

dimana  $d$  adalah panjang diagonal rata-rata dari jejak berbentuk bujur sangkar.



Gambar 2.10. Skematis prinsip indentasi dengan metode Vickers

### 3. Metode Rockwell

Berbeda dengan metode Brinell dan Vickers dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter/diagonal jejak yang dihasilkan maka metode Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*). Metode ini banyak dipakai dalam industri karena pertimbangan praktis. Variasi dalam beban dan indenter yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Metode yang paling umum dipakai adalah Rockwell B (dengan indenter bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg) dan Rockwell C (dengan indenter intan dengan beban 150 kg). Walaupun demikian metode Rockwell lainnya juga biasa dipakai. Oleh karenanya skala kekerasan Rockwell suatu material harus dispesifikasikan dengan jelas. Contohnya 82 HRB, yang menyatakan material diukur dengan skala B: indenter 1/6 inci dan beban 100 kg.

## 2.4 Pengujian Metalografi

Menurut Fitriyanto (2014) Pengujian metalografi ini dilakukan untuk menganalisa struktur mikro pada sampel. Adapun prinsip dasar langkah-langkah untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut :

### 2.4.1 *Cutting* (Pemotongan)

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu benda uji studi mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel tersebut didasarkan pada tujuan pengamatan yang hendak dilakukan. Pada umumnya bahan komersil tidak homogen, sehingga satu sampel yang diambil dari suatu volume besar tidak dapat dianggap representatif. Pengambilan sampel harus direncanakan sedemikian sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan atau kondisi di tempat-tempat tertentu (kritis), dengan memperhatikan kemudahan pemotongan pula. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya. Sebagai contoh, untuk pengamatan mikrostruktur material yang mengalami kegagalan, maka sampel diambil sedekat mungkin pada daerah kegagalan (pada daerah kritis dengan kondisi terparah), untuk kemudian dibandingkan dengan sampel yang diambil dari daerah yang jauh dari daerah gagal. Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses memotong, harus dicegah kemungkina deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai.

Ada beberapa sistem pemotongan sampel berdasarkan media pemotong yang digunakan, yaitu meliputi proses pematahan, pengguntingan, penggergajian, pemotongan abrasi (*abrasive cutter*), gergaji kawat, EDM (*Electric Discharge Machining*). Berdasarkan tingkat deformasi yang dihasilkan, teknik pemotongan terbagi menjadi menjadi dua, yaitu :

1. Teknik pemotongan dengan deformasi yang besar, menggunakan gerinda.
2. Teknik pemotongan dengan deformasi kecil, menggunakan *low speed diamond saw*.

#### 2.4.2. Mounting

Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Sebagai contoh adalah spesimen yang berupa kawat, spesimen lembaran metal tipis, potongan yang tipis, dll. Untuk memudahkan penanganannya, spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (media *mounting*). Secara umum syarat-syarat yang harus dimiliki bahan *mounting* adalah :

1. Bersifat inert (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa).
2. Sifat eksotermis rendah.
3. Viskositas rendah.
4. Penyusutan linier rendah.
5. Sifat adhesi baik.
6. Memiliki kekerasan yang sama dengan sampel.
7. *Flowabilitas* baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidakteraturan yang terdapat pada sampel.
8. Khusus untuk etsa elektrolitik dan pengujian SEM, bahan *mounting* harus konduktif.

Media *mounting* yang dipilih haruslah sesuai dengan material dan jenis reagen etsa yang akan digunakan. Pada umumnya *mounting* menggunakan material plastik sintetik. Materialnya dapat resin (*castable resin*) yang dicampur dengan *hardener* atau bakelit. Penggunaan *castable resin* lebih mudah dan alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan bakelit, karena tidak memiliki sifat mekanis yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material keras. Teknik *mounting* yang paling baik adalah menggunakan *thermosetting* resin dengan menggunakan material bakelit. Material ini berupa bubuk yang tersedia dengan warna beragam. *Thermosetting mounting* membutuhkan alat khusus, karena dibutuhkan aplikasi tekanan  $4200 \text{ lb/in}^2$  dan panas  $149^\circ$  pada *mold* saat *mounting*.

#### 2.4.3. *Grinding* (pengamplasan)

Sampel yang baru saja dipotong atau sampel yang telah terkorosi memiliki permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar ini harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas silicon karbit (SiC) dengan berbagai tingkat kekasaran yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan mesh, yaitu kombinasi dari 220, 330, 500, 600, 800, dan 1000. Ukuran grit pertama yang dipakai tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan. Seperti perubahan struktur akibat panas yang timbul pada saat proses pemotongan dan perubahan bentuk sampel akibat beban alat potong.

Hal yang perlu diperhatikan pada saat pengamplasan adalah pemberian air. Air berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat merubah struktur mikro sampel dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas. Hal lain yang harus diperhatikan adalah ketika melakukan perubahan arah pengamplasan, maka arah yang baru adalah  $45^0$  atau  $90^0$  terhadap arah sebelumnya.

#### 2.4.4. *Polishing* (pemolesan)

Setelah diampelas sampai halus, sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin dan menghilangkan ketidakrataan sampel hingga orde  $0.01 \mu\text{m}$ . Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel.

Tahap pemolesan dimulai dengan kasar terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pemolesan halus. Ada 3 metode pemolesan antara lain yaitu sebagai berikut :

a. Pemolesan Elektrolit Kimia

Hubungan rapat arus dan tegangan bervariasi untuk larutan elektrolit dan material yang berbeda dimana untuk tegangan, berbentuk lapisan tipis pada permukaan dan hampir tidak ada arus yang lewat, maka terjadi proses etsa. Sedangkan pada tegangan tinggi terjadi pemolesan.

b. Pemolesan Kimia Mekanis

Merupakan kombinasi antara etsa kimia dan pemolesan mekanis yang dilakukan serentak di atas pinggiran halus. Partikel pemoles abrasif dicampur dengan larutan pengetsas yang umum digunakan.

c. Pemolesan Elektro Mekanis (Metode Reinacher)

Merupakan kombinasi antara pemolesan elektrolit dan mekanis pada piring pemoles. Metode ini sangat baik untuk logam mulia, tembaga, kuningan dan perunggu.

#### 2.4.5 Etching (etsa)

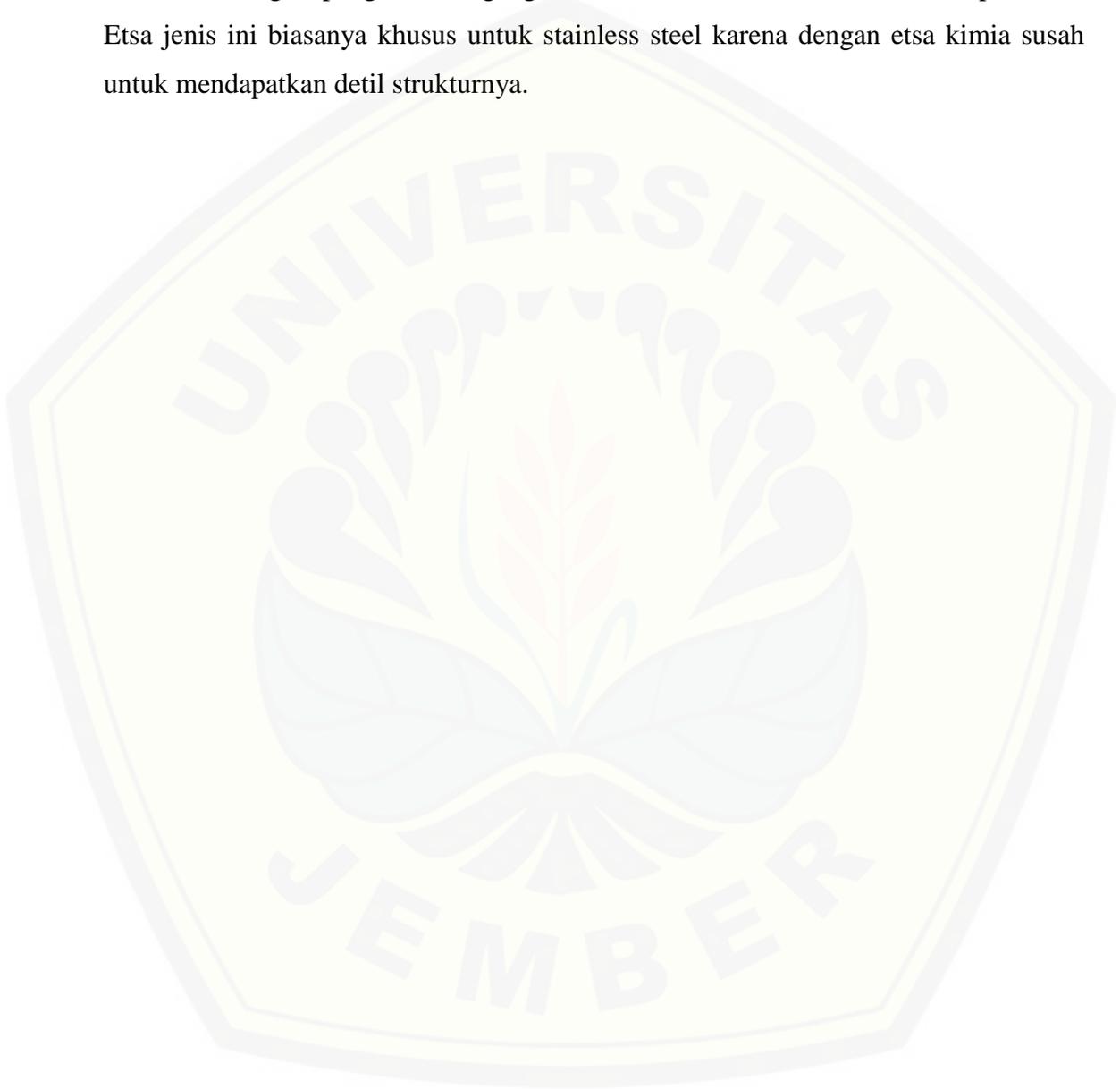
Etsa merupakan proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsas baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, mikrostruktur baru muncul jika diberi zat etsa. Sehingga perlu pengetahuan yang tepat untuk memilih zat etsa yang tepat.

a. Etsa Kimia

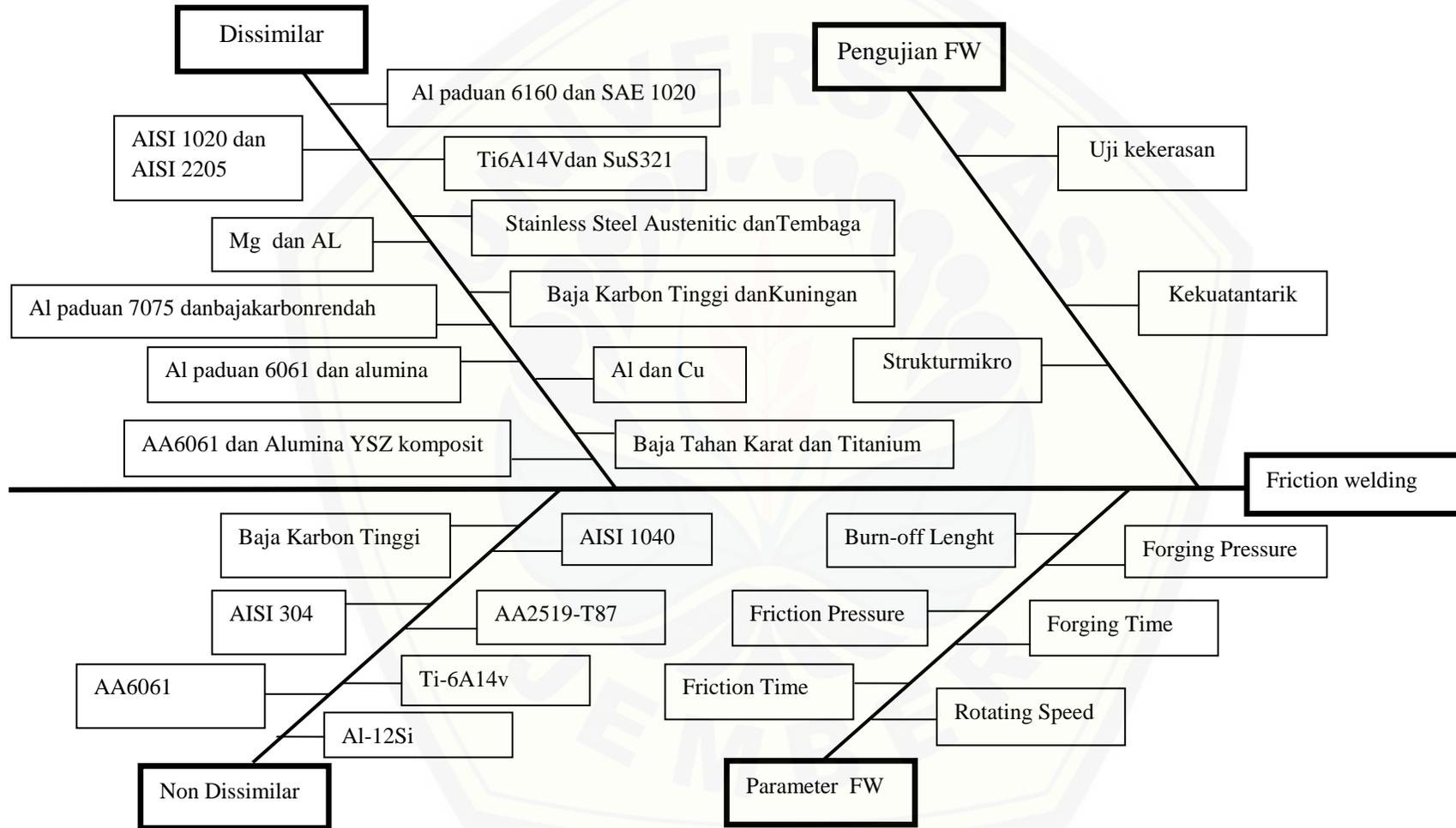
Merupakan proses pengetsasan dengan menggunakan larutan kimia dimana zat etsa yang digunakan ini memiliki karakteristik tersendiri sehingga pemilihannya disesuaikan dengan sampel yang akan diamati. Contohnya antara lain : nitrid acid / nital (asam nitrat + alcohol 95%), picral (asam picric + alcohol), ferric chloride, hydrofluoric acid, dll. Perlu diingat bahwa waktu etsa jangan terlalu lama (umumnya sekitar 4 – 30 detik), dan setelah dietsa segera dicuci dengan air mengalir lalu dengan alkohol kemudian dikeringkan dengan alat pengering.

b. Elektro Etsa (Etsa Elektrolitik)

Merupakan proses etsa dengan menggunakan reaksi elektroetsa. Cara ini dilakukan dengan pengaturan tegangan dan kuat arus listrik serta waktu peetsaan. Etsa jenis ini biasanya khusus untuk stainless steel karena dengan etsa kimia susah untuk mendapatkan detil strukturnya.



2.5 Fish Bond Diagram Penelitian Friction Welding



Gambar 2.11 Fish Bond diagram penelitian Friction Welding

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan yaitu metode eksperimental. Metode ini merupakan suatu observasi dibawah kondisi buatan, kondisi tersebut sengaja dibuat dan diatur oleh peneliti dengan memanipulasi objek penelitian serta adanya kontrol.

### 3.2 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dimulai pada bulan juni 2016 sampai dengan juni 2017. Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pengelasan gesek dan pengujian. Untuk pengelasan gesek dilakukan di Laboratorium Permesinan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Desain dan Uji Bahan Teknik Mesin Universitas Jember, pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Malang, dan pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Malang.

### 3.3 Bahan dan Alat

#### 3.3.1 Bahan

1. Poros baja AISI 1045 dan AISI 4140 dengan diameter 16 mm.
2. Bahan Etsa

Bahan etsa digunakan untuk membuat struktur permukaan benda tampak jelas. Mengetsas adalah merusak permukaan benda uji dengan cairan tertentu yang sesuai, sehingga strukturnya terlihat dengan jelas.

3. Resin dan *Hardener*

Resin dan *hardener* adalah bahan kimia yang digunakan untuk membuat pegangan benda uji pada waktu melakukan pengujian kekerasan dan metalografi.

#### 4. Pasta Poles

Pasta poles digunakan untuk menggosok permukaan benda uji sebelum dilakukan penelitian agar permukaan benda tidak terdapat kotoran seperti debu minyak. Pasta poles yang digunakan adalah autosol.

#### 3.3.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1. Mesin Bubut
2. Kertas gosok
3. Mesin *grinding-polishing*
4. Gergaji
5. Jangka sorong
6. Gerinda
7. *Stopwatch*
8. Alat ukur tekanan gesek dan tempa
9. Alat uji tarik
10. Ala tuji kekerasan
11. Mikroskop

### 3.4 Variabel Penelitian

#### 3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah waktu gesek yaitu 10, 20, 30, 40 detik.

#### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro.

### 3.4.3 Variabel Kontrol

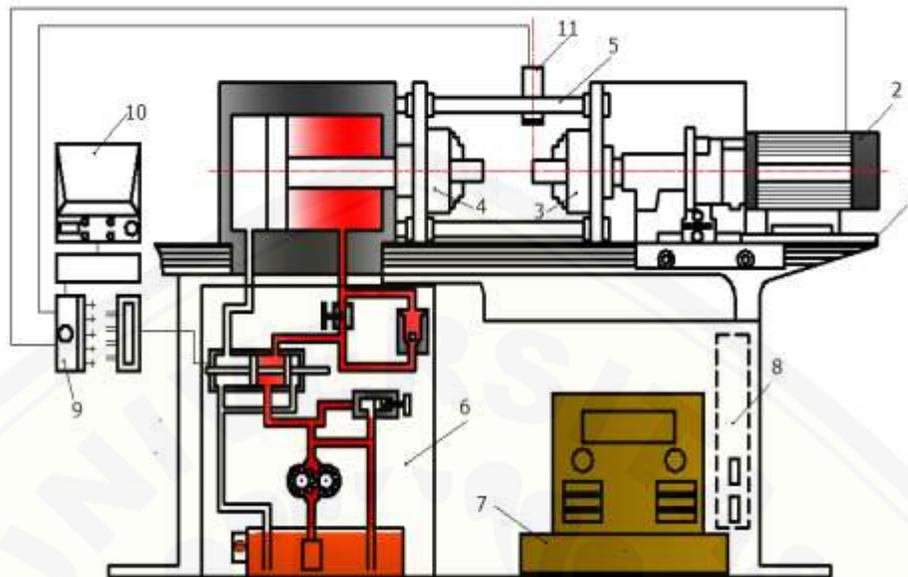
Variabel control adalah variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi variable control adalah:, Kecepatan *spindle* 4124 rpm, Tekan gesek 50 Mpa, tekanan tempa 80 Mpa.

### 3.5 Proses Pengelasan

Langkah langkah pada proses pengelasan dengan metode *Direct Drive Friction Welding* adalah sebagai berikut :

1. Spesimen dipotong sesuai ukuran, kemudian dilakukan proses pembubutan muka pada permukaan yang akan di las gesek.
2. Membersihkan permukaan spesimen dari kotoran dan minyak.
3. Mempersiapkan mesin untuk proses *Friction welding*
4. Specimen dicekam pada alat yang terpasang pada kepala lepas dan rotating chuck.
5. Mesin dinyalakan dengan putaran 4124 rpm.
6. Pada saat specimen berputar dan terjadi gesekan diberikan tekanan gesek sebesar 50 Mpa dengan variasi waktu 10, 20, 30 dan 40 detik.
7. Setelah waktu tercapai mesin dimatikan kemudian dilakukan pengereman agar putaran berhenti.
8. Setelah putaran berhenti specimen diberikan tekan tempa sebesar 80 Mpa.
9. Specimen dilepas dari mesin kemudian dibersihkan.

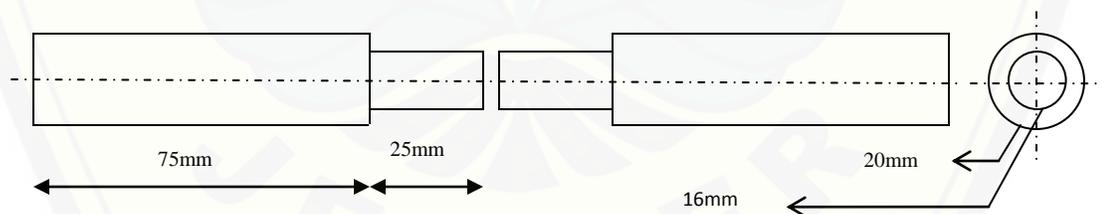
Alat yang digunakan pada proses friction welding yaitu direct drive friction welding yang ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1 Skema alat *Direct-Drive Friction Welding* (Mercan, S et al, 2015)

### 3.6 Dimensi Benda Kerja

Specimen yang digunakan berbentuk silinder pejal yang memiliki panjang 100 mm dan diameter permukaan gesek 16 mm yang ditunjukkan pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 spesimen uji

### 3.7 Proses Pengujian

Parameter pengujian meliputi beberapa pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter Pengujian

| Waktu gesek | Uji Tarik | Uji Kekerasan | Uji Metalografi |
|-------------|-----------|---------------|-----------------|
| 10          | 3         | 1             | 1               |
| 20          | 3         | 1             | 1               |
| 30          | 3         | 1             | 1               |
| 40          | 3         | 1             | 1               |

#### 3.7.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan. Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standar ASTM E8/E8M – 09 (*Annual Book of Astm Standards*).

Dari pengujian tarik ini didapat grafik tegangan vs regangan. Tegangan ( $\sigma$ ) didapat dengan menggunakan rumus :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (3.1)$$

$F$  : beban yang diberikan (N)

$A_0$  : luas penampang bahan sebelum dibebani ( $\text{mm}^2$ )

Sedangkan regangan ( $\varepsilon$ ) didapat dengan menggunakan rumus :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

$\varepsilon$  : persentase perpanjangan atau keuletan (%)

$L_i$  : panjang akhir (mm)

$L_0$  : panjang awal (mm)

$\Delta L$  : selisih batang uji (mm)

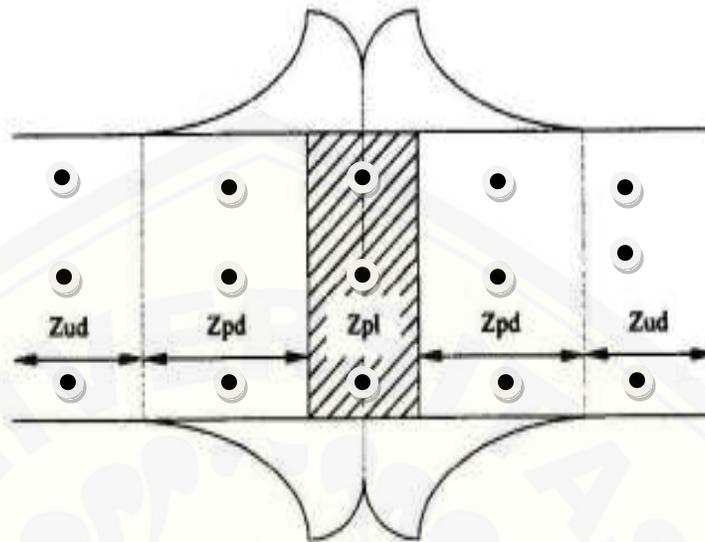
Tabel 3.2 Rancangan Perhitungan Data Uji Tarik

| $L_0$ (mm) | $\Delta L$ (mm) | $P_i$ (kg) | $A_0$ (mm <sup>2</sup> ) | $\sigma = F/A_0$ (kg/mm <sup>2</sup> ) | $\epsilon = \Delta L/L_0$ (%) | $E = \sigma/\epsilon$ (kg/mm <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------|------------|--------------------------|--|-------------------------------|---|
|            |                 |            |                          |  |                               |   |
|            |                 |            |                          |  |                               |   |
|            |                 |            |                          |  |                               |   |
|            |                 |            |                          |  |                               |   |
| Rata-rata  |                 |            |                          |  |                               |   |

### 3.7.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode brinell menggunakan acuan ASTM E 10 – 01. Spesimen uji untuk uji kekerasan ini harus mempunyai permukaan yang rata dan halus agar pada pengujian bisa dengan dengan mudah untuk diidentifikasi. Pada uji kekerasan ini menggunakan alat *Electric Brinell Hardness Tester* dengan menggunakan indenter bola baja berbentuk bulat. Daerah yang akan diuji kekerasannya ditampilkan pada gambar 3.3. Berikut ini adalah langkah – langkah dalam melakukan pengujian kekerasan :

- a. Persiapan spesimen uji kekerasan dengan memotong benda kerja setelah dilakukan pengelasan dengan dimensi sesuai ASTM E 10 - 01.
- b. Spesimen digrinding dengan pada mesin *grinding-polishing* hingga rata halus.
- c. Penentuan titik indentasi pada daerah sambungan (*base metal*, HAZ, dan *weld metal*).



*fully plasticized (Zpl), partly deformed (Zpd) and undeformed (Zud) regions*

Gambar 3.3 Daerah pengujian kekerasan.

Tabel 3.3 Data Uji Kekerasan

| waktu | Spesimen | Nilai Kekerasan (BHN) |            |            |
|-------|----------|-----------------------|------------|------------|
|       |          | <i>Zpd</i>            | <i>Zud</i> | <i>Zpl</i> |
| 10    | 1        |                       |            |            |
| 20    | 1        |                       |            |            |
| 30    | 1        |                       |            |            |
| 40    | 1        |                       |            |            |

Untuk mencari nilai kekerasan brinell menggunakan persamaan 3.3 di bawah ini

$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan :  $P$  = Beban (Kg)

$D$  = Diameter indenter (mm)

$d$  = Diameter jejak (mm)

### 3.7.3 Pengujian Metalografi

Setelah dilakukan proses *friction welding* untuk menganalisa struktur mikro yang terbentuk diperlukan pengamatan mikro atau pengujian *metalografi*. Prosedur pengujian sebagai berikut:

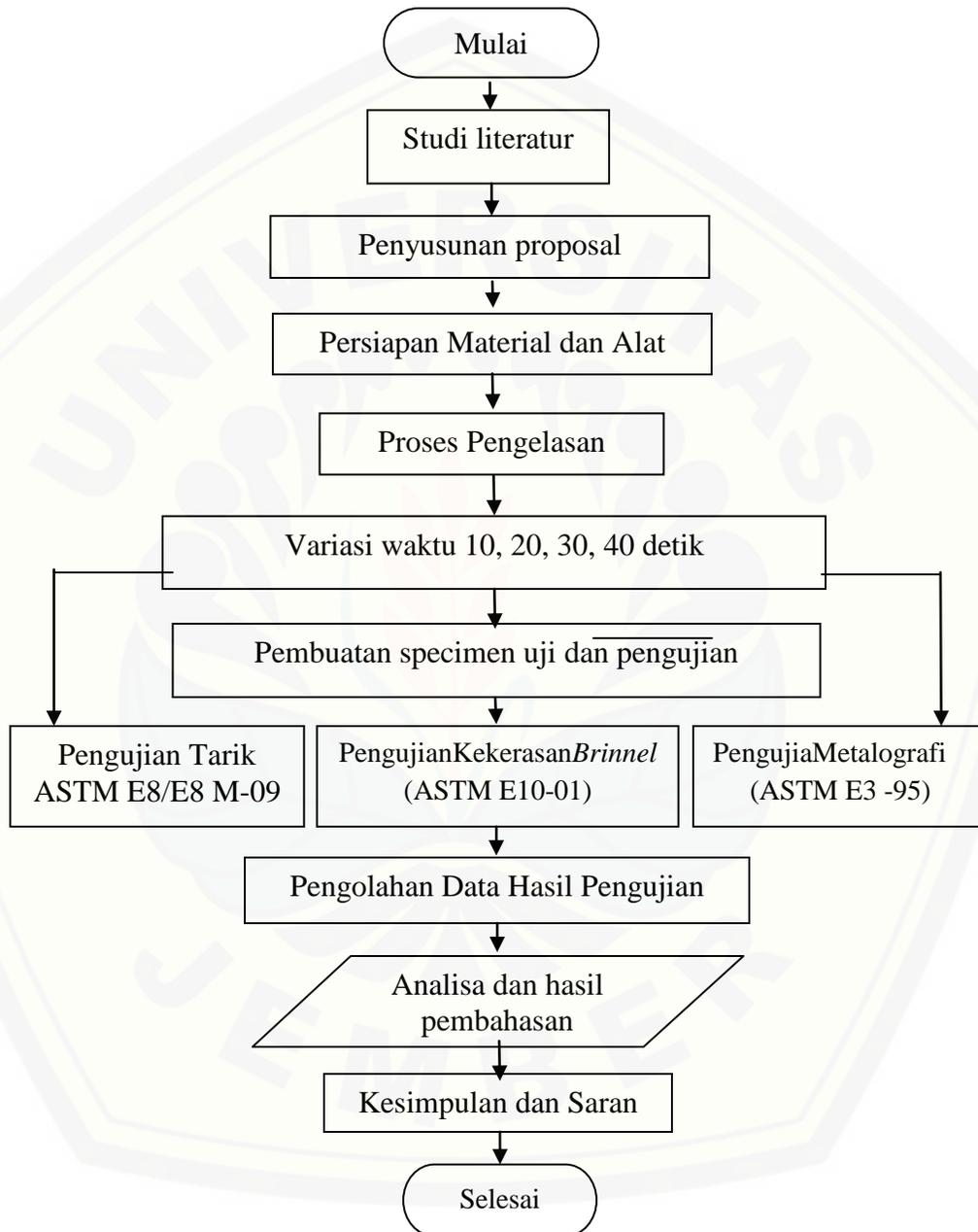
1. Persiapan spesimen uji sesuai standar ASTM E 3 – 95.
2. Pembuatan pemegang spesimen uji dengan bahan resin Polyester pada cetakan dengan perbandingan 50 gram resin Polyester dicampur 3 ml larutan katalis pengeras.
3. Penghalusan permukaan spesimen uji menggunakan mesin *grinding-polishing*.
4. Pengetsaan dilakukan dengan pemberian larutan  $\text{HNO}_3$  sebesar 2.5 %
5. Spesimen diamati struktur mikro pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *basemetal* yang terjadi dengan mikroskop optis dengan perbesaran 1000 x

### 3.8 Teknik Pengolahan dan Analisa Data

Data yang diperoleh dari hasil uji tarik, uji kekerasan, uji metalografi dalam penelitian dimasukkan ke lembar pengamatan kemudian diolah dengan metode deskriptif yaitu metode dimana data yang telah dikumpulkan, disusun dan dianalisis sehingga memberikan keterangan yang lengkap bagi permasalahan yang dihadapi.

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses penelitian dijelaskan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Pada proses penyambungan baja AISI 1045 dan AISI 4140 dengan menggunakan metode *friction welding* dengan variasi waktu dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian tarik nilai tertinggi diperoleh sebesar  $741 \text{ N/mm}^2$  dari variasi waktu 30 detik. Sementara hasil pengujian tarik terendah diperoleh dari variasi waktu 10 detik dengan nilai sebesar  $536 \text{ N/mm}^2$ . Bertambahnya waktu gesek meningkatkan kekuatan tarik Sambungan *friction welding* baja AISI 1045 dan AISI 4140.
2. Kekerasan tertinggi diperoleh dari variasi waktu 40 detik dengan nilai  $Zud$  229 BHN,  $Zpd$  260 BHN,  $Zpl$  252 BHN,  $Zpd'$  269 BHN dan  $Zud'$  246 BHN. Sementara hasil pengujian kekerasan terendah diperoleh dari variasi waktu 10 detik dengan nilai masing-masing  $Zud$  226 BHN,  $Zpd$  240 BHN,  $Zpl$  227 BHN,  $Zpd'$  258 BHN dan  $Zud'$  246 BHN. Meningkatnya waktu gesek nilai kekerasan akan semakin tinggi pada sambungan *friction welding* baja AISI 1045 dan AISI 4140.
3. Dari pemeriksaaan struktur mikro Ukuran butir pada daerah *weld metal* lebih kecil dan lebih halus dari daerah HAZ karena pada proses pengelasan suhu yang terjadi melebihi garis  $A_3$  yang menyebabkan perubahan fasa dan bentuk kristal dari baja semakin halus.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Sebelum melakukan penelitian disarankan melakukan observasi dan pra riset agar tidak ada kendala saat melakukan penelitian.

2. Alat yang digunakan harus terkalibrasi agar data yang diambil dapat seakurat mungkin.
3. Perlu adanya pengembangan dari aspek parameter dan material untuk pengembanaan penelitian selanjutnya.



**DAFTAR PUSTAKA**

Aisyah. 2008. Perubahan struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada pengelasan DrumBaja Karbon Wadah Limbah Radioaktif. Pusat penelitian radioaktif Batam. (2008). ISSN 1410-6086

American Association State Highway and Transportation Officials Standard, 2010, Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM Designation E8/8M-09.,Annual Book of ASTM Standards, No.T68. United States

American Association State Highway and Transportation Officials Standard, 2004, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, ASTM Designation E10-01.,Annual Book of ASTM Standards, T70-86. United States

American National Standard, (TanpaTahun). Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens, ASTM Designation E3-95.,Annual Book of ASTM Standards, United States

Brammer Standard Company, Certificate of Analysis AISI

Attallah, M. M & Preuss, M. 2012. *Inertia friction welding (IFW) for aerospace applications*. Woodhead Publishing Limited. 25-73

Celik, Sare & Ersozlu, Ismail. 2009. *Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels* *Materials and Design*. 30 (2009) 970–976

Fauzi, M.N. Ahmad *et al.* 2010 *Microstructure and mechanical properties of alumina-6061 aluminum alloy joined by friction welding*. *Materials and Design* 31 (2010) 670–676.

Fitriyanto, Muhammad. Skripsi. 2014. “Penyambungan Stainless Steel Austenitik Seri 316 Dengan Metoda Friction Welding Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, Dan Struktur Mikro.” Tidak Diterbitkan. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Interlloy Pty Ltd, Engineering Steel + Alloys

Irwandy, 2013. *Ilmu Logam*. PT Penerbi IPT Press. Bogor.

Istiawan, Hoppy. Skripsi. 2014. "Pengaruh Putaran Dan Temperatur Terhadap Kekuatan Sambungan Las Hasil *Friction Welding* Antara Baja Aisi 1045 Dengan Baja Tahan Karat Aisi 316L." Tidak Diterbitkan. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Makassar.

Jenney, Cynthia L., O'Brien, Annette. 2001. *Welding Hand book Ninth Edition Volume 1 Welding Science and Technology*. United States of America : American Welding Society

Kalpakkian, Serope., Schmid, Steven R. 2009. *Manufacturing Engineering And Technology*. London : Prentice Hall.

Kimura, M., et. al 2013. *Possibility of direct friction welding between type 7075 aluminum alloy and low carbon steel*, The author(s) and/or their employer(s), 267-273

Kuswandi, Ari. Skripsi. 2010. "Pengaruh *Friction Time* Terhadap Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si." Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Li, Peng., et al. 2013. *Effect of friction time on mechanical and metallurgical properties of continuous drive friction welded Ti6Al4V/SUS321 joints*. Materials and Design. 56, 649-656.

Lin, C. B., et. al. 1999. *The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC Composites*, Welding Journal. 78(3), 100-108.

Mercan, S., Aydin, S., dan Ozdemir, N. 2015. *Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205 - AISI 1020 joined by friction welding*. International Journal Of Fatigue, 1-26.

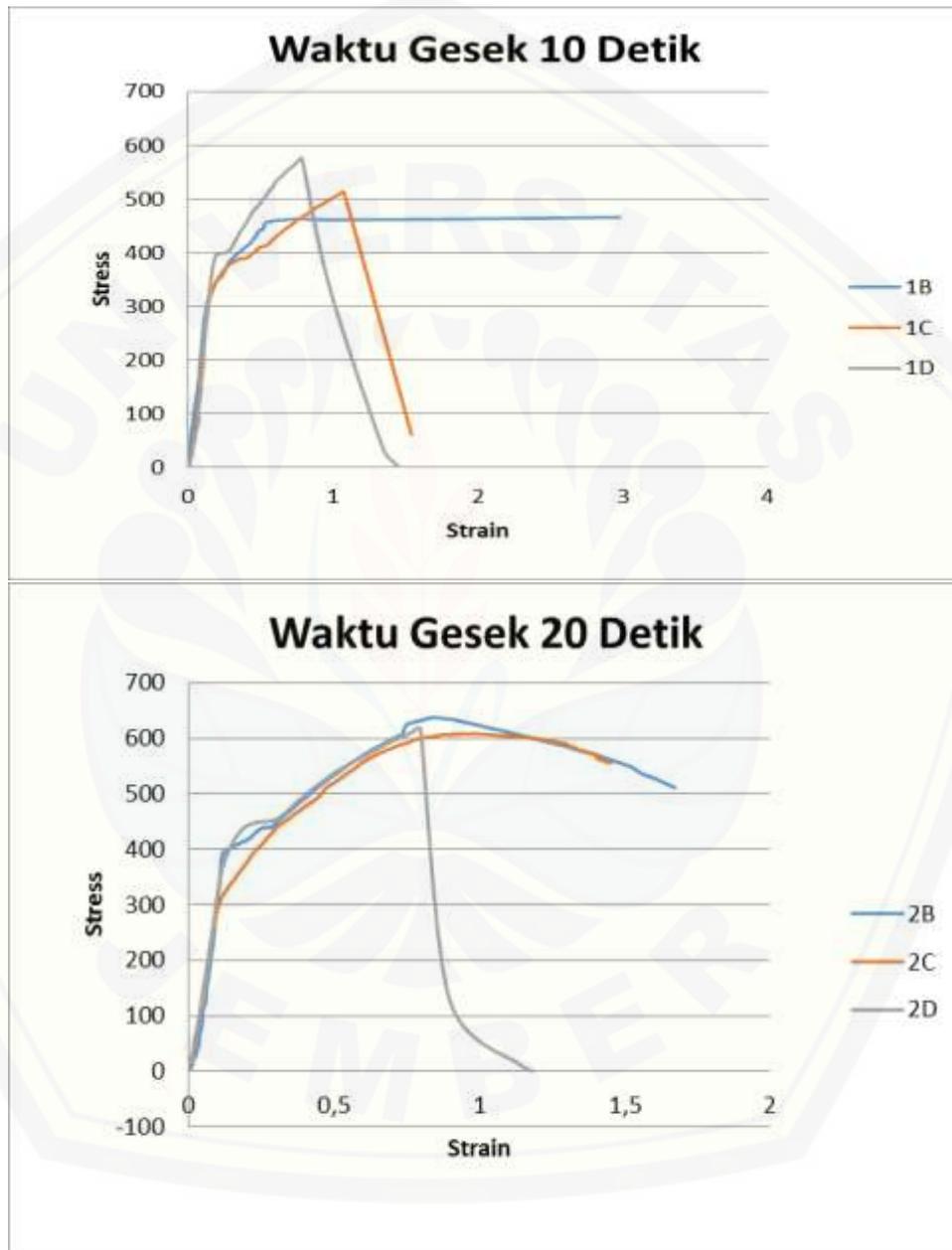
- Muralimohan, Haribabu, Reddy, Muthupandi, dan Sivaprasad. 2014. *Evaluation of Microstructures and Mechanical Properties of Dissimilar Material by Friction Welding*. *Procedia Materials Science* 5 ( 2014 ) 1107 – 1113.
- Muralimohan, CH., Muthupandi, V., dan Sivaprasad, K. 2014. *Properties of Friction Welding Titanium - Stainless Steel Joints with a Nickel Interlayer*. *Procedia Materials Science* 5 (2014) 1120 – 1129.
- Prasetyono, Sigieddan Hari, Subiyanto 2012. “Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Terhadap Impact Strength Sambungan Lasan Gesek Langsung Pada Baja Karbon Aisi 1045.” *Jurnal Sains Dan Seni Pomits* Vol.1, No. 1 pp 1-5.
- Sanyoto, Husodo, Setyawati, dan Mursid. 2012. Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) Dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah. *Jurnal energy Dan Manufaktur* 5 (1): 51-60.
- Sugiarto, T., Zulhanif , Dan Sugiarto., 2013. Analisis Uji Ketahanan Lelah Baja Karbon Sedang Aisi 1045 Dengan *Heat Treatment (Quenching)* Dengan Menggunakan Alat Rotary Bending. *Jurnal FEMA*, 1 (3): 85-92.
- Sonawan, H & Suratman, R. 2003. Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam. Bandung: ALFABETA.
- Tiwan dan Aan, Ardian. Skripsi. 2005. “Penyambungan Baja Aisi 1040 Batang Silinder Pejal Dengan *Friction Welding*.” Tidak Diterbitkan. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wiryosumarto, H., 2000. *Teknologi Pengelasan*, PradnyaParamitha. Jakarta.
- Yuwono, Akhmad herman. 2009. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material I Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Jakarta.

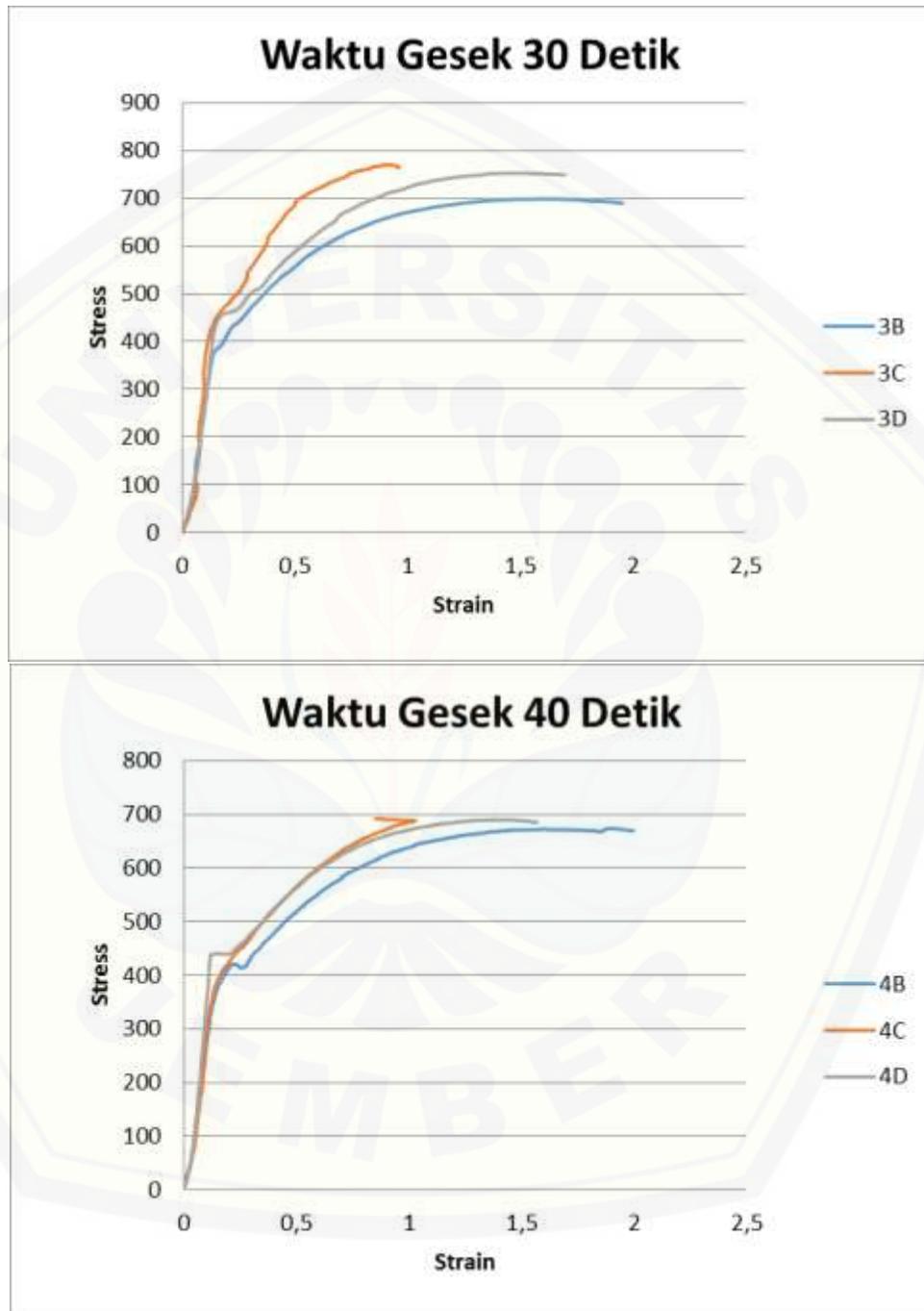
**LAMPIRAN A**

**1. Tabel Data Hasil Pengujian Tarik**

| <b>Spesimen</b> | <b>Pengulangan Spesimen</b> | <b>A<sub>0</sub><br/>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>L<sub>0</sub><br/>(mm)</b> | <b>UTS (N/mm<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------|-----------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| 10 Detik        | 1B                          | 63.62                                     | 54                            | 519                           |
|                 | 1C                          | 63.62                                     | 54                            | 514                           |
|                 | 1D                          | 63.62                                     | 54                            | 576                           |
| 20 Detik        | 2B                          | 63.62                                     | 54                            | 638                           |
|                 | 2C                          | 63.62                                     | 54                            | 608                           |
|                 | 2D                          | 63.62                                     | 54                            | 617                           |
| 30 Detik        | 3B                          | 63.62                                     | 54                            | 700                           |
|                 | 3C                          | 63.62                                     | 54                            | 771                           |
|                 | 3D                          | 63.62                                     | 54                            | 752                           |
| 40 Detik        | 4B                          | 63.62                                     | 54                            | 673                           |
|                 | 4C                          | 63.62                                     | 54                            | 693                           |
|                 | 4D                          | 63.62                                     | 54                            | 690                           |

## 2. Grafik Tegangan dan Regangan Uji Tarik

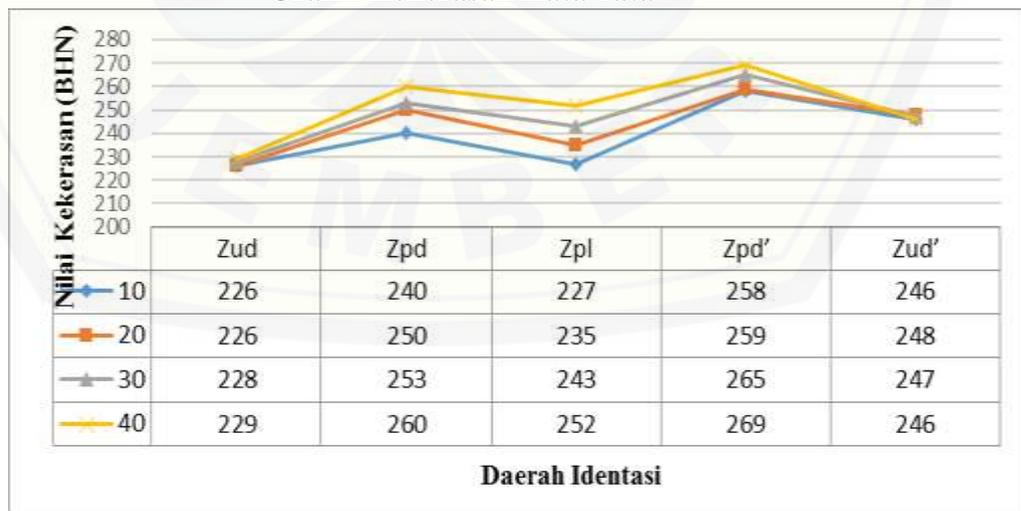




3. Tabel dan Grafik Hasil Uji Kekerasan

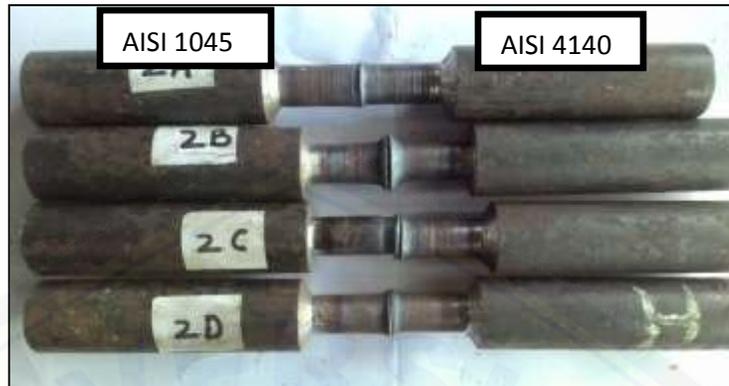
| Waktu Gesek (detik) | Pengulangan Spesimen | Nilai Kekerasan Pada Daerah Pengelasan (BHN) |     |     |      |      |
|---------------------|----------------------|--|-----|-----|------|------|
|                     |                      | Zud  | Zpd | Zpl | Zpd' | Zud' |
| 10                  | 1                    | 226  | 241 | 231 | 255  | 241  |
|                     | 2                    | 228  | 244 | 229 | 261  | 249  |
|                     | 3                    | 224  | 234 | 222 | 258  | 247  |
| 20                  | 1                    | 223  | 252 | 231 | 263  | 250  |
|                     | 2                    | 225  | 247 | 234 | 253  | 248  |
|                     | 3                    | 229  | 251 | 240 | 262  | 247  |
| 30                  | 1                    | 229  | 249 | 246 | 265  | 249  |
|                     | 2                    | 228  | 257 | 240 | 266  | 242  |
|                     | 3                    | 226  | 253 | 242 | 263  | 251  |
| 40                  | 1                    | 231  | 260 | 250 | 271  | 241  |
|                     | 2                    | 227  | 256 | 254 | 267  | 252  |
|                     | 3                    | 229  | 262 | 253 | 268  | 245  |

Grafik Kekerasan Rata-rata



**LAMPIRAN B****1. Foto Spesimen**a. Spesimen Sebelum *Friction Welding*b. Spesimen Hasil *Friction Welding*

Spesimen dengan waktu gesek 10 detik



Spesimen dengan waktu gesek 20 detik



Spesimen dengan waktu gesek 30 detik



Spesimen dengan waktu gesek 40 detik

## 2. Spesimen Uji Tarik



Waktu Gesek 10 Detik



Waktu Gesek 20 Detik



Waktu Gesek 30 Detik



Waktu Gesek 40 Detik

**3. Hasil Patahan Uji Tarik**

Waktu Gesek 10 Detik



Waktu Gesek 20 Detik



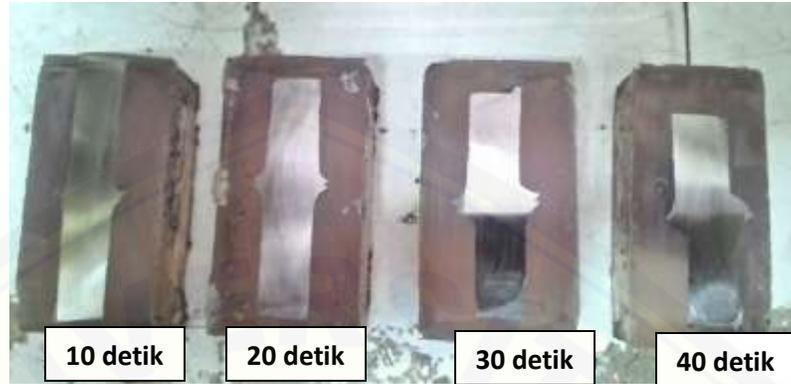
Waktu Gesek 30 Detik



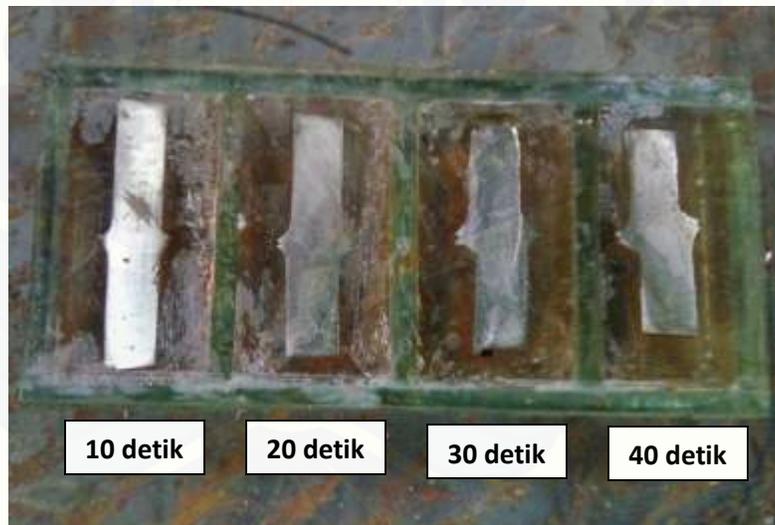
Waktu Gesek 40 Detik



#### 4. Spesimen Uji Mikro dan Uji Kekerasan



Spesimen Uji Mikro



Spesimen Uji Kekerasan

LAMPIRAN C

1. Alat dan Bahan



Mesin *Friction Welding*



Alat Uji Tarik



Mesin *Grinding Polishing*



Microskop



Gergaji Manual



*Hardness Tester*



Jangka Sorong



Stopwatch



Tachometer



Gergaji Mesin



Cetakan *Mounting*



Kertas Gosok



Resin



Hardener



Pasta Poles (*Autosol*)

LAMPIRAN D

1. Sertifikasi Pengujian

### CALIBRATION CERTIFICATE

Certificate Number : 7722/QCI-Ser/07/16  
 Page : 1 of 1

Order Number : 031.0716.153-1  
 Received Date : 14 July 2016  
 Equipment Name : Universal Testing Machine  
 Manufacturer : Kai-Wei  
 Model/Type : -  
 Serial Number : 068  
 Capacity/Graduation : 1000 kN / 0,1 kN  
 Technician ID : AMNE  
 Typewriter ID : ED

Owner : Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang  
 Address : J. Semarang No.5 - Malang  
 Calibration Location : Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang  
 Calibration Date : 14 July 2016  
 Calibration Method : IK-G-01 ref. JIS B 7721 - 2009  
 Environmental Condition : T = 26,7°C RH = 74 %

Calibration Report :

| Standard Indication (kN) | Reference Indicator (kN) |               | Correction (kN) | Error of Force (%) |
|--------------------------|--------------------------|---------------|-----------------|--------------------|
|                          | Before Setting           | After Setting |                 |                    |
| 0                        | 13,1                     | -             | -13,1           | -                  |
| 100                      | 114,5                    | -             | -14,5           | 14,5               |
| 200                      | 215,2                    | -             | -15,2           | 7,6                |
| 300                      | 316,3                    | -             | -16,3           | 5,1                |
| 400                      | 416,6                    | -             | -16,6           | 3,9                |
| 500                      | 515,9                    | -             | -16,8           | 3,2                |
| 600                      | 616,3                    | -             | -16,3           | 3,7                |
| 700                      | 716,8                    | -             | -16,8           | 2,4                |

Uncertainty  $U_{95\%} = \pm 0,5 \%$

**Chart Of Force Correlation**  
 $y = -2.02E-06x + 3.03E-05x + 9.84E-01x - 1.30E+01$

The Uncertainty is taken at a Confidence Level 95 % and Coverage Factor (k) = 2

|                |          |           |               |                         |
|----------------|----------|-----------|---------------|-------------------------|
| Standard used: | Name     | Mark/Type | Serial Number | Traceable to SI through |
|                | Loadcell | MATEST    | 15784         | LK-013-10N              |

Issuance Date : 16 July 2016

**GLOBAL QUALITY INDONESIA**  
 Dir. Rudy Hamid  
 Director

End of Certificate

SNI ISO/IEC 17025:2005  
(ISO/IEC 17025:2005)

certificate

07722071657  
Reference certificate has digital safety

Address : Komplek Kopo Mas Regency Blok N No.7C Bandung 40227 Indonesia Telp. +62-22-5436533 Fax. +62-22-5436637  
 Website : www.globalquality.co.id - Webblog : www.globalquality.info - E-mail : calibration@globalquality.co.id

FR.23.01

Sertifikat Kalibrasi Alat Uji Tarik

  
The Learning University

**LABORATORIUM STRUKTUR  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI MALANG**  
Gedung D9 Lt 2 Kampus UM Jl. Semarang No. 5 Malang Telp/Fax: (0341) 587 082 Ext. 205

---

**SURAT KETERANGAN**

No. 18b.10.2016

Yang bertandatangan di bawah ini Laboran / Teknisi Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, menerangkan bahwa,

Nama : Fabiyan Deni Maulana  
NIM : 121910101095  
Instansi : Teknik Mesin - Fakultas Teknik – Universitas Jember

Telah melakukan pengujian kuat tarik terhadap material Baja AISI 1045 sebanyak 10 benda uji pada tanggal 18 Oktober 2016 di Laboratorium Struktur - Teknik Sipil – FT - UM.

Demikian keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium  
Teknik Sipil - FT - UM

Malang, 18 Oktober 2016  
Koordinator Uji  
Laboratorium Struktur - FT - UM

  
**Dr. Karvadi, M.P., M.T**  
NIP. 19610312 198703 1 001

  
**Lusti Mustikasari, Amd**  
NIP. -

Surat Keterangan Pengujian Tarik



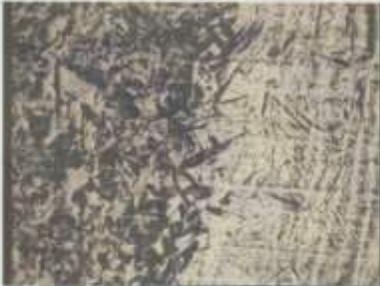
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN  
Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 1214 Malang 65145

---

**DATA HASIL PENGUJIAN**

Jenis Pengujian : Pengujian Foto Struktur Mikro  
Perbesaran : 400 X  
Penguji : Fabian Deny Maulana  
NIM : 121910101095  
Tanggal Pengujian : 22 November 2016  
Universitas / Instansi : Universitas Jember

1 D 

2 D 

3 D 

4 D 



Surat Keterangan Uji Mikro