TUGAS AKHIR – TM 090340

PENGARUH VARIASI TEKANAN GESEK,TEKANAN TEMPA DAN DURASI GESEK TERHADAP KEKUATAN IMPACT PADA SAMBUNGAN LAS GESEK (FRICTION WELDING) DENGAN MENGGUNAKAN BAJA PADUAN AISI 4140

Dicky Satyadianto
NRP 2109 030 058

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

Program Studi Diploma III
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

FINAL PROJECT – TM 090340

EFFECT OF FRICTION PRESSURE, FORGE PRESSURE, AND FRICTION TIME VARIATION TO IMPACT STRENGTH IN FRICTION WELDING JOINT USING AISI 4140 ALLOY MATERIAL

Dicky Satyadianto
NRP 2109 030 058

Lecturer
Ir. Hari Subiyanto, MSc.
NIP. 19600623 198803 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
MECHANICAL ENGINERING OF DEPARTMENT
Faculty Of Industrial Technology
Institute Of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEKANAN GESEK, TEKANAN TEMPA DAN DURASI GESEK TERHADAP KEKUATAN IMPACT PADA SAMBUNGAN LAS GESEK (FRICTION WELDING) DENGAN MENGGUNAKAN BAJA PADUAN AISI 4140

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik Mesin
pada
Bidang Studi Teknik Produksi
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :

DICKY SATYADIANTO
Nrp. 2109 030 058

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Hari Subiyanto, MSc .....(Dosen Pembimbing)

Surabaya, Agustus 2015

PENGARUH VARIASI TEKANAN GESEK,TEKANAN TEMPA DAN DURASI GESEK TERHADAP KEKUATAN IMPACT PADA SAMBUNGAN LAS GESEK (FRICTION WELDING) DENGAN MENGGUNAKAN BAJA PADUAN AISI 4140

Nama Mahasiswa : Dicky Satyadianto
NRP : 2109 300 058
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Subiyanto, MSc.

Abstrak

Pengelasan gesek adalah pengelasan solid-state tanpa menggunakan logam pengisi dengan menggunakan metode tekanan dimana dua benda kerja yang akan disambung ditempatkan dalam kontak dan diatur gerakan relatif dalam tekanan, maka gesekan akan membangkitkan panas disekitar permukaan kontak, ketika sudah mencapai temperatur tempa maka diberikan tekanan tempa. tetapi proses pengelasan ini pada dasarnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran, durasi gesekan dan tekanan aksial (gesek, tempa).

Dalam penelitian ini dilakukan pengelasan gesek langsung. Proses yang dilakukan adalah dengan memvariasikan tekanan gesek sebesar 8 MPa, 14 MPa, dan 20 MPa dalam waktu gesekan 60 detik,80 detik, dan 100 detik sampai mencapai temperatur tertentu, kemudian diberikan variasi tekanan tempa sebesar 30 MPa, 40 MPa, 60 MPa dengan menggunakan baja AISI 4140 sebagai benda kerja, kecepatan putar yang digunakan 4500 Rpm. Efek dari tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi gesekan terhadap impact strength dianalisa melalui uji impact.

Dari penelitian ini didapat Kekuatan impact tertinggi diperoleh pada kombinasi parameter durasi gesek 100 detik, dengan tekanan gesek 20 MPa dan tekanan tempa 60 MPa yaitu sebesar 0,3228017 J/mm2. Kekuatan impact terendah diperoleh pada kombinasi parameter durasi gesek 60 detik, dengan tekanan

gesek 8 MPa dan tekanan tempa 30 MPa yaitu sebesar 0,0420214 J/mm2. Perubahan tekanan gesekan, durasi gesek, dan tekanan tempa mempengaruhi temperatur pengelasan. Temperature Pengelasan tertinggi adalah 1075 ^{o}C. Dari ketiga parameter yang di variasikan, parameter tekanan gesek paling berpengaruh terhadap kekuatan impact sambungan las direct friction welding.

Kata kunci: baja AISI 4140, kekuatan sambungan, durasi gesekan, tekanan gesek, tekanan tempa, pengelasan gesek langsung.

EFFECT OF FRICTION PRESSURE, FORGE PRESSURE, AND FRICTION TIME VARIATION TO IMPACT STRENGTH IN FRICTION WELDING JOINT USING AISI 4140 ALLOY MATERIAL

Student Name : Dicky Satyadianto
NRP : 2109 300 058
Department : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Lecturer : Ir. Hari Subiyanto, MSc.

Abstract

Friction welding is solid-state welding without use filler with using a pressure method where two workpieces when will be joint is placed in contact and arranged by relative movement in pressure, hence friction will generating heat around surface of contact, when have reached forge temperature hence given pressure forge. But this welding process basically is very influenced by rotation speed, friction time and axial pressure (friction, forge).

This research is done by direct-drive friction welding by made some variation with the parameters. Friction pressure is variated with 8 MPa, 14 MPa, and 20 Mpa, friction time is variated with 60 second, 80 second, and 100 second, then applied with forge pressure 30 MPa, 40 Mpa, and 60 Mpa using AISI 4140 Material in 4500 rpm. The effect of friction pressure, friction time, and forge pressure with impact strength analyzed with impact test.

From the research we get maximum impact strength with 100 second of friction time, 20 Mpa of friction pressure, and 60 MPa of forge pressure is 0,3228017 J/mm2. Minimum impact strength is 0,0420214 J/mm2 with 60 second of friction time, 8 Mpa of friction pressure, and 30 MPa of forge friction. Variation of friction pressure, friction time, and forge pressure has a effect to welding temperature. Maximum welding temperature was 1075

^{o}C. From the three parameter, friction pressure parameter have a biggest effect with impact strength in direct-contact friction welding.

Key Word : AISI 4140 steel, welding joint strength, friction time, friction pressure, forge pressure, direct contact welding.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur atas kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahakan segalah berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebelum menyelesaikan pendidikan di Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS yang merupakan integrasi dari semua materi yang telah diberikan selama perkulian.

Adapun keberhasilan penulisan dalam penyusunan laporan ini tidak lepas berbagi pihak yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi, dan dukungan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Ir. Hari Subiyanto, MSc.** selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta sarannya sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak **Ir. Suhariyanto, M.Sc .** selaku Koordinator Program Studi Diploma D3 Teknik Mesin FTI-ITS dan dosen wali selama kuliah di D3 Teknik Mesin.
3. Ibu **Liza Rusdiyana,ST, MT** selaku koordinator Tugas Akhir Progam Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Bapak yang memberikan saran dan masukan guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.
5. **Ibu, Bapak, Saudara-saudara tercinta** yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, dan motivasi kepada saya.
6. **Agung Tri Prayogo,Much Riurahman** dan **Teguh Purnama** untuk menjadi partner dalam mengerjakan tugas akhir serta sangat membantu saya.

7. **Teman – teman seperjuangan angkatan 2009** atas segala support, semangat, canda tawa,dan ilmu hidup yang diberikan.
8. **Teman – teman HIMA D3 Mesin** karena telah menunjukkan arti kegigihan dan perjuangan yang tiada henti.
9. **Teman – teman seperjuangan tugas akhir** atas motivasi dan canda tawanya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
10. Semua dosen dan karyawan Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
11. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL
LEMBAR PENGESAHAN i
ABSTRAK ii
ABSTRACT iv
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii

BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Masalah 3
1.6 Sistematika Penulisan 3

BAB 2 DASAR TEORI 7
2.1 Baja Paduan 7
2.2 Klasifikasi Baja Paduan 7
2.3 Standarisasi dan Pengkodean Baja AISI 8
2.4 Pengelasan 10
2.5 Pengelasan Non Fusi 10
2.6 Las gesek/*Friction Welding* 12
2.7 Teknologi Pengelasan Gesek 15
2.7.1 *Direct-drive friction welding* 16
2.8 Variabel *Direct-Drive friction welding* 18
2.8.1 Kecepatan Putaran 20
2.8.2 Durasi Gesekan 20
2.8.3 Tekanan Aksial 22
2.9 Pengaruh variabel las terhadap *weld metal* 24
2.10 Parameter Perhitungan Welding

Direct-Drive Friction 25
2.11Parameter metalurgi..... .26
2.11.1 Ikatan Difusi (Diffusion Bonding) 27
2.11.2 Tahap I Deformasi Mikroasperity 30
2.11.3 Tahap II *Diffusion-Controlled Mass Transport* 30
2.11.4 Tahap III *Interface Migration*..... 32
2.11.5 Proses ikatan difusi 32
2.12 Penyambungan untuk Logam yang Sama 34
2.13 Penyambungan untuk Logam yang Berbeda 36
2.14 Kualitas Sambungan dan Evaluasi Produk 37

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 39
3.1 Diagram Alir Penelitian..... 39
3.2 Material Benda Uji 40
3.2 .1 Komposisi..... 40
3.3 Peralatan yang digunakan..... 41
3.4 Langkah-langkah Percobaan 47
3.4.1 Proses *Direct-drive Friction Welding*..... 47
3.4.2 Pengujian Spesimen..... 50

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN ..... .55
4.1 Data Pengujian Impact 55
4.2 Analisa Data Pengujian Impact 59
4.2.1 Analisa kekuatan Impact terhadap Tekanan Tempa dengan Durasi 60 Detik 59
4.2.2 Analisa kekuatan Impact terhadap Tekanan Tempa dengan Durasi 80 Detik 61
4.2.3 Analisa kekuatan Impact terhadap Tekanan Tempa dengan Durasi 100 Detik 63
4.2.4 Analisa Patahan Spesimen..... 64

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN ..... .67
5.1 Kesimpulan..... 67
5.2 Saran..... 67

DAFTAR PUSTAKA ..... .69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram CCT baja ISI 4140 9
Gambar 2.2 Daerah las (a) Pengelasan Fusi (b) Non Fusi.....11
Gambar 2.3 Langkah proses pengelasan (Friction Welding).....14
Gambar 2.4 Pemilihan parameter dengan waktu untuk ketiga fase dari direct drive friction welding 17
Gambar 2.5 Rangkaian Benda kerja dan bagian dari direct drive friction 18
Gambar 2.6 Parameter pengaruh pengelasan terhadap weld nugget untuk sambungan logam yang sama pada friction welding. (a) energi (b) Tekanan aksial (c) Kecepatan peripheral dari benda kerja 22
Gambar 2.7 Skema Piston Hidrolik.....23
Gambar 2.8 Parameter pengaruh pengelasan terhadap weld metal untuk sambungan logam yang sama pada friction welding. (a) energi (b) Tekanan aksial 25
Gambar 2.9 Mekanisme pengelasan difusi. (a) Titik awal kontak dan kontaminan lapisan oksida. (b) Setelah beberapa titik kontak yield dan creep, lapisan tipis oksida menghasilkan void yang besar. (c) Setelah yield dan creep terakhir, beberapa void dan lapisan oksida menjadi sangat tipis. (d) Dilanjutkan dengan difusi vacancy yang menghilangkan lapisan oksida dan beberapa void kecil (e) ikatan selesai ..28
Gambar 3.1 Diagram alir percobaan 40
Gambar 3.2 Spesimen awal 41

Gambar 3.3 Mesin Las gesek langsung 41
Gambar 3.4 Infrared Thermograf 45
Gambar 3.5 Tachometer Digital..... 46
Gambar 3.6 Dimensi benda uji impact 50
Gambar 3.7 Diagram benda bebas uji *impact* 51
Gambar 3.8 Alat uji impact 51
Gambar 3.9 Gergaji besi 52
Gambar 3.10 Penggaris besi 52
Gambar 3.11 Patahan hasil uji impact 52
Gambar 4.1 Gambar Spesimen Impact 55
Gambar 4.2 Grafik kekuatan Impact terhadap tempa dengan tekanan gesek 8,14, dan 20 MPa pada durasi gesek 60 detik 59
Gambar 4.3 Grafik kekuatan Impact terhadap tempa dengan tekanan gesek 8,14, dan 20 MPa pada durasi gesek 80 detik.. 61
Gambar 4.4 Grafik kekuatan Impact terhadap tempa dengan tekanan gesek 8,14, dan 20 MPa pada durasi gesek 100 detik.. 63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh parameter pengelasan pada direct-drive friction welding 26
Tabel 2.2 Syarat pengelasan dengan sistem inersia-drive friction welding untuk logam yang sejenis .. 35
Tabel 2.3 Parameter untuk pengelasan hard inersia gesekan dari dua 25 mm (1-in) diameter bar yang terbuat dari logam berbeda 37
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja AISI 4140 40
Tabel 3.2 Perencanaan proses *friction* dan *forging*. 49
Tabel 3.3 Perencanaan eksperimen hasil proses uji *impact* 53
Tabel 4.1 Tabel Data Impact Strength 56
Tabel 4.2 Tabel Uji Tarik pada Tekanan Gesek 14 MPa ... 57
Tabel 4.3 Tabel Uji Tarik pada Tekanan Gesek 20 MPa ... 58
Tabel 4.4 Hasil patahan spesimen uji impact 65

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Friction Welding adalah metode pengelasan yang simpel dan efisien yang sekarang ini mulai banyak di gunakan dalam proses produksi pada perusahan-perusahaan di dunia industri, metode pengelasan ini sangat sederhana dan tidak menggunakan logam pengisi atau filer dimana dua buah permukaan logam apabila digesekkan akan menimbulkan panas, kemudian diberikan tekanan agar dapat menyatu [*Serope & Steven R. Oswald, Kalpakjian, 2001*]. Selain itu kelebihan dari *friction Welding* adalah sifat mekaniknya memberikan hasil lasan kuat, meminimalisir cacat yang ditimbulkan dan dapat di gunakan pada material yang berbeda. Heat affected zone (HAZ) yang terbentuk relatif kecil namun, metode ini dipengaruhi oleh beperapa faktor di antara lain kecepatan rotasi, tekanan aksial, dan waktu gesekan (friction time).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh beperapa mahasiswa yang berkaitan dengan teknologi pengelasan gesek (friction welding) yang diantaranya adalah Wahyu Nugroho (2010) yang menyimpulkan bahwa pengaruh dari parameter tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi gesekan dapat diketahui pada sifat mekanik dan struktur mikro. Alfian Mahdi Firdaus (2010) yang menyimpulkan bahwa efek tekanan tempa pada pengelasan menghasilkan dimensi upset yang bervariasi. Anggi Aditya dan Maulana Fajeri (2011) yang membahas rancang bangun mesin *Friction Welding* yang menghasilkan produk as sepeda motor dan menbandingkan dengan produk tempa manual adapun Donny Audinandra, Haris Kusnaini, Eko Nurcahyo dan Dimas Angga (2011) yang menyimpulkan bahwa efek waktu gesekan pada pengelasan menghasilkan distribusi kekerasan dan kekuatan tarik yang bervariasi. Lalu diteruskan oleh Rendra Pramana (2011) menyimpulkan Rancang bangun sirkuit hidrolik bekerja dengan baik dan mampu bekerja sesuai dengan apa yang

diharapkan, Pemilihan komponen-komponen hidrolik sesuai dengan parameter yang telah ditentukan sehingga dapat menghasilkan hasil lasan yang baik, Tekanan yang diberikan oleh silinder hidrolik memadai untuk memenuhi parameter las gesek. Dwi Agus S (2011) menyimpulkan bahwa semakin besar tekanan tempa maka semakin tinggi kekuatan sambungan lasan pada bahan baja karbon rendah ST 41. Chandra Setiawan (2011) menyimpulkan Mesin las gesek langsung mampu menghasilkan lasan yang baik sehingga tidak patah pada sambungan melainkan patah pada daerah HAZ pada waktu gesekan yang ideal (45 detik).

Pada penelitian selanjutnya akan dibahas variasi tekanan gesek,tekanan tempa dan durasi gesek terhadap kekuatan impact AISI 4140 dengan metode *direct drive friction welding*.
Sifat mekaniknya diamati dengan melakukan uji impact.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalaha yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi tekanan gesek, waktu gesek, dan tekanan tempa pada proses pengelasan *Direct-drive Friction Welding* terhadap kekuatan impact (*impact strength*) dari sambunngan baja karbon AISI 4140.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukanya penelitian tersebut antara lain sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan gesek, waktu gesek, dan tekanan tempa pada proses *Direct Drive Friction Welding* terhadap kekuatan impact (*impact strength*)

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mampu mengetahui pengaruh variasi durasi gesekan, mengetahui pengaruh variasi tekanan gesek, waktu gesek, dan tekanan tempa pada proses *Direct Drive Friction Welding* terhadap kekuatan impact (*impact strength*) dari sambungan baja karbon AISI 1040.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan untuk penelitian ini adalah AISI 4140 yang diasumsikan dengan komposisi kimia yang homogen.
2. Kedua permukaan material diasumsikan rata pada saat proses pengelasan.
3. Kontak kedua benda kerja pada saat gesekan dan penempaan dianggap tidak terjadi misaligment.
4. Kecepatan putaran *rotating chuck* dianggap konsstan pada fase gesekan.
5. Kondisi peralatan yang digunakan pada saat pengambilan data diasumsikan terkalibrasi dan seluruh pengukuran variabel pengelasan dianggap tepat seperti pada alat pengukuran.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, pembahasan masalah serta tujuan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab dasar teori dijelaskan tentang material baja karbon,definisi baja karbon dan standar baja karbon,proses pengelasan gesek langsung (friction phase dan forging phase)serta pengaruh tekanan gesek,tekanan tempa dan durasi gesekan terhadap material baja karbon.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodelogi penelitian dijelaskan tentang data specimen awal, metode pengujian yang digunakan, dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab analisa data dan pembahasan akan dijelaskan data yang diperoleh percobaan atau pengujian yang dilakukan, yang meliputi hasil uji impact serta analisa tentang hasil-hasil yang telah diperoleh selama percobaan dilakukan, pembahasan mengenai hubungan antara hasil percobaan dengan teori yang telah ada, dan berbagai macam analisa penunjang lain yang diperlukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab lima diberikan dengan menarik kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Baja Paduan

Baja paduan merupakan jenis baja yang diklasifikasikan menurut komposisi kimianya. Pengertian dari baja paduan adalah baja dengan tambahan beberapa unsur paduan. Unsur-unsur panduan tersebut memang sengaja ditambahkan dalam komposisi kimia baja untuk memperoleh sifat-sifat tertentu, seperti menaikkan *hardenability*, sifat tahan aus, sifat tahan korosi, sifat kemagnitan dan lain sebagainya.

Baja dikatakan padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur silisium dan mangan. Unsur yang paling banyak digunakan untuk baja paduan, yaitu: Si, Mo, Mn, Ni, Cr, Co, V, W, Ti.

Penambahan unsur-unsur lain dalam baja karbon dapat dilakukan dengan satu atau lebih unsur campuran, tergantung dari karakteristik atau sifat khusus yang dikehendaki. Baja paduan memiliki kekuatan, kekerasan, tahan panas, dan ketangguhan yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon.

2.2 Klasifikasi Baja Paduan

1. *Low Alloy Steel*

   Merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 10%), mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kadar karbon yang sama, atau mempunyai keuletan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama. *Hardenability* dan sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik. Banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin.

2. *High Alloy Stell*

   Merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu, baja tahan karat (*stainless steel*), baja perkakas (*tool steel*, misalnya High *Speed Steel*/ HSS), baja tahan panas (*heat resisting steel*) dan lain-lain.

2.3 Standarisasi dan Pengkodean Baja AISI

Standarisasi dengan sistem AISI merupakan tipe standarisasi dengan berdasarkan pada susunan atau komposisi kimia yang ada dalam suatu baja. Ada beberapa ketentuan dalam Standarisasi baja berdasarkan AISI, yaitu :

❖ Dinyatakan dengan 4 angka :

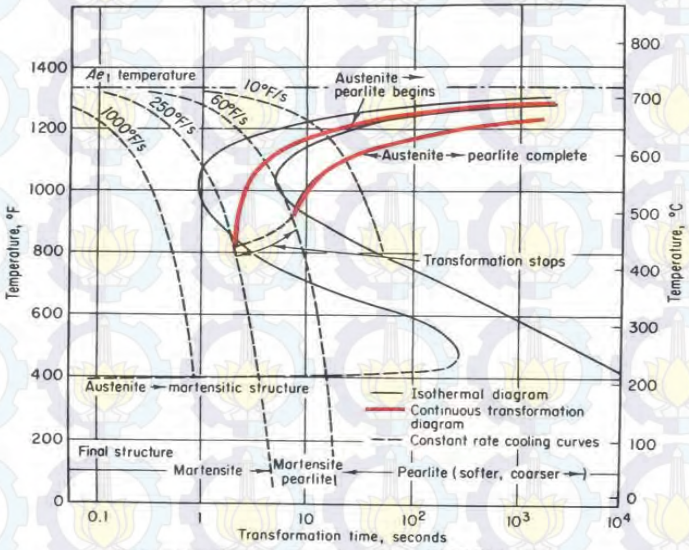
1. Angka pertama menunjukkan jenis baja.
2. Angka kedua menunjukkan:
   a. Kadar unsur paduan untuk baja paduan sederhana.
   b. Modifikasi jenis baja paduan untuk baja paduan yang kompleks.
3. Dua angka atau tiga angka terakhir menunjukkan kadar karbon perseratus persen.
4. Bila terdapat huruf di depan angka maka huruf tersebut menunjukkan proses pembuatan bajanya.

Standarisasi Baja karbon dengan **AISI 4140** berarti :

- ✓ Angka 4 : Baja Molybdenum
- ✓ Angka 1 : Persentase bahan alloy (Chrom 1%)
- ✓ Angka 40 : Kadar karbon (0.40% Karbon)

Baja Karbon AISI 4140 Merupakan salah satu baju paduan dengan unsur paduan utamanya adalah Chromium 0.80%-1.10% dan molybdenum 0.15%-

0.25%. Kandungan chromium pada baja ini memberi kontribusi terhadap sifat mampu dikeraskan, kekuatan, ketahanan pemakaian, jika dibandingkan dengan baja karbon biasa dengan kadar karbon yang sama. Akan tetapi pada beberapa kondisi tertentu unsur chromium akan cenderung mengakibatkan terjadinya penggetasan. Seperti yang ditunjukkan pada diagram CCT-nya *(continues cooling transformation),* keefektifan unsur molybdenum untuk memodifikasi struktur mikro bajanya akan bertambah dengan adanya unsur chromium. Temperatur dan kisaran waktu terjadinya transformasi austenite ke martensite dan austenite ke bainite juga semakin longgar. Membaiknya sifat mampu dikeraskan dan memudahkan waktu tunda yang lebih banyak pada transformasi austenite ke pearlite pada baja chromium-molybdenum juga disebabkan oleh penambahan unsur chromiumnya.



Continuous Cooling-Transformation (C-T) Diagram
(Derived from the isothermal-transformation diagram for a plain-carbon eutectoid steel)

Gambar 2.1 Diagram CCT baja AISI 4140

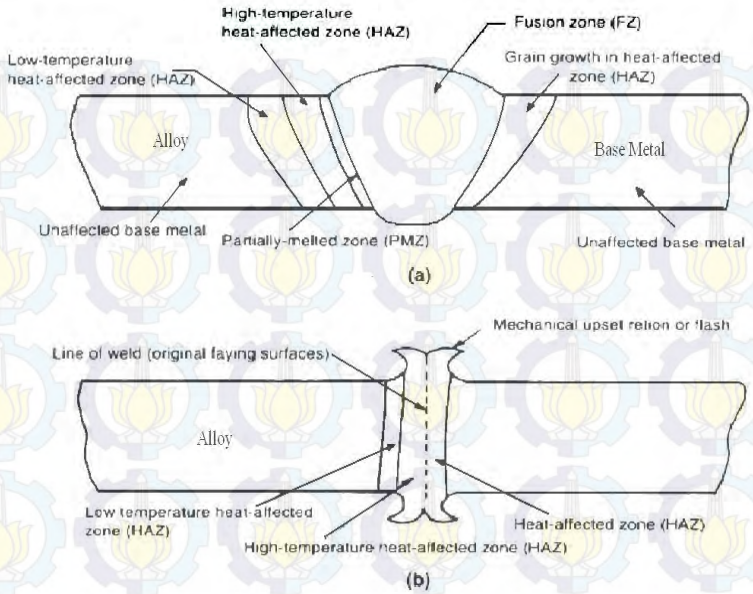
2.4 Pengelasan

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa tekanan, atau dapat didefinisikan sebagai akibat dari metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Sebelum atom-atom tersebut membentuk ikatan, permukaan yang akan menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap atau oksida-oksida.

Proses pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi. Bila permukaan yang rata dan bersih ditekan, beberapa kristal akan tertekan dan bersinggungan. Bila tekanan diperbesar daerah singgungan ini akan bertambah luas. Lapisan oksida yang meluas akan rapuh dan pecah sehingga logam mengalami deformasi plastis sehingga batas antara dua permukaan kristal dapat menjadi satu (*difusi*) dan terjadilah sambungan maka disebut pengelasan padat.

2.5 Pengelasan Non Fusi (Solid State Welding)

(Solid State Welding) adalah proses yang menghasilkan penggabungan dari permukaan spesimen pada temperatur di bawah titik leleh logam dasar yang disambung tanpa penambahan logam pengisi. Proses ini melibatkan baik penggunaan deformasi difusi dan deformasi terbatas untuk menghasilkan sambungan berkualitas tinggi antara bahan serupa maupun berbeda.



Gambar 2.2 Daerah las (a) Pengelasan Fusi (b) Non Fusi

Sambungan logam yang berbeda diperlukan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan sifat material dalam komponen yang sama. Bahan berbeda dapat dipilih berdasarkan sifat fisik atau material yang mempengaruhi fenomena yang sedang dipelajari. Untuk alasan apapun, dan metode yang tepat untuk memproduksi sambungan logam berbeda biasanya dapat ditentukan (dengan asumsi bahkan dimungkinkan) dengan memeriksa diagram fase. Jika diagram menunjukkan kesulitan dalam penyambungan dengan bahan (*intermetallics* dan sebagainya), maka proses kondisi padat (*non melting*) mungkin yang berlaku. Ketika proses *non melting* dipilih, hanya akan relatif berhasil jika sambungan kuat yang dihasilkan. Gambar 2.1 (a) menunjukkan profil dari daerah pengelasan non fusi, di mana

terdapat daerah-daerah las yaitu daerah fusi (*Fusion Zone*), PMZ (*Partially Melted Zone*), daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk (*Base Metal*) sedangkan gambar 2.1 (b) menunjukkan profil daerah pengelasan non fusi dimana terdapat daerah tempa, daerah terpengaruh panas (HAZ) dan logam induk (*Base Metal*).

Dalam mekanisme tempa terjadi perbaikan kualitas butiran, porositas menurun dan homogenitas komposisi pada benda kerja, dan semakin tinggi nilai tempa maka perpindahan porositas akan lebih cepat dan menyebabkan kualitas butiran semakin baik. Pada daerah tempa terjadi proses *difusi integrannular* dimana proses tersebut dipengaruhi oleh tekanan tempa, jika tekanan tempa mencapai titik ideal maka kekuatan pada sambungan akan semakin tinggi dan memungkinkan sambungan akan patah pada daerah HAZ ketika dilakukan pengujian tarik karena terjadi kerapatan butiran pada sambungan lasan.

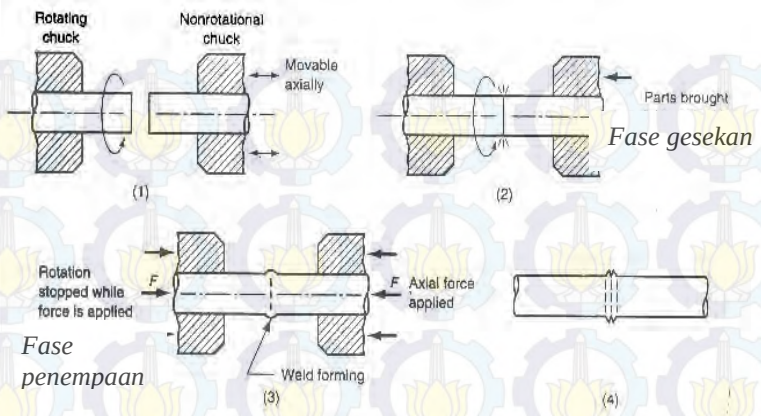
2.6 Las Gesek / *Friction Welding*

Pengelasan gesek adalah sebuah proses pengelasan *solid-state* di mana penyambungan terjadi oleh panas gesek akibat perputaran logam satu terhadap lainnya di bawah pengaruh tekanan aksial. Kedua permukaan yang bersinggungan menjadi panas mendekati titik cair, dan bahan yang berdekatan dengan permukaan yang terjadi gesekan menjadi plastis. Metode ini bergantung pada perubahan langsung dari energi mekanik ke energi termal untuk membentuk lasan, tanpa aplikasi panas dari sumber yang lain. Gambar 2.2 menunjukkan tipikal dari las gesekan, di mana benda kerja yang tidak berputar diberikan kontak dengan benda kerja yang berputar terus-menerus atau secara bertahap meningkatkan tekanan sampai kedua permukaan mencapai temperatur penempaan.

Kecepatan putaran, tekanan aksial, dan durasi pengelasan adalah variabel utama yang diperlukan untuk menghasilkan lasan yang bagus yang dihasilkan dari kombinasi panas dan tekanan untuk membentuk *weld nugget*. Parameter tersebut disesuaikan sehingga *interface* dipanaskan mencapai kisaran temperatur plastik di mana pengelasan dapat berlangsung. Setelah kedua permukaan dipanaskan, tekanan aksial digunakan untuk membuat kedua permukaan lasan menjadi tersambung. Selama tahap terakhir dari proses pengelasan terjadi kontak pada kedua permukaan sehingga mengalami difusi atom yang memungkinkan untuk membentuk ikatan metalurgi antara kedua benda kerja

Dalam gambar 2.2 juga ditunjukkan cara pengelasan dua poros. Tahapan proses adalah sebagai berikut :.

(1) Salah satu poros diputar tanpa bersentuhan dengan poros yang lain, dengan memutar pemegang (*rotating chuck*).
(2) Kedua poros satu sama lain disentuhkan sehingga timbul panas akibat gesekan (fase gesekan).
(3) Putaran dihentikan, kemudian poros diberi gaya tekan aksial (fase tempa).
(4) Sambungan las terbentuk.



Gambar 2.3 Langkah proses pengelasan (Friction Welding)

Pengelasan gesekan diakibatkan oleh panas yang dihasilkan melalui gesekan abrasi, pembuangan panas, deformasi plastik, dan interdifusi kimia. Keterkaitan hubungan antara faktor-faktor ini selama proses *friction welding* dicoba untuk dikembangkan dengan memprediksi model proses pengelasan gesekan. Namun, dari sudut pandang kualitatif proses dipahami dengan baik melalui studi *friction welding* empiris yang telah dilakukan pada berbagai bahan. Lima faktor Kualitatif yang mempengaruhi mutu pengelasan gesekan adalah:

- Kecepatan putaran
- Tekanan aksial (tekanan gesekan dan tekanan tempa)
- Durasi pengelasan
- Propertis material
- Kondisi Permukaan Benda kerja (Profil)

Tiga faktor pertama berkaitan dengan proses pengelasan gesek, sedangkan dua yang terakhir terkait dengan properti dari bahan-bahan yang akan disambung. Selama pengelasan gesek, kecepatan

putaran, tekanan (gesek dan tempa) yang diberikan, dan durasi dari pengelasan adalah tiga variabel yang dikendalikan. Efek dari variabel-variabel ini pada kualitas las akan dibahas pada dasar proses pengelasan gesekan yaitu pengelasan *direct-drive friction welding*. Temperatur permukaan setelah gesekan adalah parameter penting untuk memastikan hasil yang baik pada pengelasan dan tergantung pada kondisi proses pengelasan dan bahan-bahan yang akan disambung. Meskipun temperatur permukaan tidak diukur atau dikendalikan langsung tapi dampak dari temperatur yang tidak cukup atau suhu yang berlebihan pada umumnya dapat diamati jelas melalui pemeriksaan visual selesai dilas. Sebagian besar sifat-sifat material dan kondisi kedua permukaan yang disambung mempengaruhi gaya gesek dan karakteristik penempaan dari bahan yang disambung. Faktor-faktor ini akan dibahas untuk pengelasan gesekan dari kedua bahan yang sama.

2.7 Teknologi Pengelasan Gesek

Direct-drive friction welding, kadang-kadang disebut pengelasan gesek konvensional, menggunakan sebuah motor berjalan dengan kecepatan konstan untuk memasukan energi ke dalam proses pengelasan. teknologi friction welding ini menghasilkan efek metalurgi yang pada dasarnya berbeda pada kedua permukaan yang disambung.

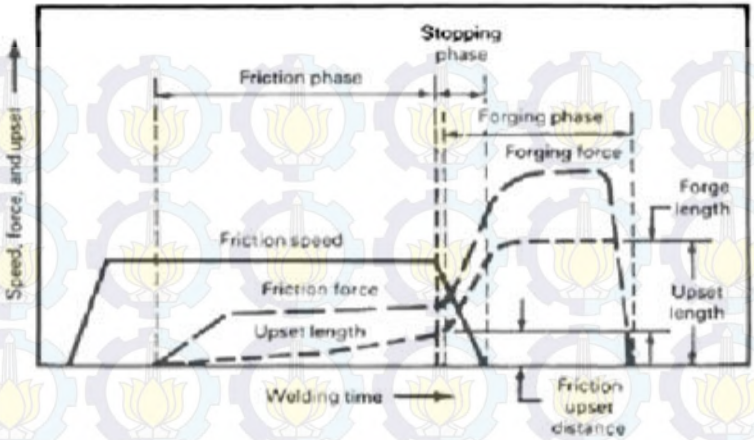
Teknologi *friction welding* ini dapat diterapkan melalui berbagai jenis gerakan relatif untuk menghasilkan gesekan yang diperlukan untuk membentuk lasan. Geometri paling umum *friction welding* dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.2, di mana satu komponen silinder ini diam dan yang lain diputar. Namun, dalam metode lain, kedua komponen yang berputar berlawanan arah, atau dua-komponen stasioner ditekan pada posisi yang

berputar di antara mereka. Bentuk tambahan dari friction welding lainnya, seperti radial, orbital, dan gerakan linier reciprocating, telah dikembangkan untuk bagian geometri yang khusus.

2.7.1 *Direct-Drive Friction Welding*

Didalam *direct-drive frction welding*, mesinnya menyerupai sebuah mesin bubut dilengkapi dengan hidrolik. Pengoperasian *Direct-drive friction welding* terdiri dari sebuah fase putar hingga mencapai putaran konstan dan diakhiri dengan sebuah fase pengereman yang diikuti sebuah fase penempaan dengan tekanan.Di mana tekanan diberikan untuk menyambung benda kerja. Hubungan di antara variabel-variabel proses ditunjukkan pada Gambar 2.3 dimana kecepatan rotasi aksial dan tekanan awal sebagai fungsi waktu untuk mengelas. Waktu yang dibutuhkan untuk menghentikan spindle juga merupakan variabel penting karena mempengaruhi suhu pengelasan dan waktu gaya penempaan.

Pertama-tama mesin memutar spindle hingga mencapai putaran konstan dan secara perlahan benda kerja diberikan tekanan rendah hingga bersentuhan dengan benda kerja lainnya sehingga terjadi fase tekanan awal hingga mencapai waktu yang telah ditentukan pada tahap ini terjadi fase gesekan , setelah kedua fase tersebut tercapai sesuai dengan waktu yang ditentukan putaran spindle diturunkan secara cepat dan diikuti dengan tekanan weld dimana kekuatanya harus lebih tinggi dari tekanan awal hingga pada sambungan las terbentuk upset yang lebih banyak inilah fase terkahir yang disebut fase pengelasan (Gambar 2.3)



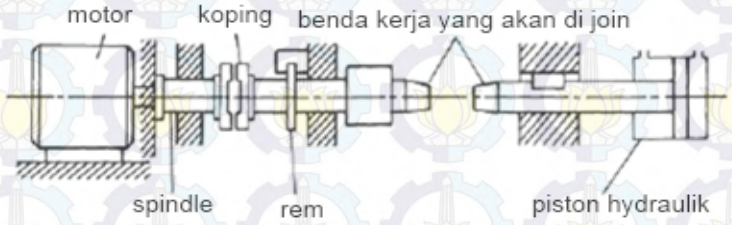
Gambar 2.4 Pemilihan parameter dengan waktu untuk ketiga fase dari direct drive friction welding

Kecepatan rotasi adalah variabel yang paling sensitive, bahwa dalam hal ini kecepatan rotasi dapat divariasikan lebih luas jika waktu gesekan dan tekanan dikontrol dengan benar. Untuk baja, kecepatan putaran yang direkomendasikan bervariasi dari 75-215 m / min (250 untuk 700 ft / min).

Gaya gesekan biasanya diterapkan secara bertahap untuk membantu pengelasan. Untuk baja Karbon, sebuah tekanan gesek direkomendasikan sekitar 70 MPa (10 ksi) diantara permukaan kedua benda yang bertujuan untuk membentuk sambungan yang baik. gaya penempaan berikutnya setelah proses gesekan biasanya digunakan untuk menyelesaikan proses pengelasan. Pada umumnya gaya Penempaan untuk baja karbon adalah sebesar 140 MPa (20 ksi) di antara permukaan sambungan.

Gambar 2.4 menunjukkan diagram sistem kerja *direct drive friction welding*. spindel pertama-tama diputar hingga mencapai kecepatan konstan yang telah ditetapkan, dan benda

kerja di berikan gaya aksial yang telah ditetapkan juga sebagai tekanan awal. Setelah itu gaya tekanan awal dan rotasi dipertahankan secara spesifik dalam periode waktu yang telah ditentukan, sehingga gesekan akan meningkatkan suhu panas di permukaan benda kerja hingga cukup untuk membuat benda kerja menjadi plastis dan cocok untuk pengelasan. (Namun pengelasan dari *direct drive friction welding* hampir tidak pernah dibuat dengan menggunakan satu tingkat gaya aksial. Mayoritas pengelasan dibuat menggunakan minimal dua tingkat gaya aksial. Gaya aksial yang kedua pada dasarnya ditambahkan ketika mencapai siklus las) pada saat *spindle* dilepaskan dari unit mengemudi (putaran motor), dan direm untuk membuat spindle berhenti. Pada saat yang sama, gaya aksial akan dinaikkan guna mencapai fase pengelasan dan menghasilkan upset.



Gambar 2.5 Rangkaian Benda kerja dan bagian dari direct drive friction

2.8 Variabel *Direct-Drive Friction Welding*

Tiga parameter yang digunakan mengontrol karakter pengelasan di- *direct-drive friction welding* adalah kecepatan putaran, durasi gesekan, dan gaya aksial (gesek dan tempa) selama pengelasan, ketiga parameter tersebut tidak hanya akan memperpendek bagian aksial dari panjang benda kerja, yang

sering disebut perpindahan aksial atau upset, tetapi juga torsi penahan gesekan untuk rotasi juga mengalami perubahan. Gambar 2.6 menunjukkan perubahan dalam berbagai peristiwa yang terjadi di seluruh proses. Berdasarkan bentuk kurva gaya gesekan, akan lebih mudah untuk membagi *direct drive friction welding* menjadi tiga fase:

· Fase 1: Tahap gesekan awal (*friction phase*)
· Fase 2: Tahap berhenti (*stopping phase*)
· Fase 3: Tahap Penenempaan (*forging phase*)

Pada fase 1, torsi meningkat dengan cepat setelah dimulainya proses, kemudian ketika torsi mencapai puncak dan akan turun sebelum mencapai fase 1 berakhir. Kecepatan torsi yang naik dan turun secara bertahap dikaitkan dengan adanya *interlocking* dan berhentinya *asperities* (permukaan kasar pada suatu permukaan yang dilihat di bawah mikroskop) dan selanjutnya terjadi pelunakan material di permukaan benda kerja yang disebabkan oleh gesekan panas.

Torsi gesekan tetap konstan pada fase 2, menunjukkan bahwa proses mencapai efek keseimbangan antara regangan pengerasan dan pelunakan termal. Kedua permukaan dan material pada saat itu harus memiliki panas yang cukup untuk memungkinkan dua bagian dapat ditempa bersama-sama. Penempaan berlangsung di fase 3, yang dimulai pada saat pengereman sehingga kecepatan putaran *rotating chuck* segera berkurang kecepatannya, dan perlambatan tergantung pada waktu pengereman.

Karena gaya rem itu sendiri dapat diatur, maka waktu pengereman juga dapat bervariabel. Perlambatan bervariasi dalam pengelasan dengan bahan yang berbeda. Namun, torsi mungkin tidak naik sama sekali, tapi akan terjadi upset tiba-tiba pada awal

fase 3 jika pengereman yang mendadak. Hal ini membawa chuck yang berputar untuk berhenti dalam waktu hampir seketika, dan gaya yang lebih besar digunakan setelah putaran chuck berhenti. Dalam kasus ini, tidak ada torsional tempa, yang ada hanya penempaan yang dilakukan pada saat *upsetting* terjadi. Gaya aksial pada fase 3 adalah efek yang biasanya meningkat menjadi penempaan.

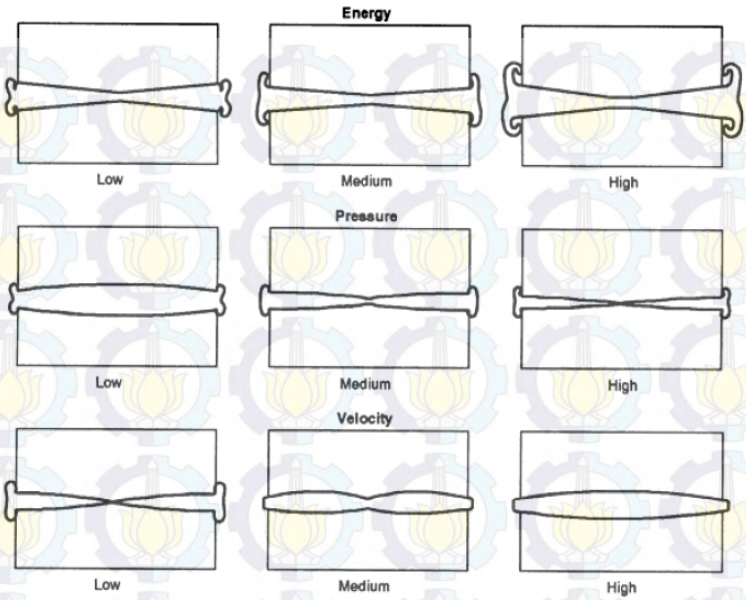
2.8.1 Kecepatan Putaran

Kecepatan rotasi dan tekanan aksial yang lebih rendah biasanya digunakan dalam *direct drive friction welding*. Ada rentang yang optimal dari kecepatan putaran untuk setiap kombinasi logam yang disambung.

Dalam pengelasan inersia, kecepatan putaran terus menurun selama tahap gesekan, sedangkan pada pengelasan *direct-drive* di kecepatan gesekan tetap konstan. Panas yang dihasilkan dari bahan di permukaan benda kerja menyebabkan deformasi plastik, panas yang dihasilkan oleh gesekan pada fase gesekan, adalah sumber utama dalam tahap penempaan untuk mencegah cepatnya penurunan suhu pada antar permukaan. Maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran mempengaruhi cepat lambatnya temperatur yang dibangkitkan, semakin tinggi kecepatan putaran maka torsi dan energi yang dihasilkan juga semakin besar sehingga membutuhkan gaya pengereman yang semakin besar juga.

2.8.2 Durasi Gesekan

Penngaruh Durasi Gesekan terhadap distribusi temperature saat proses gesekan berlangsung sampai mencapai temperature tempa, sehingga pada permukaan logam dasar terbentuk permukaan tempa. Untuk durasi gesekan yang semakin lama daerah permukaan tempa yang terbentuk akan semakin besar, karena panas gesekan merupakan perbandingan lurus dengan fungsi bertambahnya waktu. Selain kecepatan putaran yang dipilih untuk menghasilkan baik jumlah energy kinetik, inersia dan jumlah tekanan tempa yang diberikan. Durasi gesekan yang lama diperlukan jika karakteristikkecepatan putaran yang terjadi pada pengelasan pada permukaan rendah. Durasi ini dalam kombinasi dengan tekanan aksial menghsailkan panas. Karena durasi gesekan dimulai pada awal proses gesekanterjadi sampai proses penempaan terjadi, maka jumlah menempa tergantung pada panas yang dibangkitkan dari kecepatan gesekan dan durasi menempa sehingga menghasilkan jumlah energy yang ada pada motor dan inersia yang ada pada poros juga. Jika motor berkecepatan tinggi maka durasi yang dibutuhkan aka semakin rendah, tetapi memiliki jumlah energi kinetik yang sama.



Gambar 2.6 Parameter pengaruh pengelasan terhadap weld nugget untuk sambungan logam yang sama pada friction welding. (a) energi (b) Tekanan aksial (c) Kecepatan peripheral dari benda kerja

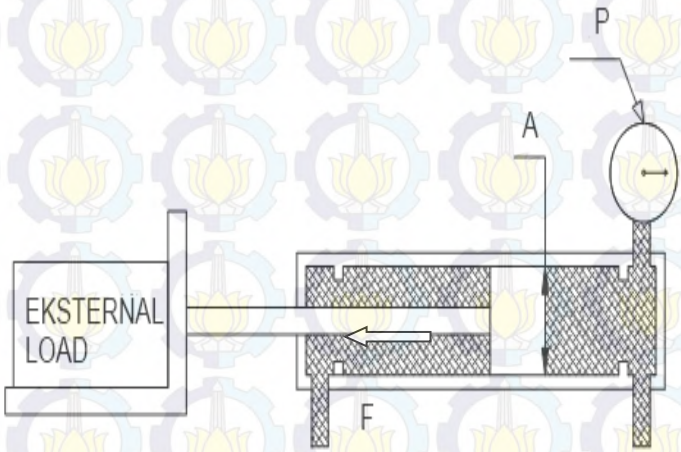
2.8.3 Tekanan Aksial (Tekanan Gesekan dan Tempa)

Efek dari berbagai tekanan aksial berlawanan dengan efek dari memvariasikan kecepatan. Tekanan yang berlebihan menghasilkan lasan dengan kualitas yang jelek pada bagian pusat dan memiliki upset *welds* dalam jumlah besar, mirip dengan mengelas dibuat pada kecepatan rendah.

Jika ada tekanan aksial berbeda di dalam fase 1 dan 3, proses ini disebut dua tahap pengelasan, yaitu tekanan gesek dan tekanan penempaan, keduanya dimasukkan sebagai parameter

gaya aksial las. Di sisi lain ketika tekanan tetap konstan selama proses berlangsung, hal itu disebut satu-tahap pengelasan. Gesekan kedua torsi dalam dua tahap pengelasan secara umum lebih tinggi dari pada satu tahap pengelasan karena gaya aksial yang diterapkan lebih besar, dalam fase 3. Seperti dinyatakan di bagian "*Direct-Drive Friction Welding Variabel*", pada satu tahap pengelasan tergantung pada saat pengereman dan peningkatan waktu pengereman. Perhitungan tekanan gesek dan tekanan tempa pada benda kerja yang ditekan oleh hidraulik yang digunakan dapat menghasilkan tekanan gesek dan tekanan tempa dapat dijelaskan sebagai berikut :

Gaya aksial yang bekerja :



Gambar 2.7 Skema Piston Hidrolik

$$F = P.\ A$$

Keterangan :

F : Gaya Aksial (Kgf)

P : Tekanan Hidraulik (pressure gauge) (kgf/cm^2)
A : Luas Permukaan Piston Hidraulik (cm^2)

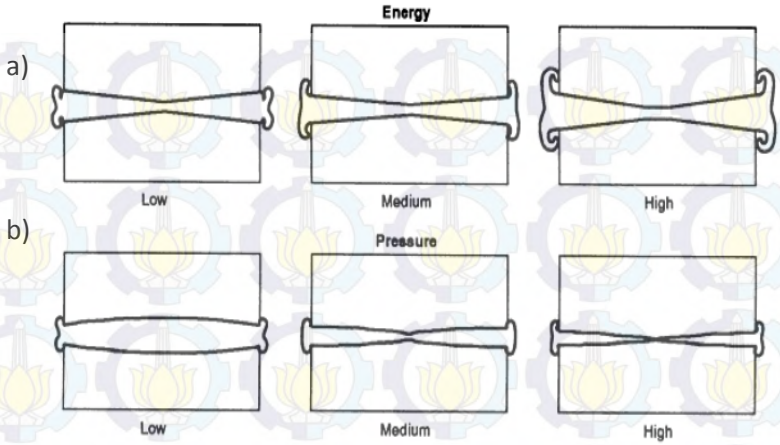
Setelah diketahui gaya pada hidraulik maka dapat dicari tekanan gesek dan tekanan tempa pada benda kerja :

$$P = \frac{F}{A'}$$

Keterangan :
P : Tekanan Benda Kerja (kgf/cm^2)
F : Gaya Aksial (Kgf)
A' : Luas Permukaan Benda Kerja (cm^2)

2.9 Pengaruh Variabel las Terhadap *Weld Metal*

Weld metal adalah panas yang terkonsentrasi di daerah permukaan kontak antara dua benda kerja yang akan disambung, akibat panas yang ditimbulkan tersebut, maka daerah kontak permukaan mendekati cair sehingga terbentuklah sambungan, juga dapat dikatakan sebagai salah satu variabel yang bisa digunakan dalam mengetahui kualitas hasil sambungan. Beberapa variabel proses pengelasan yang dapat mempengaruhi ukuran dan bentuk daerah *weld metal*, jumlah energi yang tersimpan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 (a). Efek dari berbagai tekanan aksial (tempa) 2.5 (b) berlawanan dengan efek dari memvariasikan kecepatan putaran 2.5 (c). Lasan dibuat pada tekanan aksial rendah mirip lasan yang dibuat pada kecepatan relatif menengah terhadap pembentukan dari *weld metal* dan zona yang terkena panas (HAZ), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 (b). Tekanan yang berlebihan menghasilkan lasan dengan kualitas yang jelek pada bagian pusat dan memiliki flask dalam jumlah besar, mirip dengan mengelas dibuat pada kecepatan rendah.



Gambar 2.8 Parameter pengaruh pengelasan terhadap weld metal untuk sambungan logam yang sama pada friction welding. (a) energi (b) Tekanan aksial

2.10 Parameter Perhitungan *Dirct-Drive Friction welding*

Parameter perhitungan hanya berpengaruh pada kekuaan pengelasan. Kecepatan untuk fase gesekan pada *direct-drive friction welding* berkisar dari 76-182 m/min atau 250-600 ft/min. Pada benda las yang berbentuk tabung memerlukan kecepatan pada fase gesekan yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan untuk material yang solid atau bar,lalu untuk baja karbon tekanan yang dibutuhkan untuk pengelasan friction welding pada fase gesekan berkisar 83-166 Mpa dan tekan yang diberikan pada fase forging atau fase penempaan ialah sebesar 332 Mpa. Contoh parameter pengelasan pada *direct-drive friction welding* pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Contoh parameter pengelasan pada direct-drive friction welding

PARAMETER	VALUE
BAR-TO-BAR	25.4 (1)
DIAMETER MM (IN)	506 (0.785)
WELD AREA, MM^2 (IN^2)	
ANGULAR VELOCITY, REV/MIN	1100
SURFACE VELOCITY, M/MIN (FT/MIN)	88 (290)
SECOND FRICTION FORCE, KN (LBF)	35.6 (8000)
UPSET FORCE (LBF)	71.2 (16,000)
UPSET DISTACE, MM (IN)	4.6 (0,180)
TUBE-TO-TUBE	
OUTSIDE DIAMETER MM (IN)	05.8 (2)
INSIDE DIAMETER, MM (IN)	38.1 (1.5)
WELD AREA, MM^2(IN^2)	886 (1.37)
SPEED	
ANGULAR VELOCITY, REV/MIN	900
SURFACE VELOCITY, M/MIN (FT/MIN)	143 (470)
SECOND FRICTION FORCE, KN (LBF)	48.9 (11,000)
UPSET FORCE (LBF)	97.9 (22,000)
UPSET DISTACE MM^2(IN^2)	3.2 (0,125)

(Sumber: http://www.nctfrictionwelding.com/typical/table/)

2.11 Parameter Metalurgi

Pengelasan gesek atau *friction welding* untuk menyambung logam dengan bahan apa saja dan dengan kombinasi apa saja, baik penggabungan dua logam yang sejenis (bahannya sama) maupun berbeda jenis (bahannya tidak sama). Selain itu *friction welding* juga dapat menyambung berbagai bahan non

logam seperti Keramik, Logam matrik komposit (MMC), dan polimer, juga masih banyak lagi bahan yang dapat disambung dengan friction welding tetapi bahan tersebut tidak dapat disambung dengan menggunakan sistem pengelasan konvensional. Di sini akan dijelaskan sifat logam hasil lasan oleh proses friction welding.

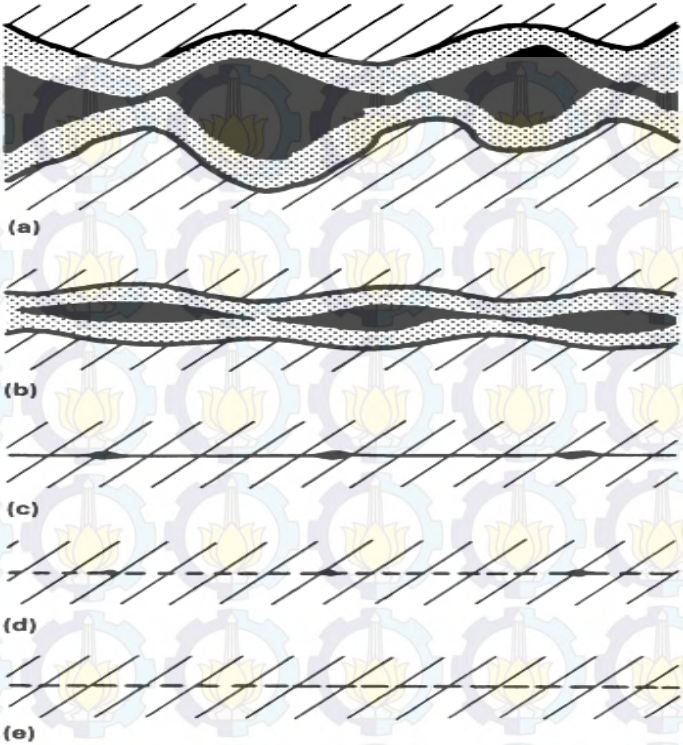
2.11.1 Ikatan Difusi (Diffusion Bonding)

Ikatan difusi hanyalah salah satu dari banyak proses sambungan *solid-state* yang mana sambungan dilakukan tanpa memerlukan pencairan permukaan atau penciptaan produk cor melalui pencairan dan *resolidification* (pengelasan). Dalam definisi yang paling sempit, yang digunakan untuk membedakan dari proses sambungan lain seperti ikatan deformasi atau sambungan fase cair.

Ikatan difusi (*Diffusion Bonding*) adalah proses yang menghasilkan sambungan *solid-state* antara dua bahan dengan ketentuan sebagai berikut:

- Sambungan terjadi pada temperatur dibawah titik peleburan (*T Melt*) dari material yang akan disambung (biasanya > ½ *T Melt*).
- Sambungan pada permukaan kontak adalah akibat adanya beban atau tekanan, sehingga akan mengakibatkan deformasi pada bagian terebut.

Dalam ikatan difusi, sifat dari proses sambungan pada dasarnya adalah peleburan dari dua atom yang menghilangkan permukaan yang solid.



Gambar 2.9 Mekanisme pengelasan difusi. (a) Titik awal kontak dan kontaminan lapisan oksida. (b) Setelah beberapa titik kontak yield dan creep, lapisan tipis oksida menghasilkan void yang besar. (c) Setelah yield dan creep terakhir, beberapa void dan lapisan oksida menjadi sangat tipis. (d) Dilanjutkan dengan difusi vacancy yang menghilangkan lapisan oksida dan beberapa void kecil (e) ikatan selesai (Olson, D.Leroy., Siewert, A.thomas, Liu, Stephen., Edward,G.R)

Sambungan yang sempurna terjadi melalui tiga-tahap urutan dalam metalurgi.Setiap tahap, seperti ditunjukkan pada Gambar. 2.6, terkait dengan mekanisme metalurgi tertentu yang memberikan kontribusi dominan terhadap proses ikatan.

Akibatnya, tahapan menjadi tidak pasti, namun secara bertahap dari awal dan akhir, karena mekanisme metalurgi tergantung oleh waktu. Selama tahap pertama, area kontak sebagian tumbuh besar dari daerah sambungan dikarenakan deformasi lokal dari asperities pada permukaan kontak. Faktor seperti kekasaran permukaan, kekuatan yield, *work hardening*, temperatur, dan tekanan merupakan hal yang penting selama tahap pembuatan ikatan. ketika tahap ini selesai, batas antar permukaan tidak lagi pipih, tetapi terdiri dari rongga-rongga (*void*) yang dipisahkan oleh area kontak. Di kontak area ini, sambungan menjadi setara dengan batas butir antara butiran pada tiap permukaan. Tahap pertama biasanya durasinya terlalu pendek untuk kasus umum dari ikatan difusi dengan tekanan tinggi.

Selama tahap kedua dari pembentukan sambungan, dua perubahan terjadi secara bersamaan. Seluruh void pada sambungan menyusut, dan sebagian besar dihilangkan. Selain itu, batas butir antar permukaan bermigrasi keluar dari sambungan ke tingkat energi equilibrium yang lebih rendah. Creep dan mekanisme difusi sangat penting selama tahap kedua dari sebagian besar pembentukan ikatan, jika semua tidak terjadi, ikatan akan dianggap telah selesai mengikuti tahap ini. Batas butir bergerak, void yang tersisa diserap dalam butiran di mana mereka tidak lagi berada dalam kontak dengan batas butir. Selama tahap ketiga dari pembentukan ikatan, *void* yang sangat kecil sangat dimungkinkan tidak berdampak pada kekuatan antar permukaan. Dalam hal ini, proses difusi menyebabkan penyusutan dan bahkan

menghilangkan void, tetapi difusi pada saat itu hanya dimungkinkan melalui volume butir itu sendiri.

2.11.2 Tahap I Deformasi *Mikroasperity*

Sifat awal dari permukaan adalah hal yang sangat penting, karena deformasi makroskopik dimungkinkan selama ikatan difusi. Permukaan yang tidak benar-benar bersih atau sangat halus, dan bidang kontak logam dengan logam antara permukaan adalah bagian kecil dari daerah kontak sambungan. kontak terbatas pada microasperities yang relatif sedikit. Pada temperatur kamar dan dibawah tekanan, asperities ini cacat sepanjang luas permukaan kontak sehingga kekuatan yield material terlampaui. Tingkat deformasi ini terbatas pada temperatur kamar, dan bahkan lebih terbatas untuk material *work-hardenable*. Dengan meningkatnya temperatur pada temperatur ikatan difusi, aliran tegangan berkurang dan terjadi penambahan deformasi asperity melalui aliran plastik. Untuk itu, aliran terjadi sampai area kontak meningkat sedemikian rupa sehingga kekuatan luluh material terlampaui. Jika temperatur di atas temperatur rekristalisasi material, maka pengerasan tidak terjadi lagi.

2.11.3 Tahap II *Diffusion-Controlled Mass Transport*

Densifikasi atau runtuhnya rongga antar permukaan selama tahap kedua ikatan difusi disebabkan penurunan energi permukaan yang bebas oleh penurunan luas permukaan. Ini berlangsung dengan pembentukan baru, tapi dengan energy yang rendah antarpermukaan solid dengan solid. Karena kekuatan pendorong adalah pengurangan energi permukaan yang sama untuk semua sistem, perbedaan yang cukup besar dalam perilaku diberbagai jenis sistem yang terkait dengan mekanisme yang

berbeda dari transfer material. Dalam ikatan difusi, sejumlah proses operasi transportasi massal secara simultan, termasuk aliran plastis tergantung waktu, difusi dari rongga melalui kisi dan batas-batas antar permukaan dan butiran, dan aliran difusif sekitar permukaan terjadi kekosongan melalui kisi dan fase uap.

Meskipun uap bertransportasi dan transportasi permukaan adalah mengubah bentuk kekosongan, mereka tidak langsung mengubah volume. Dengan demikian, jalur transportasi ini hanya memiliki pengaruh sekunder pada tingkat kehancuran void secara tidak langsung, tetapi berlaku melalui perubahan kelengkungan. Hanya transfer materi dari volume matriks atau dari batas butir yang menyebabkan penyusutan dan hilangnya pori-pori. Dengan demikian, hanya yang pertama dari dua mekanisme aliran plastis dan difusi antar permukaan yang benar-benar mengurangi volume rongga antar permukaan. Dominasi salah satu dari kedua proses adalah tergantung pada banyak faktor yang tak terpisahkan, termasuk sistem bahan, geometri void, mikro, dan parameter ikatan. Ketika mempertimbangkan difusi, tampaknya bukti-bukti yang menunjukkan bahwa yang paling efisien adalah jalur untuk aliran atom dan kekosongan counterdiffusing yang berada di sepanjang batas butir antar permukaan dan disepanjang batas butir yang bersinggungan dengan void ketika ukuran butir kurang dari ukuran pori. Meskipun daerah batas butir lebih kecil dibandingkan dengan permukaan kekosongan, jalan ini ditunjukkan dengan mempunyai dominasi difusivitas tinggi. Mekanisme difusi batas butir sebagian bergantung pada sudut antara tekanan yang diterapkan dan batas butir tertentu, kontribusi sebenarnya akan tergantung pada orientasi yang tepat terhadap tekanan yang diterapkan. Gaya yang diterapkan akan maksimal ketika dua tegak lurus dan minimal ketika mereka paralel.

2.11.4 Tahap III *Interface Migration*

Selama tahap kedua dari ikatan difusi, void menjadi jauh lebih kecil dan banyak yang dieliminasi. sehingga batas butir antar permukaan bermigrasi ke arah konfigurasi keseimbangan, dimana tidak dapat dibedakan dengan batas butir lain dalam struktur mikro. Kekuatan pendorong untuk migrasi batas butir adalah pengurangan didaerah batas butir. Garis lurus ikatan antar permukaan awalnya menjadi menyimpang dengan penetrasi lokal dari beberapa mikron dari satu material ke yang lain. ketika batas bergerak, setiap rongga yang tersisa menjadi tertutup dalam butiran di mana mereka tidak lagi dalam kontak dengan batas butir. Proses Diffusional terus menyusut dan menghilangkan rongga ini, tetapi jalur difusi sekarang dibatasi untuk difusi volume melalui kisi matriks. Dengan demikian, penghapusan volume kecil dari akhir porositas ini akan cenderung untuk berkontribusi pada waktu yang berlebihan dalam setiap proses ikatan yang berfungsi untuk kekuatan antarpermukaan yang mungkin dicapai.

2.11.5 Proses Iktan Difusi

Proses *Diffusion Bonding*, yaitu aplikasi dari tekanan dan temperatur antar permukaan untuk jangka waktu yang ditentukan, umumnya dianggap selesai ketika rongga dekat dengan permukaan faying. Kesepakatan relatif ditemukan untuk mekanis medan urutan kejadian yang mengarah pada hilangnya void antar permukaan, dan diskusi dibawah ini menggambarkan proses-proses metalurgi. Meskipun pemahaman teoritis dari proses DB secara universal berlaku, harus dipahami bahwa kekuatan logam induk hanya mendekati untuk bahan dengan kondisi permukaan yang tidak memiliki hambatan untuk menghalangi ikatan atom seperti adanya oksida permukaan atau gas diserap diikatan antar permukaan.

Ikatan Difusi dapat dicapai untuk bahan dengan oksida ikatan pada permukaan,tetap iresultan kekuatan antarper mukaan bahan yang diukur ini jauh lebih kecil dari logam induk. Paduan Aluminiu madalah contoh utama dari jenis material yang digunakan. Penelitian sejak tahun 1960 telah menunjukkan sifat ikatan difusi yang terbatas. Meskipun kekuatan antarpermukaan dapat ditingkatkan untuk sifat oksida dari material, itu memerlukan perluasan permukaan yang besar dari faying antar permukaan untuk membuat aliran plastis lokal daril ogam, dan bersamaan dengan kerusakan oksida. Ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lokasi kontak (logam dengan logam) melalui aliran plastik sekitar atau microextrusion melalui oksida yang rusak. Secara umum, oksida tidak hilang, tetapi hanya tersebar melalui area permukaan yang lebih besar dalam daerah tertutup, dimanaoksidasi tidak bisa muncul kembali. Bahkan dengan deformasi permukaan yang signifikan, hanya sebagian kecil dari area antar permukaan yang memberikan kontribusi terhadap kekuatan ikatan. Proporsi area logam yang bebas oksida ternyata tergantung pada kekerasan relatif dari logam dan oksida film itu sendiri, seperti juga pada sifat mekanik oksida. Jenis ikatan ini, sering dianggap sebagai ikatan difusi

Faktor-faktor relatif yang mempengaruhi dari ikatan difusi antar permukaan terhadap sifat oksida adalah :

- Kekasaran permukaan sebelum sambung. (Sebuah permukaan kasar akan mengakibatkan deformasi geserberlebihan).
- Sifat mekanik oksida . (Dispersi yang lebih besar diberikan untuk meningkatkan deformasi).
- Kekerasan relatif darilogamdan fillm oksidaitu sendiri. dikarenakanarus plastisdikontroldalam area yang berikatan, perbedaan nilai kekerasandikarenakan ikatan tersebut.

2.12 Penyambungan untuk Logam yang Sama

Dua persyaratan umum untuk membentuk lasan yang baik ialah yang pertama bahwa bahan-bahan yang akan disambung dapat ditempa lalu yang kedua bahan-bahan yang digunakan dapt menimbulkan gesekan antar permukaan bahan yang akan disambung. Dengan mengacu pada syarat pertama,dapat kita simpulkan beberapa bahan seperti keramik, besi cor dan semen karbida tidak dapat disambung dengan proses pengelasan gesek. Lalu dengan kita mengacu pada persyaratan kedua maka juga dapat kita simpulkan bahwa beberapa jenis sperti bahan-bahan yang mengandung paduan yang menghasilkan pelumasan kering.

Pengelasan gesek untuk logam yang sejenis cenderung lebih mudah, hal ini disebakan karena properti yang cocok antara kedua bahan yang dilas. Karena sifat bahan cocok, maka panas akan terdistribusi secara merata pada kedua sisi sambungan dan karakteristik deformasi identik pada kedua sisi sambungan, hal ini mengakibatkan sambungan yang simetris dan sifat yang baik. Pada tabel 2.3 merangkum sejumlah syarat pengelasan dengan sistem inersia-drive friction welding untuk logam yang sejenis.

Table. 2.2 Syarat pengelasan dengan sistem inersia-drive friction welding untuk logam yang sejenis.

WORK METAL	SPINDLE SPEED, REV/MIN	AXIAL FORCE		FLYWHEEL SIZE[A]		WELD ENERGY		METAL LOSS[B]		TOTAL TIME[C], S
		KN	LBF × 10^3	KG · M^2	LB · FT^2	KJ	FT · LBF × 10^3	MM	IN.	
1018 STEEL	4600	53	12	0.28	6.7	33	24	2.5	0.10	2.0
1045 STEEL	4600	62	14	0.33	7.8	38	28	2.5	0.10	2.0
4140 STEEL	4600	67	15	0.35	8.3	41	30	2.5	0.10	2.0
INCONEL 718	1500	220	50	5.48	130.0	68	50	3.8	0.15	3.0
MARAGING STEEL	3000	90	20	0.84	20.0	41	30	2.5	0.10	2.5
TYPE 410 STAINLESS	3000	80	18	0.84	20.0	41	30	2.5	0.10	2.5
TYPE 302 STAINLESS	3500	80	18	0.59	14.0	41	30	2.5	0.10	2.5
COPPER (COMMERCIALLY PURE)	8000	22	5	0.04	1.0	14	10	3.8	0.15	0.5
COPPER ALLOY 260 (CARTRIDGE BRASS, 70%)	7000	22	5	0.05	1.2	14	10	3.8	0.15	0.7
TITANIUM ALLOY, TI-6AL-4V	6000	36	8	0.07	1.7	22	16	2.5	0.10	2.0
ALUMINUM ALLOY 1100	5700	27	6	0.11	2.7	20	15	3.8	0.15	1.0
ALUMINUM ALLOY 6061	5700	31	7	0.13	3.0	23	17	3.8	0.15	1.0

Sumber:http://www.nctfrictionwelding.com/s342gfdr/table/)

Karena proses friction welding menghasilkan pemanasan logam antar muka, maka HAZ mengalami pendiginan cepat karena terjadi perpindahan panas ke base metal yang dingin.Pendinginan yang cepat ini akan mengubah sifat mekanik dari logam dasar pada daerah HAZ, untuk itu diperlukan pemanasan kembali (*heat treatment*) untuk memperbaiki sifat-sifat dari hasil lasan tersebut. Sebagai contoh, dalam rangka untuk memulihkan keuletan, menghilangkan stress, atau mungkin tempering diperlukan untuk pengelasan gesekan baja dengan kekerasan lebih besar daripada ASTM A106. Selain itu, paduan age-hardenable akan kehilangan kekuatan dalam HAZ selama pengelasan dan mungkin memerlukan solusi postweld berupa heat treatment atau *post weld aging* untuk memulihkan kekuatan kembali. Paduan lainnya, seperti material yang memperoleh

kekuatan dari pegerjaan dingin, akan kehilangan kekuatan dalam Haz dari las, dan sifat mereka tidak dapat dipulihkan dengan perawatan postweld.

2.13 Penyambungan Untuk Logam yang Berbeda

Pengelasan *friction welding* untuk logam yang berbeda banyak juga dilakukan walaupun pengelasan gesek untuk bahan yang berbeda memiliki beberapa masalah dibandingkan pengelasan gesek untuk penyambungan logam yang sama, hal ini di karenakan beberapa alasan salah satunya ialah bahan yang akan disambung tersebut tidak dapat disambung dengan proses lain. Masalah yang selalu menjadi permasalahan utama pada pengelasan gesek untuk bahan yang berbeda jenis ialah titik weld yang dimilki setiap bahan berbeda-beda hal ini membuat ketidak singkronan pada pengelasan.Ketika satu bahan telah leleh atau mencapai temperatur weld tetapi bahan yang satu belum mencapai titik weld untuk bahan tersebut sehingga membuat kedua bahan sulit untuk disambung. Tabel 2.4 memberikan parameter pada friction welding untuk pengelasan dengan bahan yang berbeda.

Tabel 2.3 Parameter untuk pengelasan hard inersia gesekan dari dua 25 mm (1-in) diameter bar yang terbuat dari logam berbeda

WORK METAL	SPINDLE SPEED, REV/MIN	AXIAL FORCE		FLYWHEEL SIZE[A]		WELD ENERGY		METAL LOSS[B]		TOTAL TIME[C], S
		KN	LBF × 10^3	KG · M^2	LB · FT^2	KJ	FT · LBF × 10^3	MM	IN.	
Copper to 1018 steel	8000	22	5	0.06	1.4	20	15	3.8	0.15	1.0
M2 tool steel to 1045 steel	3000	180	40	1.14	27.0	54	40	2.5	0.10	3.0
Nickel alloy 718 to 1045 steel	1500	180	40	5.48	130.0	68	50	3.8	0.15	2.5
Type 302 stainless to 1020 steel	3000	80	18	0.84	20.0	41	30	2.5	0.10	2.5
Sintered high-carbon steel to 1018	4600	53	12	0.35	8.3	41	30	2.5	0.10	2.5
Aluminum 6061 to type 302 stainless	5500	22 67[D]	5 15[D]	0.16 . . .	3.9 . . .	27 . . .	20 . . .	5.1 . . .	0.20 . . .	3.0 . . .
Copper to aluminum alloy 1100	2000	33	7.5	0.46	11.0	10	7.5	5.1	0.20	1.0

2.14 Kualitas Sambungan dan Evaluasi Produk

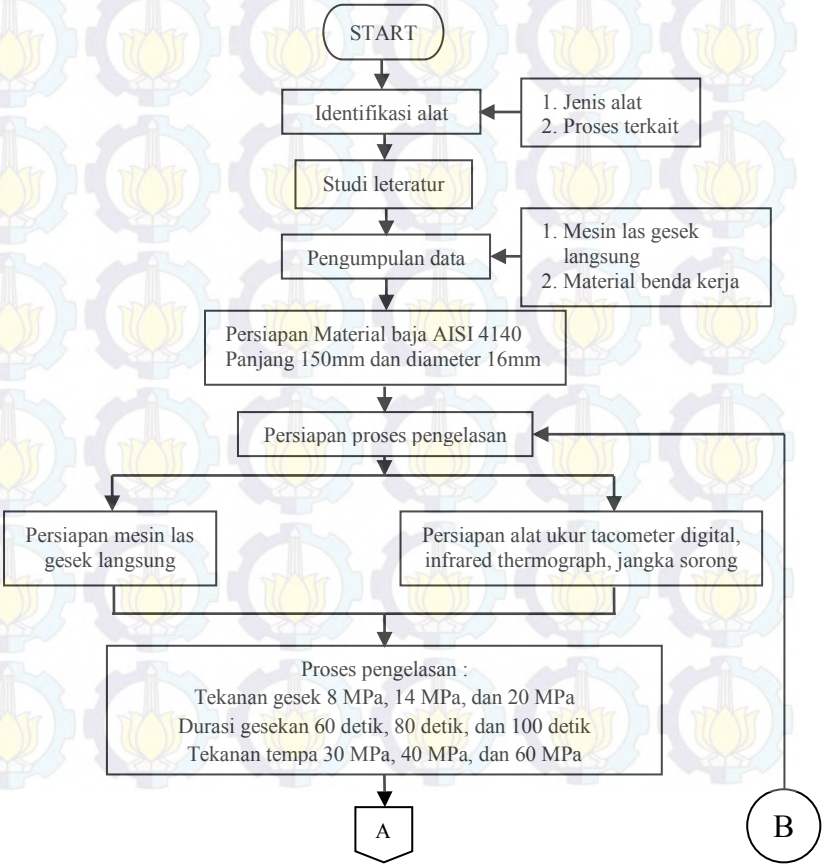
Saat ini, tidak ada metode *nondestructive* yang memuaskan untuk mendeteksi kekuatan las gesekan yang buruk. (*X-ray* biasanya digunakan untuk mengidentifikasi cacat yang dapat menyebabkan kualitas sambungan yang buruk.) pengendalian kualitas sambungan dan evaluasi produk harus bergantung pada proses kendali dan mesin yang digunakan untuk menghasilkan sambungan. Pada *Direct-Drive friction welding*, baik kecepatan rotasi dan gaya aksial akan mempengaruhi pemendekan disamping sifat mekanik dari sambungan yang dihasilkan. Mungkin ada korelasi antara *weld metal* dan kualitas sambungan. Lebih lanjut, upset dalam fase 2 meningkat hampir linear dengan waktu. Upset pada fase ini, yang sering disebut *burn off*, dan nilainya, gesekan *burn off*, telah percaya dapat mengontrol kualitas mengelas.

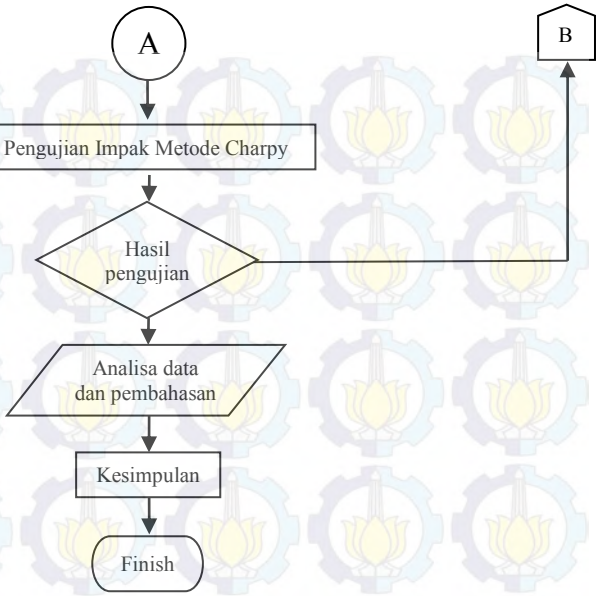
(*Halaman ini sengaja dikosongkan)*

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir merupakan skema urutan langkah-langkah mulai dari awal hingga akhir dari penelitian. Pada pelaksanaannya penelitian membutuhkan waktu selama tiga bulan untuk proses pengambilan data dan analisa data. Prosedur pelaksanaan percobaan dapat dilihat pada gambar 3.1. berikut :





Gambar 3.1 Diagram alir percobaan

3.2 Material Benda Uji

3.2.1 Komposisi

Benda uji pada penelitian ini adalah baja paduan, faktor utama yang mempengaruhi sifat dari baja paduan adalah kandungan chromium, nikel dan mikrostruktur yang ditentukan oleh komposisi baja, seperti : Si, Mn, P, S, Cr, Ni, dan Cu. Material ini mempunyai komposisi yang sesuai dengan sertifikat material.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja AISI 4140

No	Size	Chemical Composition/Analysis (%)							
		C	Mn	Si	P	S	Mo	Cr	Ni
1	Ø16 mm	0.41	0.65	0.20	0.008	0.013	0.16	0.94	0.04

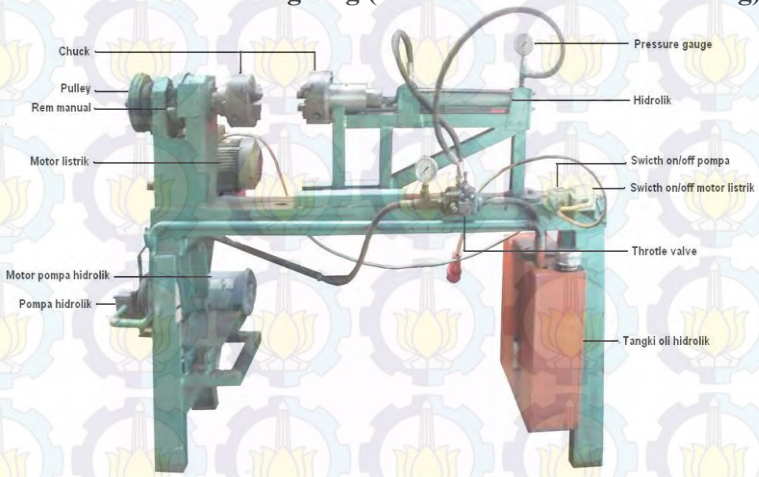
Benda uji yang digunakan pada penelitian ini untuk silinder pejal Ø 16 mm

Gambar 3.2 Spesimen awal

3.3 Peralatan yang Digunakan

Adapun peralatan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah :

1. Mesin Las Gesek Langsung (Direct-drive Friction Welding)



Gambar 3.3 Mesin Las gesek langsung

Spesifikasi Mesin Las Gesek langsung

Mesin las gesek yang digunakan adalah tipe direct-drive dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Material rangka
  Cast iron
  a. *Panjang* *:1000 mm*
  b. *Lebar* *:500 mm*
  c. *Tinggi* *:1500 mm*
- Motor Penggerak
  a. Putaran : 3000 rpm
  b. Daya motor : 3 Hp
- Bearing
  a. Jenis : *Single row deep groove ball bearing*
- Pulley Motor
  a. Diameter : 180 mm
  b. Berat : 9,732 kg
- Pulley poros
  a. Diameter : 120 mm
  b. Berat : 2,7972 kg
- Belt
  a. Jenis : V-Belt
  b. Diameter : 1117 mm
  c. Lebar : 12.5 mm
- Poros penggerak
  a. Bahan :ASTM A220 – 60003
- Hidraulik
  - Spesifikasi hidraulik
  Diameter piston : 50 mm
  Diameter rod : 28 mm
  Stroke : 300 mm
  Piping size : 9.5 mm
  Efisiensi silinder : 0,85

- Selang Hidraulik

Ukuran selang : 9.8 mm
Diameter dalam : 9,5 mm
Diameter luar : 15,0 mm
Max working preasure : 2610 Psi
Max operating temp. : 257°F

- Pipa Hidraulik

Jenis pipa : : schedule 40
Ukuran pipa : 12.9 mm
Diameter dalam : 15,79 mm
Diameter luar : 21,33 mm
Burshing preasure : 13.200 psi
Faktor keamanan (fs) : 6 (1000 – 2500 Psi)

-Pompa Hidraulik

HGP-2A-F 6R dengan kapasitas displacement $6\frac{cm^3}{rev}$, tekanan kerja 210 $\frac{Kgf}{cm^2}$,Kecepatan rata-rata 2724 rpm berat 1,63 kgs

-Check Valve

Aliran max : 30 $\frac{lt}{min}$
Tekanan Max : 210 Bar
Ulir : 9.5 mm
Panjang total : 70 mm
Kunci (hex) : 27 mm
Berat : 0,40 kg

-PRV

Model : RB-104
Aliran max : 80 $\frac{lt}{min}$
Tekanan max : 210 bar
Ulir : 10.4 mm

Berat : 2,5 kg

-4/3 DCV

dengan mid circulation position with handle

model : HF – 26

kapasitas aliran : 25$\frac{lt}{min}$

filtrasi : 125 micron

ulir : 12.5 mm

berat : 0,4 kg

-Preasure Gauge hidraulik

Model : 322

Type : preasure gauge

Ukuran nominal : 50mm

Case atau body : stainless steel

Keakuratan : ± 2,0 % F.S

Skala : Psi, $\frac{kg}{cm^2}$

-Reservoir

Reservoir size : 3 x pump flow rate (gpm)

Reservoir size (m^3) : =3 x 1,57.10^{-4} $\frac{m^3}{s}$. $\frac{60\ s}{min}$

=3 x 2.30 liter/menit

= 4,14 liter

2. *Infrared Thermograf*

Infrared thermograf merupakan alat bantu yang berfungsi untuk dapat mengukur temperatur suatu benda kerja tanpa harus bersentuhan langsung dengan benda yang ingin diukur suhunya. Alat ini biasanya digunakan dalam industri pengecoran logam untuk mengukur sesuatu bertemperatur tinggi.

Keunggulan alat ini adalah mampu digunakan untuk mengukur temperatur tanpa harus bersentuhan langsung dengan

benda kerja yang akan diukur suhunya dengan cara menekan tombol yang terdapat pada alat tersebut. Gambar dan bagian dari alat ukur ini dapat dilihat pada gambar 3.5

Gambar 3.4 Infrared Thermograf

Keterangan:
1. Laser pointer beam.
2. IR sensor.
3. Measurement trigger.
4. Battery cover.
5. LCD display.
6. Mode button.
7. Handle grip.

3. Tachometer Digital

Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan putaran poros. Dalam Tugas Akhir ini alat ini digunakan untuk mengetahui rpm pada spindel yang berputar.

Gambar 3.5 Tachometer Digital

4. Peralatan Potong

Peralatan yang digunakan untuk pembentuk spesimen uji tarik,puntir,kekerasan dan mikrostruktur antara lain adalah gerinda tangan, gergaji, dan mesin bubut. Semua peralatan dan mesin uji yang digunakan adalah milik Laboratorium Perautan Jurusan D3 Teknik Mesin ITS Surabaya.

5. Mesin uji impact

Uji tarik dilakukan pada mesin yang ada di laboratorium D3 Teknik mesin.

3.4 Langkah-langkah Percobaan

3.4.1. Proses Direct-drive *Friction Welding*

Proses *direct drive Friction Welding* dilakukan pada spesimen yang telah dibentuk mendekati spesimen untuk uji tarik, uji puntir dan mikrostruktur. Pada spesimen awal uji tarik mempunyai panjang 150 + 150 mm sebanyak 27 potong spesimen. Untuk spesimen mikrostruktur panjang 30 + 30 mm. Adapun prosesnya adalah sebagai berikut:

1. Spesimen terlebih dahulu diratakan pada setiap permukaan dengan proses facing pada mesin bubut, kemudian dibersihkan dari kotoran, karat dan minyak yang menempel.
2. Spesimen dicekam pada *non rotating* dan *rotating chuck* selanjutnya motor dinyalakan hingga mencapai kecepatan konstan setelah itu diberi tekanan awal sebesar 8 MPa menghasilkan gesekan dengan *friction time* secara urut selama 60 detik, 80 detik, dan 100 detik sampai pada temperatur tempa.
3. Setelah temperatur terpenuhi maka motor dimatikan sehingga putaran mengalami perlambatan.
4. Setelah putaran mengalami perlambatan maka benda kerja yang berputar dihentikan dengan cara pengereman.
5. Kemudian spesimen ditekan pada tekanan (30, 40, 60) MPa
6. Proses akhir dari *friction welding* ini adalah dengan cara mendinginkan spesimen dengan media udara bebas sampai temperatur ruangan dan melakukan pengukuran upset yang terbentuk.

Untuk memproses material diawali melalui proses *friction phase* dan dilanjutkan dengan proses *forging phase*. Penjelasan tentang *friction phase* dan *forging phase* dapat dilihat pada sub bab di bawah ini:

a) *Friction Phase*

Proses pengelasan dari material Baja AISI 4140 dimulai dari material uji yang sudah dipasang pada mesin *direct-drive friction welding* ,kemudian diputar dengan kecepatan putaran 4500 rpm pada temperatur kamar kemudian kedua benda kerja didekatkan saling berhadapan dan diberi tekanan gesek 8 MPa. Proses *welding* yang berlangsung menyebabkan kedua spesimen akan mengalami upset awal pada kedua permukaan yang disambung. Setelah waktu yang ditentukan terpenuhi kemudian dilakukan pengukuran temperatur pada spesimen dan dilanjutkan dengan fase tempa.

b) *Forging Phase*

Proses *forging* dari material AISI 4140ini dimulai setelah proses *friction welding* selesai yaitu setelah waktu gesek yang telah ditentukan berakhir . Setelah itu spesimen uji diberi tekanan tempa (30, 40, 60) MPa sehingga proses forging dapat dilaksanakan.Langkah selanjutnya putaran diperlambat dengan cara direm hingga kondisi berhenti dan didinginkan hingga temperatur ruangan dengan media udara.

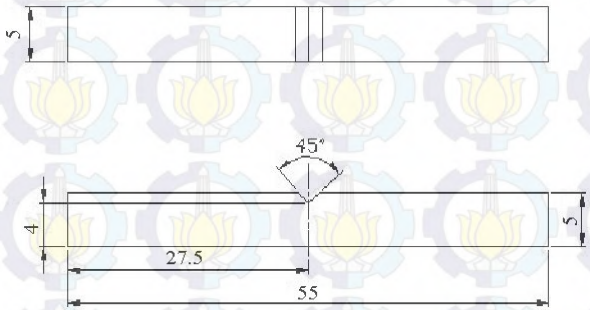
Tabel 3.2 Perencanaan proses *friction* dan *forging*.

Friction			Forging	
Tekanan gesek MPa	Kecepatan putaran (rpm)	Waktu (detik)	Tekanan tempa (MPa)	Suhu (C°)
8	4500	60	30	
			40	
			60	
		80	30	
			40	
			60	
		100	30	
			40	
			60	
14		60	30	
			40	
			60	
		80	30	
			40	
			60	
		100	30	
			40	
			60	
20		60	30	
			40	
			60	
		80	30	
			40	
			60	
		100	30	
			40	
			60	

3.4.2. Pengujian Spesimen

1. Pengujian Impact

Setelah dilakukan pengelasan, dimensi benda uji dipotong menjadi 55 mm x 5 mm x 5 mm sesuai dengan ASTM E23 untuk dilakukan pengujian *impact* dengan metode *charpy*. Kemudian dilakukan bentuk takikan V-notched pada tengah-tengah sambungan las. Adapun dimensinya seperti gambar 3.12 berikut:



Gambar 3.6 Dimensi benda uji impact

Pengujian ini dilakukan dengan metode Charpy pada bentuk specimen sesuai dengan standar ASTM E23. Hasil pengujian berupa angka yang menunjukan E. Selanjutnya E dibagi dengan luasan spesimen yang dipatahkan.

Didapat *Impact strength* Is = E/A, dimana A= luas penampang test piece pada bagian yang tertakik (mm^2).

Rumus $E = W.R (\cos(\beta) - \cos(\alpha))$

Dimana :

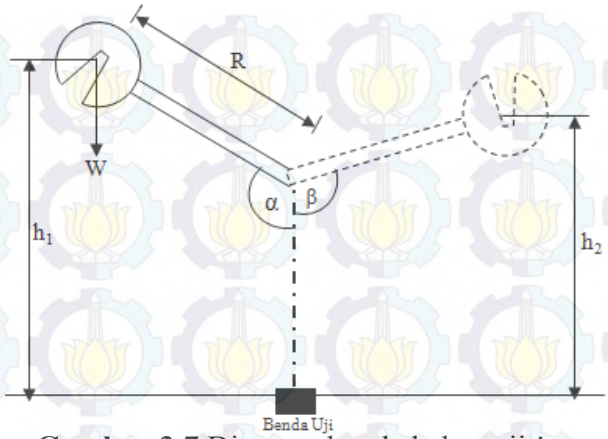
E = Energy impact(kgm)

W = Berat dari pendulum (13,17 kg)

R = Jarak antara titik dari pendulum ke sumbu putar 0 (0,45 m)

α = Sudut awal (130^0)

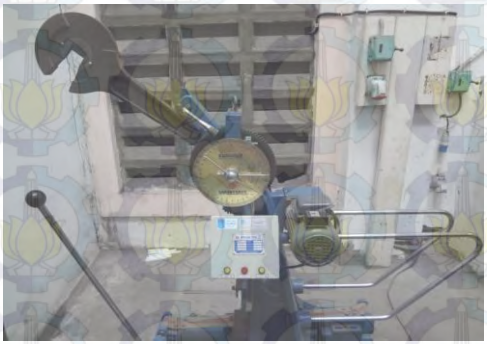
β = Sudut akhir (^{0})



Gambar 3.7 Diagram benda bebas uji *impact*

Peralatan yang digunakan dalam uji *impact* ini adalah:

1. Pada pengujian uji *impact* ini menggunakan mesin *impact* Charpy tipe HT – 8041 A yang ada di laboratorium D3 Teknik Mesin.



Gambar 3.8 Alat uji impact

Merk : Hung Ta Instrument CO.,LTD

Tipe : HT-8041 A
Kapasitas : 10 KG-M
Tegangan : 220 V

2. Gergaji besi
Merk : Ultra 33
Tipe : OSN 222051

Gambar 3.9 Gergaji besi

3. Penggaris besi
Merk : JOYKO

Gambar 3.10 Penggaris besi

Adapun langkah-langkah pengujian *Impact* sebagai berikut:

1) Pasang benda uji pada penumpu dengan takikan tepat berada pada tengah-tengah, bagian bertakik diletakkan disebelah dalam sehingga bandul akan memukul benda uji yang bertakik.
2) Bandul dinaikan setinggi h atau sebesar sudut (130^0).
3) Atur posisi jarum penunjuk skala pada posisi nol.
4) Lepaskan bandul sehingga memukul specimen uji, setelah memukul specimen uji bandul masih akan berayun setinggi h_1 atau sebesar sudut β kemudian

data yang diperoleh dari mesin dicatat kedalam Tabel.

5) Ambil spesimen yang telah diuji untuk diukur dimensinya (p x t).

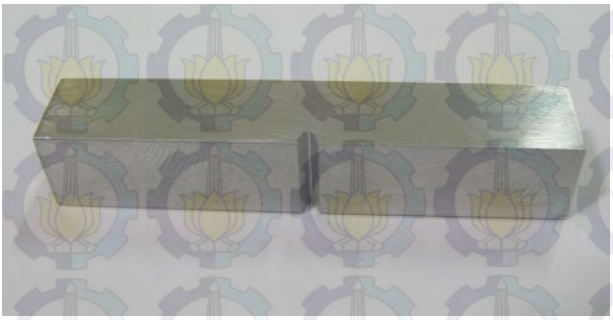
Tabel 3.3 Perencanaan eksperimen hasil proses uji *impact*

Tekanan gesek MPa	Waktu Tempa (detik)	Tekanan tempa (MPa)	W (kg)	R (m)	Cos β (°)	Cos α (°)	E (J)	IS (J/mm²)	Rata-rata IS (J/mm²)
8	60	30							
		40							
		60							
	80	30							
		40							
		60							
	100	30							
		40							
		60							
14	60	30							
		40							
		60							
	80	30							
		40							
		60							
	100	30							
		40							
		60							
20	60	30							
		40							
		60							
	80	30							
		40							
		60							
	100	30							
		40							
		60							

Gambar 3.11 Patahan hasil uji impact

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dari percobaan dengan variasi durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa yang telah dilakukan, didapatkan data sifat mekanik yaitu kekuatan impact dari masing-masing parameter.



Gambar 4.1 Gambar Spesimen Impact

4.1 Data Pengujian Impact

Pengujian impact yang dilakukan sebanyak 81 spesimen dengan parameter yang berbeda. Dari pengujian impact didapatkan kekuatan impact (*impact strength*), seperti yang terlihat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Tabel Data Impact Strength

No	Tekanan Gesek (Mpa)	Durasi Gesek	Tekanan Tempa (Mpa)	Temperatur 1 (°c)	Temperatur 2 (°c)	Temperatur 3 (°c)	Temperatur Rata-Rata(°C)	Impact Strength 1 (J/mm2)	Impact Strength 2 (J/mm2)	Impact Strength 3 (J/mm2)	Impact Strength Rata-Rata	Jenis Patahan 1	Jenis Patahan 2	Jenis Patahan 3
1	8	60	30	828	831	839	832,67	0,03413	0,04597	0,04597	0,0420213827	Brittle	Brittle	Brittle
2			40	847	831	849	842,33	0,04597	0,07028	0,05802	0,0580883514	Brittle	Brittle	Brittle
3			60	849	820	860	843,00	0,08275	0,05802	0,08275	0,0745077022	Brittle	Brittle	Brittle
4		80	30	862	858	865	861,67	0,09543	0,05802	0,08275	0,0787331828	Brittle	Brittle	Brittle
5			40	863	862	872	865,67	0,09543	0,09543	0,08275	0,0912037037	Brittle	Brittle	Brittle
6			60	874	863	884	873,67	0,10831	0,09543	0,07028	0,0913388530	Brittle	Brittle	Brittle
7		100	30	886	877	893	885,33	0,10831	0,08275	0,09543	0,0954961154	Brittle	Brittle	Brittle
8			40	896	891	895	894,00	0,10831	0,09543	0,10831	0,1040140078	Brittle	Brittle	Brittle
9			60	900	899	938	912,33	0,12138	0,10831	0,10831	0,1126644548	Brittle	Brittle	Brittle
10	14	60	30	817	808	813	812,67	0,13465	0,12138	0,10831	0,1214448216	Brittle	Brittle	Brittle
11			40	880	841	850	857,00	0,13465	0,12138	0,12138	0,1258028569	Brittle	Brittle	Brittle
12			60	903	930	910	914,33	0,1481	0,13465	0,12138	0,1347104687	Brittle	Brittle	Brittle
13		80	30	911	890	905	902,00	0,1481	0,1481	0,13465	0,1436180806	Brittle	Brittle	Brittle
14			40	921	929	930	926,67	0,17557	0,1481	0,13465	0,1527720047	Brittle	Brittle	Brittle
15			60	916	925	920	920,33	*						
16		100	30	956	925	940	940,33	0,18956	0,17557	0,17557	0,1802309885	Brittle	Brittle	Brittle
17			40	936	960	945	947,00	0,18956	0,18956	0,17557	0,1848968438	Brittle	Brittle	Brittle
18			60	970	973	968	970,33	0,21807	0,18956	0,17557	0,1943992350	Brittle	Brittle	Brittle
19	20	60	30	955	956	1027	979,33	0,21807	0,21807	0,20373	0,2132907098	Brittle	Brittle	Brittle
20			40	973	978	990	980,33	0,23257	0,21807	0,20373	0,2181243511	Brittle	Brittle	Brittle
21			60	987	997	981	988,33	0,24723	0,24723	0,21807	0,2375104504	Brittle	Brittle	Brittle
22		80	30	1005	1002	991	999,33	0,26205	0,24723	0,24723	0,2521689045	Brittle	Brittle	Brittle
23			40	1016	1010	1023	1016,33	0,27701	0,26205	0,27701	0,2720215925	Brittle	Brittle	Brittle
24			60	1031	1012	1021	1021,33	0,30737	0,29212	0,26205	0,2871785706	Brittle	Brittle	Brittle
25		100	30	1056	1046	1057	1053,00	*						
26			40	1064	1068	1050	1060,67	*						
27			60	1072	1082	1071	1075,00	0,30737	0,32276	0,33828	0,3228016679	Brittle	Brittle	Brittle

*Benda uji friction welding rusak saat pembentukan spesimen

Pada tekanan gesek 14 MPa, tekanan tempa 80 MPa, pada durasi gesek 60 detik dan tekanan gesek 20 MPa, tekanan tempa 30 MPa serta 40 MPa pada durasi gesek 100 detik terjadi kerusakan benda uji friction welding saat pembentukan spesimen. Untuk menampilkan data yang valid maka ditampilkan data uji tarik pada tugas akhir sebelumnya.

Tabel 4.2 Tabel Uji Tarik pada Tekanan Gesek 14 MPa

No	Tekanan Gesek (MPa)	Durasi Gesek (detik)	Temperatur 1 °C	Temperatur 2 °C	Temperatur 3 °C	Temperatur Rata2 °C	Tekanan Tempa (MPa)	Lebar HAZ (mm)		UTS 1 (MPa)	UTS 2 (MPa)	UTS 3 (MPa)	UTS Rata2 (MPa)	Daerah patah sambungan 1	Daerah patah sambungan 2	Daerah patah sambungan 3
1	14	60	903	660	30	840.333	80	9	9.5	898.24	572.14	824.58	764.99	HAZ	Weld Metal	Weld Metal
2			880	841	40		40	9	9	877.61	698.24	912.57	829.47	HAZ	Weld Metal	HAZ
3			817	808	60		60	9.25	9.5	890.50	871.45	895.35	882.43	Weld Metal	Weld Metal	HAZ
4			911	929	30		30	9.25	9.25	881.55	888.14	763.42	844.36	Weld Metal	Weld Metal	Weld Metal
5		80	921	925	40	917.556	40	9.5	9.75	923.01	787.68	943.26	884.65	HAZ	Weld Metal	HAZ
6			916	925	60		60	9	9.5	906.83	907.69	945.40	919.97	HAZ	HAZ	HAZ
7			956	960	30		30	9	9.5	903.01	916.84	904.41	908.08	HAZ	HAZ	HAZ
8		100	936	973	40	958.667	40	9	9.5	925.60	757.86	894.41	859.29	HAZ	Weld Metal	HAZ
9			970	956	60		60	9	10	764.04	908.38	897.36	856.59	HAZ	HAZ	HAZ

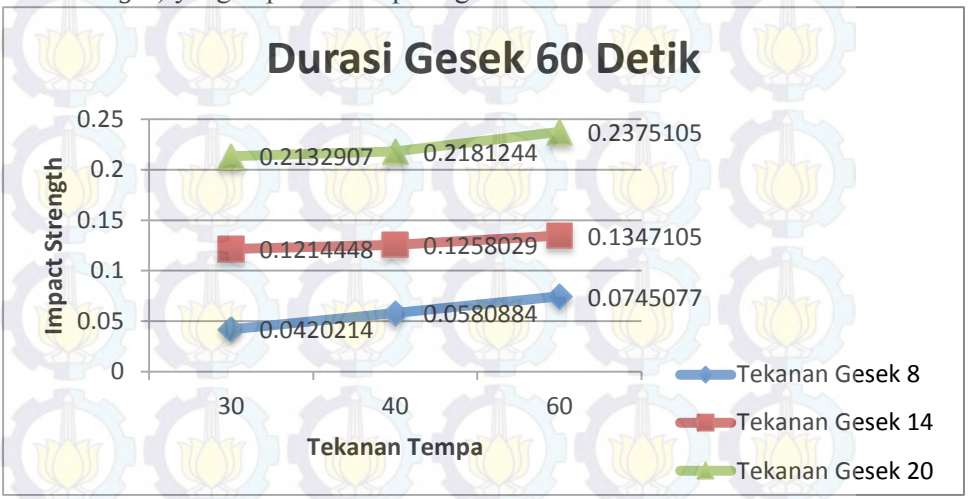
Tabel 4.3 Tabel Uji Tarik pada Tekanan Gesek 20 MPa

No.	Tekanan Gesek (Mpa)	Durasi Gesek (detik)	Tekanan Tempa (Mpa)	Temperatur 1 (°C)	Temperatur 2 (°C)	Temperatur 3 (°C)	Temperatur Rata-rata (°C)	Temperatur Rata-rata Pada Durasi Gesek yang sama (°C)	Lebar HAZ (mm)		UTS 1 (Mpa)	UTS 2 (Mpa)	UTS 3 (Mpa)	UTS Rata-rata (Mpa)	Daerah Patahan 1	Daerah Patahan 2	Daerah Patahan 3
1	20	60	30	955	1005,5	1027,3	995,9	990,8	8	8,5	771,37	785,83	910,45	822,55	Weld metal	Weld metal	HAZ
2			40	973,2	955,5	1047,4	992,0		8,5	8,5	824,97	913,22	923,75	887,313	Weld metal	HAZ	HAZ
3			60	955,2	1016,1	981,8	984,4		9	9	927,19	932,16	918,35	925,901	HAZ	HAZ	HAZ
4		80	30	887,2	879,5	1004,9	923,9	983,3	9	9	886,84	908,43	679,49	824,922	HAZ	HAZ	Weld metal
5			40	1016,6	1016,3	993	1008,6		9	9,5	874,68	913,02	860,09	882,598	Weld metal	HAZ	Weld metal
6			60	990,1	1046,7	1015,4	1017,4		9,5	9,5	897,60	180,95	893,97	895,781	HAZ	Weld metal	HAZ
7		100	30	956,2	1007,3	989,5	984,3	991,9	9,5	9,5	699,61	914,07	872,66	828,78	Weld metal	HAZ	Weld metal
8			40	923	966,4	1019,1	969,5		9,5	9	892,59	258,59	890,92	891,755	HAZ	Weld metal	Weld metal
9			60	1032,2	1004,1	1029,2	1021,8		10	10	893,43	877,30	888,53	886,421	HAZ	HAZ	Weld metal

4.2 Analisa Data Pengujian Impact

4.2.1 Analisa kekuatan Impact terhadap Tekanan Tempa dengan Durasi 60 Detik

Dari data Pengujian Impact pada tabel 4.1 dibuat grafik hubungan antara tekanan tempa dengan kekuatan Impact (*Impact Strength*) yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini :



Gambar 4.2 Grafik kekuatan Impact terhadap tempa dengan tekanan gesek 8,14, dan 20 MPa pada durasi gesek 60 detik.

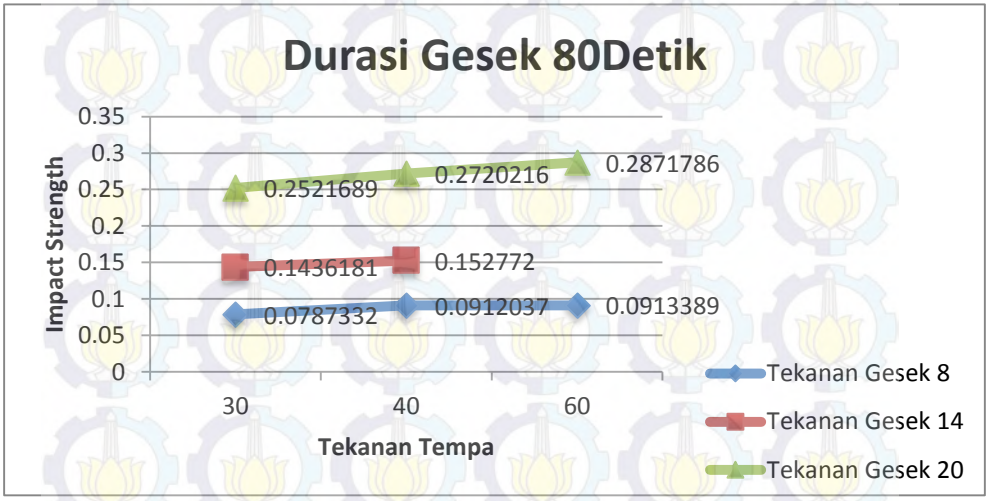
Berdasarkan gambar 4.2 ,grafik dapat dilihat pada grafik dengan durasi 60 detik terlihat bahwa tekanan gesek dan tekanan tempa mempengaruhi kekuatan impact, semakin tinggi tekanan gesek dan tempa yang diberikan maka kekuatan tariknya semakin tinggi pula. Ketika dilakukan uji impact spesimen patah pada daerah *weld metal* dan memiliki kekuatan impact yang rendah. Itu dibuktikan dengan nilai kekuatan impact paling rendah pada tekanan gesek 8 MPa dan tekanan tempa 30 MPa diperoleh kekuatan impact sebesar 0,0420214 J/mm2. Kekuatan impact

paling tinggi didapat pada tekanan gesek 20 Mpa dan tekanan Tempa 60 MPa sebesar 0,2375105 J/mm2. Tekanan gesek lebih berpengaruh terhadap impact strength secara signifikan dibandingkan tekanan tempa.

Semakin tinggi tekanan gesek pada tekanan tempa yang sama maka impact strength yang didapat akan semain tinggi pula. Semakin tinggi tekanan tempa pada tekanan gesek yang sama maka akan didapat impact strength yang semakin tinggi pula. Kedua hal ini disebabkan karena semakin tinggi tekanan tempa dan tekanan gesek maka temperatur pengelasan yang didapat semakin tinggi pula. Semakin tinggi temperatur pengelasan maka semakin lama pula waktu pendinginannya. Semakin lama waktu pendinginan akan semakin banyak pearlite yang terbentuk pada weld metal. Semakin banyak pearlite yang terbentuk pada weld metal akan menghasilkan kekuatan impact pada weld metal akan semakin tinggi.

4.2.2 Analisa kekuatan Impact terhadap Tekanan Tempa dengan Durasi 80 Detik

Dari data Pengujian Impact pada tabel 4.1 dibuat grafik hubungan antara tekanan tempa dengan kekuatan Impact (*Impact Strength*) yang dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini :



Gambar 4.3 Grafik kekuatan Impact terhadap tempa dengan tekanan gesek 8,14, dan 20 MPa pada durasi gesek 80 detik.

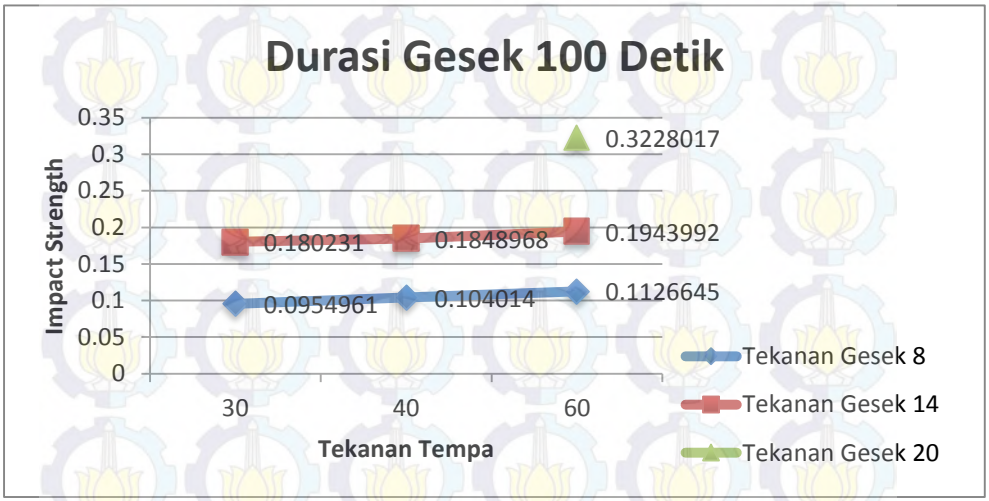
Berdasarkan gambar 4.3 ,grafik dapat dilihat pada grafik dengan durasi 80 detik terlihat bahwa tekanan gesek dan tekanan tempa mempengaruhi kekuatan impact, semakin tinggi tekanan gesek dan tempa yang diberikan maka kekuatan tariknya semakin tinggi pula. Ketika dilakukan uji impact spesimen patah pada daerah *weld metal* dan memiliki kekuatan impact yang rendah. Itu dibuktikan dengan nilai kekuatan impact paling rendah pada tekanan gesek 8 MPa dan tekanan tempa 30 MPa diperoleh kekuatan impact sebesar 0,0787332 J/mm2. Kekuatan impact paling tinggi didapat pada tekanan gesek 20 Mpa dan tekanan

Tempa 60 MPa sebesar 0,2871786 J/mm2 Tekanan gesek lebih berpengaruh terhadap impact strength secara signifikan dibandingkan tekanan tempa. Data impact strength pada tekanan tempa 60 MPa dan tekanan gesek 14 MPa tidak dapat ditampilkan. Hal ini disebabkan oleh rusaknya material hasil friction welding pada saat proses pembentukan spesimen impact.

Semakin tinggi tekanan gesek pada tekanan tempa yang sama maka impact strength yang didapat akan semain tinggi pula. Semakin tinggi tekanan tempa pada tekanan gesek yang sama maka akan didapat impact strength yang semakin tinggi pula. Kedua hal ini disebabkan karena semakin tinggi tekanan tempa dan tekanan gesek maka temperatur pengelasan yang didapat semakin tinggi pula. Semakin tinggi temperatur pengelasan maka semakin lama pula waktu pendinginannya. Semakin lama waktu pendinginan akan semakin banyak pearlite yang terbentuk pada weld metal. Semakin banyak pearlite yang terbentuk pada weld metal akan menghasilkan kekuatan impact pada weld metal akan semakin tinggi.

4.2.3 Analisa kekuatan Impact terhadap Tekanan Tempa dengan Durasi 100 Detik

Dari data Pengujian Impact pada tabel 4.1 dibuat grafik hubungan antara tekanan tempa dengan kekuatan Impact (*Impact Strength*) yang dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini :



Gambar 4.4 Grafik kekuatan Impact terhadap tempa dengan tekanan gesek 8,14, dan 20 MPa pada durasi gesek 100 detik.

Berdasarkan gambar 4.4 ,grafik dapat dilihat pada grafik dengan durasi 100 detik terlihat bahwa tekanan gesek dan tekanan tempa mempengaruhi kekuatan impact, semakin tinggi tekanan gesek dan tempa yang diberikan maka kekuatan tariknya semakin tinggi pula. Ketika dilakukan uji impact spesimen patah pada daerah *weld metal* dan memiliki kekuatan impact yang rendah. Itu dibuktikan dengan nilai kekuatan impact paling rendah pada tekanan gesek 8 MPa dan tekanan tempa 30 MPa diperoleh kekuatan impact sebesar 0,0951961 J/mm2. Kekuatan impact

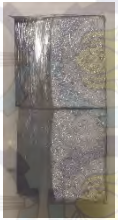
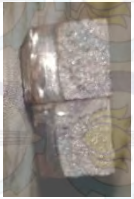
paling tinggi didapat pada tekanan gesek 20 Mpa dan tekanan Tempa 60 MPa sebesar 0,3228017 J/mm2 Tekanan gesek lebih berpengaruh terhadap impact strength secara signifikan dibandingkan tekanan tempa. Data impact strength pada tekanan tempa 30,40 MPa dan tekanan gesek 14 MPa tidak dapat ditampilkan. Hal ini disebabkan oleh rusaknya material hasil friction welding pada saat proses pembentukan spesimen impact.

Semakin tinggi tekanan gesek pada tekanan tempa yang sama maka impact strength yang didapat akan semain tinggi pula. Semakin tinggi tekanan tempa pada tekanan gesek yang sama maka akan didapat impact strength yang semakin tinggi pula. Kedua hal ini disebabkan karena semakin tinggi tekanan tempa dan tekanan gesek maka temperatur pengelasan yang didapat semakin tinggi pula. Semakin tinggi temperatur pengelasan maka semakin lama pula waktu pendinginannya. Semakin lama waktu pendinginan akan semakin banyak pearlite yang terbentuk pada weld metal. Semakin banyak pearlite yang terbentuk pada weld metal akan menghasilkan kekuatan impact pada weld metal akan semakin tinggi.

4.2.4 Analisa Patahan Spesimen

Untuk mengetahui keuletan sambungan las dapat dilihat dari bentuk patahan spesimen setelah pengujian impak. Patahan yang didapat pada spesimen adalah kristal. Patahan hasil uji impak berbentuk kristal menandakan sambungan las tergolong getas.

Tabel 4.4 Hasil patahan spesimen uji impact

No	Gambar Patahan	Jenis Patahan	Tekanan Gesek	Waktu Gesekan	Tekanan Tempa
1		Brittle, karena patahan membentuk Kristal – kristal kecil	8 MPa	100 Second	60 MPa
2		Brittle, karena patahan membentuk Kristal – kristal kecil	14 MPa	100 Second	60 MPa
3		Brittle, karena patahan membentuk Kristal – kristal kecil	20 MPa	100 Second	60 MPa

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian perubahan durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap impact strength yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekuatan impact tertinggi diperoleh pada kombinasi parameter durasi gesek 100 detik, dengan tekanan gesek 20 MPa dan tekanan tempa 60 MPa yaitu sebesar 0,3228017 J/mm2.
2. Kekuatan impact terendah diperoleh pada kombinasi parameter durasi gesek 60 detik, dengan tekanan gesek 8 MPa dan tekanan tempa 30 MPa yaitu sebesar 0,0420214 J/mm2.
3. Perubahan tekanan gesekan, durasi gesek, dan tekanan tempa mempengaruhi temperatur pengelasan. Temperature Pengelasan tertinggi adalah 1075 ^{o}C.
4. Dari ketiga parameter yang di variasikan, parameter tekanan gesek paling berpengaruh terhadap kekuatan impact sambungan las *direct friction welding*.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Setiap melakukan pengelasan bersihkan benda kerja dari kotoran / debu sehingga gesekan yang terjadi dapat menimbulkan panas secara baik.

2. Sebaiknya panel control tekanan diganti dengan yang bisa diatur tekanannya. Sehingga pada saat penelitian tidak sering mengulang percobaan yang disebabkan kekurangan atau kelebihan tekanan.
3. Pada setiap pengelasan sebaiknya di cek dulu apakah benda sudah benar-benar simetri apa belum, sehingga sambungannya tidak terjadi misalighment.

Daftar Pustaka

1. Sato, G. Takeshi. 2000. *Menggambar Mesin Menurut Standart ISO.* Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
2. Widiyono, Eddy,Suhariyanto, Hadi, Syamsul. 2011. *Teori Dan Praktikum Ilmu Bahan* Surabaya : Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS Kerjasama PT PLN.
3. Welding, Brazing and Soldering, ASM HANDBOOK.1993. UNITED STATES OF AMERICA
4. ASM Metals Handbook, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals, 9th edition, ASM International, Metals Park, Ohio, vol. 2, (1986).
5. McPherson, Omari. 2008. Grain Growth in AISI 4140.(Degre of Bachelor). Worcester Polytechnic Institute
6. Y. Totik1, R. Sadeler, H. Altun, M. Gavgali.2002. The Effect of induction hardening on wear properties of AISI 4140 steel in dry sliding conditions.
7. Weman, Klas., 2003, "*Welding Process Handbook*", Woodhead, Cambride,. England.
8. ASM Handbook," *Volume 8-Mechanical Testing and Evaluation*"
9. Callister, William D, 1994, *Materials Science And Engineering*, John Willey & Sons,Inc. USA.
10. Navar, A., 2002, "*The Steel Handbook*", McGraw Hill, New York.

Sertifikat baja AISI 4140

豐興鋼鐵股份有限公司
FENG HSIN IRON & STEEL CO. LTD.

INSPECTION CERTIFICATE

OFFICE : 臺中縣后里鄉甲后路702號
702,CHIA HOU ROAD,HOULI SHIUNG,
TAICHUNG HSIEN, TAIWAN,ROC
TEL : (04)25565101 FAX : (04)25566955

CUSTOMER NAME:

SPEC.: FH SPEC. 4140H IN 6.0 M

CERTIFICATE NO.: 205204[illegible]-01-1

CERTIFICATE DATE: MAR. [illegible] 2008

SIZE (mm)	LP (m)	QTY	WEIGHT (kg)	HEAT NO.	YP /mm²	TS /mm²	EL (%)	C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000	Ni ×100	Cr ×100	Mo ×100	[illegible]	Al ×1000	B ppm
[illegible] STEEL ROUND BAR																		
								38	15	60	30 MAX	30 MAX	25 MAX	8	15	30 MAX		
								43	35	90				1	30			
16	6	2	4.6[illegible]	383732				41	[illegible]	65	13	[illegible]	4	94	16	10	18	
18	6	[illegible]	4.029	383731				40	21	64	12	[illegible]	4	95	16	11	22	
[illegible]	6	2	3.954	383730				39	21	64	13	6	4	94	16	11	26	
25	6	3	5.881	384071				42	22	64	16	5	4	93	17	9	23	
28	6	3	5.970	384070				39	22	63	13	5	4	93	16	8	19	
32	6	2	4.713	384068				41	21	64	14	5	3	96	16	6	23	
38	6	3	5.943	384066M				40	22	64	12	5	4	95	16	8	22	
42	6	2	4.470	384066M				40	22	64	12	5	4	95	16	[illegible]	22	
45	6	2	4.037	384073				40	24	66	14	5	4	94	17	11	33	
50	6	3	5.[illegible]	384318				41	21	68	[illegible]	8	4	[illegible]	16	12	21	
55	6	3	5.[illegible]	384325				39	22	66	20	8	[illegible]	95	16	14	28	
60	6	[illegible]	4.[illegible]	384324				41	21	73	14	4	4	93	16	12	20	
65		2	5.182	384069				40	21	62	16	6	4	93	16	6	[illegible]	
70		3	6.050	384318M				41	21	68	9	8	4	94	16	12		
75		3	5.446	384318M				41	21	68	9	8	4	94	16	12		
80		3	5.688	[illegible]4323				38	21	64	13	5	4	93	17	13	18	
85	6	3	5.636	384323				38	21	64	13	5	4	93	17	13	18	
SUB TOTAL		43	86.660															

Grand Total: 43 BUNDLES 86.660 kgs.

REMARK:

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENT OF THE ABOVE MATERIAL SPECIFICATION.

QC-09-04

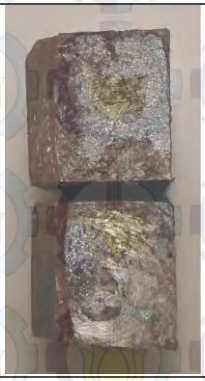
MANAGER
METALLURGICAL
R&D DEP.

黃連俊

BADJA KARYA SURABAYA

Hasil patahan uji impact

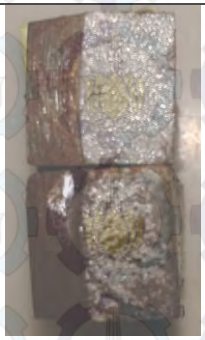
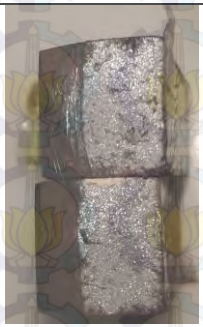
1) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 30

1	2	3
		

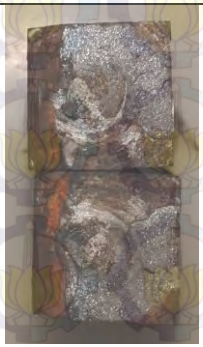
2) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 40

1	2	3

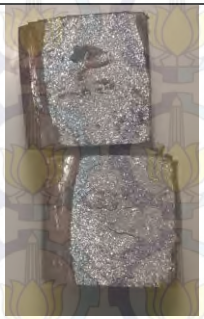
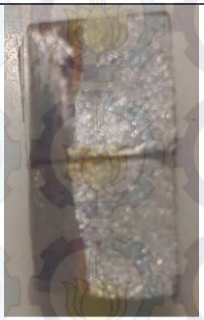
3) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 60

1	2	3
		

4) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 30

1	2	3
		

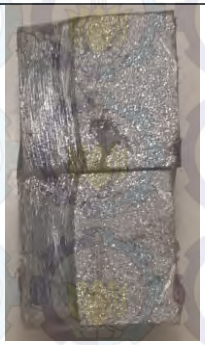
5) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 40

1	2	3
		

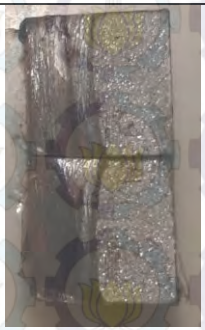
6) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 60

1	2	3

7) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 30

1	2	3
		

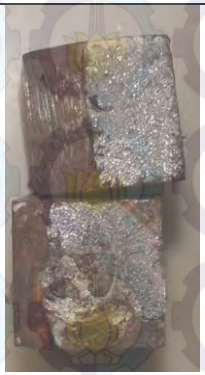
8) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 40

1	2	3
		

9) Tekanan tempa 8 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 60

1	2	3

10) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 30

1	2	3
		

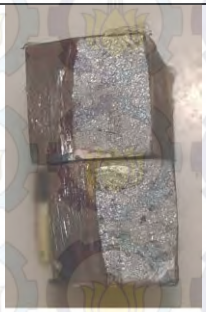
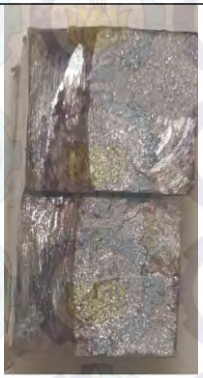
11) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 40

1	2	3

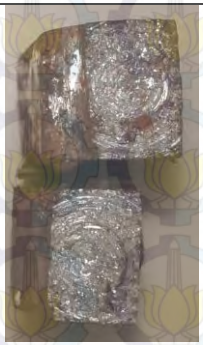
12) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 60

1	2	3

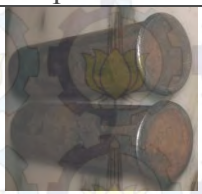
13) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 30

1	2	3
		

14) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 40

1	2	3
		

15) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 60

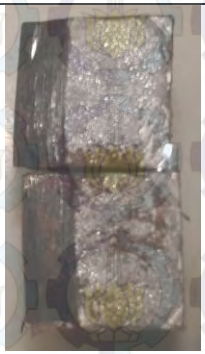
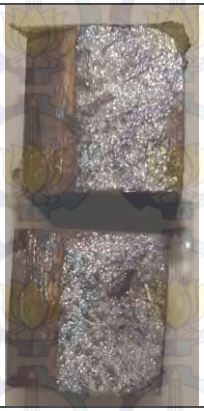


*Spesimen rusak saat dibentuk

16) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 30

1	2	3

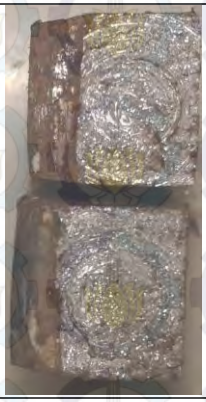
17) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 40

1	2	3
		

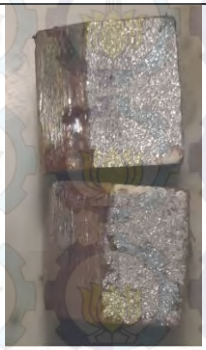
18) Tekanan tempa 14 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 60

1	2	3

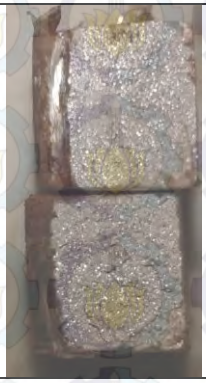
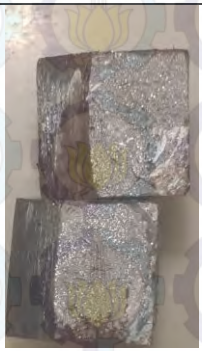
19) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 30

1	2	3
		

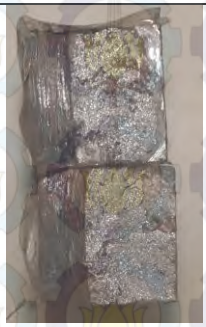
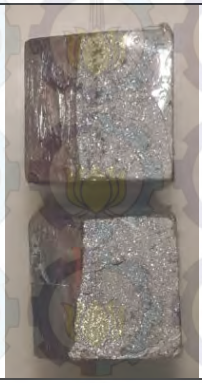
20) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 40

1	2	3
		

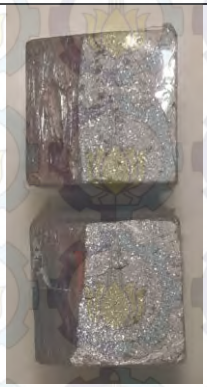
21) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 60 detik, tekanan tempa 60

1	2	3
		

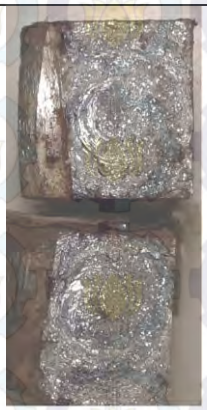
22) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 30

1	2	3
		

23) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 40

1	2	3
		

24) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 80 detik, tekanan tempa 60

1	2	3
		

25) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 30

*Spesimen rusak saat dibentuk

26) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 40

*Spesimen rusak saat dibentuk

27) Tekanan tempa 20 MPa, durasi gesek 100 detik, tekanan tempa 60

1	2	3

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 20 juli 1991dengan nama Dicky Satyadianto. Penulis merupakan anak pertama dari satu saudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu SDN Airlangga IV/201 Suarabaya. SMP 17 Agustus 1945, SMKN 11 Surabaya dan kemudian melanjutkan studinya di Progam studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya dengan NRP 2109 030 058, dan mengambil bidang studi Manufaktur.

Penulis juga aktif diberbagai kegiatan dalam kampus. Salah satu staf LMB ITS. Adapun hobi penulis yaitu bersosialisasi dengan komunitas mobil di Surabaya dan olahraga Softball dan Baseball. Selain itu ada pula pelatihan dan event-event yang diikutinya selama menjadi mahasiswa di ITS, salah satunya adalah mengikuti pelatihan LKMM Pra TD VII FTI-ITS, PELATJURDAS HMDM 2010, Panitia Pra TD VIII FTI-ITS.

Contact Number : +6289682226902
E-mail : dickysatyadianto123@gmail.com