

Laporan penelitian



**PENYAMBUNGAN BAJA AISI 1040 BATANG
SILINDER PEJAL DENGAN *FRICTION WELDING***

OLEH:

TIWAN,MT.

AAN ARDIAN,MPd.

ardian@uny.ac.id

**DIBIYAI OLEH DANA DAFTAR ISIAN KEGIATAN (DIK) UNY
DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN
NOMOR : 1925.C/J.35.15DIKS/KU/2004**

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2005



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat Karangmalang Yogyakarta 55281

Telepon (0274) 586168 psw. 276,289,292, (0274) 540715,586734 (Dekan) Fax.

(0274) 586734

LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul penelitian : PENYAMBUNGAN BAJA AISI 1040 BATANG SILINDER PEJAL DENGAN *FRICTION WELDING*
 2. Kepala Proyek Penelitian :
 - a. Nama Lengkap : Drs. Tiwan, ST.MT.
 - b. NIP : 132 048 523
 - c. Pangkat/ Gol : Penata Muda/ IIIa
 - d. Jabatan Sekarang : Dosen pengajar (Asisten Dosen)
 - e. Pengalaman penelitian : 3x
 - f. Fakultas/Jurusan : Teknik/ Pendidikan Teknik Mesin
 - g. Universitas : Universitas Negeri Yogyakarta
 3. Jumlah Tim Peneliti : 2 Orang
 4. Lokasi Penelitian : Lab. Bahan Teknik Mesin UNY
 5. Kerjasama :
 - a. Nama Instansi (Kalau Ada): -
 - b. Alamat : -
 6. Jangka Waktu Penelitian : 4Bulan
 7. Biaya yang Diperlukan : Rp.3.000.000,00 (tiga juta rupiah)
-

Mengetahui,
Dekan FT UNY

Yogyakarta, 1 Maret 2005
Peneliti

Prof. Dr.H. Sugiyono,M.Pd
NIP. 130 693 811

Tiwan,MT.
NIP. 132 048 523

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	Halaman
Daftar Isi	i
Daftar Gambar	ii
Daftar tabel	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak	v
Bab I Pendahuluan	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Keterbatasan Penelitian	5
Bab II Landasan Teori	
A. Solid State Welding	6
B. Friction Welding	7
C. Teknik Friction Welding	10
D. Perhitungan Energi Masukan pad Friction Welding	14
E. Kelebihan dan Keterbatasan Friction Welding	15
F. Baja Karbon	16
Bab III Metoda Penelitian	
A. Diagram Alir Penelitian	19
B. Sampel Penelitian	20
C. Alat dan Perlengkapan	20
D. Prosedur Eksperimen	20
E. Pelaksanaan Proses Friction Welding	21
F. Pemeriksaan Struktur Mikro	22
G. Pengujian Kekerasan	22
H. Pengujian Tarik	22
I. Analisi Data	22
Bab IV. Hasil dan Pembahasan	
A. Proses Penyambungan Baja 1040 dengan Friction Welding	23
B. Struktur Mikro Sambungan	26
C. Hasil Pengujian Tarik	29
D. Hasil Pengujian Kekerasan	31
Bab V. Kesimpulan dan Saran	
A. Kesimpulan	33
B. Saran	34
Daftar Pustaka	35
Lampiran-Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Tahapan Proses Friction Welding	8
2.2. Sistem Friction Welding dengan Cara Direct-Drive Welding	11
2.3. Grafik Tahapan Proses Direct-Drive Welding	12
2.4. Skema Proses Inertia-Drive Welding	13
2.5. Grafik Tahapan Proses Inertia- Drive Welding	13
2.6. Diagram Keseimbangan Besi Karbon	17
3.1. Diagram Alir Proses Penelitian	19
4.1. Struktur Mikro Daerah Sambungan Friction Welding	27
4.2. Grafik Kekerasan Pada Daerah Sambungan	31

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Tarik	29

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi kekuatan, rahmat serta hidayah, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.

Penulis menyadari sepenuhnya penelitian ini masih jauh dari sempurna, dikarenakan keterbatasan penulis. Oleh karena itu penulis mohon masukan dan koreksi guna memperbaiki dan melengkapi tulisan ini

Laporan ini terwujud berkat bantuan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada :

1. Dekan dan Pembantu Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta,
2. Badan Pertimbangan Penelitian Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta,
3. Ketua Jurusan Diknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta,
4. Teman-teman Dosen Jurusan Diknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
5. Kepala Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta
6. Tenaga Administrasi Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Atas bantuan dan perannya selama penyelesaian penelitian ini penulis mengucapkan terimakasih dan semoga mendapat imbalan yang setimpal dari Allah SWT.

Yogyakarta, februari 2004

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses penyambungan baja AISI 1040 dengan cara *friction welding*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dalam ilmu bahan.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Adapun proses yang dilakukan meliputi proses persiapan dan pengesetan mesin bubut untuk proses *friction*, proses penyambungan, proses karakterisasi dan pengujian. Dari data- data karakterisasi dan pengujian dilakukan analisa yang kemudian dibahas dalam laporan. Proses pengujian yang dilakukan meliputi, struktur mikro, kekuatan tarik dan kekerasan. Pengamatan dititik beratkan pada daerah sambungan.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil bila pada daerah sambungan memiliki struktur mikro yang berbeda besar butirnya antara daerah *weld line* dengan logam induk pada daerah *weld line* memiliki butir yang lebih kecil dibanding didaerah logam induk. Dari hasil pengujian tarik diperoleh kekuatan tarik yang hampir sama dengan kekuatan dasar logam. Dari hasil pengujian diperoleh kekuatan luluh 56.22 kgf/mm^2 , dan kekuatan tarik maksimal 57.4 kgf/mm^2 . terdapat perbedaan kekerasan didaerah sambungan antara logam induk dan *weld line*.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pengelasan yang banyak digunakan pada saat ini adalah jenis SMAW. Metode ini banyak digunakan karena lebih mudah dalam pengelasan dan dapat mengelas dalam posisi yang tak terbatas. SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) merupakan metode pengelasan fusi yaitu dengan cara mencairkan bahan dasar dan ditambah dengan elektroda terbungkus yang terumpan habis. Yang menjadi ciri khas dari pengelasan SMAW adalah terdapatnya daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang lebar. Hal ini dikarenakan pengaruh panas akibat pencairan logam dasar pada daerah setempat. Daerah HAZ atau daerah yang terpengaruh panas sering kali menjadi tempat yang paling riskan pada kekuatan las SMAW. Karena pada daerah HAZ memiliki sifat yang berubah dari sifat bahan dasarnya. Hal ini semakin cukup penting diperhatikan pada proses pengelasan baja paduan.

Pada pengelasan dengan SMAW sering ditemukan porositas dan inklusi slag. Porositas disebabkan oleh gas-gas yang terperangkap terutama gas nitrogen dan hydrogen. Nitrogen dan hydrogen memiliki kelarutan yang tinggi dalam logam cair, sehingga pada proses pengelasan dengan proses pencairan bahan dasar sering ditemukan timbulnya porositas akibat gas nitrogen atau hydrogen. Selama proses solidifikasi gas berusaha meninggalkan logam cair, namun karena laju solidifikasi terlalu cepat maka

ada sebagian gas yang terperangkap. Sebagian gas yang terperangkap ini membentuk gelembung porositas yang akan menurunkan kekuatan lasan. Lebih lanjut lagi terjadi penggetasan akibat larutnya hydrogen dalam logam padat yang disebut dengan hydrogen induced cracking.

Pengelasan dengan SMAW cocok untuk pengelasan permukaan plat-plat datar. Untuk benda pejal pengelasan dapat dilakukan pada bagian sisi luar, sedangkan npada sisi dalam sulit untuk dilakukan. Apalagi untuk pengelasan benda pejal yang bepenampang bulat las SMAW akan menemui kesulitan. Hal ini dikarenakan kesulitan dalam teknis pengelasannya. Untuk dapat mengelas dengan sempurna menyentuh semua permukaan lasan bagian penampang dalam sulit direalisasikan. Jika dapat dilakukan hasil pengelasan tidak rapih mengikuti penampang bulat pejal.

Kekurangan dari SMAW untuk benda yang bepenampang bulat pejal dapat diatasi dengan proses pengelasan *friction welding*. *Friction welding* termasuk solid state welding yaitu pengelasan tanpa pencairan logam dasar dan tanpa bahan tambah. Proses *friction welding* memanfaatkan panas akibat gesekan dua permukaan yang akan disambung. Panas pada gesekan akan mengubah material padat menjadi *semisolid* atau plastis. Mekanisme penyambungan terjadi oleh pencampuran logam luluh antar permukaan dan difusi. Dengan pemberian tekanan yang cukup proses penyambungan akan lebih baik. *Friction welding* dapat melakukan penyambungan benda pejal dengan kontak secara keseluruhan, karena prosesnya melalui gesekan *interface*. Hal ini sulit dilakukan pada pengelasan SMAW.

Sehubungan dengan fenomena di atas maka perlu diadakan pengkajian dan penelitian mengenai proses penyambungan dengan proses *friction welding* pada batang baja AISI 1040 silinder pejal.

B. Identifikasi Masalah

Proses penyambungan dengan *friction welding* melibatkan faktor gesekan, gaya penekanan dan kualitas permukaan. Gesekan terjadi pada dua permukaan logam yang berhimpit dan memiliki perbedaan kecepatan gerak antara bidang yang satu dengan yang lain. Terciptanya gesekan dapat berupa perdaan gerak relatif lurus maupun berputar. Fenomena gesekan diperlukan untuk menimbulkan panas pada batang baja. Panas yang terjadi disimpan dan meningkatkan dengan lamannya waktu. Pada akhirnya panas yang tercipta mampu menaikkan temperatur logam sehingga mampu meluluhkan material baja.

Gaya penekanan diperlukan untuk meningkatkan gaya gesek. Semakin tinggi gaya tekan maka akan menimbulkan gaya gesek yang semakin besar. Dengan gaya gesek yang semakin besar maka akan menimbulkan panas yang semakin pbesar pula. Di samping itu gaya tekan diperlukan untuk mendapatkan hasil penyambungan yang rapat dan kuat.

Kualitas permukaan dituntut untuk bersih dan rata agar bidang kontak selama proses gesekan terjamin baik. Untuk itu tingkat kehalusan permukaan perlu diperhatikan. Dengan permukaan yang halus dan rata maka akan diperoleh bidang kontak yang baik. Bidang kontak yang baik akan

sangat mendukung pada keberhasilan proses penyambungan dengan *friction welding*.

C. Pembatasan Masalah

Karena keterbatasan waktu dana dan peralatan maka pada penelitian ini dibatasi pada masalah bagaimana proses penyambungan baja AISI 1040 dengan cara *friction welding*. Proses penyambungan dilakukan secara eksperimen dan mencari sambungan mana yang paling baik dengan mencatat parameter kecepatan putaran, tekanan. Selanjutnya dilihat bagaimana struktur mikro, kekuatan tarik dan kekerasan pada daerah sambungan.

D. Rumusan Masalah

Untuk memperjelas arah penelitian maka dapat dirumuskan permasalahannya sebagai berikut :

1. Bagaimana cara proses penyambungan baja AISI 1040 silinder pejal dengan *friction welding*?
2. Bagaimana struktur pada daerah sambungan yang disambung dengan *friction welding*?
3. Bagaimana kekuatan tarik dari sambungan *friction welding*?
4. Bagaimana kekerasan di daerah sambungan?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mempelajari proses penyambungan baja AISI 1040 silinder pejal dengan *friction welding*
2. Untuk mengetahui struktur pada daerah sambungan yang disambung dengan *friction welding*.
3. Untuk mengetahui kekuatan tarik dari sambungan *friction welding*.
4. Untuk mengetahui kekerasan di daerah sambungan.

F. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu tidak melakukan karakterisasi fasa dan komposisi unsur pada daerah sambungan. Disamping itu pada penelitian ini memiliki keterbatasan pada ketelitian pengukuran tekanan pada saat proses penyambungan. Demikian juga temperatur yang tercipta pada saat penyambungan tidak diukur.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Solid State Welding

Solid state welding merupakan proses penggabungan dua permukaan pada temperatur di bawah titik leleh material yang disambung dan tanpa pemberian bahan tambah atau logam pengisi. Prosesnya dapat menggunakan atau tidak menggunakan tekanan. Proses penyambungan dapat terjadi melalui proses deformasi, dan proses difusi atau gabungan deformasi dan difusi. Deformasi pada solid state welding diperlukan untuk menjamin kerapatan material yang disambung. Proses difusi terjadi pada dua permukaan kontak dan dipacu oleh adanya kenaikan temperatur.

Solid state welding menghasilkan kualitas sambungan yang baik. Untuk keperluan penyambungan dua logam yang berbeda tidak mungkin melakukan proses penyambungan dengan las fusi dimana penyambungan dengan mencairkan bahan dasar, karena tidak semua logam dapat menyatu dengan baik dalam keadaan cair. Untuk keperluan itu dapat dilakukan dengan proses brazing, namun sambungannya tidak kuat. Untuk memperoleh kekuatan sambungan yang baik pada logam yang berbeda maka dipilih penyambungan dengan *solid state welding*.

Selain itu *solid state welding* dipilih untuk menyambung material yang sejenis tetapi sulit disambung dengan las fusi. Sebagai contoh untuk baja yang memiliki kadar karbon tinggi bila dilas dengan proses pencairan maka

pada daerah sambungan rentan terjadi retakan selama pembekuan daerah sambungan. Untuk itu diperlukan proses penyambungan dengan *solid state welding*. Untuk pengelasan dengan bidang kontak yang cukup luas juga cocok dilakukan dengan *solid state welding*.

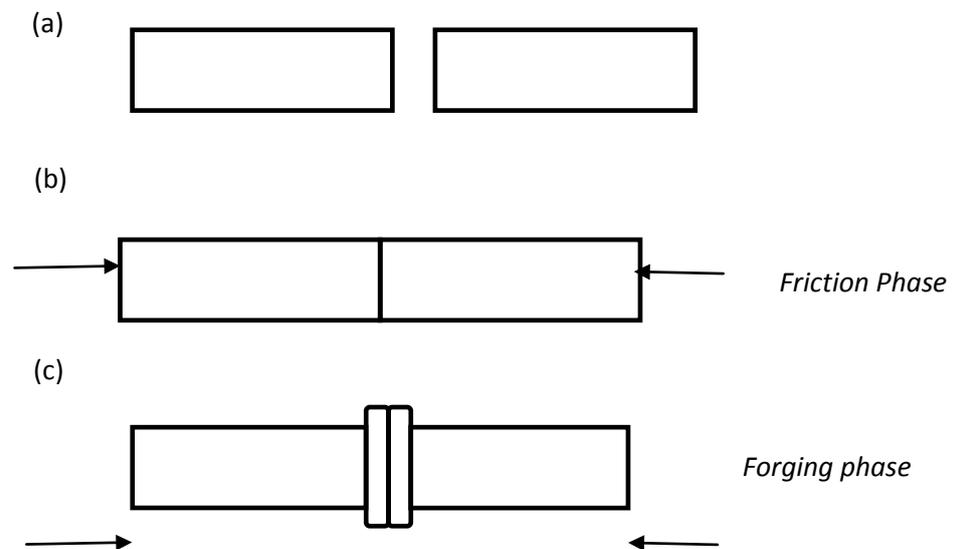
Pemilihan *solid state welding* dalam proses penyambungan biasanya dilihat dari sifat-sifat material yang disambung terutama melihat diagram fasanya. Jika dilihat dari diagram fasa material sulit disambung dalam keadaan cair maka jalan yang ditempuh adalah penyambungan dengan *solid state welding*. Karena dalam *solid state welding* penyambungan dalam keadaan padat tanpa pencairan, sehingga tidak ada proses pencampuran logam. Penyambungan terjadi karena proses difusi atom.

Ada beberapa metode penyambungan dengan *solid state welding*, di antaranya yaitu friction welding, yang memanfaatkan gesekan, *diffusion bonding* yang memanfaatkan difusi atom dan explosion welding yang memanfaatkan energi ledakan. Semua cara penyambungan tersebut dilakukan pada keadaan padat.

B. Friction Welding

Friction welding termasuk jenis pengelasan solid state welding dimana proses pengelasan dilakukan pada fasa padat. Panas pengelasan diperoleh dari konversi langsung energi mekhanik menjadi energi termal melalui gesekan. Benda tidak memerlukan sumber panas dari listrik atau pembakaran. Panas yang dihasilkan dari proses gesekan antar

interface akan menaikkan temperatur benda dalam arah aksial dengan jarak yang relatif sangat pendek. Penyambungan terjadi ketika permukaan interface mencapai temperatur dibawah temperatur cair. Pengelasan terjadi akibat pengaruh tekanan pada pencampuran logam plastis dan mekanisme difusi.



Gambar 2.1. Tahapan Proses *Friction Welding*, a). Tahap pemanasan Dan pemutaran, b) tahap pembangkitan panas akibat Gesekan, d). Tahap akhir penekanan lanjut. (kalpakjian 1995)

Penomona proses friction welding dari pembangkit panas melalui gesekan dan abrasi. Selanjutnya panas yang timbul disimpan dalam material yang disambung hingga menaikkan temperaturnya. Pada temperatur tertentu material berada pada sifat plastis sempurna dan adanya tekan akan mudah terdeformasi. Dengan adanya peristiwa difusi secara kimiawi maka akan terjadi proses penyambungan pada permukaan logam yang disambung.

Keberhasilan *friction welding* dipengaruhi oleh 5 faktor, yang berhubungan dengan sifat material dan kondisi kerja. Adapun kelima faktor tersebut yaitu ;

- Kecepatan relatif antar permukaan.
- Tekanan yang dikenakan.
- Temperatur yang terbentuk pada permukaan.
- Sifat bulk dari material.
- Kondisi permukaan dan kehadiran lapisan tipis pada permukaan.

Ketiga faktor yang pertama berhubungan dengan kondisi proses pelaksanaan *friction welding*. Sedangkan dua faktor yang terakhir tergantung dari sifat material logam yang disambung.

Selama proses *friction welding* timbulnya panas dipermukaan dikontrol oleh kecepatan relatif antar permukaan, tekanan yang dikenakan dan lamanya penekanan. Kondisi temperatur permukaan merupakan parameter yang kritis untuk menghasilkan sambungan yang baik. Dan hal tersebut tergantung dari kondisi proses dan material yang disambung. Sifat bulk material dan kondisi permukaan mempengaruhi karakteristik gaya gesek dan tekan dari material yang disambung.

Untuk mendapatkan hasil yang baik diperlukan dua persyaratan yaitu : 1) material yang disambung harus memiliki sifat mampu tempa (*forgeability*) yang baik. 2) mampu menimbulkan gesekan pada interface. Oleh karena itu material yang disambung tidak boleh yang memiliki sifat

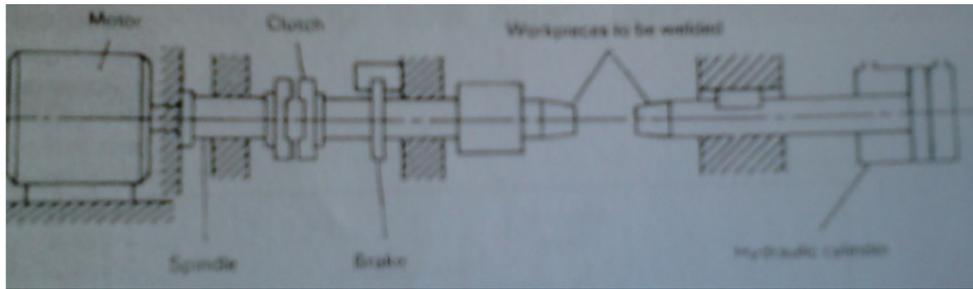
getas dan memiliki *dry lubrication* seperti besi tuang, keramik dan bahan karbida.

Kemudahan material untuk disambung menggunakan *friction welding* berkaitan dengan kecocokan pada sifat *interface*-nya. Jika kedua sifat material yang akan disambung cocok, panas akan didistribusikan secara seragam pada kedua bagian yang akan disambung. Karakteristik deformasi yang identik akan mempermudah proses penyambungan atau penyatuan *interface*. Hal ini akan menghasilkan lasan yang seragam dan hasil sifat lasanya baik. Untuk mekanisme penyambungan pada logam yang tidak sejenis lebih kompleks dan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang meliputi sifat fisis dan mekanis, energi permukaan, struktur kristal, kelarutan serta senyawa antar logam.

C. Teknik Friction Welding

Ada dua cara untuk melaksanakan proses *friction welding*, yaitu *direct drive welding* dan *inertia driving welding*. *Direct drive welding* sering disebut sebagai konvensional *friction welding*, menggunakan motor yang memiliki kecepatan konstan untuk energi masukannya. *Inertia drive welding* sering juga disebut dengan *flywheel friction welding* menggunakan energi simpanan *flywheel* sebagai energi masukan dalam proses penyambungan.

1. Direct-Drive Welding



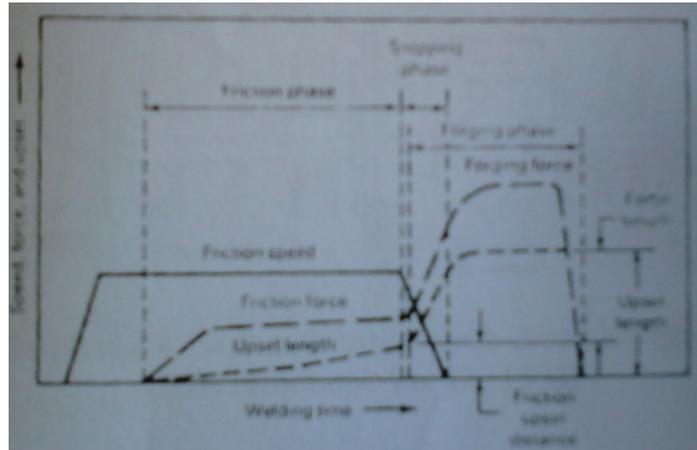
Gambar 2.22 Sistem Friction Welding dengan Cara Direct-Drive Welding

(ASM Handbook Vol 12, 1996)

Pada gambar 2.2 menunjukkan proses *friction welding* dengan *direct drive welding*. Peralatan di *assembling* dari mesin bubut yang dilengkapi dengan koping dan rem. Perlengkapan lain berupa penekan aksial yang dapat dikontrol, dan pencatat waktu selama proses friction. Pengoperasian proses *direct drive welding* dimulai dari tahap gesekan dimana panas dibangkitkan, tahap pemberhentian dimana putaran dihentikan dan tahap tempa dimana tekanan lanjut diberikan untuk permukaan sambungan. Sehubungan dengan keadaan selama proses *friction welding* dapat dilihat dari gambar 2.3. yang menunjukkan hubungan kecepatan putar, penekanan terhadap fungsi waktu. Waktu dimana proses *friction* harus berhenti merupakan faktor yang penting, karena memiliki efek pada temperatur dan saat penekanan lanjut.

Saat penekanan lanjut dilakukan seketika dimana tekanan tinggi dikenakan pada saat penyambungan. Jadi penekanan berlangsung pada saat putaran mulai berhenti. Biasanya dengan tekanan yang tinggi dapat secara

tidak langsung memberhentikan putaran. Pada gambar 2.3 menggambar proses penekanan lanjut pada saat putaran berhenti. Untuk itu perlu diperhitungkan waktu yang tepat dalam pemberhentian putaran dan pemberian tekanan lanjut.



Gambar 2.3. Grafik Tahapan Proses *Direct-Drive Welding*

(ASM Handbook Vol 12,1996)

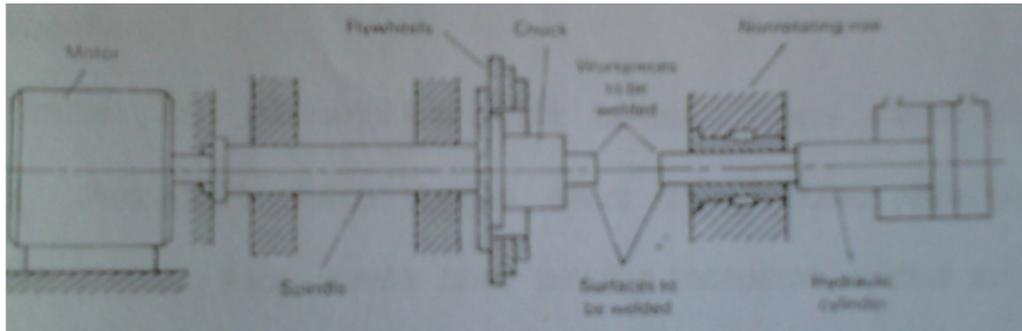
Kecepatan putaran merupakan variabel yang sensitive dalam menentukan lamanya waktu *friction* dan besarnya gaya axial penekanan. Untuk baja direkomendasikan menggunakan kecepatan putar antara 75 sampai 215m/menit. Umumnya putaran yang lebih tinggi berhubungan dengan heat input yang rendah dan digunakan untuk material yang sensitive terhadap panas seperti baja mampu dikeraskan.

Gaya *friction* umumnya digunakan untuk membantu kontak awal yang lebih baik. Untuk material baja karbon memiliki tekanan *friction* sekitar 70Mpa pada sekitar permukaan sambung untuk mendapatkan kualitas sambungan yang baik. Ketika putaran diberhentikan seketika itu pula tekan

lanjut diberikan untuk menyempurnakan proses penyambungan. Gaya penekanan lanjut untuk

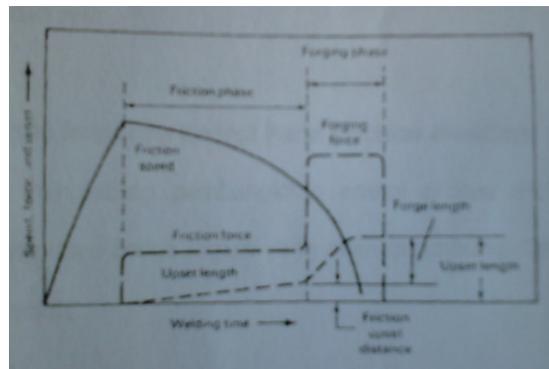
baja karbon sekitar 140 Mpa untuk menghasilkan sambungan yang baik.

2. Inertia Drive Welding.



Gambar 2.4. Skema Proses *Inertia-Drive Welding*

(ASM Handbook Vol 12, 1996)



Gambar 2.5. Grafik Tahapan Proses *Inertia-Drive welding*.

(ASM Handbook Vol 12, 1996)

Cara *friction welding* dengan *inertia drive welding* menggunakan mesin dimana pada spindle diberi *flywheel* sebagai penyimpan tenaga seperti terlihat pada gambar 2.4. *flywheel* pada proses ini sebagai pengontrol masukan panas pada daerah sambungan. Untuk itu momen *inersia flywheel*

sangat penting untuk diperhitungkan. Untuk itu *flywheel* dirancang agar dapat ditambah atau dikurangi massanya. Jumlah energi yang tersimpan dalam *flywheel* dikontrol oleh kecepatan. Tekanan aksial diberikan secara konstan selama proses. Dapat pula pada akhir proses friction tekanan lanjut diberikan.

Gambar 2.5. menunjukkan grafik tahapan proses *inertia drive welding*. Perbedaan utama dengan *direct drive welding* yaitu pada kecepatan *friction*. Pada *inertia drive welding* kecepatan *friction* secara kontinyu menurun hingga saat *friction* berlangsung. Sedangkan pada *direct drive welding* kecepatan *friction* konstan dan diberhentikan secara tiba-tiba oleh koping dan ram.

D. Perhitungan Masukan Energi Pada *Friction Welding*

Untuk menghitung pembangkitan energi proses *friction welding*, pemanasan *interface* kedua logam yang akan disambung didekati dengan persamaan berikut :

$$E = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Dimana :

E = energi Panas (J)

m = massa yang akan dipanaskan (kg)

c = panas spesifik material (J/Kg.K)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

Gaya gesek pada permukaan kontak dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$dF_{\text{normal}} = p \cdot dA = p \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr$$

$$dF_{\text{gesek}} = \mu \cdot P \cdot 2\pi \cdot r \cdot Dr.$$

$$dM_T = dF_{\text{gesek}} \cdot r = \mu \cdot p \cdot 2\pi \cdot r^2 \cdot dr$$

$$M_T = \int_0^{R_0} \mu \cdot p \cdot 2\pi \cdot r^2 \cdot dr$$

Sehingga diperoleh :

$$M_T = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot P \cdot 2\pi \cdot R_0^3$$

$$P = M_T \cdot n.$$

Dimana :

M_T = momen torsi yang timbul dipermukaan kontak (Nm)

R_0^3 = radius permukaan gesek (m)

P = daya (W)

P = tekanan (Pa)

N = putaran (rad/sec)

μ = koefisien gesek

dari perhitungan diatas maka dapat ditentukan radius dari benda yang akan disambung dengan rumus sebagai berikut :

$$R_0^3 = \sqrt{\frac{3MT}{2\mu\pi p}}$$

Shingga dari perhitungan tersebut kita dapat menentukan hubungan daya putaran dan diameter benda kerja yang akan disambung.

E. Kelebihan dan Keterbatasan *Friction welding*

Bila dibandingkan dengan proses penyambungan secara fusi dan *brazing*, *friction welding* kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihannya adalah sebagai berikut.

- Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi ke bagian luar.
- Tidak memerlukan logam pengisi, pelindung *flux* dan gas pelindung selama proses
- Tidak terdapat cacat akibat penomomena pencairan dan pembekuan.
- Dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda.
- Ongkos pengerjaan lebih ringan.

Namun *friction welding* memiliki keterbatasan yaitu ;

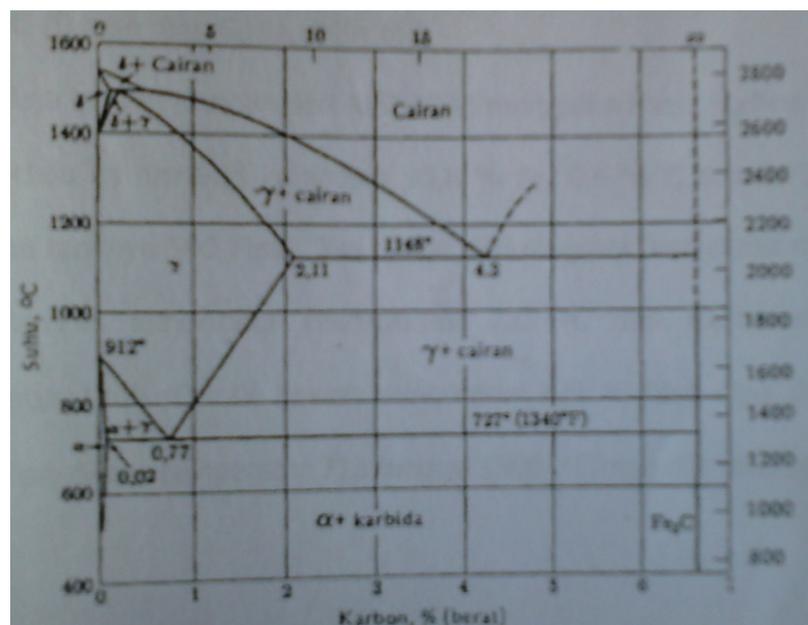
- Benda yang disambung harus simetris
- Proses umumnya terbatas pada permukaan plat dan bentuk batang bulat.
- Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu dideformasi secara plastis.

2. Baja Karbon

Baja karbon menurut kandungan karbonnya dapat diklasifikasikan menjadi :

- Baja karbon rendah, yaitu baja dengan kandungan karbon kurang dari 0,25 %.
- Baja karbon medium, dengan kandungan 0,25-0,60 % C.
- Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon 0,60- 1,40 % C.

Baja karbon memiliki sifat-sifat mekanis yang bervariasi menurut kelasnya. Baja karbon memiliki temperatur leleh sekitar 1538C dan konduktivitas listrik $0,6 \times 10^7 \Omega m^{-1}$. Baja karbon rendah relatif lunak dan lemah namun memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi. Struktur mikronya terdiri dari ferit dan pearlit. Disamping itu baja karbon rendah dengan kekuatan luluh 275 Mpa memiliki kekuatan tarik yang bervariasi antar 415-550 Mpa.



Gambar 2.6. Diagram Keseimbangan Besi Karbon. (Japrie, 1991 : 380)

Besi merupakan logam *allotropik*, artinya besi akan berada pada lebih dari bentuk kristal tergantung dari temperaturnya. Pada suhu kurang dari 912C (1674F) berupa besi alfa. Besi *gamma* pada suhu 1394C-1538C (2541F – 1538 F). Penambahan unsur karbon kebesi memberikan perubahan yang besar pada fasa-fasa yang ditunjukkan oleh diagram keseimbangan besi karbon.

Selain karbon pada baja terkandung juga unsur-unsur lain Si, Mn dan unsur pengotor lain seperti P,S dan sebagainya. Unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa sehingga diagram tersebut dapat digunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. (Surdia dan Saito, 1999:69).

Baja karbon dengan AISI 1040 merupakan baja karbon medium. Baja karbon ini memiliki komposisi 96,8% Fe, 0,4% C, dan 0,75% Mn. Kekuatan tariknya 590 Mpa. Jika dilihat dari diagram fasa diatas maka baja AISI memiliki temperatur rekristalisasi 723 C fasa alpan dan pearlit sedangkan diatas temperatur 723 hingga 1300C memiliki fasa gamma.

BAB III

METODA PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimen. Dalam hal ini penelitian melakukan proses penyambungan material baja karbon AISI 1040 dengan metode friction Welding. Alat bantu untuk pelaksanaan *friction welding* memakai mesin bubut MARO. Dalam proses penyambungan diperhatikan putaran mesin dan gaya tekan selama (*friction welding*). Eksperimen *friction welding* dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama penyambungan *friction welding* dengan variasi putaran. Parameter lain seperti luas penampang dan gaya tekan tetap. Tahap kedua melakukan *friction welding* dengan variasi gaya tekan sedang parameter luas penampang dan putaran tetap.

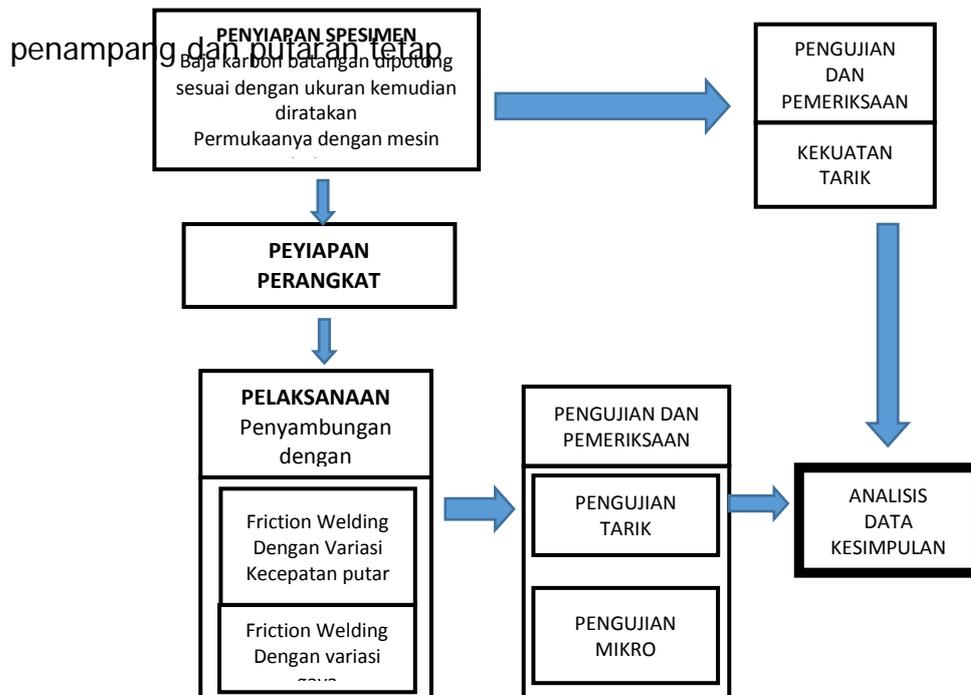


Diagram 3.1. Diagram Alir Proses Penelitian

B. Sampel Penelitian

Penelitian ini menitik beratkan pada analisa proses penyampungan baja batangan bulat pejal dengan metode friction welding. Adapun material yang menjadi sampel dalam penelitian ini adalah logam baja karbon AISI 1040.

Ukuran spesimen adalah sebagai berikut:



C. Alat dan Perlengkapan

- a. Seperangkat mesin bubut
- b. Seperangkat Bandul Beban
- c. Kunci Momen
- d. Seperangkat Alat Polish
- e. Alat Uji Kekerasan
- f. Alat Uji Tarik
- g. Microscop Optik

D. Prosedur Eksperimen

- a. Persiapan Material
- b. Pengujian awal (kekuatan tarik, metallografi)

- c. Melakukan persiapan dan pengesetan mesin bubut buntut proses *friction welding*
- d. Melakukan proses penyambungan secara *friction welding* dengan mencatat parameter dara yang diperlukan
- e. Melakukan pengujian tarik dengan *Universal Testing Machine*.
- f. Melakukan pengujian kekerasan
- g. Melakukan pemeriksaan struktur makro dan struktur mikro
- h. Menganalisis hasil pengujian dan pemeriksaan
- i. Menyusun laporan hasil penelitian

E. Pelaksanaan Proses *Friction Welding*

Adapun tahapan langkah-langkah dalam melakukan proses *friction welding* adalah sebagai berikut :

1. Memotong baja lunak dengan ukuran diameter 12,7 mmx70 mm.
2. Meratakan permukaan yang akan disambung dengan mesin bubut.
3. Menyeting mesin bubut untuk pelaksanaan *friction welding*
4. Memasang benda kerja pada kedua cekam.
5. Menghidupkan mesin sehingga benda kerja berputar dan lain diam
6. Memberikan penekanan aksial pada benda kerja dengan mekanisme bandul
7. Melakukan pengereman pada saat yang tepat dilanjutkan memberi tekanan lanjut.
8. Melepas benda yang disambung dari kedua cekam.

F. Pemeriksaan Struktur Mikro

Pengamatan lapisan dan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan ini dititik beratkan pada pengamatan daerah antara dua permukaan yang disambung. Dari hasil pengamatan dianalisa struktur mikro yang terjadi pada sambungan. Dari hasil pengamatan dibuat gambar struktur mikro dalam bentuk gambar foto.

G. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk melihat nilai kekerasan pada logam induk dan pada daerah sambungan. Pengujian ini menggunakan uji keras Mikro *Hardness Vickers*.

H. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilaksanakan untuk mengetahui kekuatan sambungan friction welding. Sebagai pembandingan dilakukan juga pengujian tarik terhadap logam awal tanpa sambungan. Pengujian tarik menggunakan mesin uji *Universal Testing Machine* yang berkapasitas 10 Ton. Spesimen batang uji menurut standar ASTM.

I. Analisi Data

Data dalam penelitian ini dianalisis berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian yang telah dilakukan kemudian didiskripsikan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Penyambungan Baja 1040 dengan *Friction Welding*

Proses penyambungan logam secara *friction welding* merupakan proses penyambungan dalam keadaan padat yang dikenal dengan *solid state welding*. Dengan demikian dalam penyambungan tidak terjadi proses pencairan logam. Dengan demikian dalam penyambungan terjadi karena adanya proses deformasi dan difusi. Pada permukaan yang akan disambung terlebih dahulu dibangkitkan atau diciptakan energi panas dengan jalan diberi gaya gesek. Panas yang timbul mampu menurunkan kekuatan luluh material sehingga dengan adanya tekanan, permukaan kontak sama-sama terdeformasi. Selanjutnya dua permukaan yang memiliki bidang kontak yang sangat rapat akibat adanya panas, atom akan melakukan proses difusi, dimana atom yang berpindah tergantung dari besarnya energi aktivitas yang dibangkitkan oleh energi panas dan lamanya waktu yang tersedia.

Secara garis besar ada tiga tahapan dalam proses *friction welding* yaitu ;

- Tahapan pembangkitan energi panas hingga temperatur material meningkat
- Tahap deformasi dengan penambahan penekanan aksial
- Tahap penyatuan dan pengikatan permukaan secara deformasi dan difusi

Tahap-tahap diatas sebenarnya berlangsung secara berkelanjutan tidak dipisah-pisahkan, karena efek penurunan temperatur sangat berpengaruh pada proses penyambungan. Sehingga dalam prosesnya semua tahap tersebut berlangsung secara singkat berkelanjutan.

Dalam proses penelitian ini pelaksanaan *friction welding* dilakukan dengan cara *direct-drive welding*, dimana motong penggerak berputar dengan kecepatan konstan dan pada saat mendekati akhir proses putaran dihentikan dengan tiba-tiba dengan menggunakan rem, kemudian diberi penekanan lanjut. Perangkat yang digunakan dalam proses *friction welding* menggunakan mesin bubut MARO yang diberi perlengkapan penekanan pada tail stock nya. Untuk melihat beban penekanan dipasang kunci momen pada penggerak poros senter. Pencekaman batang yang bergerak, batang yang akan disambung dilakukan pada kepala tetap dengan cekam rahang tiga, sedangkan pada bagian batang yang satu dipasang tetap pada cekam bor yang dipasang pada tail stock. Adapun data teknis proses *friction* adalah sebagai berikut.

- Daya mesin bubut $P = 5\text{PK}$
- Putaran $n = 1000\text{ rpm}$
- Penekanan friction $p_f = 70\text{ Mpa}$
- Penekanan lanjut $p_a = 140\text{ Mpa}$
- Koefisien gesek $\mu = 0,8$ (dalam kondisi padat)

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penyambungan adalah sebagai berikut ;

1. Memotong AISI 1040 dengan ukuran diameter diantar 12,7 mm x 70 mm
2. Meratakan permukaan yang akan disambung dengan mesin bubut.
3. Menyeting mesin bubut untuk pelaksanaan *friction welding*.
4. Memasang benda kerja pada kedua cekam.
5. Menghidupkan mesin sehingga benda kerja berputar dan lain diam.
6. Memberikan penekan aksial pada benda kerja dengan mekanisme beban torsi.
7. Melakukan pengereman pada saat yang tepat dilanjutkan memberi tekan lanjut.
8. Melepas benda yang disambung dari kedua cekam.

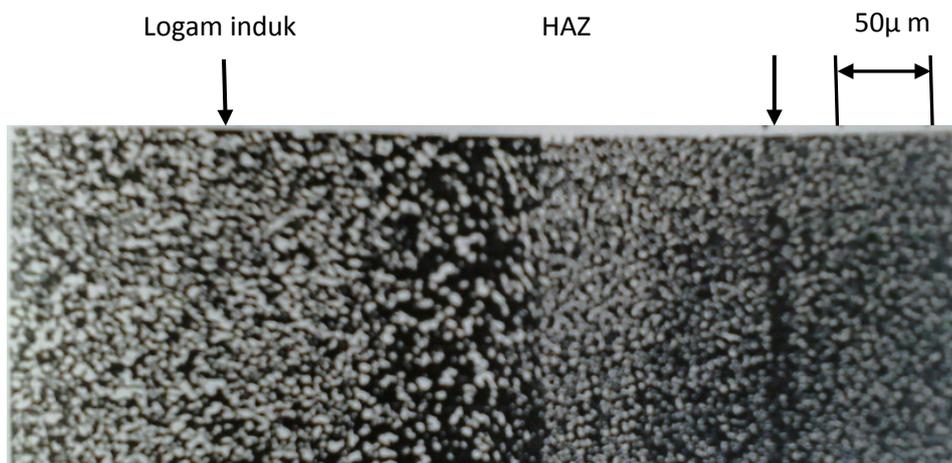
Dari hasil percobaan dapat melakukan proses penyambungan baja AISI 1040 dengan menggunakan proses *friction welding* dengan alat bantu mesin bubut MARO. Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam percobaan terdapat dua kriteria hasil, yaitu hasil yang baik dan hasil yang tidak baik. Hal ini dilihat dari sambungan yang terjadi. Hasil proses *friction welding* dikatakan baik bila pada sambungan rapat dengan kontak yang sempurna, batang hasil sambungan lurus segaris, dan hasilnya kekuatan menyamai kekuatan logam induk. Hasil yang tidak baik bila pada sambungan tidak tersambung atau terdapat cacat dan kekuatannya di bawah kekuatan logam induk.

Ada empat macam bentuk kegagalan hasil sambungan dengan *friction welding* yang telah dilakukan. Adapun keempat-empat macam kegagalan tersebut adalah;

- Hasil sambungan lepas pada saat pendinginan. Hal ini dikarenakan temperatur penyambungan belum mencapai saat yang tepat, atau dalam pemberhentian terlalu lama dan penekanan lanjut kurang.
- Hasil sambungan tidak segaris, dimana batang satu dengan yang lainnya tidak tersambung pada garis senter yang sama, tetapi terjadi pada garis yang eksentris. Sehingga kekuatan sambungan lemah tidak maksimal karena bidang kontak tidak semuanya menyatu.
- Hasil sambungan tidak penuh, yang diakibatkan saat mendekati akhir proses penekanan terlalu berlebihan sehingga permukaan logam yang sudah luluh ikut terbawa putaran dan terlepas. Sehingga penyambungan hanya terjadi pada bagian tengah sedang bagian pinggir terkelupas. Hal ini dapat disebabkan proses penghentian dan penekanan lanjut yang tidak tepat.
- Hasil sambungan pada daerah *interface* terdapat inklusi berupa oksida logam besi yang menempel dipermukaan dan tidak dapat terdeformasi keluar. Hal ini dikarenakan pada saat pemutaran yang terlalu lama dan menekankan yang tidak konstan. Sehingga muka kontak tidak sempurna dan berpengaruh pada kekuatan

B. Struktur Mikro Sambungan

Pada gambar 4.1 merupakan struktur mikro pada daerah sambungan. Pada gambar tersebut lebih jelas terlihat perbedaan struktur pada daerah weld line dengan logam induk. Pada logam induk terlihat struktur kristal atau butir yang bentuknya equiaksial kasar. Pada struktur ini kelihatan dengan jelas butirannya. Sedangkan struktur pada weld line terlihat struktur equiaksial yang lebih halus. Jika diamati lebih lanjut pada daerah heat affected Zone (HAZ) memiliki besar butir diantar logam induk dan weld line dari kenyataan tersebut maka dapat dilihat terdapat perbedaan besar dan susunan butir pada daerah weld line, HAZ dan logam induk. Hal ini dapat dimengerti karena adanya pengaruh panas dan perambatan panas yang terjadi pada interface dan besarnya deformasi yang terjadi pada daerah tersebut.



Gambar 4.1. Struktur Mikro Daerah Sambungan Friction Welding Baja AISI

1040 (160 X)

Perbedaan besar butir pada daerah weld line, HAZ dan logam induk dapat kita telusur dari peristiwa yang terjadi pada proses friction welding. Panas timbul dari interface merambat ke batang secara konduksi. Sumber energi panas ada pada interface dan batang terpengaruh oleh panas yang merambat dari interface. Semakin jauh dari interface temperatur semakin menurun. Panas yang timbul menyebabkan butir pada material membesar dan tegangan luluh menurun. Namun karena adanya proses penekanan maka beda daerah interface terjadi deformasi sehingga daerah yang terpengaruh panas semakin sempit. Akibatnya daerah weld line sangat sempit yang selanjutnya menyatu dengan HAZ dan logam induk. Pada logam induk besar butir tidak berubah seperti besar butir mula. Pada daerah weld line sebenarnya menyatu dengan HAZ dimana panas paling tinggi dan proses pendinginan paling cepat. Akibatnya besar butir lebih halus ditambah lagi adanya pengaruh penekanan lanjut. Pada HAZ karena temperatur yang terbentuk lebih rendah sehingga laju pendinginan lebih lambat sehingga besar butir lebih besar. Sedangkan pada logam induk yang panasnya belum mencapai temperaturnya rendah tidak mengubah besar butir pada material.

Bila diamati lagi arah susunan kristal butir, maka terlihat pola aliran material selama proses. Susunan butir kristal menunjukkan pola aliran logam yang mengalami puntiran. Pola ini terbentuk karena adanya pengaruh pemutaran pada batang sehingga pada permukaan batang mengalami puntiran, dan terjadi deformasi selama proses yang merupakan gabungan tekanan dan pemuntiran.

C. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada hasil proses *friction welding* yang baik. Dari hasil pengujian dengan menggunakan mesin uji tarik *Universal Testing Machine* dengan kapasitas 10 Ton diperoleh data pengujian seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 : Hasil Pengujian Tarik

Mesin uji	Universal Testing Machine 10T	
Temperatur	24 ^o C	
Standar acuan	ASTM E8-78	
	Material Induk	Sambungan friction Welding
Diameter	6.35 mm	6.4 mm
Luas Penampang	31.65 mm ²	32.15
Gage Length	25.0	25.0 mm
Yield Strength	54.3 kgf/mm ²	56.22 kgf/mm ²
Tensile Strength	59.3 kgf/mm ²	57.4 kgf/mm ²
Elongation	17,2%	11,0 %
Lokasi Patah		Lasan

Dari uji tarik didapatkan bahwa kekuatan luluh sambungan lasan *friction welding* lebih tinggi dibanding kekuatan luluh material. Hal ini disebabkan oleh adanya penghalusan butir akibat proses pemanasan cepat yang terjadi pada butir yang sebelumnya terdeformasi (*cold-rolled*). Butir yang halus menyebabkan gerakan dislokasikan menjadi lebih sulit sehingga kekuatanyameningkat seperti diperlihatkan dalam persamaan *hall-petch* :

$$\sigma_o = \sigma_i + k.D^{-1/2}$$

Dimana :

σ_o = yield stress

σ_i = friction stress yang menyatakan hambatan keseluruhan dari latis kristal terhadap gerakan dislokasi

K = locking parameter yang menyatakan kontribusi pengerasan relatif terhadap batas butir

D = diameter butir

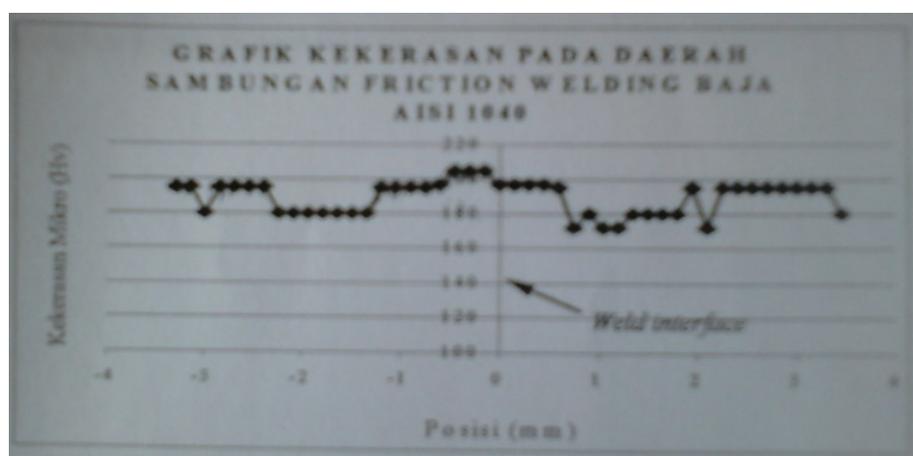
Kekuatan tarik lasan friction welding lebih kecil dibanding kekuatan material karena adanya *weld discontinuities* yaitu bagian-bagian dimana penyambungan tidak sempurna walaupun telah ada proses frictioning yang relatif menghilangkan efek kekasaran permukaan faying surface maupun adanya kotoran-kotoran.

Adanya ketidak kontinyuan pada *interface* sambungan menyebabkan kekuatan tarik menurun, karena efisiensi sambungan yang lebih rendah. Ketidak kontinyuan ini diakibatkan tidak sempurnanya proses pengabrasian permukaan atau pengelupasan *interface* yang membentuk lapisan oksida. Walaupun proses penekanan diberikan selama proses *friction* namun masih ada tersisa oksida bagian tengah yang tidak terkelupas. Hal ini dapat dipahami karena pada bagian tengah kecepatan gerak relatif antar interface kecil bahkan pada daerah center line mendekati nol. Sehingga

untuk mendeformasi hanya tergantung pada penekanan aksial. Kejadian tersebut dapat juga dikarenakan penghentian gerakan yang kurang sempurna. Pada akhir proses batang masih bergerak sehingga merusak sambungan yang terbantu selama proses friction.

D. Hasil Pengujian Kekerasan

Grafik uji kekerasan (gbr.4.2) menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi terletak disekitar sambungan (*weld line*). Hal ini disebabkan oleh adanya pemanasan sekaligus kekerasan lebih tinggi dibandingkan logam induk. Daerah yang hanya mengalami pemanasan butirnya akan membesar sehingga kekerasannya berkurang.



Gambar 4.2. Grafik Kekerasan Pada Daerah Sambungan

Jika kita lihat kembali struktur mikro pada daerah sambungan maka kita dapat melihat hubungan struktur mikro dengan kekerasan di daerah sambungan. Pada *weld line* memiliki butir yang paling halus, sehingga

memiliki kekerasan yang paling tinggi. Hal ini sejalan dengan teori dimana kekerasan sangat dipengaruhi oleh besar butir dari material. Untuk material yang sama bila ukuran butirnya berbeda maka kekerasan juga berbeda. Kekerasan akan meningkat dengan semakin kecilnya batas butir. Menurut teori batas butir merupakan bagian yang menghambat gerakan dislokasi dari suatu material. Dengan semakin kecil butir maka semakin banyak batas butir yang tercipta pada material tersebut. Artinya semakin banyak pula penghalang atau penghambat gerakan dislokasi. Jika gerakan dislokasi terhambat maka material sulit dideformasi. Sehubungan dengan nilai kekerasan yang merupakan ketahanan suatu material terhadap deformasi tetap, maka semakin halus butir pada suatu material dia akan memiliki ketahanan terhadap deformasi tetap. Dengan kata lain semakin halus butir maka nilai kekerasannya semakin tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan data dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses penyambungan baja AISI 1040 dapat dilakukan dengan proses *friction welding* cara *direct drive welding*. Perangkat yang digunakan yaitu mesin bubut Maro dengan daya $P = 5\text{PK}$, Putaran $n = 1000\text{rpm}$, Tekanan *friction* $p_f = 70\text{ Mpa}$, Tekanan lanjut $P_a = 140\text{ Mpa}$, dan koefisien gesek $\mu = 0,8$ (dalam kondisi padat)
2. Dari hasil pemeriksaan struktur mikro di daerah sambungan terlihat bila besar butir pada daerah weld line dan logam induk berbeda. Pada weld line ukuran butir lebih kecil.
3. Dari pengujian tarik diperoleh kekuatan sambungan baja AISI 1040 yang disambungkan dengan *friction welding* yaitu kekuatan luluh $56,22\text{ kgf/mm}^2$, kekuatan tarik maksimal $57,4\text{ kgf/mm}^2$.
4. Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh adanya perbedaan kekerasan pada daerah *weld line* dengan daerah logam induk. Daerah *weld line* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

B. SARAN

Bedasarkan pengamatan selama proses penelitian maka dapat kami sarankan sebagai berikut.

1. Melakukan penelitian proses *friction welding* dengan melihat variasi putaran dan tekanan aksial.
2. Menggunakan alat pengukur tekanan yang lebih teliti.
3. Melakukan *friction welding* pada jenis logam lain.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook. 1995. *Mechanical Testing*, Volume 8
- ASM Handbook.1996. *Surface Engineering*, Volume 5.
- ASM Handbook.1996. *Welding and Brazing*, Volume 12
- Budinski. Kenneth , Michael, 1999. *Engineering Materials*, Prentice-Hall International.London.
- Callister ,W.D., *Material Science dan Engineering*, John Wiley & Sons, Inc. Canada
- Fukumoto ,S., Tsubakino,H. 2000. Amorphization By Friction Welding Between 5052 Alumunium Alloy and 304 Stainless Steel, Scripta material, Pergamon.
- Inkson, B.J., Threadgill,PL.1998. Friction Welding of FeA140 Grade 3 ODS alloy, *Material Sciennce and Engineering*, Elsevier.
- Kalpakjians.1995.*Manufacturing Engineering and Technology*, Addison Wesley Publishing Company.
- Porter,D,A, Easterling,K.E.,1981. Phase Tranformations in Metals and Alloys., VNR International London.
- Voort,G.F.V, 1984.*Metallography Principle and Practice*, Mc Graw-Hill.