



**PENGARUH WAKTU TEMPA DAN TEKANAN TEMPA
TERHADAP SIFAT MEKANIK AISI 1045
PADA PROSES *FRICTION WELDING***

SKRIPSI

Oleh :

Khairul Anam

NIM 141910101109

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PENGARUH WAKTU TEMPA DAN TEKANAN TEMPA
TERHADAP SIFAT MEKANIK AISI 1045
PADA PROSES *FRICTION WELDING***

SKRIPSI

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

Oleh :

Khairul Anam

NIM 141910101109

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



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah segala puja dan puji serta syukurku hanya kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam. Dengan rahmat dan karunianya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Tidak lupa pula shalawat serta salam akan selalu tercurahkan kepada junjungan nabi besar Muhammad Shallallahu' Alaihi Wasallam. Dengan kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ibu dan Ayah tersayang yang tiada lelah mendidik serta menasehatiku dalam kebaikan. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta karunia-Nya kepada kalian semua, sehingga apa yang telah kalian lakukan untukku mendapatkan amal kebaikan, baik di dunia maupun akhirat.
2. Staf pengajar serta semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Hary sutjahjono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T, selaku dosen penguji I, dan Bapak Dr. R. Koekoeh K.W.,S.T., M.Eng. selaku dosen penguji II.
3. Semua guru yang pernah mendidikku mulai dari Taman Kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi.
4. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Seluruh teman serta sahabatku Teknik Mesin yang telah meluangkan banyak waktunya bersamaku baik susah maupun senang.

MOTO

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah”

(HR.Turmudzi)

“Barang siapa yang keluar dalam menuntut ilmu maka ia adalah seperti berperang di jalan Allah hinggang pulang”

(H.R.Tirmidzi)

“Dan orang mukmin yang paling sempurna imannya adalah mereka yang paling baik akhlaknya”

(HR.Ahmad)

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu, dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah Maha mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui”

(Q.S. Al-Baqarah: 216)

“Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak menggunakannya untuk memotong, maka ia akan memotongmu (menggilasmu)”

(H.R. Muslim)

“Bukankah orang yang paling baik diantara kamu orang yang meninggalkan kepentingan dunia untuk mengejar akhirat atau meninggalkan akhirat untuk mengejar dunia sehingga dapat memadukan keduanya. Sesungguhnya kehidupan dunia mengantarkan kamu menuju kehidupan akhirat, dan janganlah kamu memberatkan sesama manusia”

(H.R Muslim)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Khairul Anam

NIM: 141910101109

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul “ Pengaruh Waktu Tempa dan Tekanan Tempa Terhadap Sifat Mekanik AISI 1045 pada Proses Friction Welding ”adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 29 September 2017

Khairul Anam

141910101109

SKRIPSI

**PENGARUH WAKTU TEMPA DAN TEKANAN TEMPA
TERHADAP SIFAT MEKANAIK AISI 1045
PADA PROSES *FRICTION WELDING***

Oleh

Khairul Anam

NIM 141910101109

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama: Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota: Hary sutjahjono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Waktu Tempa dan Tekanan Tempa Terhadap Sifat Mekanik AISI 1045 pada Proses *Friction Welding*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 29 September 2017

Tempat: Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji

Ketua,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP. 19670123 199702 1 001

Sekretaris,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP. 19681205 199702 1 002

Anggota I,

Aris Zainul Muttaqin, S.T.,M.T.
NIP. 196812071995121002

Anggota II,

Dr. R. Koekoeh K.W.,S.T., M.Eng.
NIP. 196707081994121001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Pengaruh Tekanan Tempa dan Waktu Tempa Terhadap Sifat Mekanik AISI 1045 pada proses *Friction Welding*; Khairul Anam., 141910101109; 2017; 73 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Friction welding termasuk jenis pengelasan *solid state welding*, dimana proses pengelasan dilakukan pada fasa padat. Panas pengelasan diperoleh dari konversi langsung energi mekanik menjadi energi termal melalui gesekan. Panas yang dihasilkan dari proses gesekan antara *interface* akan menaikkan temperatur benda dalam arah aksial dengan jarak yang relatif sangat pendek. Penyambungan terjadi ketika permukaan bahan mencapai temperatur dibawah temperatur cair sehingga temperatur tersebut mampu melumerkan permukaan bahan sehingga terjadilah proses penyambungan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah AISI 1045 dengan parameter waktu tempa 40, 80, 120 detik dan tekanan tempa sebesar 50, 55, 60 MPa. Aplikasi pada penelitian ini yaitu pada klep mesin.

Dalam penelitian ini diperoleh hasil rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 690,56 N/mm² pada parameter waktu tempa 120 detik dengan tekanan tempa 60 MPa. Sedangkan untuk hasil kekuatan tarik terendah terdapat pada parameter waktu tempa 40 detik dengan tekanan tempa 50 MPa dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 501,93 N/mm². Untuk hasil kekerasan nilai rata-rata tertinggi diperoleh 233,33 BHN pada parameter waktu tempa 120 detik dengan tekanan tempa 60 MPa, sedangkan nilai rata-rata kekerasan terendah diperoleh 209,63 BHN dengan tekanan tempa 50 MPa. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu tempa yang diberikan maka semakin meningkat pula nilai dari uji tarik maupun nilai kekerasannya. Begitu juga dengan tekanan tempa, dimana tekanan tempa berpengaruh terhadap kekuatan tarik serta kekerasan sambungan hasil *friction welding*, dimana semakin besarnya tekanan tempa yang diberikan maka akan membuat ikatan pada *interface* semakin baik.

Kata kunci : AISI 1045, *friction welding*, waktu tempa, tekanan tempa

SUMMARY

The influence of Forging Pressure and Wrought Time on Mechanical Properties of AISI 1045 in the process of Friction Welding; Khairul Anam., 141910101109; 2017; 73 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Friction welding is a type of solid state welding, where the welding process is performed on solid phase. Heat welding is obtained from the direct conversion of mechanical energy into thermal energy through friction. Heat generated from the friction process between interfaces will increase the temperature of the object in the axial direction with a relatively very short distance. Connection occurs when the surface of the material reaches a temperature below liquid temperature so that the temperature is able to melt the surface of the material so that there is a connection process. The materials used in this study were AISI 1045 with forging time parameters of 40, 80, 120 seconds and forging pressure of 50, 55, 60 MPa. Application in this research is on the engine valve.

In this research, the highest average tensile strength of 690,56 N / mm² was achieved in the forging time parameter of 120 seconds with the forging pressure of 60 MPa. While for the lowest tensile strength results are at 40 seconds forging time parameter with forging pressure of 50 MPa with an average value of tensile strength of 501.93 N / mm². For the result of hardness the highest average value obtained 233.33 BHN on forging time of 120 second with forging pressure 60 MPa, whereas the lowest hardness average value obtained 209,63 BHN with forging pressure of 50 MPa. From the results of this study can be concluded that the longer time of forging is given, so the value of tensile test and also the value of hardness will greater. Likewise with the forging pressure, where the forging pressure is affect of the tensile strength and hardness of connection result friction welding, where the greater forging pressure will make the bond on the interface is good.

Keywords: AISI 1045, friction welding, time forging, pressure forging

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pengaruh Waktu Tempa dan Tekanan Tempa terhadap Sifat Mekanik AISI 1045 pada Proses Friction Welding*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua serta junjungan nabi besar Muhammad Shallallahu’ Alaihi Wasallam yang telah membawa kita pada kebenaran serta kehidupan yang penuh berkah dan rahmat.
2. Bapak Asmawi dan ibuk Sugiati yang selalu memberikan kasih sayang, bimbingan, pengorbanan yang tulus serta do’a yang selalu dipanjatkan agar anak-anaknya menjadi sholeh-sholehah serta sukses dunia dan akhirat.
3. Untuk sahabat dan teman-teman yang selalu memberikan do’a, semangat, serta menghibur dikala kesedihan datang.
4. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, dan Bapak Dr. R. Koekoeh K.W., S.T., M.Eng., selaku dosen penguji II yang memberikan kritik dan saran untuk kesempurnaan penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran selama di bangku perkuliahan.

7. *Friction welding* team (Ulil, Riko, Budi, Deni, dan kholid) yang telah menjadi teman senasib seperjuangan dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.

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

Jember, 25 September 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan dan Manfaat	4
1.3.1 Tujuan	4
1.3.2 Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Hipotesa	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6

2.1 Pengelasan	6
2.1.1 <i>Friction Welding</i>	7
2.1.1 <i>Stir Friction Welding</i>	11
2.1.2 <i>Linier Friction Welding</i>	11
2.2 Baja	14
2.2.1 Baja AISI 1045.....	17
2.2.2 Struktur Baja AISI 1045.....	17
2.2.3 Klasifikasi baja AISI 1045	18
2.3 Pengujian Tarik	19
2.3.1 Perilaku Mekanik Material	20
2.3.2 Mode Perpatahan Material	26
2.4 Pengujian Kekerasan	27
2.4.1 Metode Indentasi	28
2.4.2 Metode <i>Brinell</i>	29
2.5 Aplikasi <i>Friction Welding</i>	30
BAB 3. METODE PENELITIAN	32
3.1 Metode Penelitian	32
3.2 Tempat dan Waktu	32
3.3 Alat dan Bahan	32
3.3.1 Bahan.. ..	32
3.3.2 Alat.....	33
3.4 Variabel Penelitian	33
3.4.1 Variabel Bebas	33
3.4.2 Variabel Terikat.....	33
3.4.3 Variabel Kontrol.....	34

3.5 Proses Pengelasan	34
3.6 Dimensi Benda Kerja	35
3.7 Proses Pengujian	35
3.7.1 Pengujian Tarik	36
3.7.2 Uji Kekerasan	37
3.8 Metode Analisis	38
3.9 Diagram Alir Penelitian	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Data Hasil Uji Tarik	43
4.2 Analisa dan pembahasan hasil uji tarik	43
4.2.1 Analisa dan pembahasan hasil pengujian tarik.....	43
4.2.2 Pembahasan Hasil Uji Tarik	45
4.2 Hasil Uji Kekerasan	47
4.3 Hasil Dan Pembahasan Uji Kekerasan	49
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
DAFTAR LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja AISI 1045.....	18
Tabel 2.2 Komposisi (% berat) baja AISI 1045.....	19
Tabel 2.3 Sifat – sifat mekanik baja AISI 1045.....	19
Tabel 2.4 Aplikasi <i>friction welding</i>	30
Tabel 3.1 Parameter pengujian Tarik.....	35
Tabel 3.2 Parameter uji kekerasan.....	36
Tabel 3.3 Hasil dan rata-rata uji tarik.....	37
Tabel 3.4 Perencanaan Uji Kekerasan.....	38
Tabel 3.5 Tabel Anova.....	40
Tabel 4.1 Hasil uji tarik.....	43
Tabel 4.2 <i>Analisis Of Varian</i> untuk kekuatan tarik.....	44
Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan.....	48
Tabel 4.4 Hasil rata-rata pengujian kekerasan.....	49
Tabel 4.5 Hasil varian pengujian kekerasan.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi pengelasan.....	6
Gambar 2.2 proses <i>friction welding</i>	8
Gambar 2.3 <i>Stir friction welding</i>	11
Gambar 2.4 <i>Linier Friction Welding</i>	12
Gambar 2.5 Skema <i>Direct-drive welding</i>	13
Gambar 2.6 Hubungan antara parameter proses pengelasan <i>Direct-drive welding</i> ..	14
Gambar 2.7 Spesimen uji tarik.....	20
Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat baja ulet.....	21
Gambar 2.9 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat dari bahan getas.	22
Gambar 2.10 Perbandingan antara kurva tegangan-regangan rekayasa dan sesungguhnya dari baja karbon rendah (<i>mild steel</i>).....	26
Gambar 2.11 Ilustrasi penampang samping bentuk perpatahan benda uji tarik sesuai dengan tingkat keuletan/kegetasan.....	26
Gambar 2.12 Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada besi cor, tembaga dan baja.	28
Gambar 2.13 Skematis prinsip indentasi dengan metode <i>Brinell</i>	29
Gambar 2.14 Hasil indentasi <i>Brinell</i> berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm.	30
Gambar 3.1 Skema alat <i>Friction Welding</i>	35
Gambar 3.2 Spesimen.....	35
Gambar 3.3 Daerah pengujian kekerasan.....	37
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian.....	42
Gambar 4.1 Grafik hubungan kekuatan tarik terhadap waktu tempa	45
Gambar 4.2 Grafik hubungan kekuatan tarik terhadap tekanan tempa	46
Gambar 4.3 Grafik hubungan kekerasan terhadap waktu tempa pada daerah Zud.....	51

Gambar 4.4 Grafik hubungan kekerasan terhadap tekanan tempa pada daerah Zud.....	52
Gambar 4.5 Grafik hubungan kekerasan terhadap waktu tempa pada daerah Zpd.....	53
Gambar 4.6 Grafik hubungan kekerasan terhadap tekanan tempa pada daerah Zpd.....	53
Gambar 4.7 Grafik hubungan kekerasan terhadap waktu tempa pada daerah Zpl	54
Gambar 4.8 hubungan kekerasan terhadap tekanan tempa pada daerah Zpl	55
Gambar 4.9 Grafik hubungan kekerasan terhadap waktu pada daerah Zpd2	56
Gambar 4.10 Grafik hubungan kekerasan terhadap tekanan tempa pada daerah Zpd2.....	56
Gambar 4.11 Grafik hubungan kekerasan terhadap waktu tempa pada daerah Zud2.....	57
Gambar 4.12 Grafik hubungan kekerasan terhadap tekanan tempa pada daerah Zud2.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. F-tabel untuk level tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).....	64
LAMPIRAN B. Tabel penolong ANAVA dua jalur.....	65
LAMPIRAN C. Perhitungan ANAVA.....	65
LAMPIRAN D. Tabel minitab ANAVA dua jalur.....	69
LAMPIRAN E. Proses pengelasan gesek	69
LAMPIRAN F. Hasil pengelasan gesek.....	70
LAMPIRAN G. Proses pembuatan spesimen uji Tarik	70
LAMPIRAN H. Hasil pembuatan spesimen uji tarik.	71
LAMPIRAN I. Alat <i>friction welding</i> (las gesek)	71
LAMPIRAN J. Sertifikat baja AISI 1045.....	72
LAMPIRAN K. Proses pengujian kekerasan.....	73
LAMPIRAN L. Material pengujian kekerasan	73

BAB.1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pengelasan yang banyak digunakan pada saat ini adalah jenis SMAW. Pada proses ini banyak digunakan karena lebih mudah dalam pengelasan dan dapat mengelas dalam posisi yang tak terbatas. SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) merupakan proses 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 1045 silinder pejal.

Pemilihan baja AISI 1045 karena murah dan bahan yang mudah didapat dan juga baja karbon AISI 1045 adalah jenis baja yang tergolong dalam baja paduan karbon sedang yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti poros, *gear*, dan batang penghubung piston pada kendaraan bermotor. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang banyak diproduksi dan digunakan untuk membuat alat-alat atau bagian-bagian mesin, karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughness*) (Davis, 1982).

Dalam penggunaannya, baja karbon sebagai bahan pembuat poros, yang berfungsi untuk meneruskan daya baik berupa puntiran, torsi maupun *bending*, poros mengalami pembebanan yang terus berulang. Oleh karena itu suatu poros mengalami kegagalan dalam operasinya. Kegagalan akibat beban berulang sangatlah umum terjadi karena pada prinsipnya setiap komponen pastilah memiliki batas usia pakai, akan tetapi sedapat mungkin kegagalan tersebut dihindari, sehingga mesin dapat bekerja secara optimal sesuai dengan keperluan.

Kegagalan bahan dapat timbul akibat retak (*crack*) yang terus berkembang hingga terjadi perambatan yang kemudian menyebabkan bahan menjadi patah.

Wahyu nugroho (2010), dalam penelitiannya yang berjudul Pengaruh Durasi Gesek Tekanan Gesek dan Tekanan Tempa Terhadap Kekuatan Sambungan Lasan Gesek *Direct-Drive* pada Baja Karbon AISI 1045 menjelaskan tentang pengaruh durasi gesek tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik las gesek pada material baja karbon AISI 1045, dimana didapatkan kekuatan tarik meningkat seiring dengan bertambahnya durasi gesek, tekanan gesek, dan tekanan tempa. Jadi semakin besar gaya gesek akan mempercepat waktu gesek, karena bertambahnya gaya tekan gesek mengakibatkan benda mengalami peningkatan temperature yang cepat. Dan semakin besar tekanan tempa yang diberikan akan memudahkan ikatan anatra kedua bahan.

Sigied Prastyono (2012), juga menyatakan didalam penelitiannya berjudul Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Terhadap *Impact Strength* Sambungan Lasan Gesek Langsung Pada Baja Karbon Aisi 1045 menyatakan bahwa kekuatan atau sifat mekanik hasil lasan akan bertambah seiring dengan adanya penambahan tekanan gesek dan tempa, ketika diuji impek spesimen patah pada daerah *weld metal*, dikarnakan tekanan gesek dan tekanan tempa yang dilakukan sudah mencapai temperature tempa, sehingga perlakuan tekanan tempa dilakukan untuk mencegah turunnya temperature dengan cepat dan membuat ikatan sambungan lasan menyambung dengan baik.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang penting dikaji dalam penelitian ini adalah

- a. Bagaimana pengaruh waktu tempa dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik sambungan lasan AISI 1045 pada proses *friction welding* ?
- b. Bagaimana pengaruh waktu tempa dan tekanan tempa terhadap kekerasan AISI 1045 pada proses *friction welding* ?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

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

- a. Mengetahui pengaruh waktu tempa dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik sambungan lasan baja AISI 1045 pada proses *friction welding* ?
- b. Mengetahui pengaruh waktu tempa dan tekanan tempa terhadap kekerasan AISI 1045 pada hasil proses *friction welding* ?

1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah,

- a. Memberikan informasi kepada dunia industri tentang proses pengelasan alternatif yang lebih murah tetapi memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan standar
- b. Bagi peneliti penelitian ini merupakan sarana untuk melatih diri agar bertambah pengetahuan serta ketrampilan dalam melakukan penelitian terutama pada proses *friction welding*

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Kecepatan putar diasumsikan konstan ± 4124 RPM tanpa beban
- b. Temperature benda kerja diabaikan pada proses pembuatan spesimen uji tarik dan uji kekerasan
- c. Tekanan gesek dan waktu gesek pada benda kerja diasumsikan konstan
- d. Material yang dilas adalah baja AISI 1045 dengan diameter 16 mm

- e. Pengujian sifat mekanik meliputi uji Tarik dan uji kekerasan
- f. Waktu tempa adalah lamanya penahan pada proses penempaan berlangsung dan tekanan tempa yang divariasikan 40 detik, 80 detik dan 120 detik
- g. Tekanan tempa adalah tekana akhir yang diberikan setelah proses pengelasan atau pada saat benda kerja sudah tidak berputar. Dan tekanan tempa yang divariasikan 50 MPa, 55 MPa dan 60 MPa.

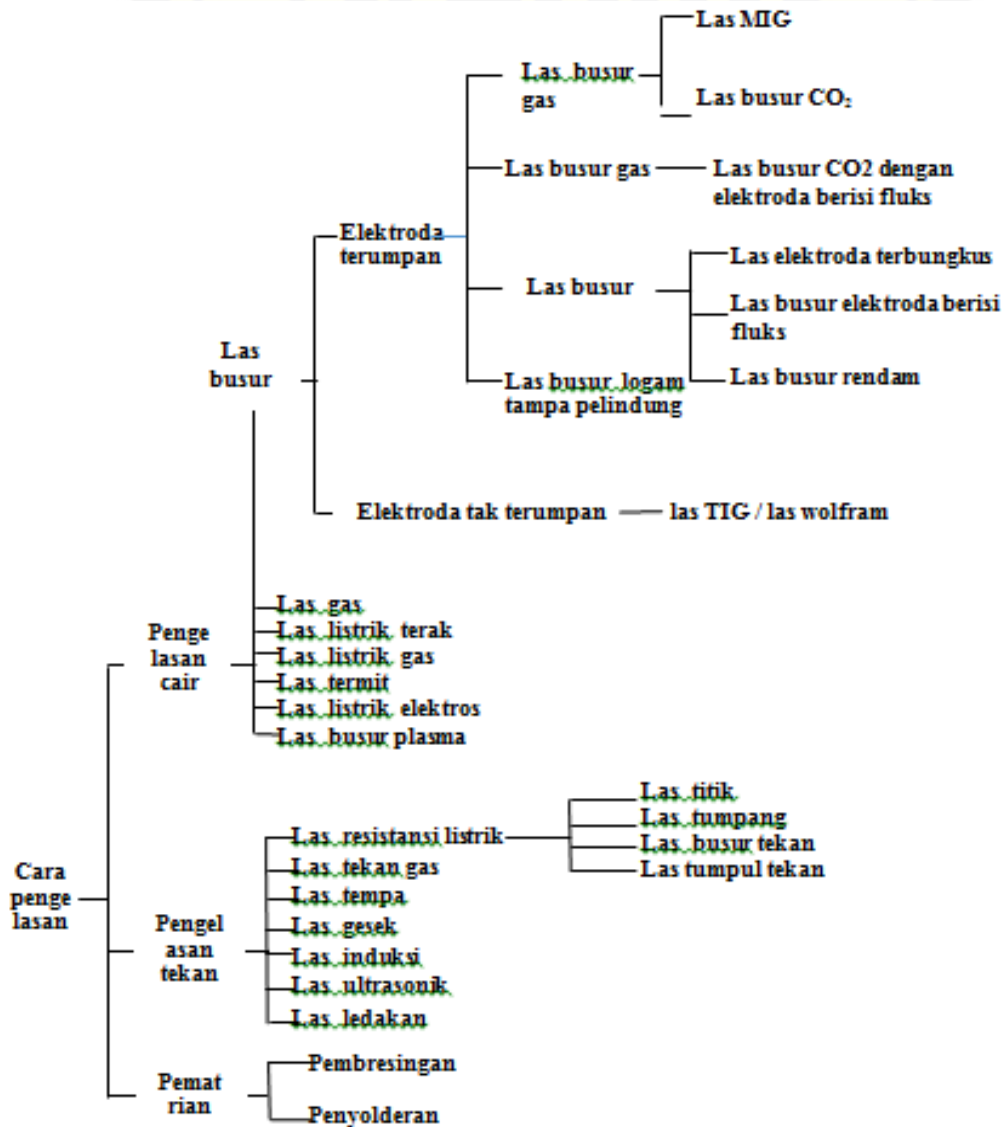
1.5 Hipotesa

Semakin besar tekanan tempa yang diberikan semakin naik pula kekuatan tarik dan kekerasan dari sambungan. Dan waktu penekanan tempa akan berpengaruh juga terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sepesimen karena tekanan tempa yang ditahan pada waktu tertentu dapat memberikan kesempatan sambungan untuk membuat sebuah ikatan pada *interface* dengan sempurna.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan logam akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan (Djapire, 1997:162). Las juga dapat didefinisikan sebagai ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair (Wirjosumarto, 2000:1). Berdasarkan cara pengelasannya klasifikasi pengelasan dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan. (Sumber: Wirjosumarto, 2000:8)

1. Pengelasan cair

Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan tekan

Pengelasan tekan adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

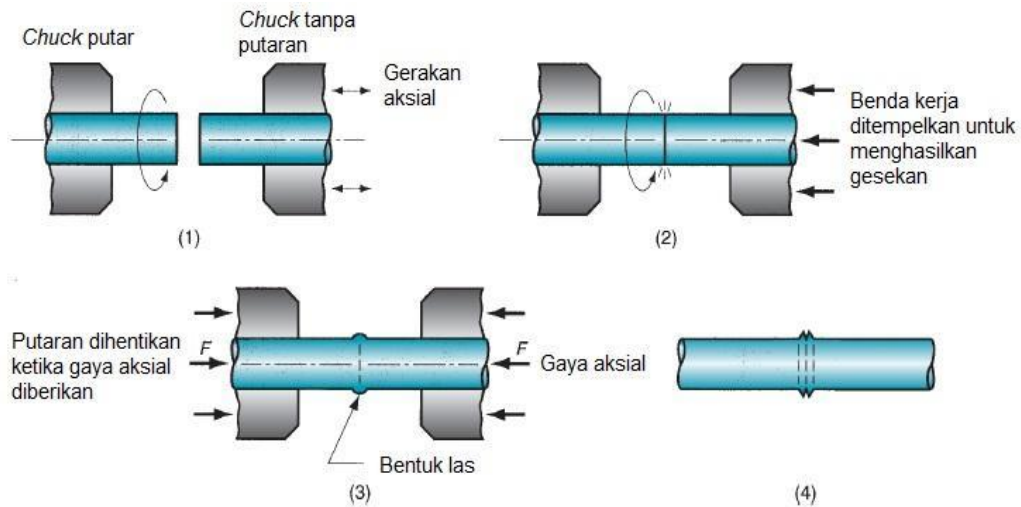
2. Pematrian

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

2.1.1 *Friction Welding*

Friction welding termasuk jenis pengelasan *solid state welding* dimana proses pengelasan dilakukan pada fasa padat. Panas pengelasan diperoleh dari konversi langsung energi mekanik 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. Gesekan kedua permukaan benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan. Proses ini memanfaatkan energi panas dari daerah lasan secara efisien sehingga memungkinkan untuk mendistribusikan panas secara merata pada permukaan yang akan disambung. Selama proses pengelasan, permukaan ditekan dan pada tahap ini disebut tahap pemanasan kontinu hingga temperatur deformasi plastis tercapai kemudian kedua material yang disambung menjadi dingin dan membentuk ikatan dalam keadaan padat (Tiwon dan ardian 2005). Skema *friction welding* ditunjukkan pada gambar 2.2.

Gambar 2.2 proses *friction welding*

(sumber <http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com/2015/05/friction-welding-frw.html>)

Proses *friction welding*:

1. Salah satu *chuck* beserta benda kerjanya berputar.
2. Benda kerja ditempelkan untuk menghasilkan gesekan dan panas.
3. Putaran dihentikan, gaya aksial diberikan supaya terjadi sambungan.
4. Las yang terbentuk. Hal yang harus diperhatikan adalah panjang benda kerja akan berkurang.

Karena memerlukan putaran untuk menghasilkan panas, mesin *friction welding* didesain mirip dengan mesin bubut. Mesin *friction welding* memerlukan *spindle* yang bertenaga untuk memutar salah satu benda kerja pada kecepatan tinggi. Mesin ini juga harus bisa menggeser benda kerja secara aksial baik pada *chuck* yang berputar maupun pada *chuck* yang tidak berputar.

Kekuatan sambungan *friction welding* ditentukan / dipengaruhi oleh kecepatan putaran, durasi gesek dan tekanan tempa. (Nugroho, 2010)

- a. Kecepatan putar.

Kecepatan putar adalah kecepatan *spindle* dari alat untuk memutar benda kerja untuk proses pengelasan gesek kecepatan *spindle* akan mempengaruhi lamanya penyambungan, semakin cepat putaran *spindle* maka proses pengelasan akan semakin cepat. Dikarenakan bahan akan cepat panas dan cepat meleleh.

b. waktu gesek

waktu gesek adalah lamanya proses penyambungan pada saat benda kerja masi berputar. Durasi gesek dilakukan untuk mencapai temperature tempa.

c. Tekanan tempa

Tekanan tempa adalah tekanan lanjutan yang dilakukan pada saat benda kerja tidak berputar. Sebelum melakuakn tekanan tempa, benda kerja harus mencapai temperature tempa agar mendapatkan sambungan las yang kuat (Sigit Prasetyono, 2012). Dalam proses penyambungan dua buah logam yang berperan besar adalah tekanan tempa. Dengan adanya tekanan tempa maka akan terjadi deformasi plastis. Tekanan tempa ini pertama tama memungkinkan adanya udara diantara kedua permukaan yang bergesekan akan keluar. Semakin besar tekanan tempa akan menimbulkan deformasi plastis seiring terbentuknya *up set*. *Up set* semakin besar akan berpengaruh terhadap menurunnya ukuran panjang sampel uji. Semakin besar *up set* akan semakin kuat sambungan dua buah logam yang disambung pada proses *friction welding* las gesek. (Winarto, 2014)

d. Waktu tempa

Waktu tempa adalah lamanya penekanan akhir atau tekanan tempa yang diberikan pada proses *friction welding*.

Pada *friction welding*, terjadi beberapa fenomena fisik seperti perubahan panas akibat gesekan deformasi plastis dan sebagainya. Adapun parameter penting dalam proses *friction welding* meliputi *friction time*, *rotational speed*, dan *friction pressure*. Parameter-parameter yang ditunjukkan di atas akan berpengaruh terhadap sifat mekanik hasil sambungan *friction welding*, salah satu sifat mekanik yang penting dalam aplikasinya terutama pada hasil sambungan *friction welding* adalah kekuatan *impact*. Kekuatan *impack* sambungan las perlu diketahui karena perlunya gambaran bagaimana sikap bahan apabila mengalami pembebanan mendadak dan juga sangat membantu dalam menentukan kepantasan bahan untuk penggunaan-penggunaan teknik.

Selain itu juga pada *friction welding* dapat menghemat material, waktu pemrosesan yang cepat, serta dapat menyambung dua material yang berbeda ataupun sama jenis. Serta dapat menyambung material berbentuk silinder ataupun material dengan penampang persegi (Santoso, et. al, 2012).

Pada *friction welding* terdapat dua metode yaitu *direct-drive welding* dan *inertia-drive welding*. *Direct-drive welding* atau bisa disebut dengan pengelasan gesek konvensional menggunakan putaran motor dengan kecepatan konstan yang menghasilkan energi untuk proses pengelasan. Sementara *inertia-drive welding* memanfaatkan *flywheel* untuk menghasilkan energi untuk proses pengelasan (ASM Handbook).

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

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

Namun *friction welding* memiliki keterbatasan yaitu ;

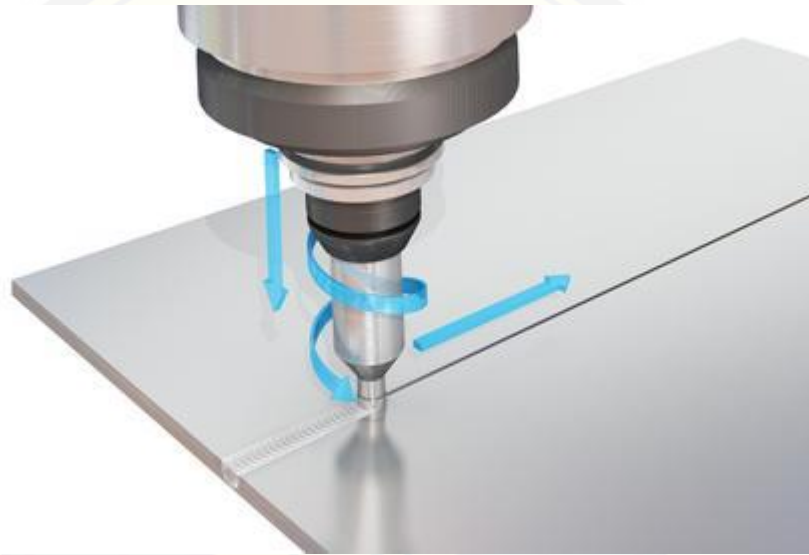
- Benda yang disambung harus simetris
- Proses umumnya terbatas pada permukaan plat dan bentuk batang bulat.
- Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu dideformasi secara plastis.

Berdasarkan proses penggesekan, *friction welding* dibedakan atas *Stir Friction Welding* dan *Linier Friction Welding* (Kuswandi, 2000):

•

2.1.1 *Stir Friction Welding*

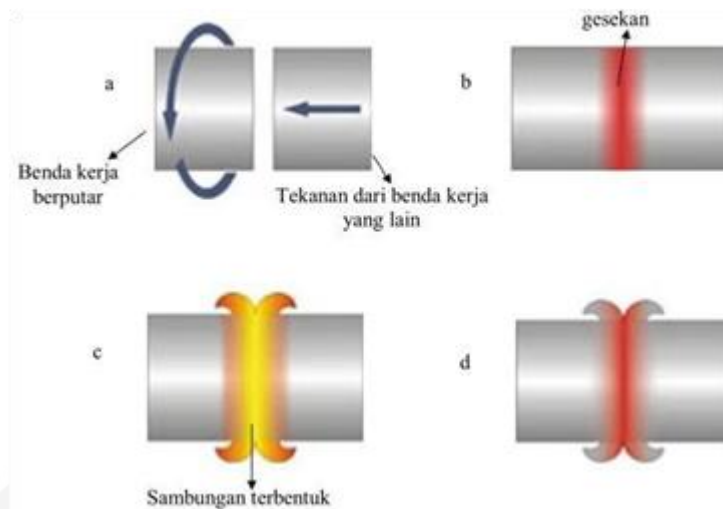
Stir friction welding merupakan las gesek dengan sumber panas yang berasal dari gesekan antara benda kerja dan pahat. Pada umumnya proses ini digunakan untuk penyambungan pelat. Kedua pelat yang akan disambung dicekam secara berimpit, kemudian pahat berputar dan menekan di atas himpitan tersebut sehingga akan terjadi gesekan antara benda kerja dan pahat, gesekan tersebut menimbulkan panas yang akan melelehkan sambungan pelat.



Gambar 2.3 *Stir friction welding*

2.1.2 *Linier Friction Welding*

Linier friction welding merupakan las gesek dengan sumber panas yang berasal dari gesekan antara kedua permukaan benda kerja itu sendiri. Proses pengelasan ini menggunakan benda kerja berpenampang bulat yaitu silinder pejal atau pipa. Terdapat dua buah benda kerja, salah satu benda kerja berputar relatif dengan kecepatan tertentu terhadap benda kerja yang lain dimana benda kerja tersebut memberikan tekanan. Gesekan antara kedua permukaan benda kerja tersebut menghasilkan panas yang akan melelehkan ujung permukaan benda kerja. Tekanan terus diberikan hingga lelehan kedua permukaan menyatu dan membentuk sambungan lasan. Jika kedua permukaan telah menyatu, putaran dihentikan dan diberikan tekanan akhir untuk menghasilkan sambungan yang sempurna.



Gambar 2.4 *Linier Friction Welding* (Sumber: Swanson Industries Inc. 2006 dalam Kuswandi, 2010)

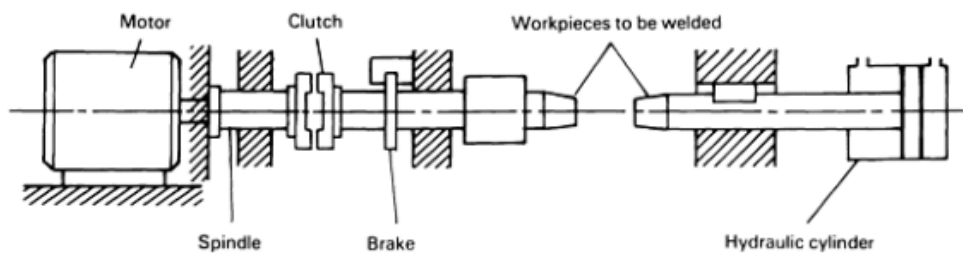
Ada dua cara untuk proses *linier friction welding*, yaitu *inertia drive welding* dan *direct drive welding*. *Inertia drive welding* sering disebut dengan *flywheel friction welding* karena menggunakan energi simpanan *flywheel* sebagai energi masukan dalam proses penyambungan. Sedangkan *direct drive welding* sering disebut sebagai konvensional *friction welding*, menggunakan motor yang memiliki kecepatan konstan untuk energi masukannya (Tiwani dan Ardian, 2005).

1. *Inertia Drive Welding*

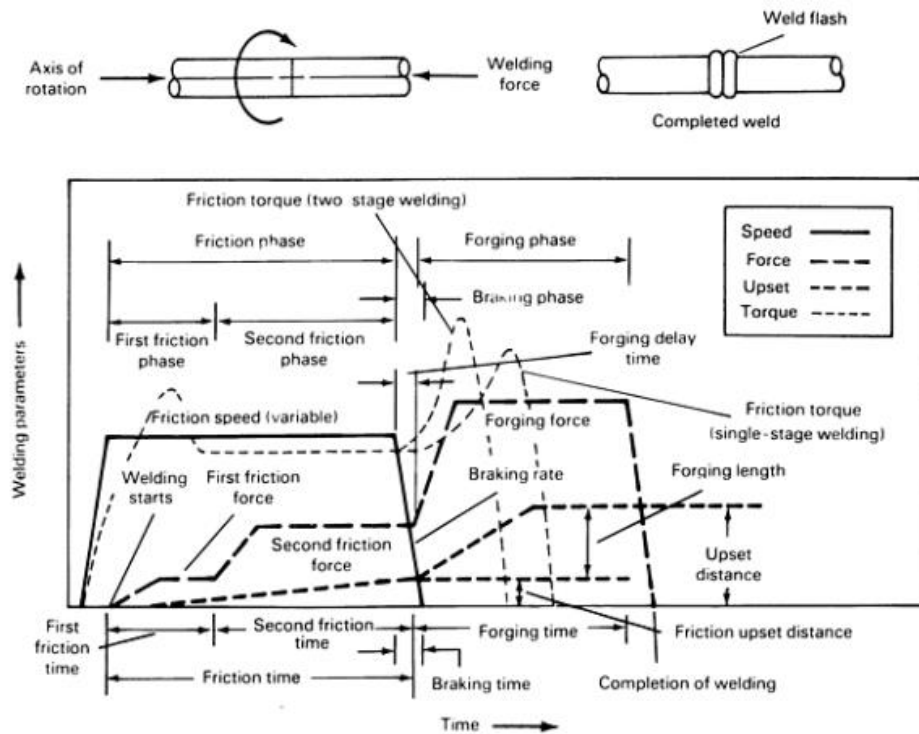
Inertia drive welding menggunakan mesin dimana pada *spindel* diberi *flywheel* sebagai penyimpan tenaga. *Flywheel* berfungsi sebagai pengontrol masukan panas pada daerah sambungan. *Flywheel* dirancang agar dapat ditambah atau dikurangi masanya dan jumlah energi yang tersimpan dalam *flywheel* dikontrol oleh kecepatan. Tekanan aksial diberikan secara konstan selama proses, dapat pula pada akhir proses *friction* saat tekanan lanjut diberikan. Pada *inertia drive welding* kecepatan *friction* secara kontinyu menurun. Sedangkan pada *direct drive welding* kecepatan *friction* konstan dan diberhentikan secara tiba-tiba oleh kopling dan ram (Tiwani dan Ardian, 2005).

2. Direct-Drive Welding

Pada *Direct-drive welding* salah satu benda kerja dicekam pada motor penggerak dan berputar dengan kecepatan konstan sementara gaya aksial diberikan pada benda kerja yang diam. Skema pengelasan *Direct-drive welding* ditunjukkan pada gambar 2.3. Benda kerja yang diam harus dicekam dengan kaku untuk mencegahnya ikut berputar. Putaran terus dilakukan hingga seluruh permukaan yang disambung mencapai temperatur yang diinginkan. Kemudian putaran dihentikan dan gaya tekan diberikan pada proses akhir pengelasan. Pada kasus ini parameter proses pengelesan gesek ini antara lain kecepatan putar, gaya tekan aksial, waktu pengelasan dan tekanan tempa. Hubungan antara parameter proses pengelasan ini ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.5 Skema *Direct-drive welding* (sumber: ASM HANDBOOK)



Gambar 2.6 Hubungan antara parameter proses pengelasan *Direct-drive welding* (sumber: ASM HANDBOOK)

Pemberian tekanan tempa dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama dengan memberikan tekanan tempa yang lebih besar ketika *spindle* mengalami perlambatan putaran. Cara kedua memberikan tekanan tempa saat *spindle* berhenti berputar pada akhir fasa berhenti. Pada kasus pertama torsi akan meningkat dan menghasilkan gaya torsi, sedangkan pada kasus kedua karena pengereman yang cepat torsi gesekan tidak dapat meningkat dan mulai menurun pada fase penempaan. Pada kasus kedua tidak ada gaya torsi dan penempaan hanya dipengaruhi oleh gaya tekan.

2.2 Baja

Baja adalah paduan unsur Fe dan C, dengan kandunga karbon kurang dari 2%. Terdapat ribuan jenis baja yang tersedia di pasar, dimana berbeda komposisi kimia dan proses perlakuan panasnya. Sesuai klasifikasi paduan logam fero. Baja dapat dibagi menjadi 3 golongan besar, yaitu (1) baja paduan rendah (*low alloy steel*) dan (2) baja paduan tinggi (*high alloy steel*). Dan pada paduan rendah hanya

terdapat sedikit paduan selain karbon dan sedikit mangan, sementara pada baja paduan tinggi (*high alloy steel*) secara sengaja dimasukkan unsur-unsur lain untuk meningkatkan karakteristik dari baja tersebut. Sifat mekanik baja sangat sensitif terhadap kandungan karbon, dimana semakin tinggi kadar karbon, semakin tinggi pula kekuatan dan kekerasan baja tersebut. (sofyan , 2010)

Banyak jenis baja yang tersedia dan diantaranya ada 4 macam yaitu:

1. Baja karbon (*carbon steel*) – kekuatan tarik maximum berkisar antara 296 dan 840 Mpa. Baja karbon disebut juga baja mesin, mengandung sejumlah kecil elmen seperti mangan, fosfor, silicon, dan sebagainya. Kekuatan dan kekerasan baja karbon meningkat dengan peningkatan unsur karbon tetapi menjadi lebih getas dan keuletannya berkurang.
2. Baja paduan (*alloy steel*) – disamping karbon, baja paduan mengandung aluminium, kromium, tembaga, mangan, molybdenum, nikel, fosfor, silicon titanium dan vanadium. Baja paduan digunakan untuk meningkatkan kekerasan, ketangguhan, keuletan dan kekuatan tarik baja.
3. Baja tahan karat (*stainless steel*) – sesuai namanya merupakan paduan kromium dan besi yang mempunyai ketahanan korosi sanagat baik. Ketahanan korosi akibat terbentuknya lapisan oksida kromium. Kandungan kromium minimum 30%, dengan 12% untuk membentuk lapisan dan 18% untuk ketahanan korosi udara. Elmen lain missal nikel , aluminium, silicon dan molybdenum. Baja tahan karat digunakaan dalam kimia proses, peralatan proses minyak, perapian dan sebagainya.
4. Baja struktural (*structural steel*) – bentuk baja structural mengandung pengertian baja pengerolan panas dengan berbagai bentuk dan bermacam elmen paduan yang digunakan untuk ketahanan beban dan gaya yang bekerja. Structural bisa jadi merupakan bangunan, jembatan, tiang transmisi. Bentuk baja yang sering digunakan adalah bentuk w (*wide flange*), bentuk C (channels), bentuk L (*engle bar*), batang (bars) dan pipa baja.

Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3%C. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3%C - 0,6%C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6%C-1,5%C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit, sehingga membuat baja menjadi getas (Amanto, 1999).

Sedangkan untuk baja paduan terdiri dari:

1. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999).

2.2.1 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja

Baja yang hanya mengandung unsur karbon tidak akan memiliki sifat seperti yang diinginkan. Penambahan unsur-unsur paduan lain seperti Si, Mn, Ni, Cr, V, W, dan lain sebagainya dapat menghasilkan sifat-sifat baja yang diinginkan. Pengaruh penambahan beberapa unsur paduan terhadap sifat baja adalah:

a. Silikon (Si)

Unsur silikon mempunyai pengaruh menaikkan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100% martensit). Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4%.

b. Mangan (Mn)

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deoksidator (pengikat O₂) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Dengan kadar Mn yang rendah dapat menurunkan pendinginan kritis.

c. Nikel (Ni)

Unsur nikel memberikan pengaruh sama dengan Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan.

d. Krom (Cr)

Unsur krom meningkatkan kekuatan tarik dan keplastisan, menambah mampu keras, meningkatkan tahan korosi dan tahan suhu tinggi.

e. Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbidat yang sangat keras dan memberikan baja dengan kekerasan yang tinggi. Kekerasan dan tahan panas yang cukup tinggi pada baja sangat diperlukan untuk mesin pemotongan dengan kecepatan tinggi (Kurniawan,2007).

2.2.1 Baja AISI 1045

Baja karbon AISI 1045 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah (0,43 – 0,50 %C berat) yang banyak digunakan dipasaran karena memiliki banyak keunggulan. Baja ini memiliki karakteristik : sifat mampu mesin yang baik, *wear resistance*-nya baik, dan sifat mekaniknya menengah.

2.2.2 Struktur Baja AISI 1045

AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen otomotif misalnya untuk komponen roda

gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045

KODE	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI	0,4	0,1	0,060	0,025	0,004	0,005
1045	0,43	0,3	0,90	-	Max	max

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineers*). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan plain carbon kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon. Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau plain *carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. P sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan Avner (1974). Pada umumnya ketahanan berbanding lurus dengan kekerasan.

2.2.3 Klasifikasi baja AISI 1045

Baja dengan kadar karbon medium mempunyai sifat mampu tempa, *cold drawing*, *machining*, *heat treating* (termasuk *flame hardening*) serta mempunyai sifat ketahanan terhadap aus yang baik dengan melalui perlakuan *flame* atau *induction hardening*. Baja ini merupakan salah satu bahan untuk pembuatan kapak, baut, poros, *machinery parts*, *lightly stressed gears*, *pinions forming dies*, *hydraulic shafts*, *pump shafts*, *piston rods* dan lain-lain.

Berikut merupakan komposisi kimia dari baja AISI 1045 :

Tabel 2.2 Komposisi (% berat) Baja AISI 1045

Kandungan Unsur %	Berat
C	0.42 – 0.50
Mn	0.50 – 0.80
Mn Si Maks.	0.40
S Maks.	0.040
Cr + Mo + Ni Maks.	0.63

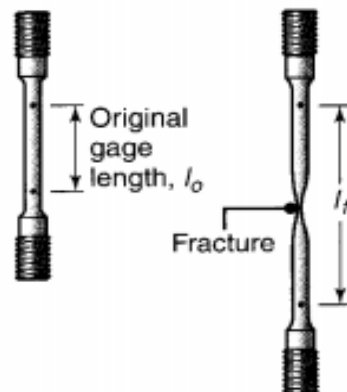
Berikut adalah sifat mekanik material baja AISI 1045 :

Tabel 2.3 Sifat-Sifat Mekanik Baja AISI 1045

Kekuatan Tarik, σ_u	600 - 705 N/mm ²
Kekuatan Luluh, σ_y	355-400 N/mm ²
Perpanjangan (elongation)	16 %
Kekerasan Brinell	220-300 BHN

2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan metode yang paling umum digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari suatu material seperti kekuatan, keuletan, ketangguhan, modulus elastisitas, dan kemampuan *strain-hardening*. Spesimen uji tarik ditunjukkan seperti pada gambar 2.5. Bentuk yang umum digunakan untuk pengujian ini adalah bentuk silinder pejal, tetapi spesimen uji juga dapat berbentuk datar atau berbentuk tabung. Spesimen uji tarik umumnya disiapkan berdasarkan standar yang digunakan. Standar yang digunakan dapat menggunakan ASTM, JIS atau DIN tergantung kepada peneliti (kalpakjian, 2009:57).



Gambar 2.7 Spesimen uji tarik (sumber : kalpakjian, 2009)

Pada uji tarik, kedua ujung benda dijepit; salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung lainnya dihubungkan ke perangkat peregang (Djaprie, 2000:214). Benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji (Djaprie, 1997:277). Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Data-data penting yang diharapkan didapat dari pengujian tarik ini adalah: perilaku mekanik material dan karakteristik perpatahan (Yuwono, 2009).

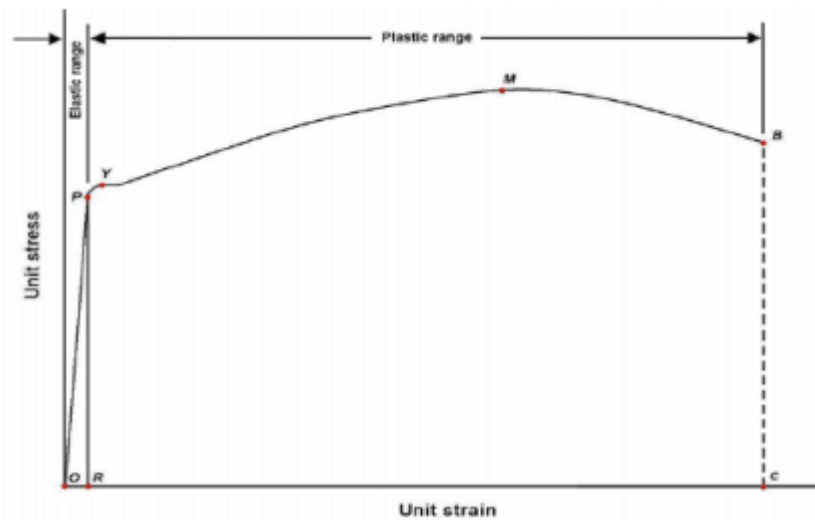
2.3.1 Sifat Mekanik Material

Pengujian tarik yang dilakukan pada suatu material padatan (logam dan nonlogam) dapat memberikan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku material tersebut terhadap pembebanan mekanis. Informasi penting yang bisa didapat adalah:

a. Batas proporsionalitas (*proportionality limit*)

Merupakan daerah batas dimana tegangan dan regangan mempunyai hubungan proporsionalitas satu dengan lainnya. Setiap penambahan tegangan akan diikuti dengan penambahan regangan secara proporsional dalam hubungan linier $\sigma = E\varepsilon$ (bandingkan dengan hubungan $y = mx$; dimana y mewakili tegangan; x mewakili regangan dan m mewakili *slope*

kemiringan dari modulus kekakuan). Titik P pada Gambar 2.6 dibawah ini menunjukkan batas proporsionalitas dari kurva tegangan- regangan.



Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat baja ulet

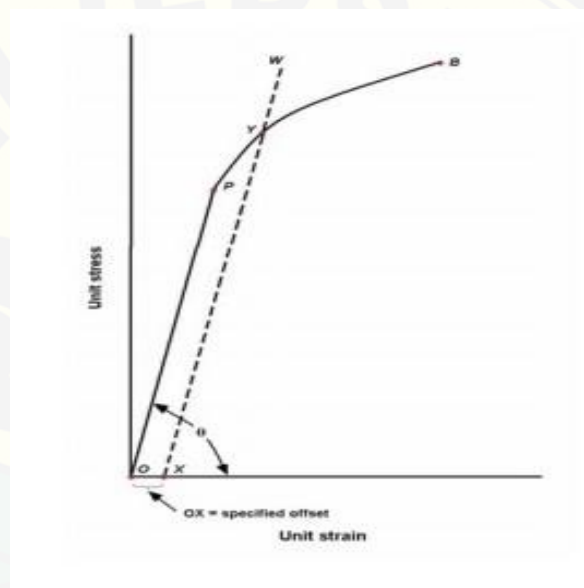
b. Batas elastis (*elastic limit*)

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

c. Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*)

Titik ini merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh ini disebut tegangan luluh (*yield stress*). Titik luluh ditunjukkan oleh titik Y pada Gambar 2.6 di atas. Gejala luluh umumnya hanya ditunjukkan oleh logam-logam ulet dengan struktur Kristal BCC dan FCC yang membentuk *interstitial solid solution* dari atom-atom carbon, boron, hidrogen dan oksigen. Interaksi antara dislokasi dan atom-atom tersebut menyebabkan baja ulet seperti mild steel menunjukkan titik luluh bawah (*lower yield point*) dan titik luluh atas (*upper yield point*). Baja berkekuatan tinggi dan besi tuang yang getas umumnya tidak memperlihatkan

batas luluh yang jelas. Untuk menentukan kekuatan luluh material seperti ini maka digunakan suatu yang dikenal sebagai Metode *Offset*. Dengan metode ini kekuatan luluh (*yield strength*) ditentukan sebagai tegangan dimana bahan memperlihatkan batas penyimpangan/deviasi tertentu dari proporsionalitas tegangan dan regangan. Pada Gambar 2.7 dibawah ini garis *offset* OX ditarik paralel dengan OP, sehingga perpotongan XW dan kurva tegangan regangan memberikan titik Y sebagai kekuatan luluh. Umumnya garis *offset* OX diambil 0.1 – 0.2% dari regangan total dimulai dari titik O.



Gambar 2.9 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat dari bahan getas.

Kekuatan luluh atau titik luluh merupakan suatu gambaran kemampuan bahan menahan deformasi permanen bila digunakan dalam penggunaan struktural yang melibatkan pembebanan mekanik seperti tarik, tekan bending atau puntiran. Disisi lain, batas luluh ini harus dicapai ataupun dilewati bila bahan (logam) dipakai dalam proses manufaktur produk- produk logam seperti proses *rolling*, *drawing*, *stretching* dan sebagainya. Dapat dikatakan bahwa titik luluh adalah suatu tingkat tegangan yang:

- Tidak boleh dilewati dalam penggunaan struktural (*in service*)
- Harus dilewati dalam proses manufaktur logam (*forming process*)

d. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum σ uts ditentukan dari beban maksimum F maksimal dibagi luas penampang awal A_0 .

$$UTS = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (2.1)$$

Pada bahan ulet tegangan maksimum ini ditunjukkan oleh titik M (Gambar 2.6) dan selanjutnya bahan akan terus berdeformasi hingga titik B. Bahan yang bersifat getas memberikan perilaku yang berbeda dimana tegangan maksimum sekaligus tegangan perpatahan (titik B pada Gambar 2.6). Dalam kaitannya dengan penggunaan *structural* maupun dalam proses *forming* bahan, kekuatan maksimum adalah batas tegangan yang sama sekali tidak boleh dilewati.

e. Kekuatan Putus (*breaking strength*)

Kekuatan putus ditentukan dengan membagi beban pada saat benda uji putus ($F_{breaking}$) dengan luas penampang awal A_0 . Untuk bahan yang bersifat ulet pada saat beban maksimum M terlampaui dan bahan terus terdeformasi hingga titik putus B maka terjadi mekanisme (*necking*) sebagai akibat adanya suatu deformasi yang terlokalisasi. Pada bahan ulet kekuatan putus adalah lebih kecil daripada kekuatan maksimum sementara pada bahan getas kekuatan putus adalah sama dengan kekuatan maksimumnya.

f. Keuletan (*ductility*)

Keuletan merupakan suatu sifat yang menggambarkan kemampuan logam menahan deformasi hingga terjadinya perpatahan. Sifat ini, dalam beberapa tingkatan, harus dimiliki oleh bahan bila ingin dibentuk (*forming*) melalui proses *rolling*, *bending*, *stretching*, *drawing*, *hammering*, *cutting* dan sebagainya. Pengujian tarik memberikan dua metode pengukuran keuletan bahan yaitu:

- Persentase perpanjangan (*elongation*)

Diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang.

$$\text{Elongasi, } \varepsilon (\%) = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana L_f adalah panjang akhir dan L_o panjang awal dari benda uji.

• Persentase pengurangan/reduksi penampang (*Area Reduction*)

Diukur sebagai pengurangan luas penampang (*cross-section*) setelah perpatahan terhadap luas penampang awalnya.

$$\text{Reduksi penampang, } R (\%) = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\% \quad (2.3)$$

dimana A_f adalah luas penampang akhir dan A_o luas penampang awal.

g. Modulus elastisitas (E)

Modulus elastisitas atau Modulus young merupakan ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Pada grafik tegangan-regangan (Gambar 2.6 dan 2.7), modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari *slope* kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ atau } E = \tan \alpha \quad (2.4)$$

Dimana α adalah sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan. Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur bahan.

g. Modulus kelentingan (*modulus of resilience*)

Mewakili kemampuan material untuk menyerap energi dari luar tanpa terjadinya kerusakan. Nilai modulus dapat diperoleh dari luas segitiga yang dibentuk oleh area elastis diagram tegangan-regangan pada Gambar 2.6.

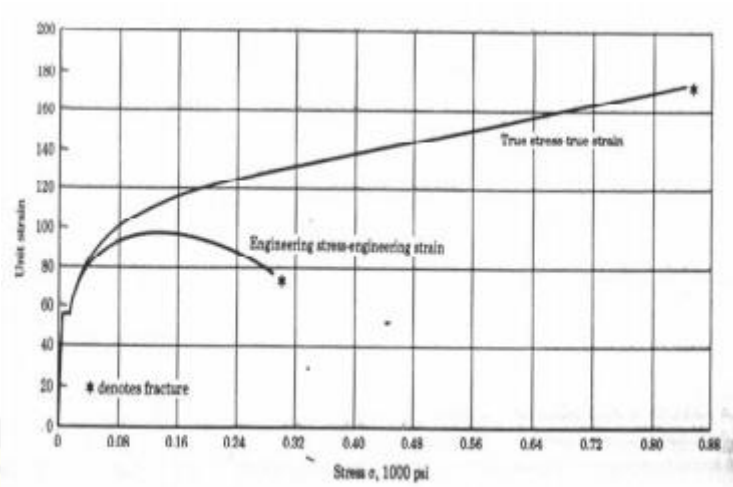
h. Modulus ketangguhan (*modulus of toughness*)

Merupakan kemampuan material dalam menyerap energi hingga terjadinya perpatahan. Secara kuantitatif dapat ditentukan dari luas area keseluruhan dibawah kurva tegangan-regangan hasil pengujian tarik seperti Gambar 2.6.

Pertimbangan desain yang mengikut sertakan modulus ketangguhan menjadi sangat penting untuk komponen-komponen yang mungkin mengalami pembebanan berlebih secara tidak disengaja. Material dengan modulus ketangguhan yang tinggi akan mengalami distorsi yang besar karena pembebanan berlebih, tetapi hal ini tetap disukai dibandingkan material dengan modulus yang rendah dimana perpatahan akan terjadi tanpa suatu peringatan terlebih dahulu.

i. Kurva tegangan-regangan rekayasa dan sesungguhnya

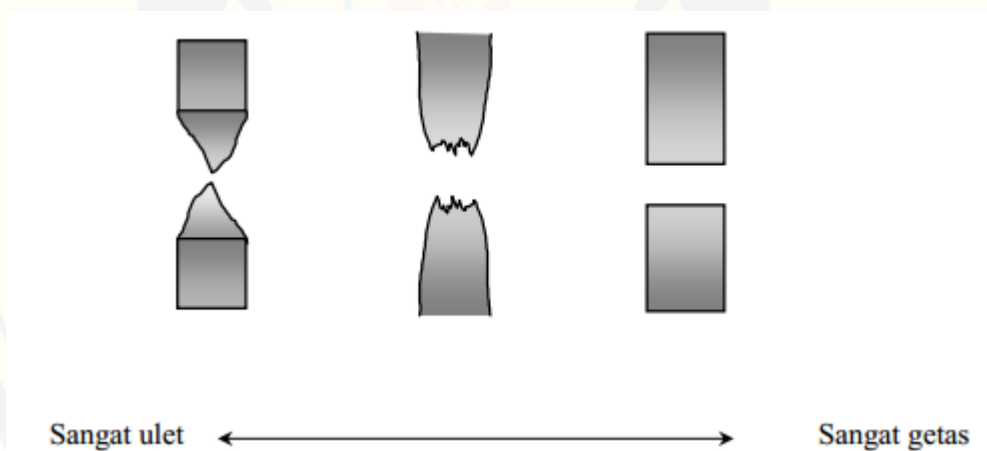
Kurva tegangan-regangan rekayasa didasarkan atas dimensi awal (luas area dan panjang) dari benda uji, sementara untuk mendapatkan kurva tegangan-regangan sesungguhnya diperlukan luas area dan panjang aktual pada saat pembebanan setiap saat terukur. Perbedaan kedua kurva tidaklah terlalu besar pada regangan yang kecil, tetapi menjadi signifikan pada rentang terjadinya pengerasan regangan (*strain hardening*), yaitu setelah titik luluh terlampaui. Secara khusus perbedaan menjadi demikian besar didalam daerah *necking*. Pada kurva tegangan-regangan rekayasa, dapat diketahui bahwa benda uji secara aktual mampu menahan turunnya beban karena luas area awal A_0 bernilai konstan pada saat penghitungan tegangan $\sigma = P/A_0$. Sementara pada kurva tegangan-regangan sesungguhnya luas area aktual adalah selalu turun hingga terjadinya perpatahan dan benda uji mampu menahan peningkatan tegangan karena $\sigma = P/A$. Gambar 2.8 dibawah ini memperlihatkan contoh kedua kurva tegangan-regangan tersebut pada baja karbon rendah (*mild steel*).



Gambar 2.10 Perbandingan antara kurva tegangan-regangan rekayasa dan sesungguhnya dari baja karbon rendah (*mild steel*)

2.3.2 Mode Perpatahan Material

Sampel hasil pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa tampilan perpatahan seperti diilustrasikan oleh Gambar 2.9 di bawah ini:



Gambar 2.11 Ilustrasi penampang samping bentuk perpatahan benda uji tarik sesuai dengan tingkat keuletan/kegetasan

Perpatahan ulet memberikan karakteristik berserabut (*fibrous*) dan gelap (*dull*), sementara perpatahan getas ditandai dengan permukaan patahan yang berbutir (*granular*) dan terang. Perpatahan ulet umumnya lebih disukai karena bahan ulet umumnya lebih tangguh dan memberikan peringatan lebih dahulu sebelum terjadinya kerusakan.

Pengamatan kedua tampilan perpatahan itu dapat dilakukan baik dengan mata telanjang maupun dengan bantuan *stereoscan macroscope*. Pengamatan lebih detail dimungkinkan dengan penggunaan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

2.4 Pengujian Kekerasan

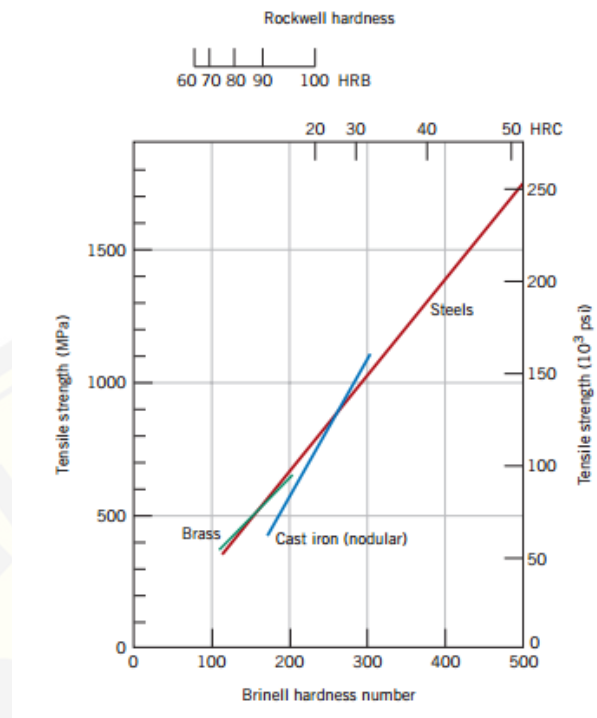
Kekerasan adalah ketahanan terhadap deformasi, untuk logam merupakan ukuran ketahanan terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen. Para insinyur perancang mengartikan kekerasan sebagai ukuran kemudahan yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam. Secara umum ukuran kekerasan ada tiga jenis, yaitu kekerasan goresan, kekerasan lekukan, dan kekerasan dinamik. (Djaprie, 1996:328)

Pengujian kekerasan adalah teknik untuk mengetahui sifat mekanik dari material. Pengujian ini adalah satu dari sekian banyak pengujian yang paling sering digunakan karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. (Sofyan, 2010:35)

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

Pengujian kekerasan ini memiliki beberapa keuntungan antara lain (Callister, 2007:155) :

1. Pengujian ini mudah dilakukan dan relatif murah, karena spesimen yang diuji tidak memerlukan persiapan khusus dan peralatan yang digunakan relatif murah.
2. Pengujiannya tidak merusak, karena spesimen yang diuji tidak mengalami perubahan bentuk yang ekstrim atau patah, satu-satunya deformasi yang terjadi adalah indentasi yang kecil.
3. Sifat mekanik yang lain dapat diperkirakan dari data kekerasan seperti kekuatan tarik (lihat gambar 2.10).



Gambar 2.12 Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada besi cor, tembaga dan baja. (sumber : callister, 2007)

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

2.4.1 Metode Indentasi

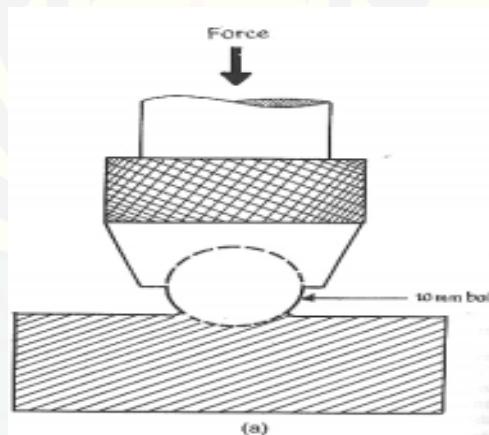
Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan penekanan benda uji dengan indenter dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalam ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Berdasarkan prinsip bekerjanya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

2.4.2 Metode *Brinell*

Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh J.A. Brinell pada tahun 1900. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras (*hardened steel ball*) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.11. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya dibawah mikroskop khusus pengukur jejak. Contoh pengukuran hasil penjejakan diberikan oleh Gambar 2.12. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus: $BHN =$

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

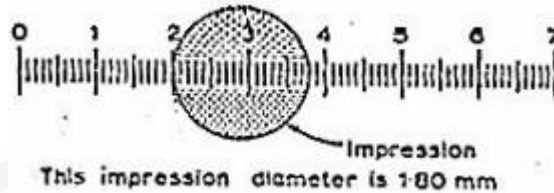
dimana P adalah beban (kg), D diameter indenter (mm) dan d diameter jejak (mm).



Gambar 2.13 Skematis prinsip indentasi dengan metode *Brinell*
(Sumber : Yuwono, 2009)

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

diikuti angka-angka yang menyatakan kondisi pengujian. Contoh: 75 HB 10/500/30 menyatakan nilai kekerasan *Brinell* sebesar 75 dihasilkan oleh suatu pengujian dengan indenter 10 mm, pembebanan 500 kg selama 30 detik.



Gambar 2.14 Hasil indentasi Brinell berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm. (sumber : Yuwono, 2009)

2.5 Aplikasi *Friction Welding*

Metode *friction welding* telah banyak dipergunakan sebagai salah satu metode penyambungan beberapa komponen permesinan dalam bidang otomotif misalnya seperti *crank shaft*, *hollow camshaft*, *counter gear*, klep mesin. Dan di industri perkapalan seperti pembuatan poros propeler (Hadi, 2011). Efendi (2011) menerapkan metode *friction welding* dengan benda kerja St41 sebagai alternatif pengganti proses produksi as roda sepeda motor. Husodo (2013) melakukan penyambungan dua buah logam baja karbon St41 pada produk *back spring pin*. Polami (2014) melakukan proses *friction welding* untuk menghasilkan komponen *drive pinion* pada kendaraan berat.

Tabel 2.4 Aplikasi *friction welding*

No	Nama	Gambar
1	<i>Crank shaft</i>	A photograph of a crankshaft component, showing a cylindrical shaft attached to a cross-shaped crank web. A red arrow points to the welded joint between the shaft and the web.

2	<i>Hollow camshaft</i>	
3	Klep mesin	
4	<i>Steering shaft</i>	
5	<i>Counter gear</i>	
6	<i>Drive pulley</i>	

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Eksperimental adalah suatu observasi dibawah kondisi buatan, dimana kondisi tersebut sengaja dibuat dan diatur oleh peneliti. Dengan demikian penelitian eksperimental ialah penelitian yang dilakukan dengan memanipulasi terhadap objek penelitian serta adanya kontrol.

3.2 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dimulai pada bulan Mei 2016 sampai dengan Juni 2016. Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pengelasan dan pengujian. Untuk pengelasan dilakukan di Laboratorium Permesinan Institut Teknologi Sepuluh November, pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Desain dan Uji Bahan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malang, dan untuk pengujian kekerasannya dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Mesin fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Bahan

1. Poros Baja AISI 1045 dengan diameter 16 mm.
2. Bahan Etsa
Bahan Etsa digunakan untuk membuat struktur permukaan benda tampak jelas. Mengetsas adalah merusak permukaan benda uji dengan cairan tertentu yang sesuai, sehingga strukturnya terlihat dengan jelas.
3. Resin dan *Hardener*
Resin dan *Hardener* adalah bahan kimia yang digunakan untuk membuat pegangan pada benda uji waktu pengamplasan dan pengujian kekerasan.

4. Pasta Poles

Pasta poles digunakan untuk menggosok permukaan benda uji sebelum dilakukan penelitian agar permukaan menjadi bersih. Pasta poles yang digunakan adalah Autosol.

3.3.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1. Mesin *Friction Welding* modifikasi dari mesin bubut dengan daya 2pk
2. Kertas gosok
3. Mesin *grinding-polishing*
4. Gergaji
5. Jangka sorong SPG dengan ketelitian 0,05mm
6. Gerinda MT 954 Gerinda Tangan 4
7. *Stopwatch*
8. Alat ukur tekanan gesek dan tempa *pressure gauge*
9. Mesin Uji Tarik
10. Alat uji kekerasan brinell

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah waktu gesek dengan variasi waktu tempa 40 detik, 80 detik, dan 120 detik dan tekanan tempa dengan variasi tekanan tempa 50 MPa, 55 MPa dan 60 MPa. Pemilihan variasi tempa tersebut mengacu dari hasil penelitian sebelumnya dengan hasil uji tarik rata-rata terbesar adalah 729 MPa pada tekanan tempa 52,64 MPa.

3.4.2 Variabel Terikat

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

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel kontrol adalah:

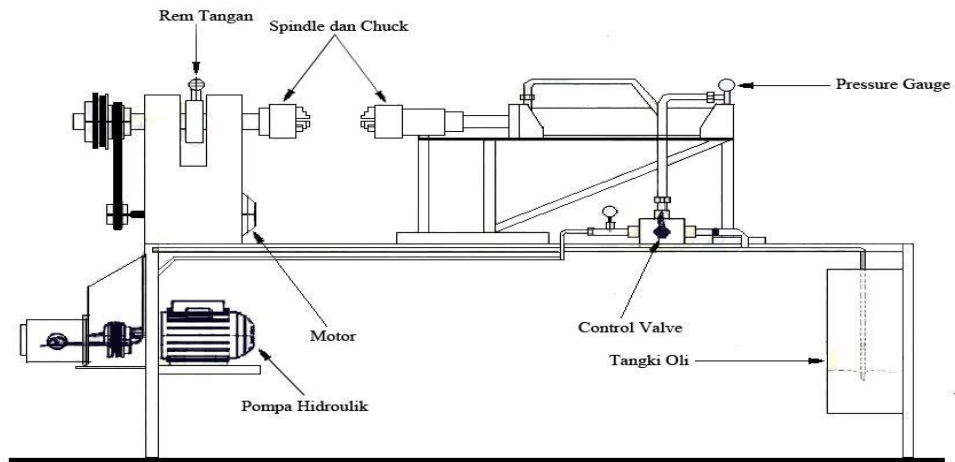
1. Gaya tekan gesek 18 MPa
2. Waktu *preheating* 10 detik
3. Waktu gesek 40 detik
4. *RPM Spindle* 4124 rpm
5. Tekanan tempa 50 MPa, 55 MPa dan 60 MPa
6. Waktu tempa 40 detik, 80 detik dan 120 detik

Pemilihan variabel kontrol tersebut mengacu pada hasil terbaik dari penelitian sebelumnya.

3.5 Proses Pengelasan

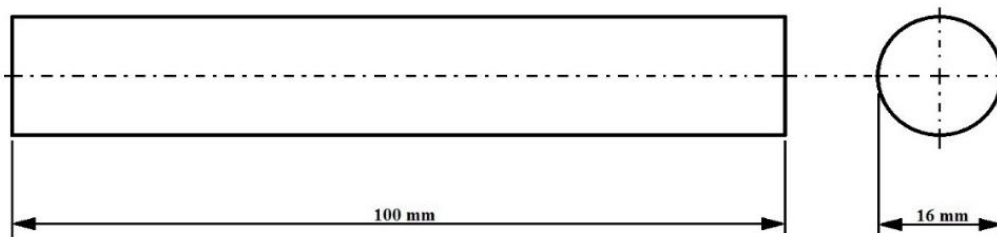
Berikut ini adalah langkah-langkah dalam proses *Friction Welding* :

1. Bahan dipotong dengan ukuran yang sudah ditentukan yaitu 100 mm
2. Spesimen yang sudah dipotong, dibubut dengan ukuran diameter 16 mm
3. Spesimen dicekam pada alat pencekam yang terpasang pada kepala lepas dan *rotating chuck*
4. Mesin dinyalakan dengan menekan tuas *on* pada mesin *friction*.
5. Setelah mesin menyala dan salah satu *chuck* berputar, tuas hidrolik ditarik naik untuk menggerakkan hidrolik sehingga kedua benda bersentuhan.
6. Lalu diberikan tekanan gesek sebesar 18 MPa dengan waktu gesek 40 detik
7. Setelah waktu terpenuhi maka mesin dimatikan dan dilakukan pengereman agar putaran mengalami perlambatan.
8. Kemudian setelah mesin berhenti spesimen diberikan tekanan tempa sebesar 50 MPa, 55 MPa dan 60 MPa dengan variasi waktu tempa selama 40 detik, 80 detik dan 120 detik.
9. Setelah waktu yang sudah ditentukan tercapai, lalu spesimen dilepas dari *chuck*.



Gambar 3.1 Skema alat *Friction Welding*

3.6 Dimensi Benda Kerja



Gambar 3.2 Spesimen

3.7 Proses Pengujian

Parameter pengujian meliputi beberapa pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter pengujian Tarik

Waktu tempa (s)	Tekanan Tempa (MPa)	Uji Tarik
40	50	3 spesimen
	55	3 spesimen
	60	3 spesimen
80	50	3 spesimen
	55	3 spesimen
	60	3 spesimen
120	50	3 spesimen
	55	3 spesimen
	60	3 spesimen

Tabel 3.2 Parameter uji kekerasan

Waktu tempa (s)	Tekanan Tempa (MPa)	Uji Kekerasan
	50	1 spesimen
40	55	1 spesimen
	60	1 spesimen
	50	1 spesimen
80	55	1 spesimen
	60	1 spesimen
	50	1 spesimen
120	55	1 spesimen
	60	1 spesimen

3.7.1 Pengujian Tarik

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

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

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

F : beban yang diberikan (N)

A_0 : luas penampang bahan sebelum dibebani (mm²)

Sedangkan regangan (ϵ) didapat dengan menggunakan rumus :

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

ϵ : persentase perpanjangan atau keuletan (%)

L_i : panjang akhir (mm)

L_0 : panjang awal (mm)

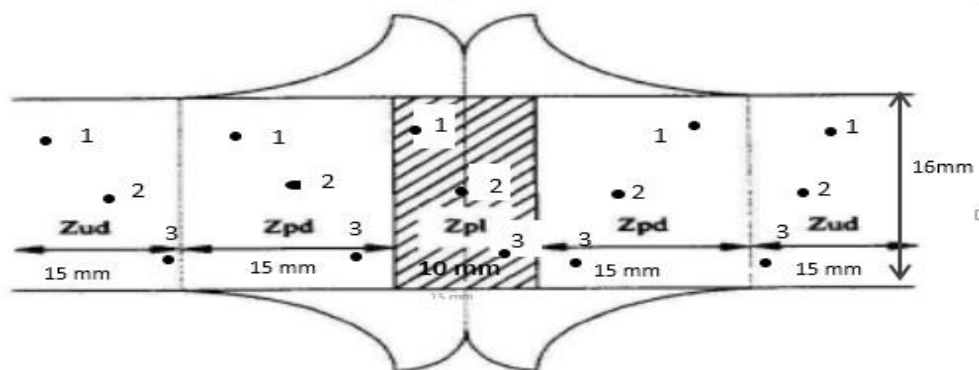
ΔL : selisih batang uji (mm)

Tabel 3.3 Hasil dan rata-rata uji tarik

Waktu tempa (s)	Tekanan tempa (MPa)	Hasil uji tarik σ (N/mm ²)			Rata-rata
		1	2	3	
40	50	1	1	1	1
	55	1	1	1	1
	60	1	1	1	1
80	50	1	1	1	1
	55	1	1	1	1
	60	1	1	1	1
120	50	1	1	1	1
	55	1	1	1	1
	60	1	1	1	1

3.7.2 Uji Kekerasan

Uji kekerasan ini menggunakan metode *brinell* menggunakan acuan ASTM E 10 - 01. Spesimen untuk uji kekerasan ini harus mempunyai permukaan yang rata dan halus agar pada pengujian bisa dengan dengan mudah untuk diidentifikasi. Pada uji kekerasan ini menggunakan alat *Electric Brinell Hardness Tester* dengan menggunakan indentor bola baja berbentuk bulat. Daerah yang akan diuji ditampilkan pada gambar 3.3 dibawah ini.



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

Gambar 3.3 Daerah pengujian kekerasan.

Berikut ini adalah langkah – langkah dalam melakukan pengujian kekerasan :

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

Tabel 3.4 Perencanaan Uji Kekerasan

Waktu tempa (s)	Tekanan tempa (MPa)	Nilai Kekerasan (BHN)													
		<i>Zpd</i>			<i>Zud</i>			<i>Zpl</i>							
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>					
40	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
120	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

3.8 Metode Analisis

Dalam penelitian dan penyusunan laporan ini menggunakan beberapa metode antara lain:

1. Studi literature

Mencari sumber terkait seperti jurnal atau paper, buku-buku perpustakaan, karya ilmiah dan informasi serta landasan yang akan dipakai untuk mencapai suatu tujuan penelitian.

2. Uji Hipotesis

Hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti disimpulkan bahwa hipotesis salah, dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi α sebesar 5% atau 0,05% dengan artian ada kemungkinan lima diantara seratus keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru (Sastrosupadi, 2000). Model acak untuk membuktikan hipotesis bahwa uji F dilakukan untuk membandingkan besaran pengaruh perlakuan atau pengaruh kontrol lokal (pengelompokan) dengan efek kondisi (galat) Model acak untuk membuktikan Hipotesis bahwa :

H_0 : Tidak ada pengaruh waktu tempa dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik.

H_a : Ada pengaruh waktu tempa dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik.

Jika nilai $\text{sig} > \sigma$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak.

Jika nilai $\text{sig} < \sigma$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima.

3. Pengujian Anova Dua Arah

Anova (*analysis of varian*) digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya suatu proses tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *sum of square* dari suatu parameter kendali terhadap Eksperimen faktorial merupakan eksperimen yang hampir semua taraf sebuah faktor tertentu dikombinasikan atau disilangkan dengan hampir semua taraf tiap faktor lainnya yang ada dalam eksperimen itu. Untuk mempermudah melakukan perhitungan penyajian data dibuat seperti tabel

Tabel 3.5 Tabel Anova

Sumber Variasi	Derajat Bebas (DB)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Rataan (KR)	F hitung	F tabel
					0.05 (5%)
Faktor A	A-1	$\frac{\sum(\sum y_i)^2}{r_B} - FK$	JK A/DBA	KTA/KTG	
Faktor B	B-1	$\frac{\sum(\sum y_j)^2}{r_A} - FK$	JK B/DBB	KTB/KTG	
Interaksi AB	(A-1)(B-1)	JK P - JK A - JK B	JK AB/DBAB	KTAB/KTG	
Galat	AB(r-1)	JK T - JK P	JK G/DBG		
Total	(ABr-1)	$\sum(\sum_{ijk})^2 - FK$			

Keterangan:

Perlakuan faktor A	= A
Perlakuan faktor B	= B
Jumlah ulangan	= r
Derajat bebas perlakuan (DBP)	= AB - 1
Derajat bebas faktor A (DBA)	= A - 1
Derajat bebas faktor B (DBB)	= B - 1
Derajat bebas faktor AB (DBAB)	= (A - 1) (B - 1)
Derajat bebas galat (DBG)	= AB (r - 1)
Derajat bebas total (DBT)	= (ABr - 1)
Faktor koreksi (FK)	= $\frac{(\sum y_i)^2}{A \times B \times r}$
Jumlah kwadrat total (JKT)	= $\sum(\sum_{ijk})^2 - FK$
Jumlah kwadrat perlakuan (JKP)	= $\frac{\sum(\sum y_i)^2}{r} - FK$
Jumlah kwadrat faktor A (JKA)	= $\frac{\sum(\sum y_i)^2}{r} - FK$
Jumlah kwadrat faktor B (JK faktor B)	= $\frac{\sum(\sum y_j)^2}{r_A} - FK$

Jumlah kwadrat faktor AB (JK faktor AB) = $JKP - JKA - JKB$

Jumlah kwadrat galat (JKG) = $JKT - JKP$

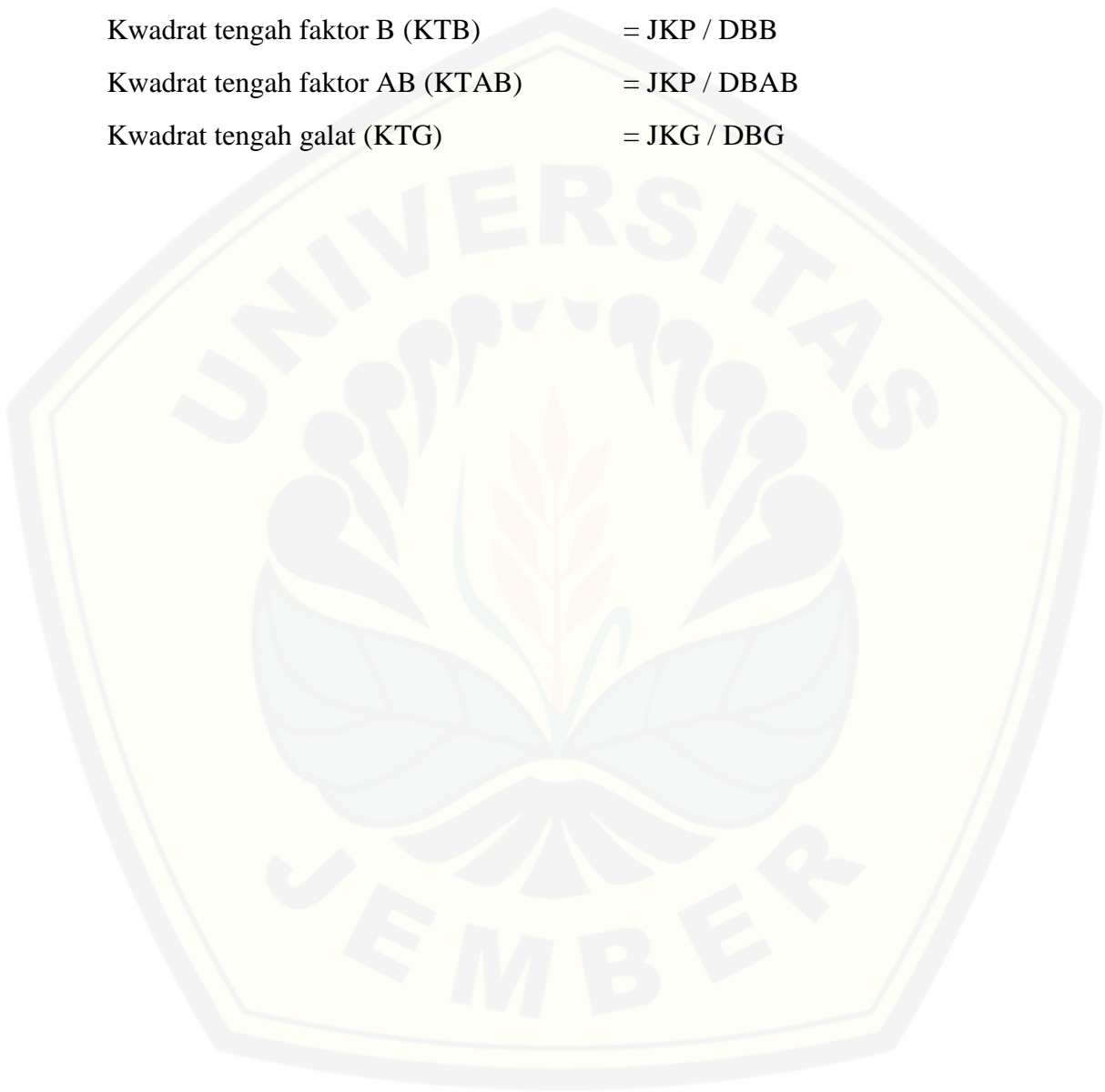
Kwadrat tengah perlakuan (KTP) = JKP / DBP

Kwadrat tengah faktor A (KTA) = JKP / DBA

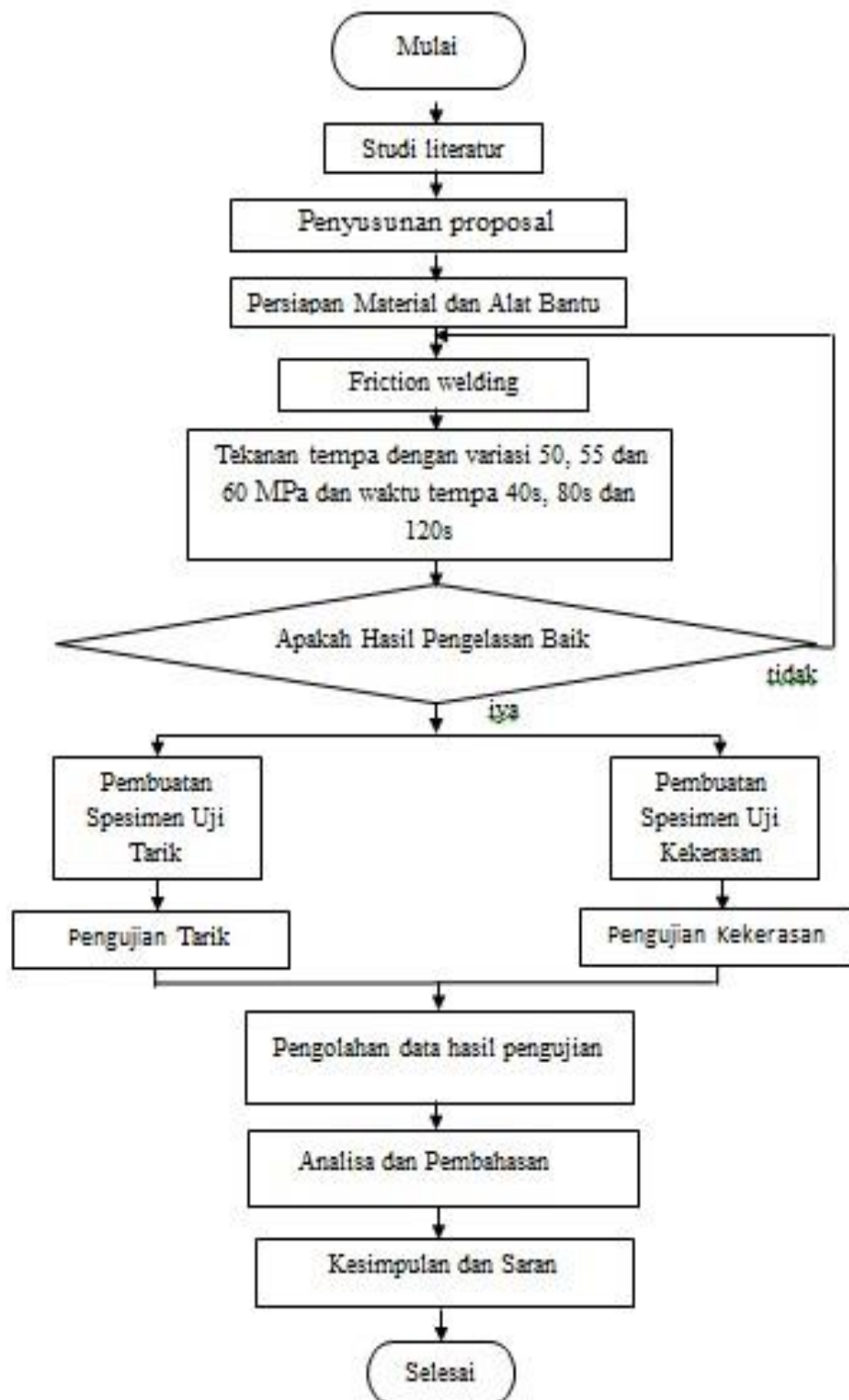
Kwadrat tengah faktor B (KTB) = JKP / DBB

Kwadrat tengah faktor AB (KTAB) = $JKP / DBAB$

Kwadrat tengah galat (KTG) = JKG / DBG



3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan dan saran.

Dari hasil penelitian pada proses *friction welding* yang dilakukan pada bahan baja AISI 1045 dengan variasi waktu tempa dan tekanan tempa dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Waktu tempa berpengaruh terhadap kekuatan tarik ataupun kekerasan hasil dari sambungan *friction welding*. Semakin lama waktu tempa yang diberikan maka semakin meningkat pula nilai dari uji tarik ataupun nilai kekerasannya.
2. Tekanan tempa berpengaruh terhadap kekuatan tarik ataupun kekerasan sambungan hasil lasan pada proses *friction welding*. Nilai dari kekuatan tarik ataupun kekerasan yang dihasilkan terus meningkat seiring bertambahnya tekanan tempa.

5.2 Saran

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

1. Perlu adanya pengembangan penelitian lanjutan untuk metode lain dari aspek material, termodinamika, desain dan manufaktur dengan bahan yang berbeda pula.
2. Perlu dilakukan perbaikan dan pembaruan untuk alat uji dan mesin lasnya agar mempermudah dan mempercepat proses penyambungan sehingga didapat hasil yang lebih baik lagi.
3. Perlu dilakukan pengujian-pengujian lain seperti uji *impact*, uji *bending*, uji puntir, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H. dan Daryanto. 1999. Ilmu Bahan. Jakarta, Bumi Aksara.
- Avner, Sidney, H., 1974, Introduction to physical metalurgi, 2nd Edition, Mc Graw-Hill Publishing Co. Ltd, Singapore.
- Callister, W.D., 2007, *Material Science and Engineering An Introduction 7th*, John Wiley & Sons, Canada.
- Davis, H, E., 1982, The Testing of Engineering Materials, Mc Graw Hill Inc., Auckland
- Djaprie, Sriati, Metalurgi Mekanik, Edisi Ketiga, Jilid I, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
- Djaprie, S. 2000. Metalurgi Fisik Modern Dan Rekayasa Material. Jakarta: Erlangga.
- Efendi, A. H. Fuad. Tugas Akhir. 2011. “Analisa Pengaruh Tekanan Tempa Dengan Metode *Direct Drive Friction Welding* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja St41 Sebagai *Alternative* Pengganti Proses Produksi As Roda Sepeda Motor.” Tidak Diterbitkan. Surabaya : Jurusan D3 Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- Fauzi, M. N. A., et. al. 2010. *Microstructure And Mechanical Properties Of Alumina-6061 Aluminum Alloy Joined By Friction Welding*. Materials and Design 31 (2010) 670–676
- Hadi, Amri. Skripsi. 2012. “Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Alumunium Paduan Seri 6061 Hasil Pengelasan Friction Welding Dengan Variasi Waktu Gesek.” Tidak Diterbitkan. Jember : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Husodo, N., B. L. Sanyoto, S. B. Setyawati, dan M. Mursid. 2013. *Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk Back Spring Pin*. *Jurnal Energy dan Manufaktur* Vol. 6, no. 1, April 2013:1-94.
- Kalpakjian, S., 2009, Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition In Si Units, New York, Illinois Institute of Technology.

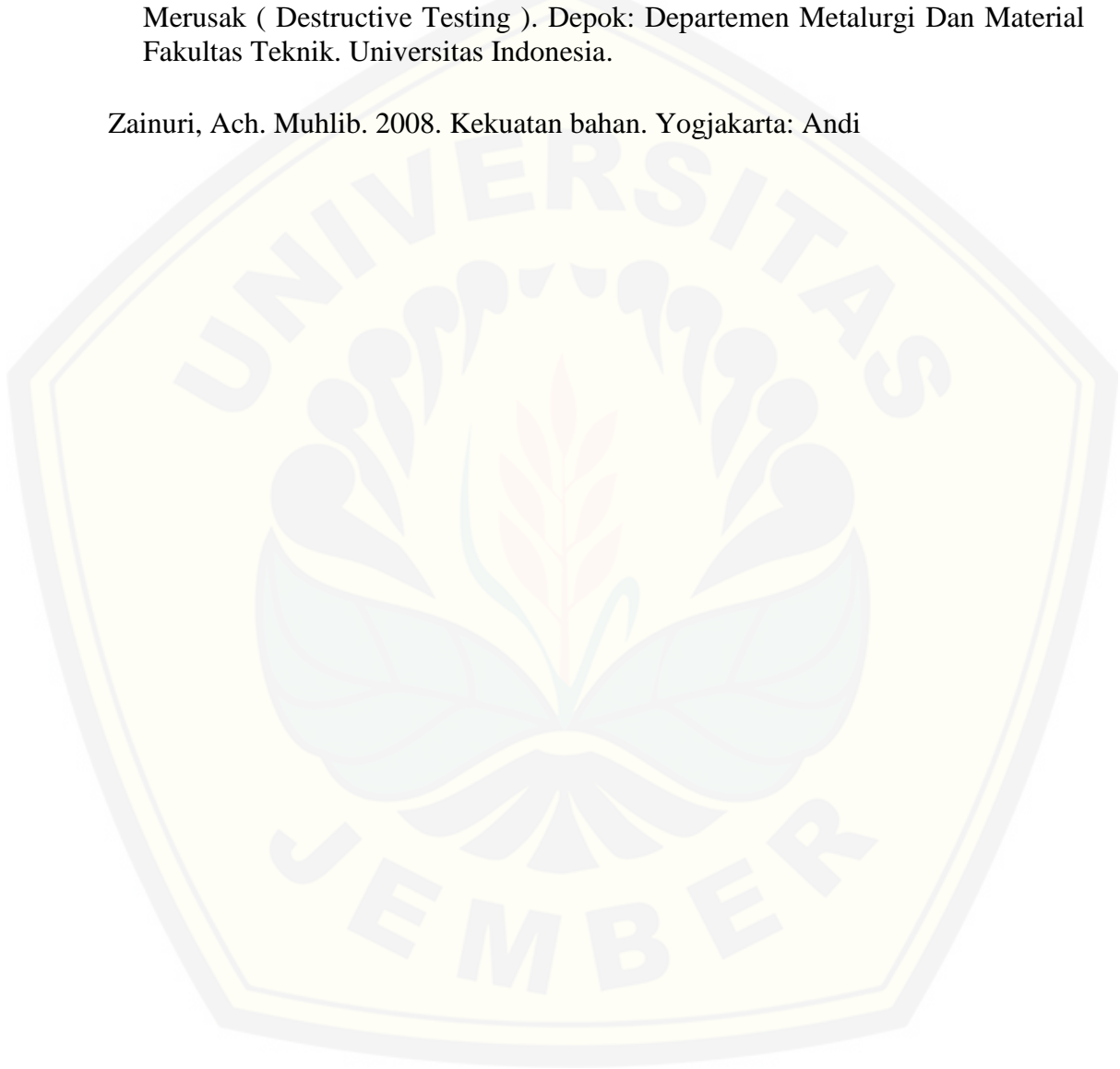
- Kurniawan P., I. 2007. *Perbedaan Nilai Kekerasan pada Proses Double Hardening dengan Media Pendingin Air dan Oli SAE 20 pada Baja Karbon. Skripsi.* Universitas Negeri Semarang.
- Kuswandi, A. 2010. Pengaruh Friction Time Terhadap Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si. *Skripsi.* Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- M. Reza Fadhila. 2016. *Pengujian bahan*, https://www.academia.edu/2325432/PENGUJIAN_BAHAN_I_BHN_PERKULIAHAN. (Di akses pada tanggal 27 maret 2016)
- Nugroho, Wahyu. 2010. *Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Terhadap Kekuatan Lasan Gesek Direct-Drive Pada Baja Karbon AISI 1045.* http://siaka.unhas.ac.id/snmme2015/1Rekayasa_Material.pdf (29 maret 2016).
- Nurhadi, Bedry. 2016. *Baja AISI 1045 Dan 4140.* Diakses 19 Agustus 2016, Dari <https://www.scribd.com/doc/310160656/Baja-AISI-1045-Dan-4140>
- Polami, Samareh Mohammadzadeh, et. al. 2014. *Joint-Site Structure Friction Welding Method As A Tool For Drive Pinion Light Weighting In Heavy-Duty Trucks.* Journal Of Materials Processing Technology 214 (2014) 1921-1927.
- Prasetyono, S., dan H. Subiyanto. 2012. *Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek dan Tekanan Tempa terhadap Impact Strength Sambungan Lasan Gesek Langsung pada Baja Karbon AISI 1045.* Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol.1, No.1,(2012)1-5.
- Sastrosupadi, Adji. 2000. *Rancangan Percobaan Praktis Bidang Pertanian.* Kanisius.Yogyakarta.
- Tiwan dan A. Ardian. 2005. *Penyambungan Baja AISI 1040 Batang Silinder Pejal dengan Friction Welding. Penelitian.* Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta..
- Teknologi pengelasan logam / oleh Harsono Wiryosumarto, Oshie Okumura. – cet 8. – Jakarta : pradya paramita, 2000.
- T. Sofyan, Bondan. 2010. *Pengantar Material Teknik.*Jakarta : salemba teknika.
- Winarto.2014.*Analisa Pengaruh Tekanan Tempa Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja St 41 Sebagai Dasar Proses Manufaktur Komponen*

Pengunci Pintu Mobil Box Dengan Las Gesek (Friction Welding). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Wirjosumarto, H. 2000. Teknik Pengelasan Logam. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Yuwono A, H. 2009. Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 pengujian Merusak (Destructive Testing). Depok: Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.

Zainuri, Ach. Muhlib. 2008. Kekuatan bahan. Yogyakarta: Andi



DAFTAR LAMPIRAN

A. F-tabel untuk level tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$)

x/y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.39	19.40
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.97	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.10	3.01	2.95	2.90	2.85
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.20	2.97	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.56	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.33	3.47	3.07	2.84	2.69	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.38	2.32	2.28
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.26
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.17
31	4.16	3.31	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.26	2.20	2.15
32	4.15	3.30	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14
33	4.14	3.29	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.24	2.18	2.13
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11

B. Tabel Penolong ANAVA Dua Jalur

t	Tekanan						Σ	
	50		55		60			
40	n ₁₁	3	n ₁₂	3	n ₁₃	3	n ₁₀	9
	\bar{Y}_{11}	501,9383333	Y_{12}	530,7553333	Y_{13}	597,8203333	Y_{10}	543,5046667
	$\sum Y_{11}$	1505,815	sig Y_{12}	1592,266	$\sum Y_{13}$	1793,461	$\sum Y_{10}$	4891,542
	$\sum Y^2_{11}$	7 61 777,2148	sig Y^2_{12}	8 54 859,4387	$\sum Y^2_{13}$	1076191,379	$\sum Y^2_{10}$	2692828,032
80	n ₂₁	3	n ₂₂	3	N ₂₃	3	n ₂₀	9
	\bar{Y}_{21}	557,4766667	Y_{22}	611,1536667	Y_{23}	682,6993333	Y_{20}	617,1098889
	$\sum Y_{21}$	1672,43	$\sum Y_{22}$	1 833,461	$\sum Y_{23}$	2048,098	$\sum Y_{20}$	5553,989
	$\sum Y_{2,21}$	9 34 837,6749	$\sum Y^2_{22}$	1 121 928,419	$\sum Y^2_{23}$	1399076,822	$\sum Y^2_{20}$	3455842,915
120	n ₃₁	3	n ₃₂	3	n ₃₃	3	n ₃₀	9
	\bar{Y}_{31}	672,3583333	Y_{32}	676,936	Y_{33}	690,5586667	Y_{30}	679,951
	sig Y_{31}	2017,075	$\sum Y_{32}$	2 030,808	$\sum Y_{33}$	2071,676	$\sum Y_{30}$	6119,559
	sig $Y^2_{,31}$	1 356 349,704	$\sum Y^2_{,32}$	1 376 354,429	$\sum Y^2_{33}$	1433046,528	$\sum Y^2_{30}$	4165750,661
Σ K	n ₀₁	9	n ₀₂	9	n ₀₃	9	n ₀₀	27
	\bar{Y}_{01}	577,2577778	Y_{02}	606,2816667	Y_{03}	657,0261111	Y_{00}	613,5218519
	$\sum Y_{01}$	5 195,32	$\sum Y_{02}$	5 456,535	$\sum Y_{03}$	5913,235	$\sum Y_{00}$	16565,09
	$\sum Y^2_{01}$	2 291 187,379	$\sum Y^2_{,02}$	2 498 282,848	$\sum Y^2_{,03}$	2832123,35	$\sum Y^2_{00}$	10314421,61

C. Perhitungan ANAVA

a) Perhitungan Jumlah Kuadrat (JK)

1. Jumlah Kuadrat Total (JK_T)

$$\begin{aligned} JK_T &= \sum Y_{00}^2 \\ &= 10314421,61 \end{aligned}$$

2. Jumlah Kuadrat Rerata/Koreksi (JK_R)

$$\begin{aligned} JK_R &= \frac{(\sum Y_{00})^2}{n_{00}} \\ &= \frac{(16565,09)^2}{27} \\ &= 10163044,69 \end{aligned}$$

3. Jumlah Kuadrat Reduksi (JK_{TR})

$$\begin{aligned} JK_{TR} &= JK_T - JK_R \\ &= 10314421,61 - 10163044,69 \\ &= 151376,9156 \end{aligned}$$

4. Jumlah Kuadrat Antar Kelompok (JK_A)

$$\begin{aligned}
 JK_A &= \left[\frac{\sum Y_{11}}{n_{11}} + \frac{\sum Y_{12}}{n_{12}} + \frac{\sum Y_{13}}{n_{13}} + \frac{\sum Y_{21}}{n_{21}} + \frac{\sum Y_{22}}{n_{22}} + \frac{\sum Y_{23}}{n_{23}} + \right. \\
 &\quad \left. \frac{\sum Y_{31}}{n_{31}} + \frac{\sum Y_{32}}{n_{32}} + \frac{\sum Y_{33}}{n_{33}} \right] - JK_R \\
 &= \left[\frac{(1505,815)^2}{3} + \frac{(1592,266)^2}{3} + \frac{(1793,461)^2}{3} + \right. \\
 &\quad \frac{(1672,43)^2}{3} + \frac{(1833,461)^2}{3} + \frac{(2048,098)^2}{3} + \\
 &\quad \left. \frac{(2017,075)^2}{3} + \frac{(2030,808)^2}{3} + \frac{(2071,676)^2}{3} \right] - \\
 &\quad 10163044,69 \\
 &= 122693,0024
 \end{aligned}$$

5. Jumlah Kuadrat Antar Kolom (JK_{AK})

$$\begin{aligned}
 JK_{AK} &= \left[\frac{(\sum Y_{01})^2}{n_{01}} + \frac{(\sum Y_{02})^2}{n_{02}} + \frac{(\sum Y_{03})^2}{n_{03}} \right] - JK_R \\
 &= \left[\frac{(5195,32)^2}{9} + \frac{(5456,535)^2}{9} + \frac{(5913,235)^2}{9} \right] \\
 &\quad - 10163044,69 \\
 &= 29341,11531
 \end{aligned}$$

6. Jumlah Kuadrat Antar Baris (JK_{AB})

$$\begin{aligned}
 JK_{AB} &= \left[\frac{(\sum Y_{10})^2}{n_{10}} + \frac{(\sum Y_{20})^2}{n_{20}} + \frac{(\sum Y_{30})^2}{n_{30}} \right] - JK_R \\
 &= \left[\frac{(4891,542)^2}{9} + \frac{(5553,989)^2}{9} + \frac{(6119,559)^2}{9} \right] \\
 &\quad - 10163044,69 \\
 &= 83953,00759
 \end{aligned}$$

7. Jumlah kuadrat interaksi (JK_I)

$$\begin{aligned}
 JK_I &= JK_A - JK_{AK} - JK_{AB} \\
 &= 122693,0024 - 29341,11531 - 83953,00759 \\
 &= 9\,398,879533
 \end{aligned}$$

8. Jumlah Kuadrat Dalam Kelompok (JK_D)

$$\begin{aligned} JK_D &= JK_{TR} - JK_A \\ &= 151376,9156 - 122693,0024 \\ &= 28683,91317 \end{aligned}$$

b) Menentukan Derajat Bebas (Df)

1. $db_t = n_{00} = n_t = 27$
2. $db_{tr} = n_t - 1 = 27 - 1 = 26$
3. $db_a = (b \times k) - 1 = (3 \times 3) - 1 = 8$
4. $db_{ak} = k - 1 = 3 - 1 = 2$
5. $db_{ab} = b - 1 = 3 - 1 = 2$
6. $db_i = (b - 1) \times (k - 1) = (3 - 1) \times (3 - 1) = 4$
7. $dbd = nT - (b \times k) = 27 - (3 \times 3) = 18$

c) Perhitungan rerata jumlah kuadrat (RJ_K)1. RJ_K Varian Antar Baris

$$\begin{aligned} S^2_{AB} &= \frac{RJK_{AB}}{DB_{AB}} = \frac{JK_{AB}}{DB_{AB}} \\ &= \frac{83953,00759}{2} \\ &= 41976,5038 \end{aligned}$$

2. RJ_K Antar Kolom

$$\begin{aligned} S^2_{AK} &= \frac{RJK_{AK}}{DB_{AK}} = \frac{JK_{AK}}{DB_{AK}} \\ &= \frac{29341,11531}{2} \\ &= 14670,55766 \end{aligned}$$

3. RJ_K Atau Varian Interaksi

$$\begin{aligned} S^2_I &= \frac{RJK_I}{DB_I} \\ &= \frac{9398,879533}{4} \end{aligned}$$

$$= 2349,719883$$

4. RJK Atau Varian Dalam Kelompok

$$\begin{aligned} S^2_D = RJK_D &= \frac{JK_D}{DB_D} \\ &= \frac{28683,91317}{18} \\ &= 1593,550732 \end{aligned}$$

d) Perhitungan Untuk Mencari Fhitung Untuk Sumber Varian.

$$1. Fh_K = \frac{RJK}{RJKD} = \frac{14670,55766}{1593,550732} = 18,4124137$$

$$\text{Lalu dibagi } DB_{ak} = \frac{18,4124137}{2} = 9,206206848$$

$$Fh_K = 9,206206848$$

2. Fhitung Antar Kelompok

$$Fh_{ab} = \frac{RJKAB}{RJKD} = \frac{41976,5038}{1593,550732} = 52,68298394$$

$$\text{Lalu di bagi } DB_{ab} = \frac{52,68298394}{2} = 26,34149197$$

$$Fh_{ab} = 26,34149197$$

3. Fhitung interaksi

$$Fh_I = \frac{RJKI}{RJKD} = \frac{2349,719883}{1593,550732} = 5,898073621$$

$$\text{Lalu di bagi } Db_I = \frac{5,898073621}{4}$$

$$Fh_I = 1,474518405$$

D. Tabel Minitab Anova Dua Arah.

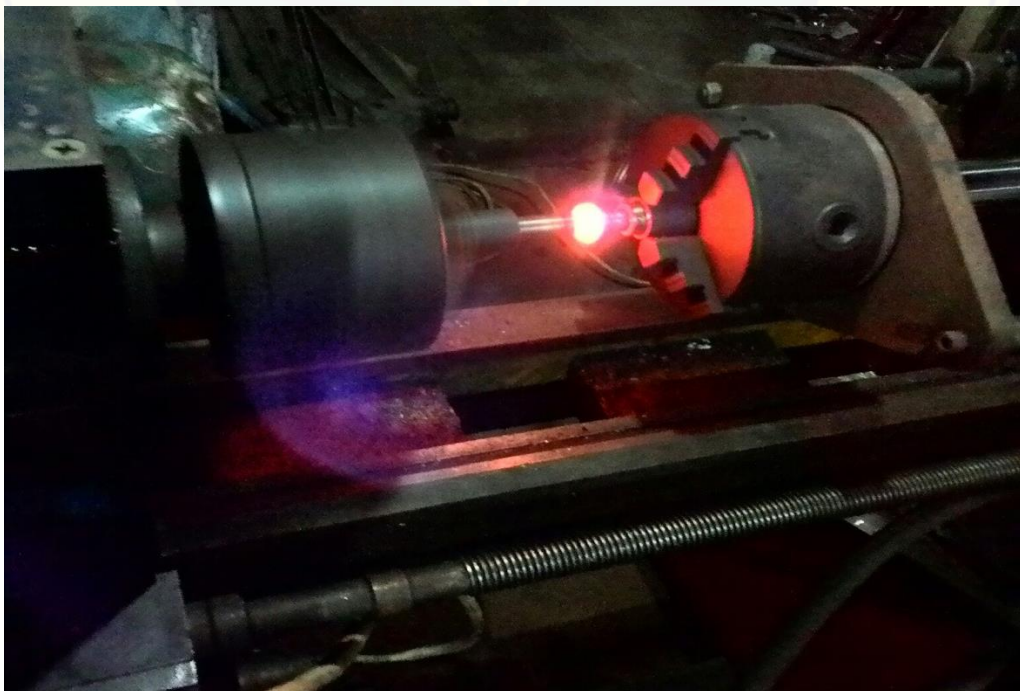
Two-way ANOVA: hasil uji tarik versus waktu tempa, tekanan tempa

Source	DF	SS	MS	F	P
waktu tempa	2	83953	41976.5	26.34	0.000
tekanan tempa	2	29341	14670.6	9.21	0.002
Interaction	4	9399	2349.7	1.47	0.251
Error	18	28684	1593.6		
Total	26	151377			

Two-way ANOVA: Uji kekerasan versus waktu tempa, tekanan tempa

Source	DF	SS	MS	F	P
waktu tempa	2	775.41	387.704	11.71	0.001
tekanan tempa	2	783.19	391.593	11.83	0.001
Interaction	4	134.81	33.704	1.02	0.424
Error	18	596.00	33.111		
Total	26	2289.41			

E. Proses Pengelasan Gesek



F. Hasil Dari Pengelasan Gesek.



G. Proses Pembuatan Spesimen Uji Tarik



H. Hasil Pembuatan Spesimen Uji Tarik



I. Alat friction welding (las gesek)



J. Sertifikat Baja AISI 1045

05/04/2010 09:27 5004294

P.T. BHINNEKA BAJANAS
S.L.U.P. No. 12045/709-02/PB/XII/2000

Jl. Karang Bolong Raya No. 5, Ancol Barat, Jakarta - Indonesia P.O. Box 4103/UKT
Telp. (021) 2311 2311, 2311 2311, 2311 2311, 2311 2311 Faks. (021) 2311 2311

TEST CERTIFICATE

Nr./No./No.: 194.014 08.04.17
Seite/Page/Page: 01

BB/244006
Users Auftrag Nr./Materiale Order No./N° commande d'achat
938.017/RI
Lieferanten/Dispatch note/Nota d'expédition
52/136.928/SH

Reifungsstand/Object of test/Object d'examen
STEEL BARS K945 (AISI 1045)
K 945/ E M S 45

Umfang der Lieferung/Volume of delivery/Conte descriptif

	Gewicht kg Weight kg Poids kg	Schmelze Heat No. No. de coulée	Prüf-Nr. Test No. Essai n°
01 DIA. 16.00 MM	2380.00	110318709	
02 DIA. 32.00 MM	609.00	301702	
03 DIA. 75.00 MM	2092.00	5101750	

SERTIFIKAT INI HANYA BERLAKU
DO NO: *awak*

COF!

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Schmelze Heat No. No. de coulée	C	Si	Mn	P	S	CR	Ni	Mo	V	Al	Cu
110318709	47	28	77	019	007	03	01				02
301702	46	19	65	018	014	03	01				02
5101750	48	24	71	010	010	02	01				02

PT. BHINNEKA BAJANAS

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

Prüf-Nr. Test No. Essai n°	Haerte/ Brinell	Tensile Strength (Rm) N/mm ²	Yield Strength (Rp 0.2) N/mm ²	Elongation %	Reduction %
01	230	705	390	24	40.0
02	230	705	400	23	40.5
03	229	600	355	16	40.0

K. Proses Pengujian Kekerasan



L. Material Pengujian Kekerasan

