PENGARUH VARIASI SUDUT TIRUS PIN DAN *ROTATION SPEED* TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS HASIL *FRICTION STIR WELDING* PADA ALUMINIUM

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

TIYO BUDI ASMONO
NIM. 125060200111058

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI SUDUT TIRUS PIN DAN *ROTATION SPEED* TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS HASIL *FRICTION STIR WELDING* PADA ALUMINIUM

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

TIYO BUDI ASMONO
NIM. 125060200111058

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Endi Sutikno, MT.	**Ir.Tjuk Oerbandono,MSc.CSE**
NIP. 19590411 198710 1 001	**NIP. 19670923 199303 1 002**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI SUDUT TIRUS PIN DAN *ROTATION SPEED* TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS HASIL *FRICTION STIR WELDING* PADA ALUMINIUM

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

TIYO BUDI ASMONO
NIM. 125060200111058

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 17 Juli 2014
Majelis Penguji

Skripsi I

Prof. Ir. I. N.G. Wardana,M.Eng.,Ph.D.
NIP. 19590703 198303 1 002

Skripsi II

Ir.Erwin Sulistyo,MT.
NIP. 196612131998021001

Skripsi III

Bayu Satria Wardana,ST.,M.Eng.
NIP. 115060207111036

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1
JurusanTeknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 197508021999032002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas ridho dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **"Pengaruh Variasi Sudut Tirus Pin dan *Rotation Speed* Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Hasil *Friction Stir Welding* Pada Aluminium "** dengan baik.

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, banyak hambatan dan rintangan yang penulis alami namun berkat bantuan dari semua pihak skripsi ini dapat terselesaikan, oleh karena itu pada kesempatan ini diperkenankan penulis untuk mengutarakan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Nurkholish, ST, M.Eng., Dr.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Bapak Purnami, ST., MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Widya Wijayanti, ST., MT., Dr.Eng Selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. Selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi dan Selaku Dosen pembimbing II yang dengan sabar memberikan bimbingan dan arahan selama proses penulisan tugas akhir.
5. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan segala bimbingan, pengarahan, motivasi, dan masukan .
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang bersedia berbagi ilmunya. Khususnya Mas Arif Hadi Wiyono selaku Laboran Laboratorium Proses Produksi I Universitas Brawijaya Malang dan Bapak Suhastomo selaku Laboran Laboratorium Pengujian Bahan yang telah membantu pelaksanaan penelitian.
7. Orang yang paling berpengaruh dalam hidup saya yaitu kedua orang tua tercinta, Bapak Dimun tono dan Ibu Sarini serta kakak tercinta Rohmiati,sumiasih, sarbiyanto,suparmi,siti umsiyah. Terima kasih atas curahan kasih sayang, doa, dan dorongan baik moril maupun materil kepada penulis selama ini.

8. Terakhir Teman-teman Jurusan Teknik Mesin terutama,Rezan nur fadli,Vikky rosyad, Danu wiharjo, Ali'aqshan,Dio sefidiantoro, Vidi ilham patria, Priza hermawan,Marion vido,Yanuar pribadi, Sulthon adip, Bahar sudrajad dan Ary widiyanto.

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penenelitian selanjutnya.

Malang, 20 juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI iii
DAFTAR TABEL vi
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR LAMPIRAN viii
RINGKASAN ix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Batasan Masalah 2
1.4. Tujuan Penelitian 3
1.5. Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1. Penelitian sebelumnya 4
2.2. Pengertian pengelasan 5
2.3. Klasifikasi pengelasan 5
2.4. *Friction stir welding* 6
2.5. Jenis sambungan pada FSW 8
2.5.1 Sambungan *butt join* 8
2.5.2 Sambungan tumpuk 9
2.6 *Energi input* 10
2.7 Zona pengelasan 12
2.8 Perancangan *tool* 13
2.8.1 Bentuk pin tirus 15
2.9. Aluminium 17
2.9.1 Klasifikasi paduan aluminium 17
2.9.2 Unsur – unsur paduan aluminium 19
2.10. Pengujian tarik 21
2.11 Anova dua jalur 23

2.12 Hipotesis 25

BAB III METODE PENELITIAN 26

3.1 Metode penelitian 26
3.2 Tempat penelitian 26
3.3 Variabel penelitian 26
3.3.1 Variabel bebas 26
3.3.2 Variabel terikat 26
3.3.3 Variabel terkontrol 27
3.4 Spesifikasi alat dan bahan 27
3.4.1 Spesifikasi alat 27
3.4.2 Bahan penelitian 29
3.5 Prosedur penelitian 30
3.6 Proses pengelasan 31
3.7 Proses pengujian kekuatan tarik 31
3.8 Rancangan penelitian 32
3.8.1 Analisa data 32
3.8.2 Analisa statistik 34
3.9 Diagram Alir 35

BAB IV PEMBAHASAN 36

4.1 Data Hasil Penelitian 36
4.1.1 Data kekuatan tarik Aluminium hasil pengelasan 36
4.2 Pengolahan data hasil penelitian 38
4.2.1 Menghitung *Ultimate tensile strength* 38
4.2.2 Anova 39
4.3 Pembahasan 42
4.3.1 Hubungan antara sudut tirus pin terhadap kekuatan tarik sambungan las 42
4.3.2 Hubungan antara *rotation speed* terhadap kekuatan tarik sambungan las 44

BAB V PENUTUP 46
5.1 Kesimpulan 46
5.2 Saran 46
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Halaman

2.1	Tabel material tool dan aplikasinya	14
2.2	Tabel Daftar statisik induk	23
2.3	Tabel ringkasan Anova	25
3.1	Tabel Keterangan dimensi benda kerja uji tarik	32
3.2	Tabel rancangan data pengujian	33
4.1	Table data hasil uji tarik pada sambungan las	36
4.2	Tabel data pengolahan hasil uji tarik sambungan las	38
4.3	Tabel data statistik induk perhitungan Anova kekuatan tarik rata- rata	40
4.4	Tabel data ringkasan Anova	41

DAFTAR GAMBAR

Halaman

2.1 Klasifikasi pengelasan 6
2.2 Skema Pengelasan *Friction Stir Welding* 7
2.3 Diskripsi Proses FSW Pada Sambungan *Butt* 8
2.4 Bentuk *Tool* dan sambungan *lap join* 9
2.5 Zona Pengelasan Pada *Friction Stir Welding* 12
2.6 Konfigurasi *Shoulder* dan *Probe* 14
2.7 Pin bentuk tirus 15
2.8 Bentuk pin tirus sebelum dan sesudah digunakan pada *FSW* 16
2.9 Kurva Tegangan-Regangan 21
3.1 Mesin Frais (*Milling*) 27
3.2 Mesin uji tarik 28
3.3 Dimensi Benda Kerja 29
3.4 Dimensi Dengan Variasi Sudut Tirus Pin 30
3.5 Tool Dengan Pin Tirus 30
3.6 Dimensi Benda Kerja Uji Tarik 32
3.7 Diagram Alir Penelitian 35
4.1 Grafik Hubungan Pengaruh Variasi sudut tirus pin Terhadap Kekutan – tarik Sambungan Las Pada Aluminium 42
4.2 Grafik hubungan pengaruh *Rotation speed* terhadap kekuatan tarik – sambungan las pada Aluminium 44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil pengelasan
Lampiran 2 Foto Mikro
Lampiran 3 Hasil EDAX (komposisi)
Lampiran 4 Surat keterangan uji tarik
Lampiran 5 Dokumentasi kegiatan penelitian

RINGKASAN

Tiyo Budi Asmono, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, juli 2014, *Pengaruh variasi sudut tirus pin dan rotation speed terhadap kekuatan tarik sambungan las hasil friction stir welding*, Dosen Pembimbing : Endi Sutikno dan Tjuk Oerbandono.

Friction stir welding (FSW) merupakan salah satu teknik pengelasan baru yang diciptakan oleh *The Welding Institute* (TWI),Cambridge,Inggris.FSW termasuk *unconsumable solid-state joining process* yang berarti pengelasan tanpa bahan tambah dan suhu kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja. Prinsip kerja dari FSW adalah memanfaatkan gesekan dari tool yang berputar dan bergerak pada alur pengelasan dengan benda kerja yang diam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh parameter - parameter utama yang ada pada proses pengelasan FSW (*friction stir welding*) terhadap kekuatan tarik sambungan las Aluminium, pada penelitian kali ini pengelasan akan dilakukan dengan bantuan mesin milling standar, dan tipe sambungan yang digunakan adalah *butt joint*. Pada penelitian kali ini melibatkan tiga parameter utama, dimana dua parameter yaitu sudut tirus pin dan *rotation speed* divariasikan,dan travelspeed (kecepatan pengelasan) dijaga konstan. Sudut tirus yang digunakan (101^0; 112^0;121^0 dan 129^0 sedangkan *rotation speed* (1096; 1452; dan 1842 rpm) dan kecepatan pengelasan dijaga konstan pada 55 mm/menit.Dari penelitian kali ini tegangan tarik maksimum yang diperoleh adalah 116,05 MPa, tegangan tarik maksimum yang diperoleh merupakan hasil pengelasan pada kondisi dimana *sudut tirus* 121^0 dan rotation speed 1842 rpm.

Kata Kunci: Sudut tirus pin, *rotation speed*, kekuatan tarik aluminium, *friction stir welding*.

.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia industri khususnya dunia manufacturing tidak henti-hentinya menciptakan produk baru, sehingga kehidupan manusia modern saat ini tidak dapat lepas dari teknologi. Teknlogi yang berkembang dimanfaatkan pelaku industri untuk mendapatkan efisiensi dan produktivitas yang tinggi yang bisa mengurangi biaya operasi atau ongkos kerja sehingga terpenuhi prinsip ekonomi dengan jumlah persaingan yang ketat dan permintaan yang begitu banyak serta kualitas produk yang harus mendukung menuntut kebutuhan teknik baru untuk dapat meyeimbangi kebutuhan pasar. Teknik pengelasan banyak diaplikasikan dalam proses penyambungan,karena karakteristiknya yang lebih ringan dan prosesnya yang lebih sederhana, sehingga biaya yang diperlukan relatif lebih murah.

Alumunium pada umumnya merupakan salah satu logam yang sangat penting dibidang teknik, diantaranya untuk bahan struktur atau mesin, Aluminium mempunyai berbagai keunggulan antara lain ringan,mempunyai sifat mampu bentuk *(formability)* yang baik, tahan korosi, dan kekuatan tariknya dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin atau perlakuan panas serta mempunyai titik lebur yang rendah, sehingga sangat sulit untuk memanaskan atau mencairkan hanya sebagian dari material tersebut. Oleh kerena itu mampu sifat las alimunium dinilai kurang baik jika dibandingkan dengan baja. Untuk hal itu maka telah ditemukan metode pengelasan yang baru, yaitu pengelasan (*friction stir welding)*.

Pengelasan adu gesek *(friction stir welding)* ditemukan pada tahun 1991, proses pengelasan adukan gesek *(Friction Stir Welding)* dikembangkan, dan dipatenkan oleh The Welding Institute (TWI) di Cambridge, kerajaan Inggris. Mesin las adukan gesek yang pertama kali dibuat dan dijual adalah produksi ESAB Welding and Cutting Products, pada pabrik mereka yang berada di Laxa, Swedia. Pengembangan proses ini, berubah secara signifikan dari gerak putaran konvensional dan gesekan linier yang saling berbalasan, menjadi penyambungan dua buah material dengan media gesek (perkakas las).

Metode FSW menghasilkan daerah *Thermomechanic Affected Zone* (TMAZ) yang lebih kecil dibandingkan dengan pengelasan busur nyala *(fusion welding)*. Metode pengelasan ini pun bisa menekan biaya proses menjadi lebih murah karena hanya memerlukan *energy input*

yang rendah, selain itu potensi kegagalan akibat bahan tambah pun bisa direduksi karena metode ini tidak memerlukan bahan tambah. Hasil pengelasan memiliki permukaan yang relatif rata, halus, kuat dan tidak berpori dibanding hasil pengelasan tradisional. Metode ini pun ramah lingkungan karena tidak ada uap, percikan dan tidak ada silau saat proses berlangsung.Metode ini dapat digunakan juga untuk aluminium paduan yang tidak dapat disambung dengan las cair. Parameter pengelasan dari FSW meliputi kecepatan putar *(rotational speed),* kecepatan tempuh *(travel speed)*, kemiringan *tool (tool tilt)*, kedalaman *shoulder (shoulder plunge),* kedalaman penetrasi *probe.*

Pada penelitian sebelumnya Ary wediyanto (2013) meneliti tentang pengaruh *variasi lebar celah dan kecepatan putar terhadap kekuatan tarik sambungan las (friction stir welding) pada alumunium* dan hasil yang ditunjukkan setelah dilakukan pengujian. Semakin besar lebar celah yang diberikan maka gesekan antara *tool welding* dan material akan semakin kecil akibat bidang kontak yang bergesekan semakin sedikit sehingga panas yang dihasilkan akan semakin sedikit dan mengakibatkan kekuatan tarik sambungan las menurun sementara Semakin tinggi kecepatan putar yang diberikan maka *heat input* yang dihasilkan akan semakin besar, dan kekuatan tarik yang dihasilkan juga akan meningkat. Namun kecepatan putar yang terlalu tinggi membuat *heat input* yang dihasilkan semakin besar sehingga terjadi perubahan fisik atau struktur pada meterial yang mengakibatkan kekuatan tarik menurun.Pada rancangan variasi sudut tirus pin dengan diameter yang sama yaitu 7 mm maka akan terjadi perbedan luas bidang kontak yang terjadi antara pin dan benda kerja dimana semakin besar sudut yang divariasikan maka luas bidang kontak antara pin dan benda kerja semakin kecil serta pengaruh terhadap putaran yang digunakan. Karena itu kami akan melakukan penelitian pengaruh kedua parameter tersebut pada proses FSW

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi sudut tirus pin dan *rotation speed* terhadap kekuatan tarik hasil *friction stir welding* pada aluminium.

1.3 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini dilakukan batasan yaitu

1. Variasi ukuran sudut tirus pin dengan diameter sama yaitu 7 mm.
2. Bahan yang digunakan adalah plat aluminium dengan tebal 2,5 mm. .
3. Tipe sambungan las yaitu *butt join.*

4. Material *tool* yang digunakan adalah HSS dengan diameter *shoulder* 14 mm,dan panjang pin 2 mm.
5. Mesin yang digunakan untuk pengelasan yaitu mesin *milling* universal

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan umum yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan harga kekuatan tarik yang ideal pada pengaruh bidang kontak benda kerja dan pin dimana bidang kontak bentuk tirus yang semakin kecil berpengaruh pada kecepatan putar pada pengelasan *(friction stir welding)*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan pengaturan kecepatan putar dan variasi sudut tirus *pin* yang sesuai.
2. Mampu menerapkan teori yang didapat dibangku perkuliahan, khususnya pada teknik pengelasan.
3. Dapat dijadikan acuan dan motivasi pembaca agar dapat melakukan penelitian lebih lanjut.
4. Sebagai usaha pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang selalu berkembang tiap tahunnya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Patil dan Soman (2010) tentang pengaruh *tool pin profil* dan kecepatan pengelesan pada aluminium AA6082-O pada sambungan hasil *friction stir welding* dengan tipe sambungan *butt joint* dimana diperoleh hasil bahwa, *pin profil* dan kecepatan pengelasan tidak berpengaruh besar pada tampilan luar dari hasil pengelesan akan tetapi berpengaruh besar pada struktur sambungan dan sifat – sifat dari material yang akan dilas. Dari penelitian yang mereka lakukan diperoleh kesimpulan bahwa *profil pin* dengan bentuk ulir dan dengan kecepatan pengelasan 70 mm/min mencapai kekuatan tarik tertinggi yaitu 92,30 % dari kekuatan *raw material*.

Ary wediyanto (2013) meneliti tentang pengaruh variasi lebar celah dan kecepatan putar terhadap kekuatan tarik sambungan las hasil *(friction stir welding) pada* alumunium Hasil yang ditunjukkan adalah Semakin tinggi kecepatan putar yang diberikan maka *heat input* yang dihasilkan akan semakin besar, dan kekuatan tarik yang dihasilkan juga akan meningkat. Namun kecepatan putar yang terlalu tinggi membuat *heat input* yang dihasilkan semakin besar sehingga terjadi perubahan fisik atau struktur pada meterial induk yang akan disambung dan mengakibatkan kekuatan tarik menurun demikian juga semakin besar lebar celah yang diberikan maka gesekan antara *tool welding* dan material akan semakin kecil akibat bidang kontak yang bergesekan semakin sedikit sehingga panas yang dihasilkan akan semakin sedikit dan mengakibatkan kekuatan tarik sambungan las menurun.

Dapat dilihat bahwa Pada variasi lebar celah 0 mm, kecepatan putar 1452 rpm, nilai kekuatan tarik yang didapat adalah sebesar 112,44 MPa, kemudian terjadi peningkatan kekuatan tarik pada kecepatan putar 1842 rpm, dengan nilai 117,78 MPa, lalu terjadi penurunan nilai kekuatan tarik pada kecepatan putar 2257 rpm dengan nilai 100 MPa.Pada kecepatan 1842 rpm sambungan mengalami peningkatan, hal ini karena panas yang dihasilkan akibat gesekan antara shoulder dan benda kerja cukup untuk melunakkan logam induk sehingga kekuatan tariknya meningkat. Pada kecepatan 2257 rpm nilai kekuatan tarik mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena semakin tinggi nilai kecepatan putar yang ditambah maka gesekan yang terjadi antara permukaan *shoulder* dan benda kerja akan semakin besar, dan menyebabkan *heat input* yang

dihasilkan juga semakin besar sehingga terjadi perubahan fisik atau struktur pada logam induk akibat panas yang berlebihan.

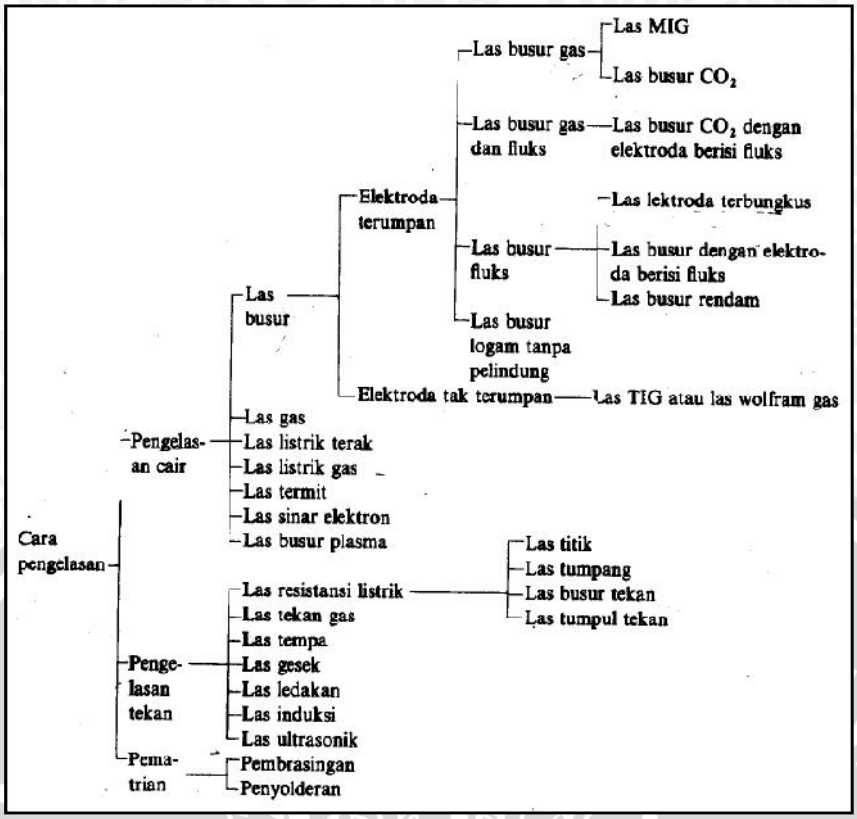
2.2 Pengertian Pengelasan

Pengelasan merupakan suatu proses penting di dalam dunia industri dan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pertumbuhan industri, karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Pengelasan adalah proses penyambungan setempat antara dua bagian logam atau lebih dengan memanfaatkan energi panas. Pengelasan merupakan teknik penyambungan logam yang dipergunakan secara luas, seperti pada kontruksi bangunan baja dan kontruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi pengelasan dikarenakan dalam proses pembuatan suatu kontruksi bangunan atau mesin akan menjadi lebih ringan dan lebih sederhana, sehingga biaya produksi menjadi lebih murah dan lebih efisien.

Berdasarkan pengertian dari Deutsche Industrie Normen (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Teknik pengelasan secara sederhana telah ditemukan dalam rentang waktu antara 4000 sampai 3000 SM. Setelah energi listrik dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan pesatnya sehingga menjadi suatu teknik penyambungan yang mutakhir. Hingga saat ini telah dipergunakan lebih dari 40 jenis pengelasan.

2.3 Klasifikasi Pengelasan

Sampai saat ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, hal ini disebabkan karena perlu adanya kesepakatan dalam hal-hal tersebut. Berdasarkan cara kerjanya, klasifikasi pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian. Untuk lebih jelasnya klasifikasi cara pengelasan dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini.

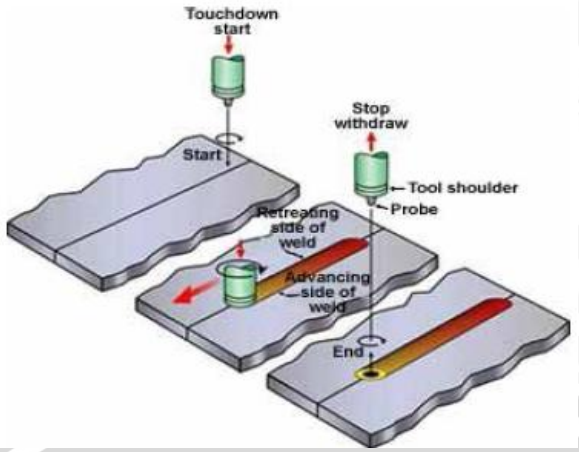


Gambar 2.1 Klasifikasi Cara Pengelasan
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 8

2.4 *Friction Stir Welding*

Friction stir welding (FSW) merupakan salah satu teknik pengelasan baru yang diciptakan oleh The Welding Institut (TWI), Cambridge, Inggris. FSW termasuk pengelasan tanpa bahan tambah dan suhu kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja dan digunakan untuk aplikasi dimana kebutuhan akan perubahan karakteristik dasar benda kerja bisa diminimalisir sekecil mungkin.

Dalam FSW, tool pengelasan dengan atau tanpa profil pada *probe* berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang alur sambungan antara dua material yang akan disambung. Benda kerja harus dicekam dengan kuat pada *fixture* atau ragum untuk mempertahankan posisinya akibat gaya yang terjadi pada waktu pengelasan. Panjang dari *probe* harus lebih pendek dari pada tebal benda kerja dan *shoulder* dari *tool* harus bersentuhan dengan permukaan benda kerja untuk menghasilkan panas.



Gambar 2.2 Skema Pengelasan *Friction Stir Welding*
Sumber: Jarot Wijayanto, 2012 : 3

Gesekan panas pada FSW dihasilkan oleh gesekan antara *probe* dan *shoulder* dari *welding tool* dengan material benda kerja. Pin memutar dan menekan material seperti ilustrasi gambar diatas dimana proses pengelasan *Friction Stir Welding*

1) shoulder terkena permukaan benda kerja sampai probe berada di dalam permukaan benda kerja.
2) Probe berada didalam benda kerja (benda kerja berada pada kondisi plastis karena pemanasan akibat dari sentuhan gesekan antara shoulder dengan permukaan bendakerja).
3) Tool bergerak mundur dan terjadi proses penyatuan material (joining process).
4) Proses selesai, tool diangkat dengan cara memutar. Setelah terangkat akan membentuk "*hole*" pada benda kerja.

Sedangkan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanik akan menyebabkan material yang diaduk melunak tanpa melewati titik leburnya. Hal ini yang memungkinkan tool pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan. Ketika pin *welding tool* bergerak sepanjang jalur pengelasan, permukaan depan pin akan memberikan gaya dorong plastis terhadap material ke arah belakang pin sambil memberikan gaya tempa yang kuat untuk mengkonsolidasikan logam las.

Untuk mendapatkan hasil las yang optimal, bahan dan bentuk punggung serta pin didesain sedemikian rupa. Bahan perkakas las yang digunakan tergantung kepada logam yang akan disambung. Perkakas las berbahan seperti baja kecepatan tinggi (HSS), baja perkakas H13, dan D3 digunakan untuk menyambung logam aluminium, magnesium dan tembaga. Sedangkan paduan tungsten seperti tungsten karbida (WC),

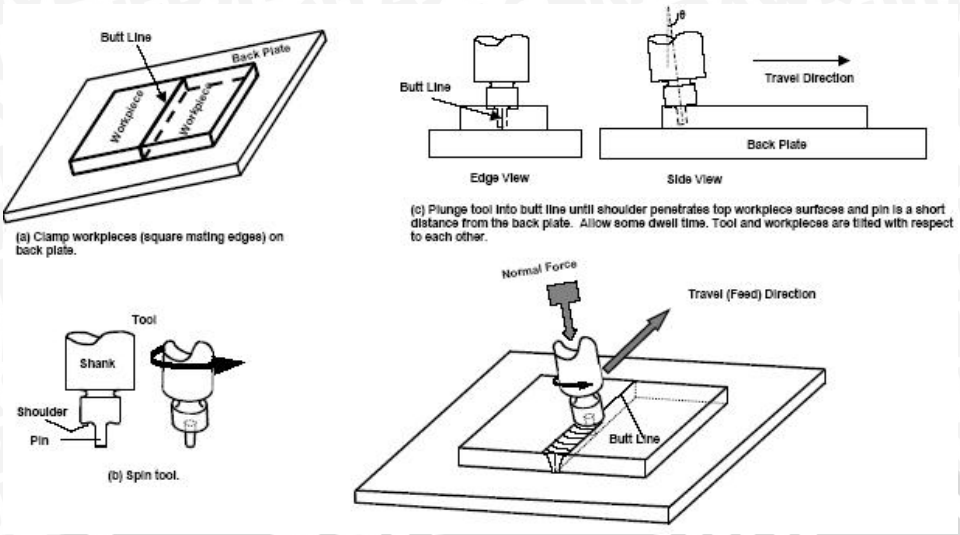
tungsten rehenium (W-25%Re) dan *polycrystal cubic boron nitrate* (PCBN) digunakan untuk menyambung logam yang lebih keras seperti baja, nikel dan titanium. Bentuk perkakas las juga bervariasi seperti punggung rata, bergelombang dan mangkok terbalik dikombinasikan dengan pin berbentuk silinder, kerucut dan oval dengan permukaan rata, ulir dan kombinasinya. Terdapat beberapa keuntungan dari FSW dibandingkan pengelasan yang lain, diantaranya adalah:

1. Tidak terjadi pelelehan selama pengelasan
2. Bisa mengelas semua jenis aluminium
3. Tidak memerlukan bahan pengisi
4. Tidak menimbulkan gas
5. *Tool welding* dapat digunakan berulang-ulang
6. Ramah lingkungan (*low flame*)
7. Energi yang dibutuhkan untuk pengelasan lebih rendah dari fusion welding.

2.5 Jenis Sambungan Pada FSW

2.5.1 Sambungan *butt (Butt joint)*

Dua benda kerja yang dilas pada posisi pertemuan ruas antara bidang yang bersentuhan, dicekam *rigid* pada *fixture* atau ragum *fixture* mencegah benda kerja berputar atau terangkat ketika proses las berlangsung.Tool pengelasan yang terdiri dari shank,shouder dan probe berputar dengan kecepatan dan kemiringan yang telah ditentukan.tool secara perlahan turun dan masuk kedalam ruas pertemuan benda kerja sampai shoulder dari tool menyentuh permukaan benda kerja dan ujung pin sedekat mungkin dengan backplate. Dwell time yang singkat dapat membangkitkan panas untuk preheating dan pelunakan material sepanjang garis sambungan sampai di akhir pengelasan tool ditarik/diangkat ketika tool masih dalam kondisi berputar. Seperti pin yang ditarik,tool akan meninggalkan lubang *(keyhole)* diujung pengelasan,toll shoulder yang bersentuhan dengan benda kerja pun meninggalkan bekas semi circular ripper dijalur pengelasan seperti pada ilustrasi dibawah



Gambar 2.3 Diskripsi Proses FSW Pada Sambungan *Butt*
Sumber: Khaled, 2005: 8

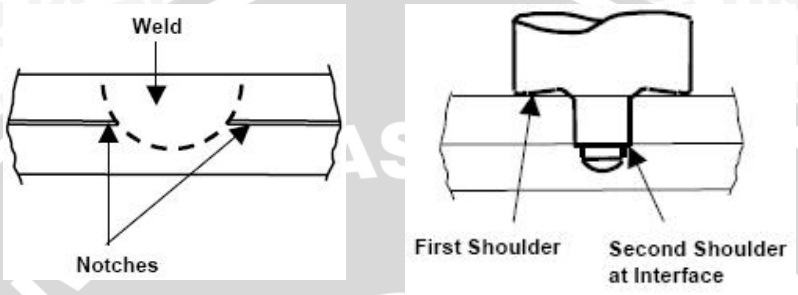
Pada gambar diatas bisa dilihat bahwa sumbu dari spindle dan benda kerja tidak benar – benar tegak lurus 90^0, ada kemiringan sekitar $0\text{-}2^0$,kemiringan ini bisa didapat dengan cara memiringkan spindle mesin atau memiringkan benda kerja.Hal ini dapat membantu pemadatan material pada bagian belakang tool,tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu berkurangnya kemampuan untuk eksekusi proses pengelasan non-linear dan juga mengurangi kecepatan pengelasan

Tool Fsw yang bergerak berputar searah daengan alur ,pengelasan permukaan depan dari probe, memaksa plasticed material dari kedua sisi material yang akan dilas kearah belakang probe. Akibat material dipindahkan dari permukaan tool kebelakang probe tool dan ditempa oleh permukaan shoulder yang bersentuhan dengan bidang benda kerja. Kontruksi dari metode FSW adalah adanya lubang (key hole) yang terjadi diakhir pengelasan. Terlebih lagi untuk pengelasan baja dan material alloy lainya, pelubangan awal berdiameter kecil diperlukan di area buut line yang bertujuan untuk mengurangi gaya yang terjadi ketika tool berpenetrasi kedalam benda kerja. Sangat disarankan adanya finishing dari benda kerja pada awal dan akhir sambungan

2.5.2 Sambungan tumpuk *(lap join)*

Prinsip operasi dari sambungan tumpuk tidak berbeda jauh dengan sambungan butt kecuali tidak adanya buut line, dimana tool berada diantara benda kerja sehingga tool harus menembus benda kerja teratas hal ini merupakan perbedaan yang mendasar

antara butt joint, dengan lap joint.Pada butt join, putaran utama terjadi di permukaan antara sambungan,berbeda dengan lap joint yang sambunganya tidak berada di permukaan sambungan, tetapi berada diantara permukaan tumpukan sambungan.dari desain toolnya pun berbeda,jika pada *butt join tool* FSW hanya memiliki satu shoulder, maka pada *lap join weld tool* FSW memiliki dua shoulder yang lokasinya berada dipermukaan benda kerja bawah



Gambar 2.4 Bentuk *Tool* dan sambungan *lap join*
Sumber: Khaled, 2005: 9

Dapat dilihat pada gambar diatas pada sambungan tumpuk, ujung probe dari tool Fsw harus menembus sebagian pada benda kerja di bawahnya. Oleh karena itu, ujung pin tidak perlu mendekati permukaan bawah benda kerja bagian bawah, karena berbeda dengan buut pint, pada lap joint sambungan las tidak terfokus pada pembentukan penutupan akar.Namun demikian,kita tetap harus perhitungkan efek dari factor kedalaman penetrasi terhadap mekanikal properties sambungan.

2.6 *Energy Input*

Dalamp proses pengelasan merupakan suatu yang sangat penting untuk memperkirakan jumlah kalor yang dihasilkan, oleh karena itu diperlukan sebuah model atau pendekatan untuk memperkirakan besar kalor yang dihasilkan. Salah satu model paling sederhana yang dipakai adalah hukum gesekan Coulomb's. Pada proses pegelasan dengan menggunakan metode *friction stir welding* panas yang dihasilkan berasal dari *shoulder*, sisi *pin* dan ujung dari *pin*, meskipun masih memiliki beberapa kelemahan karena beberapa faktor penting tidak ikut diperhitungkan seperti *welding speed* dan *heat losses*, persamaan *heat input* (2.2, 2.3, dan 2.4) yang merupakan integrasi dari persamaan 2.1 bisa menjadi acuan dasar dalam menentukan *heat input.* Adapun persamaan untuk menghitung *heat input* dari ketiga sisi *probe* tersebut adalah sebagai berikut:

Persamaan Awal :

$Q = T.\omega$ Lohwasser ,Hal 280 (2.1)

Kalor yang dihasilkan *shoulder*

$= \frac{2}{3}\pi.\omega.\tau_{Contact}.(R_{Sh}^3 - R_P^3)$ watt Lohwasser ,Hal 281 (2.2)

Kalor yang dihasilkan sisi *pin* :

$= 2.\pi.\omega.\tau_{contact}(1 + tan\alpha) + R_P^2.H_p$ watt Lohwasser ,Hal 281 (2.3)

Kalor yang dihasilkan ujung *pin* :

$= \frac{2}{3}\pi.\omega.\tau_{Contact}.R_P^3$ watt Lohwasser ,Hal 281 (2.4)

Sehingga panas total yang dihasilkan adalah penjumlahan dari ketiganya

$$Q_{\text{total}} = \frac{2}{3}\pi.\omega.\tau_{Contact}.(R_{sh}^3 - R_P^3)(1 + tan\alpha) + R_P^3 + 3R_P^2H_P)$$

Keterangan :

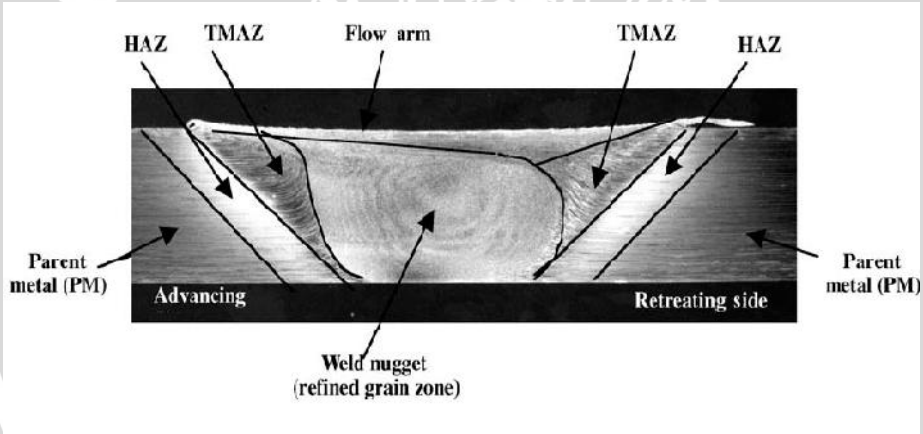
$\tau_{Contact}$	=	Tegangan geser Aluminium (Pa)
ω	=	Kecepatan Putar (rad/s)
R_{Sh}	=	Jari – Jari *Shoulder* (mm)
R_P	=	Jari – jari pin (mm)
H_P	=	Tinggi Pin (mm)
T	=	Torsi (N.m)

Selain pemodelan analitik dengan beberapa persamaan yang ada diatas, *heat input* juga dapat dihitung melalui metode e*xperimental* dengan mencari tahu torsi yang terjadi pada saat proses pengelasan berlangsung sehingga *power input* yang terjadi dapat dihitung dan *heat input* total yang dihasilkan *tool* bisa dihitung dengan lebih baik. Akan tetapi pemodelan dengan metode experimental juga masih memiliki beberapa kelemahan karena tidak mengitung *heat losess* yang terjadi dan hanya bisa dilakukan

pada mesin dengan instrument yang dapat terus memonitor torsi pada saat proses pengelasan berlangsung. (Nelson,2007:4)

2.7 Zona Pengelasan

Berdasarkan TWI profil umum dari sambungan butt berupa 4 zona trapezoid. Zona pertama adalah *unaffected base metal*, di mana pada zona tersebut tidak terjadi perubahan struktur mikro atau sifat dari material. Zona yang kedua adalah *Heat Affected Zone* (HAZ), di mana material terkena pengaruh panas tetapi tidak sampai mengalami deformasi plastis, walaupun terjadi perubahan mikrostruktur. Zona yang ketiga adalah *Thermodynamically Affected Zone* (TMAZ), dimana pada zona ini terjadi deformasi material dan mikrostruktur akibat pengaruh panas. Zona yang terakhir adalah *nugget* yang merupakan area rekristalisasi dari TMAZ. Beberapa orang menyebut *nugget* sebagai *stir zone* (SZ).(Khaled, 2005:12)



Gambar 2.5 *Zona* Pengelasan Pada *Friction Stir Welding*
Sumber : Mishra, 2007 : 40

Terdapat beberapa hal penting yang ditambahkan dalam ilustrasi di atas khususnya adanya *deformasi* butiran atau tanda lingkaran (*swirl marks*) di bawah *shoulder*, identifikasi area *advancing* dan *retreating*, *flash* di area sambungan dan *union ring pattern*. Ilustrasi mengindikasikan bahwa *nugget* berbentuk asimetri dan posisinya memanjang kearah sisi *advancing*.Walaupun tidak tergambarkan pada ilustrasi 2.4. lebar dari TMAZ dan HAZ pada area *advancing* dan *retreating* sebetulnya tidaklah sama.

Pengembangan FSW pada industri otomotif dan pesawat terbang sangat pesat karena dapat mereduksi berat total dari konstruksi. Pengurangan berat bisa berasal dari

jumlah pengencang *(fastener)* yang dihilangkan. Selain itu banyak biaya yang dapat dihemat yang berasal dari pengurangan biaya design, manufaktur, perakitan dan waktu pemeliharaan, biaya-biaya tersebut bisa ditekan akibat berkurangnya jumlah part pada konstruksi. Sambungan FSW mempunyai efek konsentrasi stres yang lebih rendah di area sambungan dibandingkan dengan aplikasi *fastener*. Di samping itu dapat memperbaiki sifat korosif dengan mengurangi *fastener* yang merupakan sumber utama dari kontak metal berbeda jenis. Penghematan terakhir berasal dari hilangnya biaya untuk keperluan *sealent, locking compound* dan sejenisnya. Berikut adalah contoh pengaplikasian FSW di bidang industri:

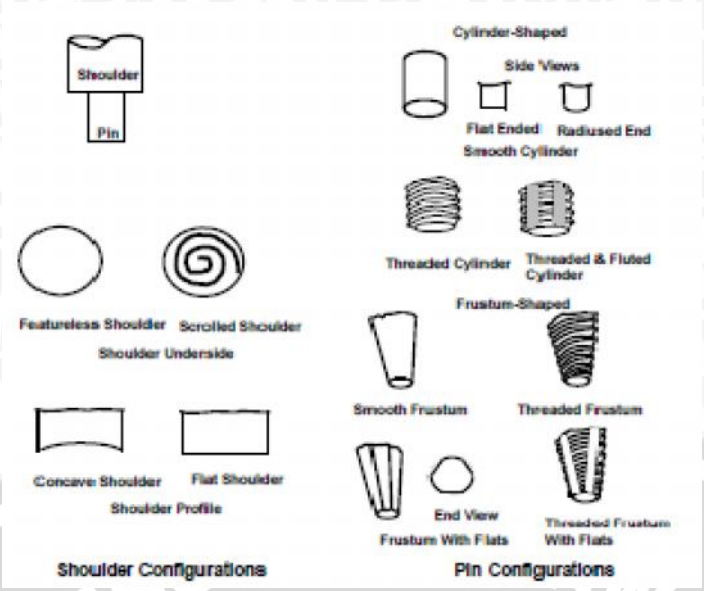
1. *Platform* pendaratan helikopter
2. Tangki bahan bakar pada pesawat
3. Tangki oksigen pada pesawat luar angkasa
4. Gerbong kereta api berkecepatan tinggi
5. Body dari kendaraan bermotor

2.8 Perancangan Tool (*Tool Design*)

Pada awal penemuan *friction stir welding*, *tool* yang digunakan masih berupa satu silinder utuh dengan bentuk *probe* silinder sederhana. Bentuk *probe* yang sederhana hanya bisa menghasilkan *flow material* dan pencampuran yang terbatas, akibatnya kecepatan pengelasan yang dihasilkan juga rendah. (Khaled, Terry, 2005: 13)

Salah satu lembaga yang terus mengembangkan rancangan *tool* adalah TWI. *Probe* berulir diciptakan untuk membantu memastikan deformasi yang terjadi pada benda kerja tersebar secara sempurna di seputar *probe* dan dari sisi atas menuju sisi bawah. Hal ini memungkinkan percampuran material dilakukan pada putaran yang lebih tinggi dan menghasilkan kualitas yang lebih baik karena bisa mereduksi kekosongan sambungan. (Khaled, 2005: 13)

Threaded pin, Fluted pin dan frustum pin dengan bagian bawah rata ditemukan untuk tujuan mempercepat *travel speed*, menyempurnakan *mixing* material, dan memperbaiki kualitas pengelasan. *Scroll shoulder* dan *concave shoulder* diciptakan untuk mengurangi efek *undercutting* dan *flash* pada sambungan yang ditimbulkan oleh bagian bawah *tool shoulder*. (Khaled, 2005: 13)



Gambar 2.6 Konfigurasi *Shoulder* dan *Probe*
Sumber: Khaled, 2005: 13

Perkembangan perancangan *tool* dari sederhana menjadi kompleks seperti gambar diatas,diiringi dengan berkembangnya material dari *tool* itu sendiri. Material *tool* dari FSW harus mempunyai temperatur lebur (*melting point*) yang tinggi, *physical* dan *chemical wear resist*, dan efektif melepaskan panas pada saat proses las berlangsung. Beberapa *tool* yang sukses digunakan untuk FSW adalah *polycrystalline cubic boron nitride* (PCBN), AISI 316 dan AISI 310 *stainless steel* dan *alloy* 600 berbasic *nickel alloy* (Khaled, 2005: 13).

Tabel 2.1 Contoh Material Tool FSW dan Aplikasinya

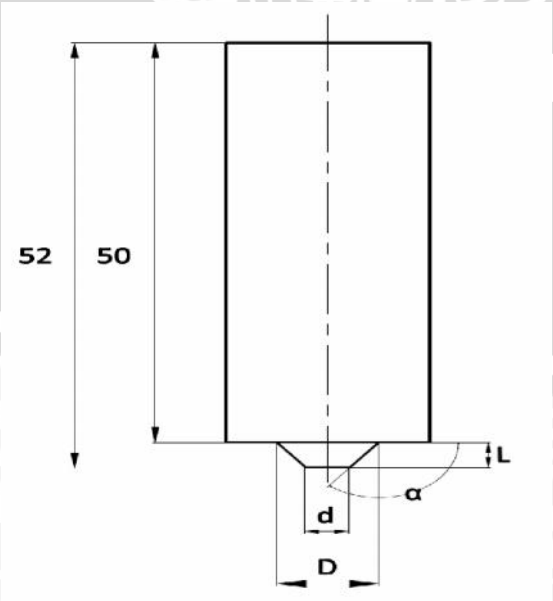
Alloy	mm	in	Tool material
Aluminum alloy	<12	<0,5	Tool steel,WC-Co
	<26	<1,02	Mp 159
Magnesium Alloys	<6	<0,24	Tool steel, WC
Copper and copper alloys	<50	<2,4	Nickel alloys,PCBN (a) tungsten alloys
	<11	<0,4	Tool steel
Titanium alloys	<6	<0,24	Tungsten alloys
Stainlees steels	<6	<0,24	PCBN,tungsten alloys
Low- alloys steel	<10	<0,4	WC,PCBN
Nickel alloys	<6	<0,24	PCBN

(a) PCBN,polycrystalline cubic boron nitride

Rancangan *tool* adalah faktor yang sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan, karena rancangan *tool* yang tepat dapat meningkatkan kualitas las dan kecepatan las semaksimal mungkin. Panas yang dihasilkan dari gesekan *tool* dan material yang akan dilas sekitar 70 – 80% dari temperatur titik lebur material yang akan dilas tersebut. Material *tool* harus memiliki titik cair yang lebih tinggi dari material las, agar ketika proses pengelasan berlangsung material *tool* ikut tercampur dengan lasan. Material *tool* harus mempunyai kekuatan yang cukup pada temperatur ini karena jika tidak maka *tool* dapat terpuntir dan retak. Oleh sebab itu diharapkan material *tool* cukup kuat, keras dan liat, pada suhu pengelasan. Sebaiknya material yang digunakan juga mempunyai ketahanan oksida yang baik dan penghantar panas rendah untuk mengurangi kerugian panas dan kerusakan termal pada mesin. Desain *tool* terdiri dari *shoulder* dan *pin*. *Pin* berfungsi untuk menghasilkan panas dan menggerakan material yang sedang dilas.

2.8.1 Bentuk Pin Tirus

Pada rancangan sudut tirus pin yang bervariasi dengan diameter pin sama maka akan terdapat perbedan luas bidang kontak yang terjadi antara pin dan benda kerja dimana semakin besar sudut yang divariasikan maka luas bidang kontak antara pin dan benda kerja semakin kecil yang akan berpengaruh terhadap putaran yang digunakan dengan kombinasi antara gerak rotasi dan gerak translasi tool menyebabkan material yang lunak tersebut berpindah dari sisi depan pin menuju sisi belakang pin sambari menerima tempa dari pin dan shoulder. dapat kita lihat gambar dibawah ini



Gambar 2.7 Pin bentuk tirus

Dari gambar 2.7 bisa diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{(D-d)/2}{L} = tg\alpha$$

$$D - d = 2L\ tg\alpha$$

$$d = D - 2L\ tg\alpha$$

Keterangan:

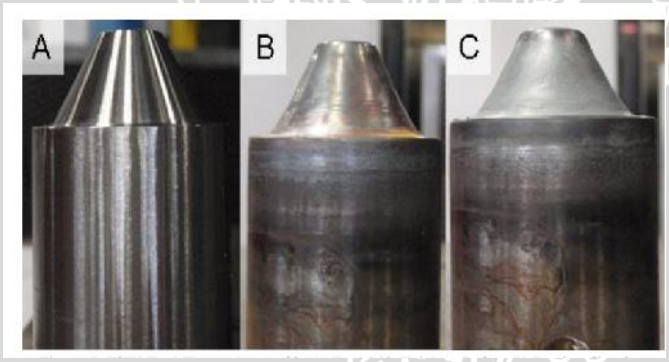
D = Diameter besar tirus (mm)

d = diameter kecil tirus (mm)

L = panjang Tirus (mm)

α = Sudut tirus (^{0})

Dapat diperkirakan semakin kecil bidang kontak antara pin dan benda kerja akan didapatkan pengadukanya yang lebih sempurna dengan bagian bawah rata dan berbentuk tirus untuk tujuan mempercepat *travel speed*, menyempurnakan *mixing* material, dan memperbaiki kualitas pengelasan dan *shoulder* diciptakan untuk mengurangi efek *undercutting* dan *flash* pada sambungan yang ditimbulkan oleh bagian bawah *tool should* sehingga diharapkan bisa mendapatkan kekuatan tarik yang ideal.



Gambar 2.8 Bentuk pin tirus sebelum dan sesudah digunakan pada *Friction Stir Welding*

Sumber: Thompson,2013:111

Perancangan *tool* termasauk faktor penting yang mempengaruhi struktur mikro, profil dan sifat mekanik sambungan dan material tool yang kuat akan dapat digunakan berkali – kali dalam pengelasan *friction stir welding* dapat dilihat pada gambar diatas tool yang sudah digunakan tapi masih dapat digunkan lagi. Karena itu material *tool* merupakan faktor yang menentukan akan kehandalan *tool,* koefisien gesek, dan pembangkitan *heat*. .

2.9 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik. Material ini dipergunakan dalam bidang yang sangat luas, bukan hanya untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, kontruksi dan sebagainya.

Aluminium terbagi dalam dua jenis yaitu aluminium cetak atau cor *(cast product)* dan aluminium tempa *(wrought product)*. Aluminium tuang memiliki biaya total yang rendah bila dibandingkan dengan aluminium tempa karena aluminium jenis ini memiliki titik lebur yang rendah, sehingga energi yang dibutuhkan lebih rendah. Namun aluminium tuang memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan aluminium tempa. Material ini banyak digunakan pada struktur atau part-part yang menginginkan beban yang ringan dan tahan karat, karena material ini memiliki berat jenis rendah dan ketahanan karat yang baik. Pada dasarnya Aluminium memiliki beberapa sifat utama yaitu:

1. Ringan karena berat jenis rendah (2,7 gr/cm^3), hanya ⅓ baja
2. *Strength to weight ratio* (kekuatan/berat) : sangat baik
3. Temperatur lebur rendah (660°C), sehingga peralatan peleburan lebih sederhana
4. Sifat mampu cor sangat baik
5. Sifat mampu mesin baik
6. Sifat permukaan baik
7. Ketahanan korosi baik
8. Konduktor panas dan listrik yang baik
9. Mudah dipadu dengan unsur lain untuk menghasilkan sifat yang diinginkan

2.9.1 Klasifikasi Paduan Aluminium

Menurut Surdia (1992:135), paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang sangat terkenal adalah standar *Aluminium Association* di Amerika (AA) yang didasarkan atas standar terdahulu dari Alcoa (*Aluminium Company of America*). Paduan tempaan dinyatakan dengan satu angka atau dua angka "S", sedangkan paduan coran dinyatakan dengan tiga angka "S". Standard AA menggunakan penandaan dengan empat angka sebagai berikut:

1. Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur yang dipadukan atau ditambahkan (1:Al murni; 2:Al-Cu; 3:Al-Mn; 4:Al-Si; 5:Al-Mg; 6:Al-Mg-Si dan 7:Al-Zn).
2. Angka kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dan aluminium murni.
3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali huruf S. Sebagai contoh 3S sebagai 3003 serta 61 S sebagai 6061.

Berdasarkan klasifikasi di atas, aluminium dapat dikelompokkan menurut jenis paduannya. Sifat aluminium dari berbagai paduan meliputi:

1. Al-Murni

Aluminium murni merupakan aluminium dengan komposisi kadar kemurnian mencapai 99.85 % dan ada juga yang mencapai 99,999 %. Hal ini menunjukkan sifat-sifat fisik Al dan sifat-sifat mekaniknya. Sifat ketahanan korosi dapat berubah menurut kemurnian aluminium. Untuk kemurnian 99,0 % atau di atasnya dapat bertahan bertahun-tahun, sedangkan untuk hantaran listrik aluminiumnya kira-kira 65 % dari hantaran listrik tembaga.

2. Al-Cu

Tembaga adalah salah satu unsur paduan penting yang digunakan pada Al karena dengan paduan ini akan membentuk *solid-solution strengthening* dan dengan *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan kekuatannya dengan membentuk *precipitate*. Kelarutan maksimal Cu di dalam Al adalah pada kandungan 5,65 % Cu dengan temperatur berkisar 550 ^{o}C. Kelarutan Cu akan turun sesuai dengan penurunan temperatur. Pada temperatur ruang batas kelarutan Cu di dalam Al adalah kurang dari 0,1 %.

3. Al-Mn

Mangan merupakan unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Sebenarnya paduan Al-1,2%Mn dan Al-1,2%Mn-1,0%Mg dinamakan paduan 3003 dan 3004 yang dipergunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas. (Surdia Tata, 1984 :136-137).

4. Al-Si

Kandungan Si pada aluminium memberikan beberapa keuntungan seperti hasil permukaan yang baik. Paduan Al-Si sangat baik kecairannya dan sangat baik

untuk paduan coran (*cast*). Sebagai bahan tambahan, Si mempunyai ketahanan korosi yang baik, ringan, koefisien muai yang kecil dan sebagai penghantar listrik yang baik juga panas koefisien pemuaian termalnya sangat rendah. Oleh karena itu paduan ini mempunyai koefisien yang rendah apabila ditambah Si lebih banyak.

5. Al-Mg

Pengaruh Mg di dalam paduan Al-Mg mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan pengaruh Cu di dalam paduan aluminium. Magnesium memberikan pengaruh baik yaitu mempermudah proses penuangan, meningkatkan kemampuan pengerjaan mesin, meningkatkan daya tahan terhadap korosi, meningkatkan kekuatan mekanis, menghaluskan butiran kristal secara efektif dan meningkatkan ketahanan beban kejut atau impak. Magnesium juga memberikan pengaruh buruk yaitu meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada hasil pengecoran.

6. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al, Si dan Mg membentuk senyawa Magnesium Silikat (MgSi) yang akan membentuk eutektik pada sistem paduan $AlMg_2Si$. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya tetapi sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, sangat baik untuk mampu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa, tahan korosi dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan (Surdia Tata, 1984 :140).

7. Paduan AL-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung aluminium dan merupakan memiliki ketahanan korosi yang baik. Dalam penggunaannya biasa diaplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar.

2.9.2 Unsur-unsur Paduan Aluminium

Aluminium murni mempunyai kemurnian hingga 99,96% dan minimal 99%. Zat pengotornya berupa unsur Fe dan Si. Aluminium paduan memiliki berbagai kandungan atom-atom atau unsur-unsur utama (mayor) dan minor. Unsur mayor seperti Mg, Mn, Zn, Cu, dan Si sedangkan unsur minor seperti Cr, Ca, Pb, Ag, Fe, Sn, Zr, Ti, Sn, dan lain-lain. Unsur- unsur paduan yang utama dalam aluminium antara lain:

a. Silikon (Si)

Dengan atau tanpa paduan lainnya, silikon mempunyai ketahanan terhadap korosi. Bila dipadukan dengan aluminium akan mempunyai kekuatan yang tinggi setelah perlakuan panas. Kelemahannya adalah silikon mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang jelek, dan ketahanan koefisien panas yang rendah.

b. Tembaga (Cu)

Dengan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasan dan kekuatannya. Hal ini disebabkan karena tembaga dapat memperhalus struktur butir dan akan mempunyai kualitas pengerjaan mesin, dan keuletan yang baik, mampu tempa, dan mudah dibentuk.

c. Magnesium (Mg)

Dengan menambahkan unsur magnesium, aluminium akan mempunyai sifat ketahanan korosi dan kualitas pengerjaan mesin yang baik. Penambahan magnesium dapat meningkatkan sifat mampu las dan meningkatkan kekuatan aluminium.

d. Mangan (Mn)

Menambahkan mangan dapat meningkatkan sifat mampu bentuk pada aluminium. Selain itu, mangan juga akan meningkatkan titik lebur paduan aluminium sehingga sifat dan mampu lasnya baik.

e. Seng (Zn)

Umumnya seng ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam persentase kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas juga kemampuan mesin.

f. Besi (Fe)

Penambahan unsur Fe dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan. Tetapi penambahan Fe yang besar akan menyebabkan struktur perubahan butir yang kasar, namun hal ini dapat diperbaiki dengan Mg atau Cr.

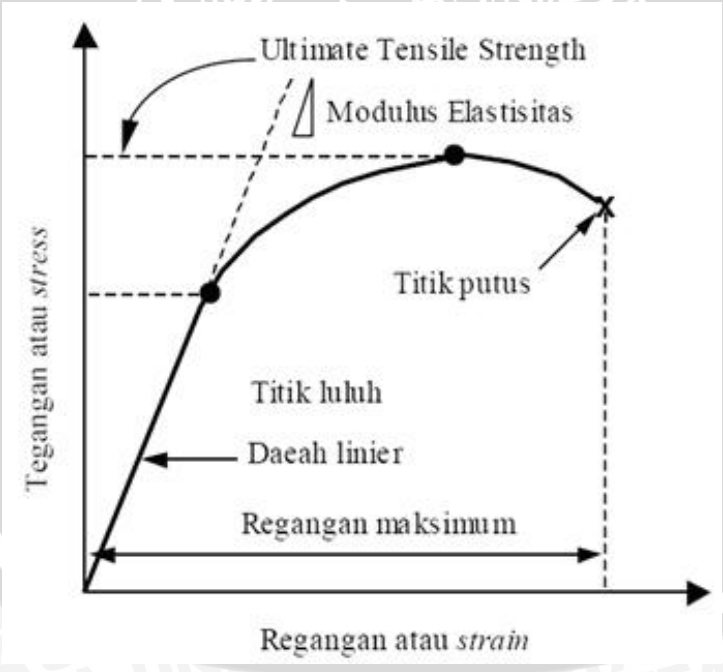
g. Titanium (Ti)

Titanium dapat meningkatkan sifat mampu mesin pada aluminium. Penambahan titanium pada aluminium dimaksudkan untuk mendapatkan struktur butir yang halus. Biasanya penambahannya bersamaan dengan Cr dalam persentase 0,1%

2.10 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik berfungsi untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw* material. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan di mana letak putusnya suatu sambungan las.

Pengujian tarik adalah pengujian yang diberikan kepada benda uji dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda uji. Gaya tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) pada benda uji tersebut. Proses terjadinya deformasi pada benda uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga lepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum. Pada pengujian tarik beban diberikan secara *continue* dan pelan-pelan bertambah besar. Bersamaan dengan itu, dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan regangan.



Gambar 2.9 Kurva Tegangan-Regangan
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 181

Dalam pengujian tarik benda uji mengalami perlakuan tertentu yang berkaitan dengan tegangan. Secara matematik tegangan tarik dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_o}(kg/mm^2)$$ (Wiryosumarto, 2000: 181) (2.2)

Keterangan :

σ = Tegangan tarik (kg/mm^2)

P = Beban tarik (kg)

Ao = Luas penampang spesimen mula (mm^2)

Regangan yang didapatkan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan benda uji dengan panjang awal. Sedangkan regangan (persentase pertambahan panjang) pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{(L - L_o)}{L_o} x100\%$$ (Wiryosumarto, 2000: 181) (2.3)

Keterangan :

ε = Regangan (%)

Lo = Panjang batang uji mula (mm)

L = Panjang batang uji akhir (mm)

Pembebanan tarik dilakukan terus menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan akan mengekibatkan kepatahan pada beban. Persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{(A_0 - A_{11})}{A_0} x100\%$$ (Wiryosumarto, 2000: 181) (2.4)

Keterangan :

q = Reduksi Penampang (%)

Ao = Luas penampang mula (mm^2)

A_1 = Luas penampang akhir (mm^2)

2.11 Anova Dua Jalur *(Two Ways – Anova)*

Anava atau anova adalah anonim dari analisis varian terjemahan dari *analysis of variance*, sehingga banyak orang yang menyebutnya dengan anova. Anova merupakan bagian dari metode analisis statistika yang tergolong analisis komparatif (perbandingan) lebih dari dua rata-rata (Riduwan, 2003:217).

Anova dua jalur digunakan untuk menguji hipotesis perbandingan lebih dari dua sampel dan setiap sampel terdiri atas dua jenis atau lebih secara bersama-sama. Langkah-langkah uji anova dua jalur adalah:

1. Sebelum anova dihitung, asumsikan bahwa data dipilih secara random, berdistribusi normal dan variannya homogen.
2. Buatlah hipotesis (H_a dan H_o) dalam bentuk kalimat.
3. Buatlah hipotesis (H_a dan H_o) dalam bentuk statistika.
4. Buatlah daftar statistika induk seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Daftar Statistika Induk

Variabel		Pengulangan	*Sudut Tirus Pin*				Total Baris
			101^0	112^0	121^0	129^0	
Rotation speed (rpm)	A_1 (1096)	1	X_{111}	X_{121}	X_{131}	X_{141}	
		2	X_{112}	X_{122}	X_{132}	X_{142}	
		3	X_{113}	X_{123}	X_{133}	X_{143}	
	Jumlah						
	A_2 (1452)	1	X_{211}	X_{221}	X_{231}	X_{241}	
		2	X_{212}	X_{222}	X_{232}	X_{242}	
		3	X_{213}	X_{223}	X_{233}	X_{243}	
	jumlah						
	A3 (1842)	1	X_{311}	X_{321}	X_{331}	X_{341}	
		2	X_{312}	X_{322}	X_{232}	X_{342}	
		3	X_{314}	X_{323}	X_{333}	X_{343}	
	Jumlah						
Jumlah Total							

5. Hitunglah jumlah kuadrat total (JK_T).

$$JKT = \sum_{1=1}^{r} \sum_{j=1}^{k} \sum_{m=1}^{n} X_{ijm}^2 - \frac{T_{***}^2}{rkn}$$ Walpole, hal 408 (2.17)

6. Hitunglah jumlah kuadrat baris (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{i=1}^{r} T_{i**}^2}{kn} - \frac{T_{***}^2}{rkn}$$ Walpole, hal 408 (2.18)

7. Hitunglah jumlah kuadrat kolom (JKA)

$$JKK = \frac{\sum_{j=1}^{k} T_{i**}^2}{rn} - \frac{T_{***}^2}{rkn}$$ Walpole, hal 408 (2.19)

8. Hitunglah jumlah kuadrat interaksi baris dan kolom (JK[BK])

$$JK[BK] = \frac{\sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{k} T_{ij*}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^{r} T_{i**}^2}{kn} - \frac{\sum_{j=1}^{k} T_{*j*}^2}{rn} + \frac{T_{***}^2}{rkn}$$ (2.20)

9. Hitunglah jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKB - JKK - JK[BK]$$ Walpole, hal 408 (2.21)

10. Mencari derajat bebas (db_B; db_K; $db_{[BK]}$; db_G; db_T)

$db_{B\ (BARIS)} = r-1$ Walpole, hal 409 (2.22)

$db_{K\ (KOLOM)} = k-1$ (2.23)

$db_{[BK]\ (INTERAKSI)} = (r-1)\ .\ (k-1)$ (2.24)

$db_{G\ (GALAT)} = r.k\ .\ (n-1)$ (2.25)

$db_{T\ (TOTAL)} = [r.k.n]-1$ (2.26)

11. Menghitung Kuadrat Rerata antar group (KTB; KTK; KT[BK]; KTG)

$$KTB = \frac{JKB}{r-1}$$ Walpole, hal 409 (2.27)

$$KTK = \frac{JKK}{k-1}$$ Walpole, hal 409 (2.28)

$$KT[BK] = \frac{JK[BK]}{[r-1][k-1]}$$ Walpole, hal 409 (2.29)

$$KTG = \frac{JKG}{r.k.[n-1]}$$ Walpole, hal 409 (2.30)

12. Carilah F_{hitung} (F_A; F_B; F_{AB}) masing-masing group.

$$F_B = \frac{KTB}{KTG}$$ Walpole, hal 409 (2.31)

$$F_K = \frac{KTK}{KTG}$$ Walpole, hal 409 (2.32)

$$F_{[BK]} = \frac{KT[BK]}{KTG}$$ Walpole, hal 409 (2.33)

13. Tentukan taraf signifikannya, misalnya $\alpha = 0{,}05$ atau $\alpha = 0{,}01$

14. Cari Ftabel (F_B; F_K; $F_{[BK]}$) masing-masing group.

    $F_{B(tabel)}$ = $F_{B\ (\alpha)\ (dbB:dbG)}$

    $F_{K(tabel)}$ = $F_{K\ (\alpha)\ (dbK:dbG)}$

    $F_{[BK](tabel)}$ = $F_{[BK]\ (\alpha)\ (db[BK]:dbG)}$

15. Buatlah tabel ringkasan anova

Tabel 2.3 Daftar Ringkasan Anova

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Nilai Tengah Baris					
Nilai Tengah Kolom					
Interaksi					
Galat					
Total					

16. Tentukanlah kriteria pengujian: Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka tolak H_o berarti signifikan dan konsultasikan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} kemudian bandingkan.
17. Buatlah kesimpulan.

2.12 Hipotesis

Dengan meningkatnya sudut tirus maka akan didapatkan head input yang semakin bertambah karena gaya geseknya juga bertambah akibat diameter pin yang semakin besar,dan temperature yang terjadi juga besar saat menjelang akhir dari proses pengelasan panas akan meningkat pada sekitar tool dengan begitu maka kekuatan tariknya juga meningkat, sehingga dengan meningkatnya sudut tirus dan putaran akan didapatkan kekuatan tarik yang ideal.

BAB III
METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *(true experimental researce)* experimental nyata dan secara lansung pada objek yang dituju bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut tirus pin dan *rotation speed* terhadap kekuatan tarik hasil las aluminium.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan 14 Mei – 16 juni 2014. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu:

- Laboratorium Proses Produksi, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- Laboratorium struktur ,Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variable dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai dari variabel terikat, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dari objek penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah *rotation speed* dan sudut tirus pin. Untuk kecepatan putar divariasikan 1096,1452,1842 rpm . Sedangkan untuk variasi sudut tirus pin adalah 101^0, 112^0, 121^0dan 129^0 .

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel yang terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik.

3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel yang dijaga konstan selama penelitian ini adalah kecepatan tempuh (travel speed) yaitu 55 mm/menit, *Shoulder Deep Plauge* 0,2 mm dan *Tool Inclined Angle* 2^o dan diameter pin 7 mm

3.4 Spesifikasi Alat dan Bahan

Peralatan penelitian yang harus dipersiapkan adalah, mesin frais atau *milling*, beserta perlengkapannya atau aksesorisnya *(jig and fixture),* mesin uji tarik, dan tool pengelasan.

3.4.1 Spesifikasi Alat

1. Mesin Frais (*Milling*)

   Mesin Frais (*Milling*) digunakan untuk mengelas spesimen yang akan dilas, sehingga didapatkan hasil pengelasan yang diinginkan. Mesin frais disini berfungsi untuk memutar tool pengelasan dan mencekam spesimen las pada meja mesin. Gambar mesin frais dapat dilihat dibawah ini.

Gambar 3.1 Mesin Frais (*Milling*)
Sumber: Laboratorium Proses Produksi, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya 2014.

Spesifikasi:

- Merek : Krisbow
- Jenis : Turning
- Model : X6328B
- Buatan : Austria
- Tahun Pembuatan : 2011

2. Mesin Uji tarik

Mesin uji tarik digunakan untuk menarik spesimen hasil lasan sehingga didapatkan data hasil nilai uji tarik sambungan las *friction stir welding* pada aluminium.

Gambar 3.2 Mesin Uji Tarik
Sumber: Laboratorium struktur, Jurusan Teknik sipil Universitas negeri malang 2014.

Spesifikasi:

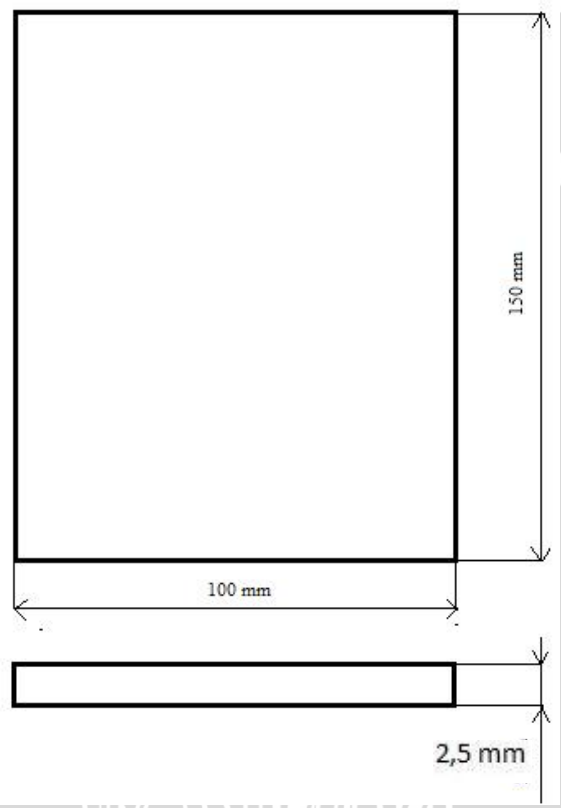
- Merek : MLF Piuf.Und Mc By Heme Gmbh D6800
- Kapasitas : 100 kN
- Type : U PD 10
- Buatan : Jerman
- Tahun Pembuatan : 1982

3.4.2 Bahan Penelitian

1. Benda kerja

Pada pengelasan *friction stir welding* kali ini menggunakan 2 buah benda kerja yang akan disambung dengan dimensi masing-masing sebagai berikut:

- Lebar : 100 mm
- Panjang : 150 mm
- Tebal : 2,5 mm
- Jenis benda kerja : Aluminium



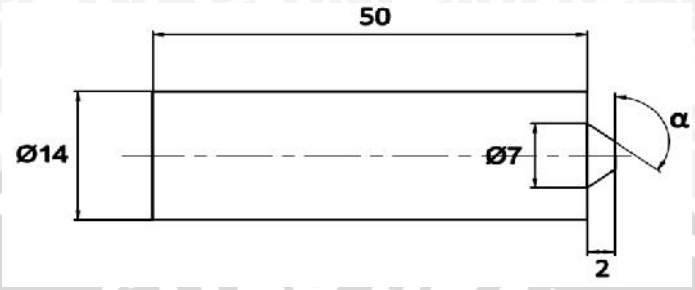
Gambar 3.3 Dimensi Benda Kerja

2. Tool Pengelasan (*Welding Tool*)

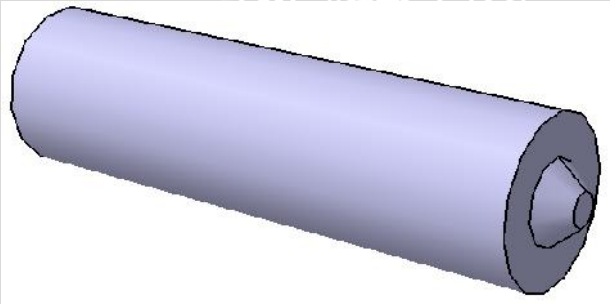
Tool pengelasan pada penelitian ini terbuat dari material HSS. Maka untuk penelitian ini, tool pengelasan yang akan digunakan didesain sendiri dengan menggunakan mata bor yang dimodifikasi sedemikian rupa, sehingga membentuk sebuah tool pengelasan yang terdiri dari pin (*probe*) dan *shoulder* yang sederhana.

1.Tool dengan variasi sudut tirus pin

tool	1	2	3	4
α	101°	112°	121°	129°



Gambar 3.4 Dimensi Dengan Variasi Sudut Tirus Pin



Gambar 3.5 Tool Dengan Pin Tirus

Tool pengelasan pada penelitian ini didesain dan dibentuk dengan menggunakan mesin bubut, sehingga didapatkan ukuran dan dimensi yang sesuai dengan yang diinginkan.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian sebelum melakukan proses pengelasan adalah:

1. Mempersiapkan mesin *Milling*.
2. Mempersiapkan material atau benda kerja yang akan dilas, dimana dimensi benda kerja yang akan dilas harus sudah sesuai dengan standard untuk pengujian tarik nantinya.
3. Mempersiapkan tool pengelasan
4. Mencekam benda kerja yang akan dilas dengan pada meja mesin *miling*.
5. Mengatur posisi mesin *Milling* agar didapatkan Inclined Angle sebesar 2°

6. Penyetingan parameter mesin seperti kecepatan putaran spindle dan kecepatan pengelasan, kecepataran putaran.
7. Kemudian cek semua fungsi penguncian dari meja mesin *Milling*, pastikan semua bekerja dengan baik.

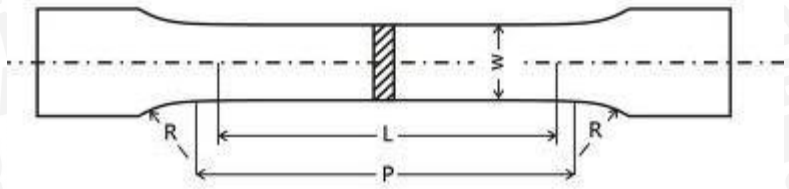
3.6 Proses Pengelasan

Proses pengelasan dapat dilakukan apabila semua alat uji, benda kerja dan persiapan pengelasan telah siap. Langkah proses pengelasan adalah sebagai berikut :

1. Pasang *tool* pada *collet, tool* dipasang setelah *collet* terpasang pada adaptornya untuk meminimalisir kerusakan pada *collet*.
2. Kemudian setting rpm sesuai dengan yang diinginkan dengan mimindahkan *van belt* pada *puley* yang ada di mesin *Milling*. Perpindahan rpm dilakukan secara manual.
3. Cekam benda kerja pada meja yang dibuat sesuai tebal benda kerja. Dengan menggunakan besi tebal dan plat besi sebagai alas benda kerja, kemudian benda kerja di kancing dengan besi dan baut. Kemudian kencangkan dengan maksimal.
4. Sebelum melakukan pengelasan. *Setting* alur pengelasan benda kerja agar rata dengan *tool* pengelasan. Kemudian hidupkan mesin dengan parameter yang sudah ditentukan.
5. Posisikan FSW *tool* sedekat mungkin dengan spesimen. Posisi *tool* tidak boleh melewati sisi terluar karena akan menghalangi *downforce* dari *Shoulder tool.*
6. Penetrasikan atau tekan *tool* FSW sampai *Shoulder* menyentuh benda kerja.

3.7 Proses Pengujian Kekuatan Tarik

Sebelum melakukan uji tarik, spesimen atau benda kerja dibentuk terlebih dahulu menjadi spesimen uji tarik yang sesuai dengan standart internasional. Spesimen uji tarik yang digunakan adalah plat aluminium, dengan tebal 2,5 mm kemudian dibentuk berdasarkan standar JIS no 13B.



Gambar 3.6 Dimensi Benda Kerja Uji Tarik
Sumber: Pengembangan FSW Pada Material AC4CH, Samsi Suardi, 2011: 9

Tabel 3.1 Keterangan Dimensi Benda Kerja Uji Tarik

Lebar (W)	Panjang Ukur (L)	Panjang Bagian. Parallel (P)	Jari-jari Bahu (R)
12,5	50	60	20

Prosedur dan pembacaan hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut. Benda uji dijepit pada ragum uji tarik, setelah sebelumnya diketahui penampangnya, panjang awal dan ketebalannya. Langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji dan jepit benda uji pada mesin.
2. Benda uji mulai mendapatkan beban tarik diawali 0 kg hingga benda putus pada beban maksimum yang dapat ditahan benda tersebut.
3. Benda uji yang sudah putus kemudian diukur dimensinya.
4. Hal terakhir yaitu menghitung kekuatan tarik, perpanjangan, reduksi penampang dari data yang telah didapat dengan menggunakan persamaan yang ada.

3.8 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian digunakan untuk mencari pengaruh dari suatu faktor, yaitu pengaruh kecepatan putar dan variasi sudut tirus pin pada pengelasan aduk gesek *(friction stir welding)* terhadap kekuatan tarik hasil lasan pada alumulium.

3.8.1 Analisa Data

Pengujian ini meliputi uji tarik pada material plat aluminium yang mengalami proses pengelasan aduk gesek *(friction stir welding)* dengan variasi kecepatan putar dan diameter sudut tirus pin. Data yang didapat akan dicatat dan diolah kemudian dimasukkan kedalam Tabel Data Hasil Kekuatan Uji Tarik dibawah ini.

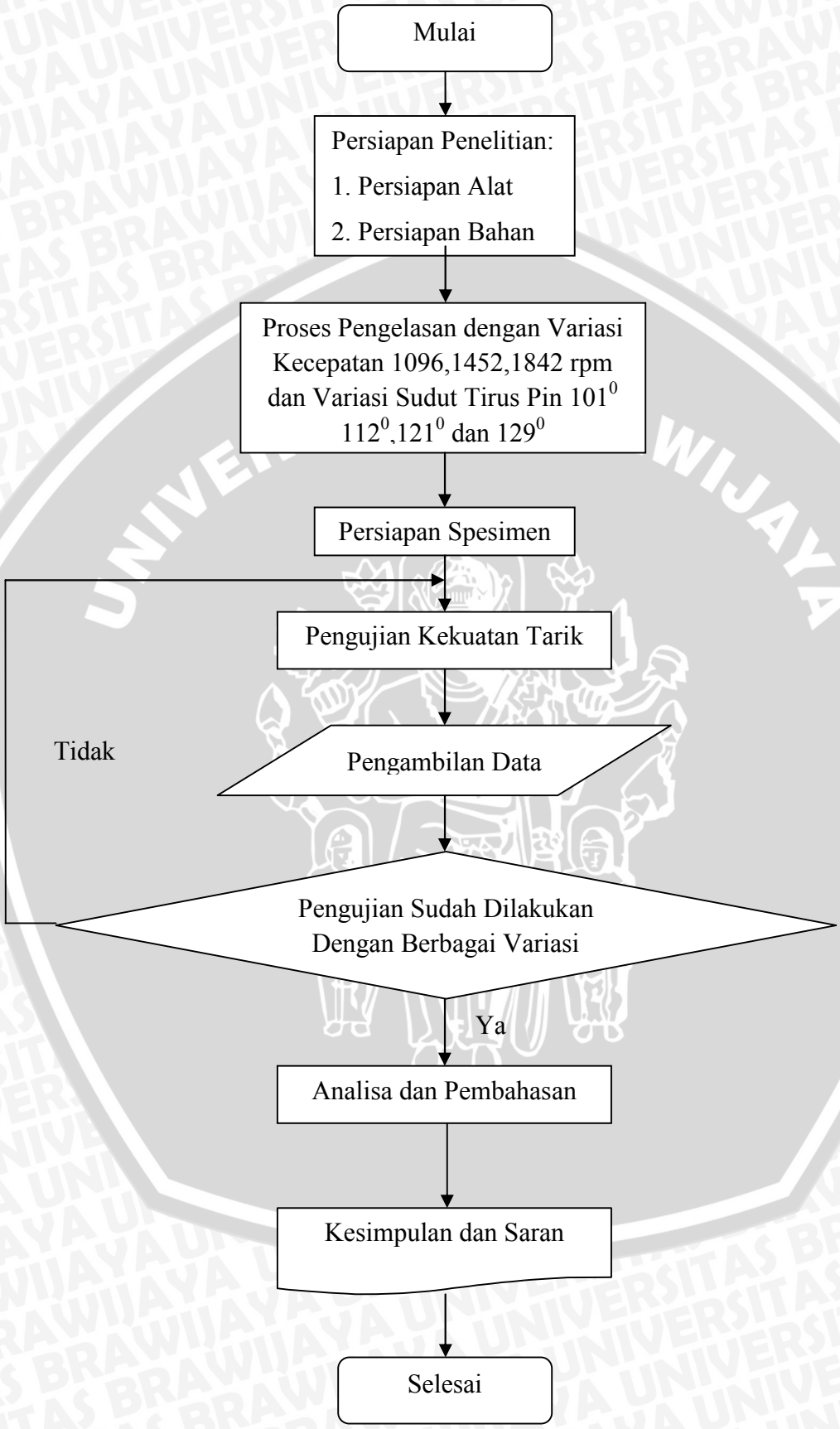
Tabel 3.2 Rancangan Data Pengujian Tarik

Tabel Data Hasil Kekuatan Uji Tarik					
NO	Sudut titus pin (^{0})	Kecepatan Putar (rpm)	Pengulangan (n)	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Tarik Rata-rata (MPa)
1	101	1096	a	X_{111}	
			b	X_{112}	
			c	X_{113}	
		1452	a	X_{121}	
			b	X_{122}	
			c	X_{123}	
		1842	a	X_{131}	
			b	X_{132}	
			c	X_{133}	
2	112	1096	a	X_{211}	
			b	X_{212}	
			c	X_{213}	
		1452	a	X_{221}	
			b	X_{222}	
			c	X_{223}	
		1842	a	X_{231}	
			b	X_{232}	
			c	X_{233}	
3	121	1096	a	X_{311}	
			b	X_{312}	
			c	X_{313}	
		1452	a	X_{321}	
			b	X_{322}	
			c	X_{323}	
		1842	a	X_{311}	
			b	X_{332}	
			c	X_{333}	
4	129	1096	a	X_{411}	
			b	X_{412}	
			c	X_{413}	
		1452	a	X_{421}	
			b	X_{422}	
			c	X_{423}	
		1842	a	X_{431}	
			b	X_{432}	
			c	X_{433}	

3.8.2 Analisa Statistik

Analisa Statistik yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah analisa varian (anova). Analisa ini bertujuan untuk apakah variabel bebas berpengaruh terhadap variabel terikat. Analisa varian yang digunakan dalam metode kali ini adalah analisa varian dua arah. Dari analisa varian dua arah ini akan diketahui ada tidaknya pengaruh suatu variabel bebas terhadap variabel terikat.

3.9 Diagram Alir



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1Data Kekuatan Tarik Aluminium Hasil Pengelasan

Pengambilan data menggunakan alat uji tarik setelah spesimen dilakukan pengelasan dan dibentuk sesuai dengan standar uji tarik. Pada setiap perlakuan sudut tirus pin dan kecepatan putar yang berbeda, dilakukan satu kali pengelasan dan tiga kali uji tarik yang nantinya diperoleh nilai rata-rata dari ketiga pengujian. Nilai yang diperoleh dari hasil uji tarik dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Tarik Pada Sambungan Las

NO	Sudut tirus pin (^{0})	Rotation speed (rpm)	Pengulangan (n)	Hasil Uji Tarik (KN)	Rata-rata (KN)
1	101	1096	1	2,55	2,56
			2	2,53	
			3	2,61	
		1452	1	2,41	2,81
			2	2,89	
			3	3,12	
		1842	1	3,21	2,91
			2	2,89	
			3	2,69	
2	112	1096	1	3,0	2,88
			2	2,78	
			3	2,86	
		1452	1	3,32	2,96
			2	2,79	
			3	2,78	
		1842	1	3,41	3,22
			2	3,31	
			3	2,95	

NO	Sudut tirus pin (^{0})	Rotation speed (rpm)	Pengulangan (n)	Hasil Uji Tarik (KN)	Rata-rata (KN)
3	121	1096	1	3,32	2,97
			2	2,89	
			3	2,71	
		1452	1	3,42	3,22
			2	3,25	
			3	2,97	
		1842	1	3,63	3,62
			2	3,63	
			3	3,62	
4	129	1096	1	2,81	2,73
			2	2,66	
			3	2,72	
		1452	1	2,83	2,85
			2	2,95	
			3	2,77	
		1842	1	3,35	3,08
			2	3,29	
			3	2,65	

4.2 Pengolahan data hasil peneliti

4.2.1Menghitung *Ultimate tensile strength*

Tabel 4.2 Data Hasil Kekuatan Uji Tarik

NO	Sudut tirus pin (^{0})	Rotation speed (rpm)	Pengulangan (n)	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Tarik Rata-rata (MPa)
1	101	1096	1	81,6	82,02
			2	80,96	
			3	83,52	
		1452	1	77,12	89,81
			2	92,48	
			3	99,84	
		1842	1	102,72	93,76
			2	92,48	
			3	86,08	
2	112	1096	1	96	92,16
			2	88,96	
			3	91,52	
		1452	1	106,24	94,82
			2	89,28	
			3	88,96	
		1842	1	109,12	103,14
			2	105,92	
			3	94,4	
3	121	1096	1	106,24	95,14
			2	92,48	
			3	86,72	
		1452	1	109,44	102,82
			2	104	
			3	95,04	
		1842	1	116.16	116,05
			2	116,16	
			3	115,84	
4	129	1096	1	89,92	87,36
			2	85,12	
			3	87,04	
		1452	1	90,56	91,2
			2	94,4	
			3	88,64	
		1842	1	107,02	99,09
			2	105,28	
			3	84,88	

1. Menghitung luas penampang spesimen

   l = 12,5 mm

   t = 2,5 mm

   A = l.t

   = 12,5 mm x 2,5 mm

   = 31,25 mm^2

2. Menghitung kekuatan tarik

   Ultimate tensile strength = $\frac{F_{max}}{A}$

   = $\frac{2{,}73\ kN x\ 1000}{31{,}25 mm}$

   = 87,36 N/mm^2 = 87,36 MPa

   Keterangan : F_{max} = rata – rata beban tarik tertinggi (kN)

   A = luas penampang spesimen uji tarik (mm^2)

4.2.2 Anova

Hipotesa:

H_0 : Tidak ada pengaruh antara sudut tirus pin dan *rotation speed* terhadap kekuatan tarik sambungan las hasil *friction stir welding* pada Aluminium.

H_1 : Ada pengaruh antara sudut tirus pin dan *rotation speed* terhadap kekuatan tarik sambungan las hasil *friction stir welding* pada Aluminium.

Data statistika induk dapat kita lihat pada tabel

Tabel 4.3 Data statistika induk perhitungan Anova Kekuatan tarik Rata-rata(MPa)

Data statistika induk dapat kita lihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Data statistika induk perhitungan Anova Kekuatan Uji Tarik (MPa)

Variabel		Pengulangan (n)	Sudut tirus (^{0})				Total Baris
			101^0	112^0	121^0	129^0	
Kecepatan Putar (rpm)	1096	1	81,6	96	106,24	89,92	
		2	80,96	88,96	92,48	85,12	
		3	83,52	91,52	86,72	87,04	
	Jumlah		246,08	276,48	285,44	262,08	1070,08
	1452	1	77,12	106,24	109,44	90,56	
		2	92,48	89,28	104	94,4	
		3	99,84	88,96	95,04	88,64	
	Jumlah		269,44	284,48	308,48	273,6	1136
	1842	1	102,72	109,12	116,16	107,2	
		2	92,48	105,92	116,16	105,28	
		3	86,08	94,4	115,84	84,8	
	Jumlah		286,28	309,44	348,16	297,28	1241,16
Jumlah Total			801,8	870,4	942,08	832,96	3447,24

$$JKT = 334171{,}7904 - \frac{11883463{,}62}{36} = 4075{,}5788$$

$$JKB = \left(\frac{3976045{,}352}{12}\right) - \frac{11883463{,}62}{36} = 1240{,}901067$$

$$JKK = \left(\frac{2981816{,}488}{9}\right) - \frac{11883463{,}62}{36} = 1216{,}731511$$

$$JK(BK) = \left(\frac{332667{,}4224}{3}\right) - \frac{3976045{,}352}{12} - \frac{331312{,}9432}{9} + \frac{11883463{,}62}{36} = 113{,}5782222$$

$$JKG = 3810{,}8164 - 377{,}284 - 1764{,}6212 - 41{,}98603333 = 1626{,}9258$$

$dbr_{(BARIS)} = 3 - 1 = 2$

$dbc_{(KOLOM)} = 4 - 1 = 3$

$dbrc_{(INTERAKSI)} = 2 \,.\, 3 = 6$

$dbd_{(RESIDU)} = 36 - (3.4) = 36 - 12 = 24$

$dbt_{(TOTAL)} = 36 - 1 = 35$

$$KTB = \frac{1240,901067}{2} = 620,4505333$$

$$KTK = \frac{1216,731511}{3} = 405,5771704$$

$$KT[BK] = \frac{113,5782222}{6} = 18,9297037$$

$$KTG = \frac{1504,368}{24} = 62,682$$

$$F_B = \frac{620,4505333}{62,682} = 9,898384438$$

$$F_K = \frac{405,5771704}{62,682} = 6,470392942$$

$$F_{[BK]} = \frac{18,9297037}{62,682} = 0,3019958473$$

α : 0,05

$F_{B(tabel)} = 3,4$

$F_{K(tabel)} = 3,01$

$F_{[BK](tabel)} = 2,51$

Dari perhitungan statistik menggunakan analisa varian dua arah, maka akan didapatkan data seperti yang terlihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Data ringkasan Anova

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	f hitung	f tabel
Interaksi sudut tirus pin dan kekuatan tarik	1240,901	2	620,4505	9,898	3,4
Interaksi putaran dan kekuatan tarik	1216,731	3	405,577	6,470	3,01
Interaksi sudut tirus dan putaran	113,578	6	18,9297	0,3019	2,51
Galat	1504,368	24	62,682		
Total	4075,578	35			

Kesimpulan:

a. $F_{1\ (hitung)} > F_{1\ (tabel)}$ atau 9,898 > 3,4. Karena harga $F_{1\ (hitung)}$ lebih besar dari $F_{1\ (tabel)}$ maka Ho ditolak dan H1 diterima artinya ada pengaruh antara sudut tirus pin terhadap kekuatan tarik pengelasan *friction stir welding*.

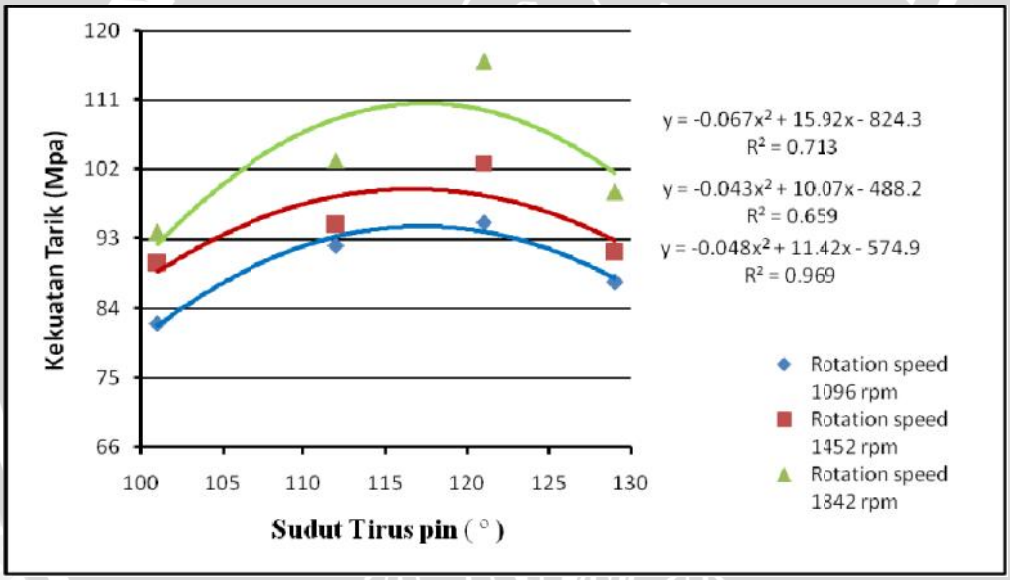
b. $F_{2\ (hitung)} > F_{2\ (tabel)}$ atau 6,470 > 3,01. Karena harga $F_{2\ (hitung)}$ lebih besar dari $F_{2\ (tabel)}$ maka Ho ditolak dan H1 diterima artinya ada pengaruh antara *rotation speed* terhadap kekuatan tarik pengelasan *friction stir welding.*

c. $F_{3\ (hitung)} > F_{3\ (tabel)}$ atau 0,301 < 2,51. Karena harga $F_{3\ (hitung)}$ lebih kecil dari $F_{3\ (tabel)}$ maka Ho diterima dan H1 ditolak artinya tidak ada interaksi pengaruh antara sudut tirus pin dan kecepatan putar terhadap kekuatan tarik pengelasan *friction stir welding.*

4.3 Pembahasan

4.3.1 Hubungan Antara Sudut Tirus Pin Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las

Grafik hubungan sudut tirus pin terhadap kekuatan tarik dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



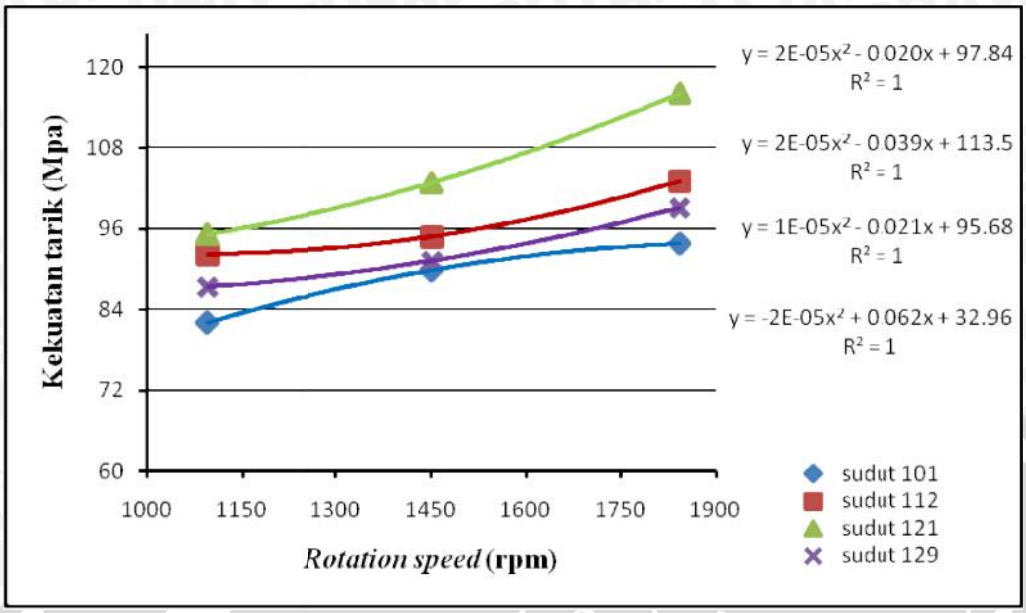
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Pengaruh Variasi sudut tirus pin Terhadap Kekutan tarik Sambungan Las Pada Aluminium

Gambar 4.1 di atas menunjukan hubungan pengaruh Sudut tirus pin terhadap kekuatan tarik sambungan las yang dihasilkan. Pada *rotation speed 1096 rpm* kekuatan tarik sambungan las sebesar 82,02 MPa untuk sudut tirus 101^0, kemudian kekuatan tarik meningkat pada sudut tirus 112^0 sebesar 92,16 MPa dan terus naik pada sudut tirus 121^0 menjadi 95,14 Mpa tapi pada sudut tirus 129^0 turun menjadi sebesar 87,36 MPa Pada *rotation speed 1452 rpm* kekuatan tarik sambungan las sebesar 89,81 MPa untuk sudut tirus 101^0 kemudian kekuatan tarik meningkat pada Sudut tirus 112^0 sebesar 94, MPa

dan terus naik pada sudut tirus 121^0 menjadi sebesar 102,82 MPa tetapi pada sudut 129^0 kekuatan tariknya menurun menjadi 91,20 Mpa Pada *rotation speed 1842 rpm* kekuatan tarik sambungan las sebesar 93,76 MPa untuk sudut tirus 101^0 kemudian kekuatan tarik meningkat pada sudut tirus 112^0 sebesar 103,14 MPa dan terus naik pada sudut tirus 121^0 menjadi sebesar 116,05 MPa, tetapi pada sudut 129^0 kekuatan tariknya menurun menjadi 99,09 Mpa

Gambar 4.1 di atas menunjukan bahwa kekuatan tarik meningkat saat dari sudut tirus 101^0 menuju sudut 112^0 dan terus meningkat pada sudut 121^0 kemudian turun pada sudut tirus 129^0, hal ini disebabkan pada saat pengelasan menggunakan sudut tirus 101^0 bidang kontak *pin* dengan logam induk terlalu besar dimana pada sudut 101^0 diameter pin sebesar 6 sehingga panas yang dihasilkan terlalu besar Pada daerah HAZ semakin tinggi masukan panas (*heat input*) maka daerah HAZ akan semakin lebar dan akan tumbuh kristal dengan cepat yang membentuk butir – butir yang besar dapat dilihat pada hasil foto mikro pada lampiran 2,dimana masukan panas yang besar (*heat input*) menyebabkan terjadi perubahan fisik atau struktur dari logam induk,karena bentuk butiran yang dihasilkan terlalu besar yang dapat menyebabkan tingkat kekerasan material lebih rendah karena kerapatan butiran lebih sedikit dan material bersifat *ductile* yang menyebabkan kekuatan tarik aluminium menurun .Pada sudut tirus 112^0 dan 121^0 kekuatan tarik sambungan mengalami peningkatan hal ini karena dengan meningkatnya sudut tirus pin maka semakin kecil bidang kontak yang bersentuhan maka bentuk butiran yang dihasilkan semakin kecil begitu pula pada daerah HAZ tidak ditemukan adanya cacat menyebabkan tingkat kekerasan material lebih tiggi karena kerapatan butiran lebih banyak dan material bersifat *brittle* demikian pula dengan yield strength dipengaruhi oleh *heat input* yang diterima pada saat proses pengelasan yang selanjutnya mempengaruhi ukuran butir,semakin kecil ukuran butir maka akan semakin besar *yield strength* yang dihasilkan karena semakin besar tenaga yang digunakan untuk menarik material tersebut. Akan tetapi pada sudut tirus 129^0 mengalami penurunan hal ini karena bidang kontak *pin* terlalu kecil dimana pada sudut 129^0 akan dihasilkan diameter pin sebesar 3 walaupun butir yang dihasilkan kecil tetapi panas yang dihasilkan tidak cukup untuk pemanasan awal dan pelunakan logam induk, sehingga sambungan las yang terbentuk tidak sempurna.

4.3.2 Hubungan Antara *Rotation Speed* Terhadap Kekuatan Tarik sambungan las



Gambar 4.2 Grafik hubungan pengaruh *Rotation speed* terhadap kekuatan tarik sambungan las pada Aluminium.

Pada *rotation speed 1096 rpm* kekuatan tarik sambungan las sebesar 82,02 MPa untuk sudut tirus 101^0 kemudian kekuatan tarik meningkat seiring meningkatnya *rotation speed* yaitu sebesar 89,81 MPa *rotation speed* 1452 rpm dan 93,76 MPa pada *rotation speed* 1842 rpm Pada sudut tirus 112^0 kekuatan tarik sambungan las sebesar 92,16 MPa untuk *rotation speed* 1096 rpm kemudian kekuatan tarik meningkat seiring meningkatnya *rotation speed* yaitu sebesar 94,82 MPa pada 1452 rpm dan 103,14 MPa pada 1842 rpm Pada sudut tirus 121^0 kekuatan tarik sambungan las sebesar 95,14 MPa untuk *rotation speed 1095 rpm* kemudian kekuatan tarik meningkat seiring meningkatnya *rotation speed* yaitu sebesar 102,82 MPa pada 1452 rpm dan terus meningkat sebesar 116,05 MPa pada 1842 rpm Pada sudut tirus 129^0 kekuatan tarik sambungan las sebesar 87,36 MPa untuk *rotation speed 1095 rpm* kemudian kekuatan tarik meningkat seiring meningkatnya *rotation speed* yaitu sebesar 91,20 MPa pada 1452 rpm dan 99,09 MPa pada 1842 rpm

Gambar 4.2 di atas menunjukan bahwa kekuatan tarik meningkat seiring dengan penambahan *rotation speed* yaitu mulai dari 1096, 1452 dan 1842 Rpm baik pada sudut tirus 101^0, 112^0,121^0 dan 129^0, hal ini disebabkan karena semakin tinggi *rotation speed* maka dapat meningkatkan *strain rate* dan berpengaruh pada proses rekristalisasi dan

menyebabkan deformasi yang terjadi pada saat proses pengelasan semakin besar sehingga membuat bentuk butiran menjadi lebih kecil dan rpm yang tinggi juga menyebabkan panas yang diterima logam induk akan semakin besar sehingga menyebabkan *yield strength* yang dihasilkan semakin besar.

BAB V
PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian tentang pengaruh variasi sudut tirus pin dan rotation speed terhadap kekuatan tarik sambungan las Aluminium dengan metode FSW diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Meningkatnya sudut tirus pin akan mengakibatkan kekuatan tarik dari sambungan hasil lasan semakin meningkat
2. Penambahan sudut tirus pin berpengaruh pada kekuatan tarik hasil lasan, terbukti pada perubahan sudut tirus dari 101^0, 112^0 dan 121^0 kekuatan tarik hasil lasan meningkat kemudian turun pada sudut tirus 129^0
3. Meningkatnya *rotation speed* akan mengakibatkan *heat input* yang dihasilkan semakin besar sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan juga akan meningkat.
4. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada variasi sudut tirus pin 121^0 dengan rotation speed 1842 rpm sebesar 116,05 MPa dan terendah didapat pada variasi sudut tirus pin 101^0 dengan rotation speed 1096 rpm yaitu sebesar 82,02 MPa

5.2 SARAN

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan variasi jenis *pin* dan *rotation speed* untuk menjadi pembanding dan mencari kekuatan sambungan yang maksimum.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang hubungan varibel sudut tirus pin atau *rotation speed* terhadap beberapa variabel lain seperti kemiringan *tool (tool tilt),* kedalaman *shoulder (shoulder plunge),* bentuk pin ulir , dll

DAFTAR PUSTAKA

Khaled, Terry, An outsider looks at friction stir welding, ANM-112N-05-06 juli 2005.

Lohwasser and Zhan Chen, Friction stir Welding From basics to applications, Woodhead publishing limited, 2009

Megantoro. 2011. Pengaruh Pengelasan Aluminium 5083 terhadap sifat mekanis dan biaya pengelasan dengan perbedaan diameter shoulder pada friction stir welding (FSW), Institut teknologi sepuluh November. Tidak dipublikasikan.

Nelson, Torque based weld power model for friction stir welding, Department of Mechanical Engineering, Brigham Young University 2007.

Rajiv S. Mishra, Murray W. Mahoney, Friction stir welding and processing, editors,p 1-5, 2007.

Ronald E Wapole. 1992. Pengantar Statistika Edisi 3, Jakarta, Indonesia.

Samsi suardi, 2011, Pengembangan Sistem Friction Stir Welding (FSW) Pada Material AC4CH, Universitas Indonesia. Tidak dipublikasikan.

Surdia, Tata. 1992. Pengetahuan Bahan Teknik, Jakarta: Pradnya Paramita.

Thompson,Brian, Establishing W-based Friction Stir Welding Tool Life For Thick Section Steel Applications,2013.

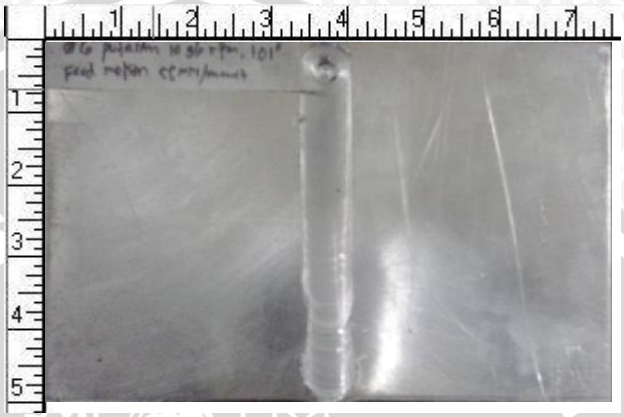
Tahapan Terjadinya Perpatahan Ulet Pada Sampel Uji Tarik, www.msm.cam.ac.uk (diakses Oktober 2013)

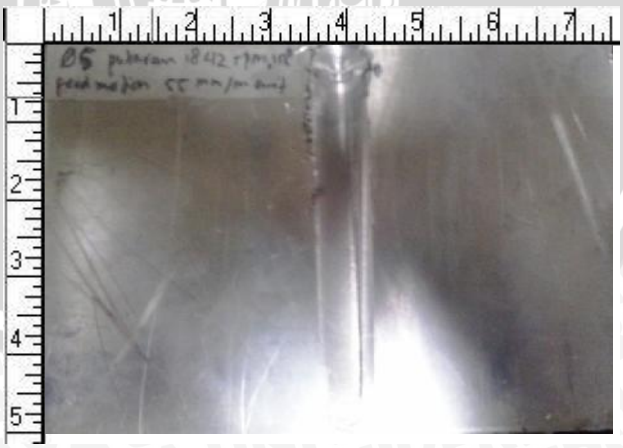
Wiryosumarto, H dan Toshie Okumura,"Teknologi Pengelasan Logam", PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.

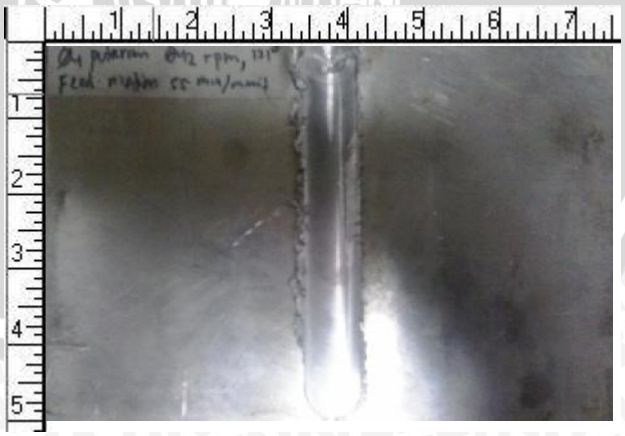
Wediyanto ary. 2013. *pengaruh variasi lebar celah dan kecepatan putar terhadap kekuatan tarik sambungan las hasil(friction stir welding).*Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

LAMPIRAN

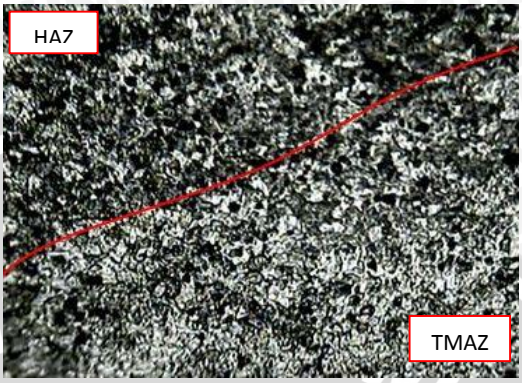
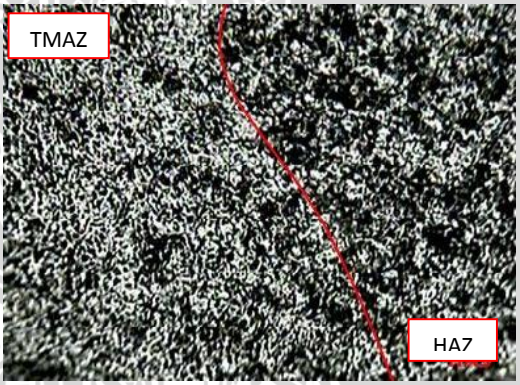
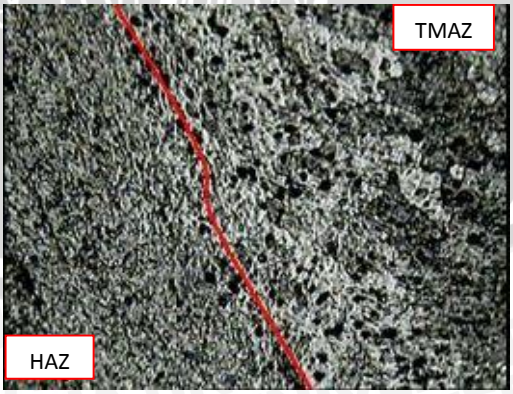
HASIL PENGELASAN

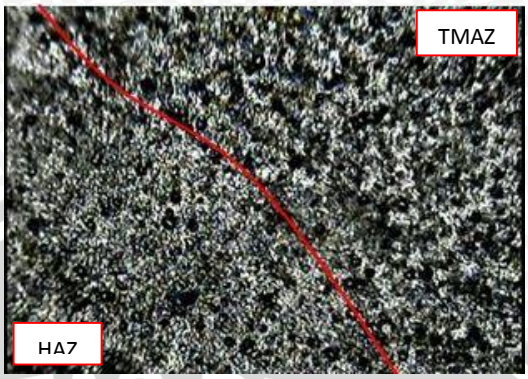
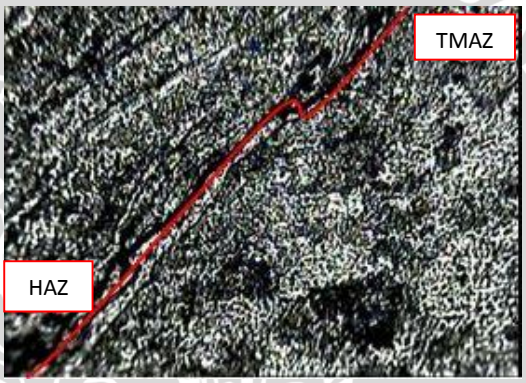
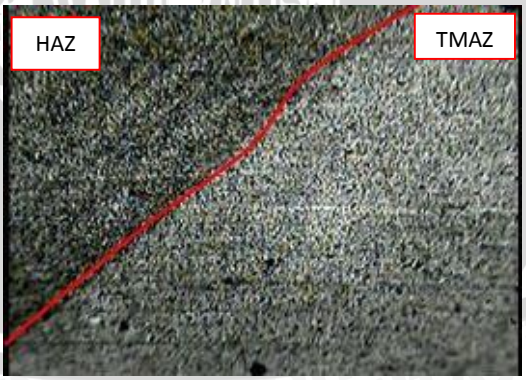
Sudut tirus (^{0})	Rotation speed (Rpm)	Hasil Pengelasan skala 1:2
101	1096	
	1452	
	1842	

Sudut tirus (^{0})	Rotation speed (Rpm)	Hasil pengelasan
112	1096	
	1452	
	1842	

sudut tirus (^{0})	Rotation speed (Rpm)	Hasil pengelasan
121	1096	
	1452	
	1842	

Sudut tirus (^{0})	Rotation speed (Rpm)	Hasil pengelasan
129	1096	
	1452	
	1842	

Sudut tirus pin (^{0})	*Rotation Speed* (rpm)	Foto mikro dengan pembesaran 400x hasil pengelasan friction stir welding
101	1096	
101	1842	
101	1452	

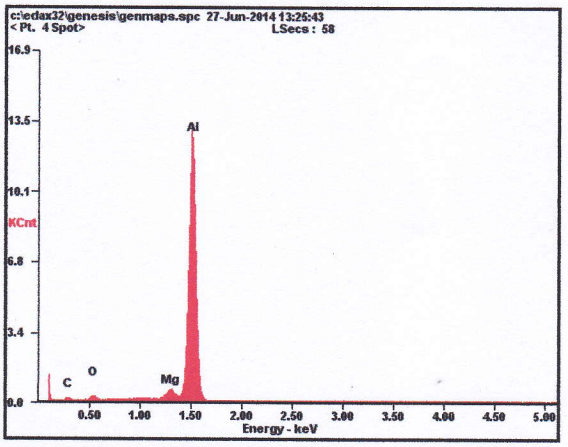
121	**1096**	
121	**1452**	
121	**1842**	

Microanalysis Report

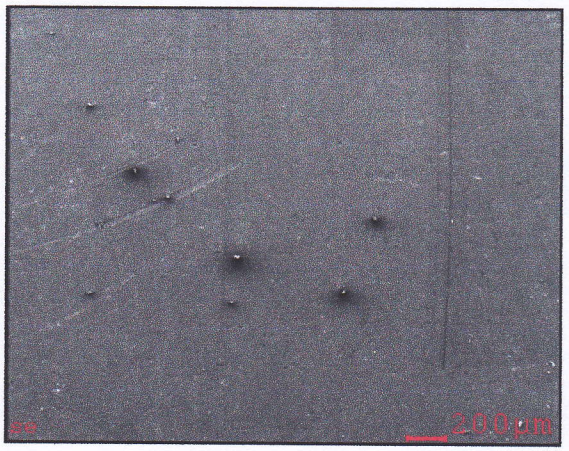
Prepared for: ***Tiyo Budi Asmono - UB***

Prepared by: ***Laboratorium Sentral FMIPA UM*** ***6/27/2014***

Logam Al



Element	*Wt%*	*At%*
CK	09.44	18.54
OK	03.33	04.92
MgK	02.31	02.24
AlK	84.92	74.29
Matrix	Correction	ZAF



Malang, 06 Agustus 2014
a.n Dekan, Wakil Dekan I
u.b Ketua Pengelola Laboratorium Sentral,

Drs. Abdulloh Fuad, M.Si
NIP. 196302221988121002

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI MALANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Semarang 5, Malang 65145.
Gedung D9, Telp/Fax: (0341) 587-082

No. 18/IZIN/2014

Yang bertanda tangan di bawah ini kepala laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, memberi ijin kepada,

Nama	: Tiyo Budi Asmono
Nim	: 125060200111058
Jurusan	: Teknik Mesin
Prodi	: S1 Teknik Mesin Produksi
Universitas	: Universitas Brawijaya Malang

Dimana Mahasiswa tersebut telah melakukan Uji Tarik di Lab Strucktur Teknik Sipil Universitas Negeri Malang guna menyelesaikan penelitian Skripsi yang berjudul "Pengaruh Variasi Sudut Tirus Pin dan *Rotation Speed* Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan las Hasil *Friction Stir Welding* Pada Aluminium yang telah dilaksanakan pada tanggal 21-05-2014 sampai tanggal 22-05-2014.

Demikian pemberitahuan untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 22 Mei 2014
Kepala Laboratorium/workshop
Teknik Sipil FT UM,

Drs. Priyono, M.Pd
NIP. 19590110 198601 1 002

DOKUMENTASI KEGIATAN PENELITIAN

Proses pengencangan spesimen sebelum proses pengelasan

Hasil pengelasan

Proses pemasangan benda kerja untuk uji tarik

Proses pengujian tarik

Perpatahan spesimen