

**ANALISA PENGARUH VARIASI BENTUK *PROBE/PIN* TERHADAP SIFAT
MEKANIS HASIL PENGELOASAN ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA PADA
PROSES *FRICITION STIR WELDING***

Syafi'i Abdullah (17.11.909)

Dosen Pembimbing : Sibut, ST., MT.

Prodi Teknik Mesin S-1. Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Nasional Malang

Kampus II Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang

Email : syafii_abdlh@yahoo.com

ABSTRAK

Prinsip kerja *Stir Friction Welding* adalah memanfaatkan gesekan dari tools yang berputar dengan benda kerja yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Parameter pengelasan dari *Stir Friction Welding* meliputi kecepatan putar (*rotational speed*), kecepatan pengelasan (*feed rate*), kedalaman *shoulder* (*shoulder plunge*), dll. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dan pengamatan struktur mikro pada aluminium dengan tembaga setelah dilakukan pengelasan menggunakan *Friction Stir Welding*. Pengelasan menggunakan Mesin Milling CNC Vertical Dahlih model MCV-1020BA yang telah dilengkapi dengan CNC dan Motor penggerak otomatis untuk meja mesin, mesin ini mampu memutar spindle utamanya sampai max 15.000 rpm. *Tools* menggunakan material Amutit, dengan ukuran dimensi : diameter tool 20 mm, diameter shoulder 16 mm, *probe/pin* Oval 5 mm (diameter), Kotak 3,5 mm (setiap sisi), Segitiga 4,3 mm (setiap sisi), dan panjang *probe/pin* 1,5 mm. Proses pengelasan *Friction Stir Welding* ini dilakukan pada plat aluminium dengan tembaga, dengan ketebalan plat 2,7 mm. Menggunakan kecepatan putar *spindle* mesin konstan 2500 rpm, dan kecepatan pengelasan konstan 20 mm/s. Selanjutnya dilakukan pengujian tarik dan pengujian struktur mikro pada pengelasan. Dari hasil pengelasan menunjukkan bahwa yang mempunyai kekuatan tarik tertinggi adalah variasi *probe/pin* berbentuk kotak dengan nilai tensile strength 103,56 N/mm², untuk variasi *probe/pin* oval dan segitiga memiliki nilai tensile strength masing-masing 86,03 N/mm² dan 59,12 N/mm². Serta hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa variasi bentuk *probe/pin* Kotak lebih bagus (tidak terdapat porosity) dibandingkan dengan bentuk Oval dan Segitiga.

Kata kunci : *Friction Stir Welding*, Aluminium, Tembaga, Amutid, Variasi Bentuk Probe/Pin.

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang telah dilakukan sejak zaman dahulu. Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi pada dunia pemesinan pun semakin canggih dan rumit, salah satunya dengan dikembangkannya teknik pengelasan. Untuk hal itu maka telah ditemukan metode pengelasan yang baru, yaitu pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).

Pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) ditemukan pada tahun 1991, proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) dikembangkan, dan dipatenkan oleh *The Welding Institute* (TWI) di Cambridge, kerajaan Inggris. Selain dari fungsi utamanya, yakni untuk penyambungan atau pengealasan, metode pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) juga merupakan salah satu prinsip dari perbaikan struktur mikro dan komposisi permukaan, yang dilakukan pada material padat.

Metode FSW menghasilkan daerah ***Thermomechanic Affected Zone (TMAZ)*** yang lebih kecil dibandingkan dengan pengelasan busur nyala (*fusion welding*). Parameter pengelasan dari FSW meliputi kecepatan putar (*rational speed*), kecepatan tempuh (*travel speed*), kemiringan tool (*tool tilt*), kedalaman shoulder (*shoulder plunge*), kedalaman

penetrasi probe, dll. Parameter pengelasan biasanya dipublikasi di lingkungan yang terbatas, sehingga sedikit sekali yang dipublikasi untuk umum. Karena adanya keterbatasan publikasi terhadap parameter pada pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) ini, maka penelitian berikut ini akan membahas tentang parameter “**Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Probe/Pin Terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan Aluminium dengan Tembaga Pada Proses *Friction Stir Welding*”**”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi bentuk probe/pin terhadap kekuatan sambungan aluminium dengan tembaga pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).?
2. Bagaimana pengaruh variasi bentuk probe/pin terhadap struktur mikro pada sambungan aluminium dengan tembaga pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kekuatan sambungan aluminium dengan tembaga pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).
2. Mengetahui struktur mikro pada sambungan aluminium dengan

tembaga pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*)

1.4 Manfaat Penelitian

1. Menerapkan teori yang didapat dibangku perkuliahan, khususnya pada teknik pengelasan.
2. Dapat dijadikan acuan / motivasi pembaca agar dapat melakukan penelitian lebih lanjut.
3. Sebagai usaha pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang selalu berkembang tiap tahunnya.

1.5 Batasan Masalah

1. Metode pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*) ini menggunakan Mesin Frais CNC yang dimodifikasi *toolnya*, sehingga dapat digunakan untuk proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).
2. Variasi bentuk *probe/pin* segitiga, kotak, dan oval.
3. Pengujian mekanis sambungan yaitu uji tarik dan uji struktur mikro pada sambungan.
4. Tidak membahas pengujian kekerasan pada sambungan.
5. Tidak membahas distribusi temperatur pada proses pengelasan aduk gesek (*friction stir welding*).
6. Tidak membahas kekuatan *probe/pin*.

7. Material yang akan dilakukan penyambungan adalah plat aluminium dengan tembaga. Tebal masing-masing plat adalah 2,5 mm dan 2,7 mm.
8. Material *tools* yang digunakan adalah Amutid. Dengan diameter *shoulder* 20 mm, diameter *probe/pin* oval 5 mm, *probe/pin* kotak 3,5 mm setiap sisi, *probe/pin* segitiga 4,3 mm setiap sisi, dan panjang *probe/pin* 1,5 mm.
9. Kecepatan tempuh (*travel speed*) konstan 20 mm/s.
10. Kecepatan spindle mesin konstan 2500 rpm.

1.6 LANDASAN TEORI

1.7.1 Klarifikasi Aluminium

Aluminium adalah benda logam berwarna putih keperakan yang lunak. Aluminium tergolong logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon.

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi.

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat

ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Aluminium memiliki klasifikasi dan penggolongan yang bermacam-macam antara lain :

Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan *tensiel* sebesar 92 MPa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga sering kali aluminium dipadukan dengan logam lain.

Aluminium Paduan

Elemen paduan yang umum digunakan pada aluminium adalah silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga lithium sebelum tahun 1982. Secara umum, penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu akan meningkatkan kekuatan *tensile* dan kekerasan, serta menurunkan titik lebur. Aluminium paduan terdiri dari :

1. Aluminium – Silikon (Al-Si)
2. Aluminium – Magnesium (Al-Mg)
3. Aluminium – Tembaga (Al-Cu)
4. Aluminium – Mangan (Al-Mn)
5. Aluminium – Seng (Al-Zn)
6. Aluminium – Besi (Al-Fe)

1.7.2 Klarifikasi Tembaga

Tembaga adalah logam lunak berwarna coklat kemerah-merahan, bersifat ductile tahan korosi dan cuaca serta merupakan konduktor listrik yang baik. Secara industri sebagian besar penggunaan tembaga dipakai sebagai kawat atau bahan untuk penukas panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panas yang baik. Tembaga memiliki klasifikasi dan penggolongan yang bermacam-macam antara lain :

Tembaga Murni

Tembaga murni untuk keperluan industri dicairkan dari tembaga yang diproses secara elektrolisa. Tembaga murni untuk keperluan industri biasanya terdapat unsur-unsur gas yang memberikan pengaruh terhadap berbagai sifat. Berikut unsur-unsur gas yang mempengaruhi sifat tembaga murni :

1. Pengaruh Oksigen
2. Pengaruh *Hydrogen*
3. Tembaga Deoksidasi

Paduan Tembaga

Paduan tembaga adalah terbentuknya larutan padat dengan unsur-unsur logam lain, dan dipergunakan untuk berbagai keperluan. Paduan tembaga yang penting antara lain sebagai berikut :

1. Kuningan

Kuningan berasal dari zaman Romawi yang merupakan gabungan antara fasa

Cu dan Zn. Kuningan dapat dibedakan atas ;

a. Kuningan Khusus

Kuningan jenis ini, adalah kuningan yang ditambahkan unsur ketiga selain dari Cu dan Zn.

b. Kuningan berkekuatan tarik yang tinggi

Kuningan berkekuatan tarik yang tinggi dibuat dari kuningan 60-40% dengan paduan 5% Mn, 2% Fe, dan 2% Al, tidak melebihi jumlah 3-5%. Sedangkan penambahan Ni memberikan pengaruh pada kekuatan tarik dan memperbaiki sifat-sifatnya sesuai dengan jumlah yang ditambahkan dan maksimal 10%.

2. Perunggu (*Brons*)

Perunggu dalam arti yang sempit merupakan paduan antara Cu dan Zn. Perunggu merupakan paduan yang mudah dicor, memiliki kekuatan yang lebih tinggi, ketahanan aus dan ketahanan korosi sehingga dipergunakan untuk berbagai komponen mesin, bantalan, pegas, coran artistik dll.

a. Perunggu Timah Putih

Perunggu timah putih memiliki diagram fasa Cu-Sn , Sn lebih mahal dari kuningan. Oleh karena itu kuningan digunakan sebagai bahan

baku dan selanjutnya bahan dicampur 4-5% Sn.

b. Perunggu Fosfor

Paduan tembaga *fosfor* berguna sebagai penghilang oksida, sehingga penambahan *fosfor* 0,05-0,5% pada logam memberikan sifat cair pada logam yang lebih baik. *Brons fosfor* memiliki kelebihan pada keelastisan, kekuatan dan ketahanan terhadap aus.

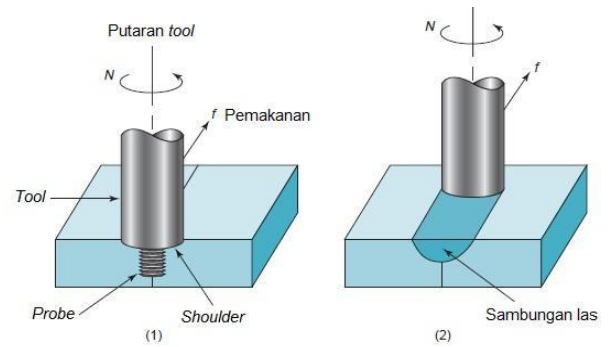
Tabel 2.1 Paduan Tembaga

Paduan	Komposisi Kimia Utama (%)	Sifat-sifat mekanik			Penggunaan
		Kekuatan Tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan Mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	
Kuningan 70-30	70Cu-30Zn	32,6	11,5	60	Emas Tiruan
Kuningan 60-40	60Cu-40Zn	37,8	12	0,43	Pemrosesan logam tipis
Kuningan <i>Admiralty</i>	71Cu-28Zn-1,05Sn	34,3	12,6	63	Sekrup, Baut
<i>Brons Forfor</i>	94,8Cu-5Sn-0,25P	35	14	0,58	Roda Gigi, Pegas
<i>Brons Mangan</i>	58,5Cu-39,2Zn-1,0Sn-1,0Fe-0,3Mn	15,5	21	0,35	Poros Baling-baling Kapal
<i>Brons Aluminium</i>	95Cu-5Al	38,6	15,4	65	Untuk Industri Kimia, Bahan tahan Korosi

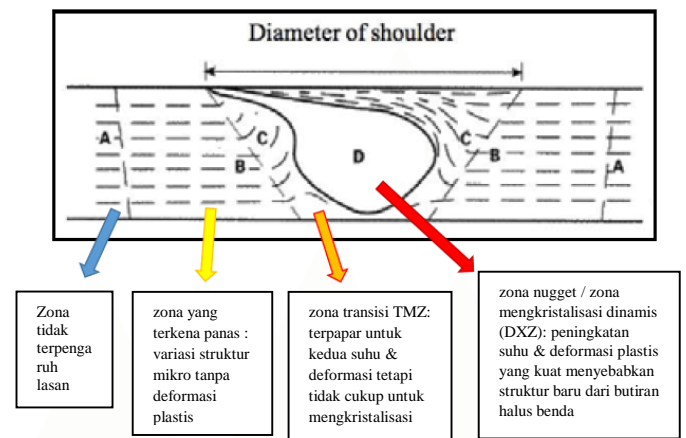
1.7.3 Friction Stir Welding

Friction stir welding (FSW) adalah proses pengelasan *solid-state* di mana sebuah *tool* yang berputar dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. *Tool* yang berputar dan dimakamkan pada garis sambungan tersebut menghasilkan panas serta secara mekanis menggerakkan (*stiring*; bentuk dasar: stir, sehingga diberi nama *friction stir welding*) logam untuk membentuk sambungan las. Perbedaan *friction stir welding* dengan *friction welding* adalah pada *friction stir welding* panas gesekan dihasilkan oleh *tool* tahan aus, sedangkan pada *friction welding* berasal dari benda kerja yang akan disambung itu sendiri.

Gesekan panas (*Frictional Heat*) pada FSW dihasilkan oleh gesekan antara *probe/pin* dan *shoulder* dari *welding tool* dengan material benda kerja yang dilas. Panas ini bersama dengan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanik (*mechanical mixing*) akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya (*melting point*), hal ini yang memungkinkan *tool* pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan.



Gambar 2.1 Proses Pengelasan FSW



Gambar 2.2 Heat Zone pada FSW

1. Parameter Pengelasan (*welding parameter*)

Parameter pengelasan dari FSW meliputi kecepatan putar (*rotational speed*), kecepatan tempuh (*travel speed*), kemiringan *tool* (*tool tilt*), kedalaman *shoulder* (*shoulder plunge*), kedalaman penetrasi *probe/pin*, dll. Secara umum kecepatan tempuh dan kecepatan putar yang lambat biasanya digunakan untuk material yang keras atau material yang tipis. Meningkatkan kecepatan putar atau menurunkan kecepatan tempuh cenderung akan meningkatkan masukan panas dan temperatur pengelasan.

2. Siklus proses *Friction Stir Welding*

Siklus dari proses FSW dapat dibagi menjadi beberapa langkah dimana masing-masing memiliki aliran panas dan thermalprofile yang berbeda, siklus-siklus tersebut adalah :

a. *Dwell Time*

c. *Pseudo Steady-state*

b. *Transient Heating*

d. *Post Steady State*

3. Sambungan pada proses *Friction Stir Welding*

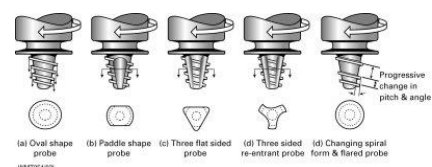
Pada proses FSW jenis sambungan yang dibuat, seperti butt joint. Dua benda kerja yang dilas pada posisi pertemuan ruas antara bidang yang bersentuhan, dicekam rigid pada fixture atau ragam. Fixture mencegah benda kerja berputar atau terangkat ketika proses las berlangsung. *Tool* secara perlahan turun dan masuk kedalam ruas pertemuan benda kerja sampai *shoulder* dari *tool* menyentuh benda permukaan benda kerja dan ujung *probe/pin* sedekat mungkin dengan *backplate*. Sampai diakhir pengelasan *tool* ditarik/diangkat ketika *tool* masih dalam kondisi berputar. Seperti pin yang ditarik, tool akan meninggalkan lubang (*keyhole*) diujung pengelasan. *Tool shoulder* yang bersentuhan dengan benda kerja

pun meninggalkan bekas semi *circular ripple* dijalur pengelasan.

Open root (kurangnya penetrasi) berpotensi besar untuk mengalami kegagalan pada sambungan. Pada pengelasan FSW sumbu dari *spindle* dan benda kerja tidak benar-benar tegak lurus 90^0 . Ada kemiringan sekitar $2-4^0$, 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 (*ability*) untuk eksekusi proses pengelasan non-linier dan juga bisa mengurangi kecepatan pengelasan (*travel speed weld*).

4. Desain Tool

Desain tool merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi struktur mikro, profil, dan sifat mekanik sambungan.



Gambar 2.3 *Design Pin/Probe* pada *Tool FSW*

Material *tool* merupakan faktor yang menentukan akan kehandalan *tool*, koefesian gesek, dan pembangkitan heat. Oleh karena itu *tool design*

merupakan hal yang sangat penting dari FSW. beberapa karakter material yang harus dipenuhi oleh sebuah tool adalah :

1. Memiliki kekuatan yang baik di suhu ruang dan di suhu tinggi.
2. Stabilitas material tetap terjaga pada saat suhu tinggi.
3. Tahan gesek atau aus.
4. Material yang digunakan tidak bereaksi dengan benda kerja.
5. Memiliki ketangguhan yang baik.
6. Thermal expansion rendah.
7. Homogen secara microstructure dan massa jenis.
8. Tersedia luas di pasaran.

Tabel 2.2 Material Tool FSW dan Aplikasinya

Alloy	Thickness		Tool Material
	mm	in	
Aluminium Alloys	<12	<0,5	Tool Steel, WC-Co
Magnesium Alloys	<26	<1,02	MP159
	<6	<0,24	Tool Steel, WC
Copper and copper Alloys	<50	<2,0	Nickel alloys, PCBN (a), Tungsten Alloys
	<11	<0,4	Tool Steel
Titanium Alloys	<6	<0,24	Tungsten Alloys
Stainless Steel	<6	<0,24	PCBN, Tungsten Alloys
Low-Alloy Steel	<10	<0,4	WC,PCBN
Nickel Alloy	<6	<0,24	PCBN

5. Rotasi *Tool* dan Kecepatan Melintang

Ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat tool itu berputar dan seberapa cepat tool itu melintasi

jalur pengelasan (joint line). Kedua parameter ini, harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan.

6. Kedalaman Ceburan dan Tekanan *Tool*

Kedalaman ceburan (*plunge depth*) didefinisikan sebagai kedalaman titik terendah *probe/pin* dibawah permukaan material yang dilas dan telah diketahui sebagai parameter kritis yang menjamin kualitas lasan. *Plunge depth* perlu diatur dengan baik untuk menjamin tekanan kebawah tercapai, dan memastikan *tool* penuh menembus lasan. *Plunge depth* yang dangkal dapat mengakibatkan cacat dalam lasan, sebaliknya *plunge depth* yang berlebihan bisa mengakibatkan kerusakan pin karena berinteraksi dengan alasnya. Tekanan *shoulder* diharapkan untuk menjaga material lunak tidak keluar jalur dan memberi efek tempa (*forging*). Material panas ditekan dari atas oleh *shoulder* dan ditahan oleh alas dari bawah. Proses ini bertujuan untuk memadatkan material sehingga penguatan sambungan terjadi akibat efek tempa tersebut.

7. Gaya pada proses *Friction Stir Welding*

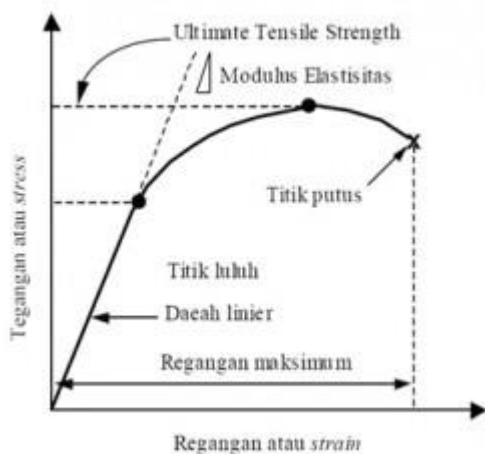
a. *Downward Force*,

- b. *Traverse Farce*,
- c. *Lateral Farce*,
- d. *Torsi*

1.7.4 Metode Pengujian Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu [Askeland, 1985]. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva uji tarik.

Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar 2.10. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.



Gambar 2.4 Kurva Uji Tarik

Hal-hal yang perlu diperhatikan agar pengujian menghasilkan nilai yang valid adalah bentuk dan dimensi spesimen uji, pemilihan grips dan lain-lain.

1. Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji

Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM E8 atau D638. Bentuk dari spesimen penting karena kita harus menghindari terjadinya patahan atau retak pada daerah grip atau yang lainnya. Jadi standarisasi dari bentuk spesimen uji dimaksudkan agar retak dan patahan terjadi di daerah *gage length*

2. Grip and Face Selection

Face dan *grip* adalah faktor penting. Dengan pemilihan setting yang tidak tepat, spesimen uji akan terjadi slip atau bahkan pecah dalam daerah *grip* (*jawbreak*). Ini akan menghasilkan hasil yang tidak *valid*. *Face* harus selalu tertutup di seluruh permukaan yang kontak dengan *grip*. Agar spesimen uji tidak bergesekan langsung dengan *face*. Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan pada pegangan bahan yang di uji. Dimensi dan ukuran pada benda uji disesuaikan dengan standar buku pengujian.

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan teknik tersebut diperoleh dengan cara membagi beban

yang diberikan dibagi dengan luas awal penampang benda uji. Dituliskan seperti dalam persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Keterangan :

σ = Besarnya tegangan (kg/mm²)

P = Beban yang diberikan (kg)

A_0 = Luas penampang awal benda uji (mm²)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dituliskan seperti dalam persamaan berikut.

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Keterangan :

e = Besar regangan (mm²)

L = Panjang benda uji setelah pengujian (mm)

L_0 = Panjang awal benda uji (mm)

Deformasi pada daerah ini bersifat permanen, meskipun bebannya dihilangkan. Tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi plastis akan bertambah besar dengan bertambahnya regangan plastik. Pada tegangan dan

regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Keterangan :

E = Besar modulus elastisitas (kg/mm²)

e = Regangan (mm²)

σ = Tegangan (kg/mm²)

3. Sifat-sifat Mekanik Uji Tarik

a. Kekuatan tarik

Kekuatan yang biasanya ditentukan dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (Yield Strength) dan kuat tarik (Ultimate Tensile Strength). Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength /UTS), adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji

b. Kekuatan Luluh (yield strength)

Salah satu kekuatan yang biasanya diketahui dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (Yield Strength). Kekuatan luluh (yield strength) merupakan titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis [Dieter, 1993].

c. Pengukuran Keliatan (Keuletan)

Keuletan adalah kemampuan suatu bahan sewaktu menahan beban pada saat diberikan penetrasi dan akan kembali ke bentuk semula. Secara umum pengukuran keuletan dilakukan untuk memenuhi kepentingan tiga buah hal [Dieter, 1993]

d. Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas adalah ukuran kekuatan suatu bahan akan keelastisitasannya. Makin besar modulus, makin kecil regangan elastic yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Modulus elastisitas ditentukan oleh gaya ikat antar atom, karena gaya-gaya ini tidak dapat dirubah tanpa terjadi perubahan mendasar pada sifat bahannya.

e. Kelentingan (resilience)

Kelentingan adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap energi pada waktu berdeformasi secara elastis dan kembali ke bentuk awal apabila bebannya dihilangkan

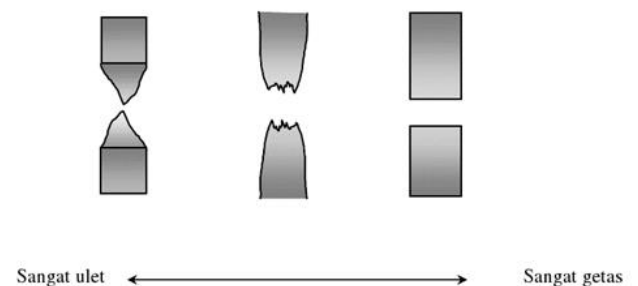
f. Ketangguhan (Toughness)

Ketangguhan (*Toughness*) adalah kemampuan menyerap energy pada daerah plastik. Pada umumnya ketangguhan menggunakan konsep

yang sukar dibuktikan atau didefinisikan.

4. Model Patahan Material

Secara definisi, patah sederhana adalah pemisahan dari sebuah kesatuan menjadi dua bagian atau lebih diakibatkan gaya yang berlaku statis (yang bersifat konstan atau berubah secara perlahan menurut fungsi waktu). Adapun penyebab patah lebih lanjut disebabkan oleh adanya gaya berupa tarikan, tekanan, geseran, dan torsional. material dengan sifat ulet memiliki kemampuan untuk menyerap energi lebih besar karena mengalami deformasi plastis dahulu sebelum putus sehingga menghasilkan daerah yang luas dibawah kurva *stress-strain*. Hal ini berkebalikan dengan patah secara getas, dimana material dengan sifat getas tidak mengalami yang namanya deformasi plastis dan patah saat berada di daerah elastis. Nah, dibawah ini akan dibahas lebih lanjut tentang patah ulet dan patah getas.



Gambar 2.5 Patahan Material

a. Patah Ulet

Patah secara ulet memiliki karakteristik tersendiri terlihat dari permukaan hasil patahan yang dapat dilihat secara mikroskopik maupun makroskopik. Patah secara ulet juga dapat dibedakan atas 2 yaitu patah ulet tingkat tinggi dan tingkat menengah.

b. Patah Getas

Patah getas tidak mengalami yang namanya deformasi plastis sebelum terjadinya patah dan mengalami perambatan retakan yang sangat cepat. Arah dari retakan sendiri tegak lurus dengan arah tarikan dan memiliki bentuk patahan yang datar.

1.7.5 Metalografi

Metalografi adalah teknik atau metode persiapan materi untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi yang terkandung dalam material yang dapat diamati, seperti fase, biji-bijian, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya pada. **Dalam garis besar langkah-langkah yang dilakukan dalam metalografi adalah sebagai berikut:**

1. Pemotongan Spesimen (*sectioning*)

Proses pemotongan adalah penghapusan materi dari sampel besar menjadi spesimen dengan ukuran kecil. Pemotongan yang salah akan

menyebabkan struktur mikro itu tidak benar karena telah berubah. Untuk meningkatkan efisiensi lebih baik bila spesimen berukuran lebih kecil namun bisa mewakili bagian yang ingin diperiksa atau merupakan bagian yang ingin diteliti.



Gambar 2.6 Alat Pemotong (*sectioning*)

2. Framing (*mounting*)

Mounting adalah penggunaan pemegang atau proses pembesaran pemegang spesimen. pemegang biasanya digunakan untuk plat tipis dimana beberapa plat ditumpuk sehingga menghasilkan spesimen yang berukuran cukup besar yang akan mempermudah penanganan. Pembesaran spesimen dilakukan dengan menggunakan bahan resin atau *plastic thermosetting*.

3. Grinding, Abrasi dan Polishing

Dalam proses ini dilakukan penggunaan partikel abrasif tertentu yang bertindak sebagai alat pemotong berulang kali. Pada beberapa proses, partikel bersatu sehingga bentuk blok mana permukaan Anda akan menikmati permukaan kerja. Partikel yang dilengkapi dengan menonjol

partikel abrasif untuk membentuk titik yang tajam sangat banyak.

Grinding adalah proses yang memerlukan pergerakan permukaan abrasive sangat cepat, menyebabkan panas ke permukaan spesimen. Sementara **pengamplasan** adalah proses untuk mengurangi permukaan dengan gerakan permukaan abrasive bergerak relatif lambat sehingga panas yang dihasilkan tidak signifikan.



Gambar 2.7 Alat untuk Pengamplasan Metalografi

Proses **polishing** menggunakan partikel abrasif tidak kuat melekat di pesawat tetapi pada cairan dalam serat kain. Tujuannya adalah untuk menciptakan permukaan yang sangat halus yang dapat sehalus kaca yang dapat memantulkan cahaya dengan sangat baik. Dalam polishing biasanya digunakan pasta gigi, pasta gigi yang mengandung Zn dan Ca yang akan mampu menghasilkan permukaan yang sangat halus.



Gambar 2.8 Grinder Polisher

4. **Etsa**

Etsa metalografi dilakukan dalam proses ini adalah untuk melihat struktur mikro spesimen dengan menggunakan mikroskop optik. Etsa merupakan larutan kimia yang digunakan untuk memungkinkan pengamatan struktur mikro. Etsa bekerja dengan tiga cara yaitu :

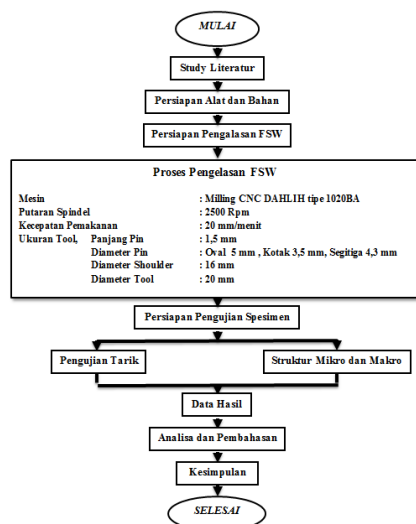
1. Melarutkan lapisan aliran logam yang terbentuk sebagai akibat dari proses persiapan permukaan spesimen.
 2. Membedakan struktur yang terdapat pada logam.
 3. Memberikan warna pada struktur mikro sehingga mempermudah pengenalan dan analisa (untuk pengetsaan berwarna).
- #### 5. **Pengamatan Struktur Mikro**
- Dalam metalografi, umum untuk dicermati adalah dua hal : **struktur makro** dan struktur **mikro**. Struktur **makro** adalah struktur logam yang terlihat dalam makro pada permukaan terukir dari spesimen yang telah dipoles. Sedangkan **struktur mikro** adalah struktur permukaan logam yang telah dipersiapkan secara khusus terlihat dengan menggunakan perbesaran minimal 25x. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan

yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. dari struktur mikro kita dapat melihat :

- a. Ukuran dan bentuk butir
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- c. Pengotor yang terdapat dalam material

1.7 METODOLOGI PENELITIAN

1.8.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

1.8.2 Waktu dan Tempat Penelitian

1. Pembuatan (pemotongan) Spesimen di beberapa tempat, dibengkel las dekat kos dan dibengkel las dan bubut Pak Partono. Pembuatan spesimen ini dilaksanakan pada bulan Oktober sampai dengan bulan Desember 2018
2. Pengelasan *Friction Stir Welding* dilakukan di Laboratorium Pemesinan Politeknik Negeri Malang. Pengelasan

dilaksanakan pada bulan Oktober sampai dengan November 2018.

3. Pengujian Tarik dan Struktur Mikro dilakukan di Laboratorium Metallurgi dan Uji Bahan di Pemesinan Politeknik Negeri Malang. Pengujian dilaksanakan pada bulan November sampai dengan Desember 2018.

1.8.3 Alat dan Bahan Penelitian

A Alat Penelitian

1. Mesin Milling CNC

Mesin milling yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Milling DAHLIH tipe 1020BA yang merupakan asset *workshop* Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Mesin ini merupakan mesin milling konvensional 4 axis yang telah dilengkapi penggerak otomatis untuk meja mesin.



Gambar 3.2 Mesin Milling CNC DAHLIH tipe 1020BA

2. Mesin Uji Tarik

Dalam pengujian, untuk mengukur kekuatan dari hasil pengelasan *Friction Stir Welding* aluminium dengan tembaga, menggunakan mesin uji tarik yang ada di

Laboratorium Metallurgi dan Uji Bahan di Pemesinan Politeknik Negeri Malang.



Gambar 3.3 Mesin Uji Tarik

3. Mikroskop Optik Metalografi

Dalam penelitian ini Mikroskop Optik digunakan untuk melihat struktur dari hasil pengelasan *Friction Stir Welding* aluminium dengan tembaga.



Gambar 3.4 Mikroskop Optik

4. Pemotong Bahan (gergaji dan roda abrasif)

Pemotongan plat material Aluminium dan Tembaga untuk proses pengelasan menggunakan gergaji besi dan roda abrasif atau sering disebut juga grinda potong logam. Gergaji Besi dan Roda abrasif juga digunakan untuk pemotongan spesimen Uji Tarik dan Struktur Mikro dari hasil pengelasan *Stir Friction Welding*.



Gambar 3.5 Alat Pemotong Bahan Spesimen

5. Mesin Amplas dan Mesin Grinder Poliser

Mesin amplas digunakan untuk mengamplas/menghaluskan sambungan pengelasan setelah dilakukan pemotongan. Ukuran amplas yang digunakan dari no 240 – 2500. Setelah dilakukan pengamplasan, tahap selanjutnya adalah proses polishing menggunakan mesin grinder polisher dan batu hijau.



Gambar 3.6 Mesin Amplas dan Mesin *Polishing*

B Bahan Penelitian

1. Aluminium

Untuk proses pengelasan *Friction Stir Welding* memakai plat Aluminium dengan ukuran panjang : 20 mm, lebar : 10 mm, dan tebal : 2,7 mm



Gambar 3.7 Spesimen Plat Aluminium untuk Proses Pengelasan

2. Tembaga

Untuk proses pengelasan *Friction Stri Welding* memakai plat Tembaga dengan ukuran panjang : 20 mm, lebar : 10 mm, dan tebal : 2,7 mm



Gambar 3.8 Spesimen Plat Tembaga untuk Proses Pengelasan

3. Baja Amutit

Baja amutit digunakan untuk pembuatan tool pada proses Friction Welding. Pemilihan baja amutit dikarenakan memiliki nilai kekerasan 18,7 HRc dan kekuatan tarik 677N/mm². Baja amutit ini bisa ditingkatkan nilai kekerasannya melalui proses Hardening dan Tempering.

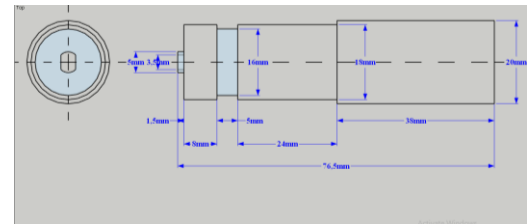


Gambar 3.9 Baja Amutit

1.8.4 Tool Friction Stir Welding

Tool mempunyai tiga fungsi utama yaitu untuk membangkitkan panas pada benda kerja, memindahkan material sambungan pengelasan, dan menahan material adukan panas di bawah *tool shoulder*.

1. Tool dengan *probe/pin* berbentuk Oval.

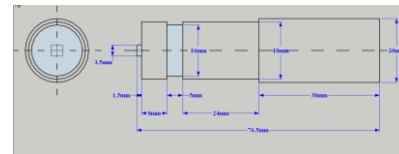


Gambar 3.10 Dimensi Tool dengan *Probe/pin* berbentuk Oval



Gambar 3.11 Tool dengan *Probe/pin* berbentuk Oval

2. Tool dengan *probe/pin* berbentuk Kotak.

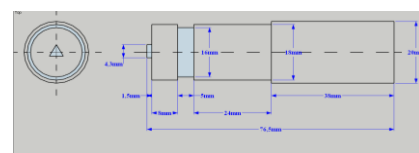


Gambar 3.12 Dimensi Tool dengan *Probe/pin* berbentuk Kotak



Gambar 3.13 Tool dengan *Probe/pin* berbentuk Kotak

3. Tool dengan *probe/pin* berbentuk Segitiga.



Gambar 3.14 Dimensi Tool dengan *Probe/pin* berbentuk Segitiga



Gambar 3.15 Tool dengan Probe/pin berbentuk Segitiga

1.8.5 Variabel Penelitian

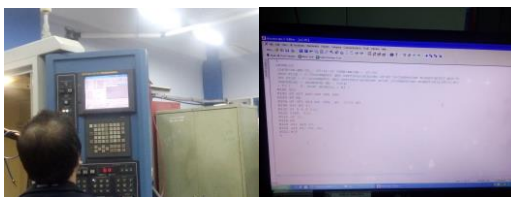
Variabel penelitian pada skripsi ini terdiri atas variabel terikat dan variabel bebas. Dimana variabel terikat adalah kekuatan tarik hasil pengelasan aluminium dengan tembaga, dan struktur mikro dari hasil pengelasan. Variabel bebasnya adalah variasi bentuk *probe/pin* Oval, Kotak, dan Segitiga.

1.8.6 Prosedur Penelitian

A Persiapan Pengelasan

Sebelum melakukan pengelasan ada beberapa hal yang harus dipersiapkan :

1. Menyiapkan bahan yang akan dilas (aluminium dan tembaga)
2. Penyetelan alat pencekam dengan posisi meja kerja.
3. Penyetelan kecepatan *spindle* pada rpm konstan 2500 dan travel *speed* pada 20 mm/menit pada panel control atau program MasterCam.



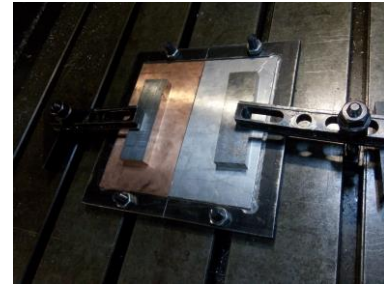
Gambar 3.16 Mengatur Kecepatan *Spindle* dan *Travel Speed*

4. Setting kemiringan *spindle* mesin

B Proses Pengelasan

Proses pengelasan bisa dilakukan jika semua alat dan bahan telah siap, berikut adalah langkah-langkah pengelesan :

1. Pemasangan benda kerja dan alat pencekam (ragum) di mesin CNC .



Gambar 3.17 Pemasangan Benda Kerja pada Ragum

2. Pasang *tool* pada *collet*, *tool* dipasang setelah *collet* terpasang pada adaptornya untuk meminimalisir kerusakan pada *collet*.



Gambar 3.18 Collet Mesin Milling CNC

3. Nyalakan mesin pada putaran *spindle* yang diinginkan.
4. Posisikan FSW *tool* sedekat mungkin dengan spesimen. Posisi *tool* tidak boleh melewati sisi terluar karena akan menghilangkan *downward force* dari *shoulder tool*.
5. Kunci meja mesin milling pada arah X dan Y. Penguncian meja ini bertujuan

menjaga agar tidak terjadi pergeseran benda kerja (meja kerja) akibat adanya *lateral* dan *traverse force*.

6. Penetrasi *tool* FSW sampai *shoulder* menyentuh benda kerja.



Gambar 3.19 Penetrasi *Tool*

7. Gerakan pada meja kerja pada arah sumbu Y dengan *travel speed* konstan 20 mm/menit. Pergerakan meja dilakukan dengan metode otomatis untuk menjaga kecepatan meja tetap konstan.



Gambar 3.20 Proses Pengelasan *Friction Stir Welding*

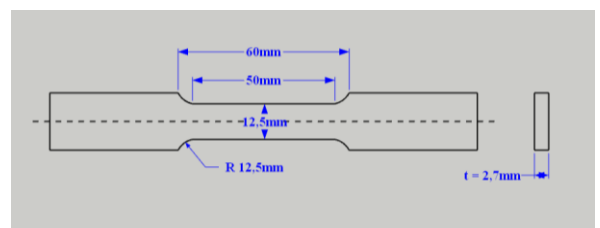
8. Setelah selesai pada jarak travel dan benda kerja sudah tersambung, hentikan pergerakan meja kerja dan tarik *tool* keluar dari benda kerja.
9. Matikan spindle mesin dan posisikan terbebas dari FSW *tool*.
10. *Unloading* benda kerja dengan menggunakan tang penjepit dan berikan *marking nomer specimen*.

C Spesimen Pengujian Tarik

Hasil pengelasan FSW aluminium dengan tembaga yang telah di potong dengan ukuran 200 mm x 20 mm, proses selanjutnya adalah pemilihan bentuk dan dimensi dari benda uji. Seleksi standard yang dilakukan berdasarkan kesesuaian dimensi dari benda kerja pengelasan dengan specimen yang akan dibuat. Untuk material berbentuk plate, bar atau strip dengan ketebalan 2,7 mm menggunakan standard ASTM E8M-09.

Tabel 3.1 Standard ASTM 8M – 09

	Dimensions		
	Standard Specimens	Sheet-Type, 12.5 mm	Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, 0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		Thickness of material	
R—Radius of fillet, mm (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	27 [1.05]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]



Gambar 3.27 Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM 8M-09



Gambar 3.28 Spesimen Uji Tarik ASTM 8M-09

1.8.7 Proses Pengujian

A Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik yang berada di Laboratorium Uji Bahan di Pemesinan Politeknik Negeri Malang. Pengujian dilakukan pada specimen hasil pengelasan yang dibentuk menurut standard ASTM E8-09, specimen 3. (*Annual Book ASTM Standards*)

B Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada sambungan Aluminium dengan Tembaga dalam pengujian ini dilakukan di laboratorium Metalurgi Politeknik Negeri Malang, dengan menggunakan Mikroskop Optik.

1.8.8 HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Pengolahan Data

Data hasil pengujian Tarik dan Struktur Mikro dilakukan di Laboratorium Pemesinan dan Metalurgi Politeknik Negeri Malang Jl. Soekarno Hatta No.09 Malang Jawa Timur. Dimana hasil pengujian akan menjadi acuan dalam pengerjaan skripsi.

2 Data Hasil Pengujian Tarik

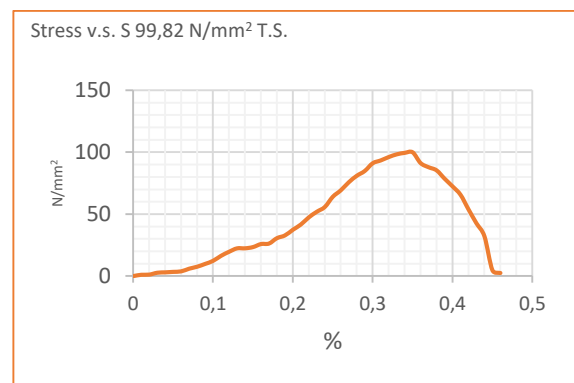
Pengujian hasil pengelasan *friction stir welding* dengan memakai plat aluminium dengan tembaga tebal 2,7 mm. Dengan laju pengelasan (*feeding*) yang

konstan yaitu 20 mm/menit pada putaran *spindle* 2500 rpm. *Tool* yang digunakan dengan diameter *shoulder* 16 mm, diameter *probe* Oval 5 mm, *probe* kotak 3,5 mm, *probe* segitiga 4,3 mm, dan panjang *probe* 1,5 mm.

$$\begin{aligned} \text{Luas Area Las } A_0 &= W \times t \\ &= 12,5 \text{ mm} \times 2,6 \text{ mm} \\ &= 32,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2.1 Perhitungan Data Dengan Variasi Bentuk Probe/Pin Oval

1) Hasil Pengujian Tarik Spesimen I Variasi bentuk Probe/pin Oval



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk *Probe/pin* Oval

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen I :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{3244,29 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 99,82 \quad (\text{N/mm}^2)$$

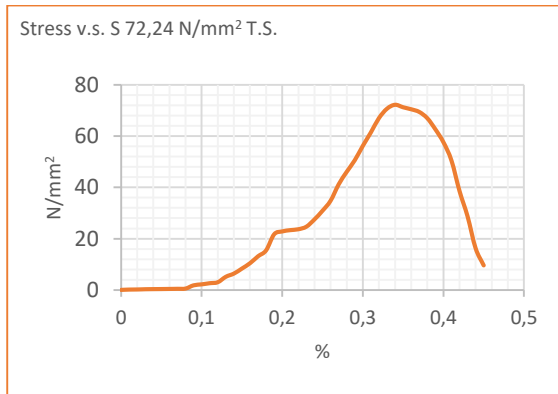
- Analisa perhitungan Regangan data spesimen I :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{82 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,64 \%$$

2) Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *probe/pin* Oval



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *Probe/pin* Oval

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen II :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{2348,08 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 72,24 \quad (\text{N/mm}^2)$$

- Analisa perhitungan Regangan data spesimen II :

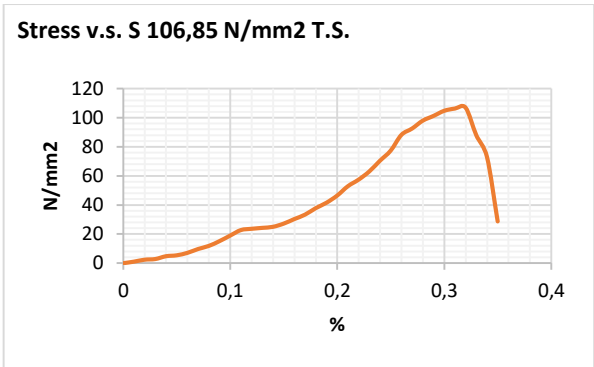
$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{83 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,66 \%$$

2.2 Perhitungan Data Dengan Variasi Bentuk *Probe/Pin* Kotak

1) Hasil Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk *probe/pin* Kotak



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk *Probe/pin* Kotak

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen I :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{3472,63 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 108,85 \quad (\text{N/mm}^2)$$

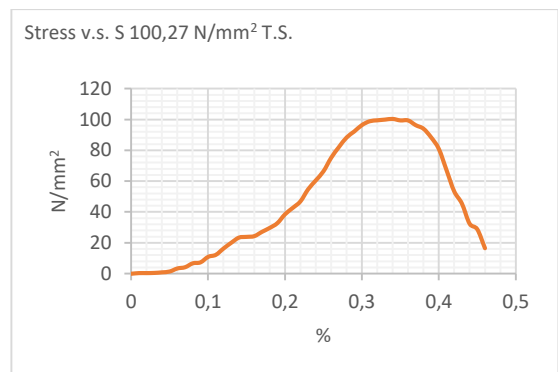
- Analisa perhitungan Regangan data spesimen I :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{84 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0,68 \%$$

2) Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *probe/pin* Kotak



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk *Probe/pin* Kotak

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen II :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{3258,99 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 100,27 \quad (\text{N/mm}^2)$$

- Analisa perhitungan Regangan data spesimen II :

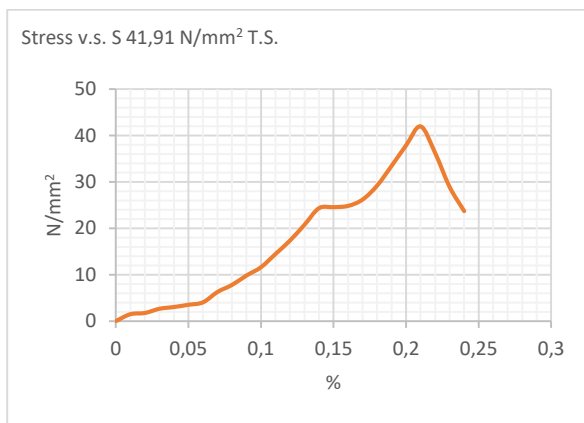
$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\epsilon = \frac{85 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\epsilon = 0,7 \%$$

2.3 Perhitungan Data Dengan Variasi Bentuk Probe/Pin Segitiga

1) Hasil Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk Probe/pin Segitiga



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen I variasi bentuk Probe/pin Segitiga

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen I :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{1362,2 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 41,91 \quad (\text{N/mm}^2)$$

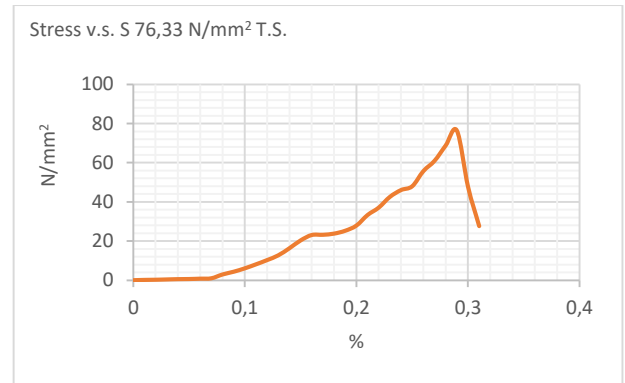
- Analisa perhitungan Regangan data spesimen I :

$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\epsilon = \frac{73 - 50}{50} \times 100\%$$

$$\epsilon = 0,46 \%$$

2) Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk Probe/pin Segitiga



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen II variasi bentuk Probe/pin Segitiga

- Analisa perhitungan Tegangan data spesimen II :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = \frac{2480,87 \text{ N}}{32,5 \text{ mm}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma = 76,33 \quad (\text{N/mm}^2)$$

- Analisa perhitungan Regangan data spesimen II :

$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\epsilon = \frac{81 - 50}{50} \times 100\%$$

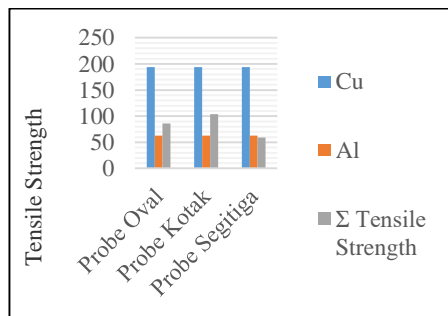
$$\epsilon = 0,62 \%$$

3 Pembahasan dan Analisa Pengujian Tarik

Dari hasil perhitungan uji tarik di atas dapat dijelaskan lebih ringkas dalam tabel dan grafik di bawah :

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik

Bahan	Spesimen	Dimensi			Max Force	Tensile Strength	Elongation
		Lebar	Tebal	Luas Penampang			
		W (mm)	t (mm)	A ⁰ (mm ²)	N	N/mm ²	
Probe Oval	I	12,5	2,6	32,5	3244,29	99,82	0,64
	II	12,5	2,6	32,5	2348,08	72,24	0,66
Probe Kotak	I	12,5	2,6	32,5	3472,63	106,85	0,68
	II	12,5	2,6	32,5	3258,99	100,27	0,7
Probe Segitiga	I	12,5	2,6	32,5	1362,2	41,91	0,46
	II	12,5	2,6	32,5	2480,87	76,33	0,62
Aluminium	I	12,5	2,6	32,5	2046,24	62,96	0,93
Tembaga	I	12,5	2,6	32,5	6311,69	194,205	3,26

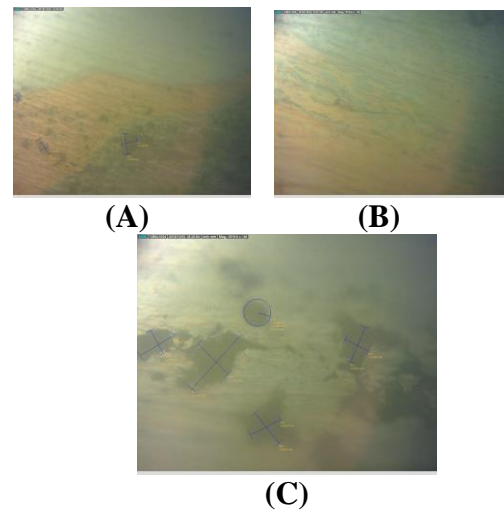


Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Tarik

Dari data pengujian tarik yang telah dilakukan seperti terdapat pada tabel 4.1 didapatkan rata-rata besar tegangan tarik pada hasil pengelasan dengan variasi Probe bentuk Oval sebesar 86,03 N/mm², pada variasi Probe bentuk Kotak didapatkan besar tegangan 103,56 N/mm², dan pada variasi Probe bentuk Segitiga didapatkan besar tegangan sebesar 59,12 N/mm². Dari ketiga variasi bentuk Probe yang telah diuji, bentuk Probe Kotak memiliki tegangan tarik paling tinggi hal ini dipengaruhi oleh proses pengadukan material dan rongga-rongga bentuk Probe yang seimbang sehingga meningkatkan kekuatan sambungan pengelasan.

4 Pembahasan dan Analisa Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode *friction stir welding* dengan variasi bentuk *Probe/pin*.



Gambar 4.8 Foto Mikro Hasil Pengelasan Dengan Variasi: (a) Bentuk Oval, (b) Bentuk Kotak dan, (c) Bentuk Segitiga

Dari gambar diatas dapat diketahui daerah *stir zone* hasil pengelasan dengan variasi bentuk probe/**pin oval** terlihat hasil pengelasan FSW Aluminium dengan Tembaga rapat tidak terdapat cacat porosity (rongga udara yang terperangkap saat proses pengelasan). Sedangkan pada **probe/pin kotak** terlihat hasil pengelasannya sedikit cacat porosity, dan pada **probe/pin segitiga** terlihat banyak cacat porosity. Dari hasil pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik, penggunaan variasi bentuk

probe/pin segitiga hasilnya sangat kurang memuaskan.

1.8.9 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, pengaruh variasi bentuk Probe/pin terhadap sifat mekanis hasil pengelasan Aluminium dengan Tembaga pada proses Friction Stir Welding dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Variasi bentuk probe/pin yang digunakan adalah Oval ($D = 5\text{mm}$), Kotak ($S = 3,7\text{mm}$), dan Segitiga ($S = 4,3$).
2. Pada pengujian tarik hasil pengelasan, Luas Penampang (A_0) di masing-masing variasi probe/pin sebesar $33,75 \text{ mm}^2$.
3. Rata-rata kekuatan tarik dari setiap variasi adalah Oval = 86 N/mm^2 , Kotak = $103,56 \text{ N/mm}^2$, dan Segitiga = $59,12 \text{ N/mm}^2$. Dari data tersebut Probe berbentuk Kotak memiliki tegangan tarik yang paling tinggi.
4. Pada pengujian struktur mikro, probe berbentuk Kotak tidak terdapat cacat. Sedangkan probe berbentuk Oval memiliki sedikit cacat dibandingkan dengan probe berbentuk Segitiga.
5. Dengan demikian, pengelasan Aluminium dengan Tembaga pada

proses *Friction Stir Welding* lebih baik menggunakan Probe/pin berbentuk Kotak.

1.8.10 Saran

Penelitian yang telah dilakukan ini memiliki beberapa kekurangan yang diharapkan dapat diperbaiki untuk penelitian selanjutnya. Ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut :

1. Diharapkan pada pembuatan alat pengujian selanjutnya perlu memperhatikan kondisi alat uji karena kondisi alat uji sangat mempengaruhi hasil pengujian.
2. Dalam perhitungan hasil pengujian diharapkan dilakukan secara teliti dan berulang-ulang agar dapat diperoleh hasil yang sesuai.