

PENGARUH VARIASI TEKANAN TEMPA TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN PADA PENGELASAN GESEK *CONTINUOUS DRIVE FRICTION WELDING* BAHAN SILINDER PEJAL LOGAM BEDA JENIS (ALUMINIUM ALLOY 2024 T4 DENGAN STAINLESS STEEL AISI 420)

Evin Dondri

Jurusan Teknik Mesin, fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
evindondri94@gmail.com

(Naskah Diterima Bln 05, 2016; Revisi Bln 05, 2016; Diterima Bln 05, 2016)

Intisari

Pengelasan logam beda jenis dan silinder pejal diameter besar dengan teknik pengelasan fusi sulit dilakukan. Dalam beberapa tahun terakhir berkembang proses pengelasan *solid state welding*. Penyambungan logam silinder pejal yang dilakukan seperti penyambungan as roda pada mobil mengalami kendala tidak tersambung pada bagian tengah. Untuk mengatasi hal tersebut, pengelasan gesek lebih efektif dilakukan untuk menggabungkan silinder pejal diameter besar. Logam beda jenis yang memiliki sifat mekanik dan termal yang berbeda dapat disambung dengan metode pengelasan gesek (Shubhavardhan dan Surendran, 2012).

Pengelasan gesek merupakan metode penyambungan material yang memanfaatkan panas yang ditimbulkan antara gesekan kedua material yang sama maupun berbeda. Keistimewaan pengelasan gesek dapat menyambung material yang berbeda yang dilihat dari struktur mikro, tahanan temperatur, dan kandungan yang terdapat didalamnya. Pada penelitian ini dilakukan *Continuous Drive Friction Welding (CDFW)* terhadap material logam beda jenis antara Aluminium 2024 T4 dengan Stainless Steel AISI 420. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan tekanan tempa dan waktu tempa. Putaran yang digunakan untuk pengelasan gesek 1000 rpm. Variasi tekanan tempa yang digunakan (40, 45, 50, 55, 60) Mpa. Sedangkan variasi waktu tempa yang digunakan 20 detik dan 60 detik. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro, pengujian kekerasan *vickers*, dan pengujian tarik dengan standard *JIS Z 2201*.

Kata kunci: Pengelasan gesek, logam beda jenis, tekanan tempa, waktu tempa.

1. Pendahuluan

Teknik pengelasan merupakan penyambungan dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas, gesekan, dan busur listrik sehingga logam cair kemudian membeku secara bersama-sama (Wiryo Sumarto & Okumura, 1981). Jenis-jenis dari teknik pengelasan adalah *fusion welding* dan *solid state welding*. *Fusion welding* adalah proses penyambungan logam dengan cara mencairkan logam yang akan disambung. Sumber panas untuk mencairkan logam dapat berasal dari nyala busur listrik atau nyala oksasi-asetilen. Macam-macam *fusion welding* antara lain las busur listrik, las oksasi fuel, dan lain-lain. *Solid state welding* yaitu proses penyambungan dua material dalam keadaan padat pada temperatur dibawah titik leleh material. Macam-macam *solid state welding* antara lain *explosion welding*, *diffusion welding*, *forge welding*, dan *friction welding*.

Pengelasan logam beda jenis dan silinder pejal diameter besar dengan teknik pengelasan fusi sulit dilakukan. Dalam beberapa tahun terakhir berkembang proses pengelasan *solid state welding*. Penyambungan logam silinder pejal yang dilakukan seperti penyambungan as roda pada mobil mengalami kendala tidak tersambung pada bagian tengah. Untuk mengatasi hal tersebut, pengelasan gesek lebih efektif dilakukan untuk menggabungkan silinder pejal diameter besar. Logam beda jenis yang memiliki sifat mekanik dan termal yang berbeda dapat disambung dengan metode pengelasan gesek (Shubhavardhan dan Surendran, 2012). Pengelasan gesek merupakan metode penyambungan material yang memanfaatkan panas yang ditimbulkan antara gesekan kedua material yang sama maupun berbeda. Keistimewaan pengelasan gesek dapat menyambung material yang berbeda yang dilihat dari struktur mikro, tahanan temperatur, dan kandungan yang terdapat didalamnya.

Tantangan pada pengelasan gesek logam beda jenis dengan material yang digunakan yaitu Aluminium Alloy

2024 T4 yang memiliki sifat mampu las (*weldability*) rendah, sulit dilas fusi. Penyambungan logam beda jenis akan sulit tersambung ketika beda titik lebur tinggi. Sehingga Aluminium Alloy 2024 T4 tidak direkomendasikan disambung menggunakan las fusi. Sedangkan yang kedua yaitu menggunakan Stainless Steel AISI 420 dengan 12% Chromium cukup baik memberikan sifat ketahanan korosi. Ketahanan korosi terbaik adalah ketika mengeras memiliki daktilitas yang baik dalam kondisi anil tetapi dapat mengeras hingga 500 HB (lebih tinggi dari nilai kromium). Martensitik dikenal karena kekerasannya yang tinggi dan kelonggaran kekerasannya harus dibuat untuk mampu las yang buruk, biasanya kelonggaran untuk kekerasannya akhir dan perlakuan panas. Baja memiliki daya magnetik dan tidak dianjurkan untuk pengelasan (PT Global Metals).

Alves, dkk, (2010), dalam penelitiannya memperhitungkan perkembangan sambungan logam padat beda jenis Aluminium Alloy 1050 dan Stainless Steel AISI 304, yang digunakan pada pipa dari tangki propelan cair dan komponen lain dari *Satellite Launch Vehicle*. Sambungan diperoleh melalui proses *rotary friction welding (RFW)*, dengan menggunakan panas yang dihasilkan dari gesekan antara dua permukaan dan deformasi plastis. Pengujian dilakukan dengan parameter proses pengelasan yang berbeda. Hasil dianalisis dengan menggunakan uji tarik, *vickers microhardness*, tes metalografi dan SEM-EDX. Kekuatan sambungan bervariasi dengan bertambahnya waktu gesek dan tekanan gesek. Sambungan diperoleh menggunakan sifat mekanik tinggi dari Aluminium Alloy 1050, dengan patahan terjadi di Aluminium jauh dari sambungan. Berdasarkan analisis EDX pada sambungan menunjukkan bahwa interdifusi terjadi antara unsur kimia utama dari unsur-unsur yang terlibat. *RFW* terbukti menjadi metode yang baik untuk memperoleh sambungan antara logam beda jenis, yang tidak mungkin dengan proses fusi pengelasan.

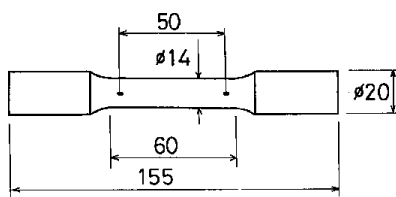
2. Metode Penelitian

Parameter proses yang penting adalah waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu tempa, tekanan tempa dan kecepatan putar. Pada pembahasan kali ini penulis akan menganalisa pengaruh waktu tempa dan tekanan tempa terhadap struktur mikro dan sifat mekanik Aluminium dengan Stainless Steel dengan metode *friction welding*. Material yang digunakan untuk pengujian ini adalah Aluminium Alloy 2024 T4 dengan Stainless Steel AISI 420. Material tersebut dipilih karena memiliki kesulitan untuk disambung menggunakan las fusi. Hasil pengelasan gesek akan diuji sifat mekanik dan sifat fisis bahan hasil pengelasan dengan diberikan variasi waktu tempa dan tekanan tempanya.

Identifikasi masalah dalam penelitian adalah parameter proses pengerjaan dalam pengelasan gesek sangatlah kurang terutama pada gaya yang diberikan saat pengelasan gesek belum memiliki acuan dan penempatan setelah gesekan seperti tekanan tempa dan waktu tempa pada material aluminium 2024 T4 dan stainless steel 420. Perlu adanya penelitian untuk memperoleh parameter-parameter tersebut dalam pengelasan gesek sehingga dapat dijadikan sebagai acuan pada pengelasan selanjutnya.

Pada rencana penelitian terdapat beberapa variabel yaitu :

- Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah :
 - Waktu tempa 20 detik dan 60 detik.
 - Tekanan tempa (40, 45, 50, 55, 60) MPa
- Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat ini adalah :
 - Kekuatan Tarik
 - Struktur mikro
 - Kekerasan
- Variabel kontrol yang besarnya dikendalikan selama penelitian. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah :
 - Putaran spindel 1000 Rpm
 - Bahan yang digunakan adalah aluminium 2024 T4 dan stainless steel 420
 - Diameter bahan yang digunakan untuk las gesek adalah 14 mm
 - Bentuk spesimen uji tarik sesuai standar *JIS* (Japan Industrial Standards) Z 2201



Gambar 1. Standar JIS Z 2201

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah tekanan tempa dan waktu tempa. Tekanan gesek dan waktu gesek dipertahankan konstan. Prosedur penelitian dilakukan dalam beberapa langkah. Penelitian dimulai dengan persiapan alat dan bahan. Sebelum menggunakan alat ukur seperti *pressure gauge*, *stop watch*, dan jangka sorong harus diperiksa dan dipastikan dalam kondisi normal dan standar, atau disebut dengan kalibrasi alat. Kalibrasi mesin las gesek bertujuan untuk mendapatkan hasil pengujian yang sesuai parameter yang diinginkan. Sehingga variasi yang diberikan untuk pengujian dapat ditentukan. Kalibrasi mesin las gesek dilakukan dengan cara penekanan pegas untuk mengukur seberapa besar tekanan yang diberikan oleh bagian hidrolik. Penyetelan *pressure gauge* dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar tekanan setiap dilakukan pembukaan katup secara bervariasi.

Proses pembuatan spesimen dimulai dari persiapan alat dan *raw material* silinder pejal Aluminium Alloy 2024 T4 dan Stainless Steel AISI 420. Material diperoleh dari PT Diwantra Cahaya Sejati, Jl. Raya Pakis VI D no. 3, Bekasi. Material aluminium dipotong dengan panjang 80 mm dan 70 mm untuk stainless steel. Kemudian spesimen dibubut berdasarkan standar *JIS Z 2201*. Setelah spesimen siap maka langkah selanjutnya adalah proses penyambungan spesimen menggunakan las gesek. Pembuatan spesimen dan pengujian spesimen dilakukan di Laboratorium Pabrikasi Logam dan Laboratorium Pengujian Material, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Waktu penelitian Januari 2016 - Maret 2016.

Sebelum melakukan pengelasan gesek terlebih dahulu mengkalibrasi mesin. Selanjutnya memasang bahan di *spindle* dan di toolspot dengan posisi *center* agar tidak terlalu banyak goncangan. Menyetel putaran yang ada di *headstock* mesin *friction welding* tepatnya di *spindle speed selector* dengan mengatur handle di posisi putaran 1000 rpm. Menyalakan mesin *friction welding*. Melakukan tekanan secara perlahan-lahan yaitu mencapai beban 40 MPa sehingga terjadi gesekan antara kedua bahan sampai timbul panas akibat gesekan. Atur posisi tekanan upset sebesar (40, 45, 50, 55, 60) MPa. Setelah waktu penggesekan yaitu 7,5 detik. Menghentikan mesin Setelah penggesekan selesai dan waktu gesek sudah di tentukan lakukan pengaturan waktu tempa sebesar 20 detik dan 60 detik. Setelah proses tempa selesai, melepaskan spesimen dari *chuck*, kemudian diamkan agar dingin dengan sendirinya. Setelah itu berikan tanda variasi pada spesimen agar tidak tertukar. Lakukan ulang proses tersebut sampai semua spesimen tersambung.

Dari beberapa variabel dapat dibuat tabel sebagai acuan pelaksanaan penelitian pengelasan gesek variasi pengaruh waktu tempa (20, 60) detik dan variasi tekanan tempa (40, 45, 50, 55, 60) MPa terhadap kekuatan tarik bahan aluminium 2024 T4 dan stainless steel 420. Tabel penelitian ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel rancangan penelitian awal pada bahan aluminium 2024 T4 dan stainless steel 420.

No	Urutan Las Gesek	Tekanan Gesek (Mpa)	Waktu Gesek (Detik)	Tekanan Tempa (Mpa)	Waktu Tempa (Detik)
1	1	35	7,5	40	20
2	6			45	
3	9			50	
4	8			55	
5	2			60	
6	4			40	60
7	7			45	
8	10			50	
9	3			55	
10	5			60	

1. Pengujian Tarik

Uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter, 1987). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan

yang dialami benda uji. Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji.

Hukum Hooke (*Hooke's Law*) Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah *linier* atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang vs beban.

Mengikuti aturan Hooke sebagai berikut : rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan. *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

$$\text{Stress} : \sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{persamaan (1)}$$

F : gaya tarikan, A: luas penampang

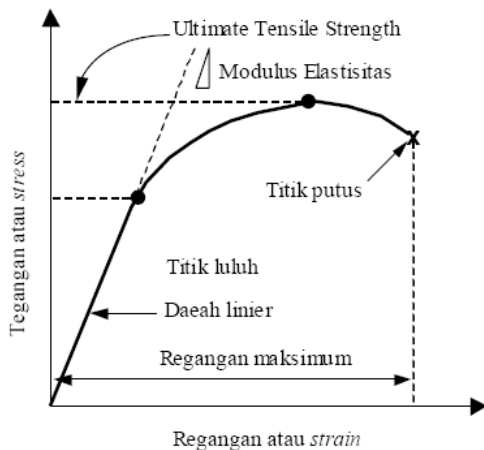
$$\text{Strain} : \epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots \text{persamaan (2)}$$

ΔL : pertambahan panjang,

L : panjang awal

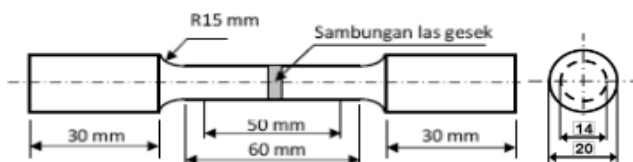
Hubungan antara *stress* dan *strain* dirumuskan dengan hukum Hooke : $E = \sigma / \epsilon$

Untuk memudahkan pembahasan, kita modifikasi sedikit dari hubungan antara gaya tarikan dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*). Selanjutnya kita dapatkan, yang merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. E diberi nama "*Modulus Elastisitas*" atau "*Young Modulus*". Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini sering disingkat kurva SS (*SS curve*).



Gambar 2. Kurva Tegangan-Regangan

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan. Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standard *JIS*. Pengujian Tarik dilakukan dengan mesin uji tarik, *Universal Testing Machine (UTM)*. Dengan bentuk spesimen :



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik Standar JIS Z 2201

2. Pengujian Kekerasan

Pada metode ini digunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut 136° , seperti diperlihatkan oleh gambar 3.17. Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinell, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh:

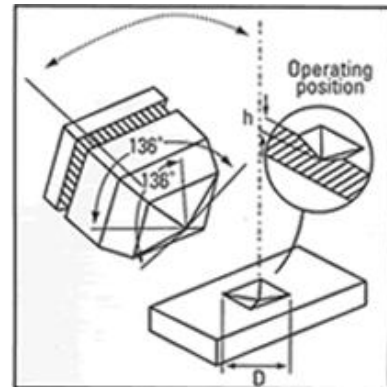
Rumus untuk mencari nilai kekerasan :

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots \text{persamaan (3)}$$

P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata

θ = sudut antara permukaan intan



Gambar 4. Skematis prinsip indentasi dengan metode Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji *vickers*. *Vickers* digunakan untuk mengetahui struktur kekerasan dari spesimen uji dan kemudian hasilnya direkam oleh sensor pembacanya yang terpasang pada sistem *vickers*.

3. Pengujian Metallografi

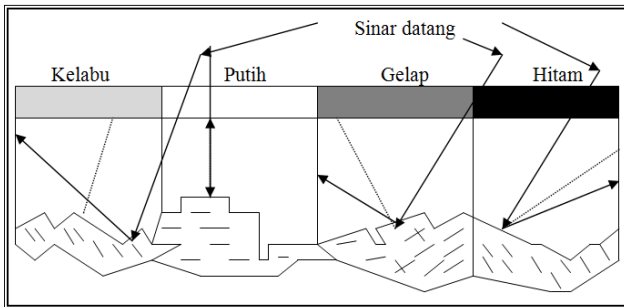
Ilmu logam dibagi menjadi dua yaitu metalurgi dan *metallografi*. Metalurgi adalah ilmu yang menguraikan tentang cara pemisahan logam dari ikatan unsur-unsur lain. Atau cara pengolahan logam secara teknis untuk memperoleh jenis logam atau logam paduan yang memenuhi kebutuhan tertentu. Sedangkan *metallografi* adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan prosentase campuran logam tersebut. *Metallografi* merupakan suatu pengetahuan yang khusus mempelajari struktur logam dan mekanisnya. Dalam metallografi dikenal pengujian makro (*macroscope test*) dan pengujian mikro (*microscope test*).

Pengujian makro (*macroscope test*) ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk *non-metal* (bukan logam).

Pengujian mikro (*microscope test*) ialah proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Mengingat demikian halusnya, sehingga pengujiannya menggunakan suatu alat yaitu mikroskop optis bahkan mikroskop elektron yang memiliki kualitas pembesaran antara 50 hingga 3000 kali.

Pengujian *metallografi* dapat memberikan gambar-gambar dari struktur logam yang diuji sehingga dapat

diteliti lebih lanjut mengenai hubungan struktur pembentuk logam dengan sifat-sifat logam tersebut.

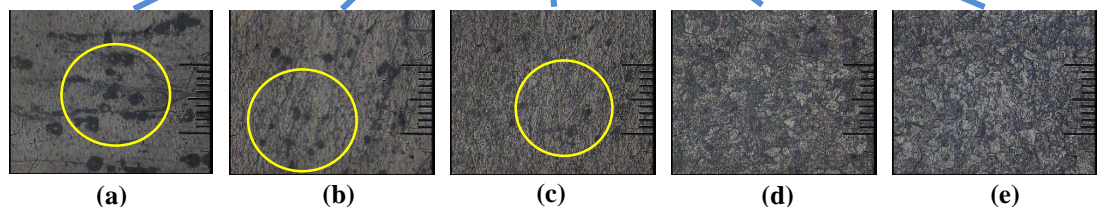
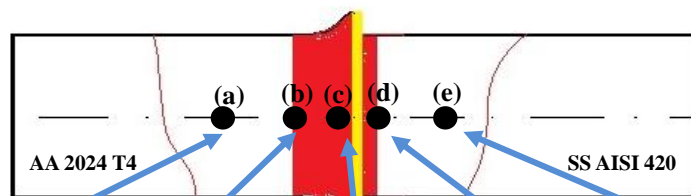


Gambar 5. Pantulan sinar pada pengamatan metalografi.

Pengujian mikrografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop digunakan untuk melihat struktur mikro dari spesimen uji dan kemudian didokumentasikan oleh kamera yang terpasang pada sistem mikroskop ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengelasan gesek untuk material yang berbeda sangat sulit dilakukan. Tidak semua pengujian yang dilakukan



Gambar 6. Posisi pengujian mikro, Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) logam induk Aluminium 2024 T4, (b) daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4 (c) daerah las aluminium 2024 T4 (d) daerah las Stainless Steel AISI 420 (e) logam induk Stainless Steel AISI 420, dengan pembesaran 200 kali.

Pengambilan foto mikro dilakukan beberapa titik untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada struktur mikronya pada logam sambungan, pada daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ, dan logam induknya.

mendapatkan hasil yang baik. Hasil pengujian yang baik didapat dari ketelitian, kerjasama, dan kehati-hatian operator dalam melakukan penyambungan. Hasil proses pengelasan gesek pada bahan Aluminium *alloy* 2024 T4 dan Stainless Steel AISI 420 setelah dilakukan proses penyambungan gesek dapat dilihat sebagai berikut.

Gambar 4.1. Hasil pengelasan gesek Aluminium 2024 T4 dan Stainless Steel AISI 420.

1. Hasil Pembahasan Struktur Mikro dan Makro

Struktur mikro merupakan butiran-butiran logam yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat secara kasat mata. Untuk melihat struktur mikro diperlukan mikroskop optik atau mikroskop elektron agar butiran-butiran logam tersebut dapat terlihat. Struktur material berkaitan dengan komposisi, sifat, sejarah, dan kinerja pengolahan, sehingga dengan melakukan pengujian struktur mikro akan memberikan informasi yang menghubungkan komposisi dan pengolahan sifat serta kinerjanya.

Perubahan struktur mikro yang terjadi akibat komposisi atau perlakuan panas dapat diketahui dengan melakukan analisis struktur mikro untuk menentukan apakah parameter struktur berada dalam spesifikasi tertentu atau terjadi perubahan bentuk dan sifat materialnya. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat fisis sangat dipengaruhi oleh mikro struktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya.

- Variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7,5 detik, tekanan tempa 45 MPa dan waktu tempa 20 detik

Posisi titik struktur mikro berdasarkan pada hasil flash yang timbul dari kedua material. Daerah flash pada Aluminium 2024 T4 yang ditimbulkan cukup besar di bandingkan dengan material Stainless Steel AISI 420 maka pengambilan foto mikro lebih banyak dilakukan di daerah Aluminium 2024 T4. Foto mikro bertujuan untuk melihat perubahan yang terjadi pada hasil pengelasan dari material induknya.

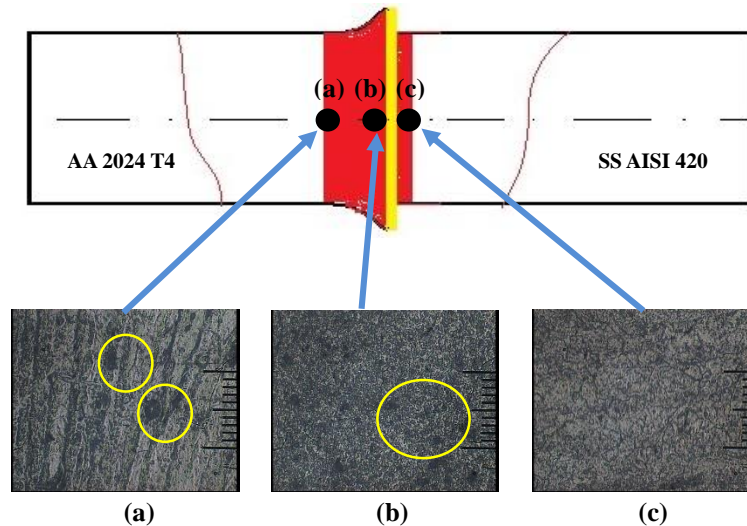
Dari gambar 4.3, dapat dilihat pada daerah logam induk Aluminium 2024 T4 terdapat butiran-butiran porositas di dalamnya, pada daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ dapat dilihat perubahan struktur mikro Aluminium

2024 T4 butir-butiran kecil masih tidak beraturan yang akan menurunkan nilai kekerasan di daerah tersebut. Porositas dapat dilihat pada lingkaran kuning gambar 4.3. ((a), (b), (c)) terlihat begitu banyak pada daerah HAZ Aluminium 2024 T4. Pada daerah lasan Aluminium 2024 T4 butir-butiran kristal kecil terlihat di daerah lasan yang akan menaikkan nilai kekerasan pada daerah lasan.

Daerah las Stainless Steel AISI 420 terdapat butir-butiran kristal kecil dan feritik martensitik yang tidak beraturan. Butiran kecil yang terlihat di daerah las Stainless

Steel AISI 420 butirannya semakin kecil di daerah dekat sambungan dan jauh dari daerah sambungan butirannya semakin membesar yang akan menurunkan nilai kekerasannya. Akan tetapi pada daerah logam induk Stainless Steel AISI 420 daerah tersebut tidak begitu terlihat perubahannya.

- Struktur mikro dan makro dengan variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7,5 detik, tekanan tempa 40 MPa dan waktu tempa 60 detik.

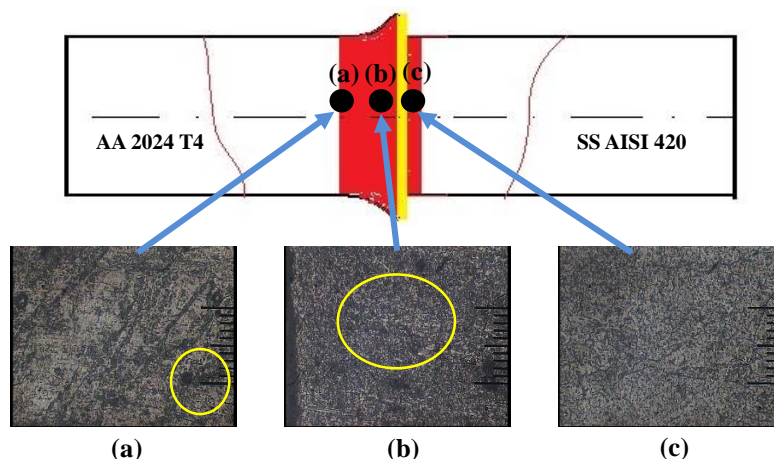


Gambar 4.4. Posisi pengujian mikro, Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4, (b) daerah las Aluminium 2024 T4 (c) daerah yang mendekati perubahan yaitu HAZ Stainless Steel AISI 420, dengan pembesaran 200x.

Pengambilan foto struktur mikro di daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4 terdapat butir-butiran kristal kecil dan besar yang terdapat di daerah itu dan ada juga porositas yang terlihat pada lingkaran kuning. Porositas yang terdapat pada daerah tersebut akan menurunkan nilai kekerasan. Daerah las Aluminium 2024 T4 masih terlihat sedikit porositas pada struktur yang diberi lingkaran kuning dan butir kristal kecil yang begitu banyak yang akan menaikkan nilai

kekerasannya. Daerah yang mendekati perubahan yaitu HAZ logam Stainless Steel AISI 420 butir-butiran kecil masih sedikit terlihat yang akan menaikkan nilai kekerasannya dibandingkan dengan ukuran feritik martensitik mendominasi daerah tersebut.

- Struktur mikro dan makro dengan variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7,5 detik, tekanan tempa 50 MPa dan waktu tempa 60 detik.



Gambar 4.5. Posisi pengujian mikro, struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4, (b) daerah las Aluminium 2024 T4 (c) daerah yang mendekati perubahan yaitu HAZ Stainless Steel AISI 420, dengan pembesaran 200x.

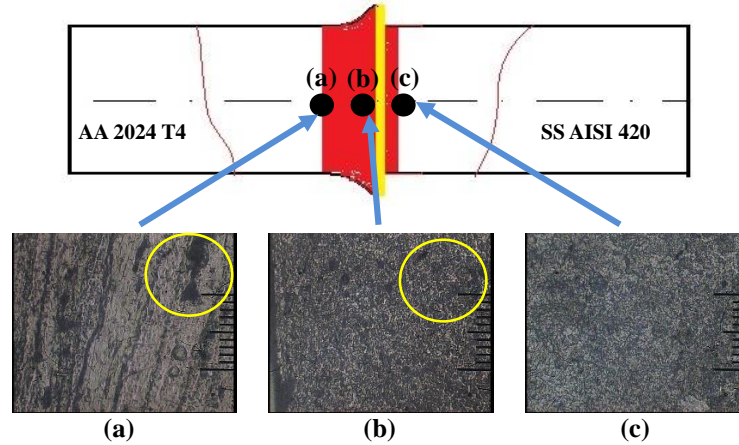
Pengambilan struktur mikro pada variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5. di daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4 butir-butiran

kristal sedikit membesar yang tidak beraturan dan ada cacat porositas di dalamnya pada lingkaran kuning yang akan menurunkan nilai kekerasannya. Daerah lasan Aluminium

2024 T4 butiran-butiran kristal kecil dekat dengan garis lasan sangat kecil menjauhi garis lasan butiran semakin membesar, di daerah tersebut juga terdapat butiran porositas yang terjadi pada lingkaran kuning dan tidak begitu banyak. Daerah Stainless Steel AISI 420 yang mendekati perubahan yaitu HAZ struktur mikronya terdapat butiran-butiran

kristal kecil yang halus pada daerah itu yang akan menaikkan nilai kekerasan pada daerah tersebut.

- Struktur mikro dan makro dengan variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7,5 detik, tekanan tempa 55 MPa dan waktu tempa 20 detik.

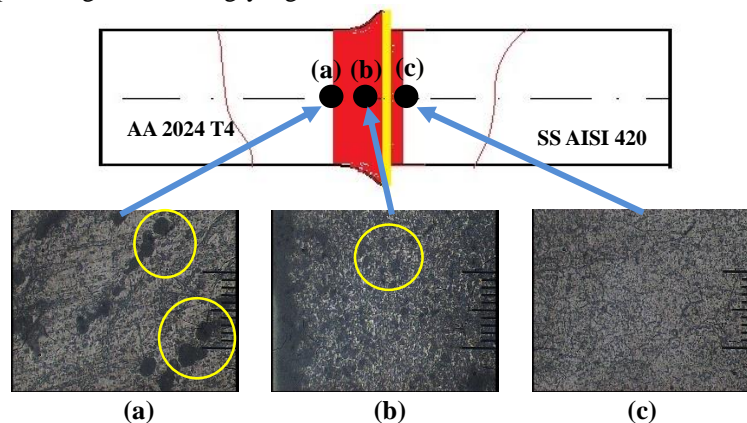


Gambar 4.6. Posisi pengujian mikro , Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4, (b) daerah las Aluminium 2024 T4 (c) daerah yang mendekati perubahan yaitu HAZ Stainless Steel AISI 420, dengan pembesaran 200x.

Pengambilan struktur mikro pada variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6. di daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4 adanya butiran-butiran kristal kecil yang terdapat pada struktur mikronya, akan tetapi butiran tersebut tidak beraturan dan pada hasil mikronya terlihat adanya porositas yang terjadi pada lingkaran kuning, oleh sebab itu akan menurunkan nilai kekerasan di daerah itu. Pada daerah lasan Aluminium 2024 T4 butiran dekat dengan daerah lasan sangat kecil akan tetapi menjauhi daerah lasan butiran tidak beraturan dan masih terdapat porositas pada lingkaran kuning yang akan

menurunkan nilai kekerasannya. Daerah Stainless Steel AISI 420 yang mendekati perubahan yaitu HAZ struktur mikronya terdapat butiran-butiran kecil yang halus pada daerah itu yang akan menaikkan nilai kekerasan pada daerah tersebut.

- Struktur mikro dan makro dengan variasi tekanan gesek 35 MPa, waktu gesek 7,5 detik, tekanan tempa 60 MPa dan waktu tempa 60 detik.



Gambar 4.7. Posisi pengujian mikro (5), Struktur Mikro pengelasan gesek *dissimilar* (a) daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4, (b) daerah las Aluminium 2024 T4 (c) daerah yang mendekati perubahan yaitu HAZ Stainless Steel AISI 420, dengan pembesaran 200x.

Pengambilan struktur mikro pada variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.7. di daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4 dapat dilihat adanya butiran-butiran kristal kecil dan juga terdapat porositas yang terjadi pada daerah tersebut yang akan menurunkan nilai kekerasannya. Pada daerah lasan dapat dilihat perubahan yang terjadi dekat dengan daerah lasan butiran-butiran kristal kecil menjauhi dari daerah lasan

butiran kristal sedikit membesar yang akan menurunkan nilai kekerasannya dan sedikit porositas yang terjadi.

Daerah Stainless Steel AISI 420 yang mendekati perubahan yaitu HAZ struktur mikronya sedikit mengalami perubahan, pada daerah tersebut terdapat butiran-butiran kristal kecil yang halus pada daerah itu yang akan menaikkan nilai kekerasan pada daerah tersebut. Feritik martensitik yang terjadi di daerah Stainless Steel AISI 420 tidak terlalu

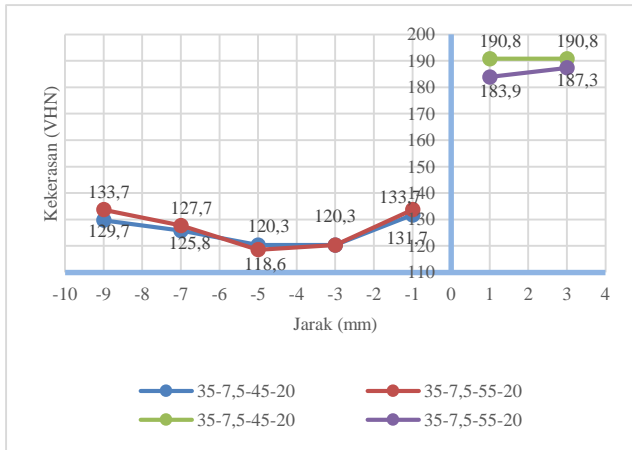
terlihat jelas.

2. Hasil dan Analisis Pengujian Kekerasan

Hasil dari pengujian pengelasan gesek diperoleh 10 spesimen sambungan. Untuk pengujian kekerasan hanya diambil 5 spesimen. Dari 5 spesimen dipilih data yang paling *significant* yang memiliki data tertinggi dan data ekstrim. Hasil sambungan yang dipilih kemudian di belah dan diampelas pada permukaannya untuk memperoleh permukaan yang rata untuk pengujian kekerasan. Permukaan yang kasar akan mempengaruhi hasil pengujian kekerasan.

Dari pengujian sebelumnya, pengujian tarik diperoleh 5 variasi untuk pengujian kekerasan yaitu variasi waktu tempa 20 detik pada tekanan tempa 45, 55 MPa dan variasi waktu tempa 60 detik pada tekanan tempa 40, 50, 60 MPa.

Melihat dari variasi diatas maka penelitian ini terdapat dua pembahasan pokok yaitu variasi waktu tempa 20 dengan tekanan tempa 45, 55 MPa dan waktu tempa 60 detik dengan tekanan tempa 40, 50, 60 MPa. Untuk memudahkan kita mengklasifikasikan hasil dari kekerasan sambungan dua material yang berbeda yaitu Aluminium 2024 T4 dan Stainless Steel AISI 420 di buat grafik kekerasan pada gambar 4.10.

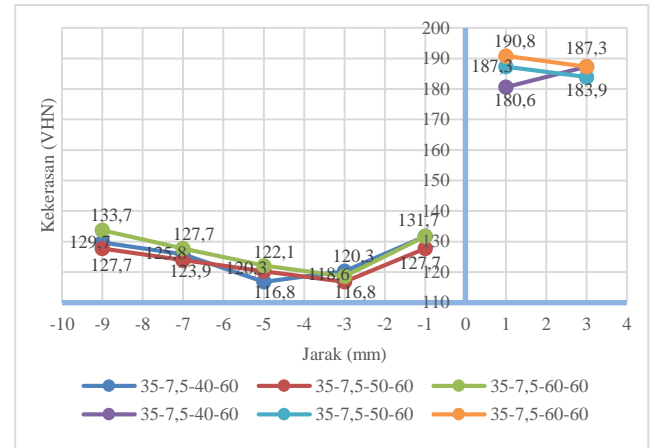


Gambar 4.10. Grafik kekerasan pada sambungan las gesek dengan waktu tempa 20 detik dengan variasi tekanan 45 dan 55 MPa.

Pada hasil pengamatan gambar 4.10. dapat dilihat bahwa nilai VHN Aluminium 2024 T4 lebih rendah dari nilai VHN Stainless Steel AISI 420. Logam Aluminium 2024 T4 pada variasi tekanan tempa 45 MPa nilai VHN nya menurun pada jarak 1 mm sampai 5 mm dari sambungan. Kemudian nilai VHN naik pada jarak 7 mm sampai 9 mm dari sambungan. Kenaikan tidak melebihi nilai VHN pada jarak 1 mm dari sambungan. Tetapi variasi tekanan tempa 45 MPa pada jarak 9 mm dari sambungan dengan nilai 129,7 VHN lebih rendah dibandingkan variasi tekanan tempa 55 MPa pada jarak yang sama dengan nilai 133,7 VHN. Logam Stainless Steel AISI 420 dengan variasi tekanan tempa 45 MPa memiliki nilai 190,8 VHN lebih tinggi daripada variasi tekanan tempa 55 MPa yang hanya memiliki nilai 183,9 VHN pada jarak yang sama yaitu 1 mm dari sambungan.

Setelah pengamatan grafik kekerasan pada variasi gabungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa hasil sambungan logam Aluminium 2024 T4 tingkat kekerasan paling tinggi terjadi pada variasi tekanan tempa 55 MPa dengan waktu tempa 20 detik pada jarak 1 mm dari sambungan dengan nilai kekerasan 133,7 VHN. Kemudian

nilai kekerasan terendah pada variasi tempa 55 MPa dengan nilai 118,6 VHN dengan jarak 5 mm dari sambungan. Pengaruh variasi waktu gesek yang berbeda dapat menghasilkan nilai VHN yang berbeda.



Gambar 4.11. Grafik kekerasan pada sambungan las gesek dengan waktu tempa 60 detik pada variasi tekanan tempa 40, 50, dan 60 MPa.

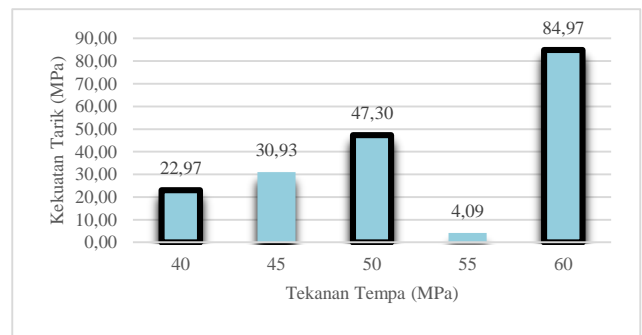
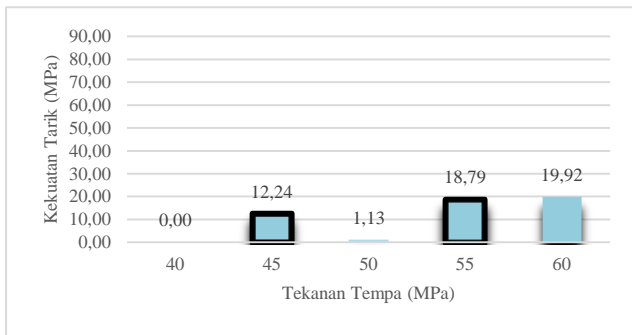
Pada pengamatan gambar 4.11 hasil dari pengaruh waktu gesek dan tekanan tempa dapat dilihat bahwa Stainless Steel AISI 420 memiliki harga VHN di atas Aluminium 2024 T4. Pada logam Aluminium 2024 T4 pada variasi tekanan tempa 40 MPa terlihat nilai VHN turun pada jarak 1 mm sampai 5 mm dari sambungan dan nilai VHN naik pada jarak 7 mm sampai 9 mm dari sambungan. Sedangkan pada variasi tekanan tempa 50 MPa nilai VHN turun pada jarak 1 mm sampai 3 mm dan nilai VHN naik pada jarak 5 mm sampai 9 mm, tetapi kenaikan ini tidak melebihi nilai kekerasan pada jarak 1 mm dari sambungan. Hal ini terjadi karena rambatan panas yang didapatkan hanya pada Aluminium 2024 T4. Variasi waktu tempa dan tekanan tempa semakin lama dapat mempengaruhi harga VHN pada jarak dari sambungan. Kemudian pada variasi tekanan tempa 60 MPa nilai VHN turun pada jarak 1 mm sampai 3 mm dari sambungan dan nilai VHN naik pada jarak 5 mm sampai 7 mm.

3. Hasil dan Analisis Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik, spesimen dibuat sesuai standar JIS Z 2201 untuk dilas dengan pengelasan gesek. Hasil pengelasan gesek dapat menimbulkan *flash* pada spesimen uji. *Flash* yang timbul dihilangkan dan dibentuk kembali sesuai standar pengujian tarik dengan cara pembubutan.



Gambar 4.12. Spesimen Uji Tarik Aluminium 2024 T4 dan Stainless Steel AISI 420 sesuai standar JIS Z 2201

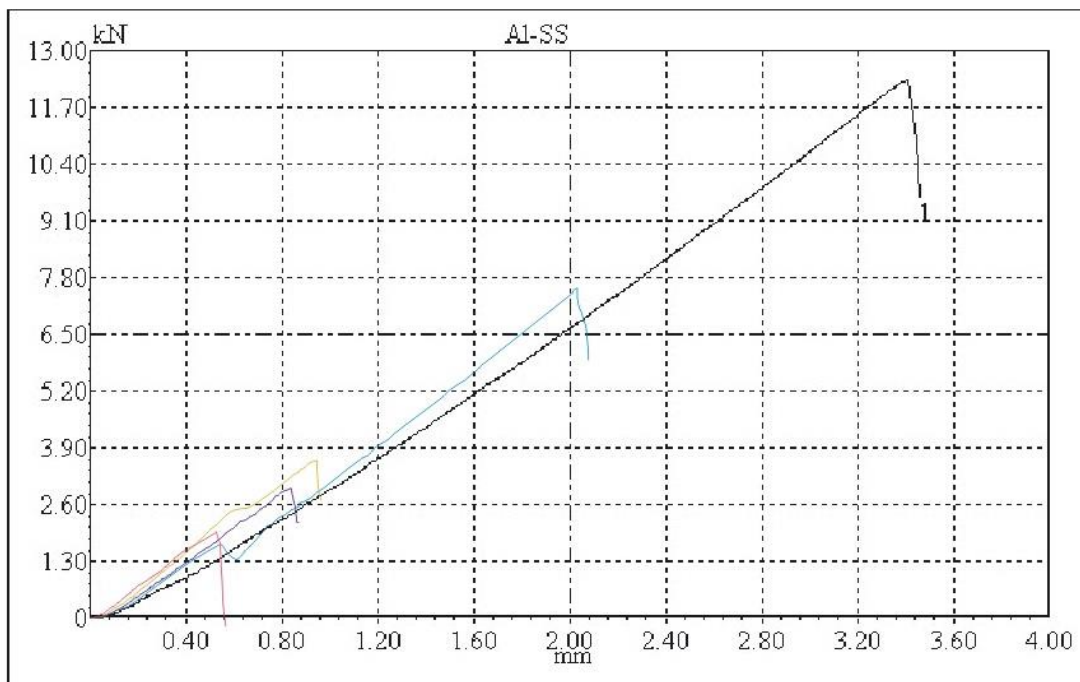


Gambar 4.13. Grafik perbandingan hasil tegangan tarik dengan tekanan tempa pada waktu tempa 20 detik dan 60 detik.

Pada gambar 4.13. telah dibuat grafik tegangan tarik dengan tekanan tempa pada waktu tempa 20 detik. Hasil tertinggi pada tegangan tariknya terdapat pada variasi tekanan tempa 60 MPa pada waktu tempa 20 detik dengan nilai tariknya sebesar 19,92 MPa dan nilai tegangan tarik terendah terdapat pada variasi tekanan tempa 50 MPa pada waktu tempa 20 detik dengan nilai tariknya sebesar 1,13 MPa. Hal tersebut terjadi dikarenakan *error* dalam proses

penyambungan. Pada variasi yang diberi garis hitam diambil untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro.

Dari hasil pengujian menandakan bahwa variasi tekanan tempa dan waktu tempa mempengaruhi hasil kekuatan tarik. Variasi waktu tempa yang lama dan tekanan tempa yang lama akan menaikkan kekuatan tarik, sedangkan variasi tekanan tempa yang sama dan waktu tempa yang lebih kecil akan menurunkan kekuatan tarik.



Gambar 4.15. Grafik gabungan tegangan-regangan pengujian tarik. (1) tekanan tempa 60 MPa waktu tempa 60 detik, (2) tekanan tempa 55 MPa waktu tempa 20 detik, (3) tekanan tempa 50 MPa waktu tempa 60 detik, (4) tekanan tempa 45 MPa waktu tempa 20 detik, (5) tekanan tempa 40 MPa waktu tempa 60 detik.

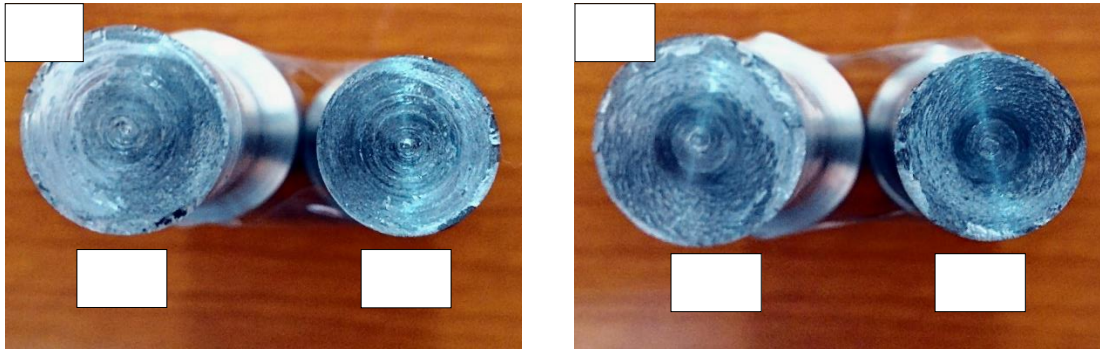
Dari grafik gabungan pada gambar 4.15. terlihat kurva tegangan-regangan pengujian tarik, titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis yang tinggi. Kurva tegangan-regangan pada variasi tekanan tempa 60 MPa waktu tempa 60 detik mendapatkan nilai elastisitas tertinggi yaitu 12,320 kN dan memiliki UTS sebesar 84.97 MPa.

Dari penelitian Nur, dkk (2013), meneliti tentang penerapan teknologi las gesek (*friction welding*) dalam rangka penyambungan dua buah logam baja karbon St41 pada produk back spring pin. Dari hasil pengujian tarik didapat, bahwa spesimen dengan temperatur tertinggi (waktu 45 detik) mempunyai mempunyai kekuatan tarik

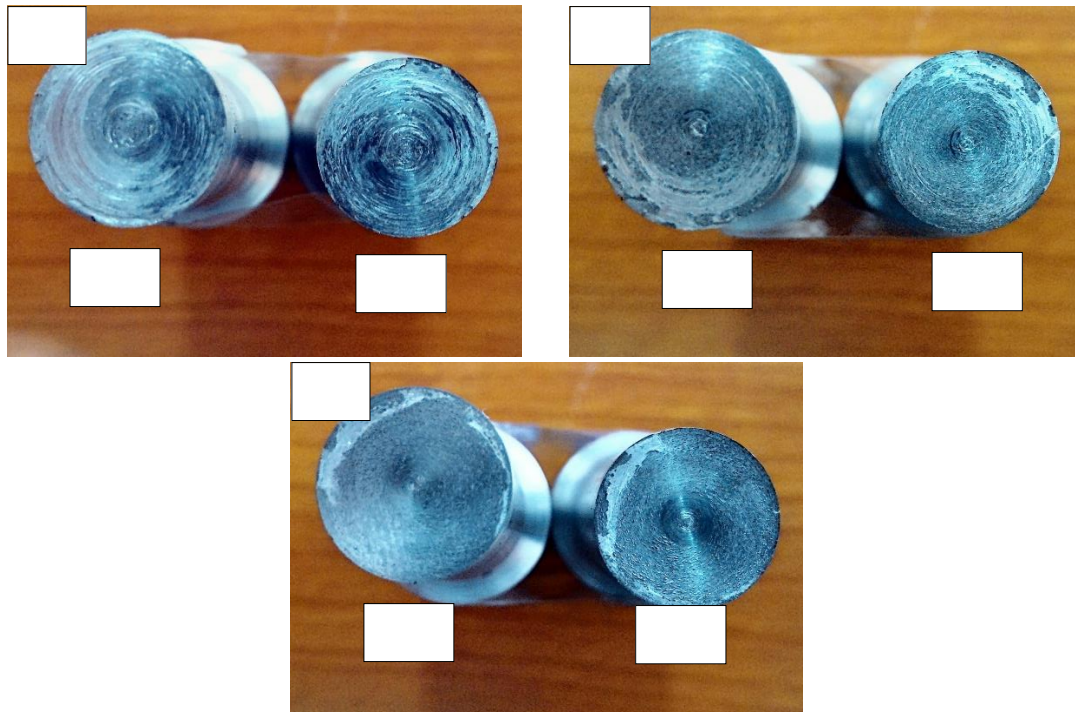
paling tinggi yaitu 414,54 N/mm². Dimana spesimen dengan waktu gesek 45 detik didapatkan temperatur tertinggi dibandingkan dengan yang lain (35,55 dan 65 detik). Hasil pengujian tarik dari sambungan spesimen yang dilas dengan metode *direct-drive friction welding* ini diperoleh pada waktu yang sudah dianggap ideal. Perubahan variabel apapun dalam metode pengelasan gesek ini sangat mempengaruhi satu sama lain, contohnya waktu gesekan. Dengan tekanan gesek dan tempa yang sama, namun waktu gesekan bervariasi, sudah bisa didapatkan hasil produk pengelasan gesek yang berbeda. Upset yang dihasilkan berbeda, begitu juga dengan kekuatan sambungannya setelah diuji tarik juga menunjukkan hasil

yang berbeda. Ini dikaitkan juga dengan berbagai variasi waktu yang digunakan, maka berbeda juga temperatur yang

terjadi pada benda kerja. Hasil dari penelitian kekuatan puntir pada friction welding diperoleh sebesar 16 kgf.m.



Gambar 4.16. Penampang patahan pengujian pada waktu tempa 20 detik, (a). Variasi tekanan tempa 45 MPa, (b). Variasi tekanan tempa 55 MPa.



Gambar 4.17. Penampang patahan pengujian pada waktu tempa 60 detik, (a). Variasi tekanan tempa 40 MPa, (b). Variasi tekanan tempa 50 Mpa, (c). Variasi tekanan tempa 60 MPa.

Dari hasil pengujian tarik spesimen terjadi putus pada daerah sambungan atau patah getas. Hal ini terjadi karena *thermoplastis* yang menyebabkan terjadinya ikatan belum menemukan parameter yang cukup. Sangat sulit terjadinya *thermoplastis* pada material yang memiliki sifat *thermal* dan sifat mekanis yang jauh berbeda. Ketika terjadi patah getas, struktur pada kedua material belum mengalami ikatan yang kuat sehingga patahan terjadi pada sambungan ketika ditarik. Dari 10 spesimen hasil pengujian tarik terjadi patahan hanya pada sambungan. Semua spesimen tidak terjadi difusi atau sambungan penuh. Tetapi ada sedikit logam yang menempel pada logam lain. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.16. dan 4.17.

4. Kesimpulan

Dengan mengkaji kegiatan hasil penelitian yang meliputi proses kerja dan berdasarkan hasil pengujian struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik antara Aluminium 2024 T4 dengan Stainless Steel AISI 420 menggunakan tekanan gesek 35 MPa, tekanan tempa 40, 45, 50, 55, 60 MPa, waktu tempa 20, 60 detik, dengan variasi waktu gesek 7,5 detik. Serta hasil perhitungan secara menyeluruh, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi waktu tempa dan tekanan tempa mempengaruhi terhadap hasil struktur mikro dan makro. Hasil struktur mikro daerah lasan Aluminium 2024 T4 sangat berpengaruh karena mengalami perubahan. Butiran-butiran cacat porositas di daerah yang mengalami perubahan yaitu HAZ Aluminium 2024 T4 yang akan

menurunkan nilai kekerasan dan kekuatannya. Pada logam Aluminium 2024 T4 pada variasi waktu tempa 20 dan 60 detik butiran kristal kecil dekat dengan sambungan lebih dominan dan sedikit porositas yang terjadi. Pada logam Stainless Steel AISI 420 yang mendekati daerah perubahan yaitu HAZ sedikit sekali yang mengalami perubahan, hanya terlihat butiran kristal kecil yang halus dan feritik martensitik yang berbentuk pipih yang akan menaikkan nilai kekerasannya. Hasil pada struktur mikro menunjukkan adanya patah getas pada sambungan.

2. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada logam Aluminium 2024 T4 dengan Stainless Steel AISI 420 dapat diambil kesimpulan bahwa Stainless Steel AISI 420 memiliki harga VHN di atas Aluminium 2024 T4. variasi waktu tempa dan besarnya tekanan tempa mempengaruhi nilai uji kekerasannya. Jika waktu tempa terlalu lama maka nilai uji kekerasan pada las akan naik. Karena dalam pembuatan spesimen ini belum menggunakan sensor pembaca panas pada bagian yang mengalami *thermoplastis* antara Aluminium 2024 T4 dengan Stainless Steel AISI 420. Tingkat kekerasan paling rendah untuk Aluminium 2024 T4 terjadi pada variasi tekanan tempa 40 MPa dengan waktu tempa 60 detik pada jarak 5 mm dari sambungan dengan nilai kekerasan 116,8 VHN. Tingkat kekerasan paling tinggi untuk Aluminium 2024 T4 terjadi pada variasi tekanan tempa 55 MPa dengan waktu tempa 20 detik pada jarak 1 mm dari sambungan dengan nilai kekerasan 133,7 VHN.
3. Didapatkan hasil pengujian tarik dengan variasi tekanan tempa dan waktu tempa pada penelitian ini signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan adanya kekuatan tarik dari pada variasi waktu tempa 60 detik. Hasil tertinggi pada tegangan tariknya terdapat pada variasi tekanan tempa 60 MPa pada waktu tempa 60 detik dengan nilai tariknya sebesar 84,97 MPa, sedangkan variasi tekanan tempa 60 MPa pada waktu tempa 20 detik hasil tegangan tariknya 19,92 MPa. Variasi waktu tempa yang lama dan tekanan tempa yang lama akan menaikkan kekuatan tarik, sedangkan dengan variasi tekanan tempa yang sama dan waktu tempa yang lebih kecil akan menurunkan kekuatan tarik.

Referensi

Jurnal

- Alves, E. P., Neto, F. P., dan An, C. Y. *Welding of AA1050 aluminum with AISI 304 stainless steel by rotary friction welding process*. Vol.2, No.3, pp. [301-306] doi: 10.5028/jatm.2010.02037110
- Dieter, G. E. *Mechanical metallurgy*. SI metric edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100406-8. 1988.
- Husodo, N., dkk. 2013. Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk *Back Spring Pin*. Surabaya: Jurnal Energi dan Manufaktur.
- Moarrefzadeh, Ali. *Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process*. Iran: *Journal of Mechanical Engineering*. Vol. 1, No. 1. 2012. [11-17]
- Sahin, M. dan Misirli, C. *Mechanical and Metalurgical Properties of Friction Welded Aluminium Joints*. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/51130>. 2013. [277-300].
- Shubhvardhan, R. N. dan Surendran S. *Friction Welding to Join Dissimilar Metals*. India: *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2012. Volume 2, Issue 7, [200-210]

Buku

- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. 1981. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

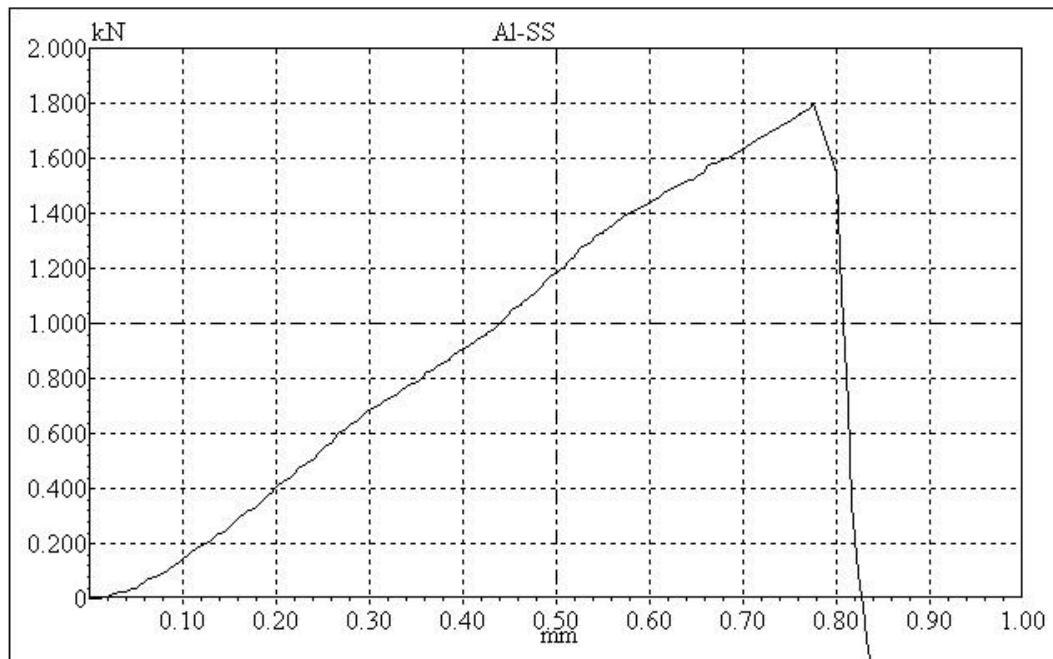


LAMPIRAN

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(2) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 45 MPa-Tu 20 s
Al 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01-	151.747	1.676	1.800	-2.186



Yogyakarta, 2 Maret 2016

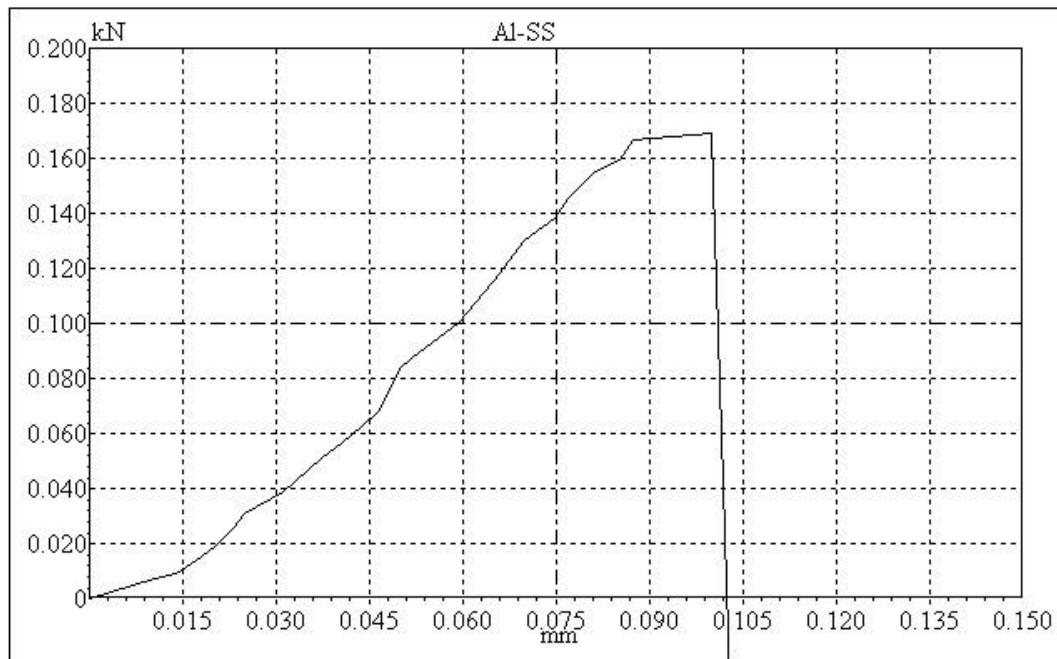
Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dondri)

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(3) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 50 MPa-Tu 20 s
A1 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01-	151.747	0.090	0.170	-2.954



Yogyakarta, 2 Maret 2016

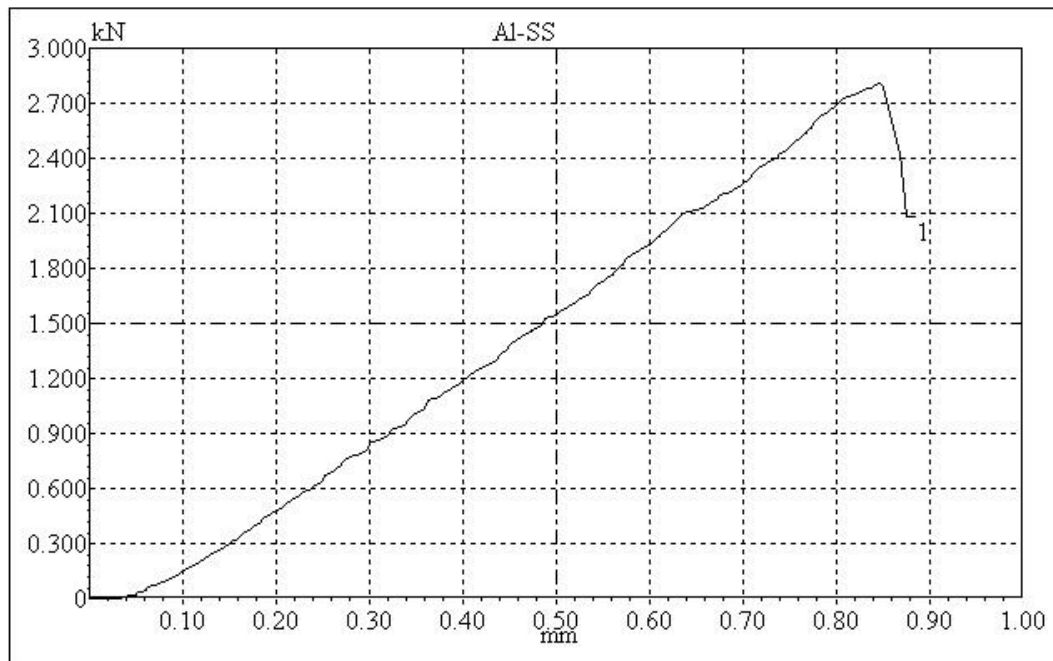
Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dondri)

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(4) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 55 MPa-Tu 20 s
A1 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01-	149.571	2.540	2.818	2.084



Yogyakarta, 2 Maret 2016

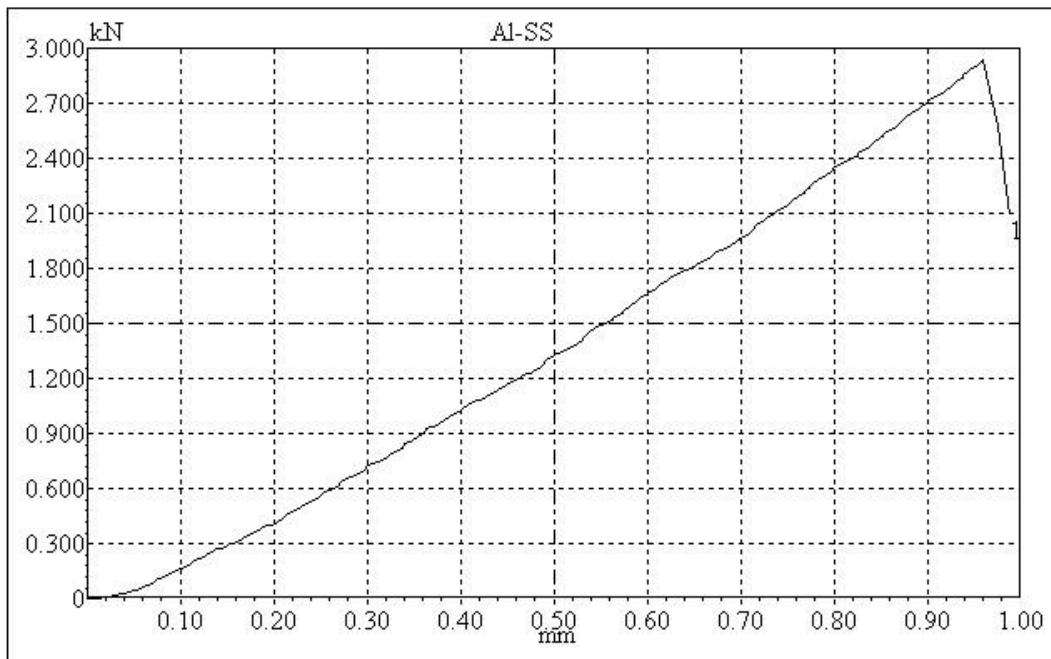
Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dondri)

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(5) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 60 MPa-Tu 20 s
A1 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01-	149.571	2.674	2.948	2.090



Yogyakarta, 2 Maret 2016

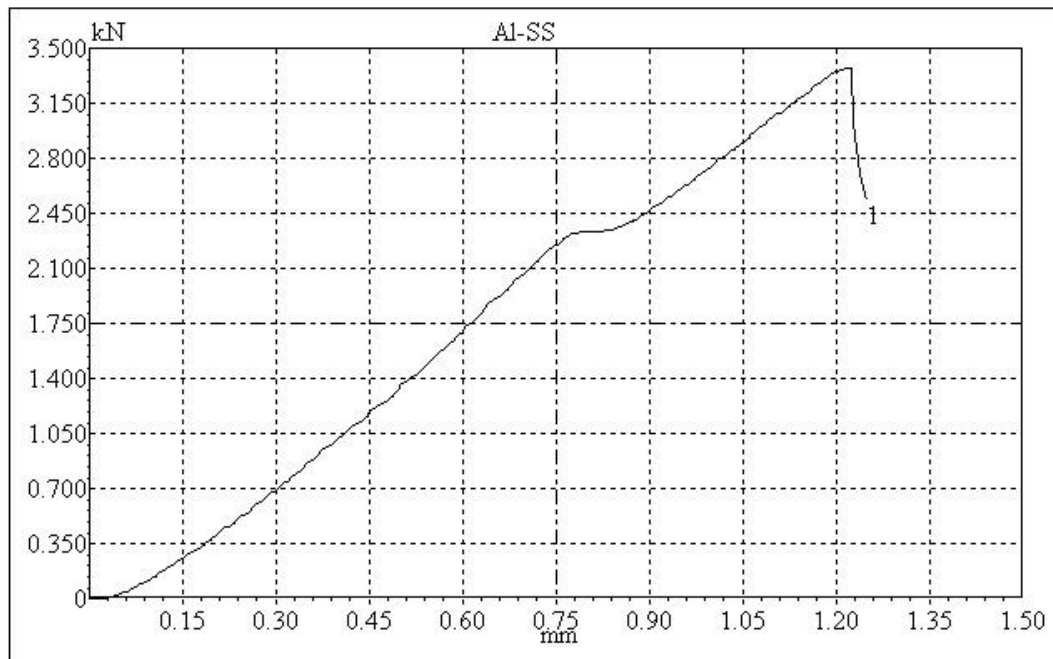
Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dondri)

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(6) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 40 MPa-Tu 60 s
A1 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01-	149.571	3.152	3.376	2.540



Yogyakarta, 2 Maret 2016

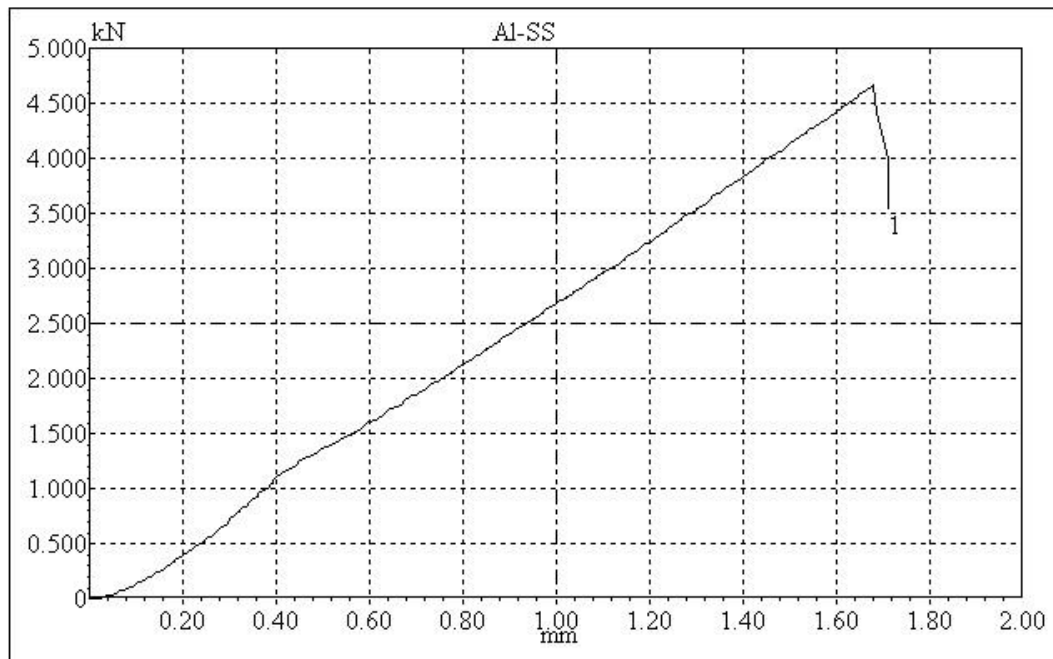
Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dondri)

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(7) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 45 MPa-Tu 60 s
A1 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01-	149.571	4.494	4.671	3.530



Yogyakarta, 2 Maret 2016

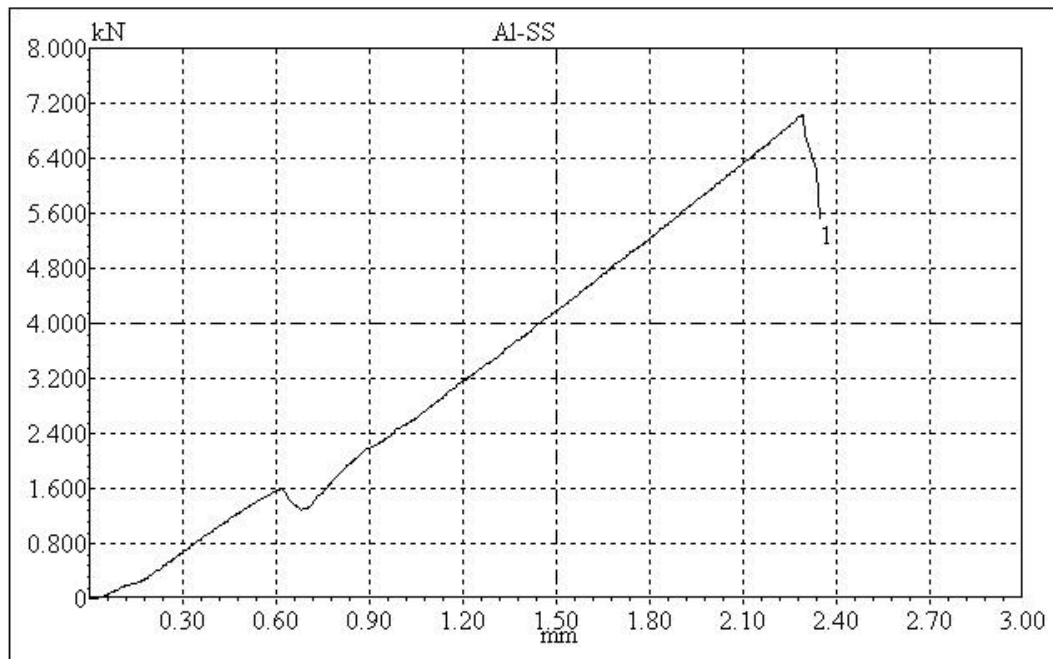
Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dondri)

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(8) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 50 MPa-Tu 60 s
Al 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01-	149.571	6.801	7.047	5.513



Yogyakarta, 2 Maret 2016

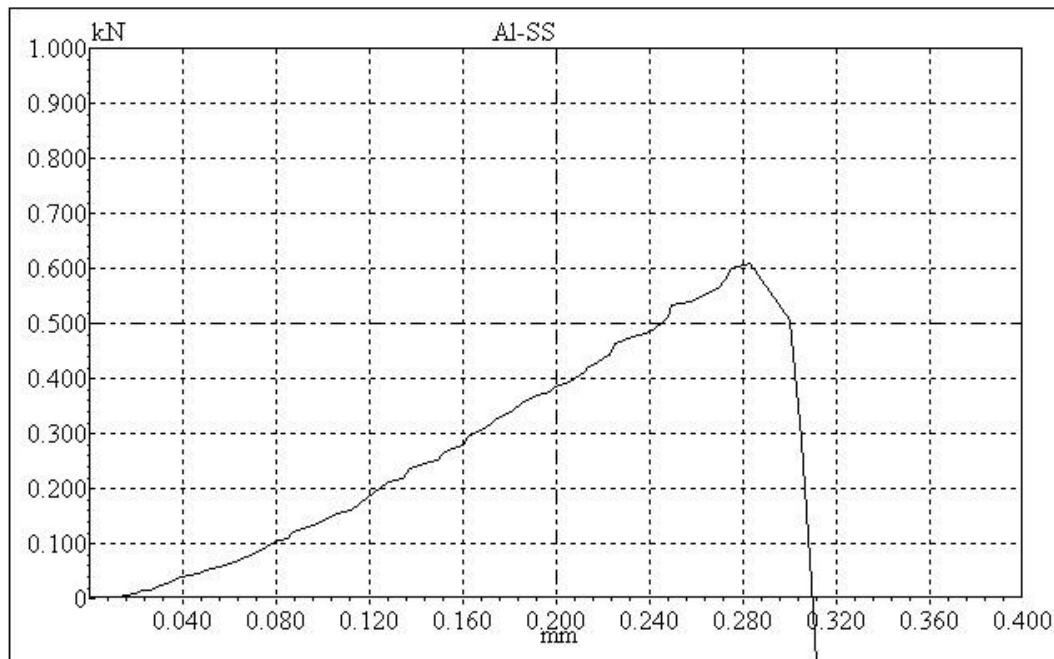
Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dondri)

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(9) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 55 MPa-Tu 60 s
Al 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01	151.747	0.406	0.613	-2.741



Yogyakarta, 2 Maret 2016

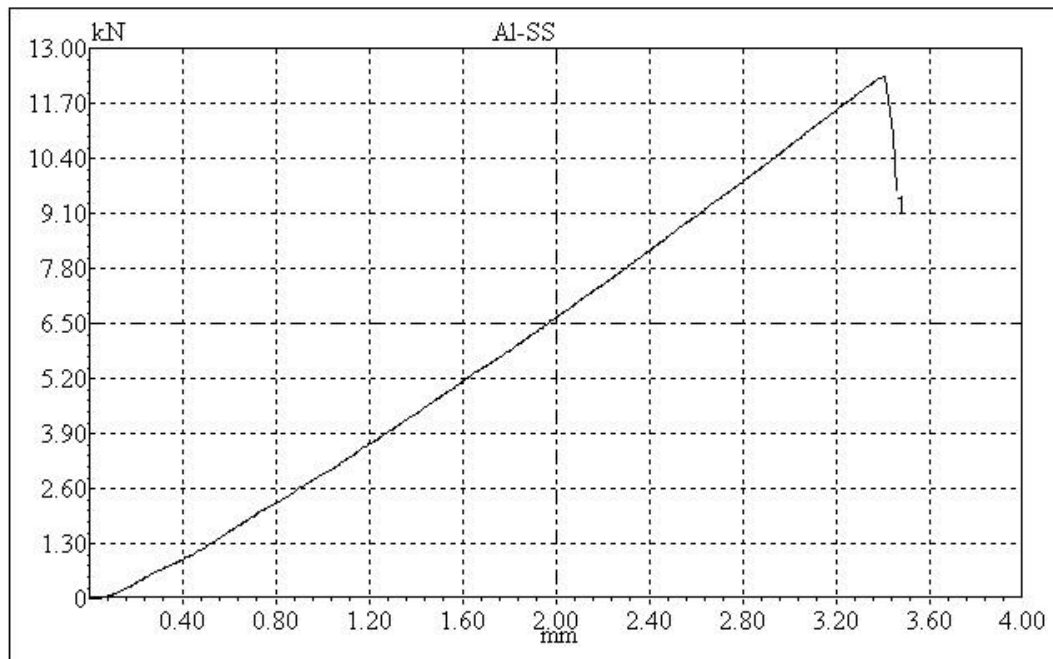
Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dendri)

LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

(10) Pf 35 MPa-Tf 7.5 s-Pu 60 MPa-Tu 60 :
Al 2024 T4-SS AISI 420

Test date	Area mm ²	Yield point kN	Max. Load kN	Break kN
2007-01-	151.747	12.009	12.320	9.676



Yogyakarta, 2 Maret 2016

Operator Pengujian
Friction Welding

(Evin Dondri)

Chemical Composition of Various Wrought Aluminium Alloys

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
1050	0.25	0.4	0.05	0.05	0.05				99.5 min
1100	0.95 Si+Fe		0.05-0.20	0.05			0.1		99.0 min
2014	0.50-1.2	0.7	3.9-5.0	0.40-1.2	0.20-0.8	0.1	0.25	0.15	remainder
2024	0.5	0.5	3.8-4.9	0.30-0.9	1.2-1.8	0.1	0.25	0.15	remainder
2219	0.2	0.3	5.8-6.8	0.20-0.40	0.02		0.1	0.02-0.10	remainder
3003	0.6	0.7	0.05-0.20	1.0-1.5			0.1		remainder
4043	4.5-6.0	0.8	0.3	0.05	0.05		0.1	0.2	remainder
5052	0.25	0.4	0.1	0.1	2.2-2.8	0.15-0.35	0.1		remainder
5083	0.4	0.4	0.1	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	0.25	0.15	remainder
5086	0.4	0.5	0.1	0.20-0.7	3.5-4.5	0.05-0.25	0.25	0.15	remainder
5454	0.25	0.4	0.1	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	0.25	0.2	remainder
5456	0.25	0.4	0.1	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20	0.25	0.2	remainder
5754	0.4	0.4	0.1	0.5	2.6-3.6	0.3	0.2	0.15	remainder
6005	0.6-0.9	0.35	0.1	0.1	0.40-0.6	0.1	0.1	0.1	remainder
6060	0.30-0.6	0.10-0.30	0.1	0.1	0.35-0.6	0.05	0.15	0.1	remainder
6061	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	0.25	0.15	remainder
6063	0.20-0.6	0.35	0.1	0.1	0.45-0.9	0.1	0.1	0.1	remainder
6082	0.7-1.3	0.5	0.1	0.40-1.0	0.60-1.2	0.25	0.2	0.1	remainder
6105	0.6-1.0	0.35	0.1	0.1	0.45-0.8	0.1	0.1	0.1	remainder
6351	0.7-1.3	0.5	0.1	0.40-0.8	0.40-0.8		0.2	0.2	remainder
7075	0.4	0.5	1.2-2.0	0.3	2.1-2.9	0.18-0.28	5.1-6.1	0.2	remainder
7129	0.15	0.3	0.50-0.9	0.1	1.3-2.0	0.1	4.2-5.2	0.05	remainder

产品质量证明书
INSPECTION CERTIFICATE

订货单位 Purchaser		订货单位代码 Customer No.	44990020	记录号 Record No.	DX08-08-0
合同号 Contract No.	GD13110N-0035	品名 Name	铭不锈钢	证明书号 Certificate No.	W1307-34498
生产号 Production No.	5-2D13A04853	形状 Shape	圆钢	入库票号 Into Depot No.	1LR1308701
牌号 Steel Grade	SUS 420 J2	图纸号 Drawing No.		重量(kg) Weight	4.675吨
技术条件 Specification	GB/T1220-2007	冶炼方法 Melting Method	按标准ESR	规格 (mm) Size	φ 127
加工用途 Designated Further	热压力加工	炉号 Heat No.	13114051774	长度(mm) Length	不定尺
交货状态 Condition of Delivery	退火粗磨光	许可证号 License No.		件/捆数 Bundle Number	1
热处理号 Heat Treatment No.	13L03077	签发日期 Date of Issue	20130704093649	支数 Piece Number	8

一、化学成分 (%) Chemical Composition (%)

1. 熔炼成分

C | 0.36 Si | 0.46 Mn | 0.47 P | 0.019 S | 0.008 Cr | 12.87 Ni | 0.10

二、力学性能 Mechanical Property

1. 硬度 Heading

退火硬度 Hardness | 190.0 | 192.0

2. 硬度 Heading

淬火+回火硬度 Hardness | 54.0 | 55.0

三、宏观检验 Macrostructure Examination

1. 低倍 Macrostructure

锭型偏析 (级) Pattern Segregation (Grade)	0.5	0.5
一般疏松 (级) General Porosity (Grade)	1.0	1.0
中心疏松 (级) Central Porosity (Grade)	2.5	2.5

备注:
Note

声明:
Statement

经检验与试验,本产品符合合同及标准之规定
Through inspection and testing, the quality of
product conforms to the stipulations of the
related contract and standards.

质量判定人:
Quality Judge:

质量负责人:
Quality Manager:



Physical Properties of Various Wrought Aluminium Alloys

Alloy & Temper	Ultimate tensile strength		Tensile yield strength		Elongation in 50 mm (2 in.), %		Hardness HB(a)	Ultimate shearing strength		Fatigue endurance limit (b)		Modulus of elasticity (c)	
	MPa	ksi	MPa	ksi	1.6 mm (1/16 in.) thick specimen	1.3 mm (1/2 in.) thick specimen		MPa	ksi	MPa	ksi	GPa	10 ⁶ psi
1100													
H14	125	18	115	17	9	20	32	75	11	50	7	69	10.0
2011													
T3	380	55	295	43	-	15	95	220	32	125	18	70	10.2
2024													
T3	485	70	345	50	18	-	120	285	41	140	20	73	10.6
T4	470	68	325	47	20	19	120	285	41	140	20	73	10.6
T351	470	68	325	47	20	19	120	285	41	140	20	73	10.6
3105													
O	115	17	55	8	24	-	-	85	12	-	-	69	10.0
H14	170	25	150	22	5	-	-	105	15	-	-	69	10.0
5052													
H32	230	33	195	28	12	18	60	140	20	115	17	70	10.2
H34	260	38	215	31	10	14	68	145	21	125	18	70	10.2
5083													
H116	315	46	230	33	-	16	-	-	-	160	23	71	10.3
H321	315	46	230	33	-	16	-	-	-	160	23	71	10.3
5086													
H116	290	42	205	30	12	-	-	-	-	-	-	71	10.3
H32	290	42	205	30	12	-	-	-	-	-	-	71	10.3
6061													
T6	310	45	275	40	12	17	95	205	30	95	14	69	10.0
T651	310	45	275	40	12	17	95	205	30	95	14	69	10.0
6063													
T4	170	25	90	13	22	-	-	-	-	-	-	69	10.0
T5	185	27	145	21	12	-	60	115	17	70	10	69	10.0
7050													
T7451 (h)	525	76	470	68	-	11	-	305	44	-	-	72	10.4
T7651	550	80	490	71	-	11	-	325	47	-	-	72	10.4
7075													
T6	570	83	505	73	11	11	150	330	48	160	23	72	10.4
T651	570	83	505	73	11	11	150	330	48	160	23	72	10.4

(a) 500kg load and 10 mm ball.

(b) Based on 500 000 000 cycles of completely reversed stress using the R.R. Moore type of machine and specimen.

(c) Average of tension and compression moduli. Compression modulus is about 2% greater than tension modulus.

(d) 1350-0 wire have an elongation approximately 23% in 250 mm [10 in.].

(e) 1350-H19 wire will have an elongation of approximately 1.1/2% in 250 mm [10 in.].

(f) Tempers T361 and T861 were formerly designated T36 and T86, respectively.

(g) Based on 10⁷ cycles using flexural types testing of sheet specimens.

(h) T7451, although not previously registered, has appeared in literature and in same specification as T73651.

Errors & Omission Exceptable