

**PENGARUH WAKTU GESEK DAN DIAMETER PERMUKAAN GESEK  
BAJA TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS GESEK  
ALUMINIUM A6061 DAN BAJA SS41**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI MANUFAKTUR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**FEBI FERDIANSYAH**

**NIM. 175060201111044**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2021**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH WAKTU GESEK DAN DIAMETER PERMUKAAN GESEK BAJA  
TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS GESEK ALUMINIUM  
A6061 DAN BAJA SS41**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



**FEBI FERDIANSYAH  
NIM. 175060201111044**

Skripsi telah direvisi dan di setujui oleh Dosen Pembimbing  
pada tanggal 21 Juli 2021

**Dosen Pembimbing 1**

  
**Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.**  
**NIP. 19750710 199903 1 004**

  
**Mengetahui**  
**Ketua Program Studi Sarjana,**  
**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
**NIP. 19740930 200012 1 001**



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah, yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 26 Juli 2021

Mahasiswa,

A yellow rectangular stamp with the text "METERAI TEMPEL" and a small emblem. A handwritten signature in black ink is written over the stamp. To the left of the stamp is a vertical black bar with some illegible text.

Febi Ferdiansyah

Nim. 175060201111044





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 760/UN10.F07.12.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

**FEBI FERDIANSYAH**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH WAKTU GESEK DAN DIAMETER PERMUKAAN GESEK  
BAJA TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS GESEK  
ALUMINIUM A6061 DAN BAJA SS41**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal



**Prof. DJAROT B. DARMADI, Ir., MT., Ph.D**  
NIP. 19670518 199412 1 001

Malang, 22 Juli 2021

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

**MEGA NUR SASONGKO, ST., MT., Dr. Eng**  
NIP. 19740930 200012 1 001



**JUDUL SKRIPSI:**

**Pengaruh Waktu Gesek dan Diameter Permukaan Gesek Baja Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Aluminium A6061 dan Baja SS41**

**Nama Mahasiswa : Febi Ferdiansyah**

**NIM : 175060200111044**

**Program Studi : Teknik Mesin**

**Konsentrasi : Manufaktur**

**KOMISI PEMBIMBING**

**Pembimbing 1 : Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST.,M.Eng.**

**Pembimbing 2 :**

**TIM DOSEN PENGUJI**

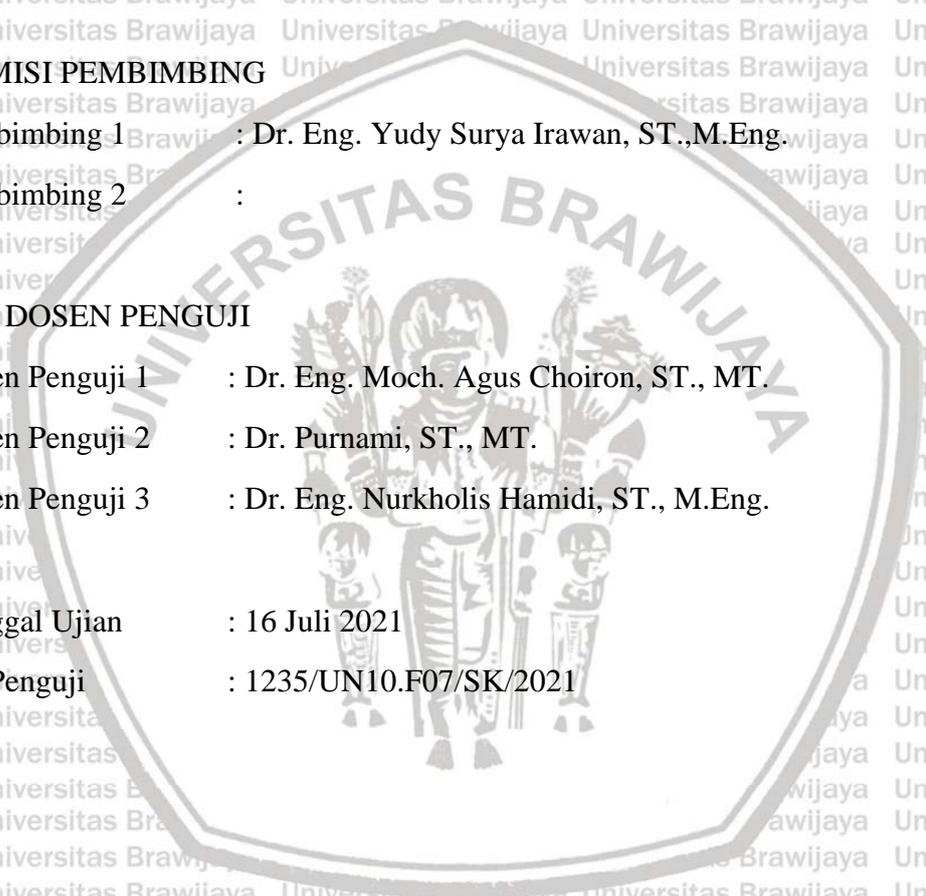
**Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.**

**Dosen Penguji 2 : Dr. Purnami, ST., MT.**

**Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.**

**Tanggal Ujian : 16 Juli 2021**

**SK Penguji : 1235/UN10.F07/SK/2021**





8. Kakak tercinta Nila dan adek Yoga yang selalu mendukung dan memberikan motivasi
9. Teman dan keluarga angkatan 2017 yang berjuang Bersama dari mulai dibina hingga menjadi Pembina, dari yang hanya “melamisi” hingga menjadi yang dilamisi, dan cerita cerita lucu selama perjuangan hingga ada slogan “RAGAM JIWA BUKAN HALANGAN SATU ARAH KAMI BERJALAN” akan selalu teringat dalam ingatan
10. Teman-teman seperjuangan skripsi Kevin, Timothy, dan Reza yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi ini.
11. Keluarga APATTE 62 BRAWIJAYA Bagas, Biaggi, Reza, Miftah, Ambong, Devin, Ezrha, Calvin, Azka, Dieny, Excel, Zaidan, Irfan, Fahri, Adji, dan Adji yang telah berjuang Bersama mewujudkan prestasi dalam bidang otomotif dalam kancan nasional dan internasional
12. Rekan dan saudara Laboratorium Riset Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang terdiri dari Divisi Aerokreasi, Divisi TKG, dan Divisi Mobil Hemat Energi yang telah berjuang dan berusaha merealisasikan visi misi.
13. Sobat-sobat Al-Hadiid dan FKIMM yang tidak cukup bila disebutkan satu persatu terimakasih telah mendukung dan mengingatkan keseimbangan urusan akhirat dan duniawi, juga mengingatkan untuk selalu mengingat Allah sebagai penolong hingga masa studi penulis dapat terselesaikan.
14. Teman teman dan rekan bisnis CV SINERGI ABISATYA yang telah memberikan doa, semangat, dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini
15. Rekan Manufaktur 2017
16. Bu Julia sebagai owner PT Nafiri Jaffa Sentosa dan Mba Nelsa dari PT Paragon Technology yang telah membantu finansial saya melalui beasiswa dari mulai awal kuliah hingga saya lulus, saya ucapkan terima kasih yang sebesar besarnya
17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung hingga dapat meraih gelar Sarja Teknik (ST).
18. *Last but not least, I wanna thank me, for believing me, for doing for doing all this hard work, for having no days off, for never quitting, for just being me at all time*

Akhir kata, semoga amal, bantuan, bimbingan serta doa yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah subhanahu wa ta'alla. Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat menghargai setiap saran dan masukan untuk kesempurnaan laporan proposal skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca sekaligus yang bisa menjadi bahan acuan penelitian selanjutnya.

Malang 26 Juli 2021

Penulis





Halaman ini sengaja dikosongkan

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>SUMMARY</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	7
2.2 Alumunium.....	9
2.2.1 Sifat Sifat Umum Alumunium.....	10
2.2.2 Paduan Alumunium.....	11
2.2.3 Penggolongan Alumunium Paduan.....	13
2.2.4 Sifat mampu las Alumunium.....	15
2.2.5 Paduan Alumunium A6061.....	16
2.3 Baja.....	16
2.3.1 Klasifikasi Baja.....	16
2.3.2 Baja dan Paduannya.....	17
2.3.3 Sifat-Sifat Umum Baja.....	18
2.3.4 Unsur Paduan Dalam Baja.....	19
2.3.5 Paduan Baja SS41.....	21
2.3.6 Sifat Mampu Las Baja.....	21
2.4 Pengelasan.....	22
2.4.1 Definisi Pengelasan.....	22
2.4.2 Klasifikasi Pengelasan.....	22
2.4.3 Sifat Pengelasan.....	22



2.4.4 Pengelasan Gesek ( <i>Friction Welding</i> ).....	23
2.5 Daerah Pengaruh Panas (HAZ).....	26
2.6 Kelebihan dan kekurangan Las Gesek ( <i>Friction Welding</i> ).....	27
2.7 Aplikasi las gesek.....	27
2.8 Kekuatan Tarik.....	28
2.9 Energi termal yang Dibangkitkan Pada Proses Pengelasan.....	30
2.10 <i>Jeffries Planimetric Method</i> .....	32
2.11 <i>Hall-Petch Equation</i> .....	33
2.12 Hipotesis.....	34
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>
3.1 Metode Penelitian.....	35
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
3.3 Variabel Pengujian.....	35
3.3.1 Variabel Bebas.....	35
3.3.2 Variabel Terikat.....	35
3.3.3 Variabel Terkontrol.....	36
3.4 Bahan dan Spesifikasi Alat.....	36
3.4.1 Bahan.....	36
3.4.2 Spesifikasi Alat.....	37
3.5 Dimensi Benda Kerja.....	43
3.6 Skema Penelitian.....	44
3.7 Prosedur Penelitian.....	45
3.7.1 Pengelasan Gesek.....	45
3.7.2 Pengujian Kekuatan Tarik.....	46
3.7.3 Prosedur Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> .....	46
3.7.4 Pengujian Mikrostruktur.....	47
3.7.5 Pengujian Makrostruktur.....	48
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	49
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>51</b>
4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	51
4.2 Pembahasan.....	52
4.2.1 Hasil Pengujian Tarik Sambungan Las Gesek.....	52
4.2.2 Analisis Panas yang Masuk Pada Proses Pengelasan Gesek.....	53

4.2.3 Analisis *Burn Off Length* Terhadap Proses Pengelasan Gesek .....56

4.2.4 Analisis Foto Makrostruktur Pada Sambungan Las Gesek .....58

4.2.5 Analisis Foto Mikrostruktur Pada Batas Sambungan Las Gesek ..... 61

4.2.6 Analisis Foto Mikrostruktur Pada Daerah Patahan .....62

4.2.7 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Sambungan Las Gesek ..... 65

**BAB V PENUTUP .....69**

5.1 Kesimpulan ..... 69

5.2 Saran ..... 69

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**





Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR TABEL

No.	Judul Halaman	
Tabel 2.1	Parameter Pengujian Sahin	7
Tabel 2.2	Parameter Pengujian Taban	9
Tabel 2.3	Sifat Fisik Alumunium	10
Tabel 2.4	Sifat Mekanik Alumunium	10
Tabel 2.5	Sistem Penamaan Paduan Alumunium	13
Tabel 2.6	Klasifikasi Alumunium Paduan	14
Tabel 2.7	Komposisi (Persen Berat) dari Beberapa Baja	18
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Alumunium A6061	36
Tabel 3.2	Komposisi Kimia Baja SS41	37
Tabel 4.1	Hasil Data Pengujian Tarik Sambungan Las Gesek	51
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Total <i>Heat Input</i> Pada Pengelasan Gesek	55
Tabel 4.3	Hasil Data <i>Burn Of Length</i> terhadap Sambungan Las Gesek	56
Tabel 4.4	Data Luasan HAZ Alumunium pada Sambungan Las Gesek	60
Tabel 4.5	Data Luas Daerah Batas Sambungan Pada Sambungan Las Gesek	62
Tabel 3.2	Data Hasil Perhitungan Diameter Butir Dengan Metode <i>Planimetri</i>	64
Tabel 4.1	Nilai Kekerasan pada Spesimen Las Gesek	65



Halaman ini sengaja dikosongkan

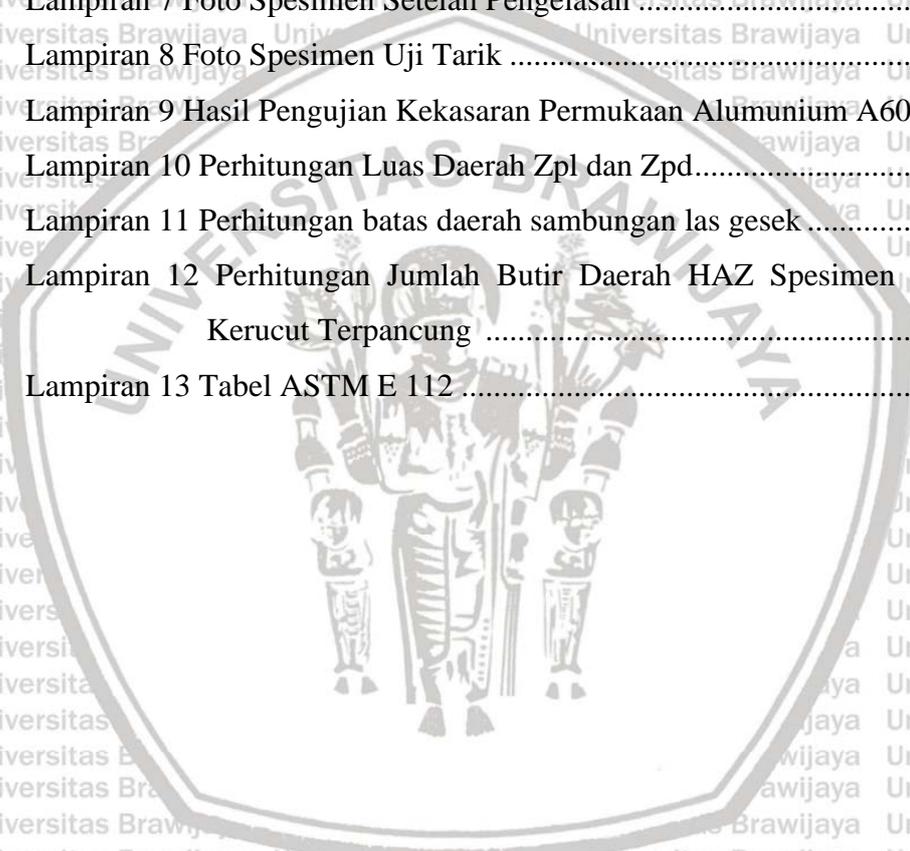
## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul Halaman
Gambar 2.1	Grafik hubungan kekuatan tarik terhadap waktu gesek terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek alumunium A6061 dan baja karnbon rendah 8
Gambar 2.2	<i>Scheme (a) and equilibrium diagram (b) for FE and alloying element with extended <math>\gamma</math>-phase range and unlimited solunility</i> ..... 20
Gambar 2.3	<i>Scheme (a) and equilibrium diagram (b) for FE and alloying element with extended <math>\gamma</math>-phase range and unlimited solunility</i> ..... 21
Gambar 2.4	Tahap <i>friction welding</i> a). Tahap pemanasan dan pemutaran, b) tahap pembangkitan panas akibat Gesekan, d). Tahap akhir penekanan lanjut ..... 24
Gambar 2.5	Skema <i>Direct-drive welding</i> ..... 25
Gambar 2.6	Skema <i>Inertia-drive welding</i> ..... 25
Gambar 2.7	Daerah $Z_{pl}, Z_{pd}$ , dan $Z_{ud}$ ..... 26
Gambar 2.8	Hasil Sambungan Las Gesek (a) <i>Water Pump-Finished</i> , (b) <i>Aluminium-SS (Copier fuser roller)</i> , (c) <i>Butterfly Valves</i> , (d)Peralih penghubung pada reaktor nuklir ( <i>AL Alloy-Stainless steel</i> ) (e) <i>Transmission input shaft</i> ..... 28
Gambar 2.9	Grafik tegangan dan regangan ..... 30
Gambar 2.10	Permukaan gesek ..... 31
Gambar 2.11	Hunbungan antara perbesaran yang digunakan dan <i>jeffries multiplier</i> . 33
Gambar 2.12	<i>Grain size relationships computed for uniform, randomly oriented, equiaxed grains</i> ..... 33
Gambar 3.1	Mesin Bubut ..... 37
Gambar 3.2	<i>Vernier Caliper</i> ..... 38
Gambar 3.3	Pompa Hidrolik ..... 38
Gambar 3.4	Kamera Digital ..... 38
Gambar 3.5	<i>Stopwatch</i> ..... 39
Gambar 3.6	<i>Thermogun</i> ..... 39
Gambar 3.7	Mesin CNC <i>Lathe</i> ..... 40
Gambar 3.8	<i>Universal Tensile Machine</i> ..... 41
Gambar 3.9	<i>Hacksaw Machine</i> ..... 42
Gambar 3.10	<i>Micro Vickers Hardness Testing Machine</i> ..... 42

Gambar 3.11	Mikroskop Olympus BH-2.....	43
Gambar 3.12	Spesimen Pengelasan dengan Diameter Baja 9mm.....	43
Gambar 3.13	Spesimen Pengelasan dengan Diameter Baja 12mm.....	44
Gambar 3.14	Skema alat pengelasan gesek.....	44
Gambar 3.15	Dimensi Spesimen Uji Tarik.....	46
Gambar 3.16	Skema Pengujian Kekerasan Benda Kerja.....	47
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Diameter Gesek Baja dan Waktu gesek terhadap kekuatan tarik.....	52
Gambar 4.2	Grafik hubungan temperatur terhadap diameter gesek baja dan waktu gesek pada sambungan las gesek alumunium A6061 dan baja SS41.....	54
Gambar 4.3	Grafik perbandingan <i>Burn Off Length</i> (BOL) kekuatan tarik tertinggi dan terendah.....	57
Gambar 4.4	Foto makrostruktur patahan spesimen hasil uji tarik a) Diameter gesek baja 9 mm waktu gesek 7 detik b) Diameter gesek baja 9mm waktu gesek 9 detik.....	58
Gambar 4.5	Foto makrostruktur spesimen las gesek dengan (a) Foto makrostruktur kekuatan tarik tertinggi pada luasan Zpd (b) Foto makrostruktur kekuatan tarik tertinggi pada luasan Zpl (c) Foto makrostruktur kekuatan tarik terendah pada luasan Zpd (d) Foto makrostruktur kekuatan tarik terendah pada luasan Zpl.....	59
Gambar 4.6	Foto mikrostruktur pada batas sambungan spesimen las gesek dengan (a) Foto mikrostruktur pada batas sambungan dengan kekuatan tarik tertinggi (b) Foto mikrostruktur pada batas sambungan dengan kekuatan tarik terendah.....	61
Gambar 4.7	Foto mikrostruktur daerah patahan dengan (a) spesimen las kekuatan tarik tertinggi dengan variasi waktu gesek 7 detik dan diameter gesek baja 9 mm (b) spesimen las kekuatan tarik terendah dengan variasi waktu gesek 9 detik dan diameter gesek baja 12 mm.....	63
Gambar 4.8	Grafik hubungan kekerasan terhadap jarak titik dari pusat menjahui titik kontak las pada kekuatan rata-rata tertinggi dan terendah.....	66

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul Halaman	
	Lampiran 1 Surat Keterangan Telah Melakukan Pengujian Kekuatan Tarik .....	69
	Lampiran 2 Sertifikat Kalibrasi Mesin Uji Tarik .....	70
	Lampiran 3 Surat Keterangan Telah Melakukan Pembuatan Spesimen Uji Tarik .....	71
	Lampiran 4 Komposisi Alumunium A6061 .....	72
	Lampiran 5 Komposisi Baja SS41 .....	73
	Lampiran 6 Foto Spesimen Sebelum Pengelasan .....	74
	Lampiran 7 Foto Spesimen Setelah Pengelasan .....	75
	Lampiran 8 Foto Spesimen Uji Tarik .....	78
	Lampiran 9 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Alumunium A6061.....	79
	Lampiran 10 Perhitungan Luas Daerah Zpl dan Zpd.....	82
	Lampiran 11 Perhitungan batas daerah sambungan las gesek .....	84
	Lampiran 12 Perhitungan Jumlah Butir Daerah HAZ Spesimen Variasi Tanpa Kerucut Terpancung .....	85
	Lampiran 13 Tabel ASTM E 112 .....	86





Halaman ini sengaja dikosongkan

## RINGKASAN

**Febi Ferdiansyah**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2021, Pengaruh Waktu Gesek dan Diameter Gesek Baja Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Aluminium A6061 dan Baja SS41, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan

Saat ini manufaktur banyak digunakan dalam dunia industri dan perkembangan teknologinya pun bisa dibilang sangat pesat dimana saat ini penggunaan aluminium untuk pengurangan berat kendaraan sangat dianjurkan agar bagian paduan aluminium, yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi, digunakan sebagai pengganti bagian baja. Namun, dalam aplikasinya tentu aluminium tidak bisa mengganti semua bagian baja kendaraan khususnya untuk bagian yang mengutamakan kekuatan strukturalnya. Maka dari itu sangat disarankan dalam menurunkan bobot kendaraan yang baik baja dan paduan aluminium harus digunakan dengan pertimbangan kekuatan struktural. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh diameter gesek baja dan waktu gesek terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek aluminium A6061 dan baja SS41.

Las gesek atau *friction welding* merupakan salah satu metode pengelasan *solid state* dimana panas atau tekanan dari kontak kedua permukaan digunakan untuk membuat sambungan, tetapi tidak terjadi peleburan *base metal* dan tidak ada *filler* yang ditambahkan. Proses pengelasan untuk dua material yang tidak sejenis masih jarang dilakukan, dan biasanya menggunakan metode *friction welding* karena pada metode lainnya hampir tidak mungkin, dan merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan pengelasan cair.

Pada penelitian ini dilakukan las gesek (*friction welding*) aluminium A6061 dengan Baja SS41 menggunakan tiga variasi waktu yaitu 5 detik, 7 detik, 9 detik dan dua variasi diameter gesek baja yaitu 9 mm dan 12 mm rpm. Untuk mengetahui pengaruh waktu gesek dan diameter permukaan gesek baja terhadap kekuatan tarik maka dilakukan pengujian berupa uji tarik.

Hasil dari penelitian ini dengan tekanan hidrolik awal sebesar 7 kN dan tekanan hidrolik akhir sebesar 35 kN menghasilkan sambungan las gesek yang memiliki kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 200.52 MPa terjadi pada variasi diameter gesek baja 9mm dan waktu gesek selama 7 detik. Sedangkan kekuatan tarik rata-rata terendah sebesar 108.14 MPa terjadi pada variasi variasi diameter gesek baja 12mm dan waktu gesek selama 9 detik. Hal itu dipengaruhi oleh fenomena berupa panas yang masuk (*heat input*) yang terjadi pada saat pengelasan dan perbedaan luas daerah *flash* yang terbentuk pada kedua variasi tersebut.

Kata Kunci: *Continuous Drive Friction Welding*, Beda Diameter Baja, Kekuatan Tarik, Aluminium A6061, Baja SS41



## SUMMARY

**Febi Ferdiansyah**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, in July 2021, *The Influence of Friction Time and Surface Friction Diameter of Steel Against the Friction Weld Tensile Strength of AA6061 and SS41 Steel*, Academic Supervisor: Yudy Surya Irawan.

Currently manufacturing is widely used in the industrial world and technological developments can be said to be very rapid where currently the use of aluminum for vehicle weight reduction is highly recommended so that aluminum alloy parts, which have a higher strength to weight ratio, are used instead of steel parts. However, in its application, of course, aluminum cannot replace all steel parts of the vehicle, especially for parts that prioritize structural strength. Therefore, it is highly recommended in reducing vehicle weight that both steel and aluminum alloy should be used with consideration of structural strength. The purpose of this study was to determine the effect of steel friction diameter and friction time on the tensile strength of A6061 and SS41 steel friction welded joints.

Friction welding is a welding method in solid state which heat or pressure from the contact of the two surfaces is used to make a connection, but no melting of the occurs base metal and no filler is added. The welding process for two materials is still rarely carried out, and usually using the method dissimilar friction welding because the other method is almost impossible, and is one solution in solving the problem of joining metals which is difficult to do with liquid welding.

In this study, friction welding of aluminum A6061 with SS41 steel was carried out using three time variations, namely 5 seconds, 7 seconds, 9 seconds and two variations of the steel friction diameter, namely 9 mm and 12 mm rpm. To determine the effect of friction time and surface diameter steel friction against tensile strength, then a tensile test is carried out.

The results of this study with an initial hydraulic pressure of 7 kN and a final hydraulic pressure of 35 kN resulted in a friction welded joint that has the highest average tensile strength of 200.52 MPa occurring in variations in the diameter of the steel friction 9mm and the friction time for 7 seconds. While the lowest average tensile strength of 108.14 MPa occurs in variations of 12mm steel friction diameter and 9 seconds of friction time. This is influenced by the phenomenon of heat input that occurs during welding and the difference in the area of flash formed in the two variations.

**Keywords:** Continuous Drive Friction Welding, Steel Diameter Difference, Tensile Strength, A6061 Aluminum, SS41 Steel  
**Keywords:** Continuous Drive Friction Welding, Steel Diameter Difference, Tensile Strength, A6061 Aluminum, SS41 Steel



Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Penggunaan energi yang efisien dalam suatu aplikasi teknologi sudah merupakan suatu keharusan pada saat ini, untuk mengantisipasi kelangkaan energi mineral. Berbagai penelitian dan pengembangan teknologi, terfokus pada isu penghematan energi. Dalam bidang teknologi material, penerapan berbagai material baru dalam mensubstitusi penggunaan material-material yang konvensional, semakin sering dilakukan. Hal ini dapat dilihat pada peralatan-peralatan transportasi yang menggunakan berbagai material-material lainnya yang memiliki *strength to weight ratio* yang lebih besar, tanpa mengabaikan syarat-syarat desain lainnya isu penghematan energi. Penerapan material yang dengan massa jenis yang kecil, dan material yang mempunyai sifat-sifat yang lain, yang paling tepat pada suatu komponen peralatan, merupakan salah satu cara dalam penggunaan energi yang lebih efisien (Taban 2010).

Menjadi suatu konsekuensi logis, dari penerapan berbagai material yang tidak sejenis dalam suatu struktur peralatan, adalah proses penyambungan dua atau lebih material yang tidak sejenis. Berbagai metode penyambungan dapat diterapkan untuk menyambung dua logam tidak sejenis pada suatu struktur komponen. Penyambungan aluminium dan baja dapat dilakukan, dengan menggunakan pengikatan mekanis (*mechanical fastening*), dan juga menggunakan pengikatan adesif (*adhesive bonding*). Kedua metode pengikatan ini memiliki keterbatasan pada kekuatan spesifik sambungan dan juga *geometry* pada daerah sambungan, seperti harus adanya bentuk pangkuan sambungan (*lap geometry*) yang cukup luas (Uzkut, 2011).

Pada era globalisasi ini penyambungan dua buah logam atau pengelasan merupakan salah satu proses penting dalam industri manufaktur. Pengelasan merupakan suatu proses manufaktur untuk menyambungkan dua logam benda padat dengan cara mencairkannya dengan memanfaatkan energi panas (Widharto, 2003). Sedangkan menurut *American Welding Society* (AWS, 1989) Pengelasan merupakan proses penyambungan logam atau non logam dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan dengan atau tanpa penekanan, atau tanpa menggunakan logam pengisi.

Berdasarkan metode penyambungan pada pengelasan, proses pengelasan dibagi menjadi dua metode, pengelasan fusi dan pengelasan kondisi padat. Pengelasan fusi adalah

metode penggabungan material yang menggunakan peleburan dari sebagian material induk untuk membuat sambungan las. Pengelasan dalam kondisi fusi yang banyak dikenal adalah *Shielded metal arc welding* (SMAW), *tungsten insert gas* (TIG), *metal insert gas* (MIG) dan las oksiasitelin. Sedangkan pengelasan kondisi padat adalah metode penyambungan material dengan temperatur di bawah titik lebur material (Huda 2017). Salah satu jenis pengelasan kondisi padat yang paling sering digunakan hingga saat ini adalah *friction welding* atau las gesek. Pengelasan gesek (*Friction welding*) merupakan suatu metode manufaktur yang berfungsi untuk menyambungkan logam dengan bukan logam (Irawan,2019)

Metode pengelasan gesek merupakan jenis pengelasan bertekanan, proses pengelasan gesek dilakukan dalam keadaan *solid state* di mana tidak ada listrik atau sumber energi lain yang digunakan, energi panas dihasilkan dengan memanfaatkan gesekan antara permukaan dari bagian yang akan dilas. Pengelasan yang ditetapkan yaitu dengan menggunakan energi panas secara efisien pada daerah las sehingga panas akibat gesekan antar permukaan tersebut didistribusikan secara merata pada permukaan yang akan dilas. Selama proses pengelasan, permukaan berada di bawah tekanan dan periode ini disebut tahap pemanasan kontinu di mana material yang dilas mengalami deformasi plastis kemudian kedua material yang disambung menjadi dingin dan membentuk ikatan dalam keadaan padat (Uzkut, 2010).

Pengelasan gesek ditinjau dari sisi cara mentransfer energi mekaniknya, dapat diklasifikasikan secara praktis menjadi pengelasan gesek *continuous drive*, dan pengelasan gesek inersia (sahin, M 2007). Pengelasan gesek *continuous drive* merupakan metode pengelasan gesek yang digunakan untuk menyambungkan logam berbentuk selinder dimana terjadi pembangkitan panas akibat gesekan pada permukaan kontak (irawan 2012). Pada pengelasan gesek *continuous drive*, terdapat variabel-variabel operasi utama seperti: kecepatan Putar (*rotation speed*), waktu gesek (*friction time*), tekanan gesek (*friction pressure*), tekanan tempa (*forging pressure*), waktu tempa (*forging time*). (alves,2010)

Pengujian tarik berfungsi untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu material. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui dan menganalisis apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw materials*. Pengujian tarik pada material uji las gesek dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. pembebanan yang diberikan pada material uji las dengan cara memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah

satu ujung material. Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) material tersebut. Proses terjadinya deformasi pada material

uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut oleh penarikan gaya maksimum. Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan–pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami material uji dan dihasilkan kurva tegangan regangan ( Wiryosumarto, 2000)

Pada penelitian ini digunakan material yaitu aluminium A6061 dan baja SS41. Aluminium A6061 merupakan salah satu jenis paduan aluminium dapat diperlakukan panas (*heat treatable alloys*), yang di mana aluminium kekuatannya dapat diperbaiki dengan diberikan perlakuan panas. Sifat-sifat aluminium A6061 perlu dipertimbang khususnya perencanaan konstruksi mesin, kapal, transportasi dan masih banyak lagi, di mana untuk membuat pengaplikasian dan pembuatan suatu produk-produk teknologi yang utuh dibutuhkan proses penyambungan atau pengelasan suatu komponen-komponen agar menjadi barang sempurna (Widharto, 2003)

Baja SS41 merupakan salah satu dari golongan baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) dan salah satu logam ferro yang banyak digunakan dalam dunia teknik dan industri. Kandungan baja diantaranya yaitu besi dan karbon. Kandungan besi (Fe) pada baja sekitar 98,68% dan karbon (C) sekitar 0,48% hingga 2,1% sesuai grade-nya. Selain unsur besi (Fe) dan karbon (C), baja mengandung unsur lain seperti mangan (Mn) dengan kadar 0,448%, silikon (Si) dengan kadar maksimal 0,16% dan mempunyai kekuatan tarik sebesar 600-650 Mpa (Nofri dan taryana, 2018). Dimana baja ST41 memiliki kombinasi sifat material yang baik seperti : kekerasan, keuletan, dan ketangguhan yang baik. Baja SS41 ini secara teori mempunyai nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor, dengan adanya perlit dan ferit karena perlit yang ada lebih banyak dari pada ferit). Digunakan untuk kawat, paku, *wire mesh*, peralatan otomotif dan sebagai bahan baku *welded fabrication* (kisi-kisi jendela atau pintu dan jeruji) Aplikasi khusus seperti untuk kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh beberapa mahasiswa yang berkaitan dengan teknologi pengelasan gesek (*friction welding*) yang diantaranya adalah (Rahardyan, 2020) menggunakan material Aluminium A6061 dan Baja SS41 dengan variasi *friction time* 5 detik, 8 detik, dan 11 detik. Penelitian tersebut memiliki kesimpulan bahwa semakin lamanya *friction time*, maka kekuatan tarik dari sambungan antara aluminium A6061 dengan baja SS41 pada pengelasan gesek *continuous drive*, akan menguat sampai mencapai kekuatan tarik terbesar dan kemudian kekuatan tariknya akan kembali melemah

Menurut (Sahin dan Misirli 2013), selain variabel-variabel utama tadi, terdapat variabel lain yang berkorelasi dengan kualitas hasil penyambungan seperti jenis material yang disambungkan, geometri permukaan kontak, luas permukaan kontak, dan kekasaran permukaan kontak. Pah (2019) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa semakin lamanya waktu gesek, maka kekuatan tarik dari sambungan antara aluminium A6061 dengan baja karbon pada pengelasan gesek *continuous drive*, akan menguat sampai mencapai kekuatan tarik terbesar, dan kemudian kekuatan tariknya akan kembali melemah.

Sesuai penjelasan diatas maka pada penelitian ini ingin mengetahui pengaruh yang terjadi dari variasi waktu gesek dan variasi diameter sambungan las aluminium A6061 dan baja SS41 terhadap kekuatan tarik sambungan las. Pada penelitian ini akan memberikan informasi mengenai lama waktu gesek dan diameter las yang optimal pada sambungan las aluminium A6061 dan baja SS41. data tersebut diharapkan bisa menjadi referensi untuk menghasilkan sambungan las aluminium A6061 dan baja SS41 dengan kekuatan tarik yang optimal. Dari penelitian di atas maupun penelitian sebelumnya belum diteliti bagaimana pengaruh waktu gesek dan variasi diameter terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek aluminium paduan A6061 dan baja SS41.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

Bagaimana pengaruh waktu gesek dan diameter gesek baja terhadap kekuatan tarik las gesek Aluminium A6061 dan Baja SS41

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah:

1. Pengelasan dilakukan dengan suhu ruang
2. Kecepatan putaran mesin bubut saat proses pengelasan dianggap konstan
3. Gaya penekanan awal dianggap konstan
4. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan dan tekanan atmosfer

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui pengaruh waktu gesek dan diameter gesek baja terhadap kekuatan tarik las gesek Aluminium A6061 dan Baja SS41

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh waktu gesek dan diameter gesek baja terhadap sifat mekanik berupa kekuatan tarik daerah sambungan pada pengelasan paduan aluminium dan baja SS41 dengan metode *friction welding*.
2. Dapat digunakan sebagai pengembangan dan penelitian khususnya tentang *friction welding*.
3. Penelitian ini sebagai motivasi positif untuk mengembangkan diri dalam pengetahuan ilmu material, dan juga dapat digunakan sebagai referensi untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.
4. Bagi peneliti dapat menerapkan teori yang telah dipelajari selama perkuliahan tentang teknologi pengelasan logam.
5. Sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik.





Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

(Sahin,2013) mengemukakan mengenai parameter operasi pada las gesek *continuous drive* untuk mendapatkan parameter optimum, ditinjau pada kekuatan tarik sambungan, pada proses pengelasan baja-alumunium dan alumunium-tembaga.Pada pengujian pengelasan baja-alumunium, diuji kekuatan tarik pada sambungan, distribusi kekerasan, dan mikografi pada daerah pengaruh panas, dengan variasi tekanan gesek dan waktu gesek, parameter-parameter pelaksanaan pengujian ini terdapat pada tabel 2.1

Tabel 2.1  
Parameter pengujian Sahin

Material	Baja asutenitic AISI 304 - Alumunium									
Diameter benda kerja	10									
Tekanan Penempaan	60									
Waktu Penempaan	12									
Putaran RPM	1410									
Variasi Tekanan Gesek (Mpa)	20	25	30	35	40	45				
Variasi Waktu (detik)	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6

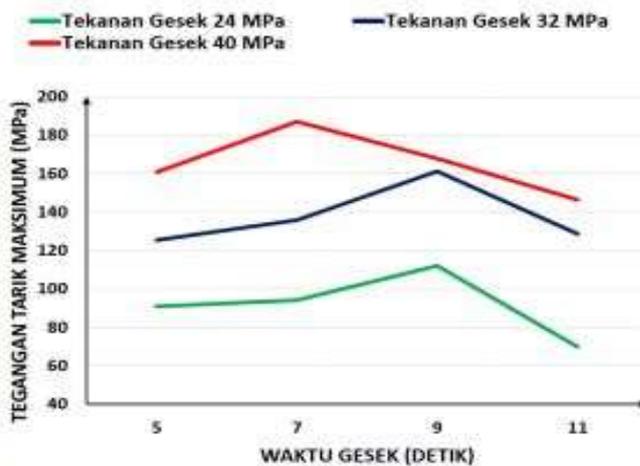
Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini,mengenai penyambungan baja-alumunium adalah

1. Parameter las gesek yang optimum tergantung pada material-material yang disambungkan.Parameter optimum terhadap kekuatan tarik pada peneltian ini didapat pada tekanan gesek 30 Mpa dan waktu gesek selama 4 detik
2. Dengan lamanya waktu gesek,kekuatan tarik sambungan sambungan las bertambah besar sampai pada waktu gesek tertentu dan kemudian kembali menurun

Pah et.all (2014), dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aalumunium dan Baja Karbon pada Pengelasan Gesek *Continous Drive*”.Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik tarik antara alumunium 6061 dan baja karbon rendah dengan variasi waktu gesek dan tekanan gesek

untuk variasi waktu gesek adalah 5 detik, 7 detik, 9 detik dan 11 sedangkan untuk variasi tekanan gesek adalah 24 MPa, 32 MPa, 40 MPa. Hasil dari penelitian ini adalah Semakin besar tekanan gesek akan menyebabkan semakin kuat kekuatan tarik sambungan yang terbentuk.

Pada waktu gesek 5 detik dan 7 detik, pembesaran tekanan gesek menyebabkan meningkatnya kekuatan tarik sambungan secara linier, pada waktu gesek 9 detik dan 11 detik, peningkatan kekuatan tarik sambungan tidak lagi linier, dengan semakin besarnya tekanan gesek.



Gambar 2.1 Grafik hubungan kekuatan tarik terhadap waktu gesek terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek aluminium A6061 dan baja karbon rendah  
Sumber : Pah (2014)

Dari grafik hubungan antara kekuatan tarik maksimum sambungan terhadap variasi waktu gesek, menunjukkan bahwa dengan semakin lamanya waktu gesek, kekuatan tarik sambungan akan menguat sampai nilai maksimum dan kemudian kekuatan tarik sambungannya kembali menurun. Tekanan gesek yang semakin tinggi dari 24 MPa, 32 MPa, sampai 40 MPa, akan menghasilkan kekuatan tarik sambungan yang semakin besar, untuk setiap waktu gesek. Kekuatan tarik sambungan terkuat 186,978 MPa, pada penerapan waktu gesek 7 detik, dan tekanan gesek 40 MPa.

(Taban, 2010), meneliti mengenai profil temperatur pada daerah pengaruh panas pada las gesek inersia, untuk proses pengelasan baja-aluminium. Pada pengujian ini diuji kekuatan Tarik pada sambungan, distribusi kekrasan, uji mikrografi pada daerah pengaruh panas, dengan menggunakan dua variasi tekanan penempaan dan waktu penempaan. Profil temperatur pada daerah pengaruh panas dilihat pada variasi waktu gesek. Parameter-parameter pelaksanaan pengujian ini seperti tabel 2.2

Tabel 2.2  
Parameter Pengujian Taban

Material	Baja AISI 1018 – Paduan Alumunium 6061 – T6	
Diameter Benda kerja (mm)	12,5	
PutPutaran (rpm)	4200	
Tekanan Gesek (MPa)	23	
Variasi Waktu Gesek (detik)	1 sampai 32	
Untuk Profil Temperatur	1	
Waktu Gesek (detik) untuk Pengujian mekanis	1	
Variasi Tekanan Penempaan (MPa)	50	60
Variasi Waktu Penempaan (detik)	2	5

Hasil yang didapat pada penelitian ini, mengenai penyambungan baja-alumunium adalah:

1. Profil temperatur pada bidang kontak antara sisi alumunium dan sisi baja menunjukkan profil yang hampir sama. Temperatur maksimum pada sisi baja mencapai 383°C dan pada sisi alumunium mencapai 418°C
2. Dari kedua variasi tekanan penempaan dan waktu penempaan yang digunakan, maka didapat bahwa pada saat tekanan penempaan 60 MPa selama 5 detik, menghasilkan kekuatan tarik sambungan yang lebih besar dari tekanan penempaan 50 MPa selama 2 detik
3. Terdapat fase campuran yang bersifat getas, pada sambungan dengan ketebalan 350 mm yang terbentuk FeAl dan Fe2Al5

## 2.2 Alumunium

Alumunum merupakan unsur logam yang paling banyak terkandung di bumi, Alumunium sendiri mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan logam yang lainnya. Alumunium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor listrik yang sangat baik (Harsono, 2000). Alumunium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Karakteristik utamanya adalah ringan (berat jenis: 2,7 gr/cm<sup>3</sup>) diandingkan dengan baja

(berat jenis : 7,8 gr/cm<sup>3</sup>) serta memiliki keuletan yang cukup tinggi. Dengan sifat-sifat seperti itu maka aluminium banyak digunakan secara luas di perusahaan ataupun yang lain.

Tabel 2.3  
Sifat Fisik Aluminium

Sifat sifat	Kemurnian Al(%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (gr/cm <sup>3</sup> )(20°C)	26,989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas Jenis(cal/g°C)(100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik(%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperature (°C)	0,00429	0,0115
koefisian pemuaiian (20-100°C)	23,86x10	23,5x10

Sumber : Surdia, 1999

Tabel 2.4  
Sifat Mekanik Aluminium

Sifat-Sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996	75% di rol dingin	>99,0	
	Dianil		Dianil	H18
Kekuatan Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan Mulur (0,2%)(Kg/mm <sup>2</sup> )	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinnel	17	27	23	44

Sumber : Surdia, 1999

### 2.2.1 Sifat-sifat Umum Aluminium

Aluminium merupakan suatu material banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dikarenakan aluminium mempunyai sifat-sifat sangat baik dan mempunyai keunggulan dibandingkan dengan material lain. Berikut ini merupakan sifat-sifat umum aluminium.

#### 1. Ringan

Memiliki bobot sekitar 1/3 dari bobot besi dan baja, atau tembaga dan banyak digunakan dalam industri transportasi seperti angkutan udara.

#### 2. Tahan terhadap korosi

Sifatnya durabel sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh

unsur unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia lainnya, baik di ruang angkasa atau bahkan sampai ke dasar laut.

### 3. Kuat

Aluminium memiliki sifat yang kuat terutama bila dipadu dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan tinggi seperti: pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, kendaraan dan lain-lain.

### 4. Mudah dibentuk

Proses pengerjaan Aluminium mudah dibentuk karena dapat disambung dengan logam/material lainnya dengan pengelasan, *brazing*, *solder*, *adhesive bonding*, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.

### 5. Konduktor listrik

Aluminium dapat menghantarkan arus listrik dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan tembaga. Karena Aluminium tidak mahal dan ringan, maka Aluminium sangat baik untuk kabel-kabel listrik *overhead* maupun bawah tanah.

### 6. Konduktor panas

Sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada mesin-mesin/alat-alat pemindah panas sehingga dapat memberikan penghematan energi.

### 7. Memantulkan sinar dan panas

Aluminium dapat dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki kemampuan pantul yang tinggi yaitu sekitar 95% dibandingkan dengan kekuatan pantul sebuah cermin. Sifat pantul ini menjadikan aluminium sangat baik untuk peralatan penahan radiasi panas.

### 8. Non magnetik

Aluminium sangat baik untuk penggunaan pada peralatan elektronik, pemancar radio/TV dan lain-lain. Di mana diperlukan faktor magnetisasi negatif. (Subagyo N.I, 2017).

## 2.2.2 Paduan Aluminium

### 1. Jenis Al-Murni Teknik (seri 1000)

Aluminium jenis ini mempunyai tingkat kemurnian dengan nilai 99.0% hingga 99.9% kelebihan dari aluminium tipe Al-murni adalah mempunyai ketahanan terhadap korosi yang baik,serta mempunyai sifat penghantar panas dan listrik yang bagus.Kekurangan dari aluminium tipe Al-murni adalah kekuatan darialuminium yang rendah

2. Jenis paduan Al-Cu (Seri 2000)

Alumunium dengan jenis paduan Al-Cu biasanya banyak digunakan pada konstruksi keling, ataupun konstruksi pesawat, hal ini disebabkan sifat mekanik dari paduan Al-Cu meyakini sifat mekanik dari baja lunak

3. Jenis paduan Al-Mn (Seri 3000)

Jenis paduan Al-Mn merupakan paduan yang tidak dapat diberi perlakuan panas hal itu membuat paduan Al-Mn memerlukan pengerjaan dingin agar dapat meningkatkan kekuatan dari paduan Al-Mn. Alumunium dengan paduan Al-Mn juga mempunyai ketahanan terhadap korosi yang bagus, dan juga memiliki kekuatan yang tinggi. Sifat potong dan sifat mampu las yang dimiliki oleh alumunium jenis paduan Al-Mn mempunyai sifat yang bagus

4. Jenis paduan Al-Si (Seri 4000)

Paduan jenis Al-Si merupakan salah satu jenis paduan alumunium yang tidak dapat diberikan perlakuan panas. Paduan jenis Al-Si jika dalam keadaan cair akan mempunyai sifat kemampuan alir yang bagus dan pada saat proses pembekuan hamper tidak menimbulkan retak

5. Jenis paduan Al-Mg (Seri 5000)

Paduan jenis Al-Mg merupakan salah satu jenis paduan alumunium yang tidak dapat diberi perlakuan panas. Alumunium dengan paduan Al-Mg juga mempunyai daya tahan terhadap korosi yang baik

6. Jenis paduan Al-Mg-Si (Seri 6000)

Paduan jenis Al-Mg-Si merupakan salah satu jenis paduan alumunium yang dapat diberi perlakuan panas serta mempunyai sifat mampu potong yang bagus. Alumunium dengan paduan Al-Mg-Si juga mempunyai daya tahan terhadap korosi yang bagus serta sifat mampu las dari alumunium paduan Al-Mg-Si juga tergolong mempunyai sifat mampu las yang bagus

7. Jenis paduan Al-Zn (Seri 7000)

Paduan jenis Al-Zn merupakan salah satu jenis paduan alumunium yang dapat diberi perlakuan panas. Dikarenakan kekuatan Tarik dari paduan Al-Zn

### 2.2.3 Penggolongan Alumunium Paduan

Sistem empat digit digunakan untuk mengidentifikasi alumunium dan paduan pada alumunium. Penetapan standarisasi logam alumunium menurut *American Standard Testing Materials* (ASTM) dilakukan menggunakan angka dalam menetapkan penggolongan dari sebuah alumunium paduan. Cara penggolongan alumunium berdasarkan paduannya

Tabel 2.5  
Sistem Penamaan Paduan Aluminium

Unsur Paduan Utama	No seri
Aluminium 99% dan lebih besar	1xxx
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium dan silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Unsur lain	8xxx

Sumber: Avner (1997)

Pembacaan penggolongan aluminium berdasarkan tabel 2.5 :

1. Angka pertama pada penggolongan, berguna untuk menunjukkan jenis-jenis unsur paduan yang terdapat pada logam aluminium
2. Angka kedua pada penggolongan, bertujuan untuk menunjukkan sifat khusus, contoh : angka kedua penggolongan adalah bilangan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus, jika angka kedua pada penggolongan menunjukkan angka satu (1) sampai dengan angka Sembilan (9) maka aluminium memerlukan perhatian khusus
3. Dua angka terakhir pada penggolongan aluminium tidak mempunyai arti khusus. Dua angka terakhir pada penggolongan, hanya menunjukkan modifikasi dari paduan aluminium yang digunakan pada perdagangan

Tabel 2.6  
Klasifikasi Alumunium Paduan

Standard AA	Keterangan	Tambahan
1001	Al murni 99,5% atau di atasnya	<i>Non-heat treatable</i>
1100	Al murni 99,0% atau di atasnya	<i>Non-heat treatable</i>
2010-2029	Cu merupakan unsur paduan utama	<i>Heat-treatable</i>
3003-3009	Mn merupakan unsur paduan utama	<i>Non-heat treatable</i>
4030-4039	Si merupakan unsur paduan utama	<i>Non-heat treatable</i>
5050-5086	Mg merupakan unsur paduan utama	<i>Non-heat treatable</i>
6061-6069	Mg <sub>2</sub> Si merupakan unsur paduan utama	<i>Heat-treatable</i>
7070-7079	Zn merupakan unsur paduan utama	<i>Heat-treatable</i>

Sumber : Surdia,2000

Sifat-sifat dari paduan aluminium yang akan dijelaskan di bawah ini, yaitu:

1. Jenis Al-Murni

- Memiliki daya tahan terhadap karat
- Memiliki konduksi panas dan listrik yang baik
- Mudah saat dilas dan dipotong
- Memiliki kekuatan yang rendah

2. Jenis paduan Al-Cu

- Sering digunakan dalam kontruksi keling dan kontruksi pesawat
- Menyamakan sifat seperti baja lunak

3. Jenis paduan Al-Mn

- Daya tahan korosi
- Mudah dipotong
- Mudah dilas
- Hanya dapat dikerjakan dengan perlakuan dingin

4. Paduan jenis Al-Si

- Dalam keadaan cai sifat mamu alirnya baik
- Bagus dalam paduan cor
- Bagus dalam paduan tempa
- Paduan ini tidak dapat diperlakukan panas

#### 5. Paduan jenis Al-Mg

- Mempunyai sifat daya tahan korosi, terutama korosi air laut
- Memiliki sifat mampu las yang baik
- Janis paduan ini tidak dapat diperlakukan panas

#### 6. Paduan jenis Al-Mg-Si

- Memiliki daya tahan korosi yang cukup
- Sifat mampu dipotong
- Sifat mampu las

#### 7. Paduan jenis Al-Zn

- Memiliki kekuatan tarik baik
- Sifat mampu lasnya kurang baik
- Daya tahan korosi kurang

### 2.2.4 Sifat mampu las Aluminimum

Dalam hal pengelasan paduan aluminimum mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan baja. Sifat-sifat yang kurang baik antara lain : (wiryosumarto, 1994)

1. Karena panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi maka sulit sekali untuk memanaskan atau mencairkan hanya Sebagian dari dimensinya
2. Paduan aluminimum mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminimum ( $Al_2O_3$ ) yang mempunyai titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang
3. Mempunyai koefisien muai yang tinggi, sehingga mudah sekali mengalami deformasi
4. Perbedaan yang tinggi antara kelaurtan hydrogen dalam logam cair dan logam padat, sehingga dalam proses pengelasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan terperangkapnya gas *hydrogen* dan membentuk rongga halus didalam hasil lasan
5. Paduan aluminimum memiliki berat jenis yang rendah maka daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan menetes

### 2.2.5 Paduan Aluminium A6061

Aluminium paduan dibagi dua kelompok yakni paduan aluminium tuang (*cast*) dan paduan aluminium tempa (*wrought*). Pembagian ini merujuk pada mekanisme digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat dari suatu paduan aluminium. Paduan aluminium tempa, sangat cocok untuk proses pengerjaan dingin, yang dipadukan dengan proses *annealing* untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis tertentu. (ASM, 1992:22)

Aluminium paduan A6061 merupakan aluminium paduan seri 6 yang termaksud dalam kategori paduan aluminium tempa dan aluminium jenis ini dapat diperlakukan panas (*heat treatable alloys*). Paduan ini banyak digunakan pada struktur kapal, kendaraan, dan pesawat karena ringan dan kekuatan tarik tinggi. Di mana unsur paduan aluminium A6061 terdiri dari magnesium dan silikon yang senyawa kimianya ( $Mg_2Si$ ).

### 2.3 Baja

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. (Nanualitta & Lilipaly, 2012)

Baja adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan penambahan paduan lainnya. Baja paling banyak digunakan sebagai produk akhir seperti komponen otomotif, transformator listrik dan untuk proses manufaktur lainnya seperti proses pembuatan lembaran besi, proses ekstrusi dan lain-lain. Dasar pemilihan pemakaian baja ini seiring dengan terus berkembangnya industri otomotif dan kebutuhan masyarakat akan kendaraan bermotor, komponen permesinan, ban konstruksi dan bidang lainnya terutama didasarkan pada sifat mekaniknya jika sifat logam sangat keras sangat sulit dalam pembentukannya. (Wijaya, 2010)

#### 2.3.1 Klasifikasi Baja

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

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Amanto, 1999).

## 2. Baja karbon menengah

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C – 0,6%C (*medium carbon steel*) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah (Amanto, 1999).

## 3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mengandung 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas.

### 2.3.2 Baja dan Paduannya

Baja adalah bahan teknik paling serbaguna yang tersedia saat ini. Baja dapat dengan mudah dilas dan diproses serta memainkan peran penting dalam mempertahankan standar hidup yang tinggi yang dinikmati oleh negara-negara industri di dunia. Kesenjangan baja dapat dengan mudah dikenali oleh aplikasinya yang berkisar dari aplikasi struktural kekuatan tinggi hingga ketahanan korosi yang sangat baik dalam cairan agresif. (ASM International, 1995) membagi komposisi baja menjadi dua kategori: baja karbon biasa dan baja paduan. Pada baja karbon biasa, hanya terdiri dari mangan, belerang, dan fosfor, sedangkan pada baja paduan, satu atau lebih elemen paduan ditambahkan. Jika dua baja karbon biasa biasa dan dapat dilihat bahwa jumlah karbon (dalam persen berat) berhubungan dengan dua nomor kode terakhir. Tingkat mangan tidak terkait dengan kode dan harus dicari di tabel. Dua angka pertama dari kode, "10," mengidentifikasi baja sebagai baja karbon biasa. Kedua nomor ini diubah untuk baja paduan, dan tabel mencantumkan satu contoh untuk baja paduan kromium (Cr). (Verhoeven, 2007)

Umumnya baja diklasifikasikan berdasarkan kadar karbonnya, dinamai tipe karbon rendah, karbon menengah, dan karbon tinggi. Baja karbon biasa (*plain carbon steel*) hanya

mengandung unsur bawaan (Mn, S, Si, dan P) selain karbon, sedangkan paduan baja, lebih spesifik dengan unsur-unsur paduan yang ditambahkan

Tabel 2.7  
Komposisi (Persen Berat) dari Beberapa Baja

<i>Steel Type</i>	<i>American Iron and Steel Institute code (AISI No.)</i>	%C	%Mn	%other	%S	%P
<i>Plain Carbon</i>	1018	0.18	0.75		0.05 (max)	0.04 (max)
	1095	0.95	0.40		0.05 (max)	0.04 (max)
<i>Alloy</i>	5160	0.82	0.82	0.8 Cr	0.05 (max)	0.04 (max)

Sumber: (Verhoeven, 2007)

### 2.3.3 Sifat-sifat umum baja

Beberapa sifat baja yang penting adalah: kekuatan, keuletan, ketangguhan, kekerasan dan ketahanan terhadap korosi

#### 1. Kekuatan

Baja mempunyai daya tarik, lengkung, dan tekan yang sangat besar. Pada setiap partai baja, pabrik baja menandai beberapa besar daya kekuatan baja itu. Pabrik baja misalnya, memasukan satu partai baja batangan dan mencatumkan pada baja itu. Fe 360, di sini Fe menunjukkan bahwa partai itu menunjukkan daya kekuatan A (minimum) tarikan atau daya tarik baja itu. Yang dimaksud dengan istilah tersebut adalah gaya tarik N yang dapat dilakukan baja bergaris tengah 1 mm<sup>2</sup> sebelum baja itu menjadi patah. Dalam hal ini daya tarik itu adalah 360 N/mm<sup>2</sup> dahulu kata mencatumkan daya tarik baja itu Fe 37, karena daya tariknya adalah 37 kgf/mm<sup>2</sup>, karena mengandung sedikit kadar karbon, maka semua jenis baja mempunyai daya Tarik yang kuat. Oleh karena itu daya Tarik baja yang kuat maka baja dapat menahan berbagai tegangan, seperti tegangan lentur. Kelenturan baja bukan saja kuat tetapi juga lentur

#### 2. Kekerasan

Baja itu sangat keras sekali sehingga sebagai bahan konstruksi, baja mungkin saja untuk digunakan berbagai tujuan. Apabila untuk produk-produk baja tertentu ada suatu keharusan, maka bisa saja baja itu, dengan cara dipanaskan, dibuat luar biasa kerasnya.

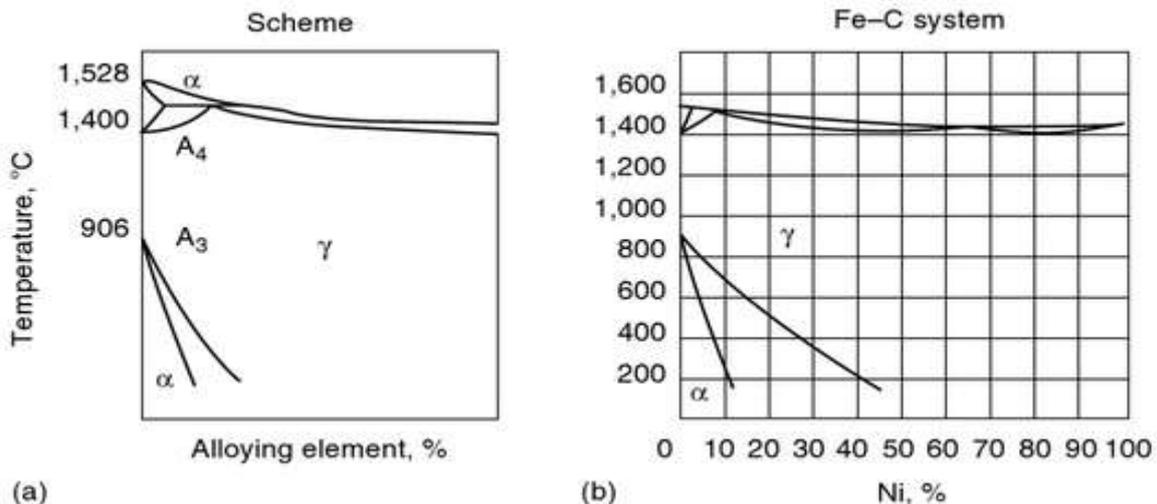
#### 3. Ketahanan terhadap korosi

Tanpa perlindungan, baja sangat cepat berkarat. Untung saja baja diberikan perlindungan yang sangat efektif dengan berbagai cara.

### 2.3.4 Unsur Paduan Dalam Baja

Baja yang mengandung, selain besi dan karbon hingga "2". Unsur kimia yang diperkenalkan secara khusus yang tidak ditemukan dalam baja karbon biasa disebut baja paduan. Elemen paduan memberikan berbagai macam mikrostruktur pada baja setelah perlakuan panas yang memberikan cakupan untuk berbagai properti. Elemen-elemen berikut, diatur dalam urutan menurun penerapannya dalam praktik, biasanya digunakan untuk paduan baja: Cr, Ni, Mn, Si, W, Mo, V, Co, Ti, Al, Cu, Nb, Zr, B, N, dan Be. Elemen paduan berinteraksi dengan besi, karbon, dan elemen lain di baja, mengakibatkan perubahan mekanis, bahan kimia, dan sifat fisik baja. Perbaikan sifat-sifat baja sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan merupakan tujuan utama dari paduan. Yang harus diperhatikan adalah efek paduan elemen pada titik kritis besi dan baja, dan juga distribusi elemen paduan dalam baja.

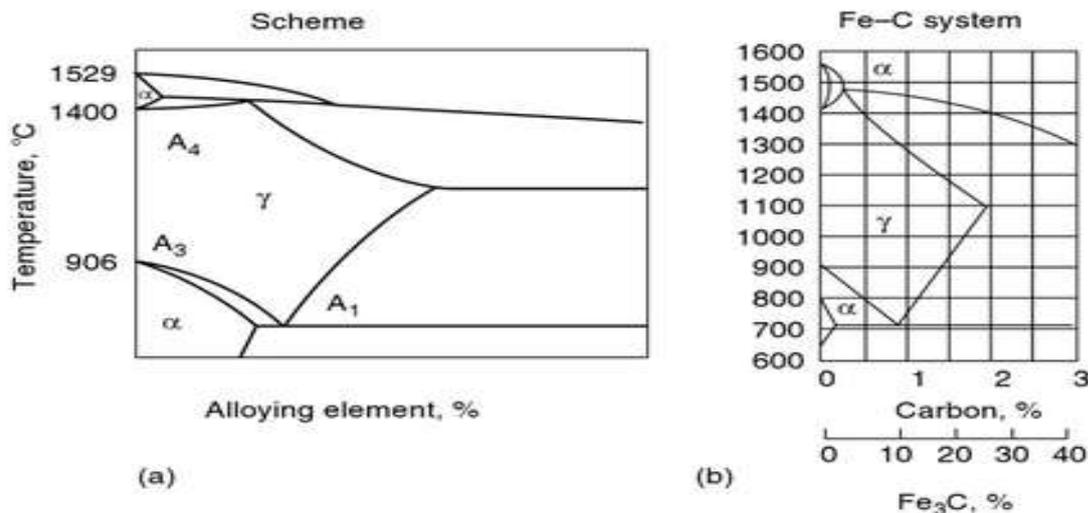
Posisi titik kritis A<sub>1</sub> dan A<sub>4</sub> dan lokasi suhu cutectoid A<sub>1</sub> sangat penting karena menentukan suhu terendah yang harus dipanaskan untuk quenching, anil, atau normalisasi serta suhu maksimum dalam pengawetan yang menunjukkan laju presipitasi austenit yang kurang dingin. Elemen paduan yang berbeda memiliki efek yang berbeda pada posisi titik kritis A<sub>3</sub> dan A<sub>4</sub>. Elemen paduan dibagi menjadi dua kelompok besar, masing-masing pada gilirannya dipecah menjadi dua subkelompok. Penambahan unsur-unsur dari kelompok pertama diikuti dengan penurunan titik kritis A<sub>1</sub>; dan kenaikan titik A<sub>4</sub> secara bersamaan. Efek ini ditunjukkan secara skematis pada Gambar 4.1 dan paling jelas digambarkan dalam kesetimbangan Fe-Mn dan Fe-Ni. Terlihat bahwa dengan peningkatan kandungan elemen paduan, wilayah fase- $\gamma$  sangat luas, dan mulai dari konsentrasi tertentu, paduan ditemukan dalam bentuk larutan  $\gamma$ -padat hingga meleleh. Pergeseran titik kritis ini disebabkan oleh unsur-unsur seperti Ni, Co, Mn, Pt, Pd, Rh, dan Ir (kelompok Ni).



Gambar 2.2 Scheme (a) and equilibrium diagram (b) for Fe and alloying element with extended  $\gamma$ -phase range and unlimited solunility

Sumber: (Totten, 2007)

Sub kelompok lain dari kelompok Pertama mencakup unsur-unsur yang secara umum memiliki kelarutan terbatas dalam besi. Diberikan konsentrasi tertentu dari unsur-unsur tersebut dalam paduan besi, senyawa kimia terbentuk dan transformasi eutektik atau eutektoid diamati. Dengan kata lain, daerah heterogen muncul dalam diagram sistem elemen paduan besi. Daerah heterogen membatasi rentang kejadian fase- $\gamma$ . Seperti yang terlihat, dengan peningkatan konsentrasi elemen paduan dalam paduan, titik kritis A<sub>3</sub> menurun dan A<sub>4</sub> naik. Hasilnya, rentang solusi ' $\gamma$ -padat melebar. Tapi kemudian, karena pembentukan daerah heterogen, fase ' $\gamma$  menyempit dan, akhirnya, menghilang. Diagram ekuilibrium jenis ini (pertama menunjukkan kisaran luas fasa  $\gamma$  dan kemudian menyempitnya fasa yang disebabkan oleh munculnya daerah heterogen) ditemukan untuk N, C, Cu, Zn, Au, dan sebagainya. (Totten, 2007)



Gambar 2.3 Scheme (a) and equilibrium diagram (b) for Fe and alloying element with extended  $\gamma$ -phase range and unlimited solunility

Sumber: (Totten, 2007)

### 2.3.5 Paduan Baja SS41

Baja SS41 adalah baja yang memiliki kadar karbon 0,22%, karena kadar karbonnya kurang dari 0,30 % maka baja ini termasuk golongan baja karbon rendah dan mempunyai kekuatan tarik sebesar 600-650 Mpa. Baja SS41 ini secara teori mempunyai nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor, dengan adanya perlit dan ferit karena perlit yang ada lebih banyak dari pada ferit). Digunakan untuk kawat, paku, *wire mesh*, peralatan otomotif dan sebagai bahan baku *welded fabrication* (kisi-kisi jendela atau pintu dan jeruji). Aplikasi khusus seperti untuk kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan. Walaupun baja sebagian besar terdiri dari besi (Fe), penambahan unsur-unsur lain dalam jumlah yang relative kecil sangat menentukan jenis dan sifat mekanis akhir dari baja tersebut.

### 2.3.6 Sifat Mampu Las Baja

Aplikasi khusus seperti untuk kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan, Walaupun baja sebagian besar terdiri dari besi (Fe), penambahan unsur lain dalam jumlah yang relatif kecil sangat menentukan jenis dan sifat mekanis akhir dari baja tersebut.

Komposisi dari unsur-unsur ini juga memberikan reaksi yang berbeda-beda pada saat baja menjalani proses perlakuan panas (*heat treatment*) atau pada saat proses pendinginan sari suhu yang tinggi.

Ada dua masalah utama dalam pemakaian material baja yaitu; sifat korosif dan sifat tahan terhadap panas. Untuk mengantisipasi kelemahan baja terhadap kedua masalah diatas

dapat diperbaiki dengan menggunakan baja dengan komposisi kimia dan heat treatment yang sesuai dengan kebutuhan.

## 2.4 Pengelasan

### 2.4.1 Definisi Pengelasan

Ditinjau secara umum pengelasan adalah proses yang dilakukan untuk menyambungkan logam, baik logam sejenis atau berbeda jenis dengan memberikan pemanasan terhadap logam tersebut agar dapat mencapai titik leburnya, dan proses ini dilakukan dengan atau tanpa tekanan. Definisi pengelasan menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pendapat lain juga dipaparkan oleh Charles dan John (1986) proses pengelasan adalah proses penyambungan bahan yang menghasilkan peleburan bahan dan pemanasannya sampai suhu yang tepat dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi. Sedangkan definisi pengelasan menurut Wiryosumarto dan Okumura (1996) pengelasan adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas sehingga terjadi ikatan antara atom – atom atau molekul dari logam yang disambungkan. *Deutsche Industrie Normen* (DIN) mendefinisikan pengelasan adalah suatu ikatan metalurgi yang terjadi dalam sambungan logam dan paduan yang dalam prosesnya menggunakan keadaan tidak sampai mencair dan cair.

### 2.4.2 Klasifikasi pengelasan

Dapat dibagi menjadi dua golongan (wiryosumarto,2000),yaitu

- a. Klasifikasi berdasarkan kerja : Las cair, Las tekan, Las patri dan sebagainya
- b. Klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan : Las listrik, Las kimia, Las mekanik dan seterusnya

Berdasarkan klasifikasi dibawah ini pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu

- a. Pengelasan cair yaitu cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dan busur listrik atau sumber api gas yang terbakar
- b. Pengelasan tekan yaitu cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu
- c. Pematrian yaitu cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan

menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair yang rendah

#### 2.4.3 Sifat Pengelasan

Menurut *Deutsches Institut fur Normung* (DIN) standar dari *germany* menyebutkan bahwa hasil pengelasan yang baik memiliki sifat mampu las yang mempunyai 3 kriteria yaitu *welding suitability of material* (kesesuaian material), *welding reliability of design* (kehandalan desain), dan *welding feasibility in manufacture* (kemudahan dalam manufaktur). Ketiga kriteria tersebut termasuk kedalam *weldability (of a component)* yang dapat di lihat pada gambar 2.1 berikut ini.

#### 2.4.4 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

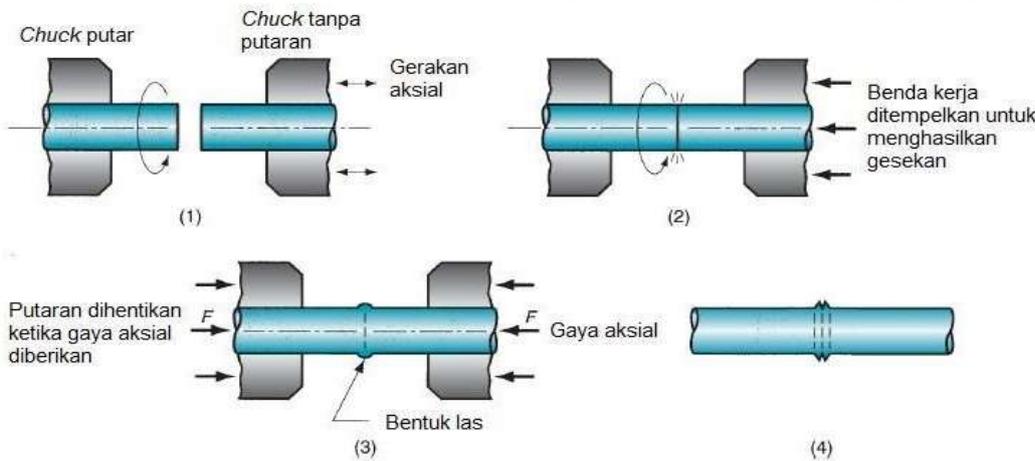
Pengelasan gesek adalah proses pengelasan keadaan padat atau tanpa logam pengisi. Metode ini bergantung pada konversi energi mekanik ke energi thermal untuk membentuk pengelasan tanpa aplikasi dari sumber panas lain. Panas untuk pengelasan dihasilkan oleh gerakan relatif dari dua antar muka yang tersambung. Penyambungan terjadi antara dua permukaan bahan yang saling bergesekan salah satu berputar sedang lainnya diam, lalu dikontakkan oleh gaya tekan aksial. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan secara kontinyu, sehingga panas yang ditimbulkan oleh gesekan akan terus meningkat sampai mendekati titik lebur logam sehingga terjadi *flash*. Dengan gaya tekan dan panas pada kedua permukaan hingga pertemuan kedua bahan mencapai suhu leleh (*melting temperature*) maka terjadilah proses las (Elmer & Kautz 1983)

Parameter yang penting saat proses pengelasan gesek adalah tekanan gesek ( $P_f$ ), waktu gesekan ( $t_f$ ), tekanan tempa ( $P_u$ ), waktu tempa ( $t_u$ ) dan kecepatan putar ( $s$ ). Pada proses penyambungan terjadi proses deformasi plastis. Deformasi plastis terjadi akibat tekanan tempa, dan terjadi proses difusi karena adanya panas yang tinggi saat proses pengelasan. Deformasi plastis adalah pembentukan logam dimana baik ukuran maupun bentuk dari logam tidak dapat kembali pada keadaan semula (Suriadi & Suarsana 2007)

Las gesek menjadi pengganti yang layak metode bergabung konvensional. *Continuous drive friction Welding* (CDFW) adalah jenis pengelasan gesekan digunakan untuk bergabung batang, tabung dan bentuk yang sama. Biasanya, proses ini berisi tahap gesekan dan tahap penempaan dan parameter proses akan dicentang sesuai (Mohamed 2020)

*Friction welding* memiliki beberapa kelebihan dibanding las fusi seperti prosesnya dilakukan secara mekanik sehingga tidak memerlukan energi listrik maupun energi dari pembakaran gas. Karena proses penyambungan logam terjadi tanpa pencairan (*solid state*

process), maka hidrogen difusi menjadi rendah sehingga dapat meminimalkan terjadinya retak hidrogen (*hydrogen induce cracking*).



Gambar 2.4 Tahap *friction welding* a). Tahap pemanasan dan pemutaran, b) tahap pembangkitan panas akibat Gesekan, d). Tahap akhir penekanan lanjut  
Sumber : (Groover, 2010).

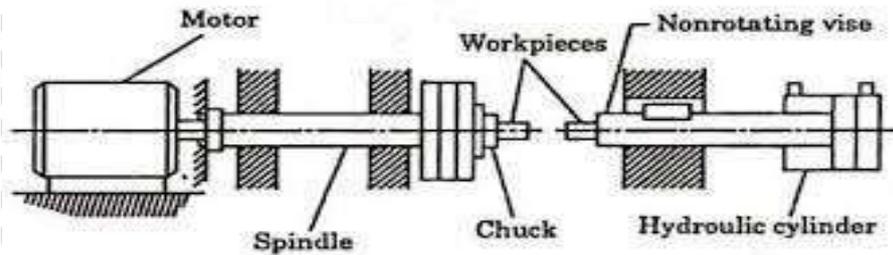
Dalam gambar 2.1 ditunjukkan tahapan proses pengelasan gesek sebagai berikut :

1. Salah satu poros diputar dan logam poros lain dicekam pada *toolpost* lalu diberikan tekanan aksial.
2. Kedua poros digesekan sehingga timbul panas
3. Panas yang ditimbulkan gesekan sampai mendekati titik lebur logam tersebut sehingga menjadi flash
4. Selanjutnyamesin dimatikan, kemudian secara langsung diberi tekanan aksial sehingga terbentuklah sambungan las gesek antara dua poros logam

*Friction welding* dipengaruhi oleh 5 faktor yaitu : Kecepatan relatif antar permukaan, Tekanan yang dikenakan, Temperatur yang terbentuk pada permukaan, Sifat dari material, Kondisi permukaan. Untuk melakukan *friction welding* ada dua cara yaitu *direct drive welding* dan *inertia drive welding* (Tiwan dan Ardian, 2005).

#### 1. *Direct-Drive Welding*

Skema pengelasan *Direct-drive welding* ditunjukkan pada gambar 2.2 Benda kerja yang diam harus dicekam dengan kaku untuk mencegahnya ikut berputar. Putaran terus dilakukan hingga seluruh permukaan yang disambung mencapai temperatur yang diinginkan. Kemudian putaran dihentikan dan gaya tekan diberikan pada proses akhir pengelasan. Pada kasus ini parameter proses pengelesan gesek ini antara lain kecepatan putar, gaya tekan aksial (Tiwan dan Ardian



Gambar 2.5 Skema *Direct-drive welding*  
Sumber : (ASM Handbook 1993)

## 2. Inertia-Drive Welding

Pengelasan menggunakan inertia drive welding hampir sama dengan proses pengelasan direct drive welding tetapi pada *spindle* diberi *flywheel* sebagai penyimpan tenaga seperti terlihat pada gambar 2.3. *flywheel* dirancang agar dapat ditambah atau dikurangi masanya.

Jumlah energi yang tersimpan dalam *flywheel* dikontrol oleh kecepatan kemudian tekanan aksial diberikan secara konstan selama proses pengelasan dapat pula dilakukan diakhir proses.

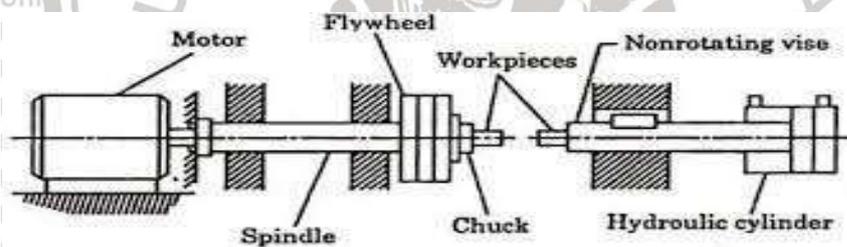


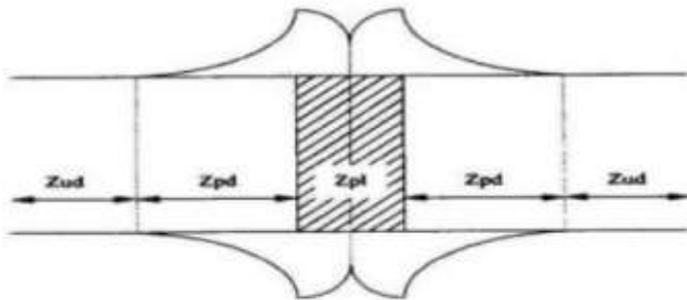
Fig. 13.15 A schematic representation of the setup for inertia welding.

Gambar 2.6 Skema *Inertia-drive welding*  
sumber: (ASM Handbook 1993)

## 2.5 Daerah Pengaruh Panas (HAZ)

Menurut Kalpakjian (2014), daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas saat proses pengelasan. Daerah HAZ memiliki struktur mikro dan sifat mekanik yang berbeda dari logam dasar sebelum pengelasan. Hal ini dikarenakan daerah tersebut telah mengalami perlakuan panas yang merupakan efek dari pengelasan. Menurut Lin dkk (1999) dalam penelitiannya, daerah HAZ pada proses pengelasan gesek dibagi menjadi tiga bagian, yaitu daerah fully plasticized region (zpl) yaitu daerah sambungan las yang menyatu sempurna, partly deformed region (zpd) yaitu daerah yang mengalami efek panas sebagian, dan undeformed region (zud) yaitu daerah yang tidak terpengaruh efek panas dari pengelasan

gesek tersebut. Semakin besar panas yang dihasilkan dari pengelasan akan menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk juga akan semakin meluas, hal ini akan mempengaruhi kekuatan dari sambungan las yang terbentuk dari hasil pengelasan.



Gambar 2.7 Daerah zpl,zpd, dan zud

Sumber: Lin,dkk (1999)

1. Zona kontak (zona deformasi plastis parah). Ini adalah zona dimana terjadi gesekan dan fragmen perpindahan logam dari satu permukaan gesekan ke permukaan lainnya. Laju regangan dikendalikan oleh kecepatan rotasi. Bahan di zona ini mengalami deformasi plastis yang parah. Zona ini memiliki struktur butiran yang sangat halus karena regangan yang parah dan rekristalisasi penuh.
2. Zona plastisasi penuh (zona rekristalisasi dinamis). Bahan mengalami deformasi plastis dalam jumlah besar tetapi tidak berpartisipasi dalam proses penggosokan dan pemindahan bahan. Di wilayah ini, kerapatan dislokasi meningkat secara drastis dan, karena suhu yang cukup tinggi, material mengalami rekristalisasi dinamis. Butir di zona ini halus dan equiaxed.
3. Zona deformasi sebagian. Tingkat regangan, suhu dan jumlah deformasi plastis lebih rendah daripada yang muncul di zona (ii). Mikrostruktur menjadi lebih kasar karena pengurangan terkait dalam regangan dan laju regangan.
4. Zona tidak berubah bentuk. Di wilayah ini, bergantung pada suhu maksimum, material tidak mengalami transformasi fasa, tetapi deformasi plastis tidak terjadi. Pertumbuhan biji-bijian dapat terjadi di zona ini (Roumbaut,2011)

## 2.6 Kelebihan dan Kekurangan Las Gesek (*Friction Welding*)

Bila dibandingkan dengan proses penyambungan metode las fusi, ada beberapa keuntungan yang dimiliki dari proses las gesek. Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut

1. Tidak membutuhkan logam pengisi pada proses pengelasan.

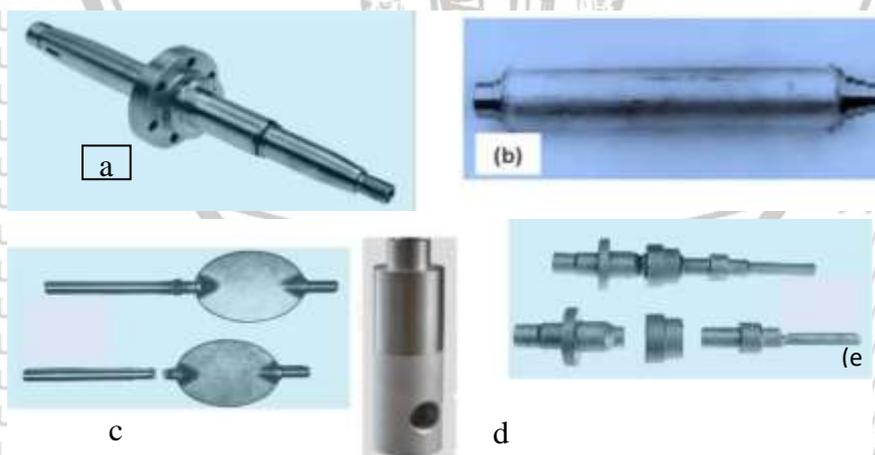
2. Tidak ada fluks atau *filler* logam dan gas yang diperlukan dalam las gesek.
3. Kemungkinan terjadinya inklusi terak dan porositas dapat dihindarkan.
4. Cocok untuk jumlah produksi yang banyak.
5. Lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap atau gas.
6. Mengurangi tenaga kerja mesin, biaya pemeliharaan, meningkatkan kapasitas dan mengurangi biaya perkakas yang mudah rusak.
7. Memiliki kontrol yang akurat pada toleransi lasan.
8. Dapat menyambungkan dua material berbeda karakteristiknya.

Namun metode las gesek juga memiliki kekurangan yaitu :

1. Benda yang disambung harus simetris.
2. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu deformasi secara plastis.
3. Keterbatasan bentuk yang dapat dilas.

### 2.7 Aplikasi Las Gesek

Aplikasi dari las gesek dengan material yang berbeda, meliputi banyak bidang teknologi, pada bidang otomotif (industri mobil), pada bidang penerbangan, pada peralatan-peralatan militer, peralatan pertambangan dan lain lain (MTI,1999). Salah satu contoh aplikasi las gesek yaitu Back Spring Pin seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Hasil Sambungan Las Gesek (a) *Water pump-finished*, (b) *Alumunium-SS (Copier fuser roller)*, (c) *Butterfly valves*, (d) *Peralih penghubung pada reaktor nuklir (Al Alloy-Stainless Steel)*, (e) *Transmission input shaft*

Sumber : (Husodo dkk, 2013)

## 2.8 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik suatu bahan dapat diketahui dengan menguji tarik pada bahan yang bersangkutan. Hasil pengujian tarik tersebut dapat diketahui pula sifat-sifat yang lain seperti: kekuatan mulur, perpanjangan, reduksi penampang, modulus elastisitas, dan sebagainya. Menurut Surdia dan Chijiwa (2005) pengujian tarik dilakukan dengan jalan memberikan beban tarik pada batang uji secara perlahan-lahan sampai patah. Batas mulur, kekuatan tarik, perpanjangan, pengecilan luas, dan sebagainya diukur pada pengujian ini.

Pengujian tarik merupakan metode yang paling umum digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari suatu material seperti kekuatan, ketangguhan, modulus elastisitas, dan kemampuan strain-hardening. Spesimen uji tarik. Bentuk yang umum digunakan untuk pengujian ini adalah bentuk silinder pejal, tetapi specimen uji juga dapat berbentuk datar atau berbentuk tabung. Spesimen uji tarik umumnya disiapkan berdasarkan standard yang digunakan. Standard yang digunakan dapat menggunakan ASTM, JIS atau DIN tergantung kebutuhan (Kalpakjian et.al, 2009)

Pengujian tarik yaitu pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang sifat mekanik dari suatu logam. Ketika mendapatkan tegangan tarik. Pengujian tarik dilakukan dengan penambahan beban secara perlahan lahan, kemudian akan terjadi pertambahan Panjang yang sebanding dengan gaya yang bekerja. Kesebandingan ini terus berlanjut sampai bahan mencapai titik *proportionality limit*. Setelah ini pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat penambahan beban tidak lagi berbanding lurus, pertambahan beban yang sama akan menghasilkan penambahan Panjang yang lebih besar dan suatu saat terjadi penambahan panjang tanpa ada penambahan beban, batang uji bertambah panjang dengan sendirinya. Hal ini dikatakan batang uji mengalami *yield* (luluh). Keadaan ini hanya berlangsung sesaat dan setelah itu akan naik lagi

Kenaikan beban ini akan berlangsung sehingga mencapai maksimum, untuk batang yang ulet beban mesin tarik akan turun lagi sampai akhirnya putus. Pada saat beban mencapai maksimum, batang uji mengalami pengecilan penampang setempat (*local necking*) dan penambahan Panjang terjadi hanya disekitar necking tersebut. Pada batang getas tidak terjadi necking dan batang akan putus pada saat beban maksimum.

Kekuatan tarik maksimum merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimal sebelum putus. Nilai kekuatan tarik biasa dianggap data paling penting karena biasanya perhitungan nilai kekuatan berdasarkan nilai kekuatan tarik. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik searah sumbu specimen.

Tegangan tarik didefinisikan sebagai distribusi tegangan tarik persatuan luas penampang bahan yang dirumuskan

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \text{ (N/m}^2\text{)} \dots \dots \dots (2-1)$$

Sumber : Dieter (1988)

dengan :

$\sigma_{max}$  = Tegangan tarik maksimum ((N/m<sup>2</sup>)

$F_{max}$  = Beban tarik maksimum (N)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Regangan (pertambahan Panjang) dapat ditulis rumus sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{(L - L_0)}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2-2)$$

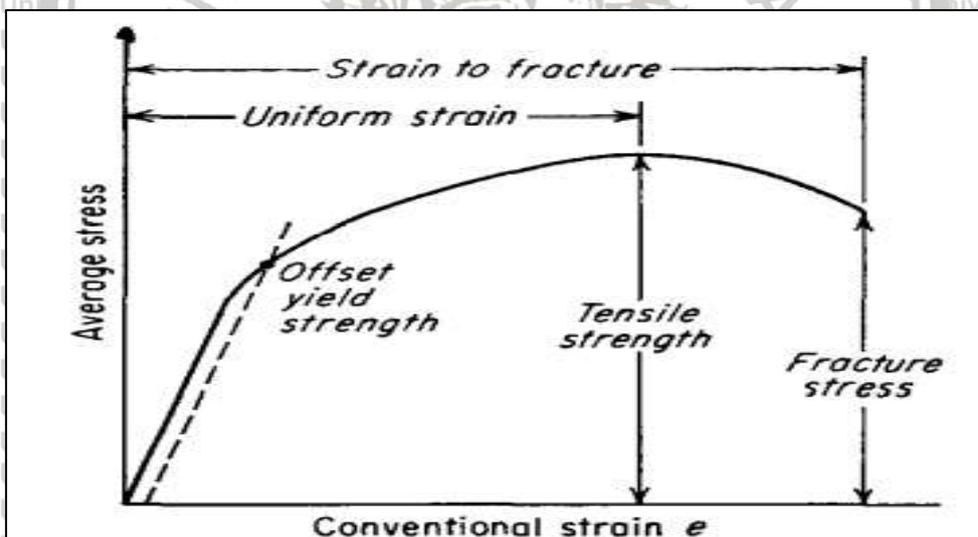
Sumber : Dieter (1988)

dengan :

$\epsilon$  = regangan (%)

$L_0$  = panjang benda uji mula-mula (m)

$L$  = panjang benda akhir (m)



Gambar 2.9 Grafik tegangan dan regangan

Sumber: (Dieter,1988)

## 2.9 Energi Termal Yang Dibangkitkan Pada Proses Penggesekan

Menurut Sahin (2010), pada saat terjadinya proses pengelasan gesek atau friction welding terdapat energi panas yang timbul dari adanya gesekan antara dua permukaan logam. Hal ini diasumsikan sebagai tekanan gesek yang menyebar ke setiap bagian benda yang berputar maupun yang tidak berputar pada saat proses *friction welding*. Energi panas yang dihasilkan pada proses ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$dQ = \omega \cdot dM_t \dots \dots \dots (2-3)$$

Sumber : Sahin (2010)

dengan :

$\omega$  = Kecepatan sudut

$dM_t$  = Perbedaan nilai momen torsi lingkaran yaitu dr.

Kemudian nilai torsi dapat dihitung dengan rumus

$$dM_t = r \cdot d_{friction} \text{ (N/m)} \dots \dots \dots (2-4)$$

Sumber : Sahin (2010)

dengan :

$d_{friction}$  = gaya gesek lingkaran dengan lebar dr

$dM_t$  = torsi

r = jari-jari lingkaran

Kemudian bisa dijelaskan bahwa gaya gesek  $d_{friction}$  setara dengan koefisien gesek

dikalikan terdapat gaya aksial, tekanan melalui tekanan lingkaran dengan jari-jari menjadi :

$$d_{friction} = r \cdot (\mu P \cdot 2 \Pi r \cdot dr) \dots \dots \dots (2-5)$$

Sumber : Sahin (2010)

Dari perumusan rumus (2-2) dan (2-3) tersebut dapat dijadikan persamaan sebagai

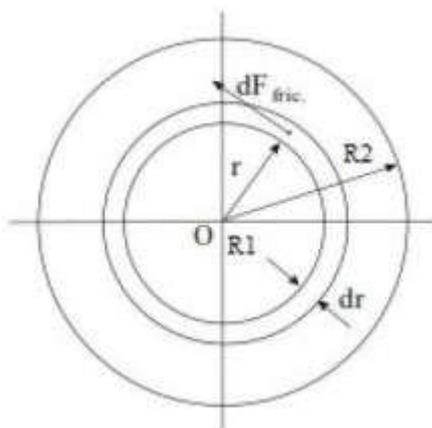
berikut

$$dQ = 2\Pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \dots \dots \dots (2-6)$$

Sumber : Sahin (2010)

Dari persamaan (2-4) kemudian di integralkan dengan nilai R pada (specimen pejal) untuk

mengetahui jumlah kalor yang terjadi selama proses gesekan.



Gambar 2.10 Permukaan gesek

Sumber : Sahin, (2010)

$$\int dQ = 2\Pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \Big|_{R2}^{R1} \dots \dots \dots (2-7)$$

$$q = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r \quad (2-8)$$

$$q = \frac{2}{3} \pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot (R^3) \quad (2-9)$$

dengan :

Q : Jumlah energy mekanik persatuan waktu pada permukaan las gesek (W)

P : *Friction pressure* (N/mm<sup>2</sup>)

$\omega$  : Kecepatan sudut (rad/s)

R : Radius benda kerja (m)

Mt : Momen torsi (N/m<sup>2</sup>)

$\mu$  : Koefisien gesek material

### 2.10 Jeffries Planimetric Method

Menurut Vander Voort (1999), metode planimetri yang dikembangkan oleh *Jeffries* telah digunakan selama bertahun-tahun untuk memberikan ukuran jumlah butir per unit area pada bidang penampang yang dapat langsung berhubungan dengan ukuran butir skala angka ASTM. Metode *Jeffries* umumnya dilakukan dengan menggambar lingkaran atau persegi panjang. Biasanya dengan diameter 79,8 mm (5000 mm<sup>2</sup>) pada foto mikrograf atau pada transparansi yang terdapat pada layar proyeksi. Perbesaran disesuaikan untuk memberikan setidaknya 50 butir dalam area pengukuran. Hitungan dibuat dari jumlah butir sepenuhnya dalam area pengukuran dan jumlah butir yang berpotongan dari area pengukuran dengan rumus sebagai berikut.

$$N_A = f \left( n_1 + \frac{n_2}{2} \right) \quad (2-10)$$

Sumber : Vander Voort (1999)

dengan :

$N_A$  = Banyaknya butir/luas (pcs/mm<sup>2</sup>)

$f$  = Bilangan *Jeffries*

$n_1$  = Jumlah butir di dalam area pengukuran

$n_2$  = Jumlah butir yang memotong area pengukuran

Sedangkan untuk angka ukuran butir ASTM (G) dapat dihitung dari  $N_A$  (jumlah butir per millimeter persegi) dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$G = (3.321928 \log N_A) - 2.954 \quad (2-11)$$

Sumber : Vander Voort (1999)

dengan :

G = ASTM *grain size number*

$N_A$  = Banyaknya butir/luas (pcs/mm<sup>2</sup>)

Magnification Used, $M$	Jeffries' Multiplier, $f$ , to Obtain Grains/mm <sup>2</sup>
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 <sup>A</sup>	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

Gambar 2.11 Hubungan antara perbersaran yang digunakan dan jeffries multiplier

Sumber: ASTM E 112-96 (2004:8)

Grain Size No. $G$	$\bar{N}_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{D}$ Average Diameter		$\bar{T}$ Mean Intercept		$\bar{N}_L$ No./mm
	No./in. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	μm <sup>2</sup>	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.00
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.00

Gambar 2.12 Grain size relationships computed for uniform, randomly oriented, equiaxed grains

Sumber: ASTM E 112-96 (2004:8)

## 2.11 Hall-Petch Equation

Menurut Callister (2001), bahan berbutir halus (yang memiliki butiran kecil) lebih keras dan lebih kuat dari yang berbutir kasar. Hal ini dikarenakan yang pertama memiliki total luas batas butir yang lebih besar untuk menghalangi gerakan dislokasi. Untuk banyak material, kekuatan yield bervariasi dengan ukuran butir berdasarkan persamaan Hall-Petch sebagai berikut.

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2} \quad (2-12)$$

Sumber: Callister (2001)

dengan :

$\sigma_y$  = Tegangan *yield* (Mpa)

$\sigma_o$  = *Flow stress* material pada ukuran butir sangat besar (Mpa)

$k_y$  = Koefisien penguatan (Mpa m<sup>-1/2</sup>)

$d$  = Diameter butir rata – rata ( $\mu\text{m}$ )

Persamaan Hall-Petch tidak valid untuk material yang memiliki butir yang besar dan bahan polikristalin yang memiliki butir yang sangat halus. Ukuran butir dapat diatur oleh pemadatan dari fase cair dan juga deformasi plastis diikuti oleh perlakuan panas yang tepat.

Pengurangan ukuran butir meningkatkan tidak hanya kekuatan, tetapi juga ketangguhan dari banyak paduan (Callister 2001).

## 2.12 Hipotesis

Berdasarkan teori dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diambil hipotesa dimana semakin lama waktu gesek dan semakin besar diameter gesek akan mempengaruhi nilai kekuatan tarik. Dengan variable di atas akan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan pengelasan dengan metode las gesek (*friction welding*) pada aluminium A6061 dan baja karbon SS41. Semakin lama waktu gesek akan menaikkan nilai kekuatan tarik sampai titik optimalnya lalu akan menurun sedangkan untuk diameter gesek baja yang semakin besar akan menyebabkan semakin lamanya proses pembangkitan panas dan semakin banyak panas yang dibangkitkan, yang menyebabkan terjadi perubahan ukuran butiran di daerah HAZ, yang mana berakibat pada turunnya kekuatan tarik sambungan.



Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental nyata (*true experimental researches*) dan langsung pada obyek yang diteliti. Metode ini digunakan agar dapat mengetahui pengaruh variasi waktu gesek dan variasi diameter pada pengelasan gesek aluminium A6061 dan baja SS41 terhadap kekuatan tarik dari sambungan las gesek. Selain itu dilakukan kajian terhadap dasar teori dari beberapa sumber buku dan jurnal.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada April 2021 – selesai. Tempat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah:

1. Pembuatan specimen dilakukan di Laboratorium CNC Politeknik Negeri Malang
2. Proses pengelasan gesek dilakukan di Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Pengujian Tarik dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Negeri Malang

### 3.3 Variabel Pengujian

Dalam penelitian ini ada tiga variabel yang ditentukan yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol.

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya sudah ditentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain, Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu gesek adalah 5 detik, 7 detik dan 9 detik sedangkan untuk variasi diameter gesek baja SS41 adalah 9 mm dan 12 mm

### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai kekuatan tarik dari sambungan las

### 3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya harus tetap dijaga agar tidak mempengaruhi hasil dari variabel terikat. Variabel terkontrol dalam penelitian ini diantaranya:

1. Spesimen yang digunakan adalah aluminium A6061 dan Baja SS41
2. Kecepatan putaran *spindle* 1600 rpm.
3. Gaya penekanan awal pada proses pengelasan sebesar 7 kN
4. Gaya penekanan akhir sebesar 35 kN
5. Waktu tempa (*holding time*) 60 detik
6. Temperatur ruangan pada waktu pengelasan gesek sebesar 27<sup>0</sup>C

## 3.4 Bahan dan Spesifikasi Alat

### 3.4.1 Bahan

Bahan yang digunakan untuk pengelasan pada penelitian ini adalah Aluminium A6061 dan Baja SS41 berbentuk silinder pejal, dengan komposisi yang tertera pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1  
Komposisi Kimia Aluminium A6061

Elements	A6061
Al	97,946%
Si	0,652%
Fe	0,272%
Cu	0,171%
Mn	0,020%
Mg	0,808%
Cr	0,065%
Zn	0,024%
Ti	0,024%
Lainnya	0,018%

Tabel 3.2  
Komposisi Kimia Baja SS41

Elements	Baja SS41
C	0.22
Si	0.2
Mn	0.63
P	0.02
Si	0.02

### 3.4.2 Spesifikasi Alat

#### 1. Mesin Bubut

Mesin bubut yang telah dimodifikasi dengan pompa hidrolik akan digunakan sebagai alat pengelasan gesek. Gesek 3.1 menunjukkan mesin bubut dan pompa hidrolik yang akan digunakan. Spesifikasi mesin bubut yang akan digunakan yaitu:

Merek	: <i>Lathe Machine C6232A</i>
Buatan	: China
Tahun	: 1978
Daya	: 3,5 Kw
Putaran <i>spindle max</i>	: 1600 rpm



Gambar 3.1 Mesin Bubut (*Lathe Machine*)

Sumber: Laboratorium Proses Manufaktur II Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

#### 2. *Vernier Caliper*

*Vernier caliper* digunakan untuk mengukur dimensi spesimen pada saat pengelasan atau setelah pengelasan Gambar 3.2 menunjukkan *vernier caliper* yang akan digunakan untuk pengukuran

Jenis ukuran	: Metrik (mm) dan Inchi
Skala	: 0,05 mm atau 1/128"
Akurasi	: +/- 0,05 mm



Gambar 3.2 Vernier Caliper

Sumber: Laboratorium Proses Manufaktur II Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

### 3. Pompa Hidrolik

Pompa hidrolik digunakan untuk memberikan gaya penekanan saat proses pengelasan.

Gambar 3.3 menunjukkan pompa hidrolik yang akan digunakan untuk memberikan tekanan.

Merek : Eagle Pro

Tahun : 2015



Gambar 3.3 Pompa Hidrolik

Sumber: Laboratorium Proses Manufaktur II Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

### 4. Kamera Digital

Kamera digital digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan skripsi. Gambar 3.4 menunjukkan kamera yang akan digunakan ketika membuat dokumentasi skripsi.

Megapiksel : 20,0

Resolusi layar : 210000

dots Tipe baterai : Li-Ion



Gambar 3.4 Kamera Digital

#### 5. *Stopwatch*

*Stopwatch* digunakan untuk menghitung waktu selama proses pengelasan. Gambar 3.5 adalah *stopwatch* yang nantinya akan digunakan pada saat penelitian.



Gambar 3.5 *Stopwatch*

Sumber: Laboratorium Proses Manufaktur II Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

#### 6. *Thermogun*

Digunakan untuk mengukur temperatur spesimen pada saat proses pengelasan dengan spesifikasi sebagai berikut.

Merek : Krisbow

Model : KW06-304

Range (°C) : -50~750

Range (°F) : -58~1922

Respond time (s) : Kurang dari 1 detik



Gambar 3.6 Thermogun

Sumber: Laboratorium Proses Manufaktur II Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

## 6. Mesin CNC Lathe

Gambar dibawah ini merupakan alat yang digunakan untuk membuat ukuran spesimen yang diinginkan. Berikut spesifikasi mesin CNC yang digunakan :

X/Z axis motor (kW)	: 1,2
Max. turning diameter (mm)	: 300
Max. turning length (mm)	: 300
Max. swing over bed (mm)	: 500
Max. spindle speed (rpm)	: 4500



Gambar 3.7 CNC Lathe

Sumber: Laboratorium CNC Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang (POLINEMA)

## 7. Universal Tensile Machine

Alat ini digunakan untuk menguji spesimen agar dapat diketahui kekuatan tarik. Pengujian tarik pada hasil sambungan las perlu dilakukan agar untuk mengetahui apakah

kekuatan tarik sambungan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah, atau lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik dari dua material yang disambungkan dengan spesifikasi alat sebagai berikut.

Maksimal kapasitas : 1000

kN Skala graduasi : 0,1 kN

Metode kalibrasi : JIS

7721



Gambar 3.8 Universal Tensile Machine

Sumber: Laboratorium Struktur Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

#### 8. Hacksaw Machine

Gambar dibawah ini merupakan alat yang digunakan untuk memotong spesimen sesuai kebutuhan. Berikut spesifikasi mesin yang digunakan yaitu :

Merk : Kasto

Type : HBS 210/240

Cutting Diameter : 210

Voltage : 400/50

Total power requirement (Kw) : 1,3



Gambar 3.9 Hacksaw Machine

Sumber: Laboratorium Proses Manufaktur II Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

9. *Micro Vickers Hardness Testing Machine*

Gambar dibawah ini merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada specimen. Berikut Spesifikasi mesin yang digunakan yaitu :



Gambar 3.10 *Micro Vickers Hardness Testing Machine*

Sumber: Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

10. Mikroskop Olympus BH-2

Gambar dibawah ini merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui perubahan pada permukaan specimen Ketika sudah diberlakukan beberapa proses. Berikut Spesifikasi mesin yang digunakan yaitu :



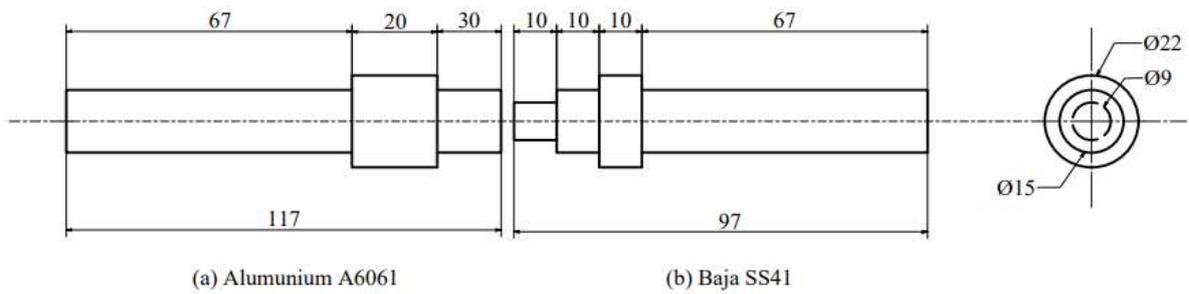
Gambar 3.11 Mikroskop Olympus BH-2

Sumber: Laboratorium Struktur Politeknik Negeri Malang

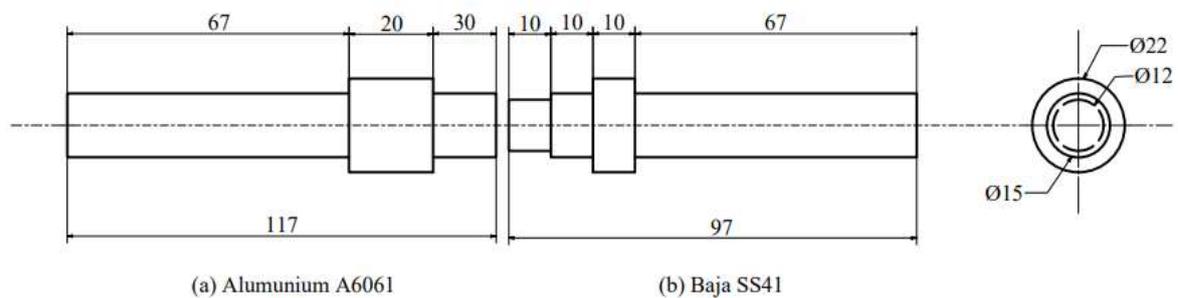
### 3.5 Dimensi Benda Kerja

Dimensi bahan yang digunakan pada spesimen las gesek poros pejal variasi diameter gesek baja SS41 yaitu 9 mm dan 12 mm dengan desain yang ditunjukkan pada Gambar 3.12

sampai dengan Gambar 3.13



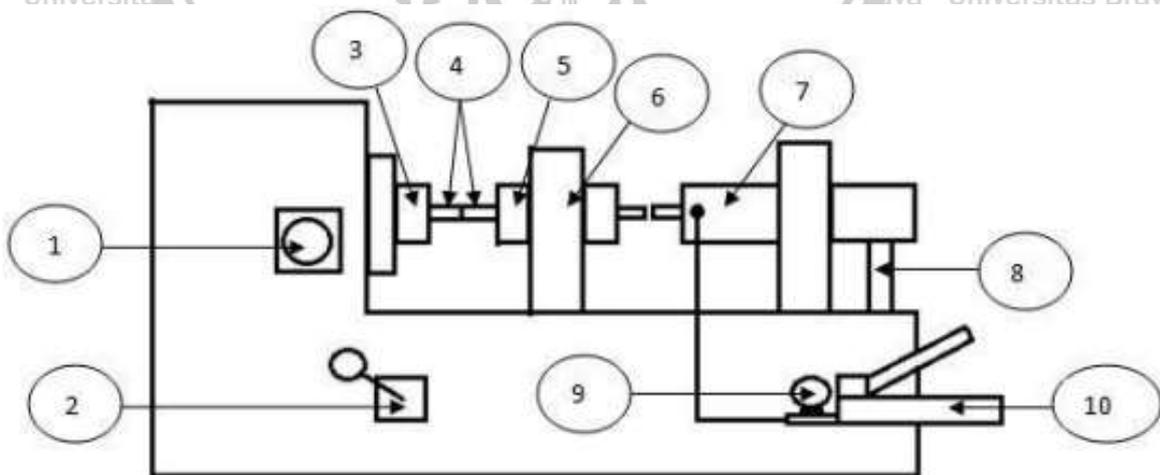
Gambar 3.12 Spesimen pengelasan dengan diameter gesek baja 9 mm



Gambar 3.13 Spesimen pengelasan dengan diameter gesek baja 12 mm

### 3.6 Skema Penelitian

Gambar 3.8 menunjukkan skema alat pengelasan gesek yang akan dilakukan. Pompa hidrolik memberikan tekanan melalui fluida oli ke silinder hidrolik yang kemudian menekan *chuck specimen* dan saat *chuck spindle* berputar dengan kecepatan tertentu maka akan timbul panas akibat gesekan specimen tersebut hingga terjadi sambungan.



Gambar 3.14 Skema alat pengelasan gesek

Keterangan:

1. Tombol pengatur kecepatan spindle
2. Tuas *on/off* mesin bubut
3. Chuck spindle mesin bubut
4. Spesimen las
5. *Chuck* specimen penekan
6. Plat penyangga *chuck* specimen penekan
7. Silinder hidrolik
8. Tailstock
9. Digital *Pressure Gauge*
10. Pompa Hidrolik

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Pengelasan Gesek

Proses pengelasan gesek dilakukan dengan menggunakan mesin bubut dengan langkah-langkah sebagai berikut.

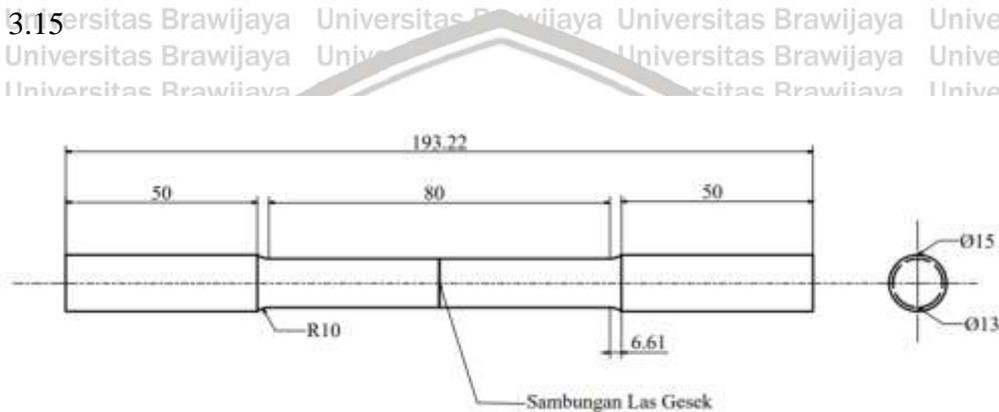
1. Mempersiapkan mesin bubut dan specimen yang akan digunakan seperti pada skema instalasi dan dimensi specimen sebelum dilas sudah diukur.
2. Memasangkan specimen (a) aluminium A6061 pada chuck yang berputar dan specimen (b) Baja SS41 pada chuck yang tersambung dengan pompa hidrolik. Selanjutnya dilakukan *centering* antara kedua specimen tersebut.
3. Pemberian aseton pada bidang kontak benda kerja
4. Mengatur kecepatan putaran *spindle* dari motor dengan kecepatan 800 rpm kemudian ditunggu hingga stabil selama sekitar 30 detik. Selanjutnya tambahkan kecepatan putar *spindle* menjadi 1600 rpm kemudian ditunggu kembali selama sekitar 30 detik hingga stabil.
5. Saat kecepatan putar *spindle* sudah stabil, dilakukan penghitungan mundur dan diberikan gaya penekanan awal sebesar 7 kN.
6. Setelah persiapan selesai selanjutnya dilakukan pengelasan dengan variasi waktu gesek selama 5detik, 7 detik, dan 9 detik.
7. Mesin dimatikan setelah variasi tertentu telah tercapai, lalu diberi gaya penekanan akhir sebesar 35 kN dan tahan keadaan tersebut selama 60 detik.
8. Menunggu temperature spesimen yang sudah di las berada di suhu 27°C

8. Melepas spesimen dari *chuck* dan dilakukan pendinginan dengan udara ruangan sebagai media.
9. Mengukur panjang specimen setelah dilakukan pengelasan.
10. Mengulangi mulai langkah nomor 2 hingga semua variasi telah dilakukan.

### 3.7.2 Pengujian Kekuatan Tarik

Sebelum melakukan uji tarik, spesimen dibentuk terlebih dahulu menjadi spesimen uji tarik sesuai dengan standar. Dalam hal ini, standar yang digunakan adalah AWS B4.0 dengan bentuk dan dimensi spesimen seperti pada Gambar 3.15.

1. Mempersiapkan spesimen uji Tarik yang sebelumnya telah dibentuk. Seperti Gambar 3.15



Gambar 3.15 Dimensi Spesimen Uji Tarik

Sumber : AWS B4.0

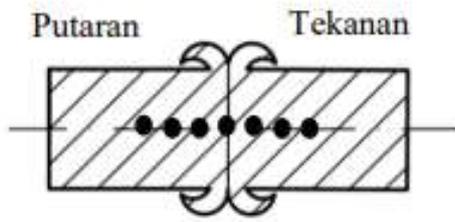
2. Mengukur kembali diameter sambungan las spesimen.
3. Memasang spesimen pada mesin uji tarik dengan menjepit spesimen pada kedua *chuck*, pastikan spesimen dalam posisi yang baik dan benar.
4. Menyalakan mesin uji tarik dan mulai memberikan beban puntir radial secara terus-menerus hingga spesimen putus.
5. Mesin uji tarik dimatikan dan spesimen dilepas dari *chuck*.
6. Mencatat data yang tertera pada layar pengujian yang telah dihasilkan.
7. Mengulangi langkah nomor 1 hingga semua spesimen selesai diuji.
8. Pengujian tarik selesai.

### 3.7.3 Prosedur Pengujian Kekerasan Vickers

Metode pengujian kekerasan Vickers dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan  $136^\circ$ . Penekanan oleh indenter akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.

Berikut ini adalah prosedur pengujian kekerasan Vickers.

1. Benda kerja dipotong melintang sejajar sumbu awalnya seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.16 Skema Pengujian Kekerasan Benda Kerja

2. Permukaan benda kerja yang akan diuji kekerasan Vickers harus dibersihkan dengan baik dan digosok dengan kertas penggosok yang halus. tujuannya agar permukaan benda kerja yang akan diuji menjadi bersih dan rata, sehingga dapat terlihat dan terukur dengan baik sampai ukuran  $\pm 0,0005$  mm, atau sampai ukuran sesuai standar dari mesin pengujian vickers yang digunakan.
3. Benda kerja diletakkan pada alat uji kekerasan
4. Mengatur waktu indentasi selama 6 detik dan besar pembebanan 50 gf
5. Menekan tombol *run* dan menunggu hasil indentasi selesai
6. Titik pengujian dilakukan pada daerah pengujian panas (HAZ), baik ke sisi benda kerja 1 maupun ke sisi benda kerja 2. Jarak interval antara setiap titik pengujian 0.5 - 1 mm.
7. Pengujian kekerasan tidak dilakukan pada setiap benda kerja, pada setiap variasi dari setiap variasi bebas, tetapi pada benda kerja yang menunjukkan kekuatan tarik terendah dan kekuatan tarik tertinggi
8. Mencatat nilai kekerasan yang tertera pada layar

### 3.7.4 Pengujian Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui patahan dan retakan, dan keadaan lain pada sambungan, ukuran butir pada daerah pengaruh panas.

Prosedur pengujian foto mikro adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan benda kerja sejajar sumbu benda kerja pada daerah pengaruh panas.
2. Spesimen dimounting dengan menggunakan polyester untuk memudahkan proses penghalusan dan pengamatan.

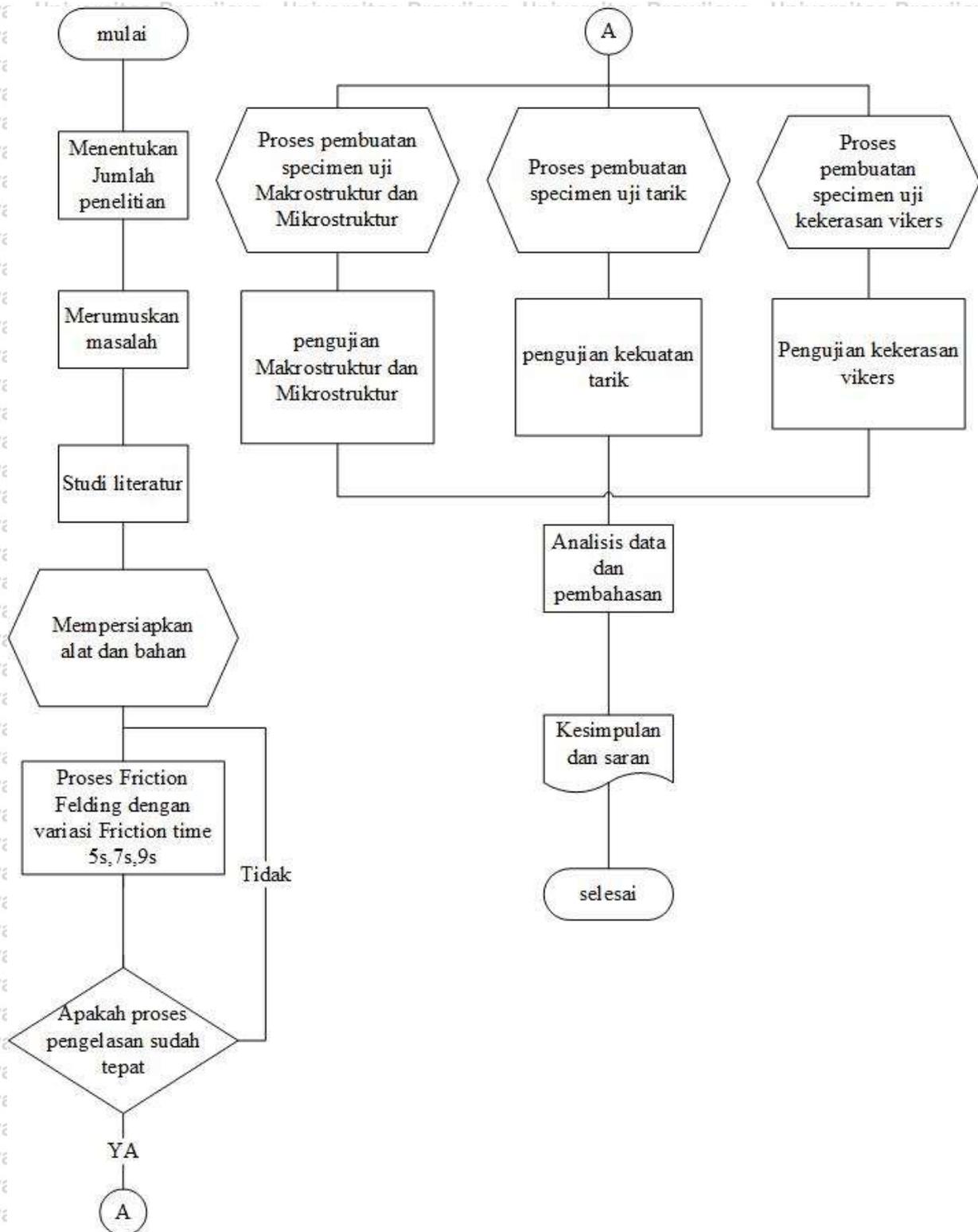
3. Penghalusan permukaan spesimen dengan menggunakan amplas dengan grit size number 320, 500, 800, 1000, 1250, 1500. Pastikan spesimen benar-benar halus (permukaan rata).
4. Proses pemolesan dengan kain atau flanel disertai pemberian aetosol, amati apakah benar sudah halus (layaknya cermin) dan tidak ada goresan sama sekali.
5. Etsa dilakukan dengan larutan *Hydrofloric Acid* (HF) ditambahkan alkohol dengan perbandingan sesuai kesetimbangan kimia.
6. Spesimen dicuci dan dikeringkan.
7. Pengambilan foto menggunakan mikroskop digital *micro hardness* dengan perbesaran 400 kali.
8. Rekam hasil pengamatan anda dikomputer dan catat perbesarannya.

### 3.7.5 Pengujian Makrostruktur

Pengujian makrostruktur bertujuan untuk melihat flash dan korelasi bentuk flash dengan proses pengelasan. Pengujian dengan foto makro juga untuk mengamati kontur, dan keretakan-keretakan makro yang terjadi, pada permukaan flash pada daerah sambungan. 1.

1. Pemotongan benda kerja sejajar sumbu benda kerja pada daerah pengaruh panas.
2. Spesimen dimounting dengan menggunakan polyester untuk memudahkan proses penghalusan dan pengamatan.
3. Penghalusan permukaan spesimen dengan menggunakan amplas dengan grit size number 320 , 500, 800, 1000, 1250, 1500. Pastikan spesimen benar-benar halus (permukaan rata).
4. Proses pemolesan dengan kain atau flanel disertai pemberian aerosol, amati apakah benar sudah halus (layaknya cermin) dan tidak ada goresan sama sekali.
5. Etsa dilakukan dengan larutan *Hydrofloric Acid* (HF) ditambahkan alkohol dengan perbandingan sesuai kesetimbangan kimia.
6. Spesimen dicuci dan dikeringkan.
7. Foto/gambar diambil menggunakan kamera.
8. Ukur daerah Zpl,Zpd,Zud menggunakan aplikasi *image J*
9. Masuk ke aplikasi *image j* pilih open dan pilih gambar yang akan diukur
10. Sebelum diukur kalibrasi terlebih dahulu pada menu *analyze* lalu *set scale* dan pada *distence in pixcel* masukan angka 0 untuk kalibrasi dan *unit of length* masukan huruf  $\mu\text{m}$  untuk satuan pengukuran

## 3.8 Diagram Alir Penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Hasil dari nilai kekuatan tarik didapat setelah spesimen pengelasan dibentuk menjadi spesimen uji tarik sesuai standar yang digunakan dalam penelitian. Pengujian kekuatan Tarik dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Negeri Malang. Setiap variasi dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali dan didapatkan nilai rata-rata dari ketiga pengulangan tersebut pada setiap variasi. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu waktu gesek 5 detik, 7 detik, dan 9 detik sedangkan untuk diameter gesek baja adalah 9 mm dan 12 mm. Hasil pengujian kekuatan tarik tertera pada Tabel 4.1

Tabel 4.1  
Hasil Data Pengujian Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek

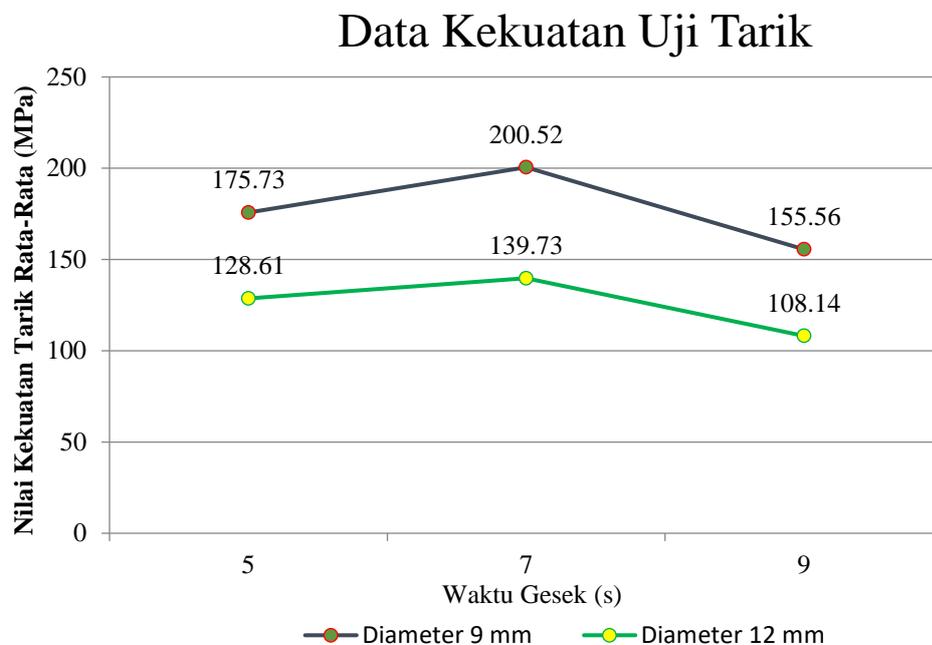
Diameter Gesek Baja (mm)	Friction time (s)	Gaya Tekan Awal (kN)	Upset Force (Kn)	Holding Time (S)	Kekuatan Tarik Maks (Mpa)	Kekuatan Tarik rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi (%)
9	5	7	35	60	170.6	175.73	7.31	4.16
	5	7	35	60	184.1			
	5	7	35	60	172.5			
9	7	7	35	60	211.5	200.52	12.14	6.06
	7	7	35	60	202.6			
	7	7	35	60	187.5			
9	9	7	35	60	163.6	155.56	8.96	5.76
	9	7	35	60	157.3			
	9	7	35	60	145.9			
12	5	7	35	60	139.6	128.61	9.65	7.50
	5	7	35	60	124.8			
	5	7	35	60	121.4			
12	7	7	35	60	147.6	139.73	6.79	4.86
	7	7	35	60	135.6			
	7	7	35	60	136.0			
12	9	7	35	60	100.2	108.14	7.48	6.92
	9	7	35	60	109.1			
	9	7	35	60	115.1			

## 4.2 Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian diperoleh data dan nilai dari hasil proses pengujian tarik, kemudian diteruskan dengan proses pengolahan data berupa grafik yang nantinya akan memudahkan dalam menganalisa data pengujian. Dengan parameter hubungan antara diameter gesek dan waktu gesek terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las gesek *dissimilar* aluminium A6061 dengan baja SS41

### 4.2.1 Hasil Pengujian Tarik Sambungan Las Gesek

Hubungan antara diameter gesek baja dan waktu gesek terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las *dissimilar friction welding* aluminium A6061 dengan baja SS41 pada Gambar 4.1 untuk kekuatan tarik rata-rata



Gambar 4.1 Grafik hubungan diameter gesek baja dan waktu gesek terhadap kekuatan tarik

Pada Gambar 4.1 terlihat pada grafik dimana kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan variasi diameter gesek baja 9 mm dengan waktu gesek 7 detik sebesar 200,52 Mpa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen diameter gesek baja 12mm dengan waktu gesek 9 detik sebesar 108,14 Mpa.

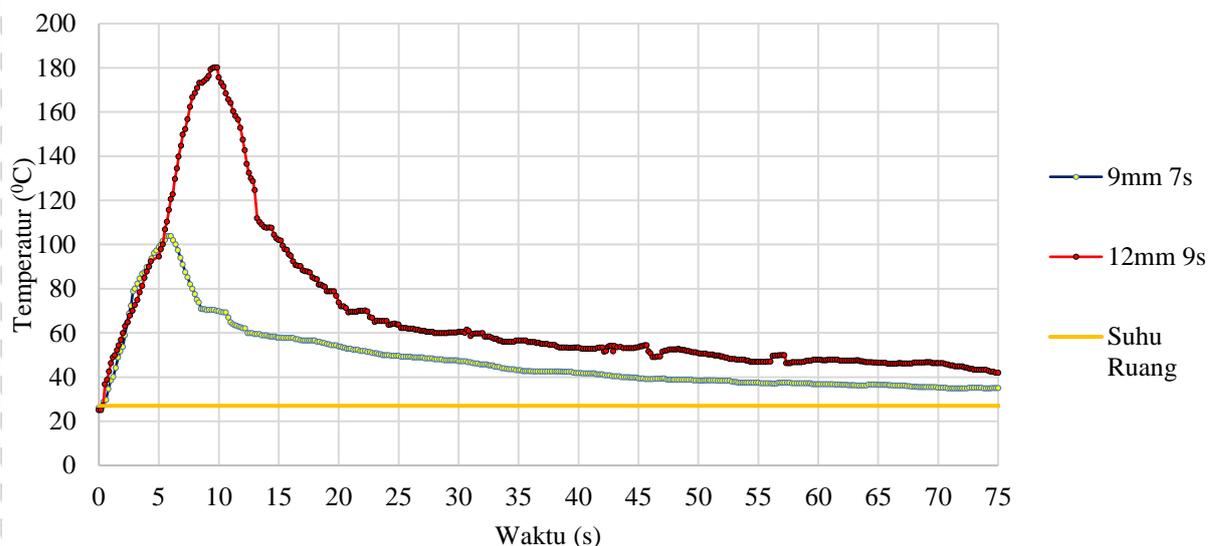
Berdasarkan variasi diameter gesek baja, grafik kekuatan tarik dengan diameter gesek baja 9 mm memiliki kecenderungan mempunyai kekuatan tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan grafik kekuatan tarik spesimen diameter gesek baja 12 mm di setiap waktu gesek yang berbeda. Hal ini terjadi dikarenakan pada diameter gesek baja 12 mm

memiliki luas bidang gesek yang lebih besar daripada spesimen gesek baja 9 mm, sehingga disaat proses pengesekan berjalan luas bidang gesek yang lebih luas menghasilkan energi gesekan yang lebih besar yang nantinya membangkitkan *heat input* yang lebih tinggi, *Heat input* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terbentuknya *Zpl* (*Plasticised Zone*) dan *Zpd* (*Partly Deformed Zone*) yang dapat menurunkan kekuatan tarik sambungan las dikarenakan berubahnya struktur butir logam aluminium karena terpengaruh temperatur yang terlalu tinggi.

Sedangkan jika dilihat dari variasi waktu gesek, grafik kekuatan tarik cenderung naik dari waktu gesek 5 detik lalu mencapai titik maksimal di waktu gesek 7 detik lalu turun di waktu gesek 9 detik. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu gesek maka semakin banyak *heat input* yang dihasilkan yang nantinya akan membangkitkan temperatur gesek sehingga terbentuk *Zpl* dan *Zpd* yang awalnya akan meningkatkan kekuatan tarik sampai nilai tertentu lalu akan menurun sembari semakin banyaknya *Zpd* yang terbentuk.

#### 4.2.2 Analisis Panas yang Masuk Pada Proses Pengelasan Gesek

Hubungan antara temperatur terhadap diameter gesek baja dan waktu gesek yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dan dan kekuatan tarik terendah pada las gesek *dissimilar* antara aluminium A6061 dengan baja SS41 dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik hubungan temperatur terhadap diameter gesek baja dan waktu gesek pada sambungan las gesek aluminium A6061 dan baja SS41

Dari gambar 4.2 terlihat untuk temperatur pengelasan maksimum tertinggi terdapat pada diameter spesimen gesek baja 12 mm dengan waktu gesek 9 detik di suhu 180°C sedangkan

temperatur pengelasan maksimum terendah terdapat pada diameter spesimen gesek baja 9 mm dengan waktu gesek 7 detik memiliki suhu pengelasan maksimum di 110°C Tingginya suhu terjadi dikarenakan energi yang dibangkitkan akibat gesekan lebih banyak dikarenakan luas bidang gesek yang lebih luas pada diameter spesimen gesek baja 12 mm, ditambah dengan waktu gesek 9 detik yang menyebabkan temperatur pengelasan yang dibangkitkan menjadi terlalu tinggi.

Sedangkan pada spesimen kekuatan tarik tertinggi pada variasi diameter spesimen gesek baja 9 mm dengan waktu gesek 7 detik memiliki temperatur pengelasan yang tidak terlalu tinggi sehingga temperatur pengelasan tidak sampai mengurangi kekuatan tarik sambungan, Suhu yang terlalu tinggi seperti pada variasi diameter 12mm 9 detik mengakibatkan terbentuknya daerah Zpd yang besar, Zpd yang merupakan daerah terdeformasi sebagian yang terbentuk akibat pengaruh suhu yang tinggi yang merubah struktur butir logam aluminium sehingga kekuatan tariknya menurun

Contoh Perhitungan total heat input spesimen dengan variasi 9mm waktu gesek 5 detik

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \times \pi \times \mu \times P \times \omega \times r^3$$

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \times \pi \times 0,47 \times 10^7 \times 167,55 \times (0,0045)^3$$

$$\dot{Q} = 1,25 \cdot 10^2 \text{ Joule/detik}$$

$$Qt = \dot{Q} \times t$$

$$Qt = 1,25 \cdot 10^2 \times 5 \text{ detik}$$

$$Qt = 1,13 \cdot 10^3$$

dengan:

$$\dot{Q} = \text{Heat Input pengelasan gesek (Watt)}$$

$$\pi = \text{Konstanta Lingkaran (3,14)}$$

$$\mu = \text{Koefisien Friction Aluminium Baja (0,47)}$$

$$P = \text{Tekanan Gesek (10.000.000 N/m)}$$

$$\omega = \text{Kecepatan Sudut (167.5516 rad/detik)}$$

$$r = \text{Jari jari lingkaran (m)}$$

Tabel 4.2  
 Hasil Perhitungan Total *Heat Input* Pada Pengelasan Gesek

waktu gesek	Diameter	$\pi$	$\mu$	$\omega$	$P$	$r$	$Q$	$Q_t$
5	9	3.14	0.47	167.5516	$1.10^7$	0.0045	$2,25.10^2$	$1,13.10^3$
7	9	3.14	0.47	167.5516	$1.10^7$	0.0045	$2,25.10^2$	$1,58.10^3$
9	9	3.14	0.47	167.5516	$1.10^7$	0.0045	$2,25.10^2$	$2,03.10^3$
5	12	3.14	0.47	167.5516	$1.10^7$	0.006	$2,25.10^2$	$2,67.10^3$
7	12	3.14	0.47	167.5516	$1.10^7$	0.006	$2,25.10^2$	$3,74.10^3$
9	12	3.14	0.47	167.5516	$1.10^7$	0.006	$2,25.10^2$	$4,81.10^3$

Temperature yang terlalu tinggi akan mengakaibatkan temperature menyebar ke material utama sehingga terbentuk daerah ZPD (*partly deformed zone*) yang besar. Pada daerah ZPD panas yang terlalu tinggi merubah struktur butiran logam aluminium sehingga kekerasan aluminium akan berkurang yang nantinya menyebabkan kekuatan tarik menurun

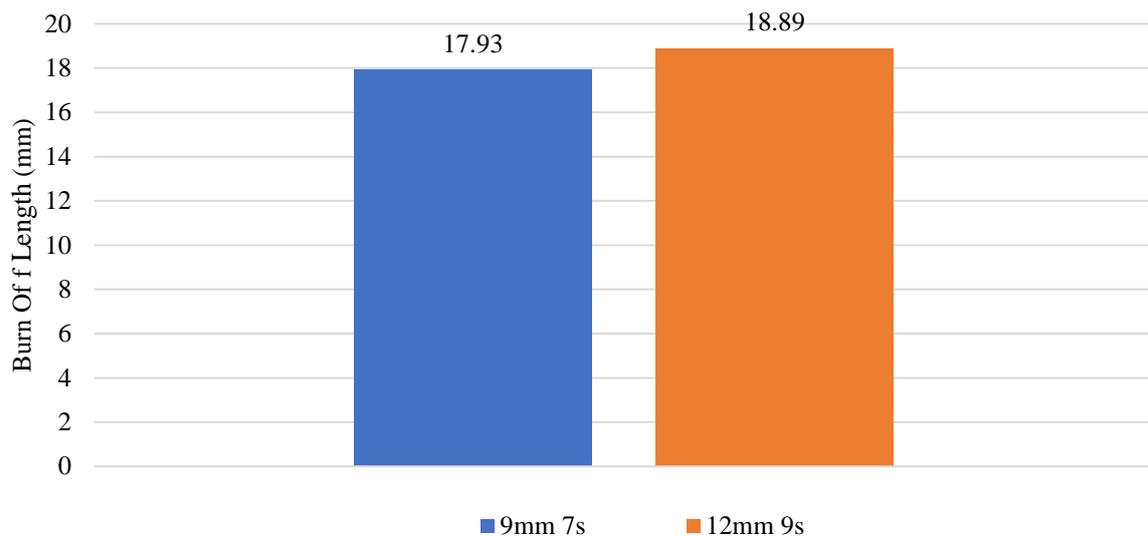
#### 4.2.3 Analisis *Burn Off Length* Terhadap Proses Pengelasan Gesek

Hubungan antara *burn off length* (BOL) terhadap kekuatan tarik tertinggi dan dan kekuatan tarik terendah pada las gesek dissimilar antara aluminium A6061 dengan baja SS41 dapat dilihat pada Gambar 4.3

Tabel 4.3  
 Hasil Data *Burn Of Length* terhadap sambungan las gesek

Diameter Gesek Baja (mm)	Waktu Gesek (s)	Panjang Awal (mm)	Panjang Akhir (mm)	Total Burn Off Length (mm)	Total <i>Burn Of Length</i> rata-rata (mm)
9	5	214.11	198.05	16.06	16.01
		213.97	198.11	15.86	
		214.15	198.03	16.12	
		214.03	196.14	17.89	
		214.05	196.21	17.84	
9	7	214.07	196.02	18.05	17.93
		213.87	194.21	19.66	
		214.02	194.12	19.90	
		214.14	194.18	19.96	
		214.13	199.04	15.09	
12	5	214.03	199.12	14.91	15.03
		214.16	199.07	15.09	
		214.19	197.23	16.96	
		214.15	197.21	16.94	
		213.97	197.17	16.80	
9	9	214.12	195.03	19.09	18.89
		213.94	195.14	18.80	
		214.02	195.23	18.79	

Setelah dilakukan pengukuran antara panjang awal dan panjang akhir diperoleh data dan nilai dari hasil *burn off length*, kemudian diteruskan dengan proses pengolahan data berupa grafik yang nantinya akan memudahkan dalam menganalisa data *burn off length* dengan parameter hubungan antara diameter gesek dan waktu gesek terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las *dissimilar friction welding* aluminium A6061 dengan Baja SS41.



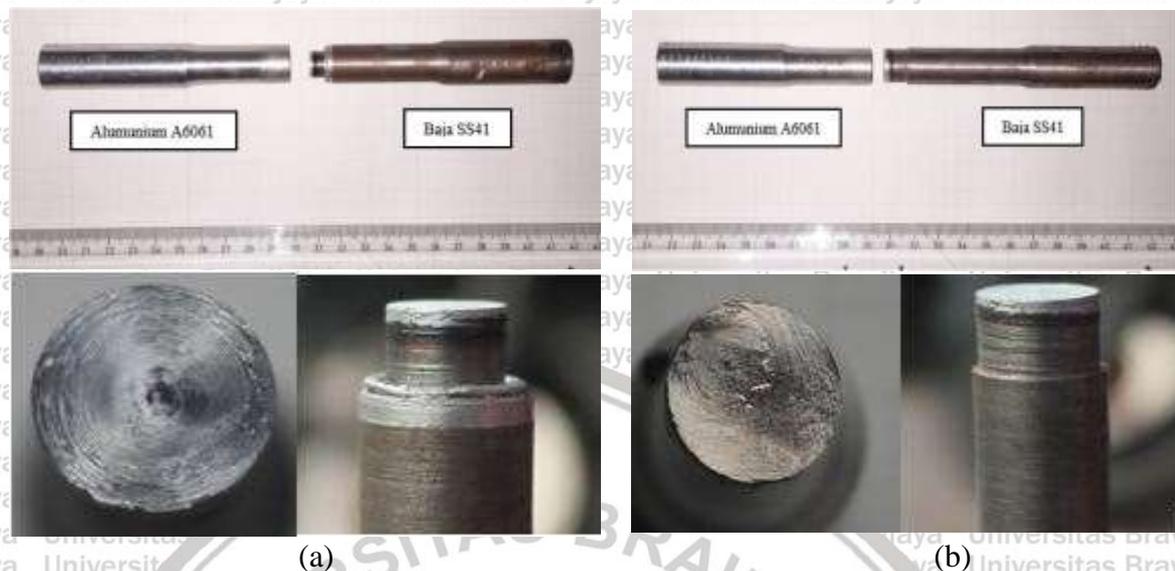
Gambar 4.3 Grafik perbandingan *Burn Off Length* (BOL) kekuatan tarik tertinggi dan terendah

Dari gambar 4.3 terlihat spesimen dengan variasi diameter spesimen gesek baja 12 mm dengan waktu gesek 9 detik yang merupakan variasi dengan hasil kekuatan tarik terendah memiliki total *burn of length* sebesar 18.89 mm yang lebih besar daripada dengan variasi diameter spesimen gesek baja 9mm dan waktu gesek 7 detik yang merupakan variasi dengan hasil kekuatan tarik tertinggi yaitu memiliki total *burn of length* sebesar 17.93 mm. Hal ini dikarenakan spesimen dengan variasi diameter spesimen gesek baja 12 mm dengan waktu gesek 9 detik memiliki luas wilayah kontak yang lebih besar dan waktu gesek yang lebih lama sehingga menghasilkan *burn of length* yang lebih besar. Semakin besar *burn of length*, semakin banyak *flash* yang terbentuk, dan semakin besar masukan panas yang diterima oleh sambungan las gesek. Hal tersebut menunjukkan bahwa masukan panas yang terjadi pada variasi diameter spesimen gesek baja 9mm dan waktu gesek 7 detik sudah cukup untuk membuat kekuatan tarik tertinggi. Jika total *burn of length* kurang dari yang dibutuhkan, seperti pada spesimen dengan variasi diameter spesimen gesek baja 9mm dan 12mm dan waktu gesek 5 detik, sambungan yang terbentuk tidak akan memiliki kekuatan yang maksimal. Sedangkan jika total *burn of length* terlalu besar maka akan memberikan masukan panas yang lebih besar sehingga sambungan las gesek pada bagian aluminium akan melunak, dan kekuatan tarik menurun.

#### 4.2.4 Analisis Foto Makrostruktur Pada Sambungan Las Gesek

Foto makrostruktur patahan diambil pada tampak atas dan tampak samping dari spesimen las. Pada Gambar 4.4 merupakan foto makrostruktur patahan tampak atas dan samping dari spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi yaitu spesimen las dengan variasi

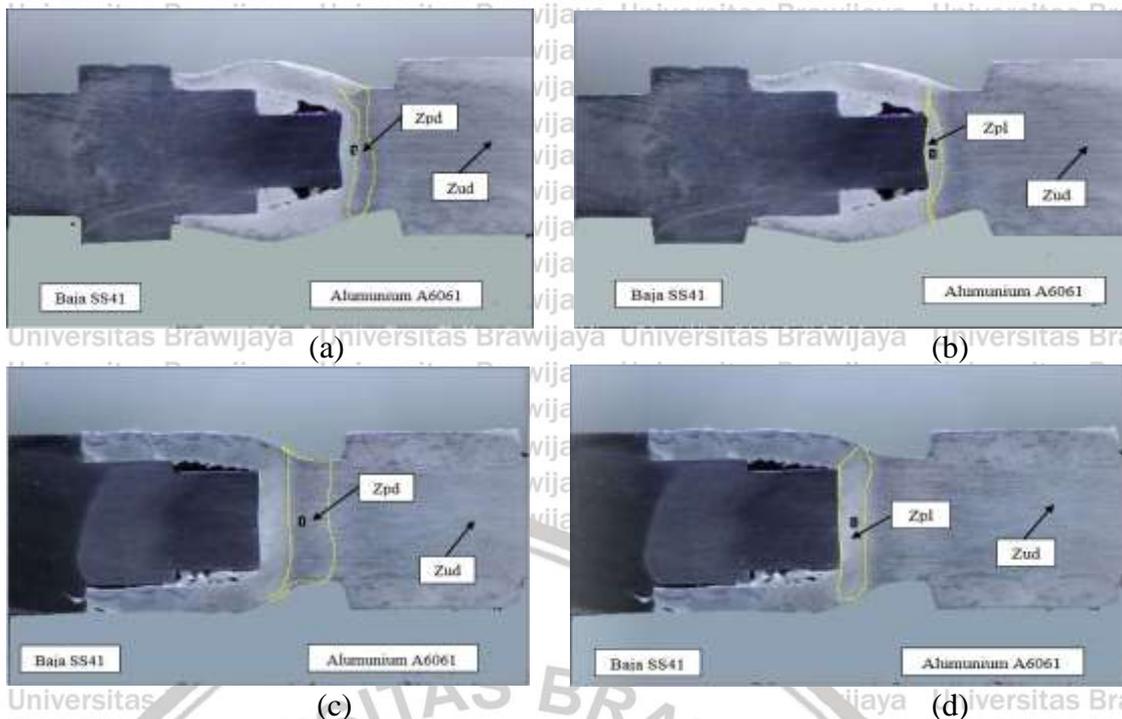
9mm 7 detik (a) dan spesimen dengan kekuatan tarik terendah yaitu spesimen las dengan variasi 12mm 9 detik (b).



Gambar 4.4 Foto makrostruktur penampang patahan spesimen hasil uji tarik a) Diameter gesek baja 9 mm waktu gesek 7 detik b) Diameter gesek baja 12mm waktu gesek 9 detik

Pada Gambar 4.4 (a) diatas dapat dilihat bahwa spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi yaitu spesimen dengan variasi diameter gesek baja 9mm waktu gesek 7 detik. Patahan yang terjadi tepat pada bagian HAZ (*Heat Affected Zone*) sekitar 3 mm dari daerah *interface* sambungan las dan memiliki bentuk patahan yang getas. Pada patahan getas tidak terjadi deformasi plastis pada saat terjadi retakan sehingga penyebaran retakan tidak stabil dan sangat cepat. Selain itu, penyerapan energi yang terjadi lebih sedikit sehingga permukaan patahan tampak mengkilap dan relatif rata. Pada Gambar 4.4 (b) diatas dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan kekuatan terendah yaitu spesimen dengan variasi diameter gesek baja 12mm waktu gesek 9 detik, patahan yang terjadi tepat pada bagian HAZ (*Heat Affected Zone*) sekitar 3 mm dari daerah *interface* sambungan las dan memiliki bentuk patahan yang ulet dikarenakan terjadi penyerapan energi disertai adanya deformasi plastis yang cukup besar di sekitar patahan, sehingga permukaan patahan tampak kasar dan berserabut..

Hasil uji makrostruktur terhadap kekuatan tarik tertinggi dan dan kekuatan tarik terendah pada las gesek *dissimilar* antara aluminium A6061 dengan baja SS41 dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Foto makrostruktur spesimen las gesek dengan (a) Foto makro kekuatan tarik tertinggi pada luasan Zpd (b) Foto makro kekuatan tarik tertinggi pada luasan Zpl (c) Foto makro kekuatan tarik terendah pada luasan Zpd (d) Foto makro kekuatan tarik terendah pada luasan Zpd

Dari gambar diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan waktu gesek yang tepat dan semakin kecil diameter yang terjadi pada daerah kontak akibat las gesek *dissimilar*, maka semakin kuat sambungan las tersebut. Hal ini dikarenakan waktu gesek yang terlalu lama dan diameter yang lebih besar mengakibatkan peningkatan panas yang terjadi pada sumber gesekan. Sehingga material pada aluminium cenderung akan mengalami pelunakan besar yang kemudian mengalir dengan mudah menjadi *flash*. Sehingga jika bentuk *flash* yang lebih besar mengakibatkan menurunnya kekuatan sambungan las dan juga mempengaruhi menurunnya kekuatan tarik. Hasil data luasan pada bagian-bagian daerah dalam pembentukan *heat affected zone* (HAZ) di aluminium dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4

Data luasan HAZ Aluminium pada Sambungan Las Gesek

Variasi	ZPL	ZPD
9mm 7 detik	28.54 mm <sup>2</sup>	27.02 mm <sup>2</sup>
12mm 9 detik	16.35 mm <sup>2</sup>	41.93 mm <sup>2</sup>

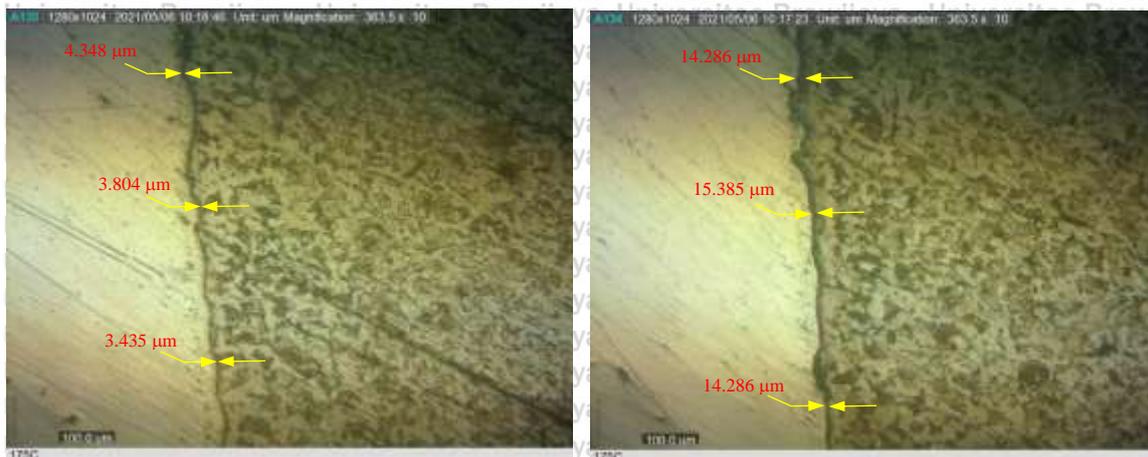
Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah, yaitu pada spesimen dengan variasi 12mm 9 detik memiliki luas daerah ZPL sebesar 16.35 mm<sup>2</sup> dan luas daerah ZPD sebesar 41.93 mm<sup>2</sup>. Sedangkan pada spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi, yaitu pada spesimen dengan variasi 9mm 7 detik memiliki luas

daerah ZPL sebesar 28.54 mm<sup>2</sup> dan luas daerah ZPD sebesar 27.02 mm<sup>2</sup>. Maka dapat kita bandingkan pada spesimen dengan variasi diameter gesek baja 12 mm dan waktu gesek 12 detik memiliki luas ZPD yang lebih besar dari pada spesimen dengan variasi diameter gesek baja 9 mm dan waktu gesek 7 detik, namun memiliki luas ZPL yang lebih rendah dari spesimen dengan variasi diameter gesek baja 12 mm dan waktu gesek 12 detik, dari ZPD yang meluas membuat kekuatan tarik menurun akibat material yang terpengaruh panas hasil proses las mengakibatkan perubahan struktur butir, sedangkan dengan bertambahnya luas ZPL maka terbentuk lebih banyak ikatan yang terbentuk akibat difusi sehingga kekuatan tarik dapat meningkat. Nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen dengan variasi diameter gesek baja 12 mm dan waktu gesek 9 detik, hal tersebut terjadi karena waktu gesek yang lebih lama dan diameter gesek baja yang lebih besar dapat menyebabkan pembentukan *partly deformed-zone* (Zpd) lebih besar. Hal ini dikarenakan tekanan saat proses gesekan pada las gesek *dissimilar* disertai oleh panas yang dihasilkan mengakibatkan luasan daerah tersebut menjadi luas. Pengambilan data daerah luasan ZPL dan ZPD menggunakan aplikasi bernama *imageJ* yang merupakan software berbasis komputer.

Maka dengan perbedaan luasan tersebut sangat mempengaruhi kekuatan tarik sambungan las gesek dalam penelitian ini. Ini terjadi karena perubahan luasan HAZ merupakan dampak dari waktu gesek pengelasan yang semakin bertambah dan diameter yang lebih besar mengakibatkan panas yang dihasilkan semakin besar sehingga panas tersebut mempengaruhi spesimen las. Kemudian dari hal tersebut memudahkan spesimen melunak dan pada akhirnya terjadi deformasi plastis. Spesimen yang mengalami pelunakan akan mengalir bergerak ke arah keluar dan mengarah ke arah tekanannya atau yang biasa disebut *flash*.

#### 4.2.5 Analisis Foto Mikrostruktur Pada Batas Sambungan Las Gesek

Batas Sambungan yang terbentuk pada pengelasan gesek akan mempengaruhi nilai kekuatan tarik sambungan las gesek. Gambar 4.6 (a) merupakan foto mikrostruktur pada batas sambungan spesimen las gesek dengan nilai kekuatan tarik tertinggi, yaitu spesimen dengan variasi diameter gesek baja 9mm dan waktu gesek 7 detik. Gambar 4.6 (b) merupakan foto mikrostruktur pada batas sambungan spesimen las gesek dengan nilai kekuatan tarik terendah, yaitu spesimen dengan variasi diameter gesek baja 12mm dan waktu gesek 9 detik.



(a) (b)

Gambar 4.6 Foto mikrostruktur pada batas sambungan spesimen las gesek dengan (a) Foto mikrostruktur pada batas sambungan dengan kekuatan tarik tertinggi (b) Foto mikrostruktur pada batas sambungan dengan kekuatan tarik terendah

Luas daerah batas sambungan pada foto mikrostruktur spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi dan spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah diukur dengan menggunakan software ImageJ masing masing luas daerah batas sambungan diukur pada 3 daerah luasan pada batas sambungan, dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5

Data luas daerah batas sambungan pada Sambungan Las Gesek

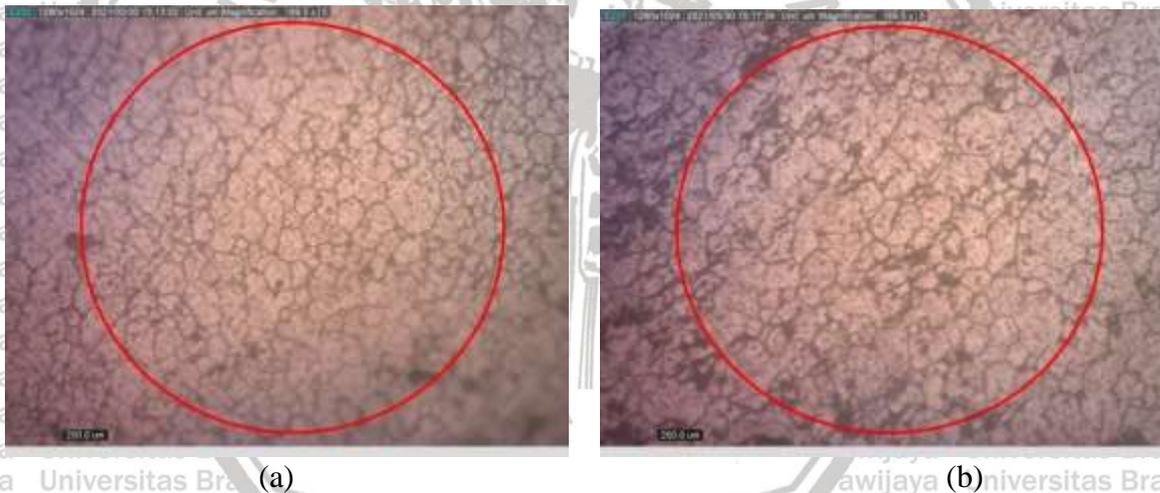
Variasi	Luas Daerah batas sambungan ( $\mu\text{m}$ )	Rata rata Luas Daerah batas sambungan
9mm 7 detik	4.348	4.529 $\mu\text{m}$
	3.804	
	5.435	
12mm 9 detik	14.286	14.625 $\mu\text{m}$
	15.385	
	14.286	

Pada Gambar 4.6 garis warna gelap yang memanjang pada batas sambungan, menunjukkan suatu lapisan getas yang terbentuk pada batas sambungan, terlihat pada variasi diameter gesek baja 9mm dan waktu gesek 7 detik yang menunjukkan ketebalan rata-rata 4.529  $\mu\text{m}$ . Ketebalan lapisan getas variasi diameter gesek baja 9mm dan waktu gesek 7 detik lebih tipis jika dibandingkan dengan variasi diameter baja 12mm dan waktu gesek 9 detik dimana pada proses tersebut lebih lama, dengan temperatur yang lebih tinggi, yakni pada proses dengan waktu gesek 9 detik, dengan temperatur maksimum 180°C, dimana ketebalan lapisan variasi diameter baja 12mm dan waktu gesek 9 detik yaitu 14.625  $\mu\text{m}$ . Semakin tebal garis berwarna hitam yang memanjang pada batas sambungan, mengidentifikasi

terbentuknya suatu lapisan *intermetallic* yang bersifat getas pada batas sambungannya. Lapisan *intermetallic* yang bersifat getas ini, akan semakin banyak terbentuk di batas sambungan, pada suatu proses pengelasan gesek, dengan temperatur pada proses pengelasan gesek yang semakin tinggi, dan semakin lama panas itu diterapkan, dalam hal ini adalah durasi waktu gesek yang semakin besar.

#### 4.2.6 Analisis Foto Mikrostruktur Pada Daerah Patahan

Pengambilan foto mikrostruktur menggunakan perbesaran sebesar 189.5 x. Pada daerah patahan terjadi pengambilan foto dilakukan pada jarak 1 mm dari *interface*. Pada Gambar 4.7 (a) merupakan foto mikrostruktur daerah patahan dengan kekuatan tarik tertinggi yaitu spesimen las dengan variasi waktu gesek 9 detik dan diameter gesek baja 12 mm sedangkan Gambar 4.7 (b) merupakan foto mikrostruktur daerah patahan dengan kekuatan tarik terendah yaitu spesimen las dengan variasi waktu gesek 7 detik dan diameter gesek baja 9 mm



Gambar 4.7 Foto mikrostruktur daerah patahan dengan (a) spesimen las kekuatan tarik tertinggi dengan variasi waktu gesek 7 detik dan diameter gesek baja 9 mm (b) spesimen las kekuatan tarik terendah dengan variasi waktu gesek 9 detik dan diameter gesek baja 12 mm

Perhitungan diameter butir dilakukan dengan menggunakan metode planimetri (*jeffries method*). Metode ini bertujuan menghitung besar butir per satuan luas pada lingkaran berdiameter 80 mm (luas lingkaran 5000 mm<sup>2</sup>). Metode planimetri dapat digunakan ketika di dalam lingkaran minimal terdapat 50 butir. Contoh perhitungan pada daerah patahan spesimen variasi waktu gesek 7 detik dan diameter gesek baja 9 mm adalah sebagai berikut.

$$f = M^2 \times 0.0002$$

$$f = 189.5 \times 5 \times 0.0002$$

$$f = 179.5513$$

dengan :

$$f = \text{Bilangan Jeffries}$$

$$M = \text{Magnification perbesaran}$$

$$0.0002 = 1/15000 \text{ mm}^2 \text{ (Luas daerah lingkaran)}$$

$$N_A = f \times \left(n_1 + \frac{n_2}{2}\right)$$

$$= 179.5513 \left(180 + \frac{61}{2}\right)$$

$$= 37795,54 \text{ pcs/mm}^2$$

$$G = (3.321928 \log_{10} N_A) - 2.954$$

$$= (3.321928 \log 37795,54) - 2.954$$

$$= 12,25193$$

dengan :

$$N_A = \text{Jumlah butir / luas (pcs/mm}^2\text{)}$$

$$n_1 = \text{Jumlah butir dalam lingkaran}$$

$$n_2 = \text{Jumlah butir yang memotong lingkaran}$$

$$f = \text{Bilangan jeffries}$$

$$G = \text{ASTM grain size number}$$

$$D = \text{Diameter butir rata-rata } (\mu\text{m})$$

Setelah melakukan perhitungan di atas, kemudian dilakukan interpolasi dengan nilai yang terdapat pada tabel standar ASTM E 112 (lampiran 11). Dari hasil interpolasi tersebut, didapatkan nilai sebesar 25.79  $\mu\text{m}$ .

Tabel 4.6

Data Hasil Perhitungan Diameter Butir Dengan Metode *Planimetri*

Spesimen	Daerah	D ( $\mu\text{m}$ )
9 mm 7 detik	HAZ	5.14
12 mm 9 detik	HAZ	6.01

Pada Tabel 4.6 menunjukkan ukuran butir rata-rata pada spesimen dengan variasi waktu gesek 7 detik dan diameter gesek baja 9 mm memiliki diameter butir pada daerah HAZ sebesar 5.14  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pada spesimen dengan variasi waktu gesek 9 detik dan diameter gesek baja 12 mm memiliki diameter butir pada daerah HAZ sebesar 6.01  $\mu\text{m}$ . dapat dilihat bahwa diameter butir pada daerah patahan spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah yaitu pada spesimen dengan variasi waktu gesek 9 detik dan diameter gesek baja 12 mm memiliki ukuran yang lebih besar dikarenakan spesimen dengan variasi waktu gesek 9 detik

dan diameter gesek baja 12 mm mengalami heat input yang lebih besar daripada heat input specimen dengan variasi waktu gesek 7 detik dan diameter gesek baja 9 mm sehingga butirannya mengalami pertumbuhan besar butir yang lebih signifikan sehingga akan menurunkan kekerasannya yang membuat aluminium lebih mudah terdeformasi yang nantinya akan mengakibatkan kekuatan tarik menurun.

Sedangkan pada specimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada specimen dengan variasi waktu gesek 7 detik dan diameter gesek baja 9 mm, memiliki diameter kontak sebesar 9 mm sehingga panas yang masuk lebih kecil yang menyebabkan butir yang terbentuk lebih kecil dan rapat yang mengakibatkan nilai kekuatan tarik meningkat.

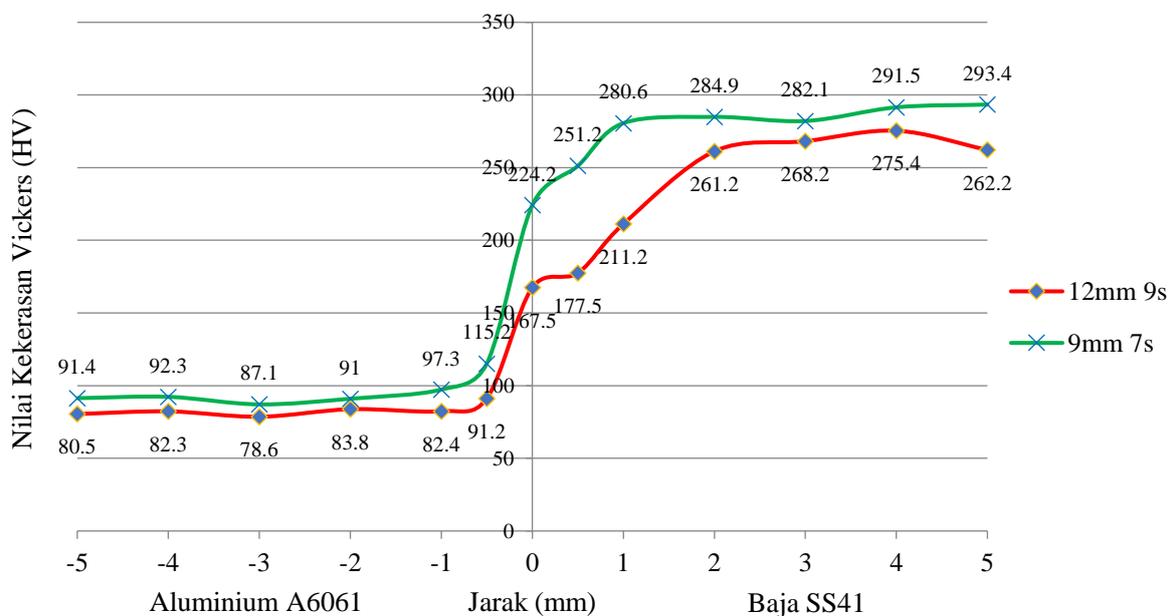
#### 4.2.7 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Sambungan Las Gesek

Untuk memperkuat bahwa luasan HAZ memiliki kekuatan tarik yang berbeda-beda dikarenakan pengaruh variasi diameter dan waktu gesek sisi diam pada baja, maka dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers*. Pemilihan metode tersebut dikarenakan ukuran daerah HAZ pada specimen terlalu kecil sehingga metode *Vickers* merupakan metode yang tepat dalam penelitian ini. Pada pengujian kekerasan diambil 13 titik, dimana 6 titik terletak pada specimen yang berputar, 1 titik pada *interface*, dan 6 titik lainnya pada specimen yang diam. Pengambilan sampel kekerasan hanya dilakukan pada specimen dengan kekuatan tarik tertinggi dan kekuatan tarik terendah dengan menggunakan pembebanan 50 gf dengan waktu indentasi 10 detik. Jarak yang terletak di sebelah kanan yaitu baja SS41 pada gambar 4.7, yaitu 5,4,3,2,1,0,5 merupakan bagian yang berputar sedangkan jarak yang terletak di sebelah kiri yaitu aluminium A6061 pada gambar 4.7, yaitu -0,5,-1,-2,-3,-4,-5 merupakan bagian yang berputar. Hasil dari uji kekerasan pada specimen las gesek *dissimilar* aluminium A6061 dan baja SS41 terhadap kekuatan tarik tertinggi dan terendah ditunjukkan pada Gambar 4.8

Tabel 4.7  
 Nilai Kekerasan Pada Spesimen Las Gesek

9mm 7 detik		12mm 9 detik	
Jarak dari <i>interface</i> (mm)	Nilai Kekerasan (HRV)	jarak dari <i>interface</i> (mm)	Nilai Kekerasan (HRV)
5	262.2	5	293.4
4	275.4	4	291.5
3	268.2	3	282.1
2	261.2	2	284.9
1	211.2	1	280.6
0.5	177.5	0.5	251.2
0	167.5	0	224.2
-0.5	91.2	-0.5	115.2
-1	82.4	-1	97.3
-2	83.8	-2	91
-3	78.6	-3	87.1
-4	82.3	-4	92.3
-5	80.5	-5	91.4

Distribusi nilai kekerasan Vickers, pada spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi, pada variasi diameter gesek baja 9mm dan waktu gesek 7 detik, dan temperatur maksimum 110°C. Distribusi nilai kekerasan Vickers, pada spesimen dengan kekuatan tarik terendah pada variasi diameter gesek baja 12mm dan waktu gesek 9 detik, dan temperatur maksimum 180°C seperti Gambar 4.7.



Gambar 4.8 Grafik hubungan kekerasan terhadap jarak titik dari pusat menjauhi titik kontak las pada kekuatan rata-rata tertinggi dan terendah

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada hasil lasan memiliki nilai yang berbeda pada tiap daerah lasan. dilihat bahwa pada spesimen yang memiliki kekuatan tarik tertinggi, yaitu spesimen dengan variasi diameter spesimen gesek baja 9mm dengan waktu gesek 7 detik memiliki nilai kekerasan lebih tinggi yaitu pada setiap bagian daerah las jika dibandingkan dengan nilai kekerasan pada variasi diameter spesimen gesek baja 12mm dengan waktu gesek 9 detik yang memiliki kekuatan tarik terendah.

Terlihat bahwa nilai kekerasan terendah berada pada jarak 1-3 mm dari *interface* yang merupakan daerah ZPD dimana pada daerah ini aluminium terpengaruh panas pengelasan dan tekanan namun tidak mengalami deformasi yang sempurna, akibat panas pengelasan yang terlalu tinggi sehingga struktur butir menjadi berubah membesar dan tidak homogen sehingga saat dilakukan Pengujian kekerasan indentor pengujian kekerasan lebih mudah untuk mendeformasi logam aluminium sehingga nilai kekerasan yang dihasilkan menurun dan menyebabkan nilai kekuatan tarik menurun. Sedangkan pada spesimen dengan variasi diameter spesimen gesek baja 9mm dengan waktu gesek 7 detik, bidang kontak yang bergesekan pada sisi diam memiliki diameter kontak sebesar 9mm dengan waktu gesek 7 detik, panas yang masuk (*heat input*) semakin kecil, sehingga daerah HAZ semakin kecil yang menyebabkan nilai kekerasan diameter gesek baja 9mm dengan waktu gesek 7 detik ukuran butir yang terbentuk kecil dan rapat sehingga nilai kekerasan yang dihasilkan meningkat dan menyebabkan nilai kekuatan tarik meningkat

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh waktu gesek dan diameter gesek baja terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las gesek *dissimilar* alumunium A6061 dan baja SS41 yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi diameter gesek baja dan waktu gesek mempengaruhi nilai kekuatan tarik pada sambungan hasil las gesek *dissimilar* alumunium A6061 dan baja SS41, hal ini ditunjukkan dengan semakin lamanya waktu gesek dan semakin kecil diameter gesek baja, maka kekuatan tarik dari sambungan antara alumunium A6061 dengan baja SS41 pada pengelasan gesek *continuous drive*, akan menguat sampai mencapai kekuatan tarik terbesar, dan kemudian kekuatannya akan kembali melemah. Hal itu ditunjukkan pada waktu gesek 5 detik dan 7 detik, yang menyebabkan meningkatnya kekuatan tarik sambungan, dan pada waktu gesek 9 detik peningkatan kekuatan tarik sambungan antara alumunium A6061 dan baja SS41 menurun, dengan semakin besarnya diameter dan waktu gesek yang semakin lama maka akan menyebabkan panas yang masuk (*heat input*) semakin besar dan *heat affected zone* (HAZ) yang terbentuk semakin besar pula. Nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan variasi diameter gesek baja 9 mm dan waktu gesek 7 detik dengan nilai 200.52 Mpa. Sementara kekuatan tarik rata-rata terendah dimiliki oleh spesimen dengan variasi diameter gesek baja 12 mm dan waktu gesek 9 detik yaitu sebesar 108.14 Mpa

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan peningkatan berupa pembaharuan pada alat-alat dalam proses pengelasan gesek agar parameter pengelasan yang ditetapkan dapat lebih terkontrol
2. Melakukan kegiatan maintenance secara rutin pada alat-alat yang berkaitan dengan las gesek agar dapat digunakan guna penelitian selanjutnya
3. Perlu dilakukan peneletian kekuatan tarik sambungan las gesek lebih lanjut dengan menggunakan parameter-parameter lain yang dapat menghasilkan sambungan las yang lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alves, P.E., Neto,FP., &Chen,Y.a.2010.Welding of AA 1050 Alumunium with AISI 304 Stainless Steel by rotary Friction Welding Process.Aeorsop Technol Manag (Sao Jose Dos Campos), *Vol.2.No.3*, pp 301-306)
- American Society for Testing and Materials. 2004. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. ASTM Designation E 112-96. ASTM International. West Conshohocken
- American Welding Society B4,0;2007. Standard Methods for Mechanical Testing of Welds ASM Handbook 02. 1992. Properties and Selection: Nonferrous Alloy and Special-Purpose Material. *Vol 2. ASM International*
- ASTM E8/E8M-09. 2010. Standart Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials
- AWS.1998.Welding Hadnbook-Welding Technology. ED 8<sup>th</sup> Vol.1.American Welding Society Inc.
- Dieter, 2007.Manufacturing Processes for engineering Materials, Fourth edition pearson prentice Hall International
- Irawan, Y.S., Prasetyo, Dwi, Widodo, T.D., Suprpto, W., & Oerbandono, T. 2019. Increased Tensile Strength of Dissimilar Friction Weld Joint of Round Bar A6061/S15c Using Upset Force And One-Side Chamfer Angle. Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology, *Vol. 06 No. 01, July 2019, Pages 09-15*
- Irawan, Y.S, Wiroharjo, M., Ma'arif, M.S. 2012. Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles. *Advanced Materials Research. Vol. 576: 761-765. Trans Tech Publicatons, Switzerland*
- Kalpakistan S, Schmid R., 2003, *Manufacturing Processes For Engineering Materials, Pearson Educatiaon, USA.*
- Pah, J. C. A., Irawan, Y. S., dan Suprpto, W. 2018. Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aluminium Dan Baja Karbon Pada Pengelasan Gesek *Continuous Drive*. Malang: Jurnal Rekayasa Mesin *Vol.9 No.1, pp 51-59.*
- Rombaut, Pieter. 2011. Joining of Disimillar Materials throught Rotary Friction Welding Thesis, Universiteit Gen
- Sahin, M., & Misirli, C.2013.Mechanical and Metalurgical Properties of Friction Welded Alumunium Joints.Edited,Zaki ahmad.INTECH,Ch. *Vol 11, pp.278-300*
- Shubhavardhan, R.N., & Surendran, S. (2012). Friction Welding to Joint Dissimilar Metals. *IJETAE, Vol. 2, No. 7, pp. 200-210.*
- Surdia, T. & Saito, S., 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: Pradnya Paramita

Syahputra.D.2020.Pengaruh Waktu Gesek Terhadap kekuatan Tarik pada Sambungn Las Gesek Beda Logam A6061 dan ST41.Tidak dipublikasikan.Malang:Universitas Brawijaya

Taban, E., Gould, J. E., & Lippold, J. C. 2009. Dissimilar Friction Welding of 6061 -T6 aluminium and AISI 1018 steel: Properties and microstructural characterization Material and Design.ELSAVIER, *Vol.31,pp.2305-2311*

Uzkut. Mehmet., Bekir Sadik Unlu., Mustafa akdag.2011. Determination of optimum Welding Parameters in Connectiong High alloyed X53CrMnNIN219 and X45CrS193 by Friction Welding. (Indian academy of Csienses). *Vol.34(4).pp.815-823*

Widharto,Sri 2013 Petunjuk Kerja Las.jakarta:Pradnya Paramita

William D. Callister, J., and Rethwisch, D.G., 2012. Materials Science and Engineering and Introduction EIGHTH EDI.

Wiryosumarto, H., 2000, Teknologi Pengelasan Logam, Erlangga, Jakarta.

Wiryosumarto, HarsonodanTohsie Okumura. 1994. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: PT. PradnyaParamita

Vander Voort, G.F. 1999. Metallography: Principles and Practice. New York: ASM International



Lampiran 1 Surat Keterangan Telah Melakukan Pengujian Kekuatan Tarik



The Learning University

**LABORATORIUM STRUKTUR**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI MALANG**  
Gedung D9 Lt 1 Kampus UM Jl. Semarang No. 5 Malang Telp/Fax: (0341) 587 082

SURAT KETERANGAN

No. 03D.05.2021

Yang bertandatangan di bawah ini Laboran / Teknisi Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, menerangkan bahwa,

Nama : Febi Ferdiansyah

NIM : 175060200111044

Instansi : Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik – Universitas Brawijaya

Telah melakukan pengujian kuat tarik *sambungan las gesek* terhadap material *Alumuntum A6061*  
*dengan baja SS41* sebanyak 18 benda uji pada tanggal 27 April 2021 s/d 3 Mei 2021 di  
Laboratorium Struktur - Teknik Sipil - FT - UM.

Demikian keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 3 Mei 2021  
Koordinator Uji  
Laboratorium Struktur - FT - UM

**Lusi Muslikasari, Amd**  
NITK. 19900511 20160548

Lampiran 2 Sertifikat Kalibrasi Mesin Uji Tarik



**PT. GLOBAL QUALITY INDONESIA**  
SNI ISO/IEC 17025 : 2017

**PT. GLOBAL QUALITY INDONESIA**  
CALIBRATION OF INDUSTRIAL INSTRUMENT AND MEDICAL INSTRUMENT TESTING, TRAINING, QUALITY CONSULTANT,  
PROFICIENCY TESTING, INSPECTION, CONFORMITY TESTING, CERTIFICATE PERSONAL, MAINTENANCE & REPAIR



**KAN**  
Komite Akreditasi Nasional  
LK-057-IDN

### CALIBRATION CERTIFICATE

**Certificate Number** 06205042157-04/21  
**Page** 1 of 2

**Order Number** 031 0421 121  
**Received Date** 06 April 2021  
**Equipment Name** Universal Testing Machine  
**Manufacturer** Sinon Shejnt  
**Model/Type** WEW-1000  
**Serial Number** 068  
**Capacity/Graduation** 1000 kN / 0.1 kN  
**Technician ID** HF  
**Typewriter ID** MS

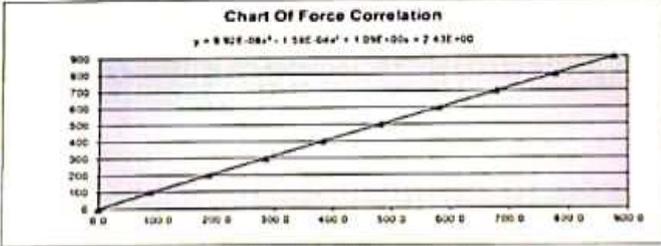
**Owner** Laboratorium Struktur, Universitas Negeri Malang  
**Address** Jl. Semarang No 5, Sumberson, Kec. Lowok Waru, Kota Malang  
**Calibration Location** Lab Struktur  
**Calibration Date** 06 April 2021  
**Calibration Method** IK G-01 ref. JIS B 7721 : 2009  
**Environmental Condition** T suhu = 27.5 °C RH suhu = 61 %  
T ater = 27.5 °C RH suhu = 60 %

**Calibration Report**

Instrument Indication (kN)	Standard Indication (kN)		Correction (kN)	Error of Force (%)
	Before Setting	After Setting		
0	0.00	-	0.00	0.00
100	86.90	-	-13.10	13.10
200	185.93	-	-14.07	7.03
300	284.27	-	-15.73	5.24
400	382.83	-	-17.17	4.29
500	481.43	-	-18.57	3.71
600	580.37	-	-19.63	3.27
700	678.57	-	-21.43	3.06
800	776.20	-	-21.80	2.73
900	876.53	-	-23.47	2.61

Uncertainty  $U_{95\%} = \pm 0.38 \%$

**Chart Of Force Correlation**

$$y = 9.92E-08x^2 + 1.58E-04x + 1.09E+00y = 7.43E+00$$


X = Standard Indication (kN)  
Y = Instrument Indication (kN)

**Awasian** 1. This calibration result is valid only from the equipment calibrated  
2. It is not permitted to reproduce this certificate without permission from PT. Global Quality Indonesia  
3. The original calibration certificate of PT. Global Quality Indonesia uses a barcode mark

The Uncertainty is taken at a Confidence Level 95 % and Coverage Factor (k) = 2

<b>Standard used</b>			
<b>Name</b>	Merik/Type	Serial Number	Traceable to SI through
Load Cell	MATEST / C 140.03	C140-03/AH5003	LK-013-IDN
Gauge Block	Muloyo/Grade 0	31121	LK-001-IDN



**GLOBAL QUALITY INDONESIA**  
Digi Rudy Hamd  
Director

FR.15.01



06205042157  
Calibration Certificate from Global Quality

Komplek Kopo Mas Regency  
Blok H No. 7C Bandung 40227

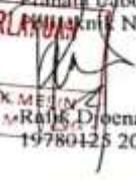
022-5436533 - 5436775  
022-54425389

calibration@globalquality.co.id  
customer@globalquality.co.id

www.globalquality.co.id

Certificate

### Lampiran 3 Surat Keterangan Telah Melakukan Pembuatan Spesimen Uji Tarik

	<b>KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI</b> <b>POLITEKNIK NEGERI MALANG</b> <b>JURUSAN TEKNIK MESIN</b> Terakreditasi: B, sesuai Kpts BAN No. 007/BAN-PT/Ak-XII/Dpl-III/V/2012 Jl. Soekarno Hatta No 9 Malang 65145 Tlp / Fax. (0341) 550180 <a href="http://www.polinema.ac.id">http://www.polinema.ac.id</a>	
	<b>SURAT KETERANGAN</b> <b>NOMOR : 51 /PL2.TM/KM/2021</b>	
Yang bertanda tangan dibawah ini :		
Nama	:	Rafik Djoenaidi,ST
N I P	:	19780125 200112 1 002
Jabatan	:	Pranata Laboratorium Pendidikan Politeknik Negeri Malang
Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :		
Nama	:	Febi Ferdiansyah
Nim	:	175060201111044
Jurusan	:	Teknik Mesin Universitas Brawijaya
Fakultas	:	Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Benar - benar telah melaksanakan Penelitian / Pengambilan Data di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang pada tanggal 14 - 28 April 2021, guna keperluan penyusunan skripsi.		
Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.		
Malang, 28 April 2021 Pranata Laboratorium Pendidikan Politeknik Negeri Malang		
  LAB. BAHAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI MALANG Rafik Djoenaidi,ST 19780125 200112 1 002		
FRM.RME.02.01.00		

### Lampiran 4 Komposisi Aluminium A6061



PT Sutindo Surya Sejahtera

Metod : Al-SS-6063

12/24/2020 12:09:31 PM

Comment : Al-Base SS-6063

Element

Sample No

Sample ID :

OV. 14034 CETAK 1

BILLET 6061

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.511	0.264	0.211	0.0215	0.906	0.0622	0.043	0.0474

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.0018	0.00067	0.005	0.0043	<0.00050	0.0005	0.0004	0.00022

	Be	Zr	Bi	Cd	Al
	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.00006	0.0043	<0.00030	0.00017	97.9

## Lampiran 5 Komposisi Baja SS41

**PT. GROWTH SUMATRA INDUSTRY**  
 Head Office / Factory : Jln. K.L. Yos. Sudarso Km 10 - Medan.  
 Phone : (061) 685 1989 ( 7 lines ) Facs. : (061) 685 1474, 685 5779.

**MILL TEST CERTIFICATE**

Customer : PT.BENTENG ANUGERAH SEJAHTERA BK 8778 GY      Commodity : Cold Drawn Steel Round Bars      Certification No : 130/AS/1/2021/GS  
 Specification : SGD 400 - D = SS 41      No. PO : -  
 Contract No : -      Date Of Issue : 18/01/2021

DIMENSION		HEAT NUMBER	QUANTITY	CHEMICAL COMPOSITION (%)					TENSILE STRENGTH (N/mm <sup>2</sup> )	HARDNESS	
DIAMETER (In,mm)	LENGTH (mtr)			C	Si	Mn	P	S		(HRB)	(HB)
25 MM	6 M	2A1035	156	0.24	0.16	0.48	0.04	0.04	649	0	180
20	6	2B409	365	0.20	0.20	0.64	0.03	0.01	640	75	0
		5B707		0.19	0.23	0.64	0.04	0.04	644	83	0
7/8 IN	6 M	3B435	490	0.22	0.20	0.63	0.02	0.02	630	77	0
		2A1035		0.24	0.16	0.48	0.04	0.04	650	85	0
25 MM	6 M	5B1115	208	0.22	0.22	0.62	0.02	0.01	632	0	173

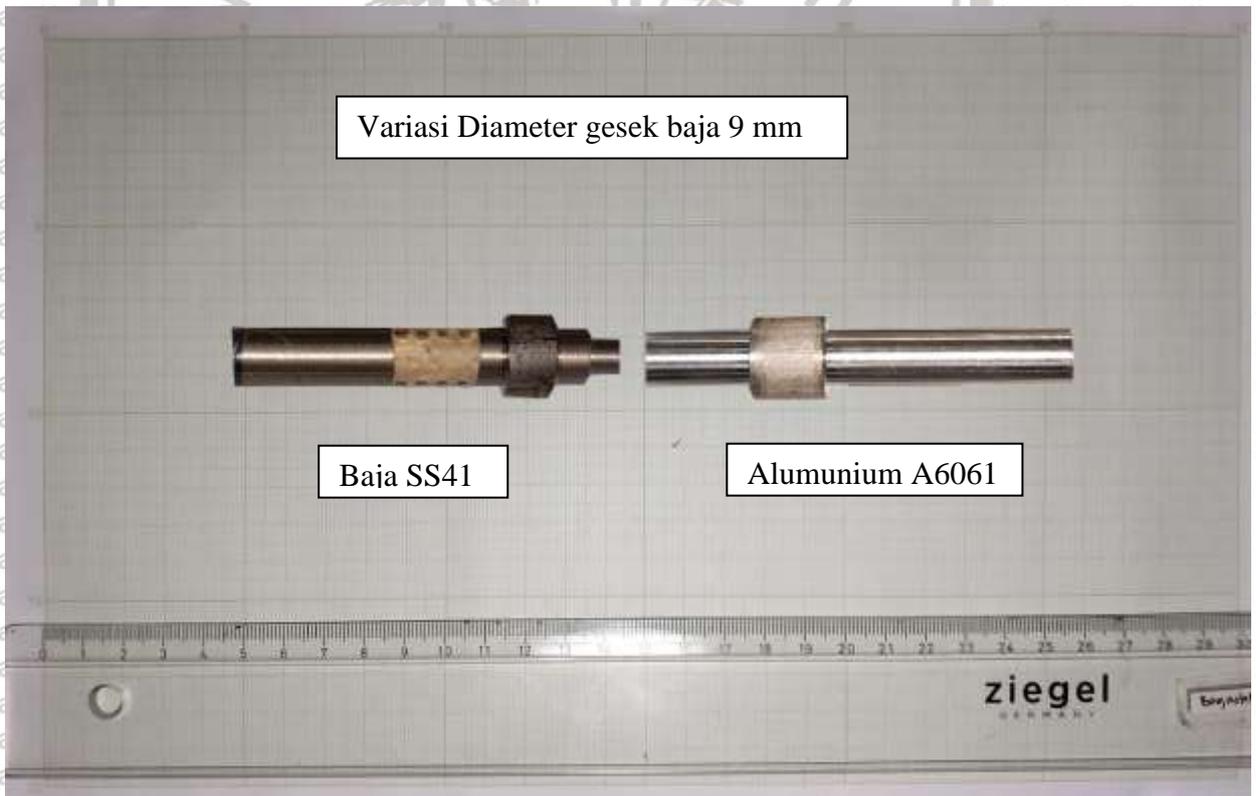
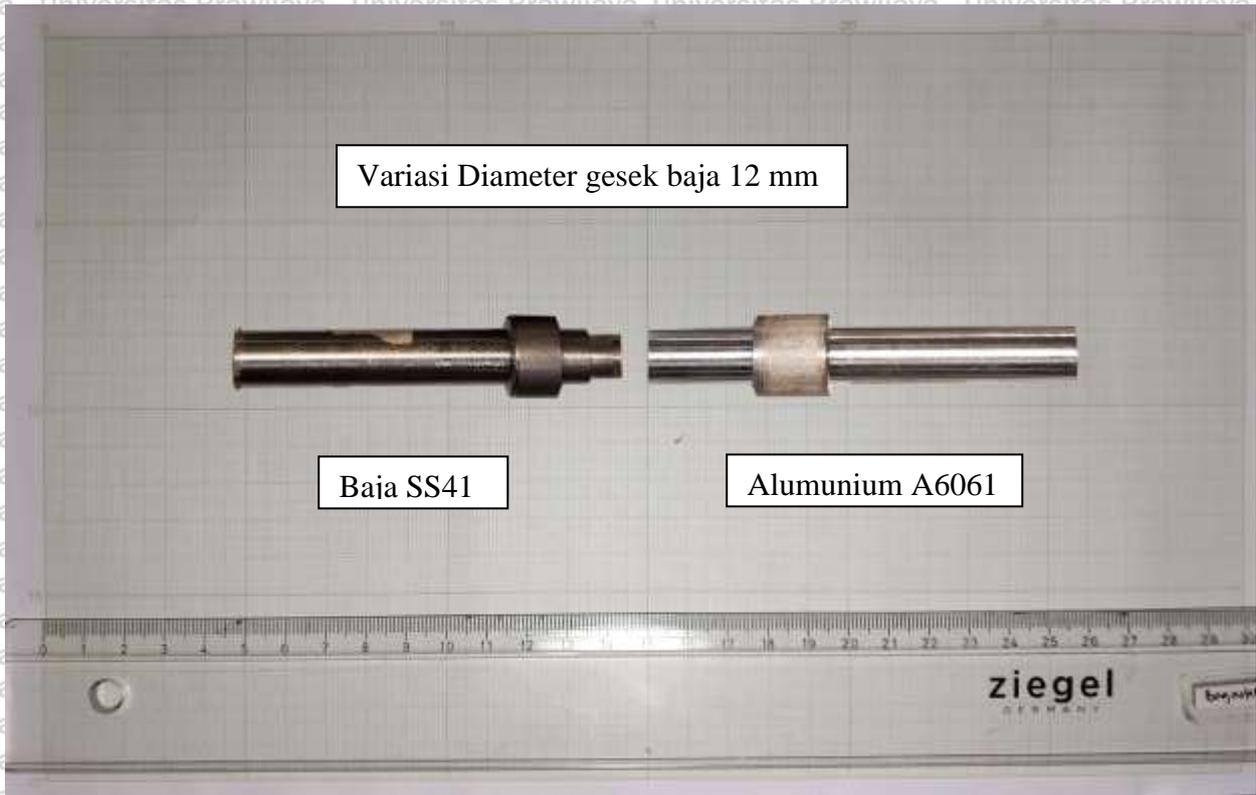
Approved By:  
Kabag. Quality Control



Prepared By:



Lampiran 6 Foto Spesimen Sebelum Pengelasan



**Lampiran 7** Foto Spesimen Setelah Pengelasan

Variasi Diameter gesek baja 9 mm 5 detik



Baja SS41

Alumunium A6061

Variasi Diameter gesek baja 9 mm 7 detik



Baja SS41

Alumunium A6061





Variasi Diameter gesek baja 12 mm 7 detik

Baja SS41

Alumunium A6061



Variasi Diameter gesek baja 12 mm 9 detik

Baja SS41

Alumunium A6061

Lampiran 8 Foto Spesimen Uji Tarik

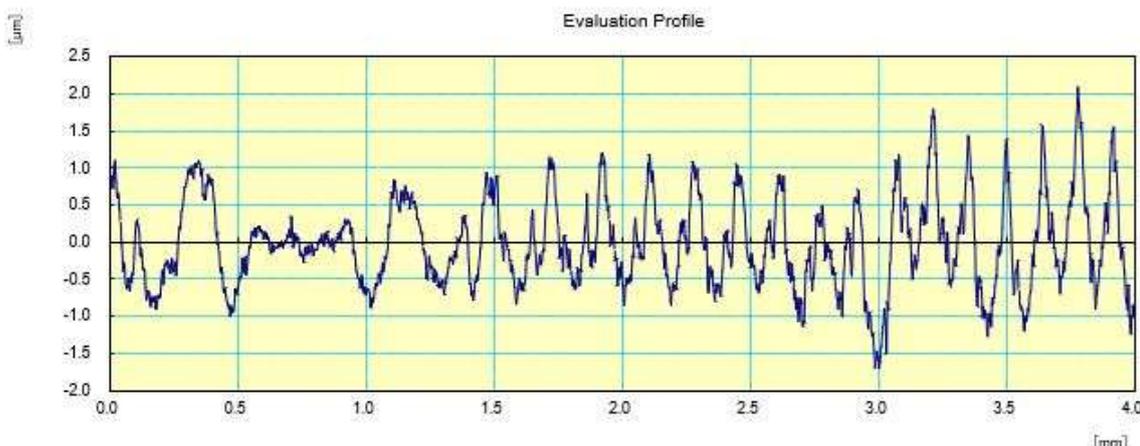


Lampiran 9 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Alumunium A6061



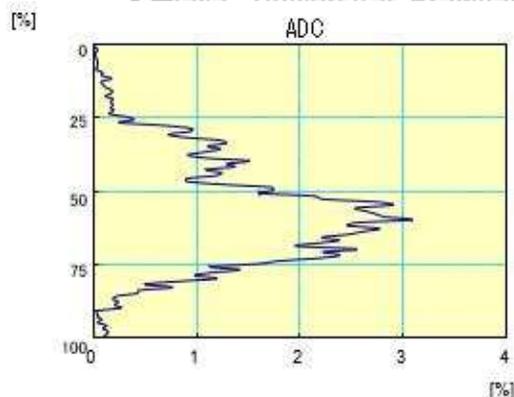
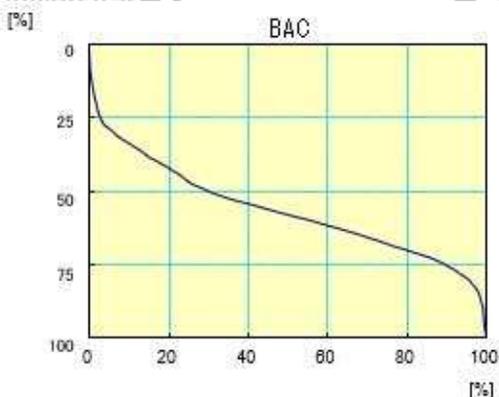
15- Mar -2021

CERTIFICATE OF INSPECTION



Work Name	Sample	Oprator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurfTest	Comment	Ver2.00
Standard	ISO 1997	N	5
Profile	R	Cut-Off	0.8mm
$\lambda_s$	2.5µm	Filter	GAUSS
Ra	0.484 µm		
Rq	0.595 µm		
Rz	2.472 µm		

Copyright (C) 2013 Mitutoyo Corporation

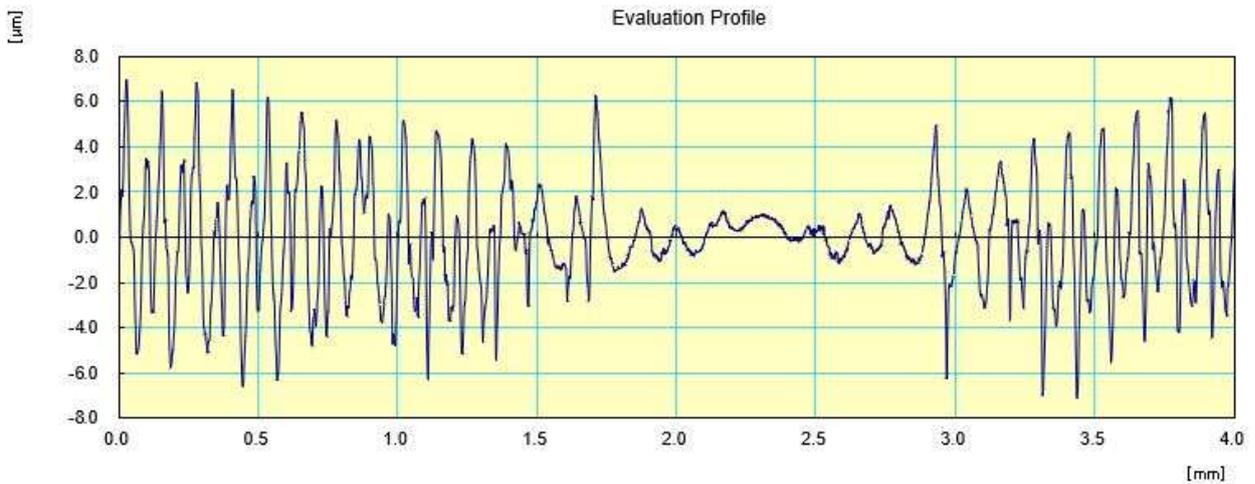


Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Baja SS41 Variasi diameter 12 mm

**Mitutoyo**

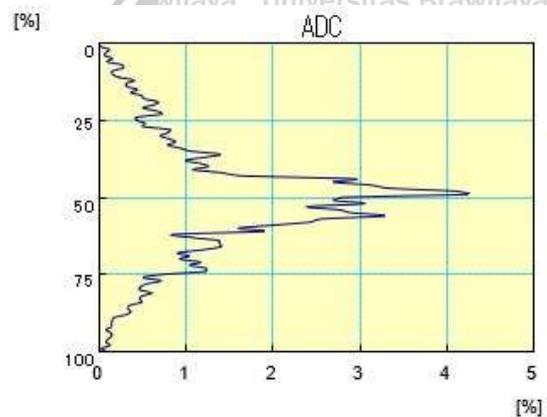
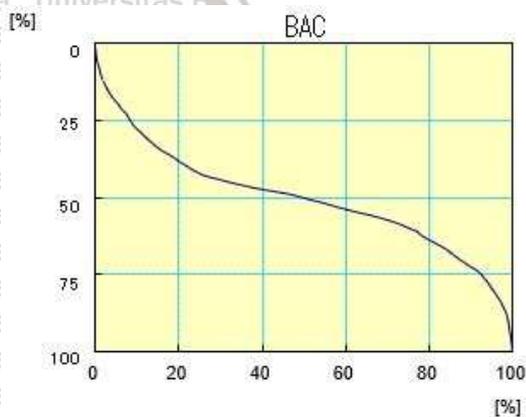
15- Mar -2021

## CERTIFICATE OF INSPECTION



Work Name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurfTest	Comment	Ver2.00
Standard	ISO 1997	N	5
Profile	R	Cut-Off	0.8mm
$\lambda_s$	2.5 $\mu$ m	Filter	GAUSS
Ra	1.806 $\mu$ m		
Rq	2.259 $\mu$ m		
Rz	11.678 $\mu$ m		

Copyright (C) 2013 Mitutoyo Corporation

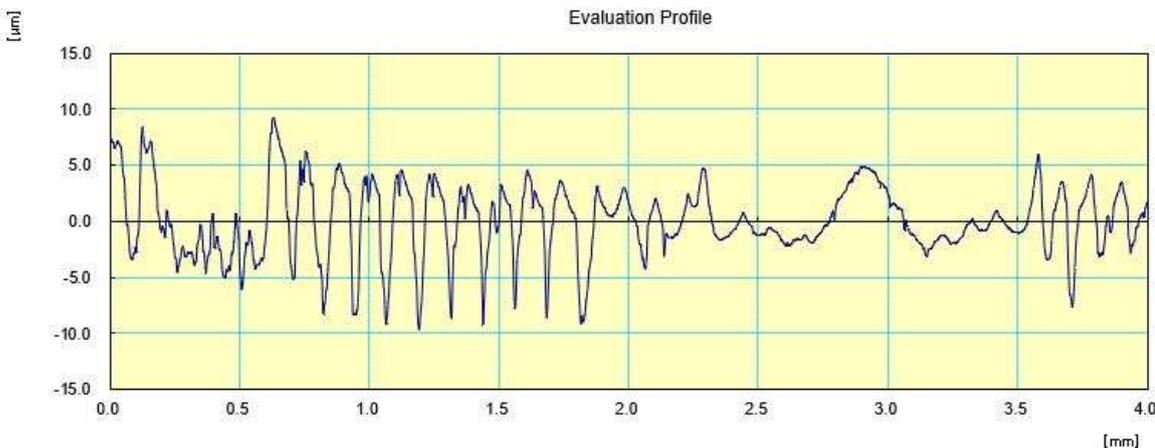


Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Baja SS41 Variasi diameter 12 mm



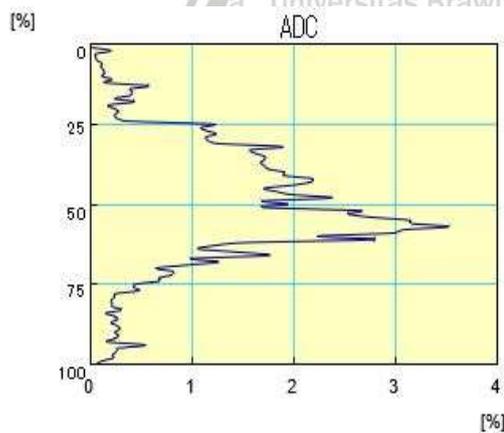
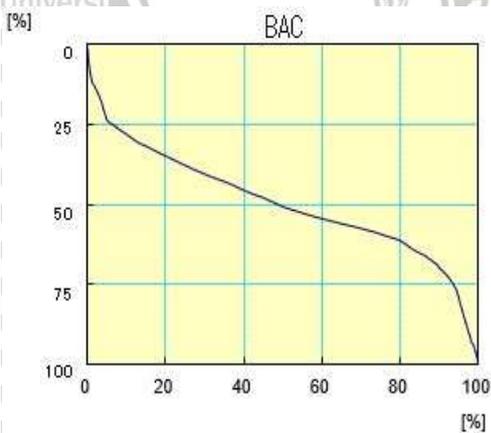
15-Mar-2021

# CERTIFICATE OF INSPECTION



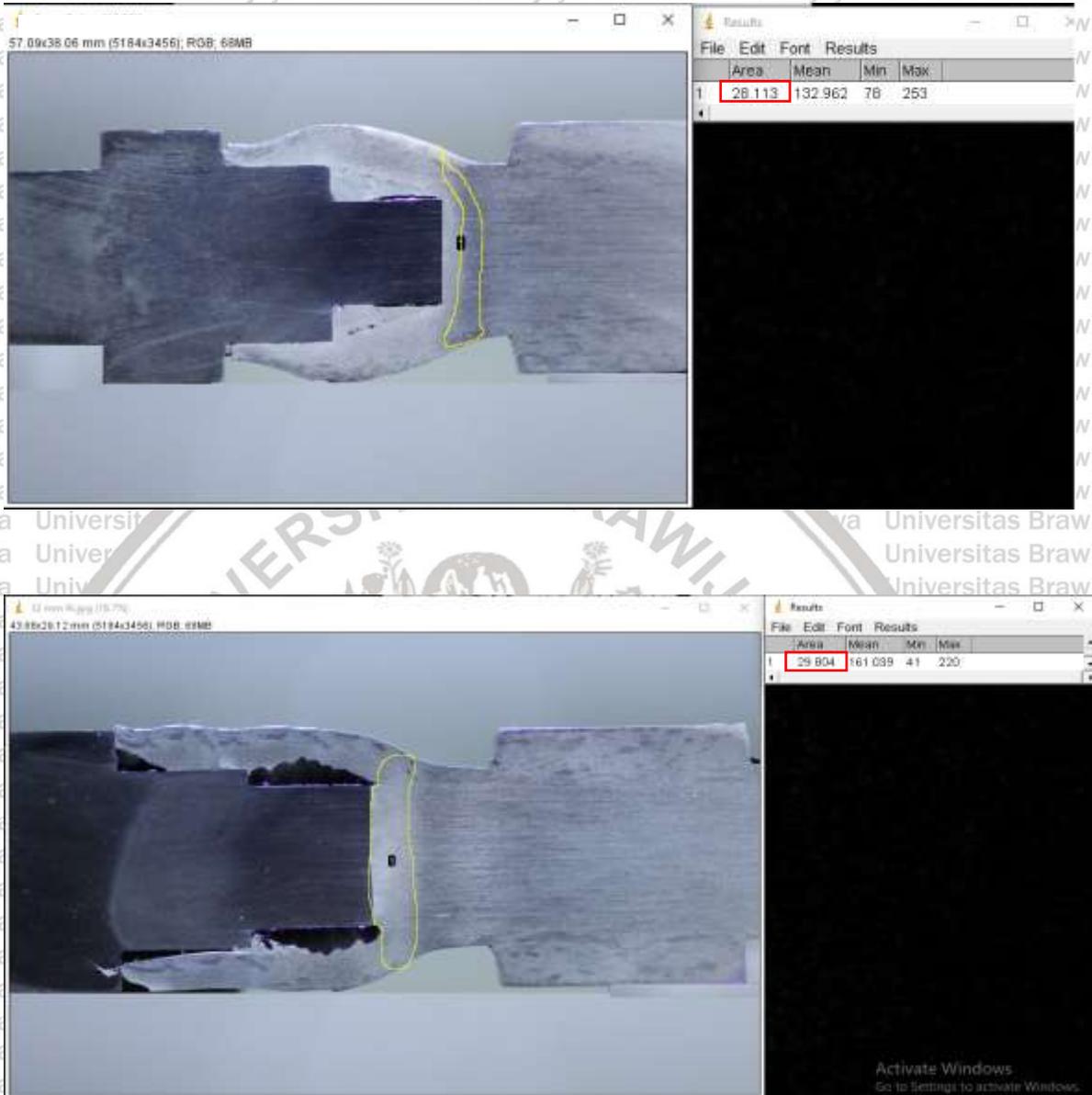
Work Name	Sample	Oprator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurfTest	Comment	Ver2.00
Standard	ISO 1997	N	5
Profile	R	Cut-Off	0.8mm
$\lambda_s$	2.5µm	Filter	GAUSS
Ra	2.521 µm		
Rq	3.104 µm		
Rz	13.097 µm		

Copyright (C) 2013 Mitutoyo Corporation

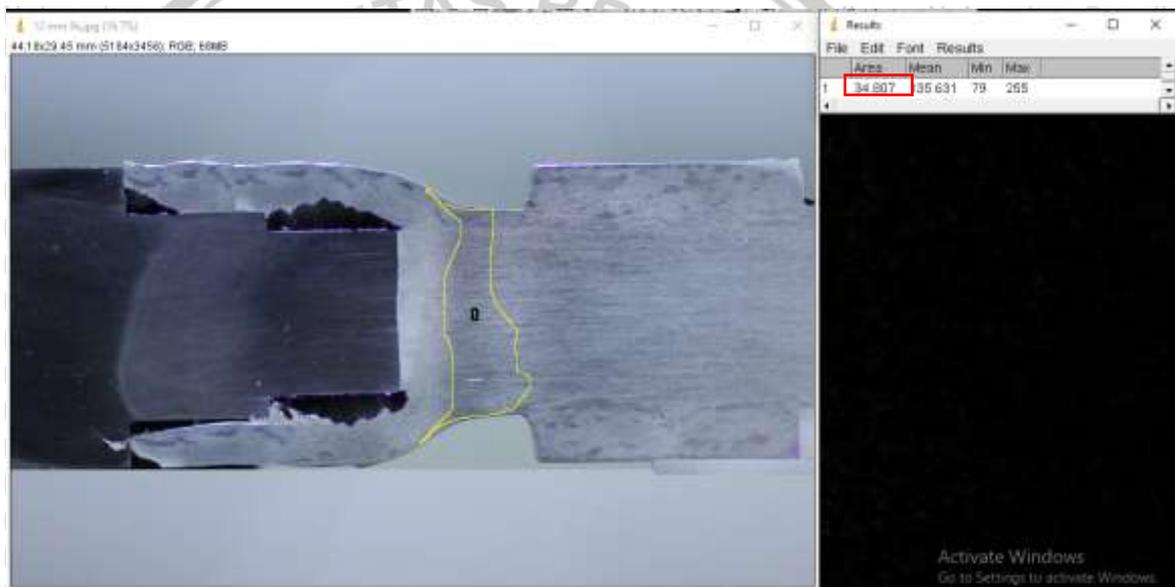
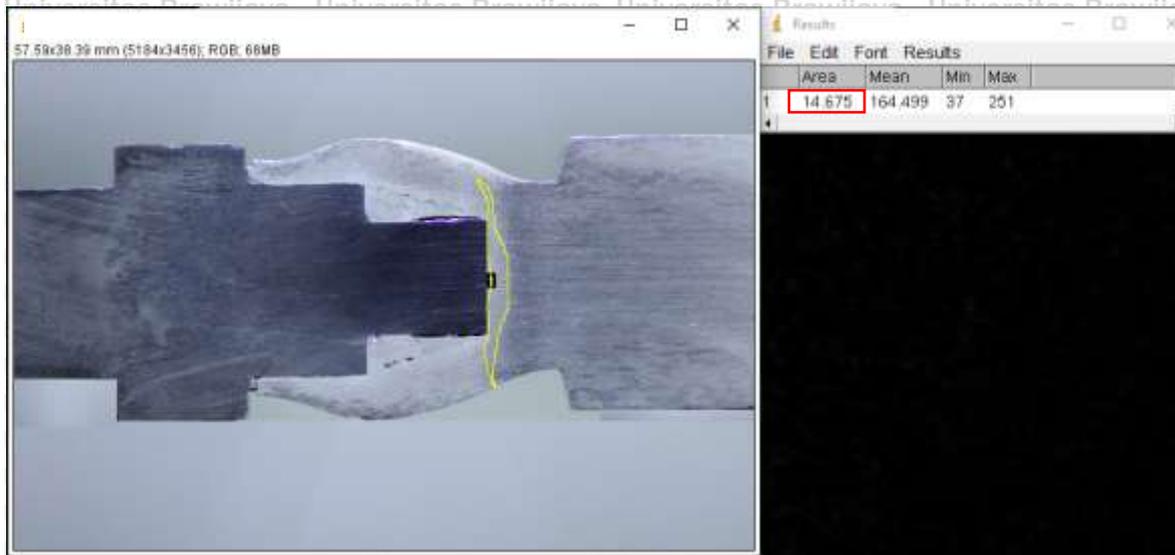


## Lampiran 10 Perhitungan Luas Daerah Zpl dan Zpd

Variasi 9mm 7s (Kekuatan Tarik Tertinggi)

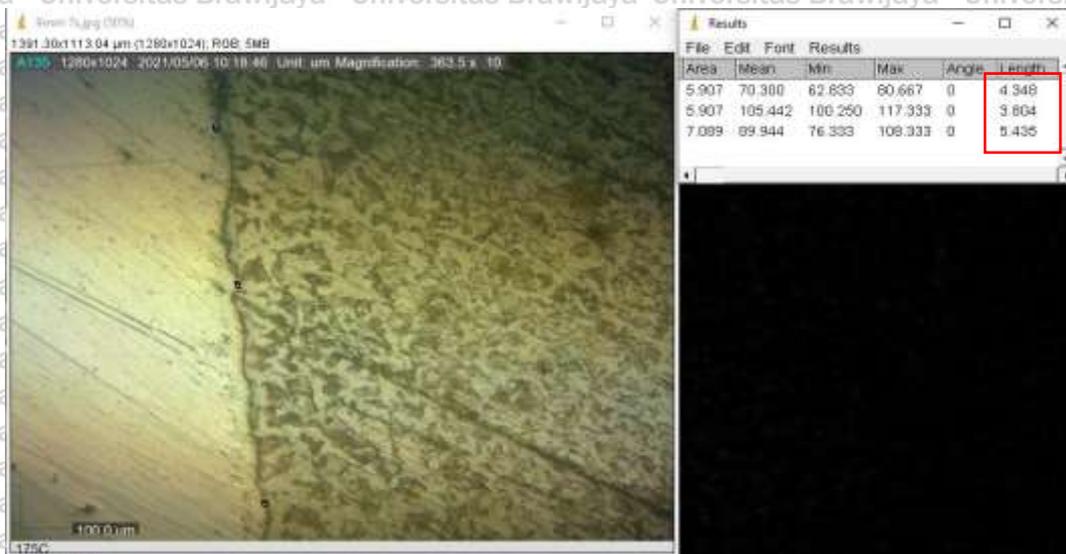


### Variasi 12mm 9s (Kekuatan Tarik Terendah)

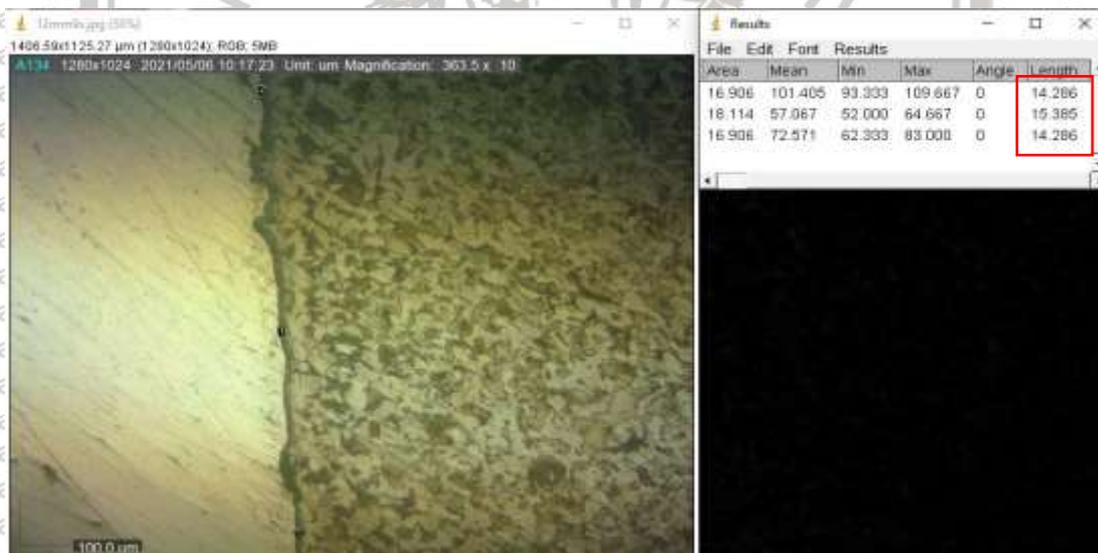


## Lampiran 11 Perhitungan batas daerah sambungan las gesek

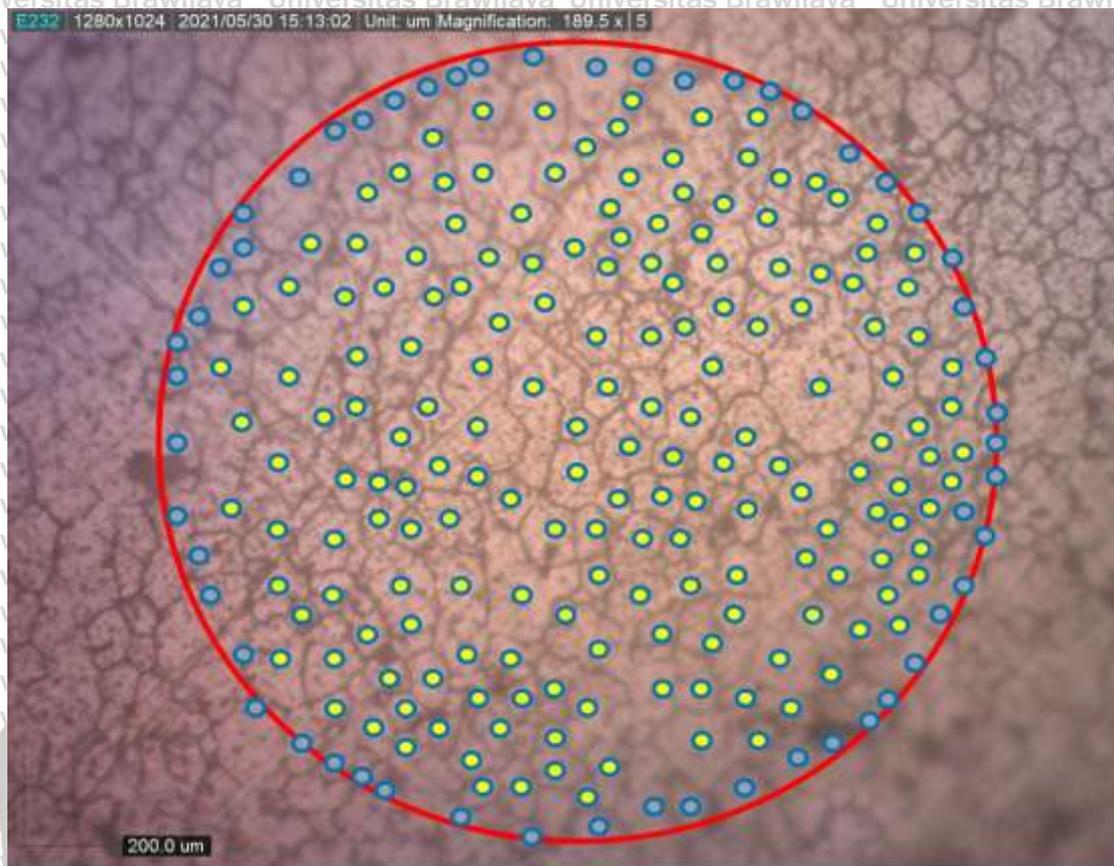
Variasi 9mm 7s (Kekuatan Tarik Tertinggi)



Variasi 12mm 9s (Kekuatan Tarik Terendah)



**Lampiran 12** Perhitungan Jumlah Butir Daerah patahan Spesimen Variasi waktu gesek 7 detik dan diameter gesek baja 9mm



Lampiran 13 Tabel ASTM E 112

Grain Size No. G	$N_A$ Grains/Unit Area		$A$ Average Grain Area		$\bar{D}$ Average Diameter		$\bar{T}$ Mean Intercept		$N_L$ No./mm
	No./in. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	µm <sup>2</sup>	mm	µm	mm	µm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11232.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

