

# UJI TARIK KEKUATAN SAMBUNGAN PENGELASAN LAS GESEK BAJA ST41

Akhmad Fauzi<sup>1</sup>, Nur Aidi Ariyanto<sup>2</sup>, M.Taufik Qurohma<sup>3</sup>

Email : [fauziakhmad261@gmail.com](mailto:fauziakhmad261@gmail.com)

POLITEKNIK HARAPAN BERSAMA TEGAL

Jl. Dewi Sartika No.71 Telp. 521117 Telp. 0283350567

Website : [www.poltektegal.ac.id](http://www.poltektegal.ac.id) Email : sekretariat@poltektegal.ac.id

## ABSTRAK

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan teknik pengelasan dengan memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan. Permukaan dari dua bahan yang akan disambung, salah satu berputar sedang lainnya diam, dikontakkan oleh gaya tekan. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan secara kontinu sehingga panas yang ditimbulkan oleh gesekan yang kontinu akan terus meningkat. Dengan gaya tekan dan panas pada kedua permukaan hingga pertemuan kedua bahan mencapai suhu leleh (*melting temperature*) maka terjadilah proses las. Dalam penelitian ini dilakukan pengelasan gesek langsung. Proses yang dilakukan adalah dengan memvariasikan kecepatan putaran gesek yang digunakan sebesar 2300rpm, 3100rpm, tekanan gesek 100Psi dan dalam durasi waktu yang sama 30 detik sampai temperatur tertentu. Efek dari tekanan gesek, kecepatan gesek, dan durasi waktu gesek terhadap benda kerja dianalisa melalui uji tarik. Dari penelitian ini dapat kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada putaran 3100rpm, tekanan gesek 100Psi dan durasi waktu 30 detik yaitu untuk kuat tarik sebesar 401,36 N/mm<sup>2</sup>, kuat luluh 308,93 N/, regangan 12,42N/mm<sup>2</sup> putus di luar lasan. Kekuatan tarik terendah pada putaran gesek 2100rpm, tekanan gesek 100Psi dan durasi waktu 30detik menghasilkan kekuatan tarik yaitu sebesar 350,50 N/mm<sup>2</sup>, kuat luluh 252,23 N/mm<sup>2</sup>, regangan 11,92 N/mm<sup>2</sup>. Perubahan kecepatan gesek, durasi gesek dan tekanan gesek mempengaruhi hasil pengelasan gesek yang berbeda dan mempengaruhi kekuatan uji tarik yang berbeda.

**Kata kunci:** Baja ST41, kekuatan sambungan, tekanan gesek, durasi tekanan, uji tarik.

## ABSTRAC

*Friction welding is a welding technique by utilizing the heat generated by friction. The surfaces of the two materials to be joined, one rotating and the other stationary, are brought into contact by a compressive force. Friction on the two contact surfaces is carried out continuously so that the heat generated by continuous friction will continue to increase. With the compressive force and heat on both surfaces until the meeting of the two materials reaches the melting temperature, a welding process occurs. In this study, direct friction welding was carried out. The process carried out is by varying the rotational speed of the friction used by 2300rpm, 3100rpm, frictional pressure of 100Psi and in the same time duration 30 seconds to a certain temperature. The effects of frictional pressure, frictional speed, and friction time duration on the workpiece were analyzed by means of a tensile test. From this study, the highest tensile strength was obtained at 3100 rpm, frictional pressure of 100 PSI and time duration of 30 seconds, namely for tensile strength of 401.36 N/mm<sup>2</sup> yield strength of 308.93 N/mm<sup>2</sup>, strain of 12.42 N/mm<sup>2</sup> at break outside the weld. The lowest tensile strength at frictional rotation of 2100rpm, frictional pressure of 100Psi and a duration of 30 seconds produces a tensile strength of 350.50 N/mm<sup>2</sup>, yield strength 252.23 N/mm<sup>2</sup>, strain 11.92 N/mm<sup>2</sup>. Changes in friction speed, duration of friction and frictional pressure affect different friction welding results and affect different tensile test strengths.*

**Kata kunci:** Baja ST41, kekuatan sambungan, tekanan gesek, durasi tekanan, uji tarik.

## 1. Pendahuluan

Pengelasan adalah sebuah ikatan karena adanya proses metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Dari pengertian tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa pengertian las adalah sebuah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.[1].

Berdasarkan cara kerjanya ada beberapa jenis-jenis pengelasan diantaranya pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pada pengelasan tekan terdiri dari beberapa macam las, termasuk las gesek. Pada las gesek proses pengelasan menggunakan energi putaran yang nantinya akan terjadi gesekan dan menimbulkan panas yang tinggi dan dapat digunakan untuk proses pengelasan yang biasanya disebut dengan proses *friction welding* [2].

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan teknik pengelasan dengan memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan. Permukaan dari dua bahan yang akan disambung, salah satu berputar sedang lainnya diam, dikontakkan oleh gaya tekan. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan secara kontinu sehingga panas yang ditimbulkan oleh gesekan yang berkelanjutan akan terus meningkat. Dengan gaya tekan dan panas pada kedua permukaan hingga pertemuan kedua bahan mencapai suhu leleh (*melting temperature*) maka terjadilah proses las.[3].

Uji tarik merupakan salah satu cara untuk mengetahui kekuatan dari suatu material, pengujian tarik dilakukan pada mesin *Hydraulic Universal Material Testing Machine* dengan menggunakan metode SNI 8389-2017. Pengujian dilakukan dengan diberikan beban statis yang meningkat secara perlahan sampai spesimen akhirnya patah. Selama pembebanan mesin merekam pertambahan beban dan perpanjangan spesimen dalam bentuk grafik. Dalam pengujian tarik akan di dapatkan nilai tarik pembebanan yang diberikan pada spesimen melalui penerapan gaya-gaya aksial ada ujung-ujung spesimen yang disebut dengan tegangan tarik. Nilai tegangan tarik diketahui dengan persamaan nilai gaya (N) dibagi dengan luas penampang spesimen ( $\text{mm}^2$ ). Maka dari hasil tersebut akan didapatkan nilai tegangan tarik spesimen. Uji tarik juga mengalami penambahan panjang akibat tarikan pada ujung-ujung spesimen yang diuji yang disebut regangan. Nilai regangan dapat diketahui dari panjang spesimen setelah pengujian (mm) dikurangi panjang sebelum pengujian (mm). lalu dibagi panjang spesimen sebelum pengujian (mm). kemudian mencari presentase regangan yang terjadi dengan dikali seratus persen (100%). Maka didapatkan presentase regangan yang terjadi akibat pengujian tarik pada spesimen. Selain itu pengujian tarik juga didapatkan ketahanan deformasi elastis untuk mengukur kekakuan spesimen. Nilai kekakuan spesimen disebut *modulus of elastisitas*, yang dapat dihitung dengan cara membagi nilai tegangan ( $\text{Kg/mm}^2$ ) dengan nilai regangan (%). Maka akan didapatkan nilai *modulus of elastisitas* specimen.[4].

Dalam proses pengelasan gesek/*friction welding*, kecepatan putaran merupakan variabel yang sensitif dan dalam hal ini dapat divariasikan jika waktu dan temperatur pemanasan serta tekanan dikontrol dengan baik.

Berdasarkan latar belakang diatas maka Tugas Akhir ini peneliti mengambil judul “Uji Tarik Kekuatan Sambungan Las Gesek Baja ST 41”.

## 2. Landasan Teori Pengelasan

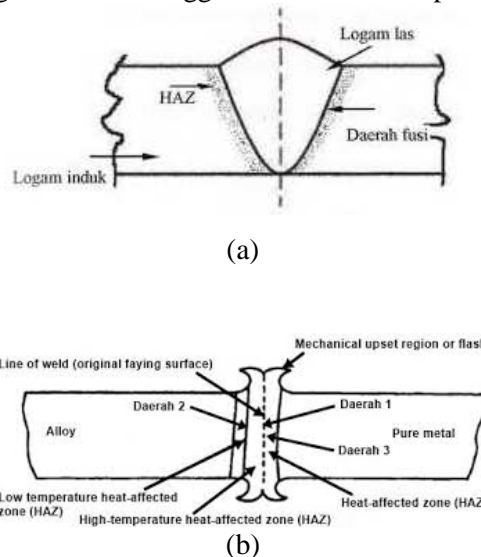
Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa tekanan, atau dapat didefinisikan sebagai akibat dari metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Sebelum atom-atom tersebut membentuk ikatan, permukaan yang akan menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap.

Proses pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi. Bila permukaan yang rata dan bersih ditekan, beberapa kristal akan tertekan dan bersinggungan. Bila tekanan diperbesar daerah singgungan ini akan bertambah luas. Lapisan oksida yang meluas akan rapuh dan pecah sehingga logam mengalami

deformasi plastis sehingga batas antara dua permukaan kristal dapat menjadi satu (*difusi*) dan terjadilah sambungan maka disebut pengelasan padat. [5].

### Solid State Welding

(*Solid State Welding*) adalah proses yang menghasilkan penggabungan dari permukaan spesimen pada temperatur di bawah titik leleh logam dasar yang disambung tanpa penambahan logam pengisi. Proses ini melibatkan baik penggunaan deformasi atau difusi dan deformasi terbatas untuk menghasilkan sambungan yang berkualitas tinggi antara bahan serupa maupun berbeda.



Gambar 1 Daerah las (a) pengelasan fusi (b) non fusi  
Setyadianto, (2015).

Sambungan logam yang berbeda diperlukan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan sifat material dalam komponen yang sama. Bahan berbeda dapat dipilih berdasarkan sifat fisik atau material yang mempengaruhi fenomena yang sedang dipelajari. Untuk alasan apapun, dan metode yang tepat untuk memproduksi sambungan logam berbeda biasanya dapat ditentukan (dengan asumsi bahkan dimungkinkan) dengan memeriksa diagram fase. Jika diagram menunjukkan kesulitan dalam penyambungan dengan bahan (*intermetallics* dan sebagainya), maka proses kondisi padat (*non melting*) mungkin yang berlaku. Ketika proses *non melting* dipilih, hanya akan relatif berhasil jika sambungan kuat yang dihasilkan. Gambar 1. (a) menunjukkan profil dari daerah pengelasan non fusi, di mana terdapat daerah-daerah las yaitu daerah fusi (*Fusion Zone*), PMZ (*Partially Melted Zone*), daerah terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk (*Base Metal*) sedangkan gambar 1. (b) menunjukkan profil daerah pengelasan non fusi dimana terdapat daerah tempa, daerah terpengaruh panas (HAZ) dan logam induk (*Base Metal*).

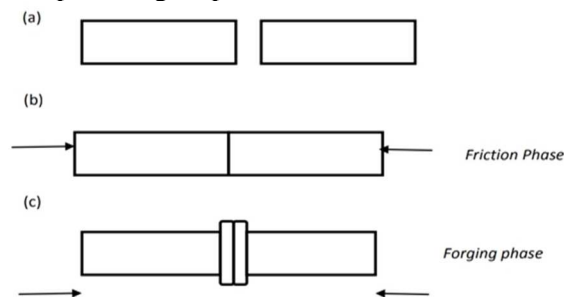
Dalam mekanisme tempa terjadi perbaikan kualitas butiran, porositas menurun dan homogenitas komposisi pada benda kerja, dan semakin tinggi nilai tempa maka perpindahan porositas akan lebih cepat dan menyebabkan kualitas butiran semakin baik. Pada daerah tempa terjadi proses difusi *integrannular* dimana proses tersebut dipengaruhi oleh tekanan tempa, jika tekanan tempa mencapai titik ideal maka kekuatan pada sambungan akan semakin tinggi dan memungkinkan sambungan akan patah pada daerah HAZ ketika dilakukan pengujian tarik karena terjadi kerapatan butiran pada sambungan lasan.

## Las Gesek



Gambar 2. Mesin Las gesek

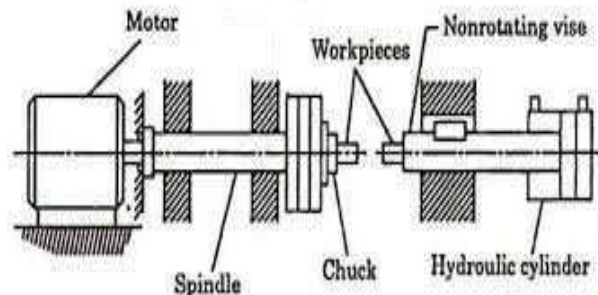
Las Gesek / *Friction welding* termasuk jenis pengelasan *solid state welding* dimana proses pengelasan dilakukan pada fasa padat. Panas pengelasan diperoleh dari konversi langsung energi mekanik menjadi energi termal melalui gesekan. Benda tidak memerlukan sumber panas dari listrik atau pembakaran. Panas yang dihasilkan dari proses gesekan antara *interface* akan menaikkan temperatur benda dalam arah aksial dengan jarak yang relatif sangat pendek. Penyambungan terjadi ketika permukaan *interface* mencapai temperatur dibawah temperatur cair. Pengelasan terjadi akibat pengaruh tekanan pada pencampuran logam plastis dan mekanisme difusi.[6].



Gambar 3. Tahapan Proses *Friction Welding*. (kalpakjian, 1995).

### Tekanan Teknik Pengelasan

Ada dua cara untuk melaksanakan proses *friction welding*, yaitu *direct drive welding* dan *inertia driving welding*. *Direct drive welding* sering disebut sebagai konvensional *friction welding*, menggunakan motor yang memiliki kecepatan konstan untuk energi masukannya. *Inertia drive welding* sering juga disebut dengan *flywheel friction welding* menggunakan energi simpanan *flywheel* sebagai energi masukan dalam proses penyambungan.[7].



Gambar 4. *Friction Welding* dengan cara *Direct-Drive Welding* (ASM Handbook , 1996).

### Kecepatan Putaran

Kecepatan rotasi dan tekanan aksial yang lebih rendah biasanya digunakan dalam *inertia drive welding*. Ada rentang yang optimal dari kecepatan putaran untuk setiap kombinasi logam yang disambung. Dalam pengelasan inersia, kecepatan putaran terus menurun selama tahap gesekan, sedangkan pada pengelasan *direct-drive welding* di kecepatan gesekan tetap konstan. Panas yang dihasilkan dari bahan di permukaan benda kerja menyebabkan deformasi plastik, panas yang dihasilkan oleh gesekan pada fase gesekan, adalah sumber utama dalam tahap penempaan untuk mencegah cepatnya penurunan suhu pada antar permukaan. Maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran mempengaruhi cepat lambatnya temperatur yang dibangkitkan, semakin tinggi kecepatan putaran maka torsi dan energi yang dihasilkan juga semakin besar sehingga membutuhkan gaya pengereman yang semakin besar juga. [8].

### Durasi Gesek

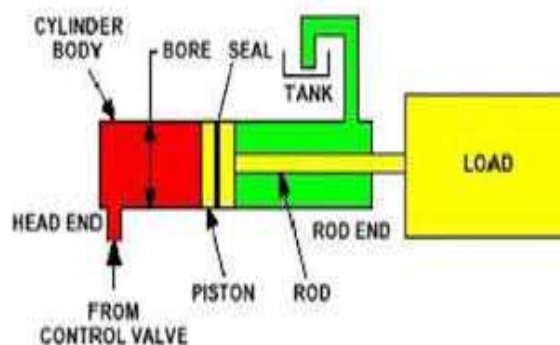
Pengaruh Durasi Gesekan terhadap distribusi temperature saat proses gesekan berlangsung sampai mencapai temperature tempa, sehingga pada permukaan logam dasar terbentuk permukaan tempa. Untuk durasi gesekan yang semakin lama daerah permukaan tempa yang terbentuk akan semakin besar, karena panas gesekan merupakan perbandingan lurus dengan fungsi bertambahnya waktu. Selain kecepatan putaran yang dipilih untuk menghasilkan baik jumlah energi kinetik, *inersia* dan jumlah tekanan tempa yang diberikan. Durasi gesekan yang lama diperlukan jika karakteristik kecepatan putaran yang terjadi pada pengelasan pada permukaan rendah. Durasi ini dalam kombinasi dengan tekanan aksial menghasilkan panas. Karena durasi gesekan dimulai pada awal proses gesekan terjadi sampai proses penempaan terjadi, maka jumlah menempa tergantung pada panas yang dibangkitkan dari kecepatan gesekan dan durasi menempa sehingga menghasilkan jumlah energi yang ada pada motor dan *inersia* yang ada pada poros juga. Jika motor berkecepatan tinggi maka durasi yang dibutuhkan akan semakin rendah, tetapi memiliki jumlah energi kinetik yang sama.[9].

### Tekanan Aksial

Efek dari berbagai tekanan aksial berlawanan dengan efek dari memvariasikan kecepatan. Tekanan yang berlebihan menghasilkan lasan dengan kualitas yang jelek pada bagian pusat dan memiliki *upset welds* dalam jumlah besar, mirip dengan mengelas dibuat pada kecepatan rendah.

Jika ada tekanan aksial berbeda di dalam fase 1 dan 3, proses ini disebut dua tahap pengelasan, yaitu tekanan gesek dan tekanan penempaan, keduanya dimasukkan sebagai parameter gaya aksial las. Di sisi lain ketika tekanan tetap konstan selama proses berlangsung, hal itu disebut satu-tahap pengelasan. Gesekan kedua torsi dalam dua tahap pengelasan secara umum lebih tinggi dari pada satu tahap pengelasan karena gaya aksial yang diterapkan lebih besar, dalam fase 3. Seperti dinyatakan di bagian "*Direct-Drive Friction Welding*", pada satu tahap pengelasan tergantung pada saat pengereman dan peningkatan waktu pengereman. Perhitungan tekanan gesek dan tekanan tempa pada benda kerja yang ditekan oleh hidrolik yang digunakan dapat menghasilkan tekanan gesek dan tekanan tempa dapat dijelaskan sebagai berikut :[10]

Gaya aksial yang bekerja :



Gambar 5. Skema piston hidrolik (Dicky Satyadianto, 2015).

$$\text{Rumus Tekanan Hidrolik 1 ; } F = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

F : Gaya Aksial (N)

P : Tekanan Hidraulik (*pressure gauge*) (N/m)

A : Luas Permukaan Piston Hidraulik (m)

Setelah diketahui gaya pada hidraulik maka dapat dicari tekanan gesek dan tekanan tempa pada benda kerja :

$$\text{Rumus Tekanan Hidrolik 2 ; } P = F \cdot A$$

Keterangan :

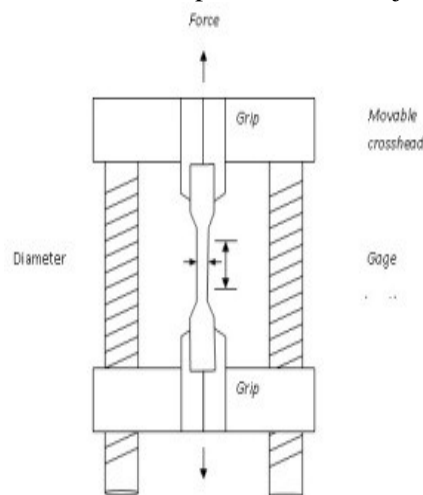
P : Tekanan Benda Kerja (N/m)

F : Gaya Aksial (N)

A : Luas Permukaan Benda Kerja (mm)

### Uji Tarik

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok raw materials. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda.[11]



Gambar 6. Uji Traik (Wiryosumarto, 2008).

### Material Baja

Menurut (Furqon, 2016) [12] Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin, struktur bangunan, dan lain sebagainya, baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase komposisi kimia karbon dalam baja yakni sebagai berikut :

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)
2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)
3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*).

### Baja ST 41

Baja ST 41 adalah salah satu dari baja karbon rendah. Bahan ini termasuk dalam golongan baja karbon rendah karena dalam komposisinya mengandung karbon sebesar 0,08%-0,20%. Baja karbon rendah sering digunakan dalam komponen mesin-mesin industri seperti gear, rantai, skrup dan poros. Selain itu juga baja ST 41 juga digunakan sebagai handle rem sepeda motor, bodi mobil, pipa saluran,

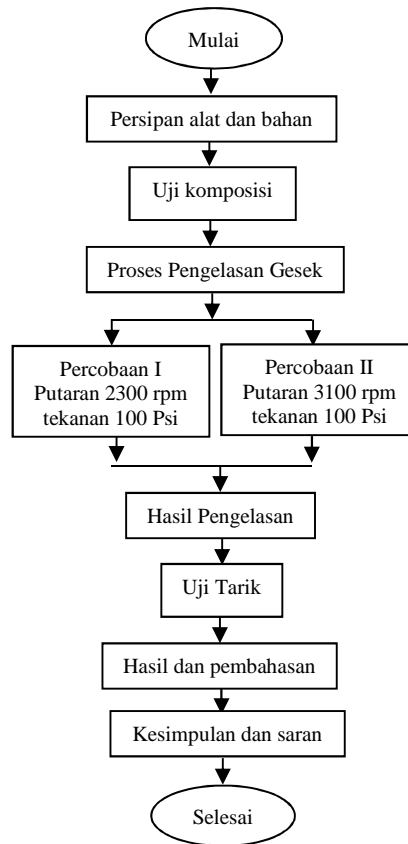
kontruksi jembatan, rivet. Baja ST 41 juga merupakan baja struktur sifat-sifat yang dimiliki oleh baja ST 41 mempunyai kekuatan yang cukup tinggi, mempunyai nilai kekerasan yang cukup, stabilitas dimensi yang baik.[13].



Gambar 7. Baja ST 41  
(Dokumentasi 2021).

### 3. Metode penelitian

#### Diagram alur penelitian



#### Metode penelitian

Metode pengumpulan data dilakukan dengan cara mencari studi literatur, yaitu mengumpulkan data-data dari internet, buku referensi, dan jurnal-jurnal yang relevan terkait dengan topik penelitian.

Table 1. Bentuk hasil uji Tarik

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji I	Hasil Uji II	Hasil Uji III	Rata-rata
Diameter	Mm				
Kuat Tarik	N/mm <sup>2</sup>				
Kuat Luluh	N/mm <sup>2</sup>				
Regangan	%				
Keterangan	-				

#### Metode analisis data

Dari data yang diambil kemudian dianalisa untuk menentukan variasi kecepatan putaran yang paling baik terhadap mesin las gesek dari hasil pengelasannya. Pada pengujian pertama menggunakan 2300 rpm 3 kali pengujian yang bertekanan 100 Psi.

Pada pengujian kedua menggunakan kecepatan rpm 3100 tiga kali percobaan yang bertekanan 100 psi juga, dengan durasi waktu 30 detik. Disetiap perbedaan kecepatan mengambil data masing-masing agar mudah melihat hasil analisa.



#### 4. Hasil dan pembahasan

##### Hasil uji komposisi

Baja ST 41 termasuk termasuk dalam golongan baja karbon rendah karena dalam komposisinya mengandung karbon sebesar 0,08%-0,20% C.

tabel 2. Hasil uji komposisi baja ST 41

No	Unsur	Kandungan Unsur (%)	STD
1	Fe	Balance	Balance
2	C	0,096	-
3	Si	0,102	-
4	Mn	0,839	-
5	P	0,107	-
6	S	-	-
7	Cr	0,010	-
8	Ni	0,28	-
9	Mo	0,010	-
10	Cu	0,017	-
11	Al	0,0064	-
12	V	0,010	-
13	W	0,100	-
14	Co	0,0050	-
15	Nb	0,0050	-
16	Ti	0,0030	-
17	Mg	0,0055	-

##### Hasil uji Tarik

Dari percobaan dengan variasi kecepatan gesek, tekanan gesek dan durasi gesek yang telah dilakukan, didapatkan data sifat mekanik yaitu kekuatan uji tarik dari masing-masing parameter.

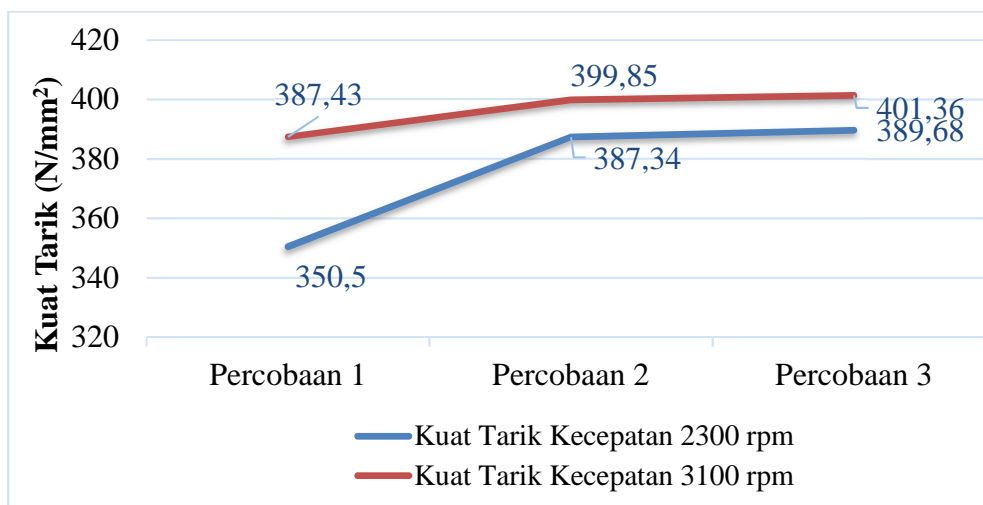
Hasil pengujian kuat tarik pada spesimen hasil pengelasan las gesek didapatkan pengujian tarik seperti pada tabel berikut :

Tabel 4. Tabel hasil uji Tarik 2300 rpm

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji I	Hasil Uji II	Hasil Uji III	Rata-rata
Diameter	Mm	12,79	12,12	12,56	12,49
Kuat Tarik	N/mm <sup>2</sup>	350,50	387,34	389,68	375,84
Kuat Luluh	N/mm <sup>2</sup>	252,23	352,40	306,20	303,61
Regangan	%	11,92	4,26	6,98	7,72
Keterangan	-	Putus di daerah las	Putus di daerah las	Putus di daerah las	Putus di daerah las

Tabel 5. Tabel hasil uji Tarik 3100 rpm

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji I	Hasil Uji II	Hasil Uji III	Rata-rata
Diameter	Mm	13,35	12,38	12,71	12,81
Kuat Tarik	N/mm <sup>2</sup>	387,43	12,38	401,36	396,21
Kuat Luluh	N/mm <sup>2</sup>	285,54	308,93	307,39	300,62
Regangan	%	19,94	12,42	13,78	15,38
Keterangan	-	Putus di luar las	Putus di luar las	Putus di luar las	Putus di luar las



Hasil pengelasan gesek dengan putaran 2300 rpm dari 3 percobaan yang menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi pada percobaan ke-3 dengan hasil kuat tarik 389,68 N/mm<sup>2</sup>. Berarti di 3 percobaan pada putaran 2300 rpm mempunyai nilai rata – ratanya 396,21 N/mm<sup>2</sup>. Dan pada putaran 3100 rpm dari 3 percobaan yang menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi pada percobaan ke-3 dengan hasil kuat tarik 401,36 N/mm<sup>2</sup> yang mempunyai nilai rata – ratanya 396,21 N/mm<sup>2</sup>.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari data pengujian tarik sambungan las gesek baja ST 41 yang didapatkan dari pengujian variasi putaran gesek, tekanan gesek dan durasi gesek terhadap nilai kekuatan tarik dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian pertama kecepatan 2300 rpm, bertekanan 100 Psi durasi waktu 30 detik menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi yaitu sebesar 389,68 N/mm<sup>2</sup> dengan keterangan putus di daerah las-lasan. Sedangkan pada pengujian ke dua kecepatan 3100 rpm, bertekanan 100 Psi durasi waktu 30 detik menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi yaitu sebesar 401,36 N/mm<sup>2</sup> dengan keterangan putus di luar las-lasan.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Arsyad, Z. I. (2019). PENGARUH VARIASI RAPAT ARUS DAN ELEKTRODA DARI PENGELASAN SMAW PADA MATERIAL ASTM A213 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN DISTRIBUSI KEKERASAN HASIL PENGELASAN. FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG.
- [2] Kalpakjian, S. (1995). *Manufacturing Processes For Engineering And Technology*. Addison Wesley Publishing Company.
- [3] Affifi, M. Z. (2014). Rancang Bangun Mesin Las Gesek (Perawatan Dan Perbaikan). Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya Jurusan Teknik Mesin.
- [4] Idra Putra, A. K. (2019). ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN IMPACT HASIL SAMBUNGAN LAS GESEK PADA BAJA ST 37. Padang: Universitas Negeri Padang, Indonesia.
- [5] Setyadianto, D. (2015 : Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya). Pengaruh Variasi Tekanan Gesek, Tekanan Tempa Dan Durasi Gesek Terhadap Kekuatan Impact Pada Sambungan Las Gesek (Friction Welding) Dengan Menggunakan Baja Paduan Aisi 4140.
- [6] Kalpakjian, S. (1995). *Manufacturing Engineering and Technology*. Addison Wesley Publishing Company.
- [7] Handbook, A. (1996). *Welding and Brazing*. Vol.12.
- [8] Satyadianto, D. (2015). Pengaruh Variasi Tekanan Gesek, Tekanan Tempa Dan Durasi Gesek Terhadap Kekuatan Impact Pada Sambungan Las Gesek (Friction Welding) Dengan Menggunakan Baja Paduan AISI 4140. SURABAYA : FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER .
- [9] Satyadianto, D. (2015). Pengaruh Variasi Tekanan Gesek, Tekanan Tempa Dan Durasi Gesek Terhadap Kekuatan Impact Pada Sambungan Las Gesek (Friction Welding) Dengan Menggunakan Baja Paduan AISI 4140. SURABAYA : FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER .
- [10] Satyadianto, D. (2015). Pengaruh Variasi Tekanan Gesek, Tekanan Tempa Dan Durasi Gesek Terhadap Kekuatan Impact Pada Sambungan Las Gesek (Friction Welding) Dengan Menggunakan Baja Paduan AISI 4140. SURABAYA : FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER .
- [11] Wiryosumarto, H. (2008). PT Balai Pustaka (Persero)). *Teknik Pengelasan Logam*.
- [12] Gusti Rusydi Furqon S, M. F. (2016). ANALISA UJI KEKERASAN PADA POROS BAJA ST 60 DENGAN MEDIA PENDINGIN YANG BERBEDA. Banjarmasin : Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari.
- [13] Wiryosumarto, H. (2000). *Teknik Pengelasan Logam*. Erlangga, Jakarta.