

**PENGARUH VARIASI WAKTU GESEK PADA PENGELASAN
GESEK (*FRICTION WELDING*) TERHADAP
KEKUATAN IMPAK BAJA ST37**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun oleh :

Ardi Meiliano NIRM 1041832

**POLITEKNIK MANUFaktur NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2022**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI WAKTU GESEK PADA PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*) TERHADAP KEKUATAN IMPAK BAJA ST37

Oleh :

Ardi Meiliano/NIRM : 1041832

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1



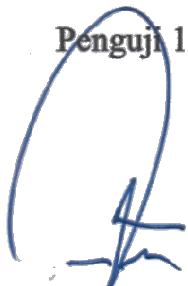
(Rodika, S.S.T.,M.T)

Pembimbing 2



(Muhamad Riva'I, S.S.T.,M.T)

Penguji 1



(Erwanto, S.S.T.,M.T)

Penguji 2



(Yuli Dharta, S.S.T.,M.T)

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan disini :

Nama: Ardi Meilianto NIRM : 1041832

Dengan Judul : Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (*Friction
Welding*) Terhadap Kekuatan Impak Baja ST37.

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya, dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 13 Januari 2022

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Ardi Meilianto



ABSTRAK

Las gesek adalah suatu metode pengelasan yang dilakukan untuk memperoleh hasil lasan dengan cara melakukan penggesekan pada ujung dua benda kerja, sehingga pada permukaan kontak akan timbul panas, dan permukaan logam didaerah tersebut menjadi cair. Dalam kondisi panas tersebut, gesekan kedua logam dihentikan, sehingga terjadi sambungan las. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu gesek terhadap kekuatan impak pada proses pengelasan gesek pada baja ST37. Baja ST37 yang digunakan adalah berbentuk silinder pejal dengan diameter 13 mm. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan variasi waktu gesek 4 menit, 5 menit, dan 6 menit dengan kecepatan rpm 720 rpm, dan jarak penekanan 3 mm. Dari penelitian yang dilakukan ini, didapat bahwa pengelasan dengan waktu gesek 6 menit menghasilkan nilai tertinggi yaitu untuk energi yang diserap 37,59 Joule, dan untuk harga impak 1,0644 Joule/mm², sedangkan nilai terendah yaitu pada waktu gesek 4 menit dengan nilai energi yang diserap yaitu 17,88 Joule, dan harga impak 0,5109 Joule/mm².

Kata kunci : Las gesek, Waktu Gesek, Baja Karbon Rendah, Impak.

ABSTRACT

Friction welding is a method of reasoning that is carried out to obtain welds by rubbing the ends of two workpieces. so that the contact surface will be hot, and the metal surface in the area becomes liquid. In these hot conditions, the friction between the two metals is stopped, resulting in a welded joint. The purpose of this study was to determine the effect of variations in friction time on the impact strength of the friction welding process on ST37 steel. ST37 steel used is a solid cylinder with a diameter of 13 mm. This study uses an experimental method, with variations in the friction time of 4 minutes, 5 minutes. and 6 minutes with a speed of 720 rpm, and a distance of 3 mm pressing. From this research, it was found that welding with a friction time of 6 minutes produced the highest value for the absorbed energy of 37,59 Joule, and for the impact value of 1,0644 Joule/mm², while the lowest value was at a friction time of 4 minutes with the energy values being absorbed is 17,88 Joule, and the impact price is 0,5109 Joule/mm².

Keywords: Friction Welding, Friction Time, Low Carbon Steel, Impact.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas khadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan makalah proyek akhir ini dengan judul “Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Terhadap Kekuatan Impak Baja ST37”.

Makalah proyek akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan makalah tugas akhir ini tidak akan berjalan lancar tanpa adanya bimbingan, bantuan dan dorongan dari berbagai pihak terutama orang tua penulis yang selalu memberikan do'a dan dukungan semangat. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Keluarga saya tercinta. Kedua orang tua penulis ayah Arizal, dan ibu Sutini, adik saya Arni Septianti, serta saudara-saudara saya yang telah banyak memberikan do'a dan semangat untuk menyelesaikan makalah proyek akhir ini.
2. Bapak Rodika, S.S.T.,M.T selaku dosen pembimbing 1, yang telah banyak memberi masukan dan bimbingan tentang pelaksanaan proyek akhir ini.
3. Bapak Muhamad Riva'i, S.S.T.,M.T selaku dosen pembimbing 2, yang telah banyak memberi masukan dan bimbingan tentang pelaksanaan proyek akhir ini.
4. Bapak Juanda, S.S.T., M.T selaku dosen wali.
5. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin.
7. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur
8. Seluruh Dosen dan Staf Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

9. Orang terdekat penulis Bella Ataria, yang selalu memberi dorongan semangat.
10. Segenap keluarga besar kelas B Teknik Mesin dan Manufaktur angkatan 25 tahun 2018. Terutama teman satu bimbingan saya Muhammad Rizqi Fadilah, dan Picki Ilham yang telah bersama-sama bekerja keras dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
11. Serta semua pihak sahabat, teman-teman, dan orang-orang terdekat lainnya yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian makalah proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu segala kritik dan saran dari pembaca yang membangun, diterima demi kemajuan penelitian ini bersama. Semoga penulisan proyek akhir yang ditulis oleh penulis dapat bermanfaat bagi penulis, dan tentunya terutama bagi pembaca.

Sungailiat, 13 Januari 2022



Ardi Meilianto

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR RUMUS	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)	4
2.2 Baja ST37	5
2.3 Mesin Bubut	6
2.3.1 Kecepatan Putar	6
2.3.2 Eretan	7
2.4 Uji Impak	8
2.4.1 Uji Impak Metode <i>Charpy</i>	8
2.4.2 Uji Impak Metode <i>Izod</i>	9
2.5 Penelitian Terdahulu	10
BAB III METODE PELAKSANAAN	12

3.1 Diagram Alir	12
3.1.1 Study Literatur.....	13
3.1.2 Merancang Instrumen Penelitian.....	13
3.1.3 Persiapan Material dan Alat	14
3.1.4 Proses Las Gesek (<i>friction welding</i>).....	15
3.1.5 Pembuatan Spesimen Uji	15
3.1.6 Pengujian Impak.....	16
3.1.7 Analisis Data	16
3.1.8 Kesimpulan.....	16
BAB IV PEMBAHASAN	17
4.1 Rancangan Eksperimen.....	17
4.2 Persiapan Material dan Alat Untuk Las Gesek	17
4.3 Proses Pengelasan gesek	18
4.3.1 Langkah-Langkah Proses Pengelasan Gesek :	18
4.3.2 Hasil Pengelasan Gesek	19
4.4 Pembuatan Spesimen Uji	20
4.5 Pengujian Impak	20
4.5.1 Data Energi Yang Diserap.....	22
4.5.2 Data Harga Impak	23
4.6 Analisa Data.....	24
4.6.1 Diagram Energi Yang Diserap	24
4.6.2 Diagram Harga Impak	25
4.6.3 Perbandingan Penelitian.....	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3. 1 Desain Eksperimen Benda Uji	14
4. 1 Rancangan Instrumen Penelitian	17
4. 2 Hasil Pengelasan Gesek	19
4. 3 Data Energi Yang Diserap	22
4. 4 Data Harga Impak ($A = 35 \text{ mm}^2$).....	23
4. 5 Perbandingan Hasil Rata-Rata Penelitian	26



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Proses Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)	5
2. 2 Mesin Bubut Krisbow Tipe AOB2 – 25 Model CDL6241	6
2. 3 <i>Chuck</i> pada Mesin Bubut Krisbow Tipe AOB2 – 25 Model CDL6241	7
2. 4 (a) Skala Nonius pada Eretan, dan (b) <i>Tool Post</i> pada Mesin Bubut Krisbow	7
2. 5 Pengujian Impak Metode <i>Charpy</i>	8
2. 6 Pengujian Impak Metode <i>Izod</i>	9
3. 1 Skema Diagram Alir Penelitian	13
3. 2 Ukuran Benda Kerja ST37 untuk Las Gesek	14
3. 3 Spesimen Uji Impak Standar ASTM E23	15
4. 1 Pemasangan Benda Kerja pada (a) <i>Chuck</i> , dan (b) <i>Tool Post</i>	18
4. 2 Benda Kerja dalam Posisi <i>Center</i>	18
4. 3 Proses Pengelasan Gesek	19
4. 4 Proses Penekanan pada Las Gesek.....	19
4. 5 Ukuran Spesimen Uji Impak (14)	20
4. 6 Spesimen Uji Impak Waktu Gesek (a) 4 menit, (b) 5 menit, dan (c) 6 menit	20
4. 7 Mesin Uji Impak Metode <i>Charpy</i> Model JB-300B	21
4. 8 Perpatahan Spesimen Uji Setelah Pengujian Impak (a) 4 menit, (b) 5 menit, dan (c) 6 menit	22
4. 9 Diagram Energi Yang Diserap pada Waktu 4 menit, 5 menit, dan 6 menit.....	24
4. 10 Diagram Harga Impak pada Waktu 4 menit, 5 menit, dan 6 menit	25

DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2. 1 Energi Yang Diserap	8
2. 2 Jarak Awal Bandul Dengan Material Uji	8
2. 3 Jarak Akhir Bandul Setelah Diayunkan	8
2. 4 Harga Impak.....	9
4. 5 MAE (<i>Mean Absolute Error</i>)	27
4. 6 MAPE (<i>Mean Absolute Percentage Error</i>)	27



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2 : Perhitungan Harga Impak

Lampiran 3 : Gambar Alat dan Material Las Gesek

Lampiran 4 : Nilai Kesalahan Hasil Perbandingan Penelitian

Lampiran 5 : Sertifikat Material ST37



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat dari waktu ke waktu menciptakan era globalisasi yang harus diikuti oleh setiap orang. Salah satunya dibidang konstruksi, dimana didalam konstruksi yang berhubungan dengan logam, pastinya juga berhubungan dengan unsur pengelasan.

Pengelasan merupakan bagian dari proses produksi yang tidak dapat dipisahkan karena pengelasan memegang peranan penting dalam setiap pengerjaan logam dan perbaikan dalam proses produksi. Pengelasan adalah proses penyambungan dua buah logam dengan jalan pemanasan dan pelelehan logam dasar, dimana kedua ujung logam yang akan disambung dipanaskan hingga titik leburnya dengan busur nyala (1). Pengelasan dengan busur sulit digunakan untuk penyambungan benda silinder, sehingga harus ada cara lain untuk pengelasan benda berbentuk silinder, yaitu las gesek (*Friction Welding*).

Las gesek adalah suatu metode yang dilakukan untuk memperoleh lasan dengan cara menggesek ujung dua benda kerja. Pada pengelasan gesek, sambungan terjadi karena panas yang dihasilkan oleh gesekan antara dua logam dasar, yang salah satunya berputar untuk menghasilkan panas pada permukaan kontak, sedangkan yang satunya diam. Dalam kondisi panas ini, gerakan relatif antara dua logam berhenti, kemudian dilakukan penekanan, sehingga menciptakan sambungan las (1). Keuntungan dari metode pengelasan gesek dibandingkan proses penyambungan lainnya adalah tidak memerlukan logam pengisi, panas yang dihasilkan oleh semua permukaan yang bergesekan satu sama lain, dan operasi yang sederhana memungkinkan penggunaan mesin yang dimodifikasi untuk pengelasan gesekan. Las gesek merupakan solusi yang tepat untuk untuk mengelas benda pejal, karena dapat melakukan penyambungan benda pejal dengan kontak secara keseluruhan pada kedua permukaan benda, akibat adanya gesekan.

Pada las gesek (*friction welding*) parameter yang perlu diperhatikan adalah waktu pengelasan, kecepatan putar, dan jarak tekanan. Parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik hasil sambungan pengelasan gesek. Kecepatan putaran adalah variabel yang sensitif dan dalam hal ini dapat divariasikan jika waktu pemanasan dan tekanan dikontrol dengan baik. (2).

Salah satu material yang banyak dipakai dalam pengelasan gesek (*friction welding*) adalah baja. Baja karbon adalah salah satu jenis logam yang digunakan dalam berbagai bidang teknik, terutama untuk keperluan industri seperti konstruksi bangunan, konstruksi pesawat terbang, pembuatan alat, dll (3). Baja memiliki ketahanan karat yang sangat baik, sifat magnet yang kuat, koefisien ekspansi yang rendah, ketahanan beban atau tekanan, dan ketahanan asam (4). Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah baja karbon rendah ST37 silinder pejal.

Penelitian yang berkenaan dengan las gesek dilakukan oleh Ali Sai'In tentang "Pengaruh Kecepatan Putar, Gaya Gesek, Waktu Gesek Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak, Laju Korosi Dan Struktur Mikro Hasil Lasan Proses Las Gesek Material Berbeda Baja Suh 3 Dan Suh 35". Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada proses pengelasan baja SUH 3 dan SUH 35 terjadi perubahan struktur mikro dan perubahan komposisi kimia pada daerah sambungan.. Perubahan parameter proses dapat mengubah sifat mekanis dan laju korosi dari sambungan. Salah satunya berfokus pada variasi waktu gesek Hasil dari pengujian dengan variasi waktu gesek adalah pengelasan pada kecepatan putar 4500 rpm, gaya gesek 10 kN dan waktu gesek 1 detik menghasilkan kekuatan impak sebesar 392,2660 kJ/m², kemudian pada waktu 0,8 detik menghasilkan kekuatan impak sebesar 411,8793 kJ/m², dan pada waktu gesek 0,6 detik menghasilkan kekuatan impak 588,3990 kJ/m². Kekuatan impak akan meningkat, jika semakin lama waktu gesek yang digunakan (5).

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari waktu gesek yang menjadi salah satu parameter penting pada pengelasan gesek (*friction welding*), maka penulis mengambil judul “Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Terhadap Kekuatan Impak Baja ST37”.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi waktu gesek terhadap kekuatan impak pada proses pengelasan gesek (*friction welding*) baja ST37 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh variasi waktu gesek terhadap kekuatan impak pada proses pengelasan gesek (*friction welding*) baja ST37.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini berjalan dengan lancar dan tertata, serta mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang dilakukan adalah :

1. Menggunakan material baja karbon rendah ST37 dengan $\varnothing 13\text{mm}$.
2. Variasi waktu gesek yang digunakan, yaitu 4 menit, 5 menit, dan 6 menit.
3. Kecepatan putar yang digunakan adalah 720 Rpm.
4. Jarak penekanan yang digunakan adalah 3 mm.
5. Menggunakan mesin bubut Krisbow sebagai mesin las gesek.
6. Pengujian dilakukan dengan uji impak metode *charpy*.
7. Tidak membahas tentang struktur mikro hasil pengujian impak setelah pengelasan gesek (*friction welding*).

1.5 Manfaat penelitian

1. Mengetahui cara pengelasan gesek (*friction welding*) pada penyambungan baja ST37
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu gesek pada pengelasan gesek (*friction welding*) terhadap kekuatan impak baja ST37.

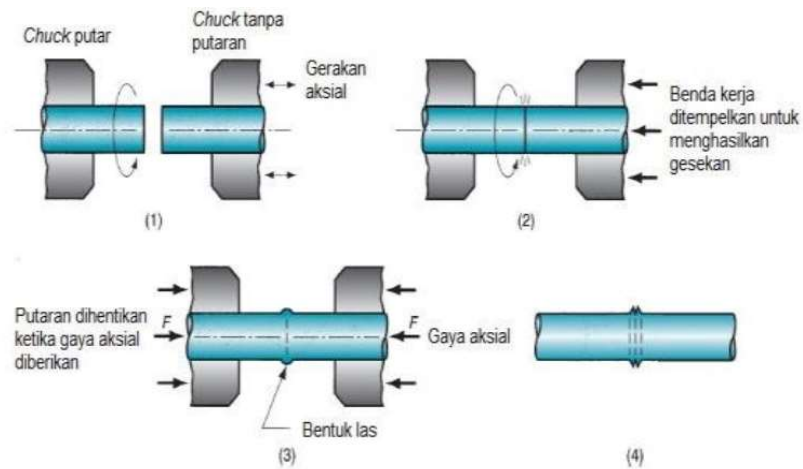
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Las Gesek (*Friction Welding*)

Las Gesek (*friction welding*) adalah suatu metode yang dilakukan untuk memperoleh lasan dengan cara menggesek ujung dua benda kerja. Dalam pengelasan gesek, sambungan terjadi karena panas yang dihasilkan oleh gesekan antara dua logam dasar, yang salah satunya berputar untuk menghasilkan panas pada permukaan kontak, sedangkan yang satunya diam. Dalam kondisi panas ini, gerakan relatif antara dua logam berhenti, kemudian dilakukan penekanan, sehingga menciptakan sambungan las (1). Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan *fusion welding* (pengelasan cair). Las Gesek (*Friction welding*) termasuk tanpa pencairan logam dasar dan tanpa bahan tambah. Proses *friction welding* memanfaatkan panas akibat gesekan dua permukaan yang akan disambung. Penyambungan terjadi dengan pemberian tekanan yang cukup pada proses penyambungan. *Friction welding* dapat melakukan penyambungan benda pejal dengan kontak secara keseluruhan, karena prosesnya melalui gesekan pada permukaan benda kerja. Hal ini sulit dilakukan pada pengelasan SMAW.

Tahapan dalam proses pengelasan gesek (*friction welding*) mulai dari pemasangan benda kerja, permukaan benda kerja ditempelkan, dan kemudian proses penggesekan kedua benda kerja, hingga sampai pada proses penekanan hingga kedua benda kerja tersambung seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut dibawah ini :



Gambar 2. 1 Proses Las Gesek (*Friction Welding*) (1)

2.2 Baja ST37

Baja merupakan material yang umum digunakan dalam dunia industri untuk bahan baku peralatan maupun konstruksi. Secara umum baja dikatakan mempunyai sifat mampu las yang baik jika memiliki nilai karbon kurang dari 0,45%. Pada dasarnya logam pengisi yang akan digunakan dalam proses pengelasan harus sejenis dengan logam induk (6).

Baja yang penulisannya diawali dengan ST, maka bilangan yang mengikutinya menunjukkan kekuatan tarik minimum (kg/mm^2). Baja ST37 memiliki kekuatan tarik $\leq 37 \text{ kg/mm}^2$. Baja ST37 termasuk baja karbon rendah, karena memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3 % dan lebih dari 90% besi. (7). Pada baja karbon rendah mempunyai kandungan karbon 0,1% -0,3 %. Sifat kekerasannya relatif rendah, lunak dan keuletannya tinggi. Baja karbon rendah biasanya digunakan dalam bentuk pelat, profil, sekrup, ulir dan baut. Dengan kekerasan $\pm 170 \text{ HB}$ dan kekuatan tarik $650 - 800 \text{ N/mm}^2$. Secara umum baja ST37 dapat digunakan langsung tanpa mengalami perlakuan panas, kecuali jika diperlukan pemakaian khusus (8).

2.3 Mesin Bubut

Mesin bubut adalah salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar, tempat benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram (9). Pada pengelasan gesek mesin bubut digunakan sebagai alat untuk melakukan proses pengelasan gesek, dengan memanfaatkan putaran spindel pada mesin bubut, dan eretan sebagai pengukur jarak penekanan saat proses pengelasan gesek. Untuk mesin yang digunakan adalah mesin bubut krisbow tipe AOB2 – 25 model CDL624, seperti pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Mesin Bubut Krisbow Tipe AOB2 – 25 Model CDL6241

2.3.1 Kecepatan Putar

Kecepatan putaran mesin bubut adalah kemampuan mesin bubut untuk melakukan pemotongan dalam satuan putaran/menit. Dalam las gesek kecepatan putar merupakan salah satu parameter penting dalam pengelasan yang mempengaruhi hasil dari pengelasan gesek tersebut. *Chuck* merupakan salah satu bagian dari mesin bubut untuk menahan benda silinder, putaran chuck tergantung dari kecepatan putar yang digunakan. Pada pengelasan ini salah satu benda kerja akan dipasangkan pada *chuck* sebagai bagian yang berputar untuk dilakukan gesekan ke benda kerja lainnya sesuai kecepatan putar yang telah ditentukan. Untuk gambar *chuck* dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2. 3 *Chuck* pada Mesin Bubut Krisbow Tipe AOB2 – 25 Model CDL6241

2.3.2 Eretan

Eretan merupakan salah satu bagian utama dari mesin bubut. Pada eretan terdapat *tool post* sebagai tempat dudukan pahat bubut. Pada pengelasan gesek *tool post* digunakan sebagai tempat dudukan benda kerja yang akan dilakukan proses pengelasan gesek. Eretan pada pengelasan gesek berfungsi sebagai penentu jarak penekanan pada saat proses pengelasan gesek, dimana eretan pada mesin bubut Krisbow memiliki skala nonius dengan ketelitian $1 \text{ div} = 0,1 \text{ mm}$, dengan satu kali putaran penuh eretan menghasilkan jarak 17 mm . Berikut gambar skala nonius, dan *tool post* pada gambar 2.4 dibawah ini :



(a)



(b)

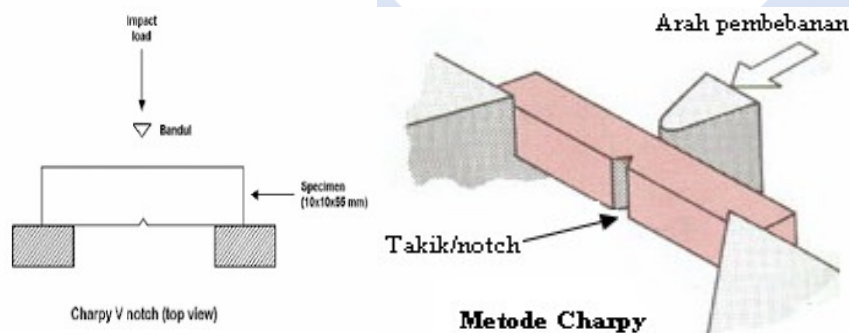
Gambar 2. 4 (a) Skala Nonius pada Eretan, dan (b) *Tool Post* pada Mesin Bubut Krisbow

2.4 Uji Impak

Uji impak merupakan salah satu uji mekanik yang dapat dipakai untuk menganalisis karakteristik bahan seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik keuletan bahan terhadap perubahan suhu. Pada pengujian impak banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Material yang ulet akan menunjukan harga impak yang besar dengan menyerap energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tentu akan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami perubahan bentuk (10). Terdapat 2 jenis metode pengujian impak, yaitu metode *charpy*, dan metode *izod*.

2.4.1 Uji Impak Metode *Charpy*

Pengujian impak metode *charpy* adalah pengujian tumbuk dengan meletakkan spesimen dengan posos horizontal/mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. (11). Untuk menghitung energi yang diserap dihitung dengan rumus dibawah ini :



Gambar 2. 5 Pengujian Impak Metode *Charpy* (11)

Untuk menghitung energi yang diserap setelah pengujian impak metode *charpy* dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$E = m \times g (h_0 - h_1) \dots \dots \dots (2. 1)$$

$$h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2. 2)$$

$$h_1 = \gamma (1 - \cos \beta) \dots \dots \dots (2. 3)$$

Keterangan :

- E = energi yang diserap (*Joule*)
- m = massa bandul (kg)
- γ = jarak lengan pendulum (m)
- g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)
- h_0 = jarak awal bandul dengan material uji (m)
- h_1 = jarak akhir bandul setelah diayunkan (m)
- $\cos \beta$ = sudut posisi awal pendulum
- $\cos \alpha$ = sudut posisi akhir pendulum

Untuk menghitung harga impak dihitung dengan rumus dibawah ini :

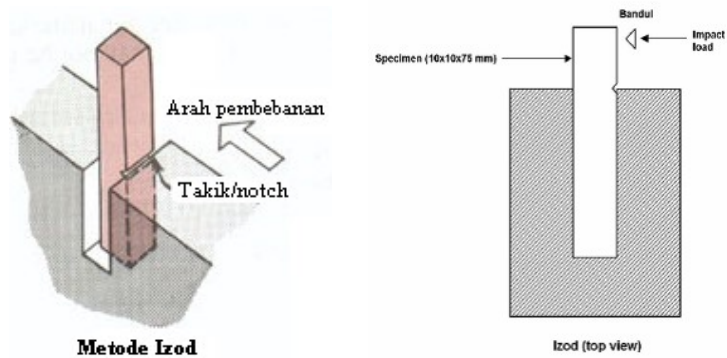
$$HI = E/A \dots \dots \dots (2. 4)$$

Keterangan :

- HI = Harga Impak
- E = Energi yang diserap (*joule*)
- A = Luas penampang takik (mm^2)

2.4.2 Uji Impak Metode *Izod*

Pengujian impak metode *izod* adalah pengujian dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi pembebanan searah dengan arah takikan. Dalam uji impak *izod* spesimen yang di uji tidak hanya logam saja tetapi dapat berupa bahan plastic atau bahan lainnya. (11)



Gambar 2. 6 Pengujian Impak Metode *Izod* (11)

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu sebagai pembandingan pada penelitian yang akan dilakukan.

Penelitian yang dilakukan oleh Ali Sai'In tentang "Pengaruh Kecepatan Putar, Gaya Gesek, Waktu Gesek Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak, Laju Korosi Dan Struktur Mikro Hasil Lasan Proses Las Gesek Material Berbeda Baja Suh 3 Dan Suh 35". Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada proses pengelasan baja SUH 3 dan SUH 35 terjadi perubahan struktur mikro dan perubahan komposisi kimia pada daerah sambungan.. Perubahan parameter proses dapat mengubah sifat mekanis dan laju korosi dari sambungan. Salah satunya berfokus pada variasi waktu gesek Hasil dari pengujian dengan variasi waktu gesek adalah pengelasan pada kecepatan putar 4500 rpm, gaya gesek 10 kN dan waktu gesek 1 detik menghasilkan kekuatan impak sebesar 588,3990 kJ/m², kemudian pada waktu 0,8 detik menghasilkan kekuatan impak sebesar 411,8793 kJ/m², dan pada waktu gesek 0,6 detik menghasilkan kekuatan impak 392,2660 kJ/m². Kekuatan impak akan meningkat, jika semakin lama waktu gesek yang digunakan. (5)

Penelitian yang dilakukan oleh Indra Putra, dan Arwizet K dengan judul "Analisis Kekuatan Tarik Dan *Impact* Hasil Sambungan Las Gesek Pada Baja St 37" bertujuan untuk mengetahui proses pengelasan dan hasil las gesek dengan pengujian tarik dan *impact* pada baja ST 37. Penelitian ini menggunakan metode dengan kecepatan rpm 1800 rpm, dan lama waktu pengelasan yang akan dilakukan dari 70 detik, 80 detik, dan 90 detik. Spesimen yang digunakan untuk pengelasan gesek berdiamter 16 mm dan panjang 80 mm. Setelah pengelasan gesek dilakukan kemudian dan *impact* untuk mengetahui kekuatan hasil las gesek. Hasil penelitian didapatkan dengan hasil kekuatan *impact* tertinggi terdapat pada waktu 90 detik dengan harga *impact* sebesar 813.75 N/m. sedangkan untuk kekuatan *impact* terendah terdapat pada waktu 70 detik dengan harga *impact* 483.41 N/m. (12)

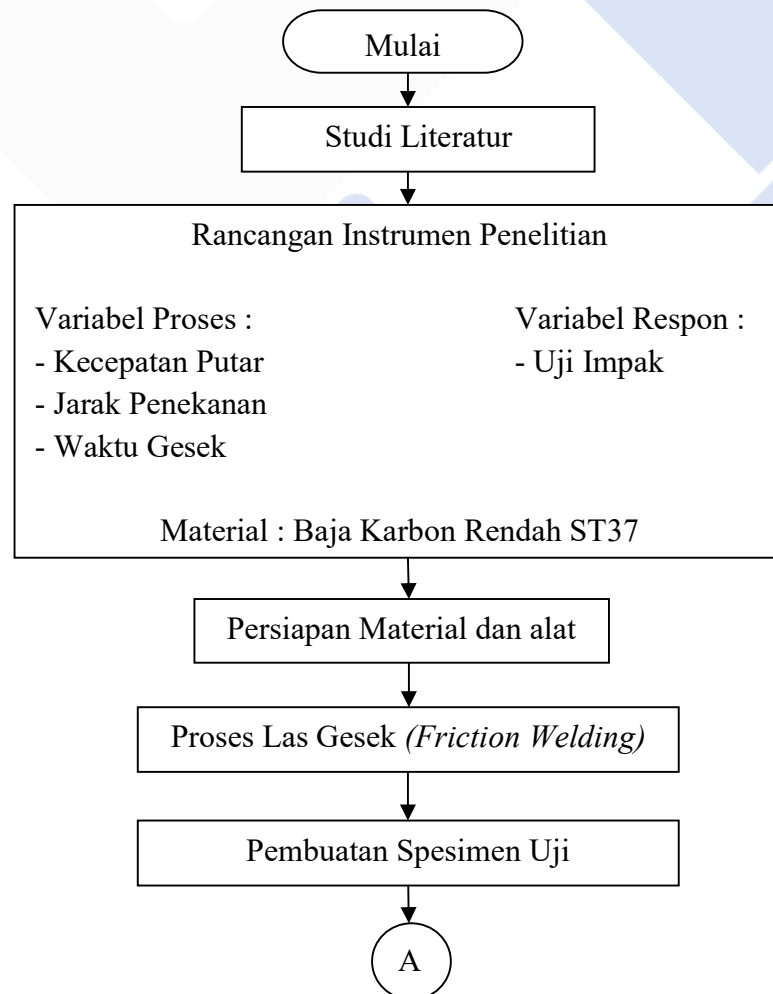
Penelitian yang berkenaan dengan las gesek juga pernah dilakukan oleh Dicky Satyadianto dengan judul “Pengaruh Variasi Tekanan Gesek, Tekanan Tempa Dan Durasi Gesek Terhadap Kekuatan *Impact* Pada Sambungan Las Gesek (Friction Welding) Dengan Menggunakan Baja Paduan Aisi 4140”. Dalam penelitian ini dilakukan pengelasan gesek langsung. dengan memvariasikan tekanan gesek sebesar 8 MPa, 14 MPa, dan 20 MPa dalam waktu gesekan 60 detik, 80 detik, dan 100 detik sampai mencapai temperatur tertentu, kemudian diberikan variasi tekanan tempa sebesar 30 MPa, 40 MPa, 60 MPa, dengan menggunakan baja AISI 4140 sebagai benda kerja, kecepatan putar yang digunakan 4500 Rpm. Efek dari tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi gesekan terhadap *impact strength* dianalisa melalui uji *impact*. Dari penelitian ini didapat Kekuatan *impact* tertinggi diperoleh pada kombinasi parameter durasi gesek 100 detik, dengan tekanan gesek 20 MPa dan tekanan tempa 60 MPa yaitu sebesar $0,3228 \text{ J/mm}^2$. Kekuatan *impact* terendah diperoleh pada kombinasi parameter durasi gesek 60 detik, dengan tekanan gesek 8 MPa dan tekanan tempa 30 MPa yaitu sebesar $0,0420 \text{ J/mm}^2$. (13)

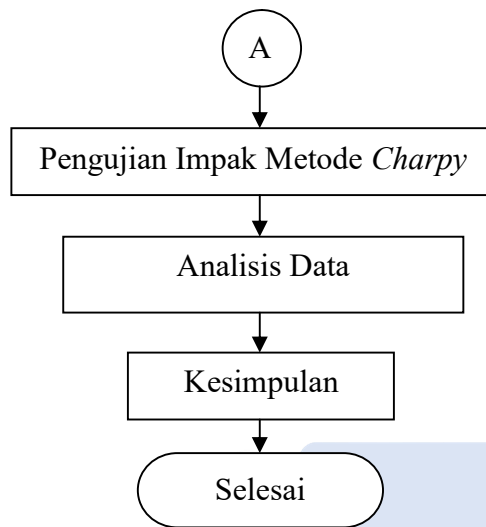
BAB III

METODE PELAKSANAAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen untuk mengetahui kekuatan impak pada baja ST37 setelah proses las gesek (*friction welding*). Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan September 2021 sampai bulan Desember 2021 di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Skema sistem metodologi penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1

3.1 Diagram Alir





Gambar 3. 1 Skema Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Studi Literatur

Dalam penelitian ini data-data di dapatkan dari sumber pustaka, seperti jurnal, karya ilmiah, dan buku referensi lainnya.

3.1.2 Merancang Instrumen Penelitian

Merancang instrumen penelitian adalah proses untuk melakukan sebuah kegiatan penelitian agar penelitian yang diteliti sesuai dengan langkah-langkah yang telah dilakukan. Berikut parameter yang digunakan pada penelitian ini :

1. Variasi waktu gesek adalah 4 menit, 5 menit, dan 6 menit
2. Kecepatan putar yang digunakan adalah 720 rpm
3. Jarak penekanan yang digunakan adalah 3 mm
4. Menggunakan mesin bubut Krisbow tipe AOB2 – 25 model CDL6241
5. Baja Karbon Rendah ST37 silinder pejal Ø13 mm

Untuk memperjelas rancangan instrumen penelitian maka dibuat desain eksperimen benda uji seperti tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3. 1 Desain Eksperimen Benda Uji

No. Spesimen	Kecepatan putar (Rpm)	Jarak Penekanan (mm)	Waktu gesek (menit)
1	720	3	4
2	720	3	4
3	720	3	4
4	720	3	5
5	720	3	5
6	720	3	5
7	720	3	6
8	720	3	6
9	720	3	6

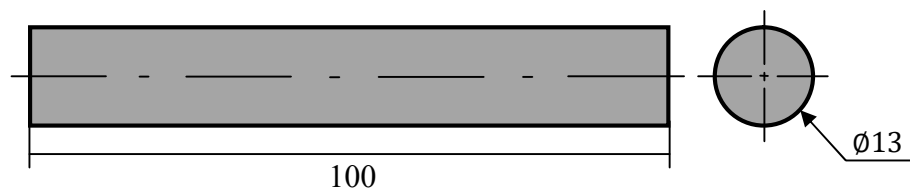
Benda kerja yang digunakan adalah poros baja karbon rendah ST37 dengan dimensi $\varnothing 13$ mm. Proses pengelasan dilakukan di mesin bubut Krisbow pada setiap spesimen. Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, tahapan selanjutnya adalah pengujian impak sesuai dengan ukuran standar pengujian, untuk mengetahui kekuatan impak dari benda kerja setelah proses pengelasan.

3.1.3 Persiapan Material dan Alat

Untuk Persiapan material dan alat pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Persiapan Material :

Material untuk proses pengelasan poros baja karbon ST37 dengan ukuran $\varnothing 13$ mm \times 100 mm.



Gambar 3. 2 Ukuran Benda Kerja ST37 untuk Las Gesek

2. Persiapan alat :

Peralatan yang digunakan untuk proses pengelasan gesek dan penelitian adalah :

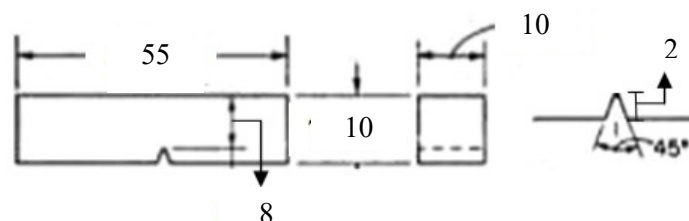
- Mesin Bubut Krisbow (Tipe AOB2 – 25 Model CDL6241)
- *Thermogun*
- *V-Block*
- Plat tipis
- *Stopwatch*
- Kacamata

3.1.4 Proses Las Gesek (*friction welding*).

Pada proses pengelasan gesek silinder pejal material baja karbon rendah ST37 menggunakan mesin bubut Krisbow sebagai alat untuk proses las gesek. Proses dimulai dari pencekaman benda kerja pada *chuck*, dan *tool post*. Pengelasan dilakukan sesuai dengan variasi waktu gesek yaitu 4 menit, 5 menit, dan 6 menit dengan kecepatan putar 720 rpm, dan dilakukan penekanan 3 mm setelah kedua benda kerja yang digesek mencapai titik cair, sehingga terjadi sambungan las.

3.1.5 Pembuatan Spesimen Uji

Pada Pembuatan spesimen uji benda kerja hasil pengelasan disesuaikan dengan Standar Uji Impak ASTM E23 metode *charpy* dengan ukuran 55 mm × 10 mm × 10 mm dengan kedalaman takik 2 mm, dan sudut takik 45° (14). Pada pembuatan spesimen uji, benda kerja yang telah tersambung memiliki ukuran Ø13 mm × 55, setelah itu dilakukan proses pembuatan spesimen uji impak sesuai standar ASTM E23, seperti pada gambar 3. 3 dibawah ini.



Gambar 3. 3 Spesimen Uji Impak Standar ASTM E23 (14)

3.1.6 Pengujian Impak

Uji impak dilakukan setelah proses pengelasan, dan pembuatan spesimen uji selesai. Pengujian impak dilakukan dengan metode *charpy*. Spesimen diurutkan berdasarkan waktu gesek. Dari hasil uji impak tersebut diambil harga uji impak dari setiap spesimen yang telah di uji. Adapun material, dan alat uji yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Material : Baja Karbon Rendah ST37
- Dimensi : 55 mm × 7 mm × 7 mm
- Alat Penguji : *TESTING MACHINE* metode *Charpy* model JB-300B. Dengan kapasitas bandul 150 *Joule*

3.1.7 Analisis Data

Analisis data adalah untuk menganalisis hasil dari energi yang diserap dan harga impak dari pengujian impak hasil las gesek poros baja ST37 yang telah dilakukan, dan menganalisis nilai kesalahan penelitian dengan perbandingan penelitian terdahulu.

3.1.8 Kesimpulan

Setelah didapatkan hasil dari analisis data, maka diambil kesimpulan dari setiap hasil yang didapat.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Rancangan Eksperimen

Berikut merupakan rancangan eksperimen penelitian yang akan dilakukan. Dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1 Rancangan Eksperimen Penelitian

Jenis Pengelasan	Variabel Proses			Variabel Respon	Material
	Kecepatan putar	Jarak Penekanan	Waktu Gesek		
Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)	720 Rpm	3 mm	<ul style="list-style-type: none">• 4 Menit• 5 Menit• 6 Menit	Uji Impak Metode <i>Charpy</i>	Baja Karbon Rendah ST37

4.2 Persiapan Material dan Alat Untuk Las Gesek

Material dan alat yang digunakan untuk proses pengelasan gesek pada penilitan ini dapat dilihat sebagai berikut :

- Alat :
 1. Mesin Bubut Krisbow
Tipe : AOB2 – 25
Model : CDL6241
 2. *Thermogun*
 3. *V-Block*
 4. Plat tipis
 5. *Stopwatch*
 6. Kacamata
- Material :

Baja Karbon Rendah ST37 silinder pejal
Dimensi : $\emptyset 13 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$

4.3 Proses Pengelasan gesek

Proses pengelasan yang dilakukan dengan memanfaatkan putaran spindle pada mesin bubut Krisbow. Variasi waktu yang digunakan pada penelitian ini yaitu, 4 menit, 5 menit, dan 6 menit dengan kecepatan putar mesin bubut yaitu 720 rpm, dan jarak penekanan 3 mm. Penelitian ini dilakukan di sektor pemesinan dasar laboratorium teknik mesin di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

4.3.1 Langkah-Langkah Proses Pengelasan Gesek :

1. Proses dimulai dari pemasangan benda kerja pada *chuck*, dan *tool post* pada mesin bubut krisbow tipe AOB2 – 25 model CDL6241



(a)

(b)

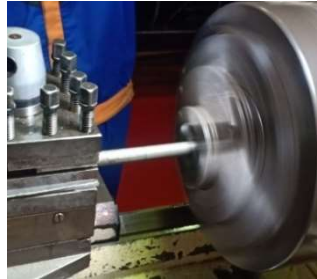
Gambar 4. 1 Pemasangan Benda Kerja pada
(a) *Chuck*, dan (b) *Tool Post*

2. Satukan benda kerja sampai kedua permukaan bertemu, dan pastikan kedua benda kerja harus dalam posisi *center*, dan permukaan kedua spesimen rata.



Gambar 4. 2 Benda Kerja dalam Posisi *Center*

3. Lakukan proses pengelasan gesek hingga kedua permukaan benda kerja mencair.



Gambar 4. 3 Proses Pengelasan Gesek

4. Lakukan penekanan dengan cara menghentikan gesekan pada pengelasan, lalu tekan dengan menggunakan eretan sesuai jarak yang telah ditentukan, sehingga terjadi sambungan las.



Gambar 4. 4 Proses Penekanan pada Las Gesek

4.3.2 Hasil Pengelasan Gesek

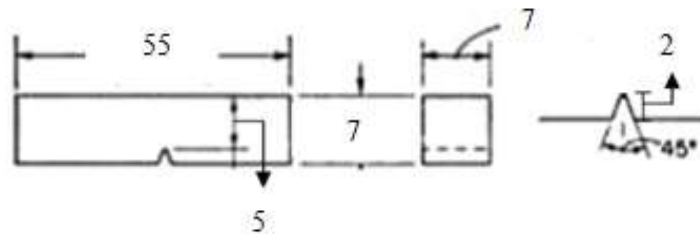
Hasil pengelasan gesek dari proses yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4. 2 Hasil Pengelasan Gesek

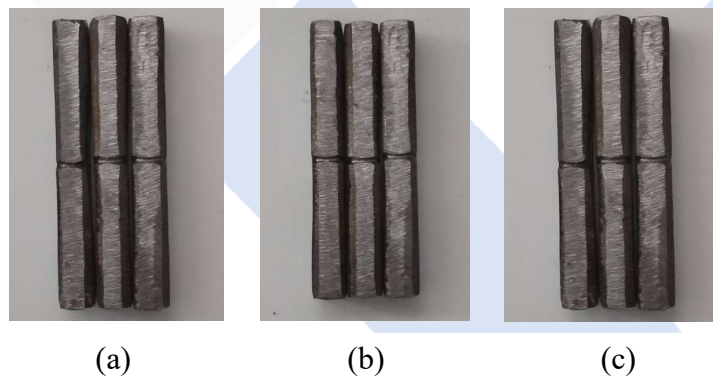
Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)								
Waktu Gesek (Menit)			Waktu Gesek (Menit)			Waktu Gesek (Menit)		
4 Menit			5 menit			6 menit		

4.4 Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan spesimen uji pada benda kerja hasil pengelasan disesuaikan dengan Standar Uji Impak ASTM E23 (14). Namun pada penelitian ini benda kerja hasil pengelasan gesek memiliki ukuran $\text{Ø}13 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$, lalu hasil las dirapikan dengan dibubut menjadi $\text{Ø}10 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$. Untuk membuat spesimen uji impact sudah tidak memungkinkan membuat ukuran sesuai standar $55 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, maka untuk ukuran spesimen uji diubah menjadi $55 \text{ mm} \times 7 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$. Untuk ukuran, dan gambar spesimen uji dapat dilihat pada gambar 4.5, dan 4.6 dibawah ini.



Gambar 4. 5 Ukuran Spesimen Uji Impact



Gambar 4. 6 Spesimen Uji Impact Waktu Gesek
(a) 4 menit, (b) 5 menit, dan (c) 6 menit

4.5 Pengujian Impact

Pada pengujian impact ini material, dan alat pengujian yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- Material : Baja Karbon Rendah ST37
- Dimensi : 55 mm × 7 mm × 7 mm
- Alat Penguji : *TESTING MACHINE* metode *Charpy* model JB-300B. Dengan kapasitas bandul 150 *Joule*.

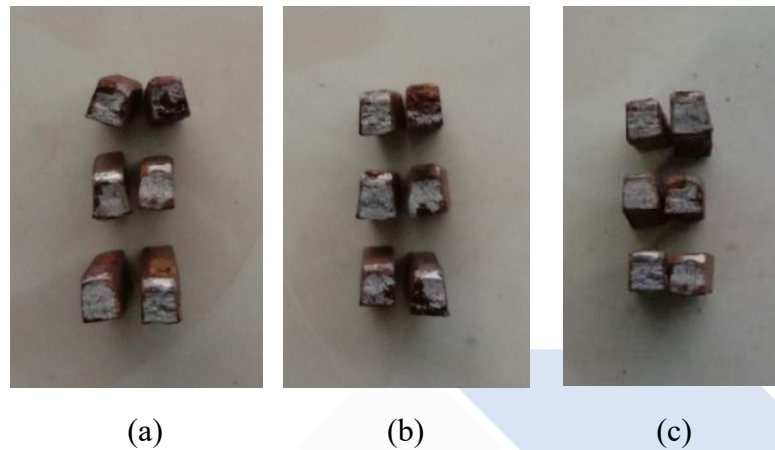


Gambar 4. 7 Mesin Uji Impak Metode *Charpy* Model JB-300B

Uji impak pada penelitian ini menggunakan Standar ASTM E23 dengan ukuran benda kerja uji yaitu 55 mm × 7 mm × 7 mm. Untuk mengetahui nilai energi yang diserap dan harga impak hasil dari pengelasan yang dilakukan. Adapun proses dalam pengujian impak sebagai berikut:

1. Siapkan alat uji impak *TESTING MACHINE* metode *Charpy* model JB-300B. Dengan kapasitas bandul 150 *Joule*.
2. Pastikan material yang akan diuji memiliki ukuran 55 mm × 7 mm × 7 mm dengan kedalaman takik 2 mm.
3. Letakkan material yang akan diuji pada landasan dengan arah takikan membelakangi datangnya lengan bandul.
4. Putar jarum penunjuk pada titik awal.
5. Lepaskan pengunci lengan bandul hingga menabrak material yang diuji.
6. Lakukan pengereman setelah lengan bandul mencapai ketinggian maksimum.
7. Kemudian catat hasil pengujian yang telah dilakukan.
8. Letakkan lengan bandul pada pada posisi semula sampai benar benar terkunci.
9. Lakukan proses yang sama seperti di atas untuk material uji selanjutnya.

Perpatahan spesimen uji setelah dilakukan proses pengujian impak, dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4. 8 Perpatahan Spesimen Uji Setelah Pengujian Impak
(a) 4 menit, (b) 5 menit, dan (c) 6 menit

4.5.1 Data Energi Yang Diserap

Hasil data energi yang diserap dari pengujian pada spesimen hasil las gesek dengan waktu gesek 4 menit, 5 menit, dan 6 menit dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4. 3 Data Energi Yang Diserap

No. Spesimen	Kecepatan Putar (Rpm)	Jarak Penekanan (mm)	Waktu Gesek (Menit)	Energi Yang Diserap (Joule)	Rata-rata
1	720 Rpm	3 mm	4	17,87	17,88
2			4	19,28	
3			4	16,50	
4			5	26,62	27,14
5			5	25,11	
6			5	29,71	
7			6	35,51	37,59
8			6	39,47	
9			6	37,79	

Hasil dari data energi yang diserap dari lama waktu gesek 4 menit, 5 menit, dan 6 menit menunjukkan hasil energi yang diserap tertinggi pada waktu 6 menit dengan nilai rata-rata 37,59 *Joule*, diikuti waktu gesek 5 menit dengan nilai rata-rata 27,14 *Joule*, dan nilai terendah pada waktu gesek 4 menit dengan nilai rata-rata 17,88 *Joule*.

4.5.2 Data Harga Impak

Hasil data harga impact dari pengujian pada spesimen hasil las gesek dengan waktu gesek 4 menit, 5 menit, dan 6 menit dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4. 4 Data Harga Impact ($A = 35 \text{ mm}^2$)

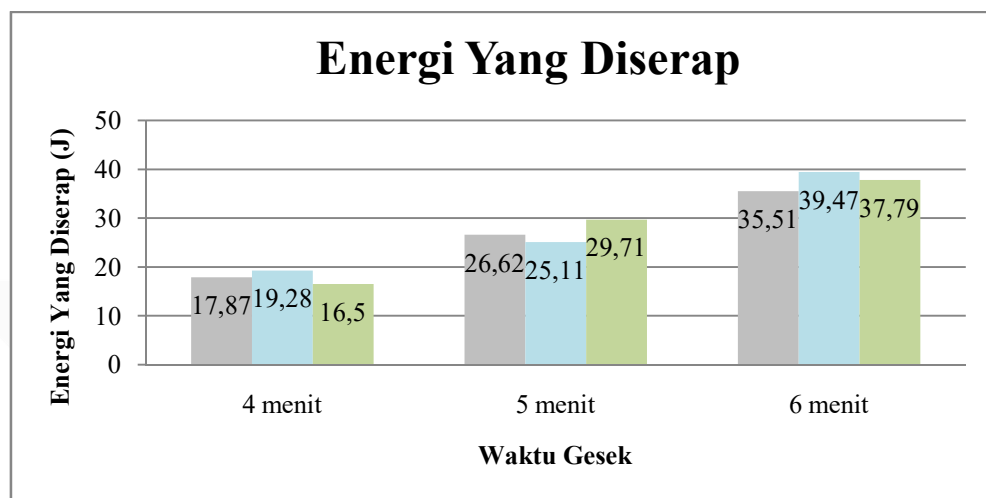
No. Spesimen	Kecepatan Putar (Rpm)	Jarak Penekanan (mm)	Waktu Gesek (menit)	Harga Impact (Joule/mm^2)	Rata-rata
1	720 Rpm	3 mm	4	0,5105	0,5109
2			4	0,5508	
3			4	0,4714	
4			5	0,7605	0,7755
5			5	0,7174	
6			5	0,8488	
7			6	0,9860	1,0644
8			6	1,1277	
9			6	1,0797	

Hasil dari data harga impact dari lama waktu gesek 4 menit, 5 menit dan 6 menit menunjukkan hasil harga impact tertinggi pada waktu 6 menit dengan nilai rata-rata 1,0644 Joule/mm^2 , diikuti waktu gesek 5 menit dengan nilai rata-rata 0,7755 Joule/mm^2 , dan nilai terendah pada waktu gesek 4 menit dengan nilai rata-rata 0,5109 Joule/mm^2 .

4.6 Analisis Data

Analisis yang dilakukan pada hasil uji impact ini meliputi hasil energi yang diserap, dan harga impact hasil pengujian impact. Berikut ini adalah diagram data hasil energi pengujian impact, dan harga impact yang akan dilakukan analisa adalah sebagai berikut :

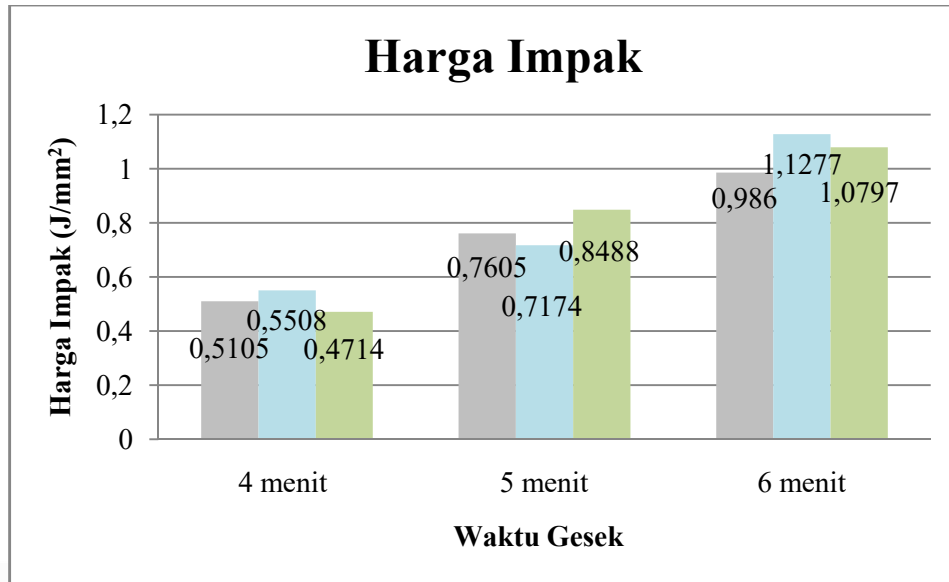
4.6.1 Diagram Energi Yang Diserap



Gambar 4. 9 Diagram Energi Yang Diserap pada Waktu 4 menit, 5 menit, dan 6 menit

Pada gambar diagram diatas menunjukkan bahwa energi yang diserap pada 9 spesimen hasil pengujian impact pada pengelasan gesek baja ST37 dengan setiap variasi waktu gesek menghasilkan energi serapan yang berbeda, dan memiliki pengaruh pada kekuatan sambungan las. Nilai energi yang diserap tertinggi terdapat pada waktu gesek 6 menit dengan nilai rata-rata energi yang diserap yaitu 37,59 *Joule*, sedangkan waktu gesek 5 menit menghasilkan nilai rata-rata energi yang diserap yaitu 27,14 *Joule* nilainya lebih kecil daripada waktu 6 menit, dan nilai terendah didapatkan pada waktu gesek 4 menit dengan nilai rata-rata energi yang diserap yaitu 17,88 *Joule*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu gesek yang dilakukan pada saat proses pengelasan gesek, maka semakin tinggi nilai energi yang diserap. Perbedaan hasil yang sangat jauh antara setiap variasi waktu gesek karena, pada penelitian ini menggunakan satuan waktu menit.

4.6.2 Diagram Harga Impak



Gambar 4. 10 Diagram Harga Impak pada Waktu 4 menit, 5 menit, dan 6 menit

Dari data diagram diatas menunjukkan bahwa harga impak hasil pengujian impak pada pengelasan gesek baja ST37 dengan variasi waktu gesek 4 menit,5 menit, dan 6 menit menghasilkan harga impak yang berbeda, yang memiliki pengaruh terhadap kekuatan sambungan las. Nilai tertinggi terdapat pada waktu gesek 6 menit dengan nilai rata-rata harga impak yaitu $1,0644 \text{ Joule/mm}^2$, sedangkan waktu gesek 5 menit menghasilkan nilai rata-rata harga impak lebih kecil dari waktu gesek 6 menit yaitu $0,7755 \text{ Joule/mm}^2$, dan nilai terendah didapatkan pada waktu gesek 4 menit dengan nilai rata-rata harga impak yaitu $0,5109 \text{ Joule/mm}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu gesek yang dilakukan pada saat proses pengelasan gesek, maka semakin tinggi nilai harga impak yang didapatkan. Perbedaan hasil yang sangat jauh antara setiap variasi waktu gesek karena, pada penelitian ini menggunakan satuan waktu menit.

4.6.3 Perbandingan Penelitian.

Perbandingan dilakukan sebagai pembandingan rata-rata hasil yang dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan penulis. Apakah hasil penelitian penulis jauh berbeda dari penelitian sebelumnya atau tidak, dan untuk mengetahui nilai kesalahan dari perbandingan tersebut.

Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Rata-Rata Penelitian

No	Perbandingan	Nilai rata-rata penelitian terdahulu	Nilai rata-rata penelitian penulis
1	Perbandingan nilai penelitian Indra Putra, dan Arwizet K dengan penulis	0,5166 <i>Joule/mm²</i>	0,5109 <i>Joule/mm²</i>
		0,5921 <i>Joule/mm²</i>	0,7755 <i>Joule/mm²</i>
		0,7188 <i>Joule/mm²</i>	1,0644 <i>Joule/mm²</i>
2	Perbandingan nilai penelitian Ali Sai'In dengan penulis	0,3922 <i>Joule/mm²</i>	0,5109 <i>Joule/mm²</i>
		0,4118 <i>Joule/mm²</i>	0,7755 <i>Joule/mm²</i>
		0,5883 <i>Joule/mm²</i>	1,0644 <i>Joule/mm²</i>
3	Perbandingan nilai penelitian Dicky Satyadianto dengan penulis	0,1489 <i>Joule/mm²</i>	0,5109 <i>Joule/mm²</i>
		0,1770 <i>Joule/mm²</i>	0,7755 <i>Joule/mm²</i>
		0,2099 <i>Joule/mm²</i>	1,0644 <i>Joule/mm²</i>

Dari tabel perbandingan penelitian didapat perbedaan nilai yang tidak jauh pada setiap variasi waktu yang digunakan. Faktor yang menyebabkan perbedaan nilai karena parameter yang digunakan pada setiap penelitian berbeda, mulai dari variasi waktu yang digunakan, kecepatan rpm, penekanan, diameter benda kerja, material yang digunakan, dan luas penampang untuk pengujian impak. Nilai pada tabel didapat dari hasil rata-rata setiap variasi waktu gesek pada 3 penelitian terdahulu pada Bab 2 halaman 10-11.

Untuk mendapatkan nilai kesalahan dari penelitian penulis jika dibandingkan dengan hasil dari penelitian terdahulu dapat diketahui dengan perhitungan MAE (*Mean Absolute Error*) dan MAPE (*Maen Absolute Percentage Error*) sebagai alat statistis untuk mengukur keakuratan suatu model statistik dalam melakukan prediksi (15). Dengan rumus seperti dibawah ini :

- MAE (*Mean Absolute Error*) :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - F_i| \dots\dots\dots(4.5)$$

- MAPE (*Maen Absolute Percentage Error*) :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100 \% \dots\dots\dots(4.6)$$

Keterangan :

- n = ukuran sample
- A_i = nilai data penelitian terdahulu
- F_i = data penelitian penulis

Pada penelitian pertama terdapat perbedaan nilai rata-rata harga impact sangat tidak jauh dengan penelitian penulis, yang dimana rata-rata harga impact pada penelitian saya jauh lebih besar, ini dikarenakan variasi waktu yang digunakan pada referensi kedua menggunakan waktu 70 detik, 80 detik, dan 90 detik, sedangkan penelitian yang saya lakukan menggunakan 4 menit, 5 menit, dan 6 menit. Selain itu kecepatan putar yang digunakan 1800 rpm, penekanan yang digunakan juga berbeda, diameter awal yaitu 16 mm, dan luas penampang uji impact yaitu 80 mm². Material yang digunakan juga sama yaitu St 37, sehingga selisih yang didapat tidak jauh. Dibawah ini nilai kesalahan pada penelitian :

Nilai kesalahan antara penelitian terdahulu dengan penelitian penulis yaitu :

- MAE (*Mean Absolute Error*) = 0,1782 Joule/mm²
- MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) = 26 %

Pada penelitian kedua terdapat perbedaan rata-rata harga impact yang tidak terlalu jauh dengan penelitian penulis, yang dimana rata-rata harga impact pada penelitian saya lebih besar, ini dikarenakan variasi waktu yang digunakan pada referensi kedua menggunakan waktu 0,6 detik, 0,8 detik, dan 1 menit, sedangkan penelitian yang saya lakukan menggunakan 4 menit, 5 menit, dan 6 menit. Selain itu kecepatan rpm pada referensi ini lebih tinggi yaitu 4500 rpm, penekanan yang digunakan juga berbeda, dan material yang digunakan adalah baja SUH 3 dan SUH 35. Untuk luas penampang uji impact sama 35 mm^2 , tetapi didapatkan hasil impact yang lebih kecil karena waktu gesek yang digunakan jauh berbeda dengan waktu gesek pada penelitian penulis. Dibawah ini selisih nilai kesalahan pada penelitian :

Nilai kesalahan antara penelitian terdahulu dengan penelitian penulis yaitu :

- MAE (*Mean Absolute Error*) = $0,3195 \text{ Joule/mm}^2$
- MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) = 66 %

Pada penelitian ketiga terdapat perbedaan nilai harga impact yang agak jauh dengan penelitian penulis. Variasi waktu yang digunakan pada penelitian ketiga menggunakan waktu 60 detik, 80 detik, dan 100 detik, sedangkan penelitian yang saya lakukan menggunakan 4 menit, 5 menit, dan 6 menit. Selain itu kecepatan rpm yang digunakan 4500 rpm jauh lebih tinggi dari kecepatan rpm penulis, penekanan yang dilakukan berbeda, material yang digunakan merupakan baja AISI 1041, dan luas penampang uji impact pada referensi ini luas penampang 20 mm^2 , lebih kecil dari luas penampang pada penelitian penulis yaitu 35 mm^2 . Dibawah ini selisih nilai kesalahan pada penelitian :

Nilai kesalahan antara penelitian terdahulu dengan penelitian penulis yaitu :

- MAE (*Mean Absolute Error*) = $0,6050 \text{ Joule/mm}^2$
- MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) = 329 %

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai kesalahan dari perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penulis adalah $0,3675 \text{ Joule/mm}^2$. Dengan menghitung rata-rata dari ketiga hasil perhitungan MAE (*Mean Absolute Error*) dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dari perbandingan antara 3 penelitian terdahulu dengan penelitian penulis, maka penelitian penulis memiliki selisih nilai kesalahan yang masih bisa diterima atau akurat. Untuk perhitungan pada setiap perbedaan penelitian jika dilihat dari perhitungan dengan MAE (*Mean Absolute Error*), nilai kesalahan tidak terlalu besar. Tetapi untuk persentase yang didapatkan melebihi 50% bahkan 300% dari ketiga perbandingan, hal ini karena untuk perhitungan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) sebaiknya tidak digunakan untuk data yang nilainya kecil, misalnya data dengan nilai 1 atau 2. Walaupun hasil penelitian tidak terlalu jauh, tetapi persentase kesalahan kelihatan sangat besar (15). Untuk perhitungan MAE (*Mean Absolute Error*), dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) menggunakan aplikasi ms.excel dapat dilihat pada lampiran 4.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya mengenai pengaruh waktu gesek pada pengelasan gesek terhadap kekuatan impact baja ST37 dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Hasil energi yang diserap tertinggi yaitu pada waktu gesek 6 menit, dengan nilai rata-rata 37,59 *Joule*, dan nilai terendah pada waktu gesek 4 menit dengan nilai rata-rata 17,88 *Joule*.
- Hasil harga impact nilai tertinggi yaitu pada waktu gesek 6 menit dengan nilai rata-rata 1,0644 *Joule/mm²*, dan harga impact terendah pada waktu gesek 4 menit dengan nilai rata-rata 0,5109 *Joule/mm²*.
- Semakin lama waktu gesek yang diberikan pada saat pengelasan gesek, maka semakin tinggi nilai energi yang diserap dan harga impact yang didapat, karena lamanya waktu gesek akan membuat benda kerja menjadi benar-benar mencair, dan pada saat dilakukan penekanan, akan menghasilkan sambungan yang baik dan kuat.
- Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai kesalahan dari perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penulis adalah 0,3675 *Joule/mm²*. Dengan menghitung rata-rata dari ketiga hasil perhitungan MAE (*Mean Absolute Error*) dari perbandingan antara 3 penelitian terdahulu dengan penulis, maka penelitian penulis memiliki selisih nilai kesalahan yang masih bisa diterima atau akurat. Untuk perhitungan pada setiap perbedaan penelitian jika dilihat dari perhitungan dengan MAE, nilai kesalahan tidak terlalu besar. Tetapi untuk persentase yang didapatkan melebihi 50% bahkan 300% dari ketiga perbandingan, hal ini karena untuk perhitungan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) sebaiknya tidak digunakan untuk data yang nilainya kecil, misalnya data dengan nilai 1 atau 2. Walaupun hasil penelitian tidak terlalu jauh, tetapi persentase kesalahan kelihatan sangat besar.

5.2 Saran

Sebelum melakukan proses pengelasan gesek, pastikan mengetahui proses pengelasan perhatikan material yang akan digunakan, lebih baik menggunakan diameter benda kerja yang lebih besar, kesiapan mesin yang akan digunakan, parameter yang akan digunakan, dan gunakan referensi yang sesuai demi kelancaran penelitian yang akan dilakukan. Untuk lebih mengetahui kekuatan mekanik hasil pengelasan gesek lakukan pengujian tarik.

Selalu ikuti aturan laboratorium yang berlaku, mulai dari APD (Alat Perlindungan Diri), kebersihan lingkungan sektor yang digunakan, kebersihan mesin, kenyamanan mahasiswa lain yang sedang melakukan praktikum, dan pastikan semua dalam kondisi siap pakai baik mesin, maupun peralatan yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, dan Struktur Mikro Lasan Stainless Steel Dengan Las Gesek (Friction Welding)*. Satoto and Ibnu. 2002, p. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Handbook, ASM. *Welding, Brazing, and Soldering*. 1993. Vol. 6.
3. Baumer and B.M.J. *Ilmu Bahan Logam*. Jakarta : Bhratara, 1994.
4. [Online] dekoruma, 2019. <https://www.dekoruma.com/artikel/92653/mengenal-baja-lebih-dalam>.
5. *Pengaruh Kecepatan Putar, Gaya Gesek, Waktu Gesek Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak, Laju Korosi Dan Struktur Mikro Hasil Lasan Proses Las Gesek Material Berbeda Baja Suh 3 Dan Suh 35*. Sai'in, Ali. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
6. Wiryosumarto, H and Okumura, T. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : Pradnya Paramita, 1991, p. Cetakan 5.
7. *Pengaruh pH Larutan Elektrolit Terhadap Tebal Lapisan Elektroplating Nikel Pada Baja ST 37*. Andinata, et al. 2012, pp. Jurusan Fisika, Universitas Negeri Surabaya.
8. *Bahan Kuliah Pemilihan Bahan dan Proses*. Darmawan, A . M. 2001, pp. UMS, Surakarta.
9. [Online] <http://staffnew.uny.ac.id/upload/197902072014041001/pendidikan/hand-out-pemesinan-bubut-print.pdf>.
10. *Analisa Kekuatan Impak Pada Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 Dengan Variasi Arus Pengelasan*. Syaifuddin, A. Jalil, Zulkifli and Rahayu, Tri. 2017, pp. Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe Medan.
11. *Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule* . Handoyo, Yopi. Bekasi : Universitas Islam 45 Bekasi, 2013.
12. *Analisa Kekuatan Tarik dan Impact Hasil Sambungan Las Gesek Pada Baja ST 37*. Putra, Idra and K, Arwizet. 4, Padang : Universitas Negeri Padang, 2019, Vol. 1, p. Universitas Negeri Padang.

13. *Pengaruh Variasi Tekanan Gesek, Tekanan Tempa Dan Durasi Gesek Terhadap Kekuatan Impact Pada Sambungan Las Gesek (Friction Welding) Dengan Menggunakan Baja Paduan Aisi 4140.* Satyadianto, Dicky. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
14. ASTM E23: *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.* [Online] Januari 1, 1882. [Cited: Agustus 24, 2021.] <https://archive.org/details/gov.law.astm.e23.1982>.
15. [Online] <https://www.rumusstatistik.com/2021/05/cara-menghitung-mape-mean-absolute.html>.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Ardi Meilianto
Tempat&Tanggal lahir : Manggar, 23 Mei 2000
Alamat : Jl. Pantai Dsn Sawah
RT03/RW02
Desa Lalang, Manggar.
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Telp : -
Hp : 081271699073
E-mail : ardanto233@gmail.com



2. Riwayat Pendidikan

1. SD NEGERI 19 Manggar Lulus Tahun 2012
2. SMP NEGERI 1 Manggar Lulus Tahun 2015
3. SMK NEGERI 1 Manggar Lulus Tahun 2018

3. Riwayat Pendidikan Non Formal

-

Sungailiat, 13 Januari 2022



Ardi Meilianto

Lampiran 2

Perhitungan Harga Impak

1. Waktu Gesek 4 menit spesimen 1

Dik :

$$\begin{aligned}\gamma & : 0,75 \text{ m} \\ m & : 15,3 \text{ kg} \\ g & : 9,8 \text{ m/s}^2 \\ A & : 35\text{cm}^2 \\ \alpha & : 150^\circ \\ \beta & : 135^\circ\end{aligned}$$

Dit : HI ?

Jawab :

$$\begin{aligned}h_0 & : \gamma (1 - \text{Cos } \alpha) \\ h_0 & : 0,75 (1 - \text{Cos } 150^\circ) \\ h_0 & : 0,75 (1 - (-0,8660)) \\ h_0 & : 0,75 (1,8660) \\ h_0 & : 1,3995 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_1 & : \gamma (1 - \text{Cos } \beta) \\ h_1 & : 0,75 (1 - \text{Cos } 135^\circ) \\ h_1 & : 0,75 (1 - (-0,7071)) \\ h_1 & : 0,75 (1,7071) \\ h_1 & : 1,2803 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_{135^\circ} & = m \times g (h_0 - h_1) \\ E_{135^\circ} & = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,2803) \\ E_{135^\circ} & = 149,94 (0,1192) \\ E_{135^\circ} & = 17,87 \text{ J}\end{aligned}$$

$$HI_{135^\circ} = \frac{17,87}{35} = 0,5105 \text{ J/mm}^2$$

2. Waktu Gesek 4 menit spesimen 2

Dik :

- γ : 0,75 m
- m : 15,3 kg
- g : 9,8 m/s²
- A : 35cm²
- α : 150°
- β : 134°

Dit : HI ?

Jawab :

- h_0 : $\gamma (1 - \text{Cos } \alpha)$
- h_0 : 0,75 (1 - Cos 150°)
- h_0 : 0,75 (1 - (- 0,8660))
- h_0 : 0,75 (1,8660)
- h_0 : 1,3995 m

- h_1 : $\gamma (1 - \text{Cos } \beta)$
- h_1 : 0,75 (1 - Cos 134°)
- h_1 : 0,75 (1 - (- 0,6946))
- h_1 : 0,75 (1,6946)
- h_1 : 1,2709 m

$$E_{134^\circ} = m \times g (h_0 - h_1)$$
$$E_{134^\circ} = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,2709)$$
$$E_{134^\circ} = 149,94 (0,1286)$$
$$E_{134^\circ} = 19,28 \text{ J}$$

$$HI_{134^\circ} = \frac{19,28}{35} = 0,5508 \text{ J/mm}^2$$

3. Waktu Gesek 4 menit spesimen 3

Dik :

$$\begin{aligned}\gamma & : 0,75 \text{ m} \\ m & : 15,3 \text{ kg} \\ g & : 9,8 \text{ m/s}^2 \\ A & : 35\text{cm}^2 \\ \alpha & : 150^\circ \\ \beta & : 136^\circ\end{aligned}$$

Dit : HI ?

Jawab :

$$\begin{aligned}h_0 & : \gamma (1 - \text{Cos } \alpha) \\ h_0 & : 0,75 (1 - \text{Cos } 150^\circ) \\ h_0 & : 0,75 (1 - (-0,8660)) \\ h_0 & : 0,75 (1,8660) \\ h_0 & : 1,3995 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_1 & : \gamma (1 - \text{Cos } \beta) \\ h_1 & : 0,75 (1 - \text{Cos } 136^\circ) \\ h_1 & : 0,75 (1 - (-0,7193)) \\ h_1 & : 0,75 (1,7193) \\ h_1 & : 1,2894 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_{136^\circ} & = m \times g (h_0 - h_1) \\ E_{136^\circ} & = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,2894) \\ E_{136^\circ} & = 149,94 (0,1101) \\ E_{136^\circ} & = 16,50 \text{ J}\end{aligned}$$

$$\text{HI } 136^\circ = \frac{16,50}{35} = 0,4714 \text{ J/mm}^2$$

4. Waktu gesek 5 menit spesimen 1

Dik :

- γ : 0,75 m
- m : 15,3 kg
- g : 9,8 m/s²
- A : 35cm²
- α : 150°
- β : 129°

Dit : HI ?

Jawab :

- h_0 : $\gamma (1 - \text{Cos } \alpha)$
- h_0 : 0,75 (1 - Cos 150°)
- h_0 : 0,75 (1 - (- 0,8660))
- h_0 : 0,75 (1,8660)
- h_0 : 1,3995 m

- h_1 : $\gamma (1 - \text{Cos } \beta)$
- h_1 : 0,75 (1 - Cos 129°)
- h_1 : 0,75 (1 - (- 0,6293))
- h_1 : 0,75 (1,6293)
- h_1 : 1,2219 m

$$E_{129^\circ} = m \times g (h_0 - h_1)$$
$$E_{129^\circ} = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,2219)$$
$$E_{129^\circ} = 149,94 (0,1776)$$
$$E_{129^\circ} = 26,62 \text{ J}$$

$$HI_{129^\circ} = \frac{26,62}{35} = 0,7605 \text{ J/mm}^2$$

5. Waktu gesek 5 menit spesimen 2

Dik :

- γ : 0,75 m
- m : 15,3 kg
- g : 9,8 m/s²
- A : 35cm²
- α : 150°
- β : 130°

Dit : HI ?

Jawab :

- h_0 : $\gamma (1 - \cos \alpha)$
- h_0 : 0,75 (1 - Cos 150°)
- h_0 : 0,75 (1 - (- 0,8660))
- h_0 : 0,75 (1,8660)
- h_0 : 1,3995 m

- h_1 : $\gamma (1 - \cos \beta)$
- h_1 : 0,75 (1 - Cos 130°)
- h_1 : 0,75 (1 - (- 0,6427))
- h_1 : 0,75 (1,6427)
- h_1 : 1,2320 m

$$E_{130^\circ} = m \times g (h_0 - h_1)$$
$$E_{130^\circ} = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,2320)$$
$$E_{130^\circ} = 149,94 (0,1675)$$
$$E_{130^\circ} = 25,11 \text{ J}$$

$$HI_{130^\circ} = \frac{25,11}{35} = 0,7174 \text{ J/mm}^2$$

6. Waktu gesek 5 menit spesimen 3

Dik :

- γ : 0,75 m
- m : 15,3 kg
- g : 9,8 m/s²
- A : 35cm²
- α : 150°
- β : 127°

Dit : HI ?

Jawab :

- h_0 : $\gamma (1 - \cos \alpha)$
- h_0 : 0,75 (1 - Cos 150°)
- h_0 : 0,75 (1 - (- 0,8660))
- h_0 : 0,75 (1,8660)
- h_0 : 1,3995 m

- h_1 : $\gamma (1 - \cos \beta)$
- h_1 : 0,75 (1 - Cos 127°)
- h_1 : 0,75 (1 - (- 0,6018))
- h_1 : 0,75 (1,6018)
- h_1 : 1,2013 m

$$E_{127^\circ} = m \times g (h_0 - h_1)$$
$$E_{127^\circ} = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,2013)$$
$$E_{127^\circ} = 149,94 (0,1982)$$
$$E_{127^\circ} = 29,71 \text{ J}$$

$$HI_{127^\circ} = \frac{29,71}{35} = 0,8488 \text{ J/mm}^2$$

7. Waktu gesek 6 menit spesimen 1

Dik :

$$\begin{aligned}\gamma & : 0,75 \text{ m} \\ m & : 15,3 \text{ kg} \\ g & : 9,8 \text{ m/s}^2 \\ A & : 35 \text{ cm}^2 \\ \alpha & : 150^\circ \\ \beta & : 124^\circ\end{aligned}$$

Dit : HI ?

Jawab :

$$\begin{aligned}h_o & : \gamma (1 - \text{Cos } \alpha) \\ h_o & : 0,75 (1 - \text{Cos } 150^\circ) \\ h_o & : 0,75 (1 - (-0,8660)) \\ h_o & : 0,75 (1,8660) \\ h_o & : 1,3995 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_1 & : \gamma (1 - \text{Cos } \beta) \\ h_1 & : 0,75 (1 - \text{Cos } 124^\circ) \\ h_1 & : 0,75 (1 - (-0,5591)) \\ h_1 & : 0,75 (1,5591) \\ h_1 & : 1,1693 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_{124^\circ} & = m \times g (h_o - h_1) \\ E_{124^\circ} & = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,1693) \\ E_{124^\circ} & = 149,94 (0,2302) \\ E_{124^\circ} & = 34,51 \text{ J}\end{aligned}$$

$$HI_{124^\circ} = \frac{34,51}{35} = 0,9860 \text{ J/mm}^2$$

8. Waktu gesek 6 menit spesimen 2

Dik :

- γ : 0,75 m
- m : 15,3 kg
- g : 9,8 m/s²
- A : 35cm²
- α : 150°
- β : 121°

Dit : HI ?

Jawab :

- h_0 : $\gamma (1 - \text{Cos } \alpha)$
- h_0 : 0,75 (1 - Cos 150°)
- h_0 : 0,75 (1 - (- 0,8660))
- h_0 : 0,75 (1,8660)
- h_0 : 1,3995 m

- h_1 : $\gamma (1 - \text{Cos } \alpha)$
- h_1 : 0,75 (1 - Cos 121°)
- h_1 : 0,75 (1 - (- 0,5150))
- h_1 : 0,75 (1,5150)
- h_1 : 1,1362 m

$$E_{121^\circ} = m \times g (h_0 - h_1)$$
$$E_{121^\circ} = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,1362)$$
$$E_{121^\circ} = 149,94 (0,2633)$$
$$E_{121^\circ} = 39,47 \text{ J}$$

$$HI_{121^\circ} = \frac{39,47}{35} = 1,1277 \text{ J/mm}^2$$

9. Waktu gesek 6 menit spesimen 3

Dik :

- γ : 0,75 m
- M : 15,3 kg
- g : 9,8 m/s²
- A : 35cm²
- α : 150°
- β : 122°

Dit : HI ?

Jawab :

- h_0 : $\gamma (1 - \text{Cos } \alpha)$
- h_0 : 0,75 (1 - Cos 150°)
- h_0 : 0,75 (1 - (- 0,8660))
- h_0 : 0,75 (1,8660)
- h_0 : 1,3995 m

- h_1 : $\gamma (1 - \text{Cos } \beta)$
- h_1 : 0,75 (1 - Cos 122°)
- h_1 : 0,75 (1 - (- 0,5299))
- h_1 : 0,75 (1,5299)
- h_1 : 1,1474 m

$$E_{122^\circ} = m \times g (h_0 - h_1)$$
$$E_{122^\circ} = 15,3 \times 9,8 (1,3995 - 1,1474)$$
$$E_{122^\circ} = 149,94 (0,2521)$$
$$E_{122^\circ} = 37,79 \text{ J}$$

$$HI_{122^\circ} = \frac{37,79}{35} = 1,0797 \text{ J/mm}^2$$

Lampiran 3

Gambar Alat dan Material Las Gesek

1. Alat



1. *Thermogun*



2. *V-Block*



3. *Plat tipis*



4. *Stopwatch*



5. *Kacamata*

2. Material



Baja Karbon Rendah St37 Silinder Pejal $\varnothing 13 \text{ mm} \times 100$

Lampiran 4

Nilai Kesalahan Hasil Perbandingan Penelitian

Pada perhitungan nilai dan persentase kesalahan menggunakan excel untuk mencari nilai MEA dan MAPE dengan mengkonversikan rumus secara langsung ke excel dengan rumus =ABS(Ai - Fi) untuk mencari MAE (*Mean Absolute Error*) , dan =ABS((Ai - Fi)/Ai)*100 untuk mencari MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Kemudian cari rata-rata dari hasil yang didapat untuk mendapat nilai kesalahan.

1. Penelitian 1

$$\text{MAE (Mean Absolute Error)} = 0,1782 \text{ Joule/mm}^2$$

NO	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis	Nilai Kesalahan
1	0,5166	0,5109	0,0057
2	0,5921	0,7755	0,1834
3	0,7188	1,0644	0,3456
		MAE	0,178233333

$$\text{MAPE (Mean Absolute Percentage Error)} = 26 \%$$

NO	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis	Persentase Kesalahan (%)
1	0,5166	0,5109	1,103368177
2	0,5921	0,7755	30,97449755
3	0,7188	1,0644	48,08013356
		MAPE	26,71933309

2. Penelitian 2

$$\text{MAE (Mean Absolute Error)} = 0,3195 \text{ Joule/mm}^2$$

NO	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis	Nilai Kesalahan
1	0,3922	0,5109	0,1187
2	0,4118	0,7755	0,3637
3	0,5883	1,0644	0,4761
		MAE	0,3195

MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) = 66 %

NO	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis	Persentase Kesalahan (%)
1	0,3922	0,5109	30,26517083
2	0,4118	0,7755	88,31957261
3	0,5883	1,0644	80,92809791
		MAPE	66,50428045

3. Penelitian 3

MAE (*Mean Absolute Error*) = 0,6050 joule/mm²

NO	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis	Nilai Kesalahan
1	0,1489	0,5109	0,362
2	0,177	0,7755	0,5985
3	0,2099	1,0644	0,8545
		MAE	0,605

MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) = 329 %


NO	Penelitian Terdahulu	Penelitian Penulis	Persentase Kesalahan (%)
1	0,1489	0,5109	243,1161854
2	0,177	0,7755	338,1355932
3	0,2099	1,0644	407,0986184
		MAPE	329,4501323

Maka nilai kesalahan pada penelitian penulis setelah dilakukan perbandingan dengan mencari nilai rata-rata dari perhitungan MAE (*Mean Absolute Error*) adalah sebagai berikut :

$$\frac{0,1782 + 0,3195 + 0,6050}{3} = 0,3675 \text{ Joule/mm}^2$$

Lampiran 5

Sertifikat Material ST37



SeAH Beesteel Corp.
1-6, SORYONG-DOONG KUNSAN,
CHEONGJU, KOREA(53-711)

Date : 2018-03-11
Cert. No. : 201803-019834
Customer :
Heat No. : 276685

MILL CERTIFICATE

TEL : +82-(0)63-460-6572, 8318(QA)
+82-(0)63-460-8114(Repres.)
FAX : +82-(0)63-460-8423 Page(0/0)

Steel Grade : AISI 1037/ST37 Size (mm) : 40
Shape of Product : ROUND BAR Length (mm) : 6,000
Delivery Condition : As Rolled Weight (kg) : 60
Quantity(pcs) : 1,000

Inspection Items		Chemical Composition (wt. %)				
		C	SI	MN	P	S
		x 100	x 100	x 100	x 1000	x 1000
Spec.	Min.	32	17	0.7		
	Max.	48	37	1	4.6	55
	Result	37	37	0.8	MAX	MAX

Inspection Items	Product Hardness (HB)	
	SURFACE	10-30 HRC
	100-120 HB	

Mechanical Properties AISI 1037/ST37

Mechanical Properties	Symbol	Steel
Young's modulus (GPa)	E	190
Poisson's ratio	v	0.29
Density(Kg/m ³)	P	7,740
Yield strength (MPa)	Sy	540
Shear strength (MPa)	Ss	340
Extension ratio (%)		14 - 20
Area reduction (Psi)		40 - 45
Hardness (HB)	HB	100 - 120

<<Remark>>

B/D/S : 4.

----- End of report -----

We hereby certify that the material described herein has been made in accordance with the rules of the contract.

Certified by *O. Y. Cho*
Manager of Quality Assurance Dept