

**PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN JARAK
PENEKANAN TERHADAP KEKUATAN IMPAK PADA
SAMBUNGAN BAJA AISI 4140 DAN AISI 4340
DENGAN METODE PENGELASAN GESEK
(FRICTION WELDING)**

Proyek Akhir

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



Dibuat Oleh :

L.M.Syafiqul H. NIM : 1041946

POLITEKNIK MANUKTUR NEGERI

BANGKA BELITUNG

2022/2023

**PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN JARAK
PENEKANAN TERHADAP KEKUATAN IMPAK PADA
SAMBUNGAN BAJA AISI 4140 DAN AISI 4340
DENGAN METODE PENGELASAN GESEK
(*FRICION WELDING*)**

Proyek Akhir

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



Disusun Oleh :

L.M.Syaifullah R NIM : 1041946

**POLITEKNIK MANUFAKTIR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2022/2023

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN JARAK PENEKANAN
TERHADAP KEKUATAN IMPAK PADA SAMBUNGAN BAJA AISI 4140
DAN AISI 4340 DENGAN METODE PENGELASAN GESEK
(*FRICTION WELDING*)

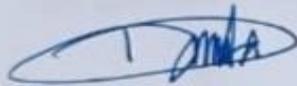
Oleh :

L.M.Syaifullah R NIM : 1041946

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

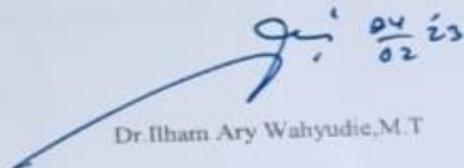
Menyetujui,

Pembimbing 1



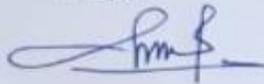
Rodika, S.ST., M.T

Pembimbing 2



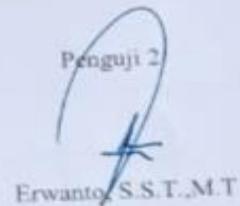
Dr. Ilham Ary Wahyudie, M.T

Penguji 1



Dr. Sukanto, M.Eng

Penguji 2



Erwanto, S.S.T., M.T

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : L.M.Syaifullah R NIM : 1041946

Dengan Judul : Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Dan Jarak Penekanan Terhadap Kekuatan Impak Pada Sambungan Baja AISI 4140 Dan AISI 4340 Dengan Metode Pengelasan Gesek (*Friction Welding*).

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya. Jika dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku dan untuk daftar riwayat hidup penulis dapat dilihat pada lampiran 1 hal .

Sungailia 17 januari 2023



L.M.Syaifullah R

ABSTRAK

Pengelasan merupakan salah satu sarana untuk mencapai ekonomi produksi yang lebih baik serta memiliki peranan dalam bidang konstruksi dan logam. Pengelasan gesek merupakan salah satu dari beberapa jenis cara pengelasan. Parameter yang mempengaruhi kekuatan penyambungan pada pengelasan gesek (*friction welding*) yaitu, kecepatan putar, jarak penekanan dan lama waktu gesek. Maka dari itu, untuk menghasilkan kekuatan sambungan pada suatu produksi diperlukan parameter yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar dan jarak penekanan terhadap kekuatan dampak pada sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340. Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan putar 720 rpm, 1000 rpm, dan 1400 rpm serta jarak penekanan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm. Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa semakin tinggi kecepatan putar dan semakin besar jarak penekanan yang diberikan, maka daerah leburan pada area sambungan pengelasan luas dan merata yang membuat penyambungan las kuat. Hal ini dibuktikan, dengan menggunakan kecepatan putar 1400 rpm dan jarak penekanan 4 mm memiliki nilai hasil energi dampak tertinggi sebesar 138,349 *Joule* serta nilai hasil harga dampak tertinggi sebesar 1,7293 *Joule/mm²*. Sedangkan nilai terendah hasil energi dampak sebesar 14,266 *Joule* dan nilai terendah harga dampak sebesar 0,1783 *Joule/mm²* menggunakan kecepatan putar 720 rpm dan jarak penekanan 2 mm.

Kata kunci: pengelasan gesek, variasi parameter kecepatan putar dan jarak penekanan; baja AISI 4140 dan AISI 4340; uji dampak

ABSTRACT

Welding is one of the means to achieve better economic production and has a role in the construction and metal fields. Friction welding is one of several types of welding methods. The parameters that affect the strength of the joints in friction welding are rotational speed, pressing distance and friction time. Therefore, to produce connection strength in a production, appropriate parameters are needed. This study aims to determine the effect of variations in rotational speed and pressing distance on impact strength in AISI 4140 and AISI 4340 steel joints. mm. In this study, the results obtained were that the higher the rpm rotation and the greater the pressure distance given, the melting area in the welding joint area is wide and evenly distributed which makes the weld joint strong. This is proven, using a rotational speed of 1400 rpm and a pressing distance of 4 mm has the highest impact energy yield value of 138.349 Joules and the highest impact price yield value of 1.7293 Joules/mm². Meanwhile, the lowest value of the impact energy yield is 14.266 Joules and the lowest value of the impact price is 0.1783 Joules/mm² using a rotational speed of 720 rpm and a pressing distance of 2 mm.

Keywords: friction welding, variation of rotating speed and pressing distance parameters; steel AISI 4140 and AISI 4340; impact test

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayahnya penyusunan tugas akhir yang berjudul PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN JARAK PENEKANAN TERHADAP KEKUATAN IMPAK PADA SAMBUNGAN BAJAAISI 4140 DAN AISI 4340 DENGAN METODE PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*) ini dapat terselesaikan guna untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan pada jurusan Teknik Mesin Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Perjalanan yang begitu berliku dan panjang telah penulis lalui dalam rangka untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini. Banyak rintangan serta hambatan yang dihadapi dalam proses penyusunannya, namun berkat kehendak-nyalah sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati yang begitu dalam pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

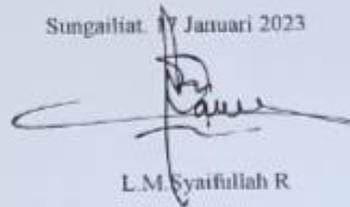
1. Kedua orang tua saya, bapak tercinta Laode Hayudin, ibu tercinta Waode Elvianti dan ketiga adik saya Waode Rispuput Angelia, L.M.Syafurullah dan Waode Sherina Stania yang saya sayangi dan selalu senantiasa memberikan kasih sayang dan selalu berdoa serta memberikan dukungan pada penulis.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng.,PhD, selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Rodika S.ST,M.T, selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan tentang pelaksanaan makalah tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Ilham Ary Wahyudie,M.T selaku dosen pembimbingan kedua yang telah banyak memberikan dukungan semangat dan masukan tentang pelaksanaan makalah tugas akhir ini.

5. Untuk keluarga besar saya nenek, paman, bibi dan saudara saya yang selalu mendukung dan mendoakan penulis agar dapat merampungkan penulisan ini.

6. Serta teman-teman saya Okta Ria Amasta, Dery Saputra, Muhammad Asep, Ricky Irwansyah, dan Sindy Muriana yang telah berjuang bersama-sama sampai titik ini , teman-teman Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur Angkatan ke-3 dan juga teman-teman saya kakan Frasmanda, kakak Novi, Rival Odhe, Jody Setiawan, Sapri, Yuniarsih, Aksay Robin, Falen Fedrian, serta teman-teman di Lingkungan Nelayan I dan semua pihak yang telah ikut membantu memberikan dukungan moral dalam penyelesaian makalah proyek akhir yang sebagai salah satu syarat kelulusan.

Akhir kata, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan mohon maaf bila penulisan yang penulis buat masih banyak kekurangan serta semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan bagi kita semua.

Sungailiat, 17 Januari 2023



L.M. Syaifulah R

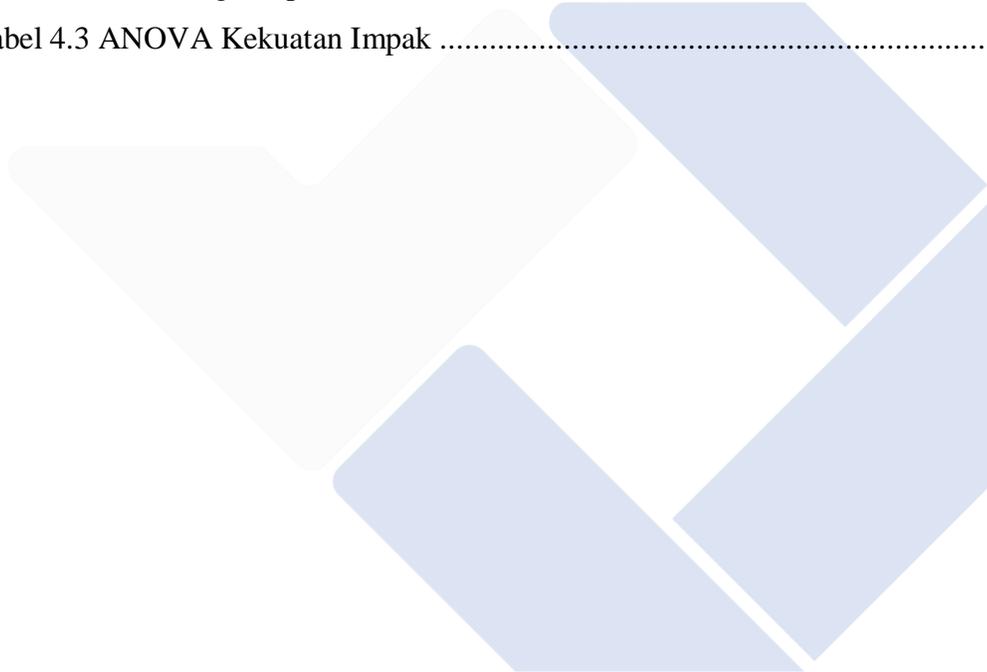
DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II LANDASAN TEORI	3
2.1 Las Gesek (Friction Welding).....	3
2.2 Pengertian Las Gesek (<i>Friction welding</i>).....	4
2.3 Mesin Bubut.....	6
2.4 Mesin Frais.....	6
2.5 Kelebihan Dan Kekurangan Las Gesek (<i>Friction Welding</i>).....	7
2.5.1 Kelebihan Las Gesek (<i>friction welding</i>).....	7
2.5.2 Kekurangan Las Gesek (<i>friction welding</i>).....	7
2.6 Baja Karbon	8
2.7 Baja AISI 4140.....	8

2.8 Baja AISI 4340.....	9
2.9 Uji Impak	10
2.10 Pengujian Impak Metode Charpy	10
2.11 Metode Penelitian.....	12
2.12 Penelitian Terdahulu.....	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1 Diagram Alir	14
3.2 Studi Literatur	15
3.3 Rancangan Instrumen Penelitian.....	15
3.4 Persiapan Alat dan Bahan	16
3.5 Prosedur Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>)	20
3.6 Tahap-Tahap Proses Pengelasan Gesek	20
3.7 Hasil Pengelasan Gesek.....	23
3.8 Pembuatan Sampel	23
3.9 Pengujian Impak Metode <i>Charpy</i>	24
3.10 Pengolahan Data.....	26
3.11 Kesimpulan dan Saran	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Uji Impak	27
4.2 Data Energi Impak.....	30
4.3 Data Harga Impak	30
4.4 Uji ANOVA	31
4.5 Analisis	33
4.5.1 Hasil Data Energi Impak	33
4.5.2 Hasil Harga Impak	35
4.6 Grafik Perbandingan Penelitian Terdahulu.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42
<u>DAFTAR PUSTAKA</u>	<u>43</u>

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis-jenis Baja Karbon [6].....	8
Tabel 2. 2 Komposisi kimia material AISI 4140.....	9
Tabel 3.1 Desain Eksperimen Spesimen UjiTabel	15
Tabel 4.1 Data Energi Yang Diserap (J)	30
Tabel 4.2 Data Harga Impak (J/mm^2)	31
Tabel 4.3 ANOVA Kekuatan Impak	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Las Gesek (friction welding) Satoto, Ibnu. (2002).....	5
Gambar 2. 2 Mesin bubut konvensional [1].....	6
Gambar 2. 3 Mesin Frais Ansyori, (2015).....	7
Gambar 2. 4 Pengujian Impak Metode Charpy Kalpakijan & Schmid (2009).	11
Gambar 2. 5 Standar ASTM E 23 [4]	11
Gambar 3. 1 Skema Diagram alir	14
Gambar 3. 2 Mesin BU 22 krisbow	16
Gambar 3. 3 Mesin Freis.....	17
Gambar 3. 4 Mesin Gurinda Tangan	17
Gambar 3. 5 Kacamata.....	18
Gambar 3. 6 Stopwatch.....	18
Gambar 3. 7 V-Block.....	19
Gambar 3. 8Alat Uji Impak.....	19
Gambar 3. 9 Benda kerja terpasang	21
Gambar 3. 10 Permukaan ke dua benda kerja pada posisi center.....	21
Gambar 3. 11 Proses las gesek	22
Gambar 3. 12 Proses penekanan yang terjadi pada pengelasan gesek.....	22
Gambar 3. 13 Hasil Yang Diperoleh	23
Gambar 4. 1 Speimen Sebelum Uji Impak.....	27
Gambar 4. 2 Pengujian Impak	28
Gambar 4. 3 Spesimen Setelah Uji Impak	28
Gambar 4. 4 Grafik Data Energi Yang Diserap	33
Gambar 4. 5 Hasil Patahan Spesimen Nilai Terendah Energi Yang Diserap.....	34
Gambar 4. 6 Hasil Patahan Nilai Tertinggi Energi Serap.....	35
Gambar 4. 7 Grafik Harga Impak	36
Gambar 4. 8 Hasil Patahan Spesimen Nilai Terendah Harga Impak.....	37
Gambar 4. 9 Hasil Patahan Nilai Tertinggi Harga Impak.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DAFTAR RIWAYAT HIDUP	45
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN UJI IMPAK	47
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN ANOVA	75



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan kemajuan teknologi di bidang industri manufaktur saat ini, membuat sistem produksi dengan metode pengelasan sangat dibutuhkan. Pengelasan merupakan salah satu sarana untuk mencapai ekonomi produksi yang lebih baik serta memiliki peranan dalam bidang konstruksi dan logam.

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan energi panas agar mencapai titik lebur logam. Penerapan metode pengelasan tidak hanya ditemui pada produksi suatu alat, namun juga dapat difungsikan sebagai reparasi dari semua jenis alat yang dibuat dari logam [1]. Berdasarkan klarifikasi cara pengerjaannya ada beberapa jenis-jenis pengelasan yaitu, pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematian. Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah contoh pengelasan tekan.

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan teknik penyambungan dengan menggesekkan dua material bahan dengan proses pengelasan dimana salah satu bahan berputar dan bahan lainnya tetap dengan memberikan gaya, sehingga menghasilkan panas. Proses pengelasan jenis solid state merupakan salah satu metode teknologi las gesek. Penyambungan dua material logam yang sama jenis ataupun berbeda jenis dapat menggunakan metode pengelasan gesek (*friction welding*).

Pada penerapannya material yang sering digunakan pada pengelasan gesek (*friction welding*) yaitu baja. Baja merupakan paduan logam dan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) unsur paduan utamanya. Kandungan karbon pada baja berkisar 0,2% sampai dengan 2,1% dengan berat yang sesuai.

Baja yang akan saya gunakan pada penelitian ini ialah baja AISI 4140 dan AISI 4340. Dengan metode penyambungan material bahan tersebut, variasi parameter yang

akan digunakan ialah kecepatan putar dan jarak penekan. Kecepatan putar yang digunakan adalah masing-masing sebesar 720 rpm, 1000 rpm dan 1400 rpm. Sedangkan untuk jarak penekanannya sebesar 2 mm, 3 mm, dan 4 mm.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam melakukan proses pengelasan yang akan di bahas adalah bagaimana pengaruh variasi kecepatan putar dan jarak penekanan terhadap kekuatan impak pada hasil sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340 dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Metode pengelasan yang digunakan adalah las gesek (*friction welding*).
2. Material yang digunakan baja AISI 4140 dan AISI 4340.
3. Variasi parameter yang digunakan adalah kecepatan putar 720 rpm, 1000 rpm, dan 1400 rpm dan jarak penekanan sebesar 2 mm, 3 mm, dan 4 mm.
4. Parameter waktu gesekan pada saat proses penyambungan tetap yaitu 60 detik.
5. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji impak dengan metode *charpy*.

1.4 Tujuan penelitian

Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar dan jarak penekanan terhadap kekuatan impak pada hasil sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340 dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*).

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat mengetahui hasil sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340 dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*) pada kelayakan suatu peralatan produksi dan sebagai reparasi dari semua jenis alat atau produksi yang terbuat dari logam.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Las Gesek (Friction Welding)

DIN (Deutch Industrie Normen) mendefinisikan bahwa las kedalam ikatan metalurgi yang dapat menyambungkan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair atau lumer. Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan dua buah logam hingga titik rekristalisasi menggunakan bahan tambahan maupun tidak [2] .

Berdasarkan cara kerjanya pengelasan digolongkan menjadi :

- a. Pengelasan cair merupakan proses pengelasan dengan mencairkan sambungan menggunakan sumber panas dari busur listrik atau semburan api.
- b. Pengelasan tekan merupakan proses pengelasan dengan menyambungkan dua logam yang dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- c. Pematrian merupakan proses pengelasan dengan menyambungkan logam yang memiliki titik cair lebih rendah dari logam yang akan disambung dan pada logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

Dengan menggabungkan dua permukaan pada suhu di bawah titik leleh material, pengelasan keadaan padat menghilangkan kebutuhan akan logam pengisi atau bahan tambahan lainnya. Pada sambungan, tekanan dapat digunakan atau tidak. Proses deformasi dan proses difusi, atau kombinasi keduanya, dapat menyebabkan proses penyambungan. Dalam pengelasan keadaan padat, proses deformasi diperlukan untuk menjamin kerapatan material. Proses difusi dapat dipicu oleh peningkatan temperatur pada kedua permukaan kontak.

Sambungan yang dibuat dengan pengelasan *solid state* juga berkualitas tinggi. Langkah yang tidak tepat dalam proses penyambungan dua logam berbeda menggunakan pengelasan adalah melelehkan bahan dasarnya. Pada dasarnya, dimana tidak semua logam berbaur dengan baik dalam bentuk cair. Proses pengelasan juga dapat digunakan, tetapi kualitas sambungannya buruk. Akibatnya, pengelasan gesek

adalah opsi pengelasan yang dapat digunakan untuk menggabungkan proses di berbagai logam. Itu dapat mencapai kekuatan sambungan yang baik pada logam yang akan dilas dan juga dapat menggabungkan bahan yang serupa tetapi sulit untuk bergabung dengan pengelasan fusi. Misalnya, pengelasan pada baja dengan kandungan karbon tinggi cenderung menghasilkan retakan sambungan karena area sambungan yang membeku.

Dalam diagram fasa, khususnya, sifat-sifat material yang akan disambung sering digunakan untuk memahami proses penyambungan. Jenis *solid state* merupakan langkah yang baik untuk melakukan proses penyambungan karena sulit untuk menyambung dalam keadaan leleh, seperti yang terlihat dari diagram fasa material. Hal ini dapat dilakukan pada proses las solid state karena sambungan dalam keadaan padat tanpa peleburan dan tanpa melalui proses pencampuran logam. Melalui difusi atom, ini terjadi sebagai akibat penyambungan.

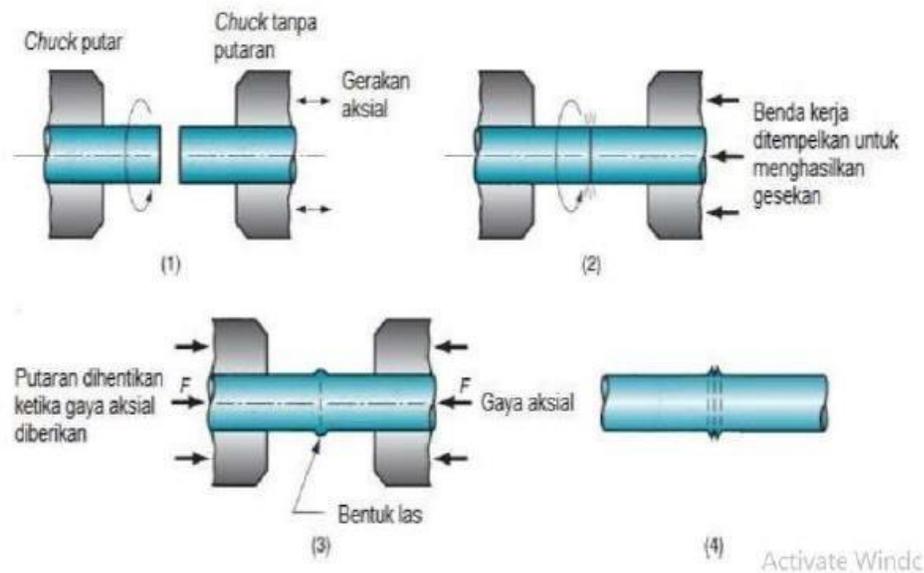
Ada beberapa teknik penyambungan solid state yang dapat digunakan dengan pengelasan *solid state*. Diantaranya adalah pengelasan ledakan, yang menggunakan energi ledakan, ikatan difusi, yang menggunakan difusi atom dan pengelasan gesekan yang menggunakan gesekan.

2.2 Pengertian Las Gesek (*Friction welding*)

Las Gesek (*friction welding*) adalah suatu metode pengelasan jenis *solid state welding*. Penyambungan dua logam yang saling bergesekan menimbulkan terjadinya panas, sehingga proses penyambungan terjadi dengan mengkombinasikan panas dan tekanan tempa. Proses ini dilakukan dengan cara menggesekan ujung dua buah logam yang akan disambung. Dimana penyambungan terjadi akibat panas yang dihasilkan oleh gesekan rotasi dua logam antara logam induk di bawah pengaruh gaya aksial. Panas dihasilkan ketika salah satu logam diputar pada permukaan kontak. Ia bahkan bisa mendekati titik didih logam, membuat permukaan logam menjadi plastis. Dalam kondisi panas, gaya tekan aksial diterapkan untuk mencegah gerakan atau gesekan antara kedua ujung permukaan logam, memungkinkan sambungan las [3].

Sebagai hasil dari kesederhanaan, kecepatan, kurangnya logam pengisi, dan hasil penyambungan yang sangat baik, teknologi pengelasan gesek saat ini semakin populer. Karena *heat effect area* (HAZ) logam yang disambung relatif kecil, panas yang dihasilkan tidak mencapai suhu cair logam. Ini mencegah efek negatif panas logam yang terjadi akibat tekanan tempa. Karena penggunaan teknologi ini dalam proses penyambungan dua buah logam masih relatif terbatas pada usaha menengah dan kecil, diperlukan penelitian untuk penerapannya.

Dalam proses pengelasan gesek (*friction welding*), ada 3 tahapan proses penyambungan yaitu pemasangan benda kerja, menempelkan benda kerja untuk menghasilkan panas akibat adanya gesekan antara ke dua ujung permukaan benda (proses gesek) dan proses penekanan ketika gaya aksial diberikan sehingga ke dua ujung permukaan benda tersambung.



Gambar 2. 1 Proses Las Gesek (*friction welding*) [3]

2.3 Mesin Bubut

Proses kerja mesin bubut adalah memutar benda kerja dan memotongnya dengan mata potong pahat. Pembentukan benda kerja yang berbentuk silinder merupakan salah satu proses produksi pada mesin bubut. Dalam pengoperasian mesin bubut benda kerja dimasukkan ke dalam chuck penjepit yang terpasang pada spindel mesin, serta dengan menggerakkan mata potong pahat yang terpasang di toolpost dengan menyejajarkan benda kerja yang akan dilakukan proses pemakanan atau pemotongan.



Gambar 2. 2 Mesin bubut konvensional [1]

2.4 Mesin Frais

Mesin frais ialah suatu jenis alat pemesinan yang akurat dalam proses mengerjakan berbagai proses pengerjaan permukaan suatu benda yang dapat menggunakan berbagai metode pemotongan. Prosesnya bisa dilakukan dengan salah satu dari dua cara tergantung pada pahat yang digunakan. Dalam suatu produksi yang diterapkan di bengkel kerja, mesin ini memiliki berbagai proses pengerjaan seperti benda yang datar dan memiliki permukaan yang tidak beraturan. [4].



Gambar 2. 3 Mesin Frais [5]

2.5 Kelebihan Dan Kekurangan Las Gesek (*Friction Welding*)

2.5.1 Kelebihan Las Gesek (*friction welding*)

Kelebihan yang dimiliki dari pengelasan gesek dibandingkan dengan proses las fusi sebagai berikut ;

1. Logam pengisi tidak diperlukan pada proses pengelasan.
2. Pada produksi dengan jumlah yang banyak dapat dilakukan.
3. Tidak menghasilkan asap dan gas sehingga ramah lingkungan.
4. Penyambungan pada material yang berbeda dapat dilakukan.

2.5.2 Kekurangan Las Gesek (*friction welding*)

Dibalik kelebihan metode pengelasan gesek, ada beberapa kekurangan yang dimiliki las gesek yaitu, antara lain sebagai berikut ;

1. Penyambungan material yang akan disambung harus simetris.
2. Harus memiliki sifat mampu deformasi secara plastis pada salah satu material yang akan disambung.
3. Mempunyai keterbatasan bentuk yang dapat dilas.

2.6 Baja Karbon

Karbon (C) adalah elemen paduan utama dalam baja karbon, yang merupakan paduan logam dengan besi (Fe) sebagai elemen dasarnya. Baja memiliki kandungan karbon antara 0,2 sampai dengan 2,1% dengan berat yang sesuai. Baja karbon adalah bahan baku umum untuk suku cadang mesin, struktur bangunan, peralatan produksi, dan aplikasi lainnya. Berdasarkan persentase total karbon dalam komposisi kimia baja, baja karbon dikategorikan sebagai berikut:

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

Tabel 2. 1 Jenis-jenis Baja Karbon [6]

No.	Jenis Baja Karbon	Persentase Unsur Karbon
1	Baja Karbon Rendah	$\leq 0,25\%C$
2	Baja Karbon Sedang	0,25 – 0,60% C
3	Baja Karbon Tinggi	$\geq 0,60\%C$

2.7 Baja AISI 4140

Baja yang memenuhi standar AISI 4140 banyak digunakan dalam produksi berbagai alat produksi suku cadang mesin industri dan otomotif. Kekerasan, keuletan, dan ketangguhan merupakan sifat mekanik baja AISI 4140 yang sering digunakan dalam desain reparasi suatu alat produksi. Kromium dan molibdenum terdapat dalam baja paduan AISI 4140. Implementasi penandaan Amerika dengan sistem AISI_SAE empat digit dapat ditemukan di sini. di mana kelompok elemen baja diwakili oleh dua angka pertama, dan kandungan karbon baja diwakili oleh dua angka terakhir. [7]

Tabel 2. 2 Komposisi kimia material AISI 4140

No	Nama Unsur (Simbol)	Persentase (%)
1	Mangan (Mn)	0,70 - 1,0
2	Karbon (C)	0,36 - 0,44
3	Silikon (Si)	0,1 - 0,40
4	Kromium (Cr)	0,9 - 1,20
5	Molibdenum (Mo)	0,15 - 0,25
6	Titik Lebur	1400 - 1500 °C

2.8 Baja AISI 4340

Baja AISI 4340 merupakan baja karbon sedang yang dikenal karena memiliki ketangguhan dan kekuatannya. Baja AISI 4340 memiliki kadar karbon sebesar 0,42%-0,50% C. AISI 4340 juga merupakan salah satu jenis baja nikel kromium molibdenum. Baja AISI 4340 sering digunakan pada reparasi alat produksi seperti pembuatan poros, batang penghubung piston kendaraan serta masih banyak yang lainnya[8]

Tabel 2.3 Komposisi kimia material AISI 4340

No	Nama Unsur (Simbol)	Persentase (%)
1	Mangan (Mn)	0,15 – 0,80
2	Karbon (C)	0,36 - 0,55
3	Silikon (Si)	0,30 - 0,60
4	Kromium (Cr)	0,9 - 2,0
5	Nikel (Ni)	≤ 0.20
6	Titik Lebur	1400 - 1500 °C

2.9 Uji Impak

Salah satu uji mekanik yang dapat digunakan untuk mengetahui ketahanan material terhadap benturan dan keuletannya terhadap perubahan suhu adalah uji impak. Jumlah energi yang diserap ketika keadaan terjadi pada material yang diuji menentukan ukuran dampak dan ketangguhan material. Bahan dengan keuletan memiliki nilai impak yang tinggi ketika menyerap energi potensial dari pendulum yang berayun dari ketinggian tertentu. Benda uji mengambil bentuk baru sebagai hasil dari prosedur ini. Metode *charpy* dan metode *izod* adalah dua jenis metode pengujian impak [9].

2.10 Pengujian Impak Metode Charpy

Menurut Handoyono (2013), uji impak dengan metode *charpy* meliputi penempatan benda uji pada bantalan yang mendatar dan pembebanan pada arah yang berlawanan dengan takikan. Pada pengujian yang dilakukan dengan mesin uji impak digunakan alat uji model *charpy* JB-300B dengan kapasitas bandul 150 *Joule*.. Gambar 2.5 berisi gambar alat uji.

Rumus di bawah ini dapat digunakan untuk menghitung jumlah energi yang diserap:

$$E = m \times g(h_0 - h_1) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$h_0 = \gamma(1 - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$h_1 = \gamma(1 - \cos \beta) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

E = energi yang diserap (joule)

m = massa pendulum (kg)

γ = Jarak lengan pendulum (m)

g = percepatan gravitasi (10 m/s²)

h_0 = jarak awal bandul dan material uji (m)

h_1 = jarak akhir pendulum setelah diayunkan (m)

$\cos \beta$ = sudut posisi awal pendulum

$\cos \alpha$ = sudut posisi akhir pendulum

Untuk menghitung harga impak dihitung dengan rumus dibawah ini :

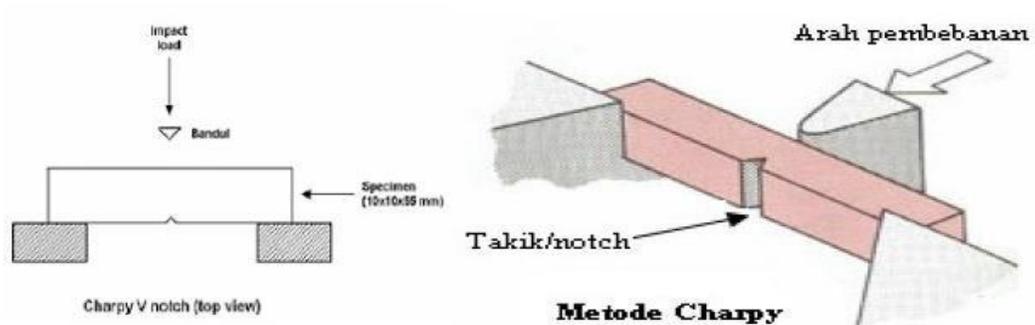
$$HI = E/A \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

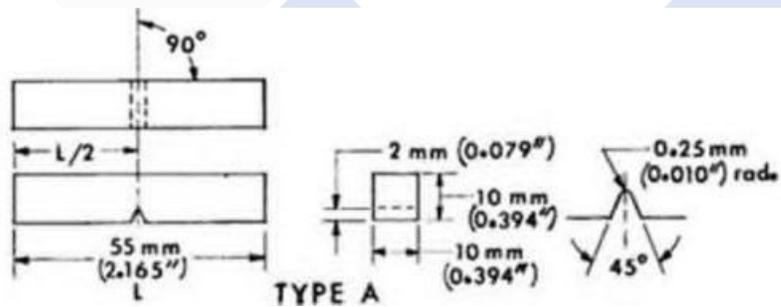
HI = Harga Impak

E = Energi yang diserap (joule)

A = Luas penampang takik (mm²)



Gambar 2. 4 Pengujian Impak Metode Charpy [9]



Gambar 2. 5 Pengujian Impak Dengan Standar ASTM E 23 [10].

2.11 Metode Penelitian

Desain faktorial dapat dianggap sebagai persamaan regresi yang diperlukan untuk menentukan model hubungan antara variabel respon dan satu atau lebih variabel bebas. Metode ini juga diterapkan untuk mencari pengaruh dari beberapa faktor tergantung kondisi hasil penelitian. Desain faktorial penuh adalah desain yang digunakan untuk mengetahui pengaruh beberapa faktor dan interaksinya secara bersamaan. Rancangan faktorial penuh memiliki sejumlah keunggulan, yang paling penting adalah hasilnya dapat diterapkan pada kondisi yang lebih luas karena kombinasi sejumlah faktor, dan informasi yang dikumpulkan lebih komprehensif karena dapat memeriksa efek utama dari interaksi. [11]

2.12 Penelitian Terdahulu

1. Muhammad Rizki Fadilah (2022)

Pada penelitian yang berjudul Pengaruh Variasi (Jarak Penekanan) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Gesek (Friction Welding) Pada Baja Karbon S45C dengan memvariasikan jarak penekanan sebesar 3 mm, 4 mm, dan 5 mm diperoleh hasil bahwa pengelasan pada jarak penekanan terdalam menghasilkan sambungan las yang sangat kuat, semakin besar penekanan selama proses pengelasan maka semakin kuat sambungan pada pengelasan. Pengelasan dengan jarak penekanan 4 mm dan 5 mm, memiliki energi yang diserap dan harga impact lebih tinggi dibandingkan dengan jarak penekanan 3mm Hasil energy yang diserap tertinggi yaitu pada jarak penekanan 5 mm dengan nilai rata-rata 70,82 joule, dan nilai terendah ada pada jarak penekanana 3 mm dengan nilai rata-rata 55,28 joule. Hasil harga impact tertinggi yaitu pada jarak penekanan 5 mm dengan nilai rata-rata 2,023 joule/mm², dan nilai terendah ada pada jarak penekanana 3 mm dengan nilai rata-rata 1,579 joule/mm² [12].

2. Picki Ilham (2022)

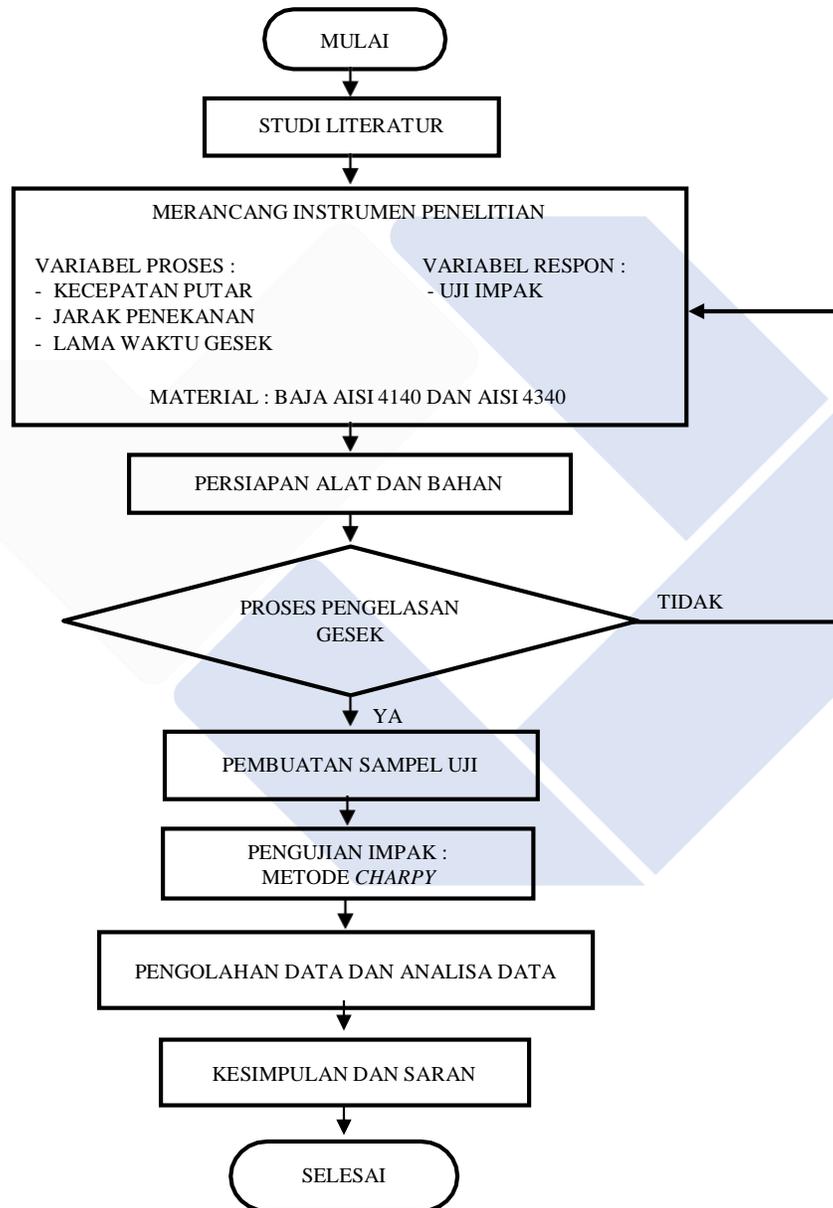
Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat bahwa pengelasan gesek dengan menggunakan kecepatan putar 1000 rpm menghasilkan sambungan las terkuat dengan rata-rata nilai energi impact sebesar 50,47 *Joule* dan harga impact sebesar 1,442 *Joule/mm²*. Dibandingkan dengan menggunakan kecepatan putar 450 rpm yang mempunyai rata-rata nilai energi impact 26,61 *Joule* dan harga impact 0,760 *Joule/mm²*. Sedangkan pada kecepatan putar 720 rpm dengan waktu gesek dan jarak penekanan yang sama mempunyai rata-rata nilai energi impact sebesar 43,46 *Joule* dan harga impact 1,241 *Joule/mm²* karena daerah lebur akan lebih besar pada kecepatan putar yang tinggi dibandingkan dengan kecepatan putar yang rendah [13].

3. Haikal, dkk (2019)

Pengelasan gesekan adalah salah satu proses pengelasan *solid* yang mampu menghasilkan sambungan berkualitas tinggi untuk material yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan dan waktu pengelasan terhadap sifat-sifat dan mekanik sambungan las gesekan AISI 316 dan AISI 4140. Sifat fisik merupakan mikrostruktur pada sambungan antarmuka las dan dimensi dari *flash* telah teliti. Variasi tekanan gesekan yang digunakan adalah 50 kg / cm², 70 kg / cm² dan 90 kg / cm², sedangkan variasi waktu yang digunakan adalah 35 detik, 50 detik dan 65 detik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar tekanan gesekan dan waktu gesekan yang diterapkan, semakin besar kekuatan tarik yang dicapai adalah 27,31 KN / mm². Variasi tekanan gesekan minimum kekerasan yang dicapai adalah 530,5 HVN tetapi variasi tekanan gesekan maksimum hanya mencapai 352,2 HVN. Semakin besar tekanan gesekan dan waktu gesekan yang diterapkan, semakin besar *flash* yang dihasilkan, yaitu 8,9 mm. 4. Daerah HAZ terjadi transformasi fasa yang mengakibatkan butiran berbeda dengan daerah logam induk [14].

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Skema Diagram alir

3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan kumpulan sumber referensi dari berbagai referensi antara lain seperti jurnal, karya tulis ilmiah, buku maupun sumber dari internet serta kajian pustaka yang dapat mendukung penelitian ini.

3.3 Rancangan Instrumen Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan 2 variabel yaitu :

1. Variabel Proses

Variabel proses pada penelitian ini meliputi variasi parameter yang akan digunakan yaitu, kecepatan putar 720 rpm, 1000 rpm, dan 1400 rpm, jarak penekanan 2 mm, 3 mm, 4, dan lama waktu gesek tetap yaitu 60 detik.

2. Variabel Respon

Variabel respon yang digunakan untuk mengetahui kekuatan sambungan hasil las gesek adalah dengan uji impak metode charpy

No. Spesimen	Kecepatan Putar (Rpm)	Jarak Penekanan (mm)	Waktu Gesek (detik)
1	720	2	60
2	720	3	60
3	720	4	60
4	1000	2	60
5	1000	3	60
6	1000	4	60
7	1400	2	60
8	1400	3	60
9	1400	4	60

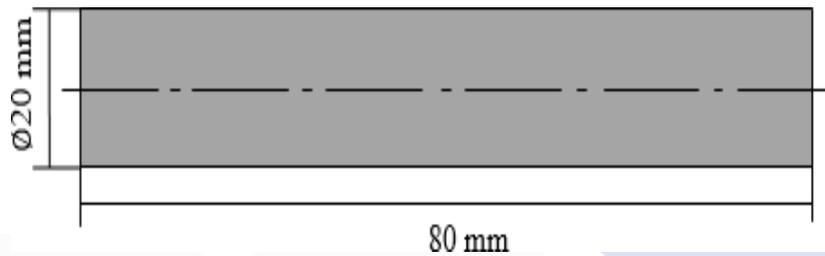
Tabel 3.1 Desain Eksperimen Spesimen Uji

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

A. Baja AISI 4140 dan AISI 4340

Baja komersial merupakan baja yang digunakan pada penelitian ini dan memiliki ukuran diameter 20 mm dan panjang 80 mm.



B. Mesin Bubut

Digunakan sebagai media proses pengelasan dan penyayatan benda kerja setelah proses penyambungan selesai.



Gambar 3. 2 Mesin BU 22 krisbow

C. Mesin Frais

Digunakan untuk proses pembentukan benda kerja menjadi datar (persegi) sesuai ukuran standar ASTM E 23.



Gambar 3. 3 Mesin Frais

D. Mesin Gerinda Tangan

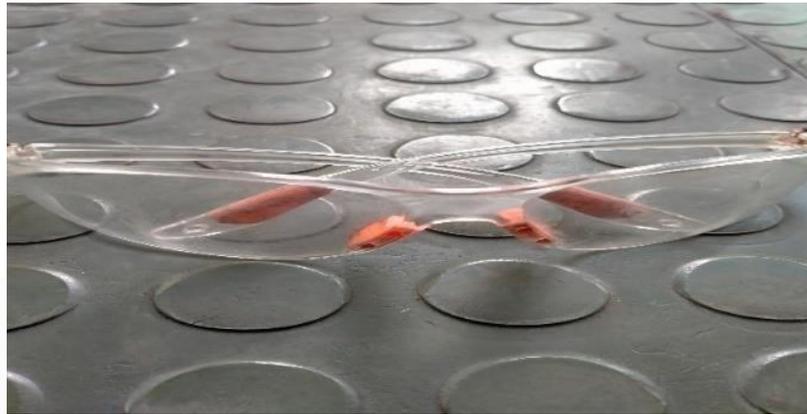
Digunakan untuk memotong spesimen yang telah dilas dan di bubut.



Gambar 3. 4 Mesin Gurinda Tangan

E. Kacamata

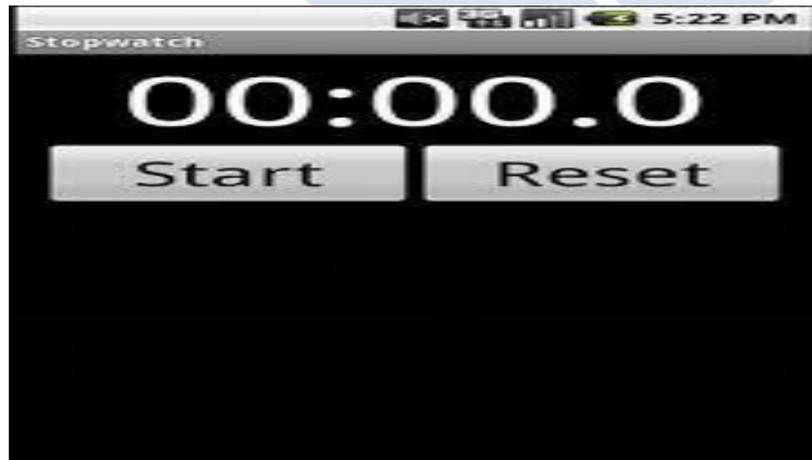
Digunakan untuk melindungi bagian mata pada saat proses pengelasan maupun pembubutan spesimen setelah pengelasan.



Gambar 3. 5 Kacamata

F. Stopwatch

Digunakan untuk menghitung proses lama waktu pengelasan`



Gambar 3. 6 Stopwatch

G. V-Block

Berfungsi sebagaiudukan benda kerja pada saat proses pengelasan.



Gambar 3. 7 V-Block

H. Mesin Uji Impak

Untuk memastikan kekuatan sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340 yang telah dilas gesek, digunakan mesin uji impak untuk mengukur kekuatan impak.



Gambar 3. 8Alat Uji Impak

3.5 Prosedur Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Proses pengelasan gesek (*friction welding*) pada penelitian ini menggunakan baja komersial AISI 4140 dan AISI 4340 dengan menggunakan mesin bubut sebagai alat untuk melakukan proses pengelasan gesek dengan menempelkan ke dua permukaan benda serta memberikan gaya gesek sehingga menimbulkan panas dan menyebabkan benda kerja bersatu. Material baja AISI 4340 dipasang pada bagian *chuck* yang berputar, sedangkan material baja AISI 4140 di pasang dibagian *toolpost* (sisi yang lain) dan dalam keadaan diam. Selanjutnya cekam *toolpost* pada posisi material telah terpasang dan pasangkan V-Block sebagai pendukung agar material baja AISI 4140 tidak bergerak karena material yang digunakan pada proses pengelasan berbentuk silinder. Kemudian putar spindle dengan kecepatan putaran rpm yang bervariasi yaitu, 720 rpm, 1000 rpm dan 1400 rpm, variasi jarak penekanan yaitu, 2mm, 3mm, dan 4mm serta waktu penekanan tetap yaitu 60 detik. Setelah itu, tentukan parameter pengelasan gesek benda kerja yang ingin di sambung sesuai ketentuan yang telah ditetapkan. Selanjutnya, matikan spindle kecepatan putar atau dengan menginjak rem yang berada di bawah bagian mesin bubut bila proses pengelasan telah sesuai dengan parameter spesimen yang telah ditetapkan. Setiap proses pengelasan gesek, harus menyesuaikan variasi parameter pada setiap spesimen benda kerja yang telah ditetapkan. Kemudian lepas benda kerja yang telah dilakukan proses pengelasan gesek.

3.6 Tahap-Tahap Proses Pengelasan Gesek

1. Pada tahap pertama, pasang material baja AISI 4340 pada chuck dan baja AISI 4140 pada toolpost mesin bubut.



(A)



(B)

Gambar 3. 9 Benda kerja terpasang

(A) *Chuck* dan (B) *ToolPost*

2. Setelah tahap pertama selesai dilakukan, pertemukan ke dua permukaan benda kerja dan posisikan dalam keadaan center satu dengan yang lain atau rata.



Gambar 3. 10 Permukaan ke dua benda kerja pada posisi *center*

3. Kemudian, langsung proses pengelasan gesek sesuai parameter yang ditetapkan sampai ke dua permukaan material mencair.



Gambar 3. 11 Proses las gesek

4. Selanjutnya, berikan tekanan pada saat proses pengelasan dilakukan sesuai parameter yang telah ditentukan menggunakan eretan hingga benda kerja menyatu dan penyambungan benda kerja dengan proses pengelasan gesek telah selesai dilakukan.



Gambar 3. 12 Proses penekanan yang terjadi pada pengelasan gesek

3.7 Hasil Pengelasan Gesek

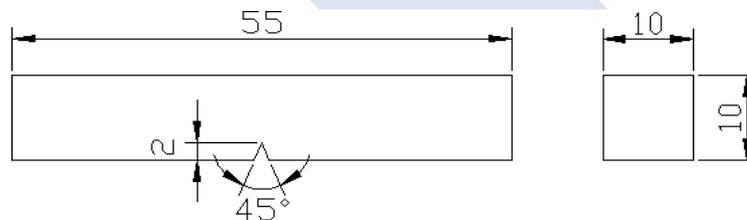
Hasil yang diperoleh dari proses pengelasan gesek yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.5 sebagai berikut :



Gambar 3. 13 Hasil Yang Diperoleh

3.8 Pembuatan Sampel

Pada pembuatan sampel hasil pengelasan gesek yang digunakan adalah dengan Standar Uji Impak ASTM E 23 dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm dengan kedalaman takik 2 dan sudut takik 45°. Berikut gambar ukuran Standard Uji Impak ASTM E 23.



Gambar 3.14 Ukuran standard uji impak ASTM E 23



Gambar 3. 15 Ukuran Spesimen Uji Impak



Gambar 3. 16 Sampel Uji Impak

3.9 Pengujian Impak Metode *Charpy*

Proses pengujian impak metode charpy dapat dilakukan sesudah proses pengelasan dan pembuatan sampel pengujian sesuai dengan Standar Uji Impak ASTM E 23 dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm dengan kedalaman takik 2 mm, dan sudut takik 45° telah selesai dibuat. Pada sampel tersebut menggunakan variasi parameter yang berbeda yaitu, kecepatan putar dan jarak penekanan, serta menggunakan lama waktu gesek tetap. Dengan menggunakan baja komersial AISI

4140 dan AISI 4340 sebagai material pengujian. Hal ini dilakukan untuk memperoleh hasil energi impact dan harga impact pada proses pengelasan gesek yang telah dilakukan.

Adapun proses dalam pengujian impact sebagai berikut :

1. Sediakan alat pengujian impact metode *Charpy* model JB-300B kapasitas bandul 150 *joule*.
2. Pastikan spesimen yang akan di uji memiliki ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm serta memiliki kedalaman takik 2 mm dan sudut takik 45°.
3. Posisikan spesimen pada landasan uji dengan posisi takik membelakangi arah datangnya lengan bandul.
4. Sesuaikan jarum penunjuk pada titik awal.
5. Selanjutnya, tabrakan spesimen yang di uji dengan melepaskan pengunci pada lengan bandul hingga membentur posisi sudut takik pada spesimen.
6. Pada saat lengan bandul berada pada puncak maksimum, lakukan pengereman agar lengan bandul berhenti.
7. Tulis hasil pengujian yang telah diperoleh.
8. Kemudian, posisikan lengan bandul pada keadaan semula.
9. Lakukan setiap tahap proses secara berurutan sesuai ketentuan di atas terhadap spesimen berikutnya.

Hasil patahan pada spesimen yang telah dilakukan pengujian impact dapat dilihat pada gambar 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3. 17 Patahan Spesimen Pengujian Impak

3.10 Pengolahan Data

Dengan memvariasikan parameter kecepatan putar dan jarak tekan terhadap kekuatan sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340, data yang didapatkan dari hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui hasil energi yang diserap dan harga impact dari proses pengelasan gesekan.

3.11 Kesimpulan dan Saran

Setelah proses penelitian selesai, data yang berasal dari hasil penelitian diolah hingga sampai pada kesimpulan penelitian. Setelah proses penelitian selesai, saran penulis akan dijelaskan kepada peneliti yang akan mengerjakan penelitian selanjutnya

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, menguraikan beberapa hasil dan pembahasan tentang pengaruh variasi kecepatan putar dan jarak penekanan terhadap kekuatan impact pada hasil sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340 dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*). Pada penelitian ini menggunakan variasi parameter kecepatan putar 720 Rpm, 1000 Rpm, 1400 Rpm dan jarak penekanan 2 mm, 3 mm, 4 mm serta material yang digunakan yaitu baja AISI 4140 dan AISI 4340 dengan pengujian impact metode charpy.

4.1 Uji Impact

Pengujian impact menggunakan alat uji impact *Testing Machine Model* dengan metode *charpy* model JB-300B kapasitas *Joule*. Spesimen uji impact mengacu pada standar ASTM E 23 dengan panjang 55 mm x 10 mm x 10 mm, dan besar sudut takik 45°, dengan radius 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Hasil penyambungan spesimen uji impact dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Spesimen Sebelum Uji Impact

Spesimen uji impact yang sudah dilakukan proses pengelasan gesek serta terjadi penyambungan, selanjutnya melakukan pengujian dengan melepas pendulum seberat 15 kg dengan panjang lengan 750 mm dan sudut awal $\cos \alpha 150^{\circ}$ untuk mendapatkan

sudut akhir $\cos \beta$ dari spesimen uji. Kegiatan pengujian impak ditunjukkan pada gambar 4.12 .



Gambar 4. 2 Pengujian Impak

Setelah diuji impak, akan menghasilkan spesimen yang mengalami patah. Hasil spesimen uji yang telah di uji impak menggunakan alat uji Impak Tecting machine dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Spesimen Setelah Uji Impak

Setelah mendapatkan hasil sudut akhir $\cos \beta$, maka dilakukan pengolahan data dengan menggunakan rumus harga impak untuk mengetahui nilai tertinggi dan terendah. Contoh perhitungan eksperimen berdasarkan persamaan 2.1, 2.2, 2.3, dan 2.4, yaitu :

Diket :	γ	= 750 mm	Ditanya :	h_0	?
	$\cos \alpha$	= $\cos 150^0$		h_1	?
	$\cos \beta$	= $\cos 137^0$		E	?
	m	= 15 kg		H	?
	g	= 10 m/s ²			

Jawab :

$$h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^0)$$

$$h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$$

$$h_1 = \gamma (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 113^0)$$

$$h_1 = 1298,5152 \text{ mm}$$

$$E = m \times g (h_0 - h_1)$$

$$E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1298,5152 \text{ mm})$$

$$E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,101 \text{ m}$$

$$E = 15,1505 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$$

$$E = 15,1505 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 15,1505 \text{ J}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{15,1505 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,1893 \text{ J/mm}^2$$

Nilai energi yang diserap untuk eksperimen 1 data awal adalah sebesar 15,1505 joule dan nilai harga impak untuk eksperimen 1 data awal adalah sebesar 0,1893 joule/mm². Untuk perhitungan energi yang diserap dan harga impak lainnya dapat dilihat dilampiran 2.

4.2 Data Energi Impak

Hasil data energi impak dari pengelasan gesek dengan variasi parameter kecepatan putar 720 rpm, 1000 rpm, 1400 rpm, jarak penekanan 2 mm, 3 mm, 4 mm menggunakan material baja AISI 4140 dan AISI 4340, data energi impak dapat ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4. 1 Data Energi Impak (J)

(A = 80 mm²)

No	Kecepatan Putar (Rpm)	Jarak Penekanan (mm)	Energi Impak (J)			Rata-rata
			Spesimen			
			1	2	3	
1	720	2	15.1505	13.824	13.824	14.2662
2	720	3	32.9005	25.1142	22.7733	26.9293
3	720	4	37.8119	36.1559	32.9005	35.6228
4	1000	2	23.6212	23.6212	22.1506	23.131
5	1000	3	34.5186	29.7236	25.1142	29.7855
6	1000	4	58.8176	41.1178	36.1559	45.3638
7	1400	2	31.3021	22.1506	19.2787	24.2438
8	1400	3	43.4361	36.1559	26.6293	35.4071
9	1400	4	139.571	139.571	135.905	138.349

Dilihat dari hasil rata-rata energi impak pada tabel 4.1. mendapatkan nilai energi impak tertinggi pada kecepatan putar 1400 rpm dan jarak penekanan 4 mm dengan nilai energi impak sebesar 138.349 *joule* dan terendah pada kecepatan putar 720 rpm dan jarak penekanan 2 mm dengan nilai energi yang diserap sebesar 14.266 *joule*.

4.3 Data Harga Impak

Hasil harga impak dari pengelasan gesek dengan variasi parameter kecepatan putar 720 rpm, 1000 rpm, 1400 rpm, jarak penekanan 2 mm, 3 mm, 4 mm menggunakan material baja AISI 4140 dan AISI 4340, data harga impak dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini:

Tabel 4.2 Data Harga Impak (J/mm^2)

$$(A = 80 \text{ mm}^2)$$

No	Kecepatan Putar (Rpm)	Jarak Penekanan (mm)	Nilai Harga Impak (J/mm^2)			Rata-rata
			Spesimen			
			1	2	3	
1	720	2	0.1893	0.1728	0.1728	0.1783
2	720	3	0.4112	0.3139	0.2846	0.3365
3	720	4	0.4726	0.4519	0.4112	0.4452
4	1000	2	0.2952	0.2952	0.2768	0.2890
5	1000	3	0.4314	0.3715	0.3139	0.3722
6	1000	4	0.7352	0.5139	0.4519	0.567
7	1400	2	0.3912	0.2768	0.2409	0.3029
8	1400	3	0.5429	0.4519	0.3328	0.4425
9	1400	4	1.7446	1.7446	1.6988	1.7293

Dilihat dari hasil rata-rata harga impak pada tabel 4.2. mendapatkan nilai harga impak tertinggi pada kecepatan putar 1400 Rpm dan jarak penekanan 4 mm dengan nilai harga impak sebesar $1.7293 \text{ joule/mm}^2$ dan terendah pada kecepatan putar 720 Rpm dan jarak penekanan 2 mm dengan nilai harga impak $0.1783 \text{ joule/mm}^2$

4.4 Uji ANOVA

Uji ANOVA menggunakan minitab versi 21.3 (*Minitab license*), perhitungan uji ANOVA kekuatan impak dapat dilihat pada lampiran 3. Tabel 4.3. berikut :

Tabel 4. 3 Data ANOVA Kekuatan Impak

Faktor	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	F-Tabel
Kecepatan Putar	2	1,3067	0,6533	7,76	3.55
Jarak Penekanan	2	2,1865	1,0932	12,99	3.55
Kecepatan Putar*Jarak Penekanan	4	1,7534	0,4383	80,25	2.93
Error	18	0,0983	0,0054		
Total	26	5,3451			

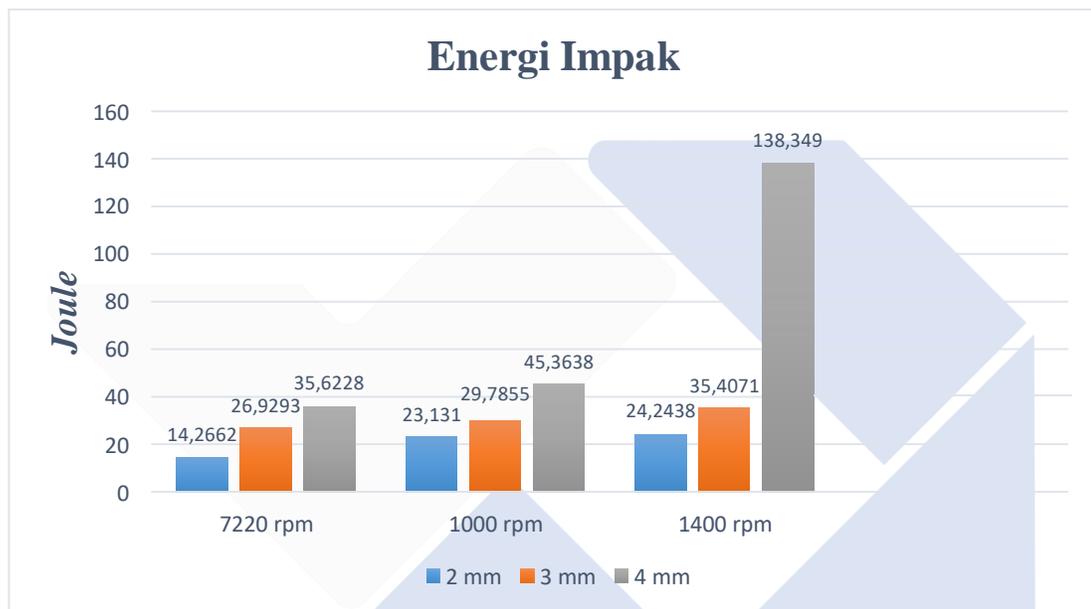
Dari tabel 4.2 menunjukkan nilai signifikansi data ANOVA kekuatan impak yakni F tabel $0,05;2;18 = 3.55$ untuk faktor kecepatan putar dan jarak penekanan dan F tabel $0,05;2;18 = 2.93$ untuk interaksi kedua faktor. Jika nilai F hitung $>$ F tabel sehingga gagal menolak H0.

1. Ditinjau dari faktor kecepatan putar (faktor A), nilai Fhitung $>$ Ftabel, sehingga H0 ditolak dan diterima H1. Disimpulkan bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap kekuatan impak pada sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340
2. Ditinjau dari faktor jarak penekanan (faktor B), nilai Fhitung $>$ Ftabel, sehingga H0 ditolak dan diterima H1. Disimpulkan bahwa jarak penekanan berpengaruh terhadap kekuatan impak pada sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340.
3. Ditinjau dari interaksi faktor kecepatan putar (faktor A) dan faktor jarak penekanan (faktor B), nilai Fhitung $>$ F tabel, sehingga H0 ditolak dan diterima H1. Disimpulkan bahwa interaksi faktor kecepatan putar (faktor A) dan faktor jarak penekanan (faktor B) berpengaruh terhadap kekuatan impak pada sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340.

4.5 Analisis

4.5.1 Hasil Data Energi Impak

Hasil pengujian impact akan dianalisis, data yang di analisis meliputi hasil energi impact dan harga impact. Perbedaan nilai keseluruhan hasil harga impact pada spesimen uji impact dapat dilihat dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.4



Gambar 4. 4 Grafik Data Energi Impact

Dilihat dari grafik data energi impact pada gambar 4.4. menunjukkan bahwa terdapat perbedaan data energi impact yang signifikan dari spesimen dengan menggunakan parameter yaitu kecepatan putar 720 rpm, 1000 rpm, 1400 rpm dan jarak penekanan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm. Hal ini, menyebabkan adanya perbedaan nilai energi impact dari yang terendah dan tertinggi. Berdasarkan grafik energi impact, dapat dinyatakan bahwa data energi impact yang terendah diperoleh pada spesimen yang menggunakan parameter pada kecepatan putar 720 rpm dan jarak penekanan 2 mm dengan data energi impact sebesar 14.266 joule. Sedangkan untuk data tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan parameter dengan data energi impact sebesar 138.349 joule.

Dari hasil pengujian yang menggunakan parameter kecepatan putar 720 rpm dan jarak penekanan 2 mm menghasilkan nilai energi impact yang terendah. Hal ini disebabkan pada saat kecepatan putar 720 rpm menghasilkan daerah lebur yang tidak merata dan menyebabkan proses penyambungan tidak maksimal serta hasil sambungan pengelasan pun tidak terlalu kuat dan mengikat. Jarak penekanan yang terlalu dekat pada saat proses penyambungan membuat nilai energi impact pada kekuatan impact menurun. Hal ini terbukti dari hasil penelitian, dimana nilai terendah terdapat pada jarak penekanan 2 mm. Spesimen dengan nilai energi impact terendah, mengalami kerusakan yang luas hal ini membuktikan bahwa penyambungan spesimen tidak tangguh dalam menahan beban kejut pada saat uji impact. Hasil patahan dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hasil Patahan Spesimen Nilai Energi Impact

Dari hasil pengujian yang menggunakan parameter kecepatan putar 1400 rpm dan jarak penekanan 4 mm menghasilkan nilai energi impact yang tertinggi. Penyebab tingginya nilai energi impact pada parameter ini adalah semakin tinggi kecepatan putar pada saat penyambungan maka akan menghasilkan daerah lebur yang luas dan merata sehingga menghasilkan sambungan las yang kuat dan mengikat. Jarak penekanan yang besar pada saat proses penyambungan membuat nilai energi impact pada kekuatan impact naik. Hal ini terbukti dari hasil penelitian, dimana nilai energi impact tertinggi

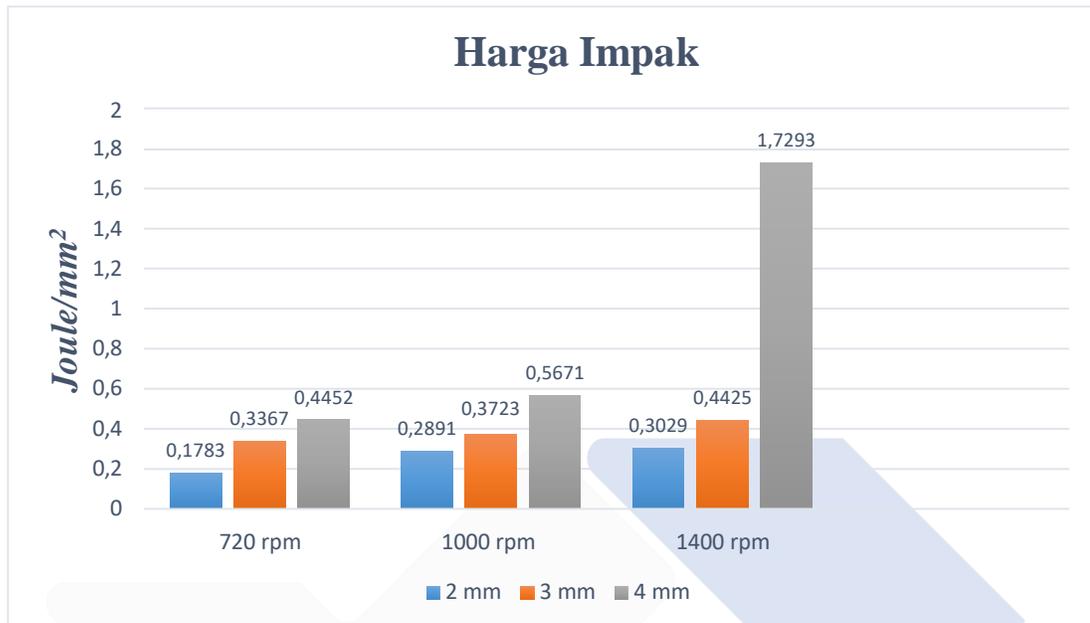
pada jarak penekanan 4 mm. Spesimen dengan nilai energi impak tertinggi, mengalami kerusakan yang sedikit hal ini membuktikan bahwa spsimen tangguh karena material yang mengalami sedikit kerusakan pada saat diberikan beban kejut. Hasil patahan dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Hasil Patahan Nilai Tertinggi Energi Impak

4.5.2 Hasil Harga Impak

Hasil pengujian impak akan dianalisis, data yang di analisis meliputi hasil energi impak dan harga impak. Perbedaan nilai keseluruhan hasil harga impak pada spesimen uji impak dapat dilihat dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.7



Gambar 4. 7 Grafik Harga Impak

Dilihat dari grafik data harga impact pada gambar 4.7. menunjukkan bahwa terdapat perbedaan data harga impact yang signifikan dari spesimen yang menggunakan variasi parameter yaitu kecepatan putar 720 rpm, 1000 rpm, 1400 rpm dan jarak penekanan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm. Hal ini, mengakibatkan adanya perbedaan nilai harga impact dari yang terendah dan tertinggi. Berdasarkan grafik harga impact, dapat dinyatakan bahwa data harga impact yang terendah diperoleh pada spesimen yang menggunakan parameter pada kecepatan putar 720 rpm dan jarak penekanan 2 mm dengan data harga impact sebesar 0,1783 *joule/mm²* . Sedangkan untuk data harga impact tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan parameter dengan data harga impact sebesar 1,7293 *joule/mm²*.

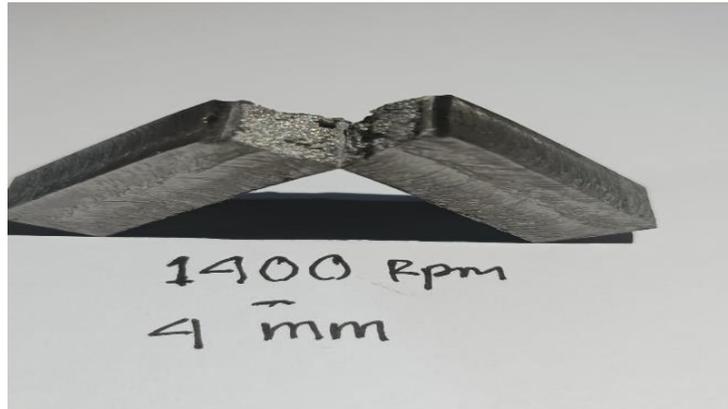
Hasil pengujian yang menggunakan parameter kecepatan putar 720 rpm dan jarak penekanan 2 mm menghasilkan nilai harga impact yang terendah. Hal ini disebabkan pada saat kecepatan putar 720 rpm menghasilkan daerah lebur yang tidak merata dan menyebabkan proses penyambungan tidak maksimal serta hasil sambungan pengelasan pun tidak terlalu kuat dan mengikat. Jarak penekanan yang terlalu kecil

pada saat proses penyambungan membuat nilai harga impak pada kekuatan impak menurun. Hal ini terbukti dari hasil penelitian, dimana nilai terendah terdapat pada jarak penekanan 2 mm. Spesimen dengan nilai harga impak terendah, mengalami kerusakan yang besar hal ini membuktikan bahwa spesimen tidak tangguh dalam menahan beban kejut pada saat uji impak. Hasil patahan dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 8 Hasil Patahan Spesimen Nilai Terendah Harga Impak

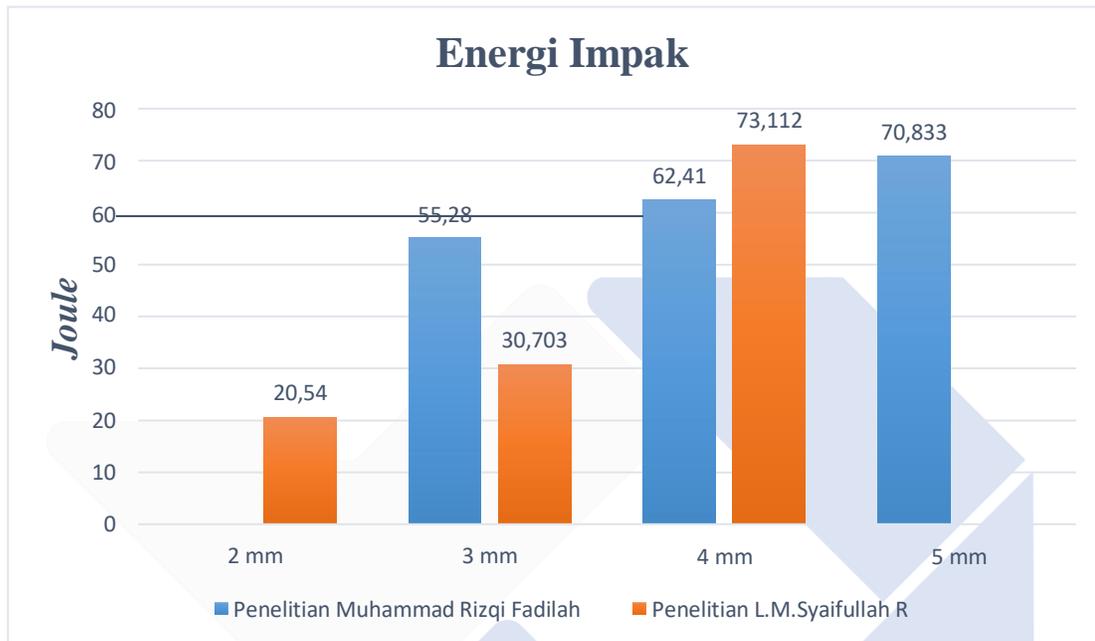
Hasil pengujian yang menggunakan parameter kecepatan putar 1400 Rpm dan jarak penekanan 4 mm menghasilkan nilai harga impak yang tertinggi. Penyebab tingginya nilai harga impak pada parameter ini adalah semakin tinggi kecepatan putar dan jarak penekanannya pada saat pengelasan maka menghasilkan daerah lebur yang besar dan merata sehingga menghasilkan sambungan las yang kuat dan mengikat.. Spesimen dengan nilai harga impak tertinggi, mengalami kerusakan yang sedikit. Hal ini membuktikan bahwa spesimen tangguh karena material mengalami sedikit kerusakan pada saat diberikan beban kejut. Hasil patahan dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 9 Hasil Patahan Nilai Tertinggi Harga Impak

Dari hasil pengujian impak yang dilakukan terhadap spesimen dengan kecepatan putar 720 rpm, 1000 rpm, 1400 rpm dan jarak penekanan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm pada pengelasan gesek terhadap baja karbon AISI 4140 dan AISI 4340 merupakan fenomena patahan pada material yang diawali dengan retakan secara cepat (patahan getas).

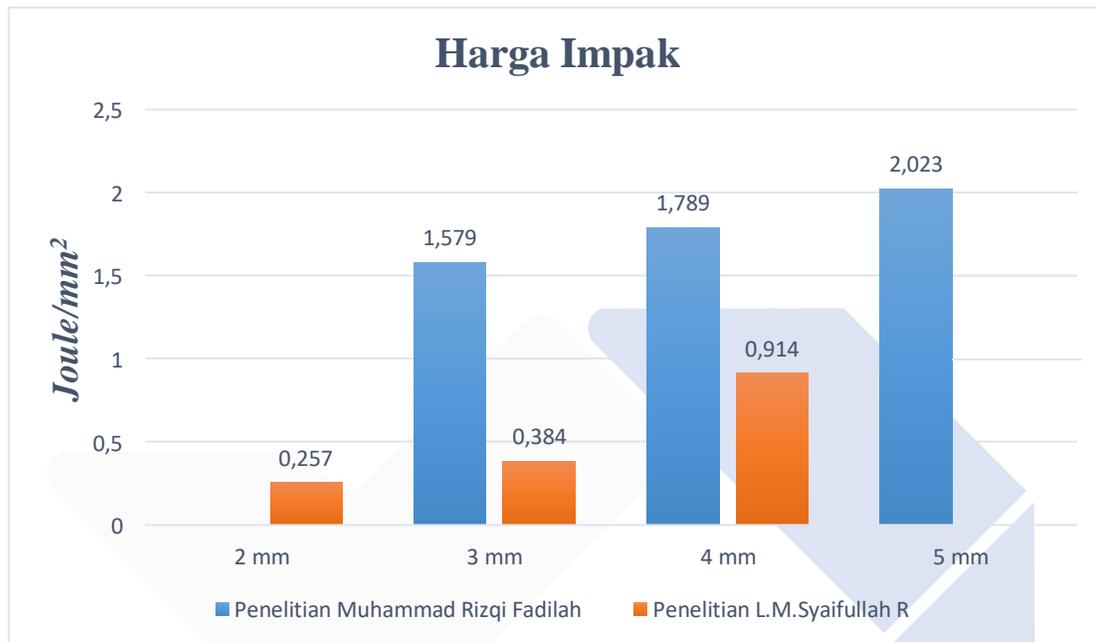
4.6 Grafik Perbandingan Penelitian Terdahulu



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Energi Impak

Dilihat dari grafik perbandingan penelitian Rizqi Fadilah (2022) yang berjudul Pengaruh Variasi (Jarak Penekanan) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Gesek (*Friction Welding*) Pada Baja Karbon S45C dan penelitian ini yang berjudul Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Dan Jarak Penekanan Terhadap Kekuatan Impak Pada Sambungan Baja AISI 4140 Dan AISI 4340 Dengan Metode Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai energi impak. Dimana pada penelitian Rizqi Fadilah (2022) yang memvariasikan jarak penekanan 3 mm, 4 mm, dan 5 mm memperoleh nilai energi impak tertinggi pada jarak penekanan 5 mm dengan nilai rata-rata sebesar 70,82 *joule* dan nilai energi impak terendah pada jarak penekanan 3 mm dengan nilai rata-rata sebesar 55,28 *joule*. Sedangkan pada penelitian ini yang memvariasikan jarak penekanan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm memperoleh nilai energi impak tertinggi pada jarak penekanan 4 mm dengan

nilai rata-rata sebesar 73,112 *joule* dan nilai energi impact terendah pada jarak penekanan 2 mm dengan nilai rata-rata sebesar 20,54 *joule*.

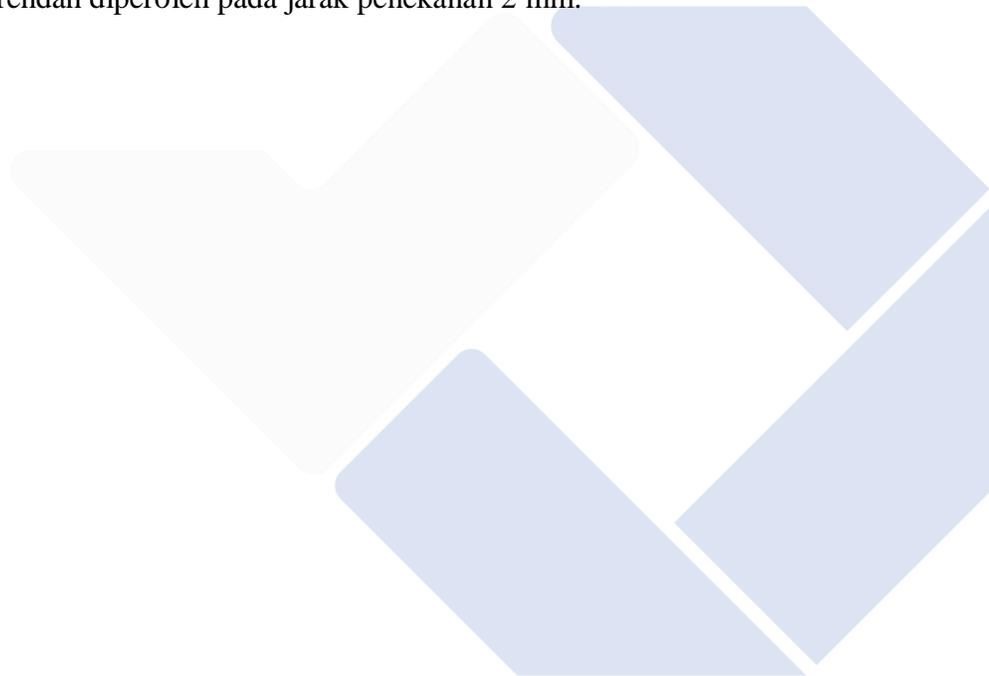


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Harga Impact

Dilihat dari grafik perbandingan penelitian Rizqi Fadilah (2022) yang berjudul Pengaruh Variasi (Jarak Penekanan) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Gesek (*Friction Welding*) Pada Baja Karbon S45C dan penelitian ini yang berjudul Pengaruh Variasi Kecepatan Putar Dan Jarak Penekanan Terhadap Kekuatan Impact Pada Sambungan Baja AISI 4140 Dan AISI 4340 Dengan Metode Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai harga impact. Dimana pada penelitian Rizqi Fadilah (2022) yang memvariasikan jarak penekanan 3 mm, 4 mm, dan 5 mm memperoleh nilai harga impact tertinggi pada jarak penekanan 5 mm dengan nilai rata-rata sebesar 2,023 *joule/mm²* dan nilai harga impact terendah pada jarak penekanan 3 mm dengan nilai rata-rata sebesar 1,579 *joule/mm²*. Sedangkan pada penelitian ini yang memvariasikan jarak penekanan 2 mm, 3 mm, dan 4 mm memperoleh nilai harga impact tertinggi pada jarak penekanan 4 mm dengan nilai

rata-rata sebesar $0,914 \text{ joule/mm}^2$ dan nilai harga impact terendah pada jarak penekanan 2 mm dengan nilai rata-rata sebesar $0,257 \text{ joule/mm}^2$.

Dari hasil yang diperoleh pada penelitian Rizqi Fadilah (2022) menyatakan bahwa, semakin lama jarak penekanan yang dilakukan pada saat proses pengelasan gesek, maka semakin tinggi nilai energi impact dan harga impact yang didapatkan. Hal ini berbanding lurus pada penelitian ini dimana nilai energi impact dan harga impact tertinggi diperoleh pada jarak penekanan 4 mm dan nilai energi impact dan harga impact terendah diperoleh pada jarak penekanan 2 mm.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasar pada analisa data pengaruh variasi kecepatan putar dan jarak penekan terhadap kekuatan impact pada sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340 dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*) disimpulkan bahwa kecepatan putar, jarak penekanan, dan interaksi kedua faktor tersebut berpengaruh terhadap kekuatan impact pada sambungan baja AISI 4140 dan AISI 4340. Nilai energi yang diserap terendah berada pada variasi parameter kecepatan putar 720 rpm dan jarak penekanan 2 mm dengan nilai rata-rata sebesar 14,266 *joule* dan nilai energi yang diserap tertinggi berada pada variasi parameter kecepatan putar 1400 rpm dan jarak penekanan 4 mm dengan nilai rata-rata sebesar 138,349 *joule*. Sedangkan nilai impact terendah berada pada variasi parameter kecepatan putar 720 rpm dan jarak penekanan 2 mm dengan nilai rata-rata sebesar 0,1783 *joule/mm²* dan nilai impact tertinggi berada pada variasi parameter kecepatan putar 1400 rpm dan jarak penekanan 4 mm dengan nilai rata-rata sebesar 1,7293 *joule/mm²*.

5.2 Saran

1. Selalu perhatikan keselamatan diri pada saat proses pengelasan dengan menggunakan alat pelindung diri agar bahaya yang terjadi dapat diminimalisir.
2. Gunakan referensi yang sesuai variabel parameter yang ditentukan untuk menunjang hasil penelitian yang akan dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firmansyah, “*Analisa Sambungan Las Gesek Rotary Material Baja ST 37 dan ST 42,*” 2021, [Online]. Available: addison wesley publishiing company
- [2] T. Wiryosumarto, H dan Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradaya Pa. Jakarta: Pradaya Paramita, cetakan 9, 2004.
- [3] S. Ibnu, “*Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, dan Struktur Makro Lasan Stainless Steel Dengan Las Gesek (Friction Welding),*” Yogyakarta, 2002.
- [4] T. Rochim, *Teori Dan Teknologi Proses Permesinan*. 1985.
- [5] A. Ansyori, “*Pengaruh Kecepatan Potong dan Makan terhadap Umur Pahat pada Pemesinan Freis Paduan Magnesium,*” *Mechanical*, vol. 6, no. 1, pp. 28–35, 2015, doi: 10.23960/mech.v6.i1.201504.
- [6] A. Setiawan, “*Pengaruh Hujan, Air Laut, Dan Air Sungai Terhadap Laju Korosi Baja St 37 Yang Dipoles Dan Tidak Dipoles,*” 2018.
- [7] Sunardi, “*Effect Of Temperature Variation In Process Self Tempering And Variation Of Holding,*” vol. 1, no. 1, pp. 79–88, 2016.
- [8] M. Nurhasan *et al.*, “*Pengaruh panas terhadap baja AISI 4340 pada daerah HAZ , logam las , dan bahan induk setelah mengalami pengelasan SMAW The effect of heat on AISI 4340 steel in the HAZ area , weld metal , and base material after the SMAW welding process,*” pp. 81–87, 2021.
- [9] S. and S. R. S. Kalpakjian, “*Manucfacturing Engineering Illinois Institute of Technology,*” p. Chapter 31-900-921, 2009.
- [10] M. A. Muftinur *et al.*, “*Analisis Ketangguhan Material Baja A36 Hasil Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) Berdasarkan Metode Pengujian Impak ASTM E23,*” pp. 477–482, 2018.
- [11] A. Ahmad, L. L. Salomon, and J. Jessica, “*Desain Eksperimen Untuk Meningkatkan Kualitas Kekuatan Produk Dengan Pendekatan Analisis Desain Faktorial,*” *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 3, pp. 209–220, 2019, doi: 10.24912/jitiuntar.v6i3.4247.

- [12] M. R. Fadilah, F. Aswin, P. Manufaktur, and N. Bangka, “*Prosiding Seminar Nasional,*” 2022.
- [13] P. Ilham, “*Analisa Sambungan Las Gesek Rotary Material Baja ST 37 dan ST 42,*” 2022.
- [14] B. Margono *et al.*, “1. 141,” pp. 141–148, 2020.





LAMPIRAN 1 DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Curriculum Vitae



Data Pribadi

1. Nama : L.M Syaifullah Royan
2. Tempat dan Tanggal Lahir : Katilombu, 19 Desember 1998
3. Jenis Kelamin : Laki - Laki
4. Agama : Islam
5. Status Pernikahan : Belum Menikah
6. Warga Negara : Indonesia
7. Alamat KTP : Lingkungan Nelayan 1
RT/RW : 002/004
Kel/Desa : SUNGAILIAT
Kecamatan : SUNGAILIAT
Provinsi : Bangka Belitung
8. Nomor Telepon/HP : 085788400058
9. E-Mail : royansyaifullah@gmail.com
10. Kode Pos : 33211



LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN UJI IMPAK

BK Kecepatan Putar 720 Rpm, Jarak Penekanan 2 mm dan Waktu 60 DETIK

a. (Sampel 1)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$

Ditanya : $h_0 ?$

$\cos \alpha = \cos 150^\circ$

$h_1 ?$

$\cos \beta = \cos 137^\circ$

$E ?$

$m = 15 \text{ kg}$

$H ?$

$g = 10 \text{ m/s}^2$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$

$h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$

$h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \beta)$

$h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 113^\circ)$

$h_1 = 1298,5152 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$

$E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1298,5152 \text{ mm})$

$E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,101 \text{ m}$

$E = 15,1505 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 15,1505 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$

$E = 15,1505 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{15,1505 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,1893 \text{ J/mm}^2$

b. (Sampel 2)

$$\begin{aligned} \text{Diket : } \gamma &= 750 \text{ mm} \\ \cos \alpha &= \cos 150^\circ \\ \cos \beta &= \cos 138^\circ \\ m &= 15 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ditanya : } h_0 &? \\ h_1 &? \\ E &? \\ H &? \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jawab : } h_0 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_0 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ) \\ h_0 &= 1399,5190 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= \gamma (1 - \cos \beta) \\ h_1 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 138^\circ) \\ h_1 &= 1307,3586 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g (h_0 - h_1) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1307,3586 \text{ mm}) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,0921 \text{ m} \\ E &= 13,8240 \text{ kg} \times \underline{\text{m/s}^2} \times \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= 13,8240 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 \\ E &= 13,8240 \text{ J} \end{aligned}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{13,8240 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,1728 \text{ J/mm}^2$$

c. (Sampel 3)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 138^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \beta)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 138^\circ)$
 $h_1 = 1307,3586 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1307,3586 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,0921 \text{ m}$
 $E = 13,8240 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$
 $E = 13,8240 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 13,8240 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$
 $H = \frac{13,8240 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$
 $H = 0,1728 \text{ J/mm}^2$

BK Kecepatan Putar 720 Rpm, Jarak Penekanan 3 mm dan Waktu 60 Detik
a. (Sampel 1)

Diket : γ	= 750 mm	Ditanya : h_0	?
$\cos \alpha$	= $\cos 150^0$	h_1	?
$\cos \beta$	= $\cos 125^0$	E	?
m	= 15 kg	H	?
g	= 10 m/s^2		

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^0)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \beta)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 125^0)$
 $h_1 = 1180,1823 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1180,1823 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2193 \text{ m}$
 $E = 32,9005 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 32,9005 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 32,9005 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$
 $H = \frac{32,9005 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$
 $H = 0,4112 \text{ J/mm}^2$

b. (Sampel 2)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 130^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \beta)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 130^\circ)$
 $h_1 = 1232,0907 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1232,0907 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1674 \text{ m}$
 $E = 25,1142 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 25,1142 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 25,1142 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{25,1142 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,3139 \text{ J/mm}^2$

c. (Sampel 3)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 133^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 133^\circ)$
 $h_1 = 1261,4987 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1261,4987 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1380 \text{ m}$
 $E = 22,7733 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 22,7733 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 22,7733 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{22,7733 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,2846 \text{ J/mm}^2$

BK Kecepatan Putar 720 Rpm, Jarak Penekanan 4 mm dan Waktu 60 Detik

a. (Sampel 1)

Diket : γ	= 750 mm	Ditanya : h_0	?
$\cos \alpha$	= $\cos 150^\circ$	h_1	?
$\cos \beta$	= $\cos 122^\circ$	E	?
m	= 15 kg	H	?
g	= 10 m/s^2		

Jawab :

$$h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$$

$$h_1 = \gamma (1 - \cos \beta)$$

$$h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 122^\circ)$$

$$h_1 = 1147,4394 \text{ mm}$$

$$E = m \times g (h_0 - h_1)$$

$$E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1147,4394 \text{ mm})$$

$$E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2520 \text{ m}$$

$$E = 37,8119 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$$

$$E = 37,8119 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 37,8119 \text{ J}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{37,8119 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,4726 \text{ J/mm}^2$$

b. (Sampel 2)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 123^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 123^\circ)$
 $h_1 = 1158,4792 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1158,4792 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2411 \text{ m}$
 $E = 36,1559 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 36,1559 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 36,1559 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{36,1559 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,4519 \text{ J/mm}^2$

c. (Sampel 3)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 125^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 125^\circ)$
 $h_1 = 1180,1823 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1180,1823 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2193 \text{ m}$
 $E = 32,9005 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$
 $E = 32,9005 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 32,9005 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$
 $H = \frac{32,9005 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$
 $H = 0,4112 \text{ J/mm}^2$

BK Kecepatan Putar 1000 Rpm, Jarak Penekanan 2 mm dan Waktu 60 Detik

a. (Sampel 1)

Diket : γ	= 750 mm	Ditanya : h_0	?
$\cos \alpha$	= $\cos 150^\circ$	h_1	?
$\cos \beta$	= $\cos 131^\circ$	E	?
m	= 15 kg	H	?
g	= 10 m/s ²		

Jawab :

$$h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$$

$$h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$$

$$h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$$

$$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$$

$$h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 131^\circ)$$

$$h_1 = 1242,0442 \text{ mm}$$

$$E = m \times g (h_0 - h_1)$$

$$E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1242,0442 \text{ mm})$$

$$E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1574 \text{ m}$$

$$E = 23,6212 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$$

$$E = 23,6212 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$$

$$E = 23,6212 \text{ J}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{23,6212 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,2952 \text{ J/mm}^2$$

b. (Sampel 2)

$$\begin{aligned}\text{Diket : } \gamma &= 750 \text{ mm} \\ \cos \alpha &= \cos 150^\circ \\ \cos \beta &= \cos 131^\circ \\ m &= 15 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ditanya : } h_0 &? \\ h_1 &? \\ E &? \\ H &?\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jawab : } h_0 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_0 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ) \\ h_0 &= 1399,5190 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_1 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_1 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 131^\circ) \\ h_1 &= 1242,0442 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= m \times g (h_0 - h_1) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1242,0442 \text{ mm}) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1574 \text{ m} \\ E &= 23,6212 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= 23,6212 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 \\ E &= 23,6212 \text{ J}\end{aligned}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{23,6212 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,2952 \text{ J/mm}^2$$

c. (Sampel 3)

$$\begin{aligned} \text{Diket : } \gamma &= 750 \text{ mm} \\ \cos \alpha &= \cos 150^\circ \\ \cos \beta &= \cos 132^\circ \\ m &= 15 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ditanya : } h_0 &? \\ h_1 &? \\ E &? \\ H &? \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jawab : } h_0 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_0 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ) \\ h_0 &= 1399,5190 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_1 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 132^\circ) \\ h_1 &= 1251,8479 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g (h_0 - h_1) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1251,8479 \text{ mm}) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1476 \text{ m} \\ E &= 22,1506 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= 22,1506 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 \\ E &= 22,1506 \text{ J} \end{aligned}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{22,1506 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,2768 \text{ J/mm}^2$$

BK Kecepatan Putar 1000 Rpm, Jarak Penekanan 3 mm dan Waktu 60 Detik
a. (Sampel 1)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 124^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : h_0 ?
 h_1 ?
 E ?
 H ?

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 124^\circ)$
 $h_1 = 1169,3946 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1169,3946 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2301 \text{ m}$
 $E = 34,5186 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 34,5186 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 34,5186 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{34,5186 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,4314 \text{ J/mm}^2$

b. (Sampel 2)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 127^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : h_0 ?
 h_1 ?
 E ?
 H ?

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 127^\circ)$
 $h_1 = 1201,3612 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1201,3612 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1981 \text{ m}$
 $E = 29,7236 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 29,7236 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 29,7236 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{29,7236 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,3715 \text{ J/mm}^2$

c. (Sampel 3)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 130^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 130^\circ)$
 $h_1 = 1232,0907 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1232,0907 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1674 \text{ m}$
 $E = 25,1142 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 25,1142 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 25,1142 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{25,1142 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,3139 \text{ J/mm}^2$

BK Kecepatan Putar 1000 Rpm, Jarak Penekanan 4 mm dan Waktu 60 Detik

a. (Sampel 1)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 113^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 113^\circ)$
 $h_1 = 1043,0483 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1043,0483 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,3564 \text{ m}$
 $E = 58,8176 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 58,8176 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 58,8176 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{58,8176 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,7352 \text{ J/mm}^2$

b. (Sampel 2)

$$\begin{aligned}\text{Diket : } \gamma &= 750 \text{ mm} \\ \cos \alpha &= \cos 150^\circ \\ \cos \beta &= \cos 120^\circ \\ m &= 15 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ditanya : } h_0 &? \\ h_1 &? \\ E &? \\ H &?\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jawab : } h_0 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_0 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ) \\ h_0 &= 1399,5190 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_1 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_1 &= 750 \text{ mm} (1 - 120 \cos^\circ) \\ h_1 &= 1125 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= m \times g (h_0 - h_1) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1125 \text{ mm}) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2745 \text{ m} \\ E &= 41,1178 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= 41,1178 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 \\ E &= 41,1178 \text{ J}\end{aligned}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{41,1178 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,5139 \text{ J/mm}^2$$

c. (Sampel 3)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 123^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 123^\circ)$
 $h_1 = 1158,4792 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1158,4792 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2411 \text{ m}$
 $E = 36,1559 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 36,1559 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 36,1559 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{36,1559 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,4519 \text{ J/mm}^2$

BK Kecepatan Putar 1400 Rpm, Jarak Penekanan 2 mm dan Waktu 60 Detik

a. (Sampel 1)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 126^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : h_0 ?
 h_1 ?
 E ?
 H ?

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 126^\circ)$
 $h_1 = 1190,8389 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1190,8389 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2086 \text{ m}$
 $E = 31,3020 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 31,3020 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 31,3020 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{31,3020 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,3912 \text{ J/mm}^2$

b. (Sampel 2)

$$\begin{aligned}\text{Diket : } \gamma &= 750 \text{ mm} \\ \cos \alpha &= \cos 150^\circ \\ \cos \beta &= \cos 132^\circ \\ m &= 15 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ditanya : } h_0 &? \\ h_1 &? \\ E &? \\ H &?\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jawab : } h_0 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_0 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ) \\ h_0 &= 1399,5190 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_1 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_1 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 132^\circ) \\ h_1 &= 1251,8479 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= m \times g (h_0 - h_1) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1251,8479 \text{ mm}) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1476 \text{ m} \\ E &= 22,1506 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= 22,1506 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 \\ E &= 22,1506 \text{ J}\end{aligned}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{22,1506 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,2768 \text{ J/mm}^2$$

c. (Sampel 3)

$$\begin{aligned} \text{Diket : } \gamma &= 750 \text{ mm} \\ \cos \alpha &= \cos 150^\circ \\ \cos \beta &= \cos 134^\circ \\ m &= 15 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ditanya : } h_0 &? \\ h_1 &? \\ E &? \\ H &? \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jawab : } h_0 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_0 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ) \\ h_0 &= 1399,5190 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= \gamma (1 - \cos \alpha) \\ h_1 &= 750 \text{ mm} (1 - \cos 134^\circ) \\ h_1 &= 1270,9937 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g (h_0 - h_1) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1270,9937 \text{ mm}) \\ E &= 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1285 \text{ m} \\ E &= 19,2787 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= 19,2787 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 \\ E &= 19,2787 \text{ J} \end{aligned}$$

$$H = \frac{E}{A}$$

$$H = \frac{19,2787 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$H = 0,2409 \text{ J/mm}^2$$

BK Kecepatan Putar 1400 Rpm, Jarak Penekanan 3 mm dan Waktu 60 Detik

a. (Sampel 1)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 121^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : $h_0 ?$
 $h_1 ?$
 $E ?$
 $H ?$

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 121^\circ)$
 $h_1 = 1136,2785 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1136,2785 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2632 \text{ m}$
 $E = 43,436 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 43,436 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 43,436 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{43,436 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,5429 \text{ J/mm}^2$

b. (Sampel 2)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 123^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : h_0 ?
 h_1 ?
 E ?
 H ?

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 123^\circ)$
 $h_1 = 1158,4792 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1158,4792 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,2411 \text{ m}$
 $E = 36,1559 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 36,1559 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 36,1559 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{36,1559 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,4519 \text{ J/mm}^2$

c. (Sampel 3)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 129^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : h_0 ?
 h_1 ?
 E ?
 H ?

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 129^\circ)$
 $h_1 = 1221,9902 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 1221,9902 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,1775 \text{ m}$
 $E = 26,6293 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 26,6293 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 26,6293 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{26,6293 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 0,3328 \text{ J/mm}^2$

BK Kecepatan Putar 1400 Rpm, Jarak Penekanan 4 mm dan Waktu 60 Detik

a. (Sampel 1)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 68^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : h_0 ?
 h_1 ?
 E ?
 H ?

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 68^\circ)$
 $h_1 = 469,0451 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 469,0451 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,9304 \text{ m}$
 $E = 139,5711 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 139,5711 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 139,5711 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{139,5711 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 1,7446 \text{ J/mm}^2$

b. (Sampel 2)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 68^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : h_0 ?
 h_1 ?
 E ?
 H ?

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 68^\circ)$
 $h_1 = 469,0451 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 469,0451 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,9304 \text{ m}$
 $E = 139,5711 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 139,5711 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 139,5711 \text{ J}$

$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{139,5711 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 1,7446 \text{ J/mm}^2$

c. (Sampel 3)

Diket : $\gamma = 750 \text{ mm}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $\cos \beta = \cos 70^\circ$
 $m = 15 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Ditanya : h_0 ?
 h_1 ?
 E ?
 H ?

Jawab : $h_0 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_0 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 150^\circ)$
 $h_0 = 1399,5190 \text{ mm}$

$h_1 = \gamma (1 - \cos \alpha)$
 $h_1 = 750 \text{ mm} (1 - \cos 70^\circ)$
 $h_1 = 493,4849 \text{ mm}$

$E = m \times g (h_0 - h_1)$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (1399,5190 \text{ mm} - 493,4849 \text{ mm})$
 $E = 15 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,9061 \text{ m}$
 $E = 135,9051 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 \times \text{m}$

$E = 135,9051 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$
 $E = 135,9051 \text{ J}$

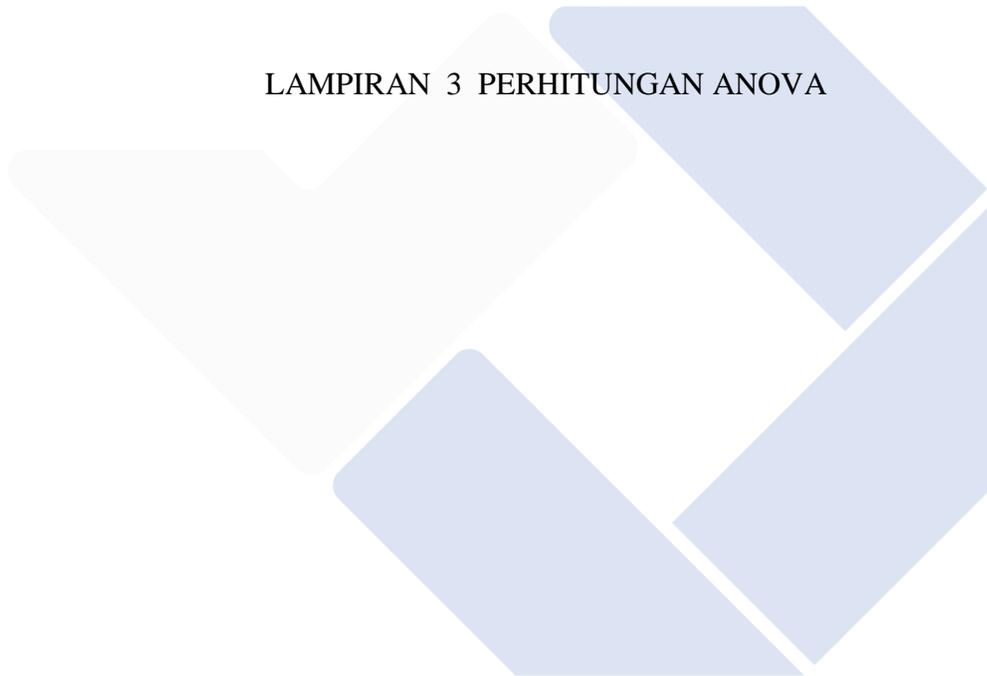
$H = \frac{E}{A}$

$H = \frac{135,9051 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$

$H = 1,6988 \text{ J/mm}^2$



LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN ANOVA



y

Kecepatan Putar	Jarak Penekanan		
	2 mm	3 mm	4 mm
720	0,1893	0,4112	0,4726
	0,1728	0,3139	0,4519
	0,1728	0,2846	0,4112
1000	0,2952	0,4314	0,7352
	0,2952	0,3715	0,5139
	0,2768	0,3139	0,4519
1400	0,3912	0,5429	1,7446
	0,2768	0,4519	1,7446
	0,2409	0,3328	1,6988
		y	13,9898
		y ²	195,7145
		y ² /abn	7,248685

$\sum y^2_{ijk}$

Jarak Penekanan		
2 mm	3 mm	4 mm
0,03583449	0,169085	0,22335076
0,02985984	0,098533	0,20421361
0,02985984	0,080997	0,16908544
0,08714304	0,186106	0,54051904
0,08714304	0,138012	0,26409321
0,07661824	0,098533	0,20421361
0,15303744	0,29474	3,04362916
0,07661824	0,204214	3,04362916
0,05803281	0,110756	2,88592144
	$\sum y^2_{ijk}$	12,5937795

Σy^2i dan Σy^2j

Kecepatan Putar	Jarak Penekanan			Σy^2i	
	2 mm	3 mm	4 mm		
720	0,1893	0,4112	0,4726	2,8803	8,296128
	0,1728	0,3139	0,4519		
	0,1728	0,2846	0,4112		
1000	0,2952	0,4314	0,7352	3,685	13,57923
	0,2952	0,3715	0,5139		
	0,2768	0,3139	0,4519		
1400	0,3912	0,5429	1,7446	7,4245	55,1232
	0,2768	0,4519	1,7446		
	0,2409	0,3328	1,6988		
Σy^2j	2,311	3,4541	8,2247	76,99855	
	5,340721	11,93080681	67,6456901	84,9172179	

Σy^2ij

Kecepatan Putar	Jarak Penekanan			Σy^2i		
	2 mm	3 mm	4 mm			
720	0,1893	0,4112	0,4726	0,5349	1,0097	1,3357
	0,1728	0,3139	0,4519			
	0,1728	0,2846	0,4112			
1000	0,2952	0,4314	0,7352	0,8672	1,1168	1,701
	0,2952	0,3715	0,5139			
	0,2768	0,3139	0,4519			
1400	0,3912	0,5429	1,7446	0,9089	1,3276	5,188
	0,2768	0,4519	1,7446			
	0,2409	0,3328	1,6988			
				0,286118	1,019494	1,784094
				0,752036	1,247242	2,893401
				0,826099	1,762522	26,91534
						37,48635
						12,49545

Diketahui	
a (Kompaksi)	3
b (Suhu Sintering)	3
n	3
$\sum y^2 / abn$	7,248685
$\sum y^2_{ijk}$	12,59378
$\sum y^2_i$	76,99855
$\sum y^2_j$	84,91722
$\sum y$	13,9898
$\sum y^2$	195,7145
$1/bn$	0,111111
$1/an$	0,111111
SST	5,345094
SSKP	1,306709
SSJP	2,186561
SS axb	1,753494

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y^2_{ijk} - \frac{y^2}{abn} = 12,5938 - 7,24869 = 5,34509$$

$$SS_{JP} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y^2_i - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 76,9986 - 7,24869 = 1,30671$$

$$SS_{KP} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y^2_j - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 84,9172 - 7,24869 = 2,18656$$

$$SS_{AxB} = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^a \sum_{b=1}^b y^2_{ij} - \frac{y^2}{abn} - SS_{JP} - SS_{KP} = 12,4955 - 7,24869 - 1,30670 -$$

$$2,18656 = 1,75349$$



JITT
JURNAL INOVASI TEKNOLOGI TERAPAN
POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG
Rawasan Industri Air Kandung Sungailiat - Bangka 33211, Telp (0717)99186, Fax (0717)99185
website : <http://jitt.polman-babel.ac.id>

e-ISSN : XXXX-XXXX

SURAT KETERANGAN
Nomor : 034/PL.28.C/PB/2023

Dengan ini menerangkan bahwa artikel yang berjudul

**“PENGARUH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN JARAK
PENEKANAN TERHADAP KEKUATAN IMPAK PADA
SAMBUNGAN BAJA AISI 4140 DAN AISI 4340 DENGAN
METODE PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*)”**

Atas nama :

Penulis : L.M. SYAIFULLAH R, RODIKA, ILHAM ARY WAHYUDIE
Afiliasi : POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG

Telah mengirimkan artikel dengan status *Submit* di Jurnal Inovasi Teknologi Terapan (JITT)
Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung pada Tanggal 17 Januari 2023.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Sungailiat, 17 Januari 2023
Kepala P3KM,

Dr. Parulian Sitalahi, M.Pd
NIK. 1901010201640006

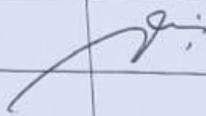
FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK _____			
JUDUL	PENGARUH VARIASI LECHEPATAN PUTAR DAN JARAK PENEKANAN TERHADAP KECILATAN IMPAK PADA SAMPINGAN BISA AHSI 470 DAN 430 AHSI 430 DENGAN METODE PENBELAKAN BSEK (FRICTION WELDING)		
Nama Mahasiswa	LM Gafullah R		NIM: 1041946
Nama Pembimbing	1. <u>Potika, S.ST, MT</u> 2. <u>Dr. Ilham Ayu Wahyudie, M.T</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	02/2022	Diskusi tentang judul PA	
2	03/2022	Diskusi Menentukan Judul	
3	16/03/2022	Diskusi penyusunan Propo	
4	12/04/2022	Pemapan Vidéos PA	
5	25/04/2022	Pemapan Alat dan Bah	
6	18/08/2022	Diskusi PAB II	
7	10/11/2022	Diskusi tentang Analisis PA	
8	20/12/2022	Diskusi Pengolahan Data	
9	18/01/2023	Diskusi Tuntutan Hasil PA	
10			

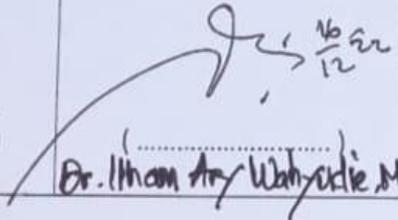
Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir

FORM-PPR-3- 6: Form Monitoring Proyek Akhir

 <p>FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2022 / 2023</p>			
<p>JUDUL</p> <p>PENYALAH VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN WAKTU PENYERAPAN TERHADAP RESILITAN IMPAK PADA MAHL JAMBUNGAN PISA AIN 4190 DAN AIN 4346 DENGAN METODE PENBELAHAN GESEK (FRICTION WELDING)</p>			
<p>Nama Mahasiswa</p> <p>1. <u>LM. Saifulloh R.</u> /NIRM: <u>1091996</u></p> <p>2. /NIRM:</p> <p>3. /NIRM:</p> <p>4. /NIRM:</p> <p>5. /NIRM:</p>			
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
3	14/12/2022	Progress alat 90%	
3	14/12/2022	Progress alat 90%	

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret salah satu)

Mengetahui		
Pembimbing 1	Pembimbing 2	Pembimbing 3
 (Pudjiastuti, S.S.T.M.T.)	 (Dr. Ithom Ary Wahyudie, M.I)	(.....)

Latar Belakang (cek plagiat)

ORIGINALITY REPORT

18% SIMILARITY INDEX
17% INTERNET SOURCES
4% PUBLICATIONS
7% STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	123dok.com Internet Source	3%
2	repository.its.ac.id Internet Source	1%
3	text-id.123dok.com Internet Source	1%
4	dspace.uin.ac.id Internet Source	1%
5	www.scribd.com Internet Source	1%
6	eprints.ums.ac.id Internet Source	1%
7	teknik.universitas-samawa.ac.id Internet Source	1%
8	Submitted to Institut Teknologi Nasional Malang Student Paper	1%
9	journalstkipgrisitubondo.ac.id Internet Source	1%

10	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	<1%
11	core.ac.uk Internet Source	<1%
12	researchinlanders.be Internet Source	<1%
13	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1%
14	repository.usu.ac.id Internet Source	<1%
15	docobook.com Internet Source	<1%
16	repository.ub.ac.id Internet Source	<1%
17	repository.usd.ac.id Internet Source	<1%
18	eprints.poltektegal.ac.id Internet Source	<1%
19	docplayer.info Internet Source	<1%
20	Submitted to Surabaya University Student Paper	<1%
21	eprints.polbeng.ac.id Internet Source	<1%

		<1%
22	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1%
23	Submitted to Universitas Bengkulu Student Paper	<1%

