

**PENGARUH VARIASI WAKTU GESEK PADA PENGELOMAN  
GESEK (FRICTION WELDING) TERHADAP KEKUATAN  
IMPAK BAJA AISI 1045 DENGAN STAINLESS STEEL**

**PROYEK AKHIR**

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



Dibuat oleh:

**Nancy Pranita NIM: 1041929**

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**2020**

**PENGARUH VARIASI WAKTU GESEK PADA PENGELASAN  
GESEK (*FRICTION WELDING*) TERHADAP KEKUATAN  
IMPAK BAJA AISI 1045 DENGAN *STAINLESS STEEL***

**PROYEK AKHIR**

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



Disusun oleh:

Syendy Pranata NIM: 1041929

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG**

**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **PENGARUH VARIASI WAKTU GESEK PADA PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*) TERHADAP KEKUATAN IMPAK BAJA AISI 1045 DAN *STAINLESS STEEL***

Oleh:

Syendy Pranata NIM: 1041929

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

Mengetahui:

Pembimbing 1



Sugiyarto, S.S.T., M.T.

Penguji 1



(Yuliyanto, S.S.T., M.T.)

Pembimbing 2



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

Penguji 2



(Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng.)

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Syendy Pranata NIM : 1041929

Dengan Judul : Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Terhadap Kekuatan Impak Baja Aisi 1045 Dan *Stainless Steel*

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

Sungailiat, 18 Januari 2023

Penulis,



Syendy Pranata

## ABSTRAK

*Metode Pengelasan Gesek (Friction Welding) merupakan metode pengelasan yang memanfaatkan energi panas yang diakibatkan karena adanya gesekan dari dua material yang akan disambung, panas dari gesekan tersebut akan mengakibatkan material menjadi semisolid atau plastis. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap kekuatan impak dan uji kekerasan dengan menggunakan metode Friction Welding pada material baja AISI 1045 yang disambungkan dengan Stainless Steel 304. Metode yang digunakan adalah Response Surface Method (RSM) untuk mengetahui nilai kekuatan impak pada baja AISI 1045 yang disambungkan dengan Stainless Steel 304 setelah dilakukan proses pengelasan gesek. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi jarak penekanan dan waktu gesek. Ukuran spesimen uji impak dibuat sesuai standar uji impak yaitu ASTM E23. Nilai optimal dari uji kekerasan yang telah dilakukan jarak penekanan sebesar 2.85 mm, waktu gesek sebesar 6.42 menit. Nilai optimal pada uji impak ini yaitu jarak penekanan sebesar 2.47 mm, waktu gesek sebesar 4.83 menit.*

**Kata Kunci:** *pengelasan gesek; AISI 1045; Stainless steel 304; Response surface methodlogy; Impak*

## **ABSTRACT**

*The Friction Welding method is a welding method that utilizes heat energy caused by the friction of the two materials to be joined, the heat from the friction will cause the material to become semisolid or plastic. The purpose of this study was to determine the effect of variations in friction time and pressure distance on impact strength and hardness tests using the Friction Welding method on AISI 1045 steel material connected to Stainless Steel 304. The method used is the Response Surface Method (RSM) to determine impact strength value of AISI 1045 steel connected to Stainless Steel 304 after the friction welding process is carried out. The variation used in this study is the variation of the pressure distance and friction time. The size of the impact test specimen is made according to the impact test standard, namely ASTM E23. The optimal value of the hardness test that has been carried out is the pressure distance of 2.85 mm, the friction time is 6.42 minutes. The optimal value for this impact test is the pressure distance of 2.47 mm, the friction time of 4.83 minutes.*

**Keywords:** *friction welding; AISI 1045; stainless steel 304; Response surface methodology; Impact*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, yang karena-Nya, penulis diberikan kekuatan dan kesabaran untuk menyelesaikan proyek akhir berjudul “Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Terhadap Kekuatan Impak Baja Aisi 1045 Dan *Stainless Steel*”.

Tujuan penulisan proyek akhir ini ditunjukkan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana terapan pada Jurusan Teknik Mesin pada Prodi D IV Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam penulisan proyek akhir ini, penulis sadar bahwa masih terdapat kekurangan baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Kekurangan tersebut disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk dapat memperbaiki kekurangan-kekurangan tersebut di masa yang akan datang.

Dalam penulisan proyek akhir ini, penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang memberikan bimbingan, dorongan, serta semangat. Baik secara langsung maupun tidak langsung, bantuan moral maupun materi yang diberikan sangat membantu dalam penyusunan proyek akhir ini hingga selesai. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada:

1. Kedua Orang tua Penulis, bapak Andri Cahyadianata dan Bunda Dia Nopriyana serta seluruh keluarga sayayang selalu cinta kasih sayang, Serta mama saya Alm. Sutari sebagai dukungan moral dan yang sangat memotivasi, doa yang tulus, materi, serta telah mendidik, mengarahkan, dan memotivasi dari awal hingga selesinya proyek akhir ini. Hal itu menjadi salah satu anugerah terbesar dalam hidup penulis. Dan penulis

berharap dapat menjadi anak yang bisa dibanggakan.

2. Sugiyarto, S.S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1.
3. Erwanto, S.S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2.
4. I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D IV Teknik Mesin dan Manufaktur.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Staf Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah memberikan ilmu dan bimbingan sebelum penyusunan proyek akhir ini.
8. Arianda Pratama, Adha, Abriansyah, Muhammad Afriadi, Muhammad Suryadi, Irfan Fadhil, dan Ibnu serta teman-teman warkop yang tidak bisa saya sebut satu persatu.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan proyek akhir ini. Apabila ada yang tidak disebutkan, penulis mohon maaf. Penulis berharap bahwa proyek akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca. Semoga segala amal dan kebaikan yang diberikan oleh para pihak yang telah membantu dalam penulisan proyek akhir ini mendapat balasan yang berlimpah dari Tuhan Yang Maha Esa.

Sungailiat, 18 Januari 2023

Penulis



Syendy Pranata

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Baja AISI 1045 .....	5
2.2 Stainless Steel 304 .....	5
2.3 Las Gesek ( <i>Friction Welding</i> ) .....	5
2.4 Kecepatan Putar .....	6
2.5 Durasi Gesek .....	7
2.6 Uji Kekerasan .....	7
2.7 Uji Impak .....	8
2.8 Uji Impak Metode Charpy .....	8
2.9 Uji Impak Metode Izod .....	9
2.10 <i>Response Surface Methodology</i> (RSM) .....	10
<b>BAB III METODE PELAKSANAAN</b> .....	13
3.1 Diagram Alir .....	13
3.2 Studi Literatur .....	14

3.3 Merancang Instrumen Penelitian.....	14
3.4 Persiapan Material dan Alat .....	16
3.5 Proses Las Gesek ( <i>Friction Welding</i> ) .....	16
3.6 Evaluasi.....	17
3.7 Uji Kekerasan.....	17
3.8 Pembuatan Spesimen Uji Impak .....	17
3.9 Uji Impak .....	18
3.10 Analisis Data .....	18
3.11 Kesimpulan .....	19
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	20
4.1 Proses Pengelasan Gesek .....	20
4.1.1 Langkah-Langkah Proses Pengelasan Gesek.....	20
4.1.2 Hasil Pengelasan Gesek.....	20
4.2 Pembuatan Spesimen Uji .....	21
4.3 Pengujian Impak.....	21
4.4 Data Hasil Kekerasan .....	22
4.5 Data Hasil Impak.....	23
4.6 Pengolahan Data.....	24
4.7 Analisis Ragam (ANOVA) .....	26
4.8 Uji Normalitas .....	30
4.9 Analisa Data .....	33
4.10 Grafik Plot .....	37
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran.....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Friction Welding .....	6
Gambar 2.2 Pengujian Impak Metode Charpy.....	9
Gambar 2.3 Pengujian Impak Metode Izod .....	9
Gambar 2.4 <i>Central Composite Design</i> untuk dua 2 Faktor .....	11
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 3.2 Ukuran Benda Kerja AISI 1045 dan Stainless Steel 304.....	16
Gambar 3.3 Mesin Uji Kekasaran Rockwell.....	17
Gambar 3.4 Stanadar Uji Impak ASTM E23 .....	18
Gambar 3.5 Alat Uji Impak Metode Charpy.....	18
Gambar 3.6 Pengolahan Nilai Kekerasan .....	19
Gambar 3.7 Pengolahan Nilai Harga Impak .....	19
Gambar 4.1 Hasil Proses Pengelasan Gesek .....	21
Gambar 4.2 Pengoalahn Data Nilai Hasil Kekerasan AISI 1045 Menggunakan <i>Software Analisis</i> .....	24
Gambar 4.3 Pengoalahn Data Nilai Hasil Kekerasan <i>Stainless Steel</i> 304 Menggunakan <i>Software Analisis</i> .....	24
Gambar 4.4 Pengoalahn Data Nilai Hasil Impak Menggunakan <i>Software Analisis</i> .....	25
Gambar 4.5 Plot Uji Distribusi Normal Model Kekerasan AISI 1045 .....	30
Gambar 4.6 Plot Residual dengan Taksiran Model Kekerasan AISI 1045.....	30
Gambar 4.7 Plot Residual dengan Order Model Kekerasan AISI 1045 .....	31
Gambar 4.8 Plot Uji Distribusi Normal Model Kekerasan <i>Stainless Steel</i> 304..	31
Gambar 4.9 Plot Residuak dengan Taksiran Model Kekerasan <i>Stainless Steel</i> 304 .....	31
Gambar 4.10 Plot Residual dengan Order Model Kekerasan <i>Stainless Steel</i> 304 .. .....	32
Gambar 4.11 Plot Uji Distribusi Normal Model Impak.....	32
Gambar 4.12 Plot Residuak dengan Taksiran Model Impak .....	32
Gambar 4.13 Plot Residual dengan Order Model Impak.....	32

Gambar 4.14 Grafik <i>Surface Plot</i> Kekerasan AISI 1045 .....	36
Gambar 4.15 Grafik <i>Contour Plot</i> Kekerasan AISI 1045 .....	37
Gambar 4.16 Grafik <i>Surface Plot</i> Kekerasan <i>Stainless Steel 304</i> .....	37
Gambar 4.17 Grafik <i>Contour Plot</i> Kekerasan <i>Stainless Steel 304</i> .....	38
Gambar 4.18 Grafik <i>Surface Plot</i> Impak .....	38
Gambar 4.19 Grafik <i>Surface Plot</i> Impak .....	39



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Desain Ekperimen Benda Uji.....	15
Tabel 3.2 Kode Variabel .....	16
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan AISI 1045.....	22
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Stainless Steel</i> 304 .....	23
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Impak .....	23
Tabel 4.4 Analisis Ragam (ANOVA) Kekerasan AISI 1045 .....	26
Tabel 4.5 Analisis Ragam (ANOVA) Kekerasan <i>Stainless Steel</i> 304 .....	27
Tabel 4.4 Analisis Ragam (ANOVA) Impak.....	29

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2: Menentukan Nilai Aksial Point

Lampiran 3: Menghitung Nilai Optimasi Uji Kekerasan

Lampiran 4: Menghitung Nilai Optimasi Impak

Lampiran 5: Hasil Perhitungan Data Impak dan Harga Impak

Lampiran 6: Proses Penelitian

Lampiran 7: Sertifikat Benda Kerja



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju pada zaman sekarang membuat orang berlomba-lomba untuk mengembangkan teknologi. Teknologi pengelasan adalah suatu jenis teknologi yang sudah digunakan dalam beberapa puluh tahun belakangan dan pengelasan sudah digunakan secara luas dalam metode penyambungan logam dalam bidang industri.

Salah satu metode pengelasan yaitu metode *Friction Welding* adalah metode pengelasan yang memanfaatkan energi panas yang diakibatkan karena adanya gesekan dari dua material yang akan disambung, panas dari gesekan tersebut dari gesekan tersebut akan mengakibatkan material menjadi semisolid atau plastis, panas yang akan timbul akibat gesekan tersebut bahkan mendekati titik lebur logamnya [1]. Parameter yang digunakan pada *friction welding* yaitu waktu gesekan, tekanan gesek, waktu tempa, tekanan tempa dan kecepatan rotasi. Pada umumnya, mesin las gesek yang digunakan dapat bekerja pada dua tipe, sebagai *continuous drive* dan *inertia welding* [2]. Selanjutnya penulis akan menggunakan kalimat *Friction Welding* sebagai ganti dari kalimat pengelasan gesek. Keuntungan metode *Friction Welding* tidak membutuhkan logam pengisi dalam proses pengelasan, tidak ada *fluks* atau *filler* dan gas yang digunakan pada proses pengelasan, terjadinya inklusi terak dan porositas lebih dapat dihindarkan.

Selain itu kelebihan dari *Friction Welding* adalah sifat mekaniknya memberikan hasil pengelasan kuat, meminimalisir cacat yang ditimbulkan, dan dapat digunakan pada material yang berbeda, *Heat Affected Zone*

(HAZ) yang terbentuk relatif kecil namun metode ini dipengaruhi oleh beberapa faktor di antara lain kecepatan rotasi, tekanan aksial, dan waktu gesekan [3].

Aplikasi penyambungan dengan menggunakan pengelasan gesek seringkali digunakan pada penyambungan material yang berbentuk silinder dan mempunyai diameter kecil. Metode pengelasan gesek ini akan jauh lebih mudah untuk menyambung material yang sulit dilas dengan proses busur, dimana pada proses pengelasan busur panas yang dihasilkan tidak merata pada seluruh permukaan material sehingga sambungan yang dihasilkan kurang baik dari segi kekuatan mekanik hasil pengelasan [4]. Dengan menggunakan busur juga akan sulit untuk menyambungkan benda berbentuk silinder dengan hal tersebut digunakan metode *Friction Welding* agar bisa menyambungkan benda berbentuk silinder.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ardi Meilianto yang berjudul “Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Terhadap Kekuatan Impak Baja ST 37”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan variasi waktu gesek 4 menit, 5 menit, dan 6 menit dengan kecepatan rpm 720 rpm, dan jarak penekanan 3 mm. Dari penelitian yang dilakukan ini, didapat bahwa pengelasan dengan waktu gesek 6 menit menghasilkan nilai tertinggi yaitu untuk energi yang diserap 37,59 *Joule*, dan untuk harga impak 1,0644 *Joule/mm<sup>2</sup>*, sedangkan nilai terendah yaitu pada waktu gesek 4 menit dengan nilai energi yang diserap yaitu 17,88 *Joule*, dan harga impak 0,5109 *Joule/mm<sup>2</sup>* [5].

Bedasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh terhadap waktu gesek yang menjadi salah satu parameter penting dalam metode *Friction Welding*, oleh karena itu penulis tertarik untuk mengambil judul tugas akhir “PENGARUH VARIASI WAKTU GESEK PADA PENGELASAN GESEK (*FRICITION WELDING*) TERHADAP KEKUATAN IMPAK BAJA AISI 1045 DAN *STAINLESS STEEL*”.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap kekuatan impak dengan menggunakan menggunakan metode *Friction Welding* pada material baja AISI 1045?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap kekuatan impak dengan menggunakan menggunakan metode *Friction Welding* pada material baja *Stainless Steel* 304?
3. Bagaimana mengetahui pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap kekuatan uji kekerasan dengan menggunakan menggunakan metode *Friction Welding* pada material baja AISI 1045 yang disambungkan dengan *Stainless Steel* 304?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap nilai kekerasan dengan menggunakan metode *Friction Welding* pada material baja AISI 1045.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap nilai kekerasan dengan menggunakan metode *Friction Welding* pada material baja *Stainless Steel* 304.
3. Mengetahui pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap kekuatan impak dengan menggunakan menggunakan metode *Friction Welding* pada material baja AISI 1045 yang disambungkan dengan *Stainless Steel* 304.

## 1.4 Batasan Masalah

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

1. Menggunakan material AISI 1045 dan *Stainless Steel* 304 dengan  $\varnothing 16$ .
2. Variasi waktu gesek yang digunakan 2 menit, 3 menit, 4 menit.
3. Jarak penekanan yang digunakan 4 mm, 5 mm, 6 mm.

4. Kecepatan putar yang digunakan 1000 rpm.
5. Gaya tekanan pada penelitian ini bersifat bebas
6. Mengolah nilai harga impact sebagai data pada uji impact
7. Tidak membahas tentang struktur mikro setelah hasil pengujian impact



## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Baja AISI 1045**

Baja AISI 1045 termasuk dalam baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0.45% pengaplikasiannya biasanya dalam pembuatan komponen permesinan dimana dapat dilakukan dengan cara pengelasan gesek (Prasetyono dan subiyanto, 2012). AISI merupakan kepanjangan dari (*American Institute for Steel and Iron*) cara pembacaan dari AISI 1045 yaitu untuk angka 10 menunjukkan kandungan panduan baja sedangkan untuk angka 45 menunjukkan kadar karbon [6]. Sertifikat benda kerja dapat dilihat pada lampiran 7.

#### **2.2 *Stainless Steel 304***

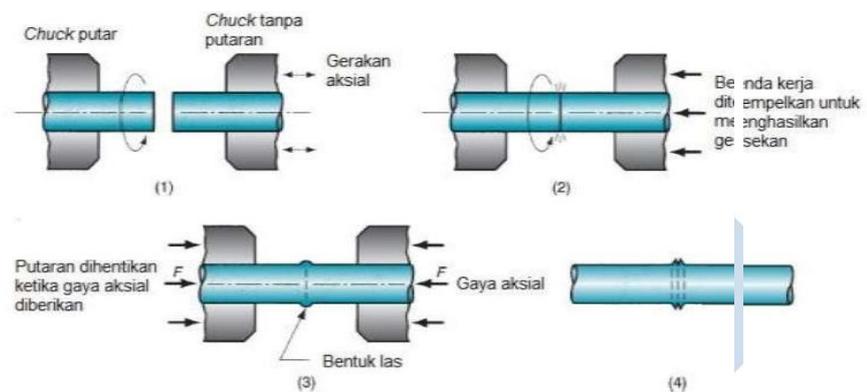
*Stainless Steel 304* adalah tipe *Stainless Steel* yang paling sering digunakan. Sering dikenal sebagai “18-8” *Stainless Steel* karena memiliki kandungan 18 persen Kromium dan 8 persen nikel *Stainless Steel 304* mudah untuk dibentuk dilas dan memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi bahkan pada suhu yang sangat rendah. Kemampuannya antara lain dapat menahan korosi yang disebabkan oleh berbagai macam zat kimia [7]. Sertifikat benda kerja dapat dilihat pada lampiran 7.

#### **2.3 Las Gesek (*Friction Welding*)**

Setelah menentukan material yang digunakan pada penelitian ini maka dilakukan proses *Friction Welding*. Pada *Friction Welding* sumber panas yang dihasilkan berasal dari gesekan material yang disambung. Adapun parameter yang bisa diatur langsung dalam proses pengelasan ini di antaranya adalah kecepatan putar gaya gesek, waktu gesek, gaya tempa, dan waktu tempa [4]. Material AISI 1045 yang disambungkan dengan *Stainless*

Steel 304 merupakan upaya penggabungan yang bertujuan menciptakan benda yang memiliki sifat kekerasan dan tahan korosi.

Tahap-tahapan dalam proses *Friction Welding* dimulai dari pemasangan benda kerja, permukaan benda kerja ditempelkan, dan kemudian, proses penggesekan kedua benda kerja sehingga sampai pada proses penekanan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut;



Gambar 2.1 Proses *Friction Welding*.

(Sumber : <http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.co.id/2015/05/friction-welding-frw.html>)

## 2.4 Kecepatan Putar

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

dihasilkan juga semakin besar sehingga membutuhkan gaya pengereman yang semakin besar juga [3].

## **2.5 Durasi Gesekan**

Pengaruh durasi gesekan terhadap distribusi temperatur saat proses gesekan berlangsung sampai mencapai temperatur tempa, sehingga pada permukaan logam dasar terbentuk permukaan tempa. Untuk durasi gesekan yang semakin lama daerah permukaan tempa yang terbentuk akan semakin besar, karena panas gesekan merupakan perbandingan lurus dengan fungsi bertambahnya waktu. Selain kecepatan putaran yang dipilih untuk menghasilkan baik jumlah energi kinetik, inersia, dan jumlah tekanan tempa yang diberikan. Durasi gesekan yang lama diperlukan jika karakteristik kecepatan putaran yang terjadi pada pengelasan pada permukaan rendah. Durasi ini dalam kombinasi dengan tekanan aksial menghasilkan panas. Karena durasi gesek dimulai pada awal proses gesekan terjadi sampai proses penempaan terjadi, maka jumlah menempa tergantung pada panas yang dibangkitkan dari kecepatan gesekan dan durasi menempa sehingga menghasilkan jumlah energi yang ada pada motor dan inersia yang ada pada poros juga. Jika motor berkecepatan tinggi maka durasi yang dibutuhkan akan semakin rendah, tetapi memiliki jumlah energi kinetic yang sama [3].

## **2.6 Uji Kekerasan**

Pengujian *Rockwell* merupakan proses pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai indenter atau penetrator yang ditekan dengan beban tertentu. Pada pengujian *rockwell* angka kekerasan yang ditunjukkan merupakan kombinasi antara beban dan indenter yang dipakai, maka perlu diberikan awalan huruf pada angka kekerasan yang menunjukkan kombinasi beban dan penumbuk tertentu untuk skala beban yang digunakan, skala yang sering digunakan adalah A dengan beban 60 kgf, B beban 100 kgf, dan C beban 150 kgf. Pada pengujian kekerasan bahan dengan metode *Rockwell*, kedalaman penetrasi permanen yang dihasilkan dari penerapan

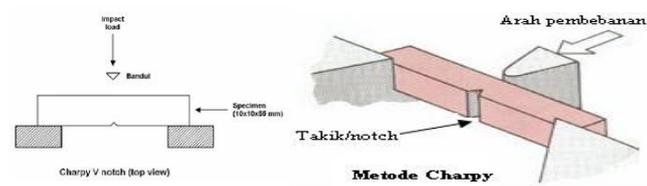
dan pelepasan beban utama dipakai untuk menentukan angka kekerasan *Rockwell* [8].

## **2.7 Uji Impak**

Uji impak merupakan salah satu uji mekanik yang dapat dipakai untuk menganalisis karakteristik bahan seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik keuletan bahan terhadap perubahan suhu. Pada pengujian impak banyak energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Material yang ulet akan menunjukkan harga impak yang besar dengan menyerap energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tentu akan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami perubahan bentuk [9].

## **2.8 Uji impak metode *charpy***

Pengujian impak metode *charpy* adalah pengujian tumbuk dengan meletakkan spesimen dengan posisi horizontal/mendatar dan arah pembeban berlawanan dengan arah takikan. Dimana benda uji dibuat takikan terlebih dahulu sesuai dengan standar ASTM E23 dan hasil pengujian pada benda uji tersebut akan terjadi perubahan bentuk seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan terhadap benda uji tersebut. Percobaan uji *impact charpy* dilakukan dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda uji yang akan diuji secara statik, dimana pada benda uji dibuat terlebih dahulu sesuai dengan ukuran standar ASTM E23 [10]. Untuk menghitung energi yang diserap dihitung dengan rumus di bawah ini ;



Gambar 2.2 Pengujian Impak metode *Charpy* [10].

Untuk menghitung harga impak dihitung dengan rumus dibawah ini:

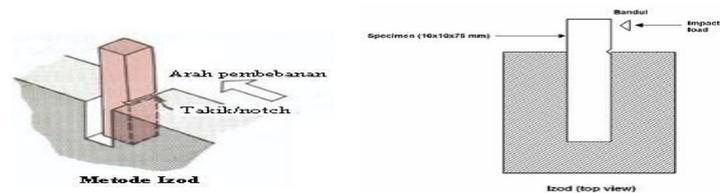
$$HI = E/A \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

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

### 2.9 Uji impak metode *Izod*

Pengujian impak metode *izod* adalah pengujian dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi pembebanan searah dengan arah takikan. Dalam uji impak *izod* spesimen yang diuji tidak hanya logam saja tetapi dapat berupa bahan plastic atau bahan lainnya [10].



Gambar 2.3 Pengujian Impak metode *Izod* [10].

## 2.10 Response Surface Methodology (RSM)

Metode permukaan respon (*response surface methodology*) merupakan sekumpulan Teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon [11]. Ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen berbantuan statistika untuk mencari nilai optimal dari suatu respon. Metode ini pertama kali diajarkan sejak tahun 1951 dan sampai saat ini telah banyak dimanfaatkan baik dalam dunia penelitian maupun aplikasi industri. Misalnya, dengan menyusun suatu model matematika, peneliti dapat mengetahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal [12].

Sebagian besar permasalahan RSM, bentuk kaitan antara respon dengan parameter independen tidak ditemukan. Sebab itu, tahap awal pada RSM ialah mendapatkan pendekatan yang sesuai bagi hubungan fungsional yang sebenarnya antara  $y$  dan kumpulan parameter bebas. Wujud hubungan tersebut biasanya merupakan polinomial (orde pertama ataupun orde kedua). Ketika ada kelengkungan dalam sistem, polinomial model orde kedua yang digunakan dan model ini bisa melakukan optimalisasi dengan cara lebih signifikan ketimbang dengan model orde pertama. Persamaan bentuk orde pertama dan orde kedua adalah sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan konversi faktor untuk pengkodean adalah sebagai berikut :

$$x_i = \frac{X_i + \frac{1}{2}(y_{X_i maks} + y_{X_i min})}{\left(\frac{1}{2}y_{X_i maks} - y_{X_i min}\right)} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana,

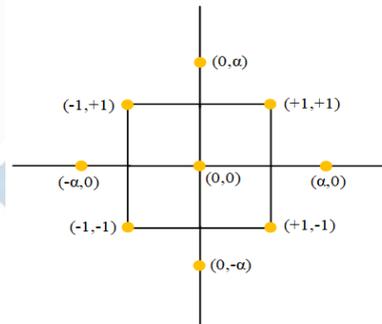
$x_i$  = nilai kode faktor x ke-i

$y_{xi}$  = nilai level faktor x ke-i

Metode RSM dapat menggunakan dua desain yaitu *Box-Behnken Design* (BBD) dan juga *Central Composite Design* (CCD). Pada penelitian ini, penulis memakai desain CCD.

- *Central Composite Design* (CCD)

*Central Composite Design* (CCD) merupakan format optimasi yang ada di RSM. CCD adalah kelas desain paling populer yang dipakai untuk menyesuaikan *second-order* (orde kedua) model. CCD biasanya terdiri dari  $2^k$  faktorial (faktorial fraksional dari resolusi V) dengan  $n_F$  runs,  $2k$  axial atau *star runs*, dan  $n_C$  center runs. Total percobaan pada CCD lebih banyak dibanding dengan BBD, jika desain dengan total faktor yang sama. CCD adalah desain yang paling efisien untuk menyesuaikan model orde kedua. CCD dengan 2 faktor diperlihatkan dalam Gambar 2.4. berikut:



Gambar 2.4 *Central Composite Design* untuk 2 Faktor [11].

Penelitian yang menggunakan metode RSM *central composite design*, umumnya memiliki langkah-langkah dalam melaksanakan pengolahan dan analisis data. Langkah-langkah tersebut yaitu:

1. Membuat desain percobaan.
2. Melakukan pendekatan regresi untuk mendapatkan nilai persamaan *second-order* model. Persamaan pendekatan regresi adalah sebagai berikut:

$$\beta = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{12} \end{bmatrix} = ((x^T x)^{-1}) (x^T y) \dots\dots\dots(2.5)$$

y)

3. Melakukan uji normalitas residual.
4. Menentukan nilai *stationary point*. Persamaan *stationary point* adalah sebagai berikut:

$$X_0 = -\frac{1}{2} B^{-1} b \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan,

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11}, & \hat{\beta}_{12}/2, & \dots, & \hat{\beta}_{1k}/2 \\ & \hat{\beta}_{22}, & \dots, & \hat{\beta}_{2k}/2 \\ & & \dots & \dots \\ \text{sym.} & & & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

5. Mendapatkan *eigen value* dengan menggunakan model *canonical*. Persamaan model *canonical* adalah sebagai berikut:

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 + \dots + \lambda_k \omega_k^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan,

$\lambda_i$  = konstanta

$\omega_i$  = Parameter bebas (faktor)

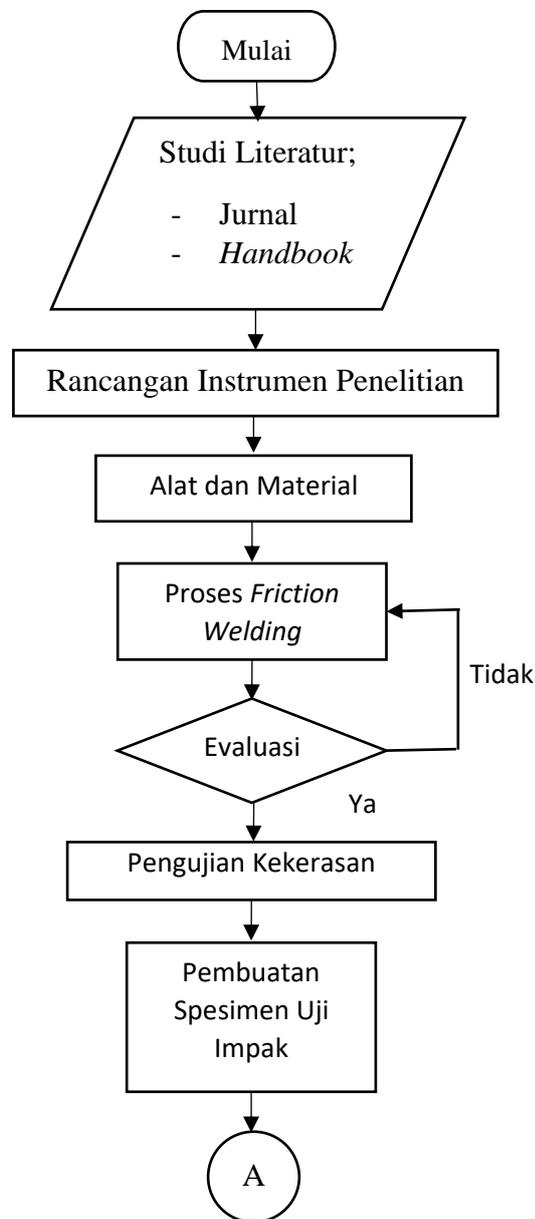
6. Menentukan nilai optimal dari *surface* dan proses *uncode*.
7. Menganalisis grafik *plot*.

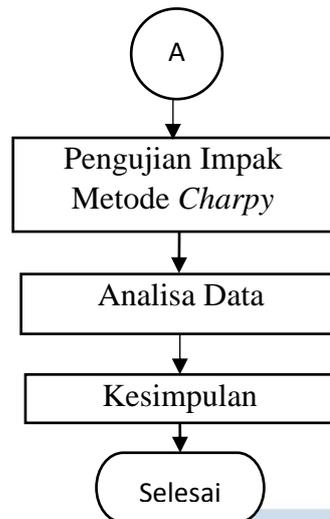
### BAB III

#### METODE PELAKSANAAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengolahan data *Response Surface Method* (RSM) untuk mengetahui nilai kekuatan impak dan kekerasan pada baja AISI 1045 yang disambungkan dengan *Stainless Steel* 304 setelah dilakukan proses pengelasan gesek

#### 3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Studi Literatur

Dalam penelitian ini data-data didapatkan dari sumber 14nstrum seperti karya ilmiah, buku refrensi, dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.

### 3.3 Merancang Instrumen Penelitian

Merancang instrument penelitian adalah suatu proses untuk melakukan peneliatian agar penelitian sesuai dengan langkah-langkah yang sudah di tetapkan. Berikut parameter yang digunakan pada penelitian ini:

1. Variasi waktu gesek adalah *Factorial Point* 4 menit dan 6 menit, *Center Point* 5 Menit, dengan *axial point*  $-\alpha$  3.59 menit dan  $\alpha$  6.41 menit.
2. Jarak penekanan adalah *Factorial Point* 2 mm dan 4 mm, *Center Point* 3 mm, *Axial Point*  $-\alpha$  1.59 mm dan  $\alpha$  4.41 mm.
3. Kecepatan yang digunakan adalah 1000 rpm
4. Menggunakan mesin bubut
5. 5. Baja Karbon Sedang AISI 1045 dan *Stainless steel* 304 silinder

pejal  $\varnothing 16$  mm

Untuk memperjelas instrument penelitian ini maka dibuat desain eksperimen benda uji seperti table 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Desain Eksperimen Benda Uji

<b>Kode Level</b>		
<b>No</b>	<b>Jarak Penekanan</b>	<b>Waktu Gesek</b>
<b>1</b>	-1	-1
<b>2</b>	1	-1
<b>3</b>	-1	1
<b>4</b>	1	1
<b>5</b>	$-\alpha$	0
<b>6</b>	$\alpha$	0
<b>7</b>	0	$-\alpha$
<b>8</b>	0	$\alpha$
<b>9</b>	0	0
<b>10</b>	0	0
<b>11</b>	0	0

Pada tabel diatas dijelaskan pada kode -1 pada jenis sampel *cube point* adalah level terendah yang terdapat pada faktor yang ditentukan, sedangkan kode adalah level tertinggi yang terdapat pada faktor yang ditentukan. Pada jenis sampel aksial point kode ( $\alpha$  dan  $-\alpha$ ) yang terdapat pada Tabel 3.2. Dan pada jenis sampel center point dengan kode 0,0 adalah nilai tengah pada sebuah level variabel.

Urutan pembuatan sampel yang digunakan menyesuaikan dengan mengikuti kode sampel pada Tabel 3.1. sehingga kode variabel untuk menentukan berapa berapa jarak penekanan dan waktu gesek terdapat pada Tabel 3.2. Sebagai berikut:

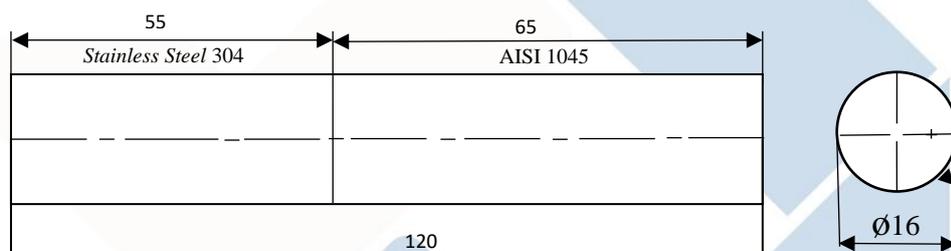
Tabel 3.2 Kode Variabel

$-\alpha$	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	$\alpha$	
1.59	2	3	4	4.41	<b>Jarak Penekanan</b>
3.59	4	5	6	6.41	<b>Waktu Gesek</b>

### 3.4 Persiapan Material dan Alat

#### 1. Persiapan Material

Material untuk pengelasan baja karbon AISI 1045 yang di sambungkan dengan *stainless steel* 304 berukuran panjang berbentuk silinder.



Gambar 3.2 Ukuran Benda Kerja *Stainless Steel* 304 dan AISI 1045

#### 2. Persiapan Alat

Alat yang digunakan pada pengelasan gesek penelitian ini adalah:

- *Stopwatch*
- Mesin bubut
- Kacamata
- Plat tipis

### 3.5 Proses Las Gesek (*Friction Welding*)

Pada proses pengelasan gesek pada benda yang berbentuk silinder pejal material baja karbon rendah *Stainless Steel* 304 yang disambungkan

dengan baja karbon menengah AISI 1045 menggunakan mesin bubut sebagai alat untuk proses pengelasan gesek. Proses dimulai dari pemansangan benda kerja pada *chuck*, *Tail Stock*. Proses pengelasan gesek dilakukan sesuai variasi, jarak penekanan, dan rpm yang telah ditetapkan pada penelitian ini, setelah kedua benda kerja yang digesek mencapai titik cair sehingga terjadi penyambungan las di dua benda kerja tersebut. Gambar proses *friction welding* bisa di lihat pada lampiran 7.

### 3.6 Evaluasi

Evaluasi merupakan tahapan menilai dua material yang disambungkan menggunakan metode las gesek tersebut apakah sudah layak untuk diproses menjadi spesimen uji.

### 3.7 Uji Kekerasan

Tujuan melakukan pengujian kekerasan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekerasan pada baja AISI 1045 yang disambungkan dengan Stainless steel 304 dengan menggunakan beban 150 Kgf. Berikut mesin uji kekerasan *rockwell* pada gambar 3.3.

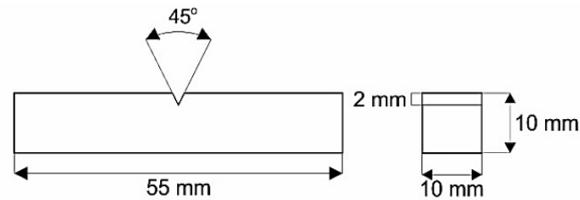


Gambar 3.3 Mesin Uji Kekerasan *Rockwell*

### 3.8 Pembuatan Spesimen Uji Impak

Benda kerja yang telah di uji kekerasan selanjutnya akan menuju proses pembuatan spesimen uji impak disesuaikan dengan standar Uji Impak ASTM E23 metode *charpy* dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm

dengan kedalaman takik 2 mm, dan sudut takik  $45^\circ$  [13]. Pada pembuatan spesimen Uji Impak, 2 benda kerja yang telah disambungkan memiliki ukuran  $\varnothing 16$  mm x 55 mm, setelah itu dilakukan proses pembuatan spesimen Uji Impak sesuai dengan standar ASTM E23. Berikut standar uji impak ASTM E23 pada gambar 3.3.



Gambar 3.4 Standar Uji Impak ASTM E23 [13]

### 3.9 Uji Impak

Pengujian impak ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan impak dari hasil pengelasan baja AISI 1045 yang disambungkan pada *Stainless Steel* 304. Pada pengujian impak ini, benda kerja yang akan di uji diberi takik pada daerah hasil sambungan. Maka Ketika diberikan gaya impak pada daerah yang ditakik ini akan mengalami kegagalan lebih awal. Berikut alat uji impak metode *charpy* pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Alat Uji Impak Metode *Charpy*

### 3.10 Analisa Data

Analisa data adalah untuk menganalisis hasil dari kekerasan material, energi yang diserap, dan harga impak dari pengujian kekerasan dan pengujian impak pada hasil las gesek pada baja AISI 1045 yang disambungkan dengan *Stainless*

Steel 304 yang telah dilakukan. Berikut ini gambar pengolahan data kekerasan dan impak menggunakan *software* analisa sebagai berikut:

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	J.Penekanan	W.Gesek	StdOrder	RunOrder	Blocks	PtType	Uji Kekerasan	COEF1
1	2,00	4,00	1	1	1	1		
2	4,00	4,00	2	2	1	1		
3	2,00	6,00	3	3	1	1		
4	4,00	6,00	4	4	1	1		
5	1,59	5,00	5	5	1	1		
6	4,41	5,00	6	6	1	1		
7	3,00	3,59	7	7	1	1		
8	3,00	6,41	8	8	1	1		
9	3,00	5,00	9	9	1	1		
10	3,00	5,00	10	10	1	1		
11	3,00	5,00	11	11	1	1		

Gambar 3.6 Pengolahan Nilai Kekerasan

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	J.Penekanan	W.Gesek	StdOrder	RunOrder	Blocks	PtType	Uji Impak	COEF1
1	2,00	4,00	1	1	1	1		
2	4,00	4,00	2	2	1	1		
3	2,00	6,00	3	3	1	1		
4	4,00	6,00	4	4	1	1		
5	1,59	5,00	5	5	1	1		
6	4,41	5,00	6	6	1	1		
7	3,00	3,59	7	7	1	1		
8	3,00	6,41	8	8	1	1		
9	3,00	5,00	9	9	1	1		
10	3,00	5,00	10	10	1	1		
11	3,00	5,00	11	11	1	1		

Gambar 3.7 Pengolahan Nilai Harga Impak

### 3.11 Kesimpulan

Setelah mendapatkan hasil dari data yang diolah menggunakan metode RSM pada gambar 3.6 dan 3.7, maka diambil kesimpulan dan analisa dari hasil nilai kekerasan dan harga impak yang didapatkan.

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Proses Pengelasan Gesek**

Proses pengelasan gesek yang dilakukan dengan menggunakan putaran *spindel* pada mesin bubut. Variasi waktu gesek dan variasi jarak penekanan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, 4menit, 5menit, 6menit dengan jarak penekanan 2mm, 3mm, 4mm dan kecepatan putar mesin bubut yaitu 1000 rpm. Peneleitian ini dilaksanakan di sektor pemesinan dasar laboratorium teknik mesin di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Gambar dapat dilihat pada lampiran 6.

##### **4.1.1 Langkah-Langkah Proses Pengelasan Gesek**

1. Proses dimulai dari pemasangan benda kerja pada *chuck*, dan *Tail Stock* pada mesin bubut.
2. Gabungkan benda kerja sampai kedua permukaan bertemu, dan pastikan permukaan kedua benda kerja yang akan digabungkan rata.
3. Lakukan proses pengelasan gesek hingga kedua permukaan benda kerja melebur.
4. Lakukan penekanan dengan menggunakan eretan pada *tail stock* dengan menggunakan jarak yang telah ditentukan pada faktor, lakukan penekanan saat mesin telah dimatikan. Lalu terjadi sambungan las pada dua benda kerja tersebut.

##### **4.1.2 Hasil Pengelasan Gesek**

Hasil pengelasan gesek dari proses yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1 Hasil Proses Pengelasan Gesek

#### 4.2 Pembuatan Spesimen Uji

Pada pengujian ini diperlukan sebuah spesimen sesuai standart ASTM E 23 metode pengujian impak *Charpy* (12). Pada penelitian ini benda kerja hasil pengelasan gesek memiliki ukuran  $\varnothing$  16 mm X 100 mm, setelah itu hasil las dirapikan sesuai diameter benda kerja. Setelah dibubut benda kerja langsung di proses untuk membuat spesimen uji impak sesuai standar yaitu 55 mm X 10 mm X 10 mm dengan menggunakan mesin frais. Gambar dapat dilihat pada lampiran 9.

#### 4.3 Pengujian Impak

Pada penelitian ini menggunakan pengujian impak. material, dan alat yang akan digunakan pada pengujian impak ini adalah:

- Material: Baja AISI 1045 yang disambungkan dengan Stainless Steel 304
- Dimensi: 55 mm X 10 mm X 10mm
- Alat penguji: *TESTING MACHINE* metode *Charpy* model JB-300B. Dengan kapasitas bandul 150 *Joule*.

Penelitian ini menggunakan uji impak dengan standar ASTM E-23 dengan ukuran spesimen uji yaitu 55 mm X 10 mm X 10 MM. Bertujuan untuk mengetahui nilai energi yang diserap dan harga impak hasil pengelasan gesek yang dilakukan. Berikut proses pengujian impak dalam penelitian ini :

1. Siapkan alat uji impak *TESTING MACHINE* metode *Charpy* model JB-

300B. Dengan kapasitas bandul 150 *Joule*.

2. Periksa spesimen yang akan diuji harus memiliki ukuran 55 mm X 10 mm X 10 mm dengan sudut takik 45° dan kedalaman takik 2 mm.
3. Letakan spesimen yang akan diuji pada landasan, dengan arah takik yang berlawanan dengan datangnya lengan bandul.
4. Putar jarum penunjuk pada titik awal.
5. Tekan tombol yang membuka kunci lengan bandul hingga menabrak spesimen yang diuji.
6. Tunggu sampai lengan bandul berhenti dalam ketinggian maksimum.
7. Kemudian catat data hasil pengujian yang telah dilakukan.
8. Letakan lengan bandul dalam posisi awal sampai terkunci dan atur Kembali jarum penunjuk menuju titik awal
9. Lakukan proses di atas untuk spesimen uji selanjutnya.

#### 4.4 Data Hasil Uji Kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan dari spesimen dapat dilihat pada table dibawah berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan AISI 1045

No. Spesimen	Variabel Proses		Hasil Kekerasan (HRC)
	Jarak Penekanan (mm)	Waktu Gesek (Menit)	
1	2	4	21,0
2	4	4	23,3
3	2	6	21,6
4	4	6	22,3
5	1,59	5	21,4
6	4,41	5	23,8
7	3	3,59	22,4
8	3	6,41	22,2
9	3	5	22,4
10	3	5	21,9
11	3	5	22,6

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan *Stainless Steel* 304

No. Spesimen	Variabel Proses		Hasil Kekerasan (HRC)
	Jarak Penekanan (mm)	Waktu Gesek (Menit)	
1	2	4	15,1
2	4	4	16,9
3	2	6	17,4
4	4	6	17,4
5	1,59	5	17,7
6	4,41	5	19,0
7	3	3,59	17,9
8	3	6,41	19,4
9	3	5	19,0
10	3	5	19,0
11	3	5	19,0

#### 4.5 Data Hasil Pengujian Impak

Data hasil pengujian impak dari spesimen dapat dilihat pada table 4.2 berikut:

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Impak

No. Spesimen	Variabel Proses		Harga Impak (Joule/mm <sup>2</sup> )
	Jarak Penekanan (mm)	Waktu Gesek (Menit)	
1	2	4	0,038
2	4	4	0,052
3	2	6	0,052
4	4	6	0,141
5	1,59	5	0,087
6	4,41	5	0,156
7	3	3,59	0,087
8	3	6,41	0,067
9	3	5	0,066
10	3	5	0,066
11	3	5	0,066

Untuk rumus perhitungan nilai harga impak bisa dilihat pada persamaan (2.1)

## 4.6 Pengolahan Data

### 1. Nilai hasil kekerasan

#### - AISI 1045

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	J.Penekanan	W.Gesek	StdOrder	RunOrder	Blocks	PtType	Uji Kekerasan AISI 1045	COEF1
1	2,00	4,00	1	1	1	1	21,0	22,2933
2	4,00	4,00	2	2	1	1	23,3	1,1135
3	2,00	6,00	3	3	1	1	21,6	-0,1107
4	4,00	6,00	4	4	1	1	22,3	0,0938
5	1,59	5,00	5	5	1	1	21,4	-0,2062
6	4,41	5,00	6	6	1	1	23,8	-0,7704
7	3,00	3,59	7	7	1	1	22,4	
8	3,00	6,41	8	8	1	1	22,2	
9	3,00	5,00	9	9	1	1	22,4	
10	3,00	5,00	10	10	1	1	21,9	
11	3,00	5,00	11	11	1	1	22,5	

Gambar 4.2 Pengolahan Data Nilai Hasil kekerasan AISI 1045 Menggunakan *Software Analisis*.

Berdasarkan gambar diatas diperoleh hasil persamaan *second order* model yaitu:

$$\hat{y} = 22,2933x_0 + 1,1135x_1 - 0,1107x_2 + 0,0938x_1^2 - 0,2062x_2^2 - 0,7704x_1x_2$$

Dari persamaan diatas terlihat dimana  $x_1$ (jarak penekanan),  $x_2$  (waktu gesek),  $x_1^2$  (jarak penekanan pangkat 2),  $x_2^2$  (waktu gesek pangkat 2), dan  $x_1x_2$  (jarak penekanan dikali waktu gesek). Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.2).

#### - *Stainless Steel 304*

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	J.Penekanan	W.Gesek	StdOrder	RunOrder	Blocks	PtType	Uji Kekerasan SS304	COEF1
1	2,00	4,00	1	1	1	1	15,1	18,9820
2	4,00	4,00	2	2	1	1	16,9	0,6529
3	2,00	6,00	3	3	1	1	17,4	0,8857
4	4,00	6,00	4	4	1	1	17,4	-1,5555
5	1,59	5,00	5	5	1	1	17,6	-1,2180
6	4,41	5,00	6	6	1	1	19,0	-0,9319
7	3,00	3,59	7	7	1	1	17,9	
8	3,00	6,41	8	8	1	1	19,4	
9	3,00	5,00	9	9	1	1	19,0	
10	3,00	5,00	10	10	1	1	19,0	
11	3,00	5,00	11	11	1	1	19,0	

Gambar 4.3 Pengolahan Data Nilai Hasil kekerasan *Stainless Steel 304* Menggunakan *Software Analisis*.

Berdasarkan gambar diatas diperoleh hasil persamaan *second order* model yaitu:

$$\hat{y} = 18,9820x_0 + 0,6529x_1 + 0,8857x_2 - 1,5555x_1^2 - 1,2180x_2^2 - 0,9319x_1x_2$$

Dari persamaan diatas terlihat dimana  $x_1$ (jarak penekanan),  $x_2$  (waktu gesek),  $x_1^2$  (jarak penekanan pangkat 2),  $x_2^2$  (waktu gesek pangkat 2), dan  $x_1x_2$  (jarak penekanan dikali waktu gesek). Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.2).

## 2. Nilai harga impact

Contour Plot of Uji Impact vs W.Gesek; J.Penekanan								
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	J.Penekanan	W.Gesek	StdOrder	RunOrder	Blocks	PtType	Uji Impact	COEF1
1	2,00	4,00	1	1	1	1	0,038	0,0661138
2	4,00	4,00	2	2	1	1	0,052	0,0354064
3	2,00	6,00	3	3	1	1	0,052	0,0132228
4	4,00	6,00	4	4	1	1	0,141	0,0410373
5	1,59	5,00	5	5	1	1	0,087	-0,0034627
6	4,41	5,00	6	6	1	1	0,156	0,0372769
7	3,00	3,59	7	7	1	1	0,087	
8	3,00	6,41	8	8	1	1	0,067	
9	3,00	5,00	9	9	1	1	0,066	
10	3,00	5,00	10	10	1	1	0,066	
11	3,00	5,00	11	11	1	1	0,066	

Gambar 4.4 Pengolahan Data Nilai Hasil Impact Menggunakan *Software Analisis*.

Berdasarkan gambar diatas diperoleh hasil persamaan *second order* model yaitu:

$$\hat{y} = 0,0661138 + 0,0354064x_1 + 0,0132228x_2 + 0,0410373x_1^2 - 0,0034627x_2^2 + 0,0372769x_1x_2$$

Dari persamaan diatas terlihat dimana  $x_1$ (jarak penekanan),  $x_2$  (waktu gesek),  $x_1^2$  (jarak penekanan pangkat 2),  $x_2^2$  (waktu gesek pangkat 2), dan  $x_1x_2$  (jarak penekanan dikali waktu gesek). Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.2).

#### 4.7 Analisis Ragam (ANOVA)

Untuk mengecek signifikansi model, maka bisa dilihat pada tabel ANOVA. Untuk tabel ANOVA dari masing-masing respon adalah sebagai berikut:

1. Kekerasan
  - AISI 1045

Tabel 4.4 Analisis Ragam (ANOVA) Kekerasan

##### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	5,72080	1,14416	9,72	0,013
Linear	2	5,02325	2,51162	21,34	0,004
J.Penekanan	2	4,97408	4,97408	42,26	0,001
W.Gesek	2	0,04917	0,04917	0,42	0,547
Square	2	0,09693	0,04846	0,41	0,683
J.Penekanan*J.Penekanan	2	0,01247	0,01247	0,11	0,758
W.Gesek*W.Gesek	2	0,06025	0,06025	0,51	0,506
2-Way Interaction	2	0,60063	0,60063	5,10	0,073
J.Penekanan*W.Gesek	2	0,60063	0,60063	5,10	0,073
Error	5	0,58851	0,11770		
Lack-of-Fit	3	0,35060	0,11687	0,98	0,540
Pure Error	2	0,23792	0,11896		
Total	10	6,30932			

- Hipotesis jarak penekanan
  - $H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap kekerasan AISI 1045.
  - $H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap kekerasan AISI 1045.
- Hipotesis waktu gesek
  - $H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap kekerasan AISI 1045.
  - $H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap kekerasan AISI 1045.
- Hipotesis interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek
  - $H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap kekerasan AISI 1045.

$H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap kekerasan AISI 1045.

-  $\alpha$  : 0,05 (5%)

- Statistik Uji

Bila p-value lebih kecil dari 0,05 maka nilai tersebut signifikan.

- Kriteria Uji

$H_0$  ditolak bila p-value < 0,05

$H_0$  gagal ditolak bila p-value > 0,05

Dari hasil tabel ANOVA menunjukkan p-value untuk jarak penekanan sebesar 0,001 sehingga keputusannya  $H_0$  ditolak yang mengartikan ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap kekerasan. P-value untuk waktu gesek sebesar 0,547 sehingga keputusannya  $H_0$  gagal ditolak yang mengartikan tidak ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap kekerasan. P-value untuk interaksi jarak penekanan dan waktu gesek sebesar 0,073 sehingga keputusannya gagal ditolak yang mengartikan tidak ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap kekerasan.

- *Stainless Steel 304*

Tabel 4.5 Analisis Ragam (ANOVA) Kekerasan

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	10,0716	2,01432	1,60	0,309
Linear	2	4,8576	2,42880	1,93	0,239
J.Penekanan	2	1,7101	1,71010	1,36	0,296
W.Gesek	2	3,1475	3,14750	2,50	0,175
Square	2	4,3351	2,16754	1,72	0,270
J.Penekanan*J.Penekanan	2	3,4292	3,42924	2,73	0,160
W.Gesek*W.Gesek	2	2,1026	2,10259	1,67	0,253
2-Way Interaction	2	0,8789	0,87891	0,70	0,441
J.Penekanan*W.Gesek	2	0,8789	0,87891	0,70	0,441
Error	5	6,2919	1,25839		
Lack-of-Fit	3	6,2919	2,09731	*	*
Pure Error	2	0,0000	0,00000		
Total	10	16,3635			

- Hipotesis jarak penekanan

$H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap kekerasan *Stainless Steel* 304.

$H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap kekerasan *Stainless Steel* 304.

- Hipotesis waktu gesek

$H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap kekerasan *Stainless Steel* 304.

$H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap kekerasan *Stainless Steel* 304.

- Hipotesis interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek

$H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap kekerasan *Stainless Steel* 304.

$H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap kekerasan *Stainless Steel* 304.

- $\alpha$  : 0,05 (5%)

- Statistik Uji

Bila p-value lebih kecil dari 0,05 maka nilai tersebut signifikan.

- Kriteria Uji

$H_0$  ditolak bila p-value < 0,05

$H_0$  gagal ditolak bila p-value > 0,05

Dari hasil tabel ANOVA menunjukkan p-value untuk jarak penekanan sebesar 0,296 sehingga keputusannya  $H_0$  gagal ditolak yang mengartikan tidak ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap kekerasan. P-value untuk waktu gesek sebesar 0,175 sehingga keputusannya  $H_0$  gagal ditolak yang mengartikan tidak ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap kekerasan. P-value untuk interaksi jarak penekanan dan waktu gesek sebesar 0,441 sehingga keputusannya gagal ditolak yang mengartikan tidak ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap kekerasan.

## 2. Impak

Tabel 4.6 Analisis Ragam (ANOVA) Impak

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0,009892	0,001978	2,61	0,158
Linear	2	0,005731	0,002865	3,78	0,100
J.Penekanan	2	0,005029	0,005029	6,63	0,050
W.Gesek	2	0,000701	0,000701	0,93	0,380
Square	2	0,002755	0,001377	1,82	0,255
J.Penekanan*J.Penekanan	2	0,002387	0,002387	3,15	0,136
W.Gesek*W.Gesek	2	0,000017	0,000017	0,02	0,887
2-Way Interaction	2	0,001406	0,001406	1,85	0,231
J.Penekanan*W.Gesek	2	0,001406	0,001406	1,85	0,231
Error	5	0,003791	0,000758		
Lack-of-Fit	3	0,003791	0,001264		
Pure Error	2	0,000000	0,000000		
Total	10	0,013684			

- Hipotesis jarak penekanan  
 $H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap impak.  
 $H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap impak.
- Hipotesis waktu gesek  
 $H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap impak.  
 $H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap impak.
- Hipotesis interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek  
 $H_0$  : Tidak ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap impak.  
 $H_1$  : Ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap impak.
- $\alpha$  : 0,05 (5%)
- Statistik Uji  
Bila p-value lebih kecil dari 0,05 maka nilai tersebut signifikan.
- Kriteria Uji  
 $H_0$  ditolak bila p-value < 0,05  
 $H_0$  gagal ditolak bila p-value > 0,05

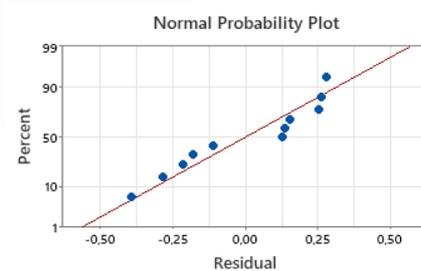
Dari hasil tabel ANOVA menunjukkan *p-value* untuk jarak penekanan sebesar 0,050, sehingga keputusannya  $H_0$  ditolak yang mengartikan ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap impak. *P-value* untuk waktu gesek sebesar 0,380, sehingga keputusannya  $H_0$  gagal ditolak yang mengartikan tidak ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap kekerasan. *P-value* untuk interaksi jarak penekanan dan waktu gesek sebesar 0,231 sehingga keputusannya gagal ditolak yang mengartikan tidak ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap kekerasan.

#### 4.8 Uji Kenormalitas

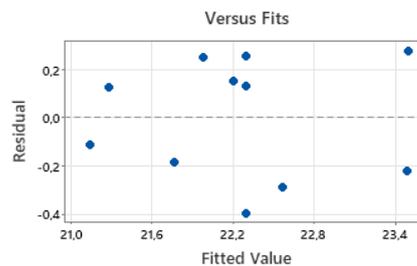
##### 1. Nilai Kekerasan

- AISI 1045

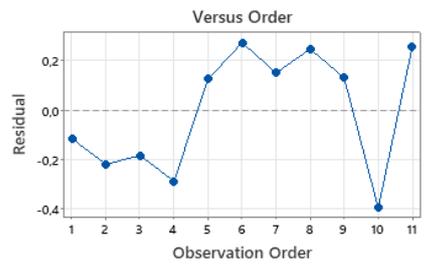
Dari data nilai kekerasan AISI 1045 yang telah didapat, maka dapat melakukan uji kenormalan residual seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.5 *Plot* Uji Distribusi Normal model AISI 1045



Gambar 4.6 *Plot* Residual Dengan Taksiran Model AISI 1045

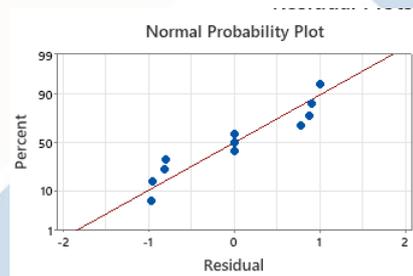


Gambar 4.7 *Plot* Residual Dengan *Order* Model AISI 1045

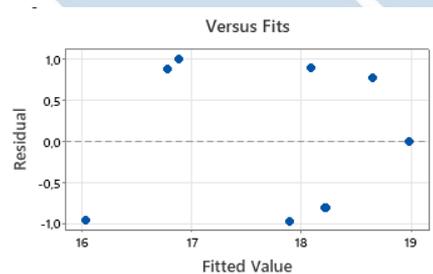
Hasil plot yang ditunjukkan pada Gambar diatas terlihat bahwa titik-titik tidak beraturan atau menyebar dan membentuk pola yang tidak beraturan. Jadi dapat disimpulkan bahwa model regresi yang telah dibuat cukup tepat dengan data.

- *Stainless Steel 304*

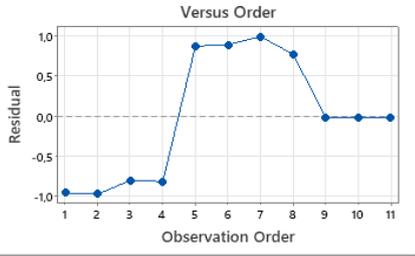
Dari data nilai kekerasan *Stainless Steel 304* yang telah didapat, maka dapat melakukan uji kenormalan residual seperti gambar dibawah ini



Gambar 4.8 *Plot* Uji Distribusi Normal Model *Stainless Steel 304*



Gambar 4.9 *Plot* Residual Dengan Taksiran Model *Stainless Steel 304*

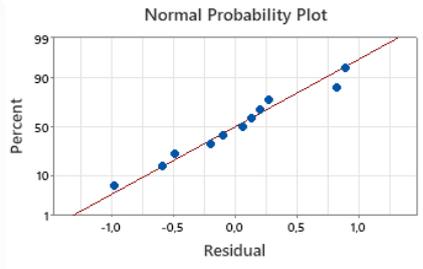


Gambar 4.10 *Plot Residual Dengan Order Model Stainless Steel 304*

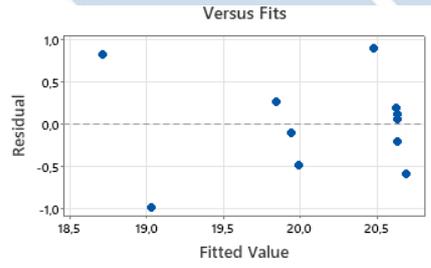
Hasil plot yang ditunjukkan pada Gambar diatas terlihat bahwa titik-titik tidak beraturan atau menyebar dan membentuk pola yang tidak beraturan. Jadi dapat disimpulkan bahwa model regresi yang telah dibuat cukup tepat dengan data

2. Harga impact

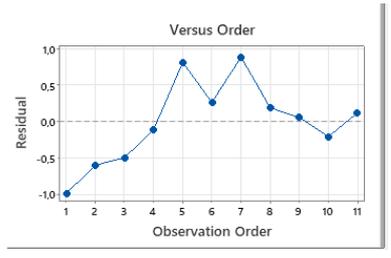
Dari data nilai harga impact yang telah didapat, maka dapat melakukan uji kenormalan residual seperti gambar berikut ini:



Gambar 4.11 *Plot Uji Distribusi Normal model*



Gambar 4.12 *Plot Residual Dengan Taksiran Model*



Gambar 4.13 *Plot Residual Dengan Order Model*

Hasil *plot* yang ditunjukkan pada Gambar diatas terlihat bahwa titik-titik tidak beraturan atau menyebar dan membentuk pola yang tidak beraturan. Jadi dapat disimpulkan bahwa model regresi yang telah dibuat cukup tepat dengan data.

#### 4.9 Analisa Data

Selanjutnya dilakukan analisis data untuk memperoleh *stationary point* serta *eigen value*. Untuk hasil analisis data dengan bantuan *software* analisis ditunjukkan sebagai berikut:

1. Nilai Kekerasan

- AISI 1045

Untuk nilai *stationary point* yaitu:

$$X_0 = \begin{bmatrix} -0,81155 \\ 1,247676 \end{bmatrix}$$

Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.6).

Sehingga *eigen values* diperoleh dari model *canonical* berikut:

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + 0,0938\omega_1^2 - 0,2062\omega_2^2$$

Sehingga didapatkan *eigen values* ( $\lambda_i$ ) berbeda tanda (positif dan negatif) bahwa nilai *stationary point* dalam bentuk *saddel point*. Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.7).

- *Stainless Steel* 304

Untuk nilai *stationary point* yaitu:

$$X_0 = \begin{bmatrix} 0,114006 \\ 0,319984 \end{bmatrix}$$

Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.6).

Sehingga *eigen values* diperoleh dari model *canonical* berikut:

$$\hat{y} = \hat{y}_0 - 1,5555\omega_1^2 - 1,2180\omega_2^2$$

Sehingga didapatkan *eigen values* ( $\lambda_i$ ) semua negatif yang menunjukkan bahwa nilai *stationary point* dalam bentuk maksimum *point*. Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.7).

- Nilai Harga Impak

Untuk nilai *stationary point* yaitu:

$$X_0 = \begin{bmatrix} -0,376978 \\ -0,119810 \end{bmatrix}$$

Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.6).

Untuk *eigen values* ditentukan dari model *canonical* berikut:

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + 0,0410373\omega_1^2 - 0,0034627\omega_2^2$$

Sehingga didapatkan *eigen values* ( $\lambda_i$ ) berbeda tanda (positif dan negatif) yang menunjukkan bahwa nilai *stationary point* dalam bentuk *saddle point*. Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.7).

Setelah nilai *stationary point* didapatkan, dilanjutkan dengan proses penentuan nilai optimal pada variabel-variabel setiap respon. Untuk perhitungan nilai optimalnya sebagai berikut:

1. Kekerasan

- AISI 1045

$$X_1(\text{Jarak Penekanan}) = \frac{\text{Jarak Penekanan} - 3}{\frac{1}{2}(4,41 - 1,59)}$$

$$-0,81155 = \frac{\text{Jarak Penekanan} - 3}{1,41}$$

$$\text{Jarak Penekanan} = 3 - 1,1442855$$

$$\text{Jarak Penekanan} = 1,86$$

$$X_2(\text{Waktu Gesek}) = \frac{\text{Waktu Gesek} - 5}{\frac{1}{2} (6,41 - 3,59)}$$

$$1,00528 = \frac{\text{Waktu Gesek} - 5}{1,41}$$

$$\text{Waktu Gesek} = 5 + 1,75922316$$

$$\text{Waktu Gesek} = 6,76$$

Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.4)

- *Stainless Steel 304*

$$X_1(\text{Jarak Penekanan}) = \frac{\text{Jarak Penekanan} - 3}{\frac{1}{2} (4,41 - 1,59)}$$

$$0,114006 = \frac{\text{Jarak Penekanan} - 3}{1,41}$$

$$\text{Jarak Penekanan} = 3 - 0,16074846$$

$$\text{Jarak Penekanan} = 3,16$$

$$X_2(\text{Waktu Gesek}) = \frac{\text{Waktu Gesek} - 5}{\frac{1}{2} (6,41 - 3,59)}$$

$$0,319984 = \frac{\text{Waktu Gesek} - 5}{1,41}$$

$$\text{Waktu Gesek} = 5 + 0,145117744$$

$$\text{Waktu Gesek} = 5,45$$

Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.4)

- Impak

$$X_1(\text{Jarak Penekanan}) = \frac{\text{Jarak Penekanan} - 3}{\frac{1}{2} (4,41 - 1,59)}$$

$$-0,376978 = \frac{\text{Jarak Penekanan} - 3}{1,41}$$

$$\text{Jarak Penekanan} = 3 - 0,53153898$$

$$\text{Jarak Penekanan} = 2,47$$

$$X_2(\text{Waktu Gesek}) = \frac{\text{Waktu Gesek} - 5}{\frac{1}{2} (6,41 - 3,59)}$$

$$-0,119810 = \frac{\text{Waktu Gesek} - 5}{1,41}$$

$$\text{Waktu Gesek} = 5 + 0,1689321$$

$$\text{Waktu Gesek} = 4,83$$

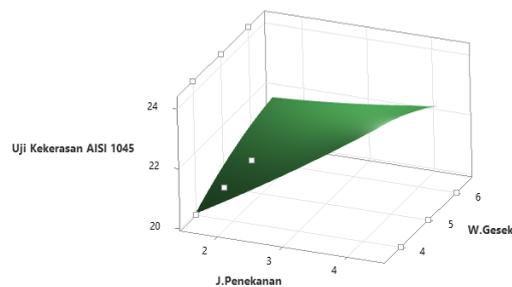
Untuk rumus bisa dilihat pada persamaan (2.4)

#### 4.10 Grafik Plot

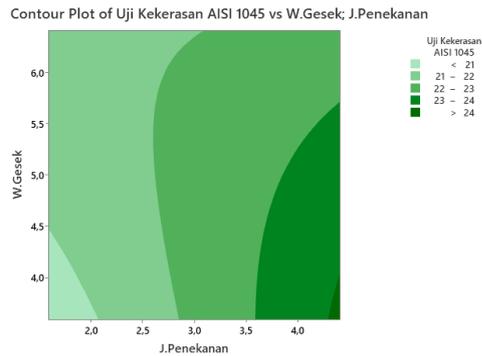
Grafik *plot* ini dipakai untuk memperjelas dalam analisis data berdasarkan nilai respon terhadap variabel faktor. Berikut ini adalah grafik *surface plot* dan *contour plot* diperlihatkan sebagai berikut:

##### 1. Kekerasan

- AISI 1045



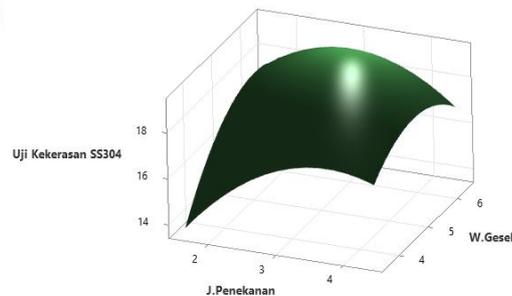
Gambar 4.14 Grafik Kekerasan Vs Jarak Penekanan dan Waktu Gesek AISI 1045



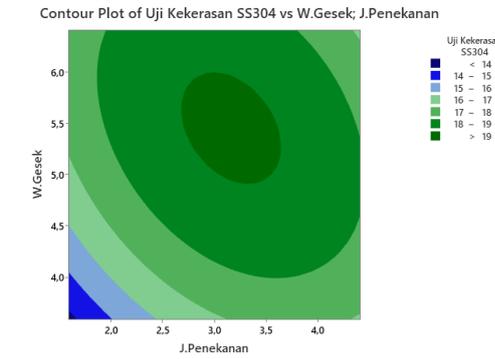
Gambar 4.15 Grafik *Contour Plot* Kekerasan AISI 1045

Untuk grafik *surface plot* di atas berbentuk *saddle point* dengan nilai optimal tidak maksimum ataupun minimum atau didapatkan bentuk *saddle* dengan nilai optimal yaitu untuk jarak penekanan bernilai 1,86 mm dan untuk waktu gesek bernilai 6,76 menit menghasilkan nilai kekerasan 21-22 HRc. Berdasarkan grafik *contour plot* pengelasan gesek dengan jarak penekanan 3 mm dan waktu gesek 5 menit mempunyai nilai kekerasan dengan *range* 22- 23 HRc.

- *Stainless Steel 304*



Gambar 4.16 Grafik Kekerasan Vs Jarak Penekanan dan Waktu Gesek *Stainless Steel 304*

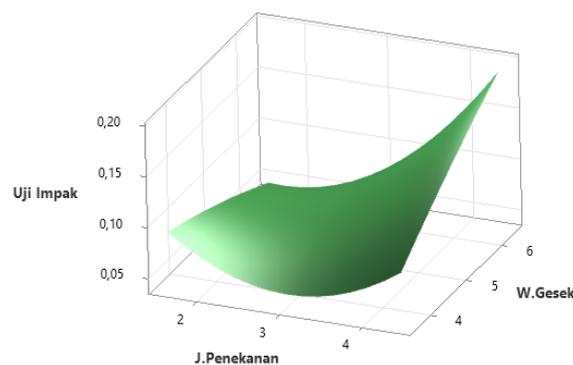


Gambar 4.17 Grafik *Contour Plot* Kekerasan *Stainless Steel 304*

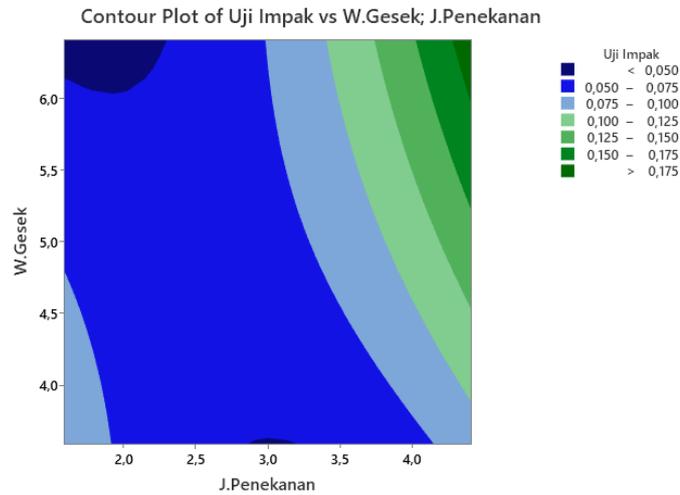
Untuk grafik *surface plot* di atas berbentuk maksimum dengan nilai optimal yaitu untuk jarak penekanan bernilai 3,16 mm dan untuk waktu gesek bernilai 5,45 menit menghasilkan nilai kekerasan >19 HRc. Berdasarkan grafik *contour plot* pengelasan gesek dengan jarak penekanan 3 mm dan waktu gesek 5 menit mempunyai nilai kekerasan dengan *range* 17- 18 HRc.

## 2. Impak

Surface Plot of Uji Impak vs W.Gesek; J.Penekanan



Gambar 4.18 Grafik Impak Vs Jarak Penekanan dan Waktu Gesek



Gambar 4.19 Grafik *Contour Plot* Impak

Untuk grafik *surface plot* di atas berbentuk *saddle point* dengan nilai optimal tidak maksimum ataupun minimum atau didapatkan bentuk *saddle* dengan nilai optimal yaitu untuk jarak penekanan bernilai 2,47 mm dan untuk waktu gesek bernilai 4,83 menit menghasilkan harga impak dengan *range* 0,05-0,075 *joule/mm<sup>2</sup>*. Berdasarkan grafik *contour plot* pengelasan gesek dengan jarak penekanan 4 mm dan waktu gesek 5 menit mempunyai harga impak dengan *range* 0.1- 0.125 *joule/mm<sup>2</sup>*.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang sudah dilaksanakan pada penelitian yang “Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Terhadap Kekuatan Impak Baja AISI 1045 Dengan *Stainless Steel*”, bisa disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil uji normalitas bahwa yang berpengaruh signifikan serta variabel lainnya tidak memiliki pengaruh yang signifikan nilai kekerasan AISI 1045. *Surface plot* yang dihasilkan yaitu berbentuk *saddle point* dengan nilai optimal tidak maksimum ataupun minimum atau didapatkan bentuk *saddle* dengan nilai optimal yaitu jarak penekanan bernilai 1,86 mm dan waktu gesek 6,76 menit menghasilkan nilai kekerasan 21-22 HRc.
2. Berdasarkan hasil uji normalitas bahwa variabel faktor tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan *Stainless Steel* 304. *Surface plot* yang dihasilkan berbentuk maksimum dengan nilai optimal yaitu jarak penekanan bernilai 3,16 mm dan waktu gesek bernilai 5,45 menit menghasilkan nilai kekerasan >19 HRc.
3. Berdasarkan hasil uji normalitas bahwa variabel faktor yang berpengaruh signifikan terhadap harga impak serta variabel lainnya tidak memiliki pengaruh yang signifikan. *Surface plot* yang dihasilkan yaitu berbentuk *saddle point* dengan nilai optimal tidak maksimum ataupun minimum atau didapatkan bentuk *saddle* dengan nilai optimalnya yaitu jarak penekanan bernilai 2,47 mm dan waktu gesek bernilai 4,83 menit menghasilkan harga impak dengan *range* 0,05-0,075 *joule/mm<sup>2</sup>*.

## 5.2 Saran

Sebelum melakukan proses pengelasan gesek, pastikan mengetahui dengan detail terhadap kekuatan las dan syarat pengelasan material yang akan digunakan. Gunakan diameter benda kerja yang pas agar tidak susah dalam proses pengelasan maupun proses pembuatan spesimen uji impak sesuai standar, dan gunakan referensi yang berkaitan demi kelancaran penelitian yang akan dilakukan

Harus selalu ikuti praturan laboraturium yang berlaku mulai dari keselamatan kerja, kebersihan lingkunga sector yang digunakan, dan pastikan semua peralatan yang digunakan tidak rusak.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sujarwanto, S. (2020). *Pengaruh Variasi Waktu Kontak Friction Welding (Frw) Terhadap Sifat Mekanis Dan Fisik Baja S45c Dan Stainless Steel AISI 304* (Doctoral dissertation, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta).
- [2]. Sakura, R. R., Junus, S., Jatisukanto, G., & Septian, R. (2018). Pengaruh Variasi Waktu Gesek Friction Welding pada Baja AISI 1045 dengan Sudut Chamfer 15o terhadap Sifat Mekaniknya. *ELEMEN: JURNAL TEKNIK MESIN*, 4(2), 113-116. Satyadianto, D. (2015).
- [3]. Subiyanto, H., Gatot, D. W., & Hadi, S. (2016). Studi Eksperimen Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Pengelasan Gesek (FW) Terhadap Kekuatan Tarik dan Impact Pada Baja Aisi 1045. *Prosiding SENIATI*, 121-A.
- [4]. Sai'in, A. (2016). *Pengaruh Kecepatan Putar, Gaya Gesek, Waktu Gesek Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak, Laju Korosi Dan Struktur Mikro Hasil Lasan Proses Las Gesek Material Berbeda Baja SUH 3 dan SUH 35* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [5]. Meiliano, A., Rodika, R., & Rivai, M. (2022, February). Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) Terhadap Kekuatan Impak Baja ST37. In *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan* (Vol. 2, No. 01, pp. 374-380).
- [6]. Putra, N. D. T. (2019). *Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) Terhadap Kekuatan Tarik Baja AISI 1045* (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang).
- [7]. Ritonga, D. A. A., & Idris, M. (2017). Karakteristik Bahan Steel 304 Terhadap Kekuatan Impak Benda Jatuh Bebas. *WAHANA INOVASI VOLUME 6 No, 2*, 208-215.

- [8]. Sulaeman, M., Budiman, H., & Koswara, E. (2019, August). Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan Dengan Metode Rockwell Dan Uji Komposisi Kimia Pada Cangkul Di Balai Besar Logam Dan Mesin (Bblm) Bandung. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 10, No. 1, pp. 539-543).
- [9]. Jalil, S. A., Zulkifli, Z., & Rahayu, T. (2017). Analisa kekuatan impak pada penyambungan pengelasan smaw material ASSAB 705 dengan variasi arus pengelasan. *Jurnal Polimesin*, 15(2), 58-63.
- [10]. Handoyo, Y. (2013). Perancangan alat uji impak metode charpy kapasitas 100 joule. *jurnal ilmiah teknik mesin*, 1(2), 45-53.
- [11]. Montgomery, D. C. (2001). Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons. Inc., New York, 1997, 200-1.
- [12]. Sutikno, M. S. Response Surface Methodology (Rsm) Dan Aplikasinya.
- [13]. Mufti, M. A. A., Budiarto, U., & Hadi, E. S. (2020). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Single V dan Variasi Posisi Las dengan Sambungan MIG pada Aluminium 6061 terhadap Kekuatan Impak sebagai Material Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(1), 23-31.
- <http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.co.id/2015/05/friction-welding-frw.html>

## Lampiran 1

### Data Riwayat Hidup



#### 1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Syendy Pranata  
Tempat & Tanggal Lahir : Sungailiat, 5 April 2001  
Alamat : BTN, JL Duyung IV No 427  
Karya Makmur, Pemali  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
No hp : 0895610393751  
E-mail : [Pranatasendi969@gmail.com](mailto:Pranatasendi969@gmail.com)

#### 2. Riwayat Pendidikan

- a. SD Negeri 14 Air Bakung Lulus Tahun 2013
- b. SMP Negeri 1 Pemali Lulus Tahun 2016
- c. SMA Negeri 1 Pemali Lulus Tahun 2019

#### 3. Riwayat Pendidikan Non Formal

-

Sungailiat, 18 Januari 2023

Syendy Pranata

## Lampiran 2

### Menentukan Nilai Aksial Poin

#### 1. Jarak Penekanan

$$\begin{aligned} -x/\alpha &= \frac{x-3}{1/2(4-2)} \\ &= \frac{x-3}{1} \end{aligned}$$

$-\alpha$

$$-1,41 = \frac{x-3}{1}$$

$$-1,41 = x - 3$$

$$x = -1,41 + 3$$

$$= 1,59$$

$\alpha$

$$1,41 = \frac{x-3}{1}$$

$$1,41 = x - 3$$

$$-1,41 = x - 3$$

$$x = 1,41 + 3$$

$$x = 4,41$$



## 2. Waktu Gesek

$$\begin{aligned} -\alpha/x &= \frac{x-5}{1/2(6-4)} \\ &= \frac{x-5}{1} \end{aligned}$$

$-\alpha$

$$-1,41 = \frac{x-5}{1}$$

$$-1,41 = x - 5$$

$$x = -1,41 + 5$$

$$= 3,59$$

$\alpha$

$$1,41 = \frac{x-5}{1}$$

$$1,41 = x - 5$$

$$x = 1,41 + 5$$

$$= 6,41$$



### Lampiran 3

#### Menghitung Nilai Optimasi Uji Kekerasan

$$x_0 = \begin{bmatrix} -0,10541 \\ 1,00528 \end{bmatrix}$$

$$x_1(J. \text{penekanan}) = \frac{j. \text{penekanan} - 3}{1/2 (4,41 - 1,59)}$$

$$-0,10541 = \frac{j. \text{penekanan} - 3}{1,41}$$

$$0,1486281 = J. \text{penekanan} - 3$$

$$J. \text{penekanan} = 3 - 0,84$$

$$= 2,85$$

$$x_2(w. \text{gesek}) = \frac{w. \text{gesek} - 5}{1/2 (6,41 - 3,59)}$$

$$1,00528 = \frac{w. \text{gesek} - 3}{1,41}$$

$$1,4174448 = w. \text{gesek} - 5$$

$$w. \text{gesek} = 5 - 0,51$$

$$= 6,42$$

## Lampiran 4

### Menghitung Nilai Optimasi Impak

$$= \begin{bmatrix} -0,376978 \\ -0,119810 \end{bmatrix}$$

$$x_1(J. \text{penekanan}) = \frac{j. \text{penekanan} - 3}{1/2 (4,41 - 1,59)}$$

$$-0,376978 = \frac{j. \text{penekanan} - 3}{1,41}$$

$$0,1486281 = j. \text{penekanan} - 3$$

$$j. \text{penekanan} = 3 - 0,84$$

$$= 2,47$$

$$x_2(w. \text{gesek}) = \frac{w. \text{gesek} - 5}{1/2 (6,41 - 3,59)}$$

$$-0,119810 = \frac{w. \text{gesek} - 5}{1,41}$$

$$1,4174448 = w. \text{gesek} - 5$$

$$w. \text{gesek} = 5 - 0,51$$

$$= 4,83$$

## Lampiran 5

### Hasil Perhitungan Data Serap Impak Dan Harga Impak

$$\begin{aligned} 1. E &= m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 112,455(\cos 147 - \cos 150) \\ &= 112,455(-0,83867 - (-0,866021)) \end{aligned}$$

$$112,455 = 0,02735$$

$$= 3,075$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{3,075}{80}$$

$$= 0,038$$

$$\begin{aligned} 2. E &= m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 112,455(\cos 146 - \cos 150) \\ &= 112,455(-0,82903 - (-0,86602)) \end{aligned}$$

$$112,455 = 0,03694$$

$$= 4,523$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{148,297}{80}$$

$$= 0,052$$

$$3. E = m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455(\cos 146 - \cos 150)$$

$$= 112,455(-0,82903 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,03694$$

$$= 4,523$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{124,593}{80}$$

$$= 0,052$$

$$4. E = m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455(\cos 140 - \cos 150)$$

$$= 112,455(0,76604 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,09997$$

$$= 11,242$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{11,242}{80}$$

$$= 0,141$$

5.  $E = m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha)$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455(\cos 144 - \cos 150)$$

$$= 112,455(-0,80901 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,05700$$

$$= 6,979$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{6,979}{80}$$

$$= 0,087$$

6.  $E = m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha)$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455(\cos 139 - \cos 150)$$

$$= 112,455(-0,75470 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,11131$$

$$= 12,517$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{12,517}{80}$$

$$= 0,16$$

$$7. E = m \cdot g \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455 (\cos 144 - \cos 150)$$

$$= 112,455 (-0,80901 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,05700$$

$$= 6,979$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{6,979}{80}$$

$$= 0,087$$

$$8. E = m \cdot g \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455 (\cos 143 - \cos 150)$$

$$= 112,455 (-0,79863 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,06738$$

$$= 5,390$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{5,390}{80}$$

$$= 0,07$$

$$9. = m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455(\cos 145 - \cos 150)$$

$$= 112,455(-0,81915 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,04686$$

$$= 5,270$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{5,270}{80}$$

$$= 0,07$$

$$10. m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455(\cos 145 - \cos 150)$$

$$= 112,455(-0,81915 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,04686$$

$$= 5,270$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{5,270}{80}$$

$$= 0,07$$

$$11. m \cdot g \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 112,455 (\cos 145 - \cos 150)$$

$$= 112,455 (-0,81915 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 0,04686$$

$$= 5,270$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

$$A_1 = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{5,270}{80}$$

$$= 0,07$$

## Lampiran 6

### Proses Penelitian

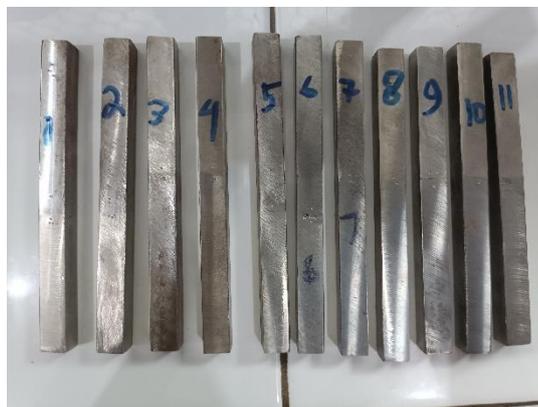
### Proses pemotongan



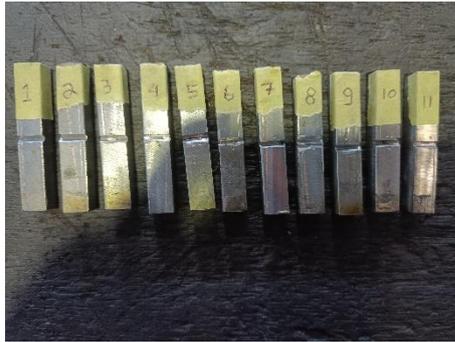
### Proses Pengelasan



### Uji Kekerasan



## Pembuatan Spesimen Uji Impak



## Uji Impak



## Lampiran 7

### Sertifikat Benda Kerja

- AISI 1045



SeAH Besteel Corp.  
1-6, SORYONG-DONG, KUNSAN,  
CHEONGBUK, KOREA(573-711)

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

### MILL CERTIFICATE

Steel Grade : AISI 1045/S45C  
Shape of Product : ROUND BAR  
Delivery Condition : As Rolled

TEL : +82-(0)63-460-8572, 8318(QA)  
+82-(0)63-460-8114(Repres.)  
FAX : +82-(0)63-460-8423 Page(0/0)  
Size (mm) : 13 - 1,000  
Length (mm) : 6,000  
Weight (kg) :  
Quantity(pcs) : 1,000

Inspection Items		Chemical Composition (wt. %)				
		C	SI	MN	P	S
		x 100	x 100	x 100	x 100	x 100
Spec.	Min.	42	15	6	30	35
	Max.	46	35	9		
	Result	45	25	8	MAX	MAX
Inspection Items		Product Hardness (HB)				
		SURFACE	160-220 HB	48-50 HRC		

#### Mechanical Properties AISI 1045/S45C

Mechanical Properties	Symbol	Steel
Young's modulus (GPa)	E	190 - 210
Poisson's ratio	$\nu$	0,27 - 0,30
Density(Kg/m <sup>3</sup> )	P	7.700 - 8.030
Yield strength (MPa)		569
Shear strength (MPa)		343
Extension ratio (%)		20
Area reduction (Psi)		30
Hardness (Hb)	Hb	160 - 220

- Stainless Steel 304

(A02) INSPECTION CERTIFICATE & MILL TEST REPORT											
Manufacturer's Symbol (A04) 		A03) MTR NO		10309877							
		Z02) DATE		25.10.2017							
		MATERIAL SPEC.									
		B02) GRADE		SS 304							
DIMENSIONAL SPEC.		h9									
B01) STAINLESS STEEL BRIGHT BARS					B04) DELIVERY CONDITION : PEEL ED & POLISHED						
A07) ORDER NO: PTG3008-R204					A09) Article No:						
B09-B1) ITEM DESCRIPTION			LENGTH		B08) PIECES(Nos)		NET WEIGHT(TO)		B07) HEAT NO		
ROUND 2 1/4"			6.00(-0/+0.06MM)		40		4.398		106704		
Bundle No 1100785054,1100785056,1100785057,1100785053,1100785055											
(C71-C92) CHEMICAL ANALYSIS											
ELEMENT	%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Cr	%Ni	%Cu	%Mo	%Co	%N2
HEAT	0.0250	1.6500	0.3700	0.0230	0.0360	18.1000	8.0600	0.6400	0.2500	0.1500	0.0090
MECHANICAL PROPERTIES											
Inspection No.											
10000919657	(C12) Tensile Strength	Yield Strength			(C13) Elongation%	Reduction of Area%	Hardness				
		Rp=0.2%	Rp = 1%								
	Mpa	Mpa	Mpa	Lo=5D	HBW						
	609.00	307.00		53.00	72.00	180					
1											
B06) Product Marking : SIZE, GRADE, HEAT NO., LOGO & INSPECTOR STAMP											
MATERIAL CONFIRMS TO ASTM A276/A276M-17 COND A , INTERGRANULAR CORROSION TEST SATISFACTORY AS PER ASTM A262-15 PRACTICE E. CERTIFIED AS PER EN 10204-3.1.											
REMARKS : MINIMUM SOLUTION ANNEALING TEMPERATURE 1080°C, SOAKING TIME 01 HOUR IN WATER QUENCHED. MATERIAL HAS BEEN TESTED AND FOUND TO BE FREE FROM RADIOACTIVE CONTAMINATION.											

