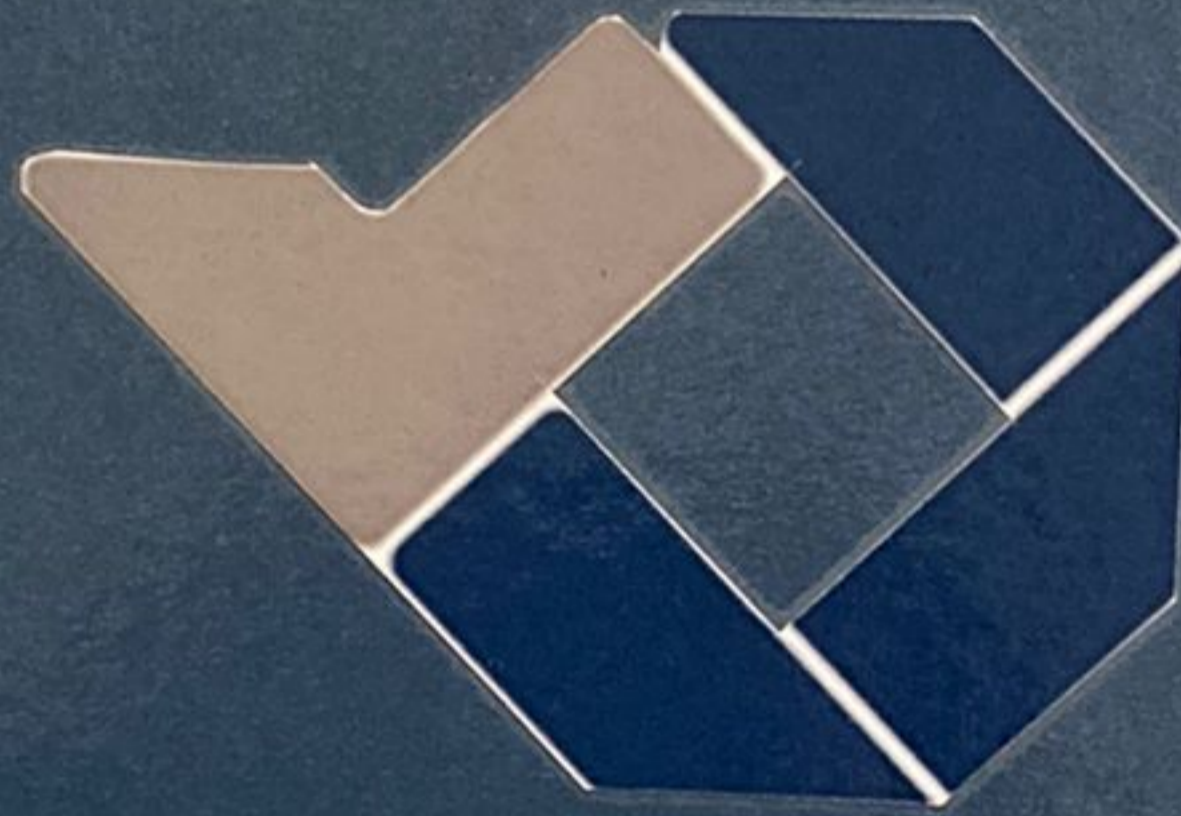


**ANALISA KEKUATAN IMPAK SAMBUNGAN LAS GESEK  
DENGAN VARIASI WAKTU PADA DUA MATERIAL BAJA  
AISI 1040 DENGAN SS 400**

**PROYEK AKHIR**

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



Diusun Oleh:

Fadhilurrohman Abriansyah NIRM. 1041913

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG  
TAHUN 2022/2023**

**ANALISA KEKUATAN IMPAK SAMBUNGAN LAS GESEK  
DENGAN VARIASI WAKTU PADA DUA MATERIAL BAJA  
AISI 1040 DENGAN SS 400**

**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:

Fadhlurrohman Abriansyah NIRM: 1041913

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG  
TAHUN 2022/2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Analisa Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Dengan Variasi Waktu Pada Dua Material Baja Aisi 1040 Dengan SS 400**

Oleh:

Fadhlurrohman Abriansyah/1041913

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

Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1



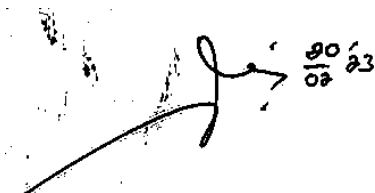
Sugiyarto, S.S.T., M.T.

Pembimbing 2



Somawardi, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T.

Penguji 2



Yuliyanto, S.S.T., M.T.

## **PERNYTAAN BUKAN PLAGIAT**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa: Fadhlurrohman A                      NIM: 104113

Dengan Judul: Analisa Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Dengan Variasi Waktu Pada Dua Material Baja Aisi 1040 Dengan SS 400

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

Sungailiat, 12 Januari 2020

Penulis,



Fadhlurrohman Abriansyah

## ABSTRAK

*Pengelasan memegang peranan penting dalam setiap pengerjaan dan perbaikan logam dalam proses produksi. Las gesek (Friction Welding) yang merupakan salah satu metode penyambungan logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap kekuatan impact untuk menghasilkan nilai optimal pada material baja AISI 1040 yang disambungkan dengan SS 400. Penelitian ini menggunakan metode RSM (Response Surface Method). Pada penelitian ini menggunakan uji impact sesuai dengan standar uji impact ASTM E23 metode charpy dengan ukuran 55 mm × 10 mm × 10 mm dengan kedalaman takik 2 mm, dan sudut takik 45°. Pengujian impact dilakukan dengan menggunakan mesin uji impact testing machine model JB-300B, dengan kapasitas bandul 150 Joule. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh dari variabel waktu gesek dan jarak penekanan berpengaruh signifikan terhadap uji impact pada baja AISI 1040 dengan baja SS 400 dan pada pengaturan optimasi level variabel didapatkan nilai optimal maksimum yaitu pada waktu potong sebesar 2,49 m/menit dan jarak penekanan sebesar 3,16 mm dan dihasilkan nilai harga impact terbesar terdapat pada percobaan ke 6 dan 7 sebesar 2,575 joule/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai terkecil terdapat pada percobaan ke 3 sebesar 1,557 joule/mm<sup>2</sup>.*

*Kata Kunci : Las gesek, Baja aisi 1040, Baja ss 400, Impact, RSM*

## **ABSTRACT**

*Welding plays an important role in any metalworking and repair in the production process. Friction welding which is one of the metal joining methods. This study aims to determine the effect of variations in friction time and pressing distance on impact strength to produce optimal values in AISI 1040 steel material connected to SS 400. This study uses the RSM (Response Surface Method) method. In this study using impact test in accordance with the standard ASTM E23 impact test charpy method with a size of 55 mm × 10 mm × 10 mm with a notch depth of 2 mm, and a notch angle of 45 °. The impact test was conducted using an impact testing machine model JB-300B, with a pendulum capacity of 150 Joules. The results showed that the influence of the variables of friction time and pressing distance had a significant effect on the impact test on AISI 1040 steel with SS 400 steel and at the variable level optimization setting the maximum optimal value was obtained at a cutting time of 2.49 m/min and a pressing distance of 3.16 mm and the largest impact price value was found in the 6th and 7th experiments at 2.575 joules/mm<sup>2</sup>, while the smallest value was found in the 3rd experiment at 1.557 joules/mm<sup>2</sup>.*

*Keywords: Friction welding, Steel aisi 1040, Steel ss 400, Impact, RSM*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh*

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan laporan proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu, Ayah, dan keluarga yang telah memberikan motivasi, doa, perhatian dan kasih sayang kepada penulis.
2. Bapak Sugiyarto, S.S.T., M.T. selaku pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, dukungan dan bantuan untuk penelitian proyek akhir ini.
3. Bapak Somawardi, S.S.T., M.T. selaku pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan mengajarkan metode RSM dalam laporan proyek akhir ini.
4. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Semua pihak dosen yang tidak dapat disebutkan satu persatu namun telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini.
7. Semua teman-teman yang telah membantu dalam penelitian proyek akhir ini.

Akhir kata penulis berharap Tuhan yang maha Esa membalas segala kebaikan untuk semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini, semoga proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung serta bagi pembacanya pada masa yang akan datang.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh.*

Sungailiat, 12 Januari 2020

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fadhlurrohman Abriansyah', is centered within a white rectangular box. The signature is stylized and somewhat cursive.

Fadhlurrohman Abriansyah



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAC.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Kajian Pustaka .....	4
2.2 Las Gesek.....	6
2.3 Baja AISI 1040 .....	6
2.4 Baja SS 400.....	8
2.5 Variabel Proses .....	8
2.5.1 Waktu Gesek .....	8
2.5.2 Kecepatan Putar.....	8
2.6 Variabel Tetap .....	9
2.6.1 Uji Impak.....	9
2.6.2 Uji Impak Metode <i>Charpy</i> .....	9
2.7 Optimasi.....	10
2.8 RSM ( <i>Response Surface Method</i> ).....	10

<b>BAB III METODE PEIAKSANAAN .....</b>	<b>16</b>
3.1 Diagram Alir .....	16
3.1.1 Studi Litelatur .....	17
3.1.2 Merancang Instrumen Penelitian .....	18
3.2 Persiapan Material dan Alat.....	19
3.3 Proses Las Gesek .....	19
3.4 Evaluasi.....	20
3.5 Pembuatan Spesimen Uji.....	20
3.6 Pengujian Impak .....	21
3.7 Analisa Data.....	22
3.8 Kesimpulan .....	22
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>23</b>
4.1 Proses Pengelasan Gesek .....	23
4.1.1 Langkah-langkah Preses Pengelasan.....	24
4.1.2 Hasil Pengelasan Gesek.....	25
4.2 Hasil Spesimen Uji .....	26
4.3 Hasil Pengujian Impak.....	26
4.4 Hasil Data Impak .....	27
4.5 Pengolahan Data .....	27
4.5.1 Nilai Hasil Impak .....	28
4.5.2 Analisa Ragam (ANOVA) .....	29
4.5.3 Uji Normalitas Impak.....	30
4.6 Analisa Data.....	31
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>33</b>
5.1 Kesimpulan .....	33
5.2 Saran .....	33

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1. Kode Sampel Central Composite Design 2k .....	17
Tabel 3. 2. Variasi level pada Varibel Penelitian.....	18
Tabel 4. 1. Hasil Pengelasan.....	23
Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Impak .....	26
Tabel 4. 3. Analisis Ragam (ANOVA) Impak.....	28



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1. Proses Pengelasan Gesek .....	5
Gambar 2. 2. Diagram Fasa Karbon Fe <sub>3</sub> C .....	8
Gambar 2. 3. Mesin Uji Impak .....	9
Gambar 2. 4. Ilustrasi Plot Permukaan Respon.....	10
Gambar 3. 1. Skema Diagram Alir Penelitian .....	15
Gambar 3. 2. Ukuran benda kerja Baja Aisi 140 .....	18
Gambar 3. 3. Ukuran Benda Kerja Baja SS 400 .....	19
Gambar 3. 4. Proses Pengelasan .....	20
Gambar 3. 5. Spesimen Uji Impak Standar ASTM E23 .....	20
Gambar 3. 6. Proses Pengujian Impak .....	21
Gambar 3. 7. Tabel Pengolahan Nilai Harga Impak .....	21
Gambar 4. 1. Hasil Pembuatan Spesimen Uji.....	25
Gambar 4. 2. Hasil Pengujian Impak .....	26
Gambar 4. 3. Pengolahan Data Nilai Hasil Impak .....	27
Gambar 4. 4. Grafik Plot.....	28
Gambar 4. 5. Grafik Surface Plot dan Gambar Grafik Countour Plot .....	29

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Data Riwayat Hidup

Lampiran 2. Rumus perhitungan

Lampiran 3. Foto Kegiatan

Lampiran 4. Sertifikat Baja AISI



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Teknologi yang semakin maju dan kebutuhan untuk menghasilkan konstruksi yang kuat dan baik menjadikan teknik pengelasan sebagai salah satu pilihan utama dalam pembangunan konstruksi. Pengelasan memegang peranan penting dalam setiap pengerjaan dan perbaikan logam dalam proses produksi. Oleh karena itu, dibutuhkan hasil pengelasan yang memiliki kualitas baik untuk menghasilkan konstruksi yang kuat dan tahan lama. Proses pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan dua buah logam dengan jalan pemanasan dan pelelehan logam dasarnya, dimana kedua ujung logam yang akan disambung dipanaskan sehingga mencapai titik lebur [1].

Terdapat berbagai metode untuk mengatasi permasalahan dalam proses penyambungan material. Salah satunya adalah las gesek (*Friction Welding*) yang merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam. Las gesek merupakan teknik pengelasan dengan cara menggesekkan dua permukaan bahan las hingga mencapai sekitar 60-80% titik cair bahan. Dalam proses pengelasan gesek, salah satu bahan berputar sedangkan bahan yang lainnya tetap sehingga terjadi gaya yang menghasilkan panas. Pengelasan ini termasuk jenis *solid state welding* yang tidak menggunakan logam pengisi (*filler*), tidak ada listrik atau sumber energi lain yang digunakan hanya menggunakan metode tekanan dan hasil gesekan yang terjadi antara dua benda kerja. Pada dasarnya terdapat beberapa parameter penting dalam proses pengelasan gesek (*Friction Welding*) meliputi durasi gesek (*Friction Time*), kecepatan putaran (*Rotational Speed*), dan tekanan aksial (*Friction Axial Pressure*). Pengelasan material yang berbeda sering diperlukan untuk keperluan khusus, terutama bila diperlukan penyambungan dua material dengan karakteristik yang berbeda. Misalnya, penyambungan baja karbon rendah dan baja paduan menengah. Dengan menggunakan cara pengelasan las gesek (*Friction Welding*). Proses ini akan lebih ekonomis dan aman secara teknik [2].

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait pengelasan gesek adalah sebagai berikut,

Penelitian yang dilakukan oleh Indra Putra, dan Arwizet K dengan judul “Analisis Kekuatan Tarik Dan Impact Hasil Sambungan Las Gesek Pada Baja St 37” bertujuan untuk mengetahui proses pengelasan dan hasil las gesek dengan pengujian tarik dan impact pada baja ST 37. Penelitian ini menggunakan metode dengan kecepatan rpm 1800 rpm, dan lama waktu pengelasan yang akan dilakukan dari 70 detik, 80 detik, dan 90 detik. Spesimen yang digunakan untuk pengelasan gesek berdiameter 16 mm dan panjang 80 mm. Setelah pengelasan gesek dilakukan kemudian dilakukan impact untuk mengetahui kekuatan hasil las gesek. Hasil penelitian didapatkan dengan hasil kekuatan impact tertinggi terdapat pada waktu 90 detik dengan harga impact sebesar 813.75 N/m. sedangkan untuk kekuatan impact terendah terdapat pada waktu 70 detik dengan harga impact 483.41 N/m [3].

Penelitian yang dilakukan oleh Setiyo Prabowo dan Sunyoto dengan judul “Analisa Kekuatan Tarik Baja ST 41 Pengelasan Gesek Rotasi Variasi Waktu Gesek Dan Tempa” bertujuan untuk menganalisa kekuatan tarik baja ST 41 sambungan pengelasan gesek dengan variasi waktu gesek dan waktu tempa. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen dengan desain *factorial design*. Variasi waktu gesek yaitu 8, 10, dan 12 detik serta waktu tempa 4, 5, dan 6 detik penelitian menggunakan bahan baja ST 41 pejal yang dilas dengan pengelasan gesek dan pengelasan SMAW arus 100 A dengan elektroda E6010, sebagai kontrol penelitian. Hasil penelitian mendapatkan waktu gesek terbaik yaitu selama 10 detik dengan nilai rata-rata tarik 527,97 MPa dan waktu tempa terbaik didapatkan selama 5 detik dengan nilai rata-rata kekuatan tarik 535,3 MPa. Untuk pengelasan SMAW mendapatkan nilai kekuatan tarik yang lebih rendah dari pengelasan gesek rotasi yaitu 422,01 Mpa [4].

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari waktu gesek yang menjadi salah satu parameter penting pada pengelasan gesek maka penulis mengambil judul “ Analisa Kekuatan Impak

Sambungan Las Gesek (*friction welding*) Dengan Variasi Waktu Pada Dua Material Baja AISI 1140 Dengan SS 400”.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Bagaimana pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan terhadap kekuatan impak pada peroses pengelasan gesek baja AISI 1040 dengan SS 400.

### **1.3. Batasan Masalah**

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

1. Menggunakan material baja AISI 1040 dengan SS 400.
2. Variasi waktu gesek yang digunakan yaitu 2 menit, 3 menit, dan 4 menit.
3. Kecepatan putar yang digunakan adalah 1000 rpm.
4. Jarak penekanan yang digunakan adalah 3 mm, 4 mm, 5 mm.
5. Menggunakan mesin bubut sebagai mesin las gesek.
6. Gaya tekanan pada penelitian ini bersifat bebas.
7. Mengolah nilai harga impak sebagai uji impak
8. Tidak membahas tentang struktur mikro setelah hasil pengujian impak.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Mengetahui pengaruh variasi waktu gesek dan jarak penekanan yang dilakukan terhadap kekuatan impak untuk menghasilkan nilai optimal pada material baja AISI 1040 yang disambungkan dengan SS 400 menggunakan *Response Surface Methodology*

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun beberapa maanfaat dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi untuk penelitian serupa dalam pengelasan gesek pada dua material yang berbeda, baja AISI 1040 dengan baja SS 400.
2. Mengetahui pengaruh dan variasi pengaturan variabel proses yang tepat untuk mengoptimalkan kekuatan hasil las gesek pada baja AISI 1040 dengan SS 400.



## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1. Kajian Pustaka**

Penelitian yang berkenaan dengan las gesek juga pernah dilakukan oleh dicky satyadianto dengan judul “pengaruh variasi tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi gesek terhadap kekuatan impact pada sambungan las gesek (*friction welding*) dengan menggunakan baja paduan aisi 4140”. dalam penelitian ini dilakukan pengelasan gesek langsung dengan memvariasikan tekanan gesek sebesar 8 MPa, 14 MPa, dan 20 MPa dalam waktu gesekan 60 detik, 80 detik, dan 100 detik sampai mencapai temperatur tertentu, kemudian diberikan variasi tekanan tempa sebesar 30 MPa, 40 MPa, 60 MPa, dengan menggunakan baja AISI 4140 sebagai benda kerja, kecepatan putar yang digunakan 4500 Rpm. Efek dari tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi gesekan terhadap impact strength dianalisa melalui uji impact. Dari penelitian ini didapat Kekuatan impact tertinggi diperoleh pada kombinasi parameter durasi gesek 100 detik, dengan tekanan gesek 20 MPa dan tekanan tempa 60 MPa yaitu sebesar 0,3228 J/mm<sup>2</sup>. Kekuatan impact terendah diperoleh pada kombinasi parameter durasi gesek 60 detik, dengan tekanan gesek 8 MPa dan tekanan tempa 30 MPa yaitu sebesar 0,0420 J/mm<sup>2</sup> [5].

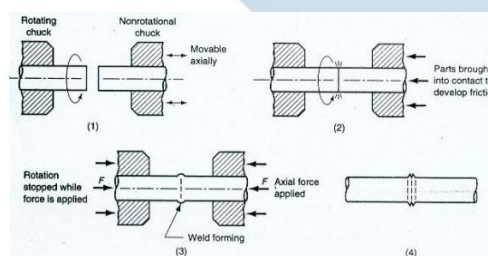
#### **2.2. Las Gesek (*friction welding*)**

Las Gesek (*friction welding*) adalah suatu metode yang dilakukan untuk memperoleh lasan dengan cara menggesek ujung dua benda kerja. Dalam pengelasan gesek, sambungan terjadi karena panas yang dihasilkan oleh gesekan antara dua logam dasar, yang salah satunya berputar untuk menghasilkan panas pada permukaan kontak, sedangkan yang satunya diam. Dalam kondisi panas ini, gerakan relatif antara dua logam berhenti, kemudian dilakukan penekanan, sehingga menciptakan sambungan las [2]. Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan *fusion welding*. Las Gesek (*friction welding*) termasuk tanpa pencarian logam dasar dan tanpa bahan tambah. *Proses friction welding* memanfaatkan panas akibat gesekan dua permukaan yang akan disambung.

Penyambungan terjadi dengan pemberian tekanan yang cukup pada proses penyambungan. *Friction welding* dapat melakukan penyambungan benda pejal dengan kontak secara keseluruhan, karena prosesnya melalui gesekan pada permukaan benda kerja. Hal ini sulit dilakukan pada pengelasan SMAW. Metode penyambungan dengan pengelasan gesek merupakan suatu pilihan metode untuk penyambungan dua jenis logam berbeda, yang mana pada proses ini, penyambungan kedua jenis logam terjadi pada fase solid, tanpa membutuhkan logam pengisi (*filler metal*), *flux*, dan gas pelindung [2].

Pengelasan gesek ditinjau dari sisi cara mentransfer energi mekaniknya, dapat diklasifikasikan secara praktis menjadi pengelasan gesek *continuous drive*, dan pengelasan gesek inersia. Pengelasan gesek *continuous drive* merupakan metode pengelasan gesek yang digunakan untuk menyambungkan logam berbentuk silinder dimana terjadi pembangkitan panas akibat gesekan pada permukaan kontak. Pada pengelasan gesek *continuous drive*, terdapat variabel-variabel operasi utama seperti. Kecepatan Putar (*rotation speed*), waktu gesek (*friction time*), tekanan gesek (*friction pressure*), tekanan tempa (*forging pressure*), waktu tempa (*forging time*) [6].

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



Gambar 2. 1. Proses Pengelasan Gesek

Pada penelitian ini menggunakan dua baja karbon yang berbeda yaitu, baja karbon AISI 104 dengan baja Karbon SS 400.

### 2.3. Baja AISI 1040

*American Iron and Steel Institute (AISI)*, AISI adalah lembaga khusus amerika yang membuat standar untuk komposisi baja. AISI juga mengatur bahwa 2 digit pertama adalah kode jenis baja (*high carbon, high alloy, stainless steel*), serta 2 digit terakhir menyatakan kadar karbon dalam baja tersebut. Baja AISI 1040 termasuk golongan baja karbon menengah, dan setara dengan JIS S40C, B.S 080 A 40, ASTM A576. Baja AISI 1040 memiliki komponen kimia komposisi (%) Karbon 0,37 – 0,44, besi 98, 51 – 98,98 mangan 0,6 – 0,9 pospor  $\leq 0,04$  belerang  $\leq 0,05$  [7].

Dikarenakan baja AISI 1040 sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI, maka AISI 1040 disebut sebagai karbon, dimana angka 10 pertama artinya yaitu sebuah kode yang menunjukkan *plain* karbon, lalu untuk kode xx setelah angka 10 memiliki arti komposisi dari karbon. Jadi baja AISI 1040 berarti baja karbon yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,40 %. Berdasarkan nomor baja dengan kadar karbon medium, baja tersebut mempunyai sifat mampu mesin, mempunyai cold drawing, mampu tempa, serta memiliki sifat ketahanan aus yang baik dengan melalui perlakuan induction hardening. Baja AISI 1040 banyak digunakan pada komponen mesin [8].

### 2.4. Baja SS 400

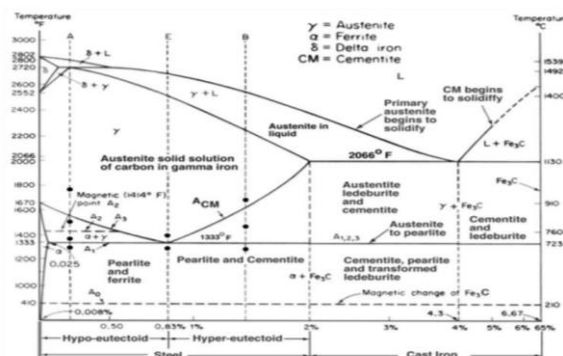
*Structural steel* adalah produk baja yang dibuat dari *mild steel* (baja karbon) yang selain mengandung besi juga mengandung karbon, mangan, fosfor, silikon, dan sulfur. Baja yang diaplikasikan untuk konstruksi umum ini memiliki sifat magnetis serta tidak tahan karat. Baja SS400 (*stuctural steel*) merupakan sebuah baja karbon rendah (*mild steel*) yang sesuai standar ASTM (*American Society for Testing Materials*) A36 atau JIS (*Japanese Industrial Standards*) G3101. SS 400 adalah produk baja yang terbuat dari baja karbon (*mild steel*) yang diproduksi dalam proses canai panas (*hot rolled*). Baja SS 400 banyak diaplikasikan untuk konstruksi umum, biasanya diaplikasikan pada kontruksi jembatan, pelat pada kapal laut, tangki minyak, dan lainnya. Baja ini digolongkan ke dalam baja paduan rendah karena komposisi panduannya kurang dari 8% dengan komposisi karbon (C)

sebesar 0.17%, mangan (Mn) 1.4%, fosfor (P) 0.045%, dan sulfur (S) 0.045%. baja ini memiliki kelemahan yaitu masih seringnya terjadi keausan [9].

## 2.5. Diagram Fasa Karbon Fe3C

Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi didalam baja, serta untuk mengetahui faktor-faktor yang terjadi pada paduan baja dengan segala perlakuannya. Adapun istilah yang terdapat pada diagram kesetimbangan Fe-Fe3C dan fasa-fasa yang terdapat dalam diagram dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperature kritis pada diagram Fe-Fe3C [10].

1.  $A_1$  adalah temperature reaksi *eutektoid* yaitu perubahan fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha + Fe_3C$  (*perlit*) untuk baja *hypoeutectoid*.
2.  $A_2$  adalah titik *currie* (pada temperature 769oC), dimana sifat magnetik besi berupa dari *feromagnetik* menjadi *paramagnetic*.
3.  $A_3$  adalah temperature transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$  (*ferit*) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperature.
4.  $A_{cm}$  adalah temperature transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $Fe_3C$  (*sementit*) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperature.
5.  $A_{123}$  adalah temperatur transformasi  $\gamma$  menjadi  $\alpha + Fe_3C$  (*perlit*) untuk baja *hypereutectoid*.



Gambar 2.2. Diagram Fasa Karbon Fe3C

Dalam pengelasan gesek ada beberapa hal yang penting yang mempengaruhi bagus tidaknya pengelasan gesek yaitu, waktu pengelasan dan jarak penekannya.

## **2.6. Variabel Proses**

Variabel proses pembubutan merupakan informasi awal dan formula yang mendasar pada proses pengelasan gesek pada benda kerja pada mesin bubut. Variabel proses penelitian sebagai berikut.

### **2.6.1. Waktu Gesek**

Pengaruh waktu gesekan terhadap distribusi temperatur saat proses gesekan berlangsung sampai mencapai temperatur tempa, sehingga pada permukaan logam dasar terbentuk permukaan tempa. Untuk waktu gesekan yang semakin lama daerah permukaan tempa yang terbentuk akan semakin besar, karena panas. Waktu 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 [4].

### **2.6.2. Kecepatan putar**

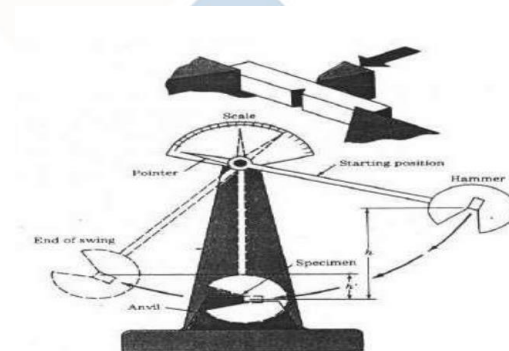
Kecepatan rotasi dan tekanan aksial yang lebih rendah biasanya digunakan dalam *direct drive friction welding*. Ada rentang yang optimal dari kecepatan putaran untuk setiap kombinasi logam yang disambung. Dalam penjelasan inersia, kecepatan putaran terus menurun selama tahap gesekan sedangkan pada pengelasan *direct drive* dikecepatan gesekan tetap konstan. 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 [4].

## **2.7. Variabel Tetap**

Pada variabel tetap, penelitian ini menggunakan pengujian impak pada hasil pengelasan kedua benda kerja yang telah menyatu. Variabel tetap penelitian sebagai berikut.

### 2.7.1. Uji Impak

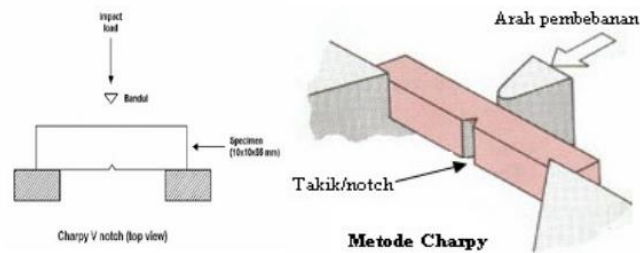
Pengujian impact merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Uji impact mensimulasikan kondisi operasi material yang dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan, melainkan datang secara tiba-tiba. Pada pengujian impact banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut. Material yang ulet akan menunjukkan harga impact 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. Dalam pengujian impact akan didapatkan serapan energi dari proses pengujian. Nilai serapan energi didapatkan dari massa spesimen dikali grafitasi dan dikali dari nilai ketinggian jatuh dikurang nilai ketinggian ayunan yang didapatkan pada proses pengujian. Kemudian dari hasil serapan energi akan didapatkan harga impact yang mengukur kerapuhan suatu material. Harga impact didapatkan dengan persamaan serapan energi dibagi luas penampang spesimen [11]. Berikut merupakan gambar ilustrasi pengujian impact metode *charpy*.



Gambar 2. 3. Mesin Uji Impact

### 2.7.2. Uji Impact Metode *Charpy*

Pengujian impact metode *charpy* merupakan pengujian tumbuk dengan meletakkan spesimen dengan proses *horizontal* atau mendatar dan arah pembebanan berlawanan arah dengan takikikan.



Gambar 2. 4. Uji Impak Metode Charpy

Pada pengujian impak dengan metode *Charpy*, benda uji (spesimen) berdimensi mempunyai luas penampang bujur sangkar 10 mm x 10 mm dengan panjang 55 mm. Pada benda uji dibuat takikan tepat di tengahnya dengan bentuk takikan V-45° dengan kedalaman 2 mm dan jari-jari dasar 0,25 mm. Benda uji diletakkan mendatar dengan takik membelakangi pendulum penghantam dengan kecepatan impak rata-rata kisaran 3 m/s – 6 m/s. Dimana  $\omega$  sudut antara sisi takik, nilai relative ketiga tegangan utama sangat tergantung pada dimensi batang dan ukuran takik. Benda uji standar cukup tebal untuk menjamin pembebanan regangan bidang yang tinggi dan terbentuknya regangan tiga sumbu pada hampir diseluruh penampang lintang takik. Dengan dimensi benda uji takik V *Charpy* standar, memberikan kondisi yang baik bagi pengujian patah getas [12]. Maka diperoleh rumus energi impak:

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 (mm<sup>2</sup>)

### 2.8. Optimasi

Optimasi merupakan suatu disiplin ilmu dalam matematika yang fokus untuk mendapatkan sebuah nilai minimum atau maksimum secara sistematis dari

suatu fungsi, peluang maupun pencarian nilai lainnya dalam berbagai kasus”. Penelitian ini dilakukan untuk mencari optimasi pada variabel waktu gesek dan jarak penekanan proses pengelasan gesek [12].

**2.9. Response surface methodology (RSM)**

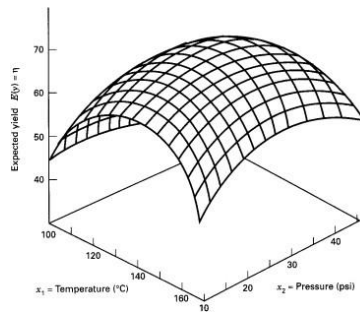
*Response surface methodology* atau juga metode respon permukaan ialah kumpulan metode matematika serta statistik yang bermanfaat bagi pemodelan dan menganalisis permasalahan, sebagian parameter mempengaruhi respons yang diinginkan serta tujuannya yaitu untuk mengoptimalkan respon tersebut. Penelitian yang memakai metode optimasi dalam prosesnya akan dipengaruhi oleh parameter dependen (respon) dan parameter independen (faktor), salah satu metode yang bisa dipakai dalam upaya optimasi ialah RSM. Metode RSM ialah salah satu alat yang efisien untuk menelaah kaitan antara respon dengan parameter independen. Metodologi permukaan respons digunakan dalam pemodelan dan analisis untuk memperhatikan pengaruh beberapa faktor kuantitatif pada sebuah variabel respon, bertujuan dalam mengoptimalisasi faktor respon tersebut. Dalam mencari level (X1) dan (X2) yang bisa mengoptimalisasi nilai respon (y). Hubungan beberapa variabel tersebut dinotasikan sebagai persamaan dibawah ini:

$$y = f(x_1+x_2)\varepsilon \dots\dots\dots (2.2)$$

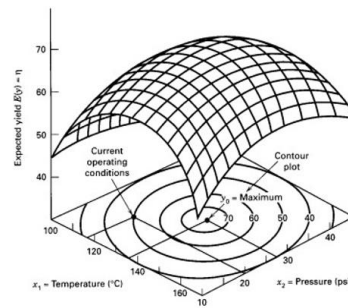
Di mana  $\varepsilon$  adalah kesalahan observasi pada sebuah respon (y). Jika harga harapan respon dinotasikan  $y = f(x_1+x_2) = n$ , maka  $n = f(x_1+x_2)$  disebut permukaan respon.

Biasanya, permukaan respons direpresentasikan secara grafis ditunjukkan pada Gambar 2.4. untuk memudahkan pembacaan bentuk visualisasi plot permukaan respon yang umumnya diaplikasikan sebagai *contour* dari permukaan respon, ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada *contour* ini, posisi garis respon lain berada pada permukaan lengkung di atasnya dan posisi garis respon konstan beradapada permukaan datar  $(x_2, x_2)$ .



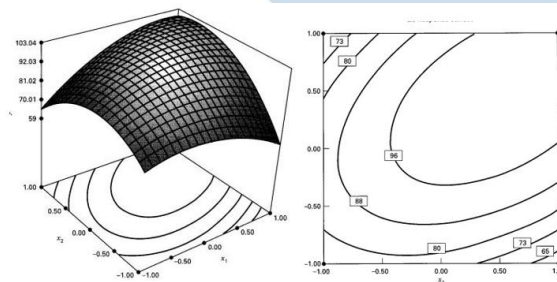


Gambar 2.5. Ilustrasi Plot Permukaan Respon.

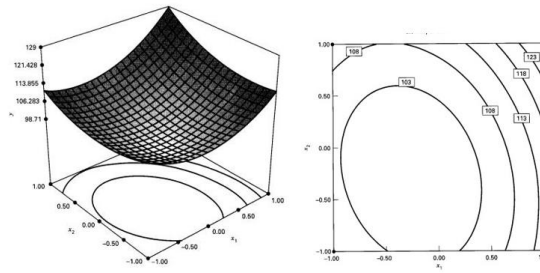


Gambar 2.6. Ilustrasi Plot Kontur Response Surface.

Jenis permukaan respon diaplikasikan untuk menunjukkan jenis titik *stationery point*, baik *maksimum*, *minimum*, atau *saddle point*. Persamaan untuk menentukan titik stasioner dari sebuah respon. Berikut adalah beberapa gambar dari setiap karakteristik permukaan dan plotkonturnya yang sesuai, seperti yang ditunjukkan. Gambar 2.7. dan Gambar 2.8. dibawah ini:



Gambar 2. 7. Jenis Permukaan Respon *Maksimum*



Gambar 2. 8. Jenis Permukaan Respon *Minimum*

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:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Jika bentuk ikatannya kuadratik, maka pendekatan fungsi menggunakan derajat polinomial yang lebih tinggi, yaitu model orde kedua.

Persamaan konversi faktor untuk pengkodean adalah sebagai berikut berikut:

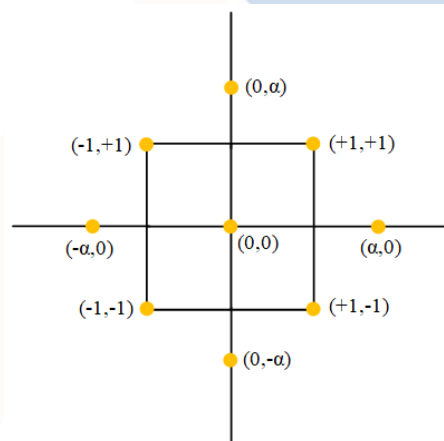
$$x_i = \frac{X_i + \frac{1}{2}(y_{X_i maks} + y_{X_i min})}{\left(\frac{1}{2}y_{X_i maks} - y_{X_i min}\right)} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

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*. Pada penelitian ini, penulis memakai desain 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 [13]. CCD dengan 2 faktor diperlihatkan dalam Gambar 2.9. berikut:



Gambar 2. 9. Central Composite Design untuk 2 Faktor

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:

$$\beta = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \hat{\beta}_{11} \\ \hat{\beta}_{22} \\ \hat{\beta}_{12} \end{bmatrix} = ((x^T x)^{-1}) (x^T y) \dots\dots\dots(2.6)$$

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

$$X_0 = -\frac{1}{2} B^{-1} b \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan,

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

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

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 \omega_1^2 + \lambda_2 \omega_2^2 + \dots \dots\dots(2.8) \\ + \lambda_k \omega_k^2$$

Dengan,

$\lambda_i$  = konstanta

$\omega_i$  = Parameter bebas (faktor)

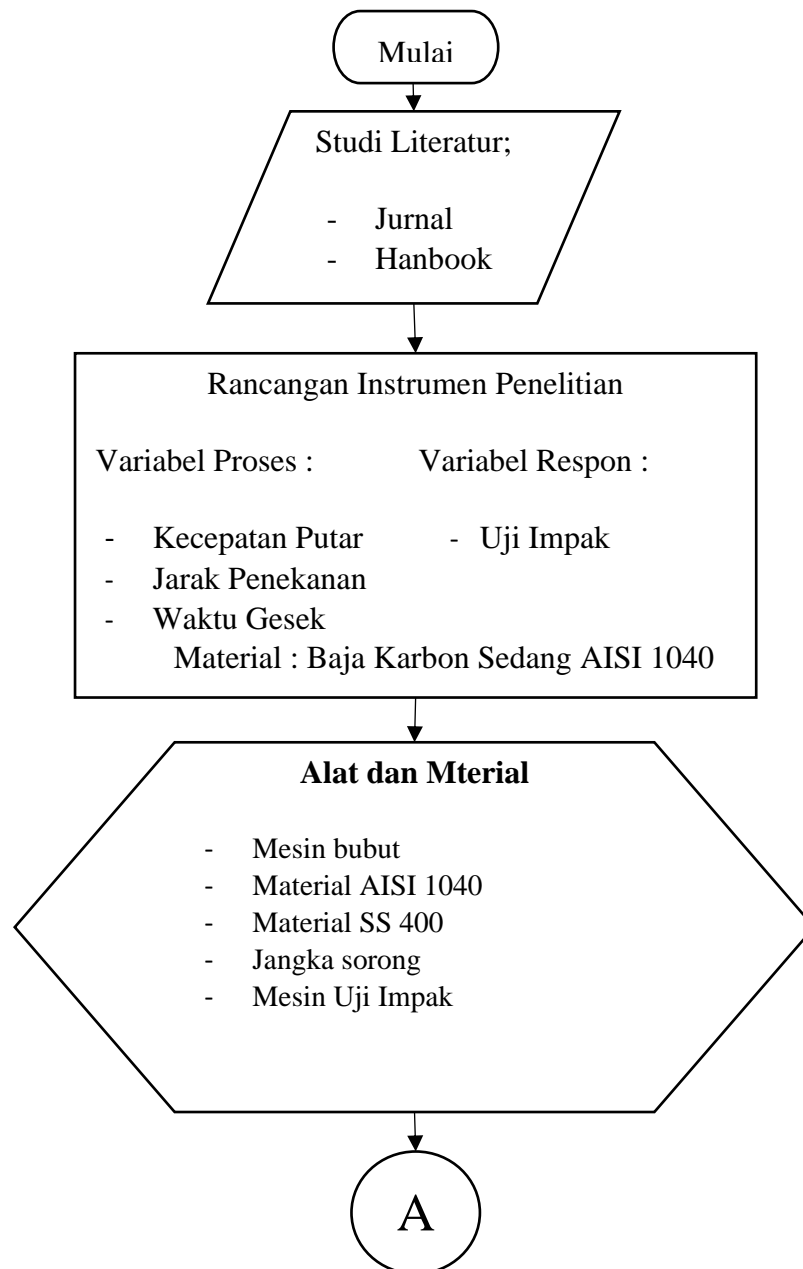
6. Menentukan nilai optimal dari *surface* dan proses *uncode*.
7. Menganalisis grafik *plot*.

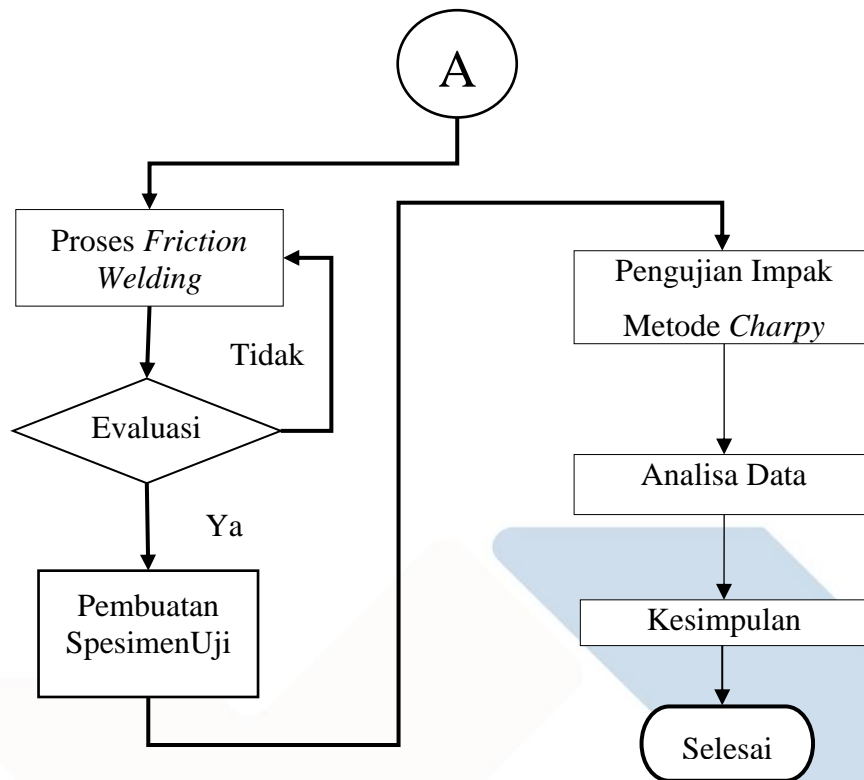
### BAB III

#### METODE PELAKSANAAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode factorial untuk mengetahui nilai kekuatan impak dan kekerasan pada baja AISI 1040 yang disambungkan dengan SS 400 setelah dilakukan proses Friction Welding.

#### 3.1. Diagram Alir





Gambar 3. 1. Skema Diagram Alir Penelitian

### 3.1.1. Studi Litelatur

Dalam penelitian ini data-data didapatkan dari sumber pustaka seperti karya ilmiah, buku referensi, dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.

### 3.1.2. Merancang Instrumen Penelitian

Merancang instrumen penelitian adalah suatu proses untuk melakukan penelitian agar penelitian sesuai dengan langkah-langkah yang sudah ditetapkan. Berikut parameter yang digunakan pada penelitian ini:

1. Variasi waktu gesek adalah 2 menit, 3 menit, 4 menit.
2. Jarak penekanan adalah 3 mm, 4 mm, 5 mm.
3. Kecepatan yang digunakan adalah 1000 rpm.
4. Menggunakan mesin bubut.
5. Baja Karbon AISI 1040 dan SS 400 silinder pejal  $\phi 16$  mm.

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

Tabel 3. 1. Kode Sampel Central Composite Design 2k

Jenis sampel	Faktor	
	A	B
<i>Cube Point</i>	-1	-1
	1	-1
	-1	1
	1	1
<i>Aksial Point</i>	$-\alpha$	0
	$+\alpha$	0
	0	$-\alpha$
	0	$+\alpha$
<i>Center Point</i>	0	0
	0	0
	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 1 adalah nilai level tertinggi pada faktor yang ditentukan. Pada jenis sampel *aksial point* kode ( $\alpha$  dan  $-\alpha$ ) adalah nilai yang harus dihitung untuk menentukan nilai sampel pada setiap variabel, perhitungan nilai ( $\alpha$  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 rancangan level pada variabel penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 3.2. Sebagai berikut:

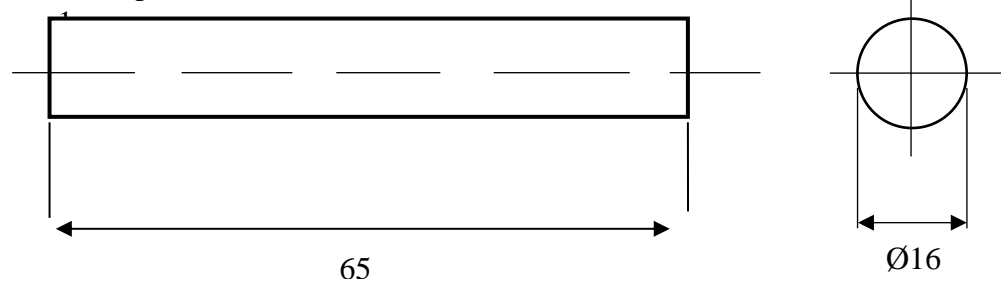
Tabel 3. 2. Variasi level pada Varibel Penelitian

No sampel	Variabel Penelitian	
	Jarak penekanan (mm)	Waktu gesek (mm)
1	3	2
2	5	2
3	3	4
4	5	4
5	2,59	3
6	5,41	3
7	4	1,59
8	4	4,41
9	4	3
10	4	3
11	4	3

### 3.2. Persiapan Material dan Alat

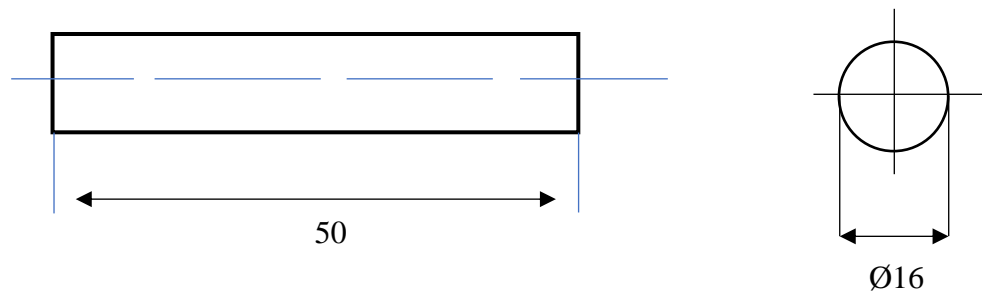
Pada penelitian ini, benda kerja yang digunakan adalah poros baja AISI 1040 dan SS 400. Proses pengelasan gesek dilakukan dengan mesin bubut pada setiap spesimen. Berikut merupakan material dan bahan:

#### 1. Persiapan Material



Gambar 3. 2. Ukuran benda kerja Baja Aisi 140





Gambar 3. 3. Ukuran Benda Kerja Baja SS 400

2. Pesiapan Alat :

Peralatan yang digunakan untuk proses pengelasan gesek dan penelitian adalah :

- a. Mesin bubut
- b. Stopwatch
- c. Jangka sorong
- d. Kacamata

### 3.3. Proses Las Gesek

Pada proses pengelasan antara baja karbon AISI 1040 dengan SS 400 menggunakan mesin bubut sebagai alat untuk proses las gesek. Proses dimulai dari pencekaman benda kerja pada cuck dan cuck bor. Pengelasan dilakukan sesuai dengan variasi waktu gesek yaitu 2 menit, 3 menit dan 4 menit dengan kecepatan putar 1000 rpm, dan dilakukan jarak penekanan sebesar 3mm, 4mm dan 5mm. Setelah kedua benda kerja digesek mencapai titik cair, sehingga terjadi sambungan las. Berikut gambar proses pengelasan gesek.



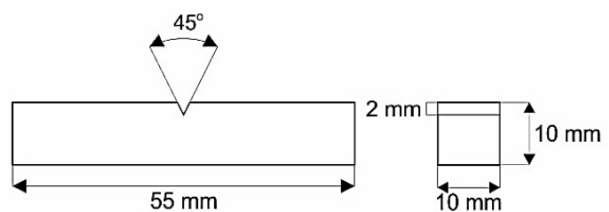
Gambar 3. 4. Proses Pengelasan

### 3.4. Evaluasi

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

### 3.5. Pembuatan Spesimen Uji

Pada Pembuatan spesimen uji benda kerja hasil pengelasan disesuaikan dengan Standar Uji Impak ASTM E23 metode *charpy* dengan ukuran 55 mm × 10 mm × 10 mm dengan kedalaman takik 2 mm, dan sudut takik 45° (14). Pada pembuatan spesimen uji, benda kerja yang telah tersambung memiliki ukuran Ø16 mm × 55, setelah itu dilakukan proses pembuatan spesimen uji impak sesuai standar ASTM E23, seperti pada gambar dibawah ini.

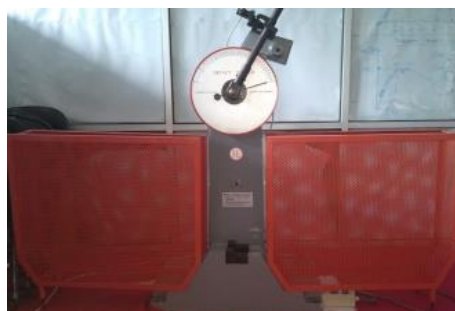


Gambar 3. 5. Spesimen Uji Impak Standar ASTM E23

Proses pembuatan spesimen uji dilakukan menggunakan mesin frais dimana benda kerja hasil pengelasan dilakukan pemakanan. Setelah proses penge fraisan selesai, dilakukannya pembuatan takik dengan sesuai standar bentuk spesimen uji. Berikut gambar proses pembuatan dan gambar hasil spesimen uji.

### 3.6. Pengujian Impak

Setelah proses pengelasan gesek (*friction welding*) dan pembuatan spesimen uji impak terhadap baja AISI 1040 dan SS 400. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menyiapkan mesin uji impak. 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. Kegiatan proses pengujian impak spesimen dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3. 6. Proses Pengujian Impak

### 3.7. Analisa Data

Analisa data adalah untuk menganalisis hasil dari kekerasan material, energi yang diserap, dan harga impact dari pengujian kekerasan dan pengujian impact pada hasil las gesek pada baja AISI 1040 yang disambungkan dengan SS 400 yang telah dilakukan.

Berikut ini gambar pengolahan data uji impact menggunakan *software* analisa.

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

Gambar 3. 7. Tabel Pengolahan Nilai Harga Impact

### 3.8. Kesimpulan

Setelah mendapatkan hasil dari analisa data pengolahan RSM pada gambar 3.7 maka diambil kesimpulan dan analisa dari pengujian impact yang telah didapatkan.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

Pada proses pengelasan antara baja karbon AISI 1040 dengan SS 400 menggunakan mesin bubut sebagai alat untuk proses las gesek. Proses dimulai dari pencekaman benda kerja pada *chuck* dan *chuck* bor. Pengelasan dilakukan sesuai dengan variasi waktu gesek yaitu 2 menit, 3 menit dan 4 menit dengan kecepatan putar 1000 rpm, dan dilakukan jarak penekanan sebesar 3mm, 4mm dan 5mm. Setelah kedua benda kerja digesek mencapai titik cair, sehingga terjadi sambungan las. Berikut gambar proses pengelasan gesek. Pada proses las gesek dapat dilihat pada lampiran 3.

##### **4.1.1. Langkah-langkah Proses Pengelasan**






Berikut merupakan 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 dari pengelasan gesek yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1. Hasil Pengelasan

NO BK	HASIL PENGELASAN	KETERANGAN
1		<ul style="list-style-type: none"><li>• Jarak penekanan 3mm</li><li>• Waktu gesek 2 menit</li></ul>
2		<ul style="list-style-type: none"><li>• Jarak penekanan 5mm</li><li>• Waktu gesek 2 menit</li></ul>
3		<ul style="list-style-type: none"><li>• Jarak penekanan 3mm</li><li>• Waktu gesek 2 menit</li></ul>
4		<ul style="list-style-type: none"><li>• Jarak penekanan 5mm</li><li>• Waktu gesek 4 menit</li></ul>
5		<ul style="list-style-type: none"><li>• Jarak penekanan 2,59mm</li><li>• Waktu gesek 4 menit</li></ul>

6		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarak penekanan 5,41mm</li> <li>• Waktu gesek 3 menit</li> </ul>
7		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarak penekanan 4mm</li> <li>• Waktu gesek 1,59 menit</li> </ul>
8		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarak penekanan 4mm</li> <li>• Waktu gesek 5,41 menit</li> </ul>
9		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarak penekanan 4mm</li> <li>• Waktu gesek 3 menit</li> </ul>
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarak penekanan 4mm</li> <li>• Waktu gesek 3 menit</li> </ul>
11		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarak penekanan 4mm</li> <li>• Waktu gesek 3menit</li> </ul>

#### 4.2. Hasil Spesimen Uji

Pada pengujian ini diperlukan sebuah pengujian impak metode *Charpy* dengan standar ASTM E23. 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. Setelah itu melakukan pembentukan pembuatan takik dengan ukuran kedalaman takik 2 mm, dan sudut takik 45°. Berikut gambar hasil spesimen.



Gambar 4. 1. Hasil Pembuatan Spesimen Uji

#### 4.3. Hasil 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.

Dan berikut merupakan gambar spesimen yang telah di uji impak



Gambar 4. 2. Hasil Pengujian Impak

#### 4.4. Hasil Data Impak

Pengujian impak dilakukan dengan menggunakan mesin Uji impak *TESTING MACHINE* metode *Charpy* model JB-300B. Dengan kapasitas bandul 150 Joule. Standar yang digunakan ASTM E23. Berikut hasil pengujian impak dapat dilihat pada tabel 4.2. Untuk rumus perhitungan nilai impak dapat dilihat pada persamaan (2.1)

Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Impak

No. Percobaan	Variabel Proses		Harga Impak (Joule/mm <sup>2</sup> )
	Jarak Penekanan (mm)	Waktu Gesek (Menit)	
1	3	2	1,817
2	5	2	1,853
3	3	4	1,557
4	5	4	2,458
5	2,59	3	2,561



6	5,41	3	2,575
7	4	1,59	2,575
8	4	4,41	2,368
9	4	3	2,538
10	4	3	2,538
11	4	3	2,538

#### 4.5. Pengolahan Data

Pengolahan data diambil menggunakan alat Software Analisis.

##### 4.5.1. Nilai Hasil Impak

*	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	J.Penekanan	W.Gesek	StdOrder	RunOrder	Blocks	PtType	Uji Impact	COEF1
1	3,00	2,00	1	1	1	1	1,817	2,54037
2	5,00	2,00	2	2	1	1	1,853	0,16913
3	3,00	4,00	3	3	1	1	1,557	0,00964
4	5,00	4,00	4	4	1	1	2,458	-0,27168
5	2,59	3,00	5	5	1	1	2,561	-0,36768
6	5,41	3,00	6	6	1	1	2,575	0,42993
7	4,00	1,59	7	7	1	1	2,575	
8	4,00	4,41	8	8	1	1	2,369	
9	4,00	3,00	9	9	1	1	2,538	
10	4,00	3,00	10	10	1	1	2,538	
11	4,00	3,00	11	11	1	1	2,538	

Gambar 4. 3. Pengolahan Data Nilai Hasil Impak Menggunakan Software Analisis

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

$$\hat{y} = 2,54037 + 0,16913x_1 + 0,00964x_2 - 0,27168x_1^2 + 0,36768x_2^2 + 0,42993x_1x_2$$

Untuk rumus perhitungan dapat dilihat dalam persamaan (2.3)

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).

#### 4.5.2. Analisa Ragam (ANOVA)

Untuk mengecek signifikansi model, maka bisa dilihat pada tabel ANOVA. Untuk tabel ANOVA dari pengujian dampak sebagai berikut,

Tabel 4. 3. Analisis Ragam (ANOVA) Dampak

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0,53573	0,107145	0,62	0,695
Linear	2	0,11513	0,057567	0,33	0,732
J.Penekanan	2	0,11476	0,114760	0,66	0,453
W.Gesek	2	0,00037	0,000373	0,00	0,965
Square	2	0,23354	0,116768	0,67	0,551
J.Penekanan*J.Penekanan	1	0,10461	0,104610	0,60	0,473
W.Gesek*W.Gesek	1	0,19160	0,191601	1,10	0,342
2-Way Interaction	1	0,18706	0,187056	1,08	0,347
J.Penekanan*W.Gesek	1	0,18706	0,187056	1,08	0,347
Error	5	0,86788	0,173576		
Lack-of-Fit	3	0,86788	0,289294	*	*
Pure Error	2	0,00000	0,000000		
Total	10	1,40361			

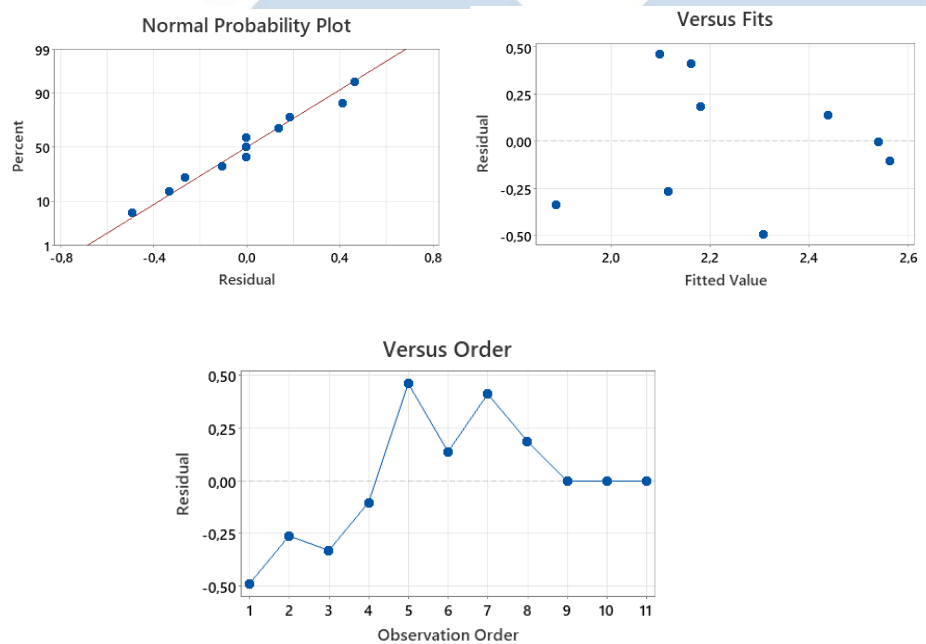
- Hipotesis jarak penekanan  
 $H_0$ : Tidak ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap dampak.  
 $H_1$ : Ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap dampak.
- Hipotesis waktu gesek  
 $H_0$ : Tidak ditemukan pengaruh signifikan waktu gesek terhadap dampak.  
 $H_1$ : Ditemukan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

- $\alpha$ : 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 0,453 sehingga keputusannya  $H_0$  ditolak yang mengartikan ditemukan pengaruh signifikan jarak penekanan terhadap dampak. P-value untuk waktu gesek sebesar 0,965 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 0,347 sehingga keputusannya gagal ditolak yang mengartikan tidak ditemukan pengaruh signifikan interaksi antara jarak penekanan dan waktu gesek terhadap kekerasan.

### 4.5.3. Uji Normalitas Impak

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



Gambar 4. 4. Grafik Plot

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.

#### 4.6. Analisa Data

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

Persamaan konversi faktor untuk perkodean adalah sebagai berikut.

Untuk rumus dapat dilihat pada persamaan (2.7)

$$X_0 = \begin{bmatrix} 0,598486 \\ 0,363012 \end{bmatrix}$$

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

Untuk rumus dapat dilihat pada persamaan (2.4)

$$x_1(J. penekanan) = \frac{j. penekanan - 4}{1/2 (5,41 - 2,59)}$$

$$0,598486 = \frac{j. penekanan - 4}{1,41}$$

$$0,84 = J. penekanan - 4$$

$$J. penekanan = 4 - 0,84$$

$$= 3,16$$

$$x_2(w. gesek) = \frac{w. gesek - 3}{1/2 (4,41 - 1,59)}$$

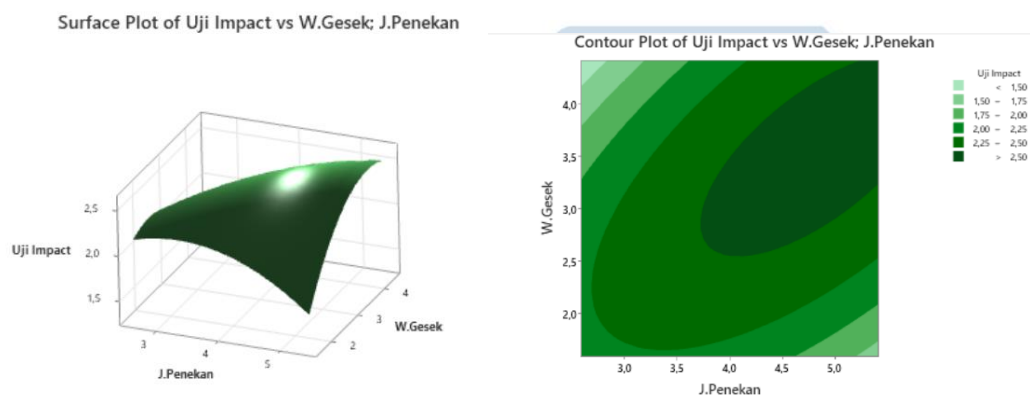
$$0,363012 = \frac{w. gesek - 3}{1,41}$$

$$0,51 = w. gesek - 3$$

$$w. gesek = 3 - 0,51$$

$$= 2,49$$

Dari persamaan diatas didapatkan nilai titik stasioner ( $X_0$ ) yaitu nilai  $X_1$  sebesar 0,598486 dan nilai  $X_2$  sebesar 0,363012. Berikut ini merupakan grafik plot yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 4. 5. Grafik Surface Plot dan Gambar Grafik Countour Plot

Untuk grafik surface plot diatas berbentuk maksimum dengan nilai optimal yaitu untuk jarak penekanan bernilai 3,16 mm dan untuk waktu gesek bernilai 2,49 menit. Maka berdasarkan grafik contour plot pengelasan gesek dengan jarak penekanan 4 mm dan waktu gesek 2 menit mempunyai harga impak dengan *range* 2,25-2,5 *joule/mm<sup>2</sup>*.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang sudah dilaksanakan pada penelitian bisa disimpulkan bahwa. Optimasi pengaturan variabel waktu gesek (m/menit) dan jarak penekanan (mm) terhadap uji impact pada baja AISI 1040 dengan SS 400 didapatkan nilai level variabel optimal maksimum, sehingga pengaturan optimal level variabel proses pengelasan gesek yaitu, waktu gesek bernilai 2,49 menit dan jarak penekanan bernilai 3,16 mm. Dan dihasilkan nilai harga impact terbesar terdapat pada percobaan ke 6 dan 7 sebesar 2,575 joule/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai terkecil terdapat pada percobaan ke 3 sebesar 1,557 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 impact sesuai standar, dan gunakan referensi yang berkaitan demi kelancaran penelitian yang akan dilakukan.

Harus selalu ikuti aturan laboratorium yang berlaku mulai dari keselamatan kerja, kebersihan lingkungan sector yang digunakan, dan pastikan semua peralatan yang digunakan tidak rusak.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bilal, N. I. (2021). *Pengaruh Variasi Arus Busur Listrik Pengelasan Gmaw Terhadap Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Rendah St 37* (Doctoral Dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- [2]. VihardI, H., & Arifin, A. (2019). *Analisis Sifat Mekanik Dan Mikrostruktur Pada Pengelasan Stainless Steel Dengan Baja Karbon Rendah Menggunakan Metode Friction Welding* (Doctoral Dissertation, Sriwijaya University).
- [3]. Meilianto, 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).
- [4]. Selvakumar, N. (2017). Microstructure, Surface Topography And Sliding Wear Behaviour Of Titanium Based Coating On AISI 1040 Steel By Magnetron Sputtering. *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, 17(2), 281-292.
- [5]. Abidah, A. F., & Drastiawati, N. S. (2019). Analisis SS400 Hasil Carburizing Media Arang Tempurung Kelapa-Baco3 Dengan Variasi Temperatur Pemanasan Dan Holding Time Ditinjau Dari Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2).
- [6]. Pratama, M. Y., Budiarto, U., & Jokosisworo, S. (2019). Analisis Komparatif Tarik, Kokas, Dan Kekuatan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Klasifikasi FCAW (Flux-Cored Arc Welding) Dengan Variasi Tipe Kuat Dan Posisi Klasifikasi. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4).
- [7]. Putra, I., & Arwizet, K. (2019). Analisis Kekuatan Tarik Dan Impact Hasil Sambungan Las Gesek Pada Baja ST 37. *Ranah Research: Journal Of Multidisciplinary Research And Development*, 1(4), 914-920.
- [8]. Al Ghifari, I., Budiarto, U., & Zakki, A. F. (2018). Analisa Kekuatan Impak, Tarik, Dan Mikrografi Aluminium 5083 Akibat Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) Dengan Variasi Posisi Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(4).
- [9]. Montgomery, D.C. 2001. *Design And Analysis Of Experiments*. USA: John Wiley & Sons, Inc.

- [10]. Hawari, M. I. (2020). *Pengaruh Temperature Dan Holding Time Pada Proses Hardening Dengan Media Pendingin Air Kelapa Tua Terhadap Kekerasan Baja Jis S45c* (Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- [11]. Rizal, Y. (2017). Peningkatan Kekuatan Tarik Baja Karbon Aisi 1040 Akibat Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Perlakuan Panas. *Jurnal APTEK*, 9(1), 71-78.
- [12]. Sugioko, A. (2013). Perbandingan Algoritma Bee Colony Dengan Algoritma Bee Colony Tabu List Dalam Penjadwalan Flow Shop. *Jurnal Metris*, 14(02), 113-120.
- s[13]. Ratnawati, S. E., Ekantari, N., Pradipta, T. W., & Pramita, B. L. (2018). Aplikasi Response Surface Methodology (RSM) Pada Optimasi Ekstraksi Kalsium Tulang Lele (The Application Of Response Surface Methodology (RSM) On The Optimization Of Catfish Bone Calisum Extaction. *Jurnal Perikanan Universitas Gajah Mada*, 20, 41-8.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Riwayat Hidup



#### 1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Fadhlurrohman A  
Tempat & Tanggal Lahir : Tangerang, 13 Nov 2000  
Alamat : Prumnas uptb t45, No.19, RT2/111  
Karya Makmur, Pemali  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
No hp : 082231524315  
E-mail : [aabriansyah12@gmail.com](mailto:aabriansyah12@gmail.com)

#### 2. Riwayat Pendidikan

- a. SD Negeri 1 Sangen Lulus Tahun 2013
- b. MTS Negeri Sewulan Lulus Tahun 2016
- c. SMK Rajawali Madiun Lulus Tahun 2019

#### 3. Riwayat Pendidikan Non Formal

-

Sungailiat, 18 Januari 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Fadhlurrohman Abriansyah', written over a light blue background.

Fadhlurrohman Abriansyah

## Lampiran 2. Rumus perhitungan

1. Waktu gesek

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

$-\alpha$

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

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

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

$$= 1,59$$

$\alpha$

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

$$1,41 = x - 3$$

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

$$x = 1,41 + 3$$

$$x = 4,41$$

2. Jarak penekanan

$$\begin{aligned} -\alpha/x &= \frac{x-4}{1/2(3-5)} \\ &= \frac{x-4}{1} \end{aligned}$$

$-\alpha$

$$-1,41 = \frac{x-4}{1}$$

$$-1,41 = x - 4$$

$$x = -1,41 + 4$$

$$= 2,59$$

$\alpha$

$$1,41 = \frac{x-4}{1}$$

$$1,41 = x - 4$$

$$x = 1,41 + 4$$

$$= 5,41$$

- *perhitungan Harga Impak*

$$x_0 = \begin{bmatrix} 0,598486 \\ 0,363012 \end{bmatrix}$$

$$x_1(\text{J. penekanan}) = \frac{j. \text{ penekanan} - 4}{1/2(5,41 - 2,59)}$$

$$0,598486 = \frac{j. \text{ penekanan} - 4}{1,41}$$

$$0,84 = J. \text{penekanan} - 4$$

$$J. \text{penekanan} = 4 - 0,84$$

$$= 3,16$$

$$x_2(w. \text{gesek}) = \frac{w. \text{gesek} - 3}{\frac{1}{2}(4,41 - 1,59)}$$

$$0,363012 = \frac{w. \text{gesek} - 3}{1,41}$$

$$0,51 = w. \text{gesek} - 3$$

$$w. \text{gesek} = 3 - 0,51$$

$$= 2,49$$

$$1. E = m. g. r(\cos \beta - \cos \alpha)$$

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

$$= 112,455(\cos 18 - \cos 150)$$

$$= 112,455(0,95105 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 1,81708$$

$$= 145,366$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

$$= \frac{145,366}{80}$$

$$= 1,82$$

$$2. E = m. g. r(\cos \beta - \cos \alpha)$$

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

$$= 112,455(\cos 9 - \cos 150)$$

$$= 112,455(0,98768 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 1,85371$$

$$= 148,297$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

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

$$= 1,853$$

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

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

$$= 112,455(\cos 76 - \cos 150)$$

$$= 112,455(0,24192 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 1,10794$$

$$= 124,593$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

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

$$= 1,557$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad E &= m \cdot g \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 112,455 (\cos 28 - \cos 150) \\
 &= 112,455 (0,88294 - (-0,86602))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 112,455 &= 1,7489 \\
 &= 196,680
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 8 \cdot 10 \\
 &= 80
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{196,680}{80} \\
 &= 2,458
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \quad E &= m \cdot g \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 112,455 (\cos 17 - \cos 150) \\
 &= 112,455 (0,95630 - (-0,86602))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 112,455 &= 1,82233 \\
 &= 204,930
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 8 \cdot 10 \\
 &= 80
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{204,930}{80}
 \end{aligned}$$

$$= 2,561$$

$$\begin{aligned} 6. E &= m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 112,455(\cos 15 - \cos 150) \\ &= 112,455(0,96592 - (-0,86602)) \end{aligned}$$

$$112,455 = 1,8319$$

$$= 206,012$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

$$= \frac{206,012}{80}$$

$$= 2,575$$

$$\begin{aligned} 7. E &= m \cdot g \cdot r(\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 15,3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,75 \text{ m} (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 112,455(\cos 15 - \cos 150) \\ &= 112,455(0,96592 - (-0,86602)) \end{aligned}$$

$$112,455 = 1,8319$$

$$= 206,012$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

$$= \frac{206,012}{80}$$

$$= 2,575$$

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

$$= 112,455(\cos 35 - \cos 150)$$

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

$$112,455 = 1,68517$$

$$= 189,506$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

$$= \frac{189,506}{80}$$

$$= 2,3688$$

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

$$= 112,455(\cos 20 - \cos 150)$$

$$= 112,455(0,93969 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 1,80571$$

$$= 203,062$$



$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

$$= \frac{203,062}{80}$$

$$= 2,538$$

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

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

$$= 112,455(\cos 20 - \cos 150)$$

$$= 112,455(0,93969 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 1,80571$$

$$= 203,062$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

$$= \frac{203,062}{80}$$

$$= 2,538$$

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

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

$$= 112,455(\cos 20 - \cos 150)$$

$$= 112,455(0,93969 - (-0,86602))$$

$$112,455 = 1,80571$$

$$= 203,062$$

$$A = 8 \cdot 10$$

$$= 80$$

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

$$= \frac{203,062}{80}$$

$$= 2,538$$



Lampiran 3. Foto Kegiatan





## Lampiran 4. Sertifikat Baja AISI



SeAH Besteel Corp.  
1-6, SORYONG-DONG KUNSAN,  
YEONGBUK, KOREA(573-7111)

### MILL CERTIFICATE

TEL : +82-(0)53-460-8572. 8318(QA)  
+82-(0)63-460-8114(Repres.)  
FAX : +82-(0)63-460-8423 Page(0/0)

Date : 2018-04-20  
Cert. No. : 201804-207465  
Customer :  
Heat No. : 273301

Steel Grade : AISI 1040/ST 40  
Shape of Product : ROUND BAR  
Delivery Condition : AS ROLLED

Size (mm) : 10 - 100  
Length (mm) : 6,000  
Weight (kg) :  
Quantity(pcs) : 1

Inspection Items	Chemical Composition (wt. %)				
	C	SI	MN	P	S
	x 100	x 100	x 100	x 1000	x 1000
Spec.	Min.	20	0.85	0.016	0.021
	Max.	24	1.067		
	Result	20	24	1.067	0.025
Inspection Items	Product Hardness (HB)				
	SURFACE				

#### Mechanical Properties AISI 1040/ST 40

Mechanical Properties	Symbol	Steel
Young's modulus (GPa)	$E$	190 - 210
Poisson's ratio	$\nu$	0,26
Density (Kg/m <sup>3</sup> )	$P$	7.860
Yield strength (MPa)	$S_y$	205 - 245
Tensile strength (MPa)	$S_t$	400 - 510
Elongation (%)		27 - 30
Hardness (Hb)	$H_b$	160

<<Remark>>

B/DS : 4

End of report

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

Certified by

*O. Y. Cho*

Manager of Quality Assurance Dept

