



ISSN  
2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## ANALISA PENGARUH VARIASI KUAT ARUS *Gouging* SAMBUNGAN PENGELASAN SMAW PADA BAJA SS400 TERHADAP KEKUATAN UJI TARIK, IMPAK, DAN STRUKTUR MIKRO

Daffa Sofyan Taruna<sup>1)</sup>, Untung Budiarto<sup>1)</sup>, Good Rindo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

\*e-mail : [daffaa301@gmail.com](mailto:daffaa301@gmail.com), [budiartountung@gmail.com](mailto:budiartountung@gmail.com), [good.rindo@ft.undip.ac.id](mailto:good.rindo@ft.undip.ac.id)

### Abstrak

*Carbon Arc Gouging merupakan sebuah metode dalam dunia pengelasan logam yang bertujuan memperbaiki kecacatan. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi kuat arus gouging welding pada baja SS400 terhadap kekuatan tarik, dampak, dan struktur mikronya. Variasi penelitian ditentukan berdasarkan jumlah gouging welding yang dilakukan yaitu kuat arus 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere. Eksperimen dimulai dengan penyambungan material menggunakan pengelasan SMAW elektroda AWS E7016 4.0 mm dan elektroda gouging 3,2 mm. Setelah melakukan eksperimen, material akan diuji tarik, uji dampak, serta diamati struktur mikro yang terkandung di dalamnya. Hasilnya, pada pengujian tarik semakin tinggi kuat arus gouging welding maka semakin tinggi rata-rata nilai tegangan dan regangannya, tetapi jika dilihat dari rata-rata nilai modulus elastisitas nya jika semakin tinggi kuat arusnya maka cenderung sebaliknya. Sama halnya seperti pengujian tarik, jika semakin tinggi kuat arusnya maka rata-rata nilai dampak semakin tinggi juga. Hal ini didukung dengan pengamatan struktur mikro terutama pada daerah base metal, HAZ dan weld metal dengan adanya fasa ferrite dan pearlite yang merata pada spesimen variasi arus terendah (100 ampere) ke yang tertinggi (150 ampere).*

**Kata Kunci :** Pengelasan SMAW, *Gouging*, Uji Tarik, Uji Dampak, Struktur Mikro.

### 1. PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan memiliki peranan sentral dalam struktur dan pemeliharaan logam. Proses pengelasan menggabungkan material logam melalui pemanasan hingga mencapai suhu yang memungkinkan terbentuknya sambungan yang kuat. Selain penting dalam konstruksi, pengelasan juga diperlukan dalam memperbaiki komponen yang aus, mengisi lubang pada hasil coran, dan lain sebagainya [1].

Kesalahan dalam proses pengelasan logam lumrah sering terjadi di lapangan. Namun, jika sebuah material mengalami kecacatan berulang kali, maka perlu usaha lebih untuk memperbaikinya. *Repair welding* dengan teknik *gouging* merupakan salah satu metode yang paling efisien digunakan untuk menghilangkan *metal* yang berlebihan karena selain cepat, metode ini

dapat menghasilkan alur dasar yang halus dan ideal untuk pengelasan [2].

*Carbon Arc Gouging* (CAG) merupakan salah satu bagian penting dalam fabrikasi pengelasan yang bertujuan untuk menghilangkan logam yang berlebihan atau cacat akibat pengelasan. Proses terjadinya *gouging repair* disebabkan karena adanya arus listrik yang mengalir antara elektroda *gouging* dengan logam. Hal ini akan membuat logam tadi mencair yang diiringi dengan hembusan udara berkecepatan tinggi untuk menyingkirkan logam yang mencair tersebut serta membentuk alur atau *groove* yang bersih sebelum nantinya akan dilakukan pengelasan kembali [3]. Proses *repair gouging* ini tentu akan mempengaruhi sifat mekanik suatu material termasuk kekerasan, kekuatan tarik, atau bahkan struktur mikronya [4]. Maka dari itu diperlukan perhatian khusus terutama pada persiapan yang harus dilakukan untuk

memperbaikinya seperti prosedur, ukuran kecacatan, tebal material, dan faktor lain yang berpengaruh agar hasil *repair* lebih maksimal [5].

Penelitian menunjukkan, bahwa nilai kekuatan tarik yang paling tinggi terdapat pada arus 100 A yaitu sebesar 44.08 kgf/mm<sup>2</sup> selanjutnya diikuti oleh arus 80 A yaitu sebesar 43.14 kgf/mm<sup>2</sup> [6]. Sejalan dengan penelitian tersebut, penulis ini juga menyebutkan bahwa pengujian kuat tarik tertinggi sebesar 45,98 kgf/mm<sup>2</sup> pada arus gouging 300A [7]. Sementara Hasil pengamatan lain pada struktur mikro menunjukkan bahwa semakin besar aliran *gouging* atau masukan panas maka terjadi pengkasaran butiran atau butiran yang terbentuk semakin besar pengaruhnya terhadap hasil ketangguhan dan kekerasan [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan kekuatan tarik, kekuatan impak, dan juga struktur mikro dari baja SS400 yang telah mengalami proses perlakuan *gouging welding* dengan kuat arus yang berbeda.

## 2. METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimen yang dimulai dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber seperti buku, internet, dan jurnal terkait. Terdapat 27 spesimen pada penelitian ini terdiri dari 12 spesimen tarik, 12 spesimen impak, dan 3 struktur mikro yang terbuat dari baja *structural steel* (SS) 400. Spesimen ini mempunyai variasi kuat arus *gouging* 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere.

### 2.1. Objek Penelitian

#### 2.1.1. Baja SS400

Baja *Structural Steel* (SS) 400 merupakan baja karbon rendah (*mild steel*) yang sesuai standar ASTM (*American Society for Testing Materials*) A36. Baja SS400 biasa digunakan dalam struktur pembuatan kapal. Kemudian sifat mekanik baja SS400 dapat dilihat pada Tabel 1 dan komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. *Mechanical Properties* SS400 [9]

| <i>Mechanical Properties</i>  | <i>Value</i> |
|-------------------------------|--------------|
| <i>Yield strength (MPa)</i>   | ≥245         |
| <i>Tensile Strength (MPa)</i> | 400-510      |
| <i>Elongation (%)</i>         | ≥17          |
| <i>Hardness (Hb)/(HV)</i>     | 160          |
| <i>Modulus Young (GPa)</i>    | 190-210      |

Tabel 2. *Chemical Composition* SS400 [9]

| <i>Element</i>        | <i>Value (%)</i> |
|-----------------------|------------------|
| <i>Carbon (C)</i>     | ≤0.30            |
| <i>Manganese (Mn)</i> | ≤1.60            |
| <i>Fosfor (P)</i>     | ≤0.040           |
| <i>Sulfur (S)</i>     | ≤0.040           |

#### 2.1.2. Elektroda Pengelasan

Elektroda pengelasan menggunakan jenis elektroda AWS E7016 diameter 4.0 mm. Pemilihan jenis elektroda ini dikarenakan sifatnya yang *low hydrogen* dimana diharapkan agar logam tidak terjadi cacat *porosity* karena elektroda ini tidak mudah menyerap gas hidrogen. Untuk komposisi kimia AWS E7016 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Chemical Composition* AWS E7016 [14]

| <i>Element</i>        | <i>Value (%)</i> |
|-----------------------|------------------|
| <i>Carbon (C)</i>     | 0,08             |
| <i>Manganese (Mn)</i> | 0,94             |
| <i>Silicon (Si)</i>   | 0,60             |

#### 2.1.3. Elektroda Gouging

Elektroda *gouging arc welding* menggunakan elektroda las jenis NS-8945 Nikko Steel berdiameter 3,2 mm. Elektroda *gouging* berfungsi untuk meleburkan logam yang nantinya akan terbentuk alur yang bersih sebelum dilas kembali. Kemudian komposisi kimia elektroda *gouging* NS-8945 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Chemical Composition of Gouging Electrode* NS-8945 [15]

| <i>Element</i>                   | <i>Amount (%)</i> |
|----------------------------------|-------------------|
| <i>Fixed Carbon/Graphite (C)</i> | >95               |
| <i>Copper (Cu)</i>               | <5                |

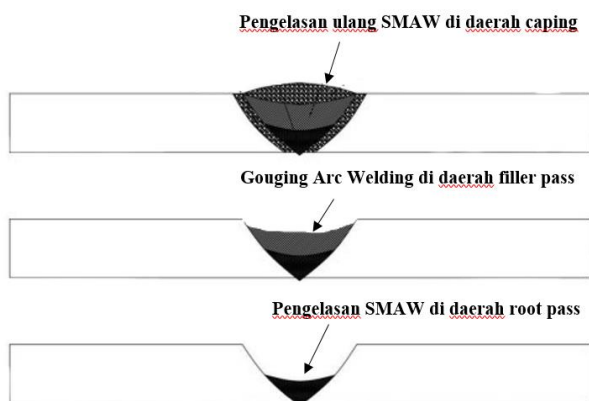
## 2.2. Pengelasan

Metode pengelasan pada penelitian ini adalah SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dengan posisi 1G. Penelitian ini menggunakan *single V-butt joint* dengan sudut 45° serta kuat arus sebesar 120 ampere untuk masing-masing spesimen. Pengelasan bertujuan untuk menyambung dua atau lebih logam. Pada umumnya pada saat proses pengelasan akan selalu muncul 3 daerah yang mengalami proses penting. Biasanya penyusutan volume ini yang menyebabkan sebuah distorsi atau

bahkan keretakan. Pada daerah *fusion line* terjadi proses pecampuran antara *weld metal* dan *base metal*. Terakhir pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) atau daerah kritis sambungan las terjadi pengkombinasian antara terbentuknya butir-butir akibat suhu panas yang tinggi dengan transformasi fasa yang terjadi [10].

### 2.3. Arc Gouging Welding

*Carbon Arc Gouging* merupakan salah satu metode perbaikan untuk logam yang sering digunakan dalam pengelasan di lapangan karena prosesnya yang dapat melebur dan menyingkirkan logam dengan cepat. Cara kerjanya yaitu dengan membentuk sebuah kawah atau alur pada daerah yang mengalami cacat pengelasan. Proses ini hampir sama dengan yang terjadi pada saat pengelasan. Perbedaannya proses *gouging* membutuhkan hembusan udara yang cukup tinggi untuk menyingkirkan logam yang mencair dan menghasilkan alur yang bersih guna dilakukan pengelasan kembali [11]. Kemudian skema proses *gouging arc welding* dapat dilihat pada Tabel 4.



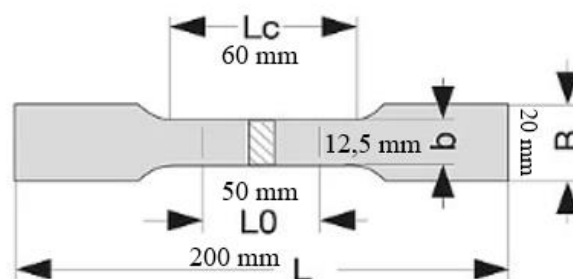
Gambar 1. Skema Proses *Gouging Arc Welding*

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan skema proses *gouging arc welding*, pada tahap awal dilakukan pengelasan SMAW bagian root pass, selanjutnya proses *gouging arc welding* bagian *filler pass*, tahapan terakhir melakukan pengelasan ulang SMAW bagian *capping*.

### 2.4. Spesimen Pengujian Tarik

Material yang telah mendapat perlakuan pengelasan dan *gouging arc welding* selanjutnya akan dibuat spesimen tarik. Prinsip pengujian ini adalah spesimen dijepit pada mesin uji tarik dengan diberi beban tarik *uniaxial* yang besarnya terus meningkat secara berlanjut hingga spesimen patah. Pengujian tarik bertujuan mengetahui nilai tertinggi dari kekuatan tarik material sebelum patah (*Ultimate Tensile Strength*). Pengujian tarik pada penelitian ini menggunakan standar ASTM E8

[12]. Kemudian dimensi spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 5.



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik [12]

Tabel 5. Dimensi Spesimen Uji Tarik [12]

| Keterangan                                | Panjang |
|---|---------|
| B (Width)                                 | 12.5 mm |
| L <sub>0</sub> (Gauge Length)             | 50 mm   |
| L <sub>c</sub> (Length of reduce section) | 60 mm   |
| L (Overall length)                        | 200 mm  |
| B (Width of grip section)                 | 20 mm   |
| t (Thickness)                             | 10 mm   |

Pada Gambar 2 ditunjukkan ilustrasi dari ukuran dimensi spesimen uji tarik berpacu pada ASTM E8. Kemudian bentuk spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.



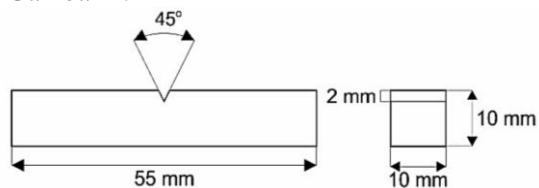
Gambar 3. Bentuk Spesimen Uji Tarik

Berdasarkan Gambar 3 disajikan hasil bentuk spesimen uji tarik melewati proses pengelasan SMAW dan *gouging arc welding* dengan variasi kuat arus 100 ampere, 125 ampere dan 150 ampere.

### 2.5. Spesimen Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui nilai ketangguhan suatu material (*ductility*). Uji impak dilakukan dengan memberikan pembebanan mendadak yang terbatas di area tertentu pada material. Energi impak pada material dinyatakan dalam satuan joule. Ada beberapa jenis pengujian impak yang diklasifikasikan dengan metode pembebanan dan jenis spesimen dari bentuk notchnya. Pengujian impak yang sering digunakan adalah jenis pengujian impak *Charpy V-notch* dan *Izod*. Standar spesimen penelitian ini menggunakan jenis *Charpy* dengan dimensi ukuran spesimen

berdasarkan standar ASTM E23 yang dapat dilihat pada Gambar 4.

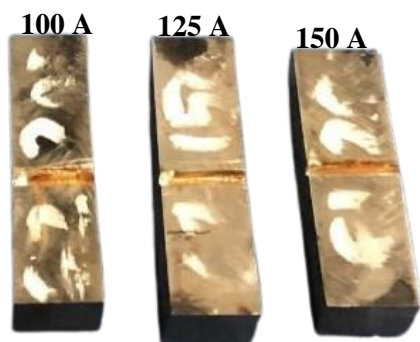


Gambar 4. Dimensi Spesimen Uji Impak [13]

Tabel 6. Dimensi Spesimen Uji Impak [13]

| Dimensi            | Nilai |
|--------------------|-------|
| L(Overall Length)  | 55 mm |
| W(Width)           | 10 mm |
| T(Thickness)       | 10 mm |
| N(Notch Thickness) | 2 mm  |
| Notched Charpy     | 45°   |

Pada Gambar 4 ditunjukkan ilustrasi dari ukuran dimensi spesimen uji impak berpacu pada ASTM E23 [13]. Kemudian bentuk spesimen uji impak dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk Spesimen Uji Impak

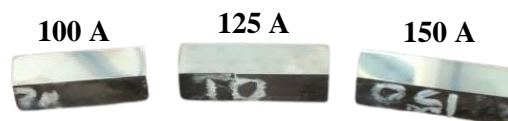
Berdasarkan Gambar 5 disajikan hasil bentuk spesimen uji impak melewati proses pengelasan SMAW dan *gouging arc welding* dengan variasi kuat arus 100 ampere, 125 ampere dan 150 ampere.

## 2.6. Spesimen Struktur Mikro

Uji struktur mikro bertujuan untuk mendapatkan foto fasa dari material menggunakan mikroskop, dimana koefisien pembesarnya sangat bervariasi. Pengujian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan mikroskop yang dilengkapi kamera. Material yang telah dilas diambil tiga daerah foto yaitu logam induk, *Heat Affected Zone* (HAZ), dan logam las.

Pada umumnya struktur yang terbentuk dari logam rendah karbon adalah struktur *pearlite* (daerah gelap) campuran antara besi karbon dan besi murni dan *ferrite* (daerah terang) yang merupakan logam besi murni dimana campuran komposisi struktur tersebut menciptakan material dengan sifat yang kuat dan ulet [16].

Spesimen struktur mikro hanya berbentuk balok yang dimensi hampir sama dengan spesimen impak, hanya saja untuk bagian yang akan diuji di *machining* halus dan dipolish. Kemudian bentuk spesimennya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk Spesimen Struktur Mikro

Gambar 6 merupakan spesimen struktur mikro setelah dilakukan pengelasan dan *gouging arc welding* dengan variasi kuat arus 100 ampere, 125 ampere dan 150 ampere.

## 2.7. Lokasi Penelitian

Ada beberapa tempat yang peneliti kunjungi untuk melaksanakan penelitian ini. Untuk proses pengelasan dan *gouging*, dilaksanakan di PT Yasa Wahana Tirta Samudera, Semarang. Sementara proses pengujian mekanik dibagi di dua tempat. Pertama untuk pengujian tarik dan impak dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Kapal, Universitas Diponegoro Semarang. Sedangkan pengujian struktur mikro dilaksanakan di Laboratorium Las dan Material Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang telah diperoleh, maka selanjutnya dilakukan pengujian dan pengolahan sehingga didapatkan hasil. Berikut merupakan hasil dari penelitian ini. Berdasarkan proses sebelumnya terdapat hasil masukan panas (*Heat Input*) yang berbeda pada masing-masing variasi kuat arus *gouging welding*.

$$HI = \frac{60 \times V \times A}{c} \quad (1)$$

Dimana, HI adalah *Heat Input* (Joule/cm), V adalah *Arc Voltage* (Volts), A adalah *Welding Current* (Ampere), dan c adalah *Welding Speed* (cm/min). Dengan keterangan V = 20 Volts, c = 5 cm/min dan nilai A didapat dari variasi kuat arus *gouging welding* yaitu 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere. Sehingga nilai HI (100A) = 24.000 Joule/cm, HI (125A) = 30.000 Joule/cm, HI (150A) = 36.000 Joule/cm.

Kualitas dari sambungan las menentukan baik tidaknya kekuatan pada sambungan las.

Pengelasan yang baik menghasilkan kualitas dan masukan panas (*heat input*) yang baik [17].

### 3.1. Pengujian Tarik

Spesimen pengujian yang telah mendapatkan perlakuan pengelasan dan *repair* baja SS400 yang telah diuji tarik berjumlah 12 spesimen dengan variasi kuat arus masing-masing berjumlah 4 perspesimen, kemudian memiliki bentuk patahan dan mendapatkan hasil nilai rata-rata kuat tarik ditunjukkan sebagai berikut:

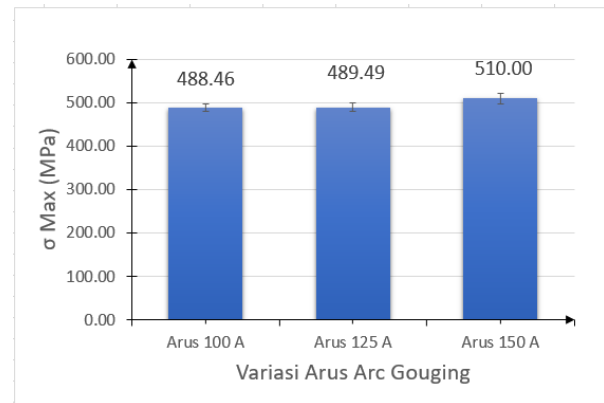
#### 3.1.1. Tegangan Tarik

Pengujian tarik yang telah dilakukan pada spesimen 100 A, 125 A, dan 150 A didapatkan hasil rata-rata nilai tegangan tarik baja SS400 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Tegangan Tarik Baja SS400

| Spesimen | Area (mm) | P Max (KN) | $\sigma$ Max (MPa) | Standard Deviasi | $\sigma$ Rata-rata (MPa) |
|----------|-----------|------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| 100-1    | 130       | 65.7       | 505.4              |                  |                          |
| 100-2    | 130       | 62.6       | 481.5              |                  |                          |
| 100-3    | 130       | 63.6       | 489.2              | 8.67             | 488.46                   |
| 100-4    | 130       | 64.3       | 494.6              |                  |                          |
| 125-1    | 130       | 68.1       | 509.2              |                  |                          |
| 125-2    | 130       | 63.5       | 488.5              |                  |                          |
| 125-3    | 130       | 65.6       | 496.2              | 9.61             | 489.49                   |
| 125-4    | 130       | 62.9       | 483.8              |                  |                          |
| 150-1    | 130       | 66.2       | 509.2              |                  |                          |
| 150-2    | 130       | 67.6       | 520                |                  |                          |
| 150-3    | 130       | 65.1       | 500.8              | 12.65            | 510.00                   |
| 150-4    | 130       | 63.1       | 485.4              |                  |                          |

Berdasarkan Tabel 7 didapatkan hasil nilai  $\sigma$  Max tertinggi pada kuat arus gouging 150 A yaitu sebesar 520 MPa sementara nilai  $\sigma$  Max terendah ada pada kuat arus 100 A yaitu sebesar 481.5 MPa. Kemudian grafik rata-rata tegangan tarik yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Rata-Rata Tegangan Tarik Maksimum

Berdasarkan hasil dari gambar 8, nilai rata-rata tegangan tarik yang mengalami tren peningkatan disebabkan karena perlakuan terlihat ketika kuat arus semakin tinggi maka menyebabkan nilai tegangan tariknya meningkat. Hal ini ditunjukkan oleh kuat arus *gouging* 150 A yang rata-rata memiliki nilai  $\sigma$  Max 510 MPa sedangkan pada kuat arus 100 A memiliki nilai rata-rata  $\sigma$  Max 488,46 MPa sehingga masih memenuhi ASTM E8 400-550 MPa [12].

#### 3.1.2. Regangan Tarik

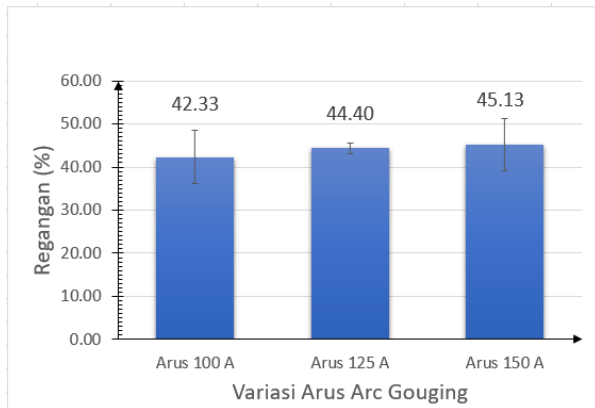
Berdasarkan hasil pengujian tarik maka didapatkan nilai rata-rata regangan tarik baja SS400 dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Regangan Tarik Baja SS400

| Spesimen | $\Delta L$ (mm) | $L_0$ (mm) | $\epsilon$ Max (%) | Standard Deviasi | $\epsilon$ Rata-Rata (%) |
|----------|-----------------|------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| 100-1    | 20.8            | 50         | 41.6               |                  |                          |
| 100-2    | 22.4            | 50         | 44.8               |                  |                          |
| 100-3    | 20.3            | 50         | 40.6               | 6.14             | 42.33                    |
| 100-4    | 14.3            | 50         | 28.6               |                  |                          |
| 125-1    | 22              | 50         | 44                 |                  |                          |
| 125-2    | 22.2            | 50         | 44.4               |                  |                          |
| 125-3    | 22.4            | 50         | 44.8               | 1.24             | 44.40                    |
| 125-4    | 20.8            | 50         | 41.6               |                  |                          |
| 150-1    | 24.1            | 50         | 48.2               |                  |                          |
| 150-2    | 23.4            | 50         | 46.8               |                  |                          |
| 150-3    | 20.2            | 50         | 40.4               | 6.09             | 45.13                    |
| 150-4    | 16.4            | 50         | 32.8               |                  |                          |



Berdasarkan Tabel 8 didapatkan hasil nilai  $\epsilon$  Max tertinggi pada kuat arus gouging 150 A yaitu sebesar 48.2 % sementara nilai  $\epsilon$  Max terendah ada pada kuat arus 100 A yaitu sebesar 28.6 %. Tetapi pada spesimen 100-4, 125-4, dan 150-4 tidak memenuhi standard deviasi dari masing-masing kuat arusnya. Kemudian grafik rata-rata regangan tarik dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Rata-Rata Regangan Tarik Maksimum

Berdasarkan hasil dari gambar 8, nilai rata-rata regangan tarik juga mengalami tren peningkatan disebabkan karena perlakuan yang terlihat pada grafik ketika kuat arus semakin tinggi sehingga menyebabkan rata-rata nilai regangan tariknya meningkat. Hal ini dapat diartikan proses *heat input* menyebabkan kemampuan sebuah material untuk meregang semakin membesar. Nilai rata-rata regangan tarik tertinggi didapatkan pada spesimen 150 A yaitu sebesar 45.13% sementara yang terkecil pada spesimen 100 A yaitu 42.33%.

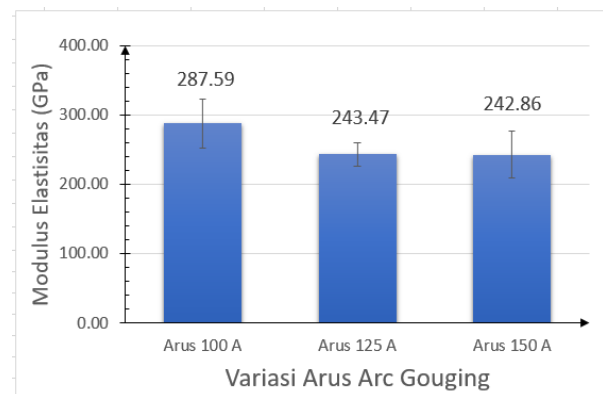
### 3.1.3. Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan rata-rata nilai modulus elastisitas pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Modulus Elastisitas Baja SS400

| Spesimen | $\sigma$ (MPa) | $\epsilon$ (%) | E (GPa) | Standard Deviasi | Rata-rata E (GPa) |
|----------|----------------|----------------|---------|------------------|-------------------|
| 100-1    | 370            | 17.2           | 215     | 35.23            | 287.59            |
| 100-2    | 374            | 14.2           | 263     |                  |                   |
| 100-3    | 390            | 13.4           | 291     |                  |                   |
| 100-4    | 407            | 13.2           | 308     |                  |                   |
| 125-1    | 378            | 16.4           | 230     | 17.09            | 243.47            |
| 125-2    | 423            | 15.2           | 249     |                  |                   |
| 125-3    | 392            | 15.6           | 251     |                  |                   |
| 125-4    | 368            | 14.8           | 278     |                  |                   |
| 150-1    | 372            | 16.4           | 227     | 33.61            | 242.86            |
| 150-2    | 387            | 16.2           | 239     |                  |                   |
| 150-3    | 368            | 14             | 263     |                  |                   |
| 150-4    | 478            | 15.2           | 314     |                  |                   |

Berdasarkan Tabel 9 didapatkan hasil nilai E tertinggi pada kuat arus gouging 150 A yaitu sebesar 314 GPa, sementara nilai E terendah ada pada kuat arus 100 A yaitu sebesar 215 GPa. Tetapi pada spesimen 100-1, 125-4, dan 150-4 tidak memenuhi standard deviasi dari masing-masing kuat arusnya. Kemudian grafik rata-rata modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil dari gambar 9, nilai rata-rata modulus elastisitas atau kekakuan mengalami tren penurunan seiring dilakukannya penambahan kekuatan arus *gouging*. Hal ini dapat diartikan bahwa perlakuan yang terlihat pada grafik ketika kuat arus semakin tinggi maka menyebabkan rata-rata nilai modulus elastisitas menurun sehingga sebuah material semakin kaku. Nilai rata-rata modulus elastisitas paling tinggi didapat pada kuat arus *gouging* 100 A yaitu sebesar 287.59 GPa, sedangkan nilai rata-rata modulus elastisitas terkecil didapat pada kuat arus *gouging* 150 A sebesar 242.86 GPa. Kemudian bentuk patahan spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Bentuk Patahan Spesimen Tarik

Pada gambar 10 spesimen kuat arus *gouging* 100A terjadi patah di daerah *weld metal*, sedangkan spesimen kuat arus 125A dan 150A mengalami patah didaerah HAZ. Sehingga pada spesimen 100A memiliki nilai modulus elastisitas yang tinggi, kemudian pada spesimen kuat arus 125A dan 150A memiliki nilai tegangan dan regangan yang tinggi. Hasil penelitian ini menggambarkan bahwa semakin tinggi arus yang digunakan dalam penelitian, semakin tinggi nilai kekuatan tarik yang diperoleh, karena lebih banyak arus yang diterima oleh bahan mentah dan logam pengisi.

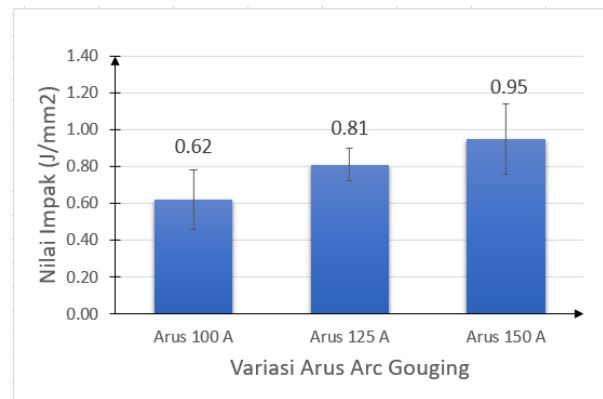
### 3.2. Pengujian Impak

Spesimen pengujian impak memiliki bentuk patahan dan mendapatkan nilai rata-rata kekuatan impak ditunjukkan pada Tabel 10 dan Gambar 12.

Tabel 10. Hasil Nilai Uji Impak Baja SS400

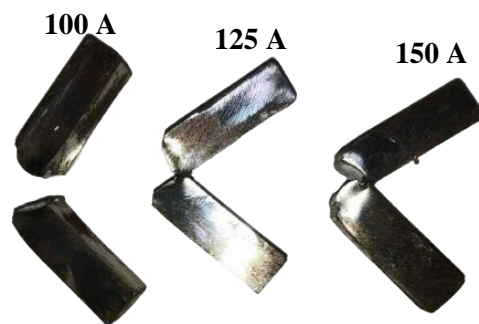
| Spesimen | Energi Impak (J) | Luas (mm <sup>2</sup> ) | Nilai Impak (J/mm <sup>2</sup> ) | Standard Deviasi | Rata-Rata (J/mm <sup>2</sup> ) |
|----------|------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------------|
| 100-1    | 61               | 106.2                   | 0.6                              | 0.16             | 0.62                           |
| 100-2    | 70               | 103.3                   | 0.7                              |                  |                                |
| 100-3    | 62               | 102.7                   | 0.6                              |                  |                                |
| 100-4    | 104              | 105.8                   | 1.0                              |                  |                                |
| 125-1    | 76               | 103.2                   | 0.7                              | 0.09             | 0.81                           |
| 125-2    | 75               | 104.8                   | 0.7                              |                  |                                |
| 125-3    | 92               | 102.9                   | 0.9                              |                  |                                |
| 125-4    | 96               | 105.7                   | 0.9                              |                  |                                |
| 150-1    | 90               | 103.8                   | 0.9                              | 0.19             | 0.95                           |
| 150-2    | 122              | 105.2                   | 1.2                              |                  |                                |
| 150-3    | 112              | 102.6                   | 1.1                              |                  |                                |
| 150-4    | 70               | 102.7                   | 0.7                              |                  |                                |

Berdasarkan Tabel 10 didapatkan hasil nilai impak tertinggi pada kuat arus *gouging* 150 A yaitu sebesar 1.2 J/mm<sup>2</sup>, sementara nilai impak terendah ada pada kuat arus 100 A yaitu sebesar 0.6 J/mm<sup>2</sup>. Kemudian grafik rata-rata nilai impak dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Rata-Rata Nilai Impak

Berdasarkan Gambar 11, nilai rata-rata uji impak mengalami peningkatan pada grafik seiring dilakukannya penambahan kuat arus pada proses pengelasan *gouging*. Dimana nilai rata-rata impak paling tinggi didapat pada spesimen kuat arus 150 yaitu sebesar 0.95 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai rata-rata impak paling rendah didapat pada spesimen 100 A yaitu sebesar 0.62 J/mm<sup>2</sup>. Tetapi pada spesimen 100-4 tidak memenuhi standard deviasi. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin tinggi kuat arus pengelasan *gouging* menyebabkan kemampuan material terhadap beban kejut meningkat. Kemudian bentuk patahan spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Patahan Spesimen Impak

Pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa spesimen kuat arus *gouging* 100 A terjadi putus menjadi dua, sedangkan spesimen kuat arus 125 A dan 150 A hanya mengalami patah dan tidak putus. Sehingga pada spesimen 100 A memiliki nilai impak rendah, sedangkan pada spesimen kuat arus 125 A dan 150A memiliki nilai impak yang tinggi.

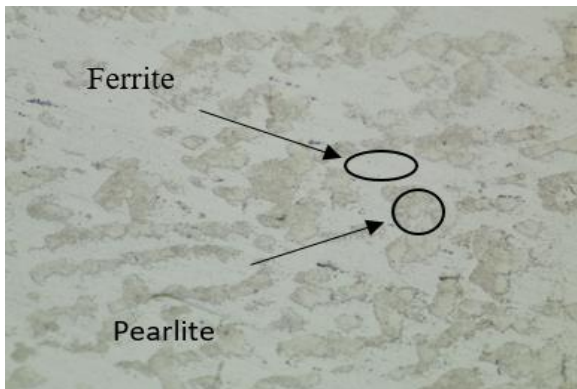
### 3.3. Pengamatan Struktur Mikro

Baja SS400 umumnya memiliki unsur dasar *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* merupakan unsur yang memiliki sifat lebih lunak namun cukup ulet. Sedangkan *pearlite* memiliki sifat yang cukup keras namun getas. Namun kandungan tadi bisa bertransformasi menjadi fasa yang lain ketika baja terkena suhu panas yang sangat tinggi dan

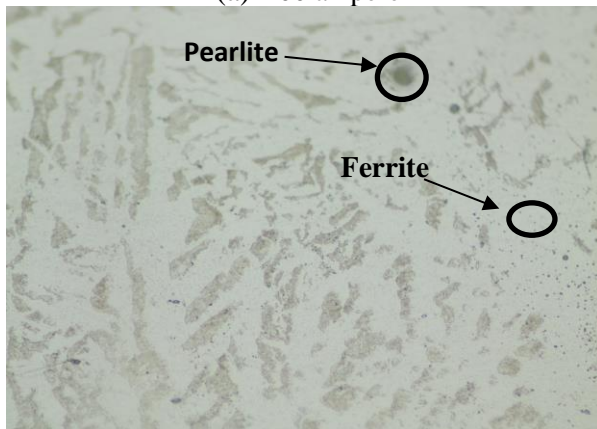
pendinginan. Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini dilakukan untuk mendukung hasil pengujian mekanik. Pada pengujian struktur mikro kali ini dilakukan untuk melihat struktur mikro setelah baja mengalami perlakuan *gouging* dan pengelasan. Beberapa daerah yang diamati dalam penelitian ini antara lain *basemetal*, HAZ, *weld metal*. Adapun hasil yang dibandingkan dengan perbesaran 500X pada masing-masing spesimen dengan variasi kuat arus 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere yang ditunjukkan sebagai berikut:

### 3.3.1. Area Base Metal Spesimen

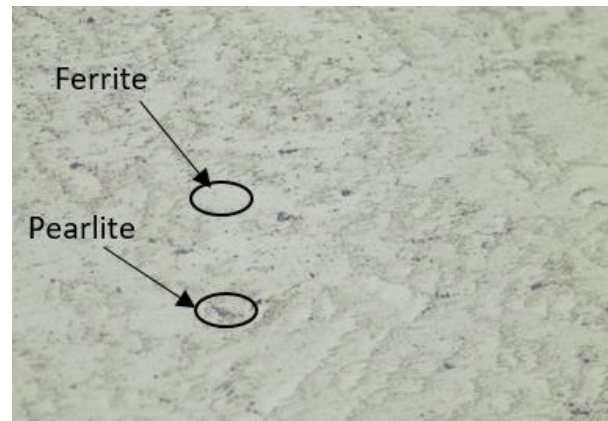
Pada bagian base metal, foto hasil mikro yang digunakan adalah dengan perbesaran 500X untuk masing-masing spesimen dengan variasi kuat arus 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere.



(a) 100 ampere



(b) 125 ampere



(c) 150 ampere

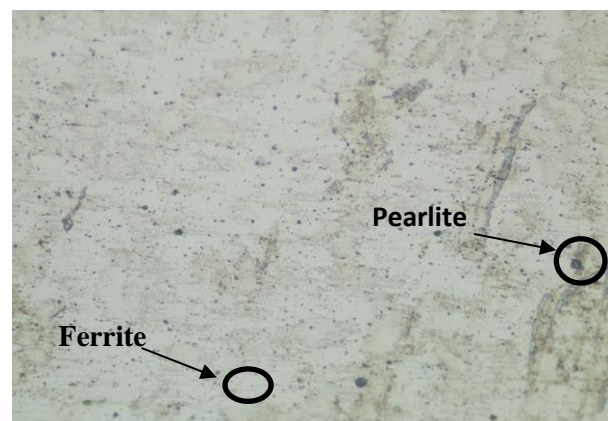
Gambar 13. Foto Mikro *Base Metal* Spesimen

Pada gambar di atas terlihat pada daerah *base metal* struktur mikro fasa *ferrite* dan *pearlite* cenderung tidak banyak berubah. Hal ini karena pada baja karbon rendah seperti SS400 struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh ferrit dan perlit.

Daerah *base metal* tidak menerima perlakuan panas secara langsung yang dapat merubah struktur mikronya. Pada spesimen 100 ampere fasa *pearlite* lebih mendominasi, sedangkan pada spesimen 125 dan 150 ampere lebih didominasi oleh fasa *ferrite*. Hal ini kemungkinan dikarenakan HAZ meluas akibat dari terlalu banyak dilakukan pengelasan.

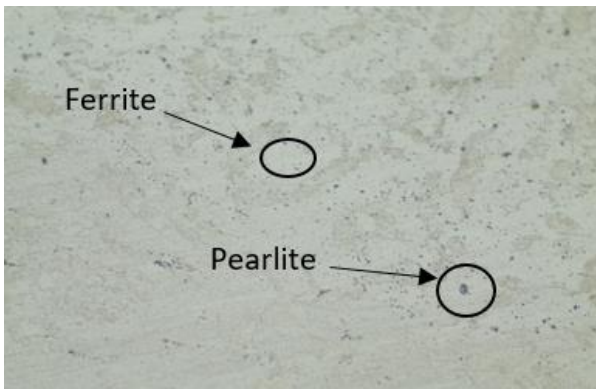
### 3.3.2. Area HAZ Spesimen

*Heat Affected Zone (HAZ)* merupakan daerah kritis sambungan pengelasan. Gambar yang akan dibandingkan adalah dengan perbesaran 500X pada tiap spesimen 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere.

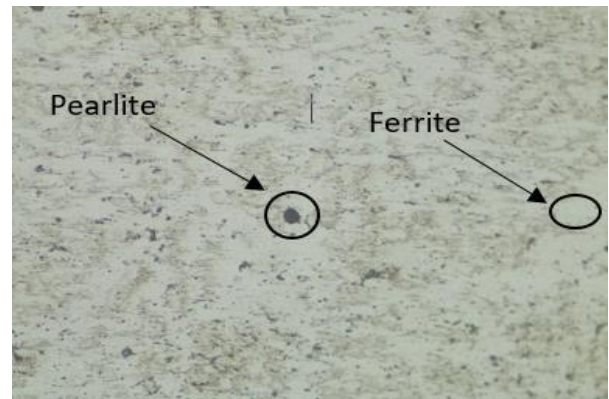


(a) 100 ampere

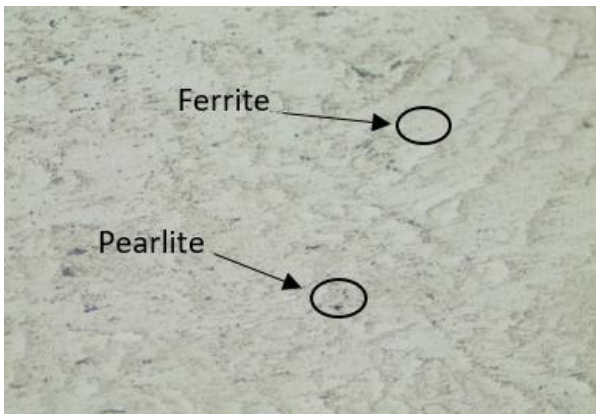




(b) 125 ampere

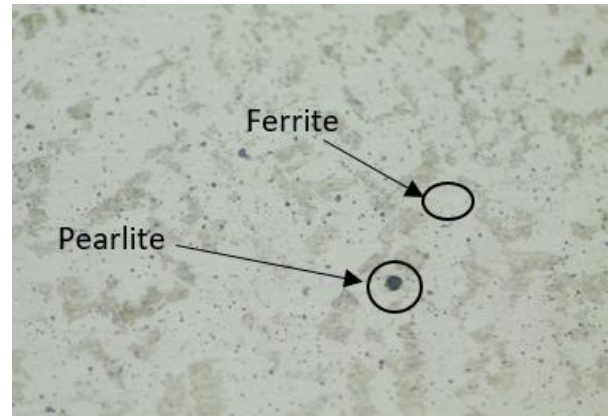


(b) 125 ampere



(c) 150 ampere

Gambar 14. Foto Mikro HAZ Spesimen



(c) 150 ampere

Gambar 15. Foto Mikro Weld Metal Spesimen

Hasil pengamatan pada struktur mikro spesimen pada 100 ampere didominasi oleh fasa *pearlite* sedangkan 125 dan 150 ampere didominasi oleh fasa *ferrite*, hal ini menunjukkan bahwa pada spesimen area HAZ dengan kuat arus 100 ampere bersifat keras dan getas, sedangkan pada spesimen area HAZ kuat arus 125 dan 150 ampere bersifat lunak sehingga hal ini menunjukkan bahwa nilai kekuatan dan *ductility* tinggi.

### 3.3.3. Area Weld Metal Spesimen

Foto mikro pada daerah *weld metal* juga diambil dari perbesaran 500X pada tiap spesimen 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere.



(a) 100 ampere

Pada gambar di atas terlihat pada daerah *weld metal* struktur mikro, spesimen pada kuat arus 100 ampere, 125 ampere, dan 150 ampere fasa *ferrite* dan *pearlite* cenderung merata. Pada area *weld metal* spesimen ini memiliki fasa *pearlite* yang bertambah banyak dibandingkan pada spesimen di area base metal dan HAZ, dapat dilihat juga jika kuat arus 100 ampere lebih mendominasi fase *pearlite* dibandingkan dengan arus lain. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak fase *pearlite* maka spesimen bersifat keras dan getas begitupun sebaliknya, jika fase *ferrite* nya lebih mendominasi maka sifat spesimen tersebut yaitu ulet dan lunak.

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi kuat arus *gouging welding* 100A merupakan material yang mempunyai nilai modulus elastisitas tertinggi dan memiliki *pearlite* terbanyak dari pengamatan struktur mikro, kemudian pada kuat arus 150A merupakan material yang memiliki nilai tegangan, regangan dan dampak tertinggi didukung dengan banyaknya *ferrite* dari pengamatan struktur mikro.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian jurnal penelitian ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pengurus Lab. Struktur dan Konstruksi Kapal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro dan Lab. Las dan Material Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah membantu dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Wiryosumarto and T. Okumura, "Teknologi Pengelasan Logam," vol. 8. 2000, Surabaya
- [2] Barwil Unitor Ships Service, "*Maritime Welding Handbook; Welding and Related Processes for Repair and Maintenance Onboard.*" 10<sup>th</sup> Edition, Lysaker, Norway.
- [3] AWS D1.1/D1.1M:2004, "*Structural Welding Code-Steel,*" 1980.
- [4] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, "*Manufacturing Engineering and Technology,*" 2010.
- [5] AWS C5.3 "*Recommended Practices for Air Carbon Arc Gouging and Cutting,*" 2000.
- [6] B. Ahmed, F. Tariq, N. Naz, and R. A. Baloch, "*How weld repairs impact maraging steel,*" NED University of Engineering and Technology, Karachi, Pakistan, 2012.
- [7] M. Łomozik and E. Turyk, "*Mechanical Properties of Welded Joints in Steel S1100QL after Repair Welding,*" *Biul. Inst. Spaw.*, vol. 2018, no. 3, pp. 7–15, 2018, doi: 10.17729/ebis.2018.3/1.
- [8] Budiarto, K. Turnip, and Hantariksa, "*The effect of current gouging arc welding analysis of A283 Gr C steel to the tensile strength, hardness and microstructure,*" *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 420, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/420/1/012055.
- [9] Japanese Standards Association, "*JIS G 3101 : Rolled steels for general structure,*" 2015.
- [10] Sindo Kou, "*Welding Metallurgy,*" John Wiley & Sons, Inc. 2002, doi: 10.1002/0471434027.
- [11] E. Walsh, "*Repair and Maintenance Welding Handbook,*" Goteborg, Sweden: Esab AB, 2018.
- [12] ASTM E8. 2010. *Standart test methods for tension testing of metallic materials. Thu jul 15.* Edisi 2010.
- [13] A. E23-12c, *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.*
- [14] AWS A5.1 91 2003. "*Specification for Carbon Steel Electrodes for Shield Metal Arc Welding*"
- [15] Weldclass, "*Data Sheet: Gouging Carbon Electrodes,*" JWL Marketing Pty Ltd, East West Place, Tamworth NSW 2340 Australia.
- [16] P. Yohanes and N. Muhayat, "*Effect of Water Depth on the Microstructure and Mechanical of SS400 Steel in Underwater Welding,*" *Key Engineering Materials*, vol. 772, pp. 128-132, 2018.
- [17] A. Kromm, R. Schasse, P. Xu, and T. Mente, "*Influence of Weld Repair by Gouging on the Residual Stresses in High Strength Steels,*" *Residual Stress.* 2016, vol. 2, pp. 169–174, 2017, doi: 10.21741/9781945291173-29.