

# PENGARUH VARIASI ELEKTRODA LAS PADA SAMBUNGAN PENGELASAN SMAW BAJA St. 37 DENGAN St. 40 TERHADAP SIFAT MEKANIK

Firman Bawazir<sup>1</sup>, Bukhari<sup>2</sup>, Adi Saputra Ismy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Prodi D-IV Teknologi Rekayasa Manufaktur

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: firmanbawazir@gmail.com

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) terhadap sifat mekanis pada sambungan pengelasan Baja ST 37 dengan ST 40. Spesifikasi spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja ST 37 dengan ST 40 dengan ukuran panjang 210 mm, lebar 30 mm dan tebal 10 mm untuk variasi elektroda yang digunakan adalah elektroda E6013, E7016, E7018 diameter 2,6 mm, jumlah sampel dalam pengujian hardness rockwell ini masing-masing variasi elektroda pengelasan berjumlah 1 buah sampel untuk sampel dalam pengujian impact charpy ini masing-masing variasi elektroda pengelasan berjumlah 5 buah sampel. Untuk nilai hasil kekerasan elektroda AWS E6013 memiliki nilai HAZ Baja ST 40 yaitu 58,30 HRC, akan tetapi memiliki nilai daerah las paling rendah dengan nilai 53,60 HRC. Sedangkan nilai rata-rata tertinggi uji kekerasan ialah pengelasan menggunakan elektroda AWS E7016 dengan nilai kekerasan mencapai 77,40 HRC. Dan nilai uji impact paling tinggi dihasilkan oleh pengelasan dengan elektroda AWS E7018 yaitu 252 untuk satuan energi (Joule) dan 3,15 untuk HI. Hasil pengujian menunjukkan adanya korelasi antara harga kekerasan dengan kemampuan menahan beban impact, dimana semakin rendah nilai kekerasan maka semakin tinggi kemampuan menahan beban impact dari material tersebut.

**Kata kunci:** Pengelasan SMAW, St. 37, St. 40, Sifat Mekanik

## 1 Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam khususnya mesin dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Baja mempunyai sifat mampu las yang baik. Penyambungan logam adalah suatu proses yang dilakukan untuk menyambung 2 (dua) bagian logam atau lebih baik logam yang sejenis maupun tidak sejenis.

Pengelasan logam berbeda (*dissimilar metal welding*) merupakan perkembangan dari teknologi las modern akibat dari kebutuhan akan penyambungan material-material yang memiliki jenis logam yang berbeda. Pengelasan terhadap dua material yang berbeda atau dikenal *dissimilar* banyak digunakan di industri kimia dan konstruksi-konstruksi mesin dan elektronik.[1]

Paduan baja karbon rendah banyak digunakan untuk konstruksi umum karena mempunyai sifat mampu las dan kepekaan retak las. Kualitas daerah las hasil pengelasan lebih baik dari logam induk. Baja ST 37 dengan ST 40 dijelaskan secara umum merupakan baja karbon rendah, disebut juga baja lunak, banyak sekali digunakan untuk pembuatan baja batangan,

tangki, perkapalan, menara, pesawat angkat dan dalam pemesinan. [2]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan las dan jenis material las yang digunakan, dengan 3 jenis variasi elektroda berdasarkan pengujian sifat mekanik.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda yang digunakan terhadap hasil sambungan daerah pengelasan dengan logam berbeda antara Baja ST 37 dengan Baja ST 40.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja ST 37 dengan Baja ST 40 terhadap kekerasan.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan SMAW berbeda logam Baja ST 37 dengan Baja ST 40 terhadap ketangguhan *impact*.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar penyusun ini lebih mengarah ke tujuan penelitian dengan membatasi pokok permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan secara eksperimental.

2. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan menggunakan polaritas DCEP.
3. Variasi elektroda yang digunakan untuk pengelasan adalah elektroda E6013, E7016, E7018 dengan diameter 2,6 mm.
4. Proses penyambungan logam menggunakan tipe Butt Joint.
5. Sifat mekanik yang di uji pada material menggunakan pengujian kekerasan dan ketangguhan.

## 2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium produksi dan pemesinan, laboratorium pengelasan dan fabrikasi logam dan laboratorium uji material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.

### 2.1 Persiapan Penelitian

#### a. Persiapan bahan penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja ST 37 dan ST 40 dengan ukuran panjang 210 mm, lebar 30 mm, tebal 10 mm. Variasi elektroda yang digunakan adalah elektroda E6013, E7016 dan E7018 dengan diameter 2,6 mm.

#### b. Persiapan alat penelitian

Adapun persiapan peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mesin frais
- Mesin las SMAW
- Gerinda Tangan
- Alat ukur (jangka sorong)
- Perlengkapan keselamatan kerja las
- Kikir
- Mistar baja
- Palu
- *Bevel protractor*
- Sikat kawat
- Mesin uji hardness
- Mesin uji impact

### 2.2 Proses Pengelasan Benda Uji

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengelasan adalah sebagai berikut :

- Mempersiapkan mesin las SMAW sesuai dengan polaritas DCEP.
- Mempersiapkan elektroda E6013, E7016, E7018 dengan diameter elektroda 2,6 mm.
- Mempersiapkan 2 plat Baja ST 37 dengan ST 40 dengan ukuran 210 x 30 x 10 mm yang kedua sisi panjangnya telah dibevel 30°.

- Posisi pengelasan 1 G dengan posisi pengelasan di bawah tangan.
- Hidupkan mesin las, kemudian elektroda dijepitkan pada holder elektroda dan massa pada mesin las dijepitkan pada meja las.
- Arus yang digunakan untuk root face = 60°-90°, root gap = 70°-100°.
- Pengaturan root gap antara 2 pelat yang akan di las dengan ukuran 2,6 mm.
- Dilakukan penyambungan dengan pengelasan pada kampuh V pada tiap-tiap spesimen. Dengan tiga elektroda E6013, E7016, E7018.
- Setelah dilakukan pengelasan tiap spesimen langsung di dinginkan dengan menggunakan suhu kamar.
- Dilakukan pembentukan spesimen uji yaitu berupa persegi panjang serta pembersihan spesimen dari sisa pengelasan dengan menggunakan mesin frais.

### 2.3 Proses Pembentukan Benda Uji

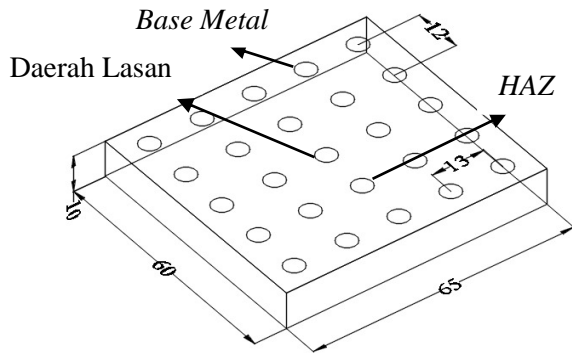
Untuk pengujian kualitas kekerasan bahan mengacu standar ASTM E18 dan kualitas ketangguhan bahan mengacu standar ASTM E23. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- Meratakan alur hasil pengelasan dengan mesin frais.
- Tiap spesimen dipotong-potong dengan ukuran 65 x 60 x 10 mm dengan gergaji.
- Setelah benda kerja dirapikan dengan mesin frais atau gerinda benda siap di uji kekerasan sesuai standar ASTM E18.
- Setelah itu dilanjutkan pembuatan spesimen *impact*.
- Tiap spesimen diberi takikan diatas pengelasan dengan menggunakan mesin frais sesuai dengan standar ASTM E23.
- Tiap spesimen dipotong dengan ukuran 55 x 10 x 10 mm menggunakan gergaji mesin.
- Setelah proses pemotongan selesai kemudian benda kerja dirapikan dengan kikir dan dihaluskan menggunakan amplas.

### 2.4 Pengujian Kekerasan

Sampel Baja ST 37 dengan ST 40 yang sudah dilakukan pengelasan dengan elektroda E6013, E7016 & E7018 setelah itu dilakukan pemerataan daerah lasan sesuai standar ASTM E18 dapat dilihat pada gambar 2.1 selanjutnya pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell C* (HRC) untuk mengetahui nilai

kekerasan dapat dilihat pada tabel rancangan 2.1 pada daerah lasan. HAZ dan *base metal*. [3]

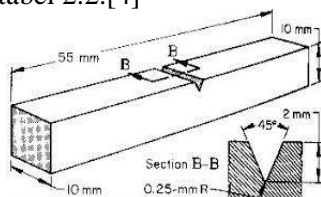


Gambar 2.1 Spesimen Uji Kekerasan  
Tabel 2.1 Pengujian Kekerasan Rockwell (HRC)

No	Jenis Variasi	Titik Uji	Hasil Uji Kekerasan (HRC)					Rata-rata
			1	2	3	4	5	
1	Elektroda AWS E 6013	Base Metal ST 37						
		HAZ ST 37						
		Daerah Las						
		HAZ ST 40						
2	Elektroda AWS E 7016	Base Metal ST 37						
		HAZ ST 37						
		Daerah Las						
		HAZ ST 40						
3	Elektroda AWS E 7018	Base Metal ST 37						
		HAZ ST 37						
		Daerah Las						
		HAZ ST 40						
		Base Metal ST 40						

**2.5 Pengujian Impact**

Sampel Baja ST 37 dengan ST 40 yang sudah dilakukan pengelasan dengan elektroda E6013, E7016 & E7018 dilakukan pembuatan takik di atas daerah lasan kemudian dilakukan pemotongan menggunakan gergaji mesin sesuai standar ASTM E23 dapat dilihat pada gambar 2.2 selanjutnya pengujian *impact* menggunakan metode *charpy* untuk mengetahui nilai ketahanan beban kejut pada material dapat dilihat pada rancangan tabel 2.2.[4]



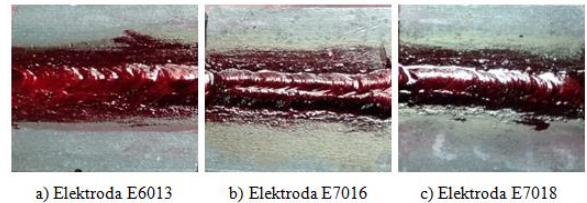
Gambar 2.2 Spesimen Uji Impact  
Tabel 2.2 Pengujian Impact metode Charpy

Bahan Uji Materials	Nomor Sampel	a (mm)	b (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	E (Joule)	HI (Joule/mm <sup>2</sup> )
Elektroda E6013	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
Rata-rata						
Elektroda E7016	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
Rata-rata						
Elektroda E7018	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
Rata-rata						

**3 Hasil dan Pembahasan**

**3.1 Hasil Pengelasan**

Setelah pembuatan kampuh pada spesimen kemudian dilakukan pengelasan SMAW pada sambungan Baja ST 37 dengan ST 40 menggunakan elektroda E6013, E7016, E7018. Hasil dari proses pengelasan adalah seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Hasil Pengelasan

**3.2 Pengujian Penetrant**

Adapun inspeksi pengujian tidak merusak pada material ST 37 dengan ST 40 menggunakan metode penetrant test.



Gambar 3.2 Hasil Pengujian Penetrant pada Pengelasan SMAW dengan menggunakan Elektroda E6013, E7016 dan E7018

Hasil gambar 3.2 dapat dilihat bahwa tidak terdapat cacat hasil pengelasan SMAW pada material Baja ST 37 dengan ST 40. Hal ini dapat ditandai dengan tidak adanya bercak merah pada permukaan logam las. Apabila adanya cacat maka akan timbul bercak merah pada titik dimana cacat tersebut berada. Hal itu disebabkan karena cairan penetrant yang disemprotkan akan mengisi celah-celah retak atau cacat pada permukaan las. Cairan penetrant yang tertinggal pada celah atau cacat tersebut akan timbul setelah disemprotkan devloper, karena sewaktu pembersihan setelah penyemprotan cairan penetrant tersebut, sisa cairan penetrant yang

terdapat pada celah retak atau cacat akan tetap tertinggal.

**3.3 Pengujian Kekerasan Metoda Rockwell**

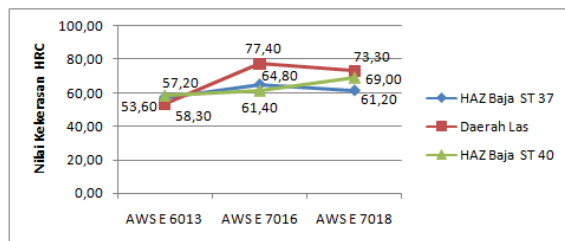
Pengujian kekerasan sebuah bentuk pengujian yang dilakukan guna menentukan seberapa besar kemampuan suatu bahan terhadap perubahan. Dengan menekan benda yang diuji, akan diperoleh hasil yang bisa digunakan untuk analisa seberapa besar tingkat kekerasan dari bahan tersebut melalui beban yang diberikan. Hubungan kekerasan rata-rata terhadap daerah *Base Metal* ST 37, HAZ ST 37, Daerah Las, HAZ ST 40, *Base Metal* ST 40.

**3.4.1 Data Pengujian Kekerasan Metode Rockwell**

Data pengujian sampel uji dibuat dengan tiga variasi elektroda (AWS E6013, E7016, E7018), serta masing-masing sampel dibuat 5 titik uji. Sampel uji yang telah diuji dicantumkan pada tabel 3.1 data uji kekerasan.

Tabel 3.1 Data pengujian kekerasan rockwell

No	Jenis Variasi	Titik Uji	Hasil Uji Kekerasan (HRC)					Rata – rata (HRC)
			1	2	3	4	5	
1	Elektroda AWS E 6013	Base ST 37	54,00	47,50	54,50	50,50	49,50	51,20
		HAZ ST 37	66,50	59,00	61,00	51,50	48,00	57,20
		Daerah Las	59,00	57,00	55,00	48,50	48,50	53,60
		HAZ ST 40	60,00	52,00	56,50	61,00	62,00	58,30
		Base ST 40	65,00	66,00	63,50	68,50	62,00	65,00
2	Elektroda AWS E 7016	Base ST 37	58,00	64,00	57,00	61,00	67,00	61,40
		HAZ ST 37	66,00	65,50	62,00	67,50	63,00	64,80
		Daerah Las	81,50	76,00	73,50	77,00	79,00	77,40
		HAZ ST 40	62,00	64,00	68,50	54,50	58,00	61,40
		Base ST 40	69,00	70,50	68,50	66,50	64,50	67,80
3	Elektroda AWS E 7018	Base ST 37	60,50	55,00	56,50	62,50	61,00	59,10
		HAZ ST 37	57,00	60,50	64,00	60,50	64,00	61,20
		Daerah Las	79,00	75,50	72,50	69,00	70,50	73,30
		HAZ ST 40	69,50	69,50	70,00	70,50	65,50	69,00
		Base ST 40	65,00	69,00	67,00	65,00	67,50	66,70



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Variasi Elektroda Nilai Kekerasan

**3.4.2 Analisa Dan Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan**

Nilai rata-rata kekerasan pada *Base Metal* Baja ST 37 ialah 59,10 HRC sedangkan untuk ST 40 memiliki nilai rata-rata 66,70 HRC. Kemudian untuk elektroda AWS E6013 didaerah HAZ Baja ST 37 dengan nilai rata-rata kekerasan 57,20 HRC, dan pada elektroda AWS E7016 terdapat nilai HAZ Baja ST 37 dengan nilai rata-rata 64,80 HRC. Sedangkan untuk nilai kekerasan pada elektroda AWS E7018 lebih kecil dibandingkan kedua arus sebelumnya yang

memiliki nilai kekerasan pada daerah HAZ Baja ST 37 dengan nilai rata-rata 61,20 HRC.

Nilai rata-rata untuk daerah las elektroda AWS E6013 dengan nilai kekerasan 53,60 HRC. Pada elektroda AWS E7016 terdapat nilai kekerasan pada daerah las dengan nilai kekerasan 77,40 HRC, dan mengalami penurunan nilai kekerasan pada daerah las elektroda AWS E7018 dengan nilai 73,30 HRC. Untuk daerah kekerasan HAZ Baja ST 40 menggunakan elektroda AWS E6013 terdapat nilai kekerasan dengan nilai 58,30 HRC. Pada elektroda AWS E7016 memiliki nilai kekerasan pada daerah HAZ Baja ST 40 dengan nilai 61,40 HRC, dan pada elektroda AWS E7018 terdapat nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ Baja ST 40 dengan nilai 69,00 HRC. Ini disebabkan karena fraksi volume pearlite yang terbentuk dapat mempengaruhi besar atau kecilnya nilai kekerasan suatu logam. Pearlite merupakan hasil dari reaksi eutektoid pada pendinginan dibawah suhu 727°C. Semakin besar volume pearlite yang terbentuk, nilai kekerasan akan meningkat. Sedangkan jika volume ferit semakin besar, nilai kekerasan akan menurun. Secara keseluruhan, nilai volume pearlite dapat membuktikan bahwa volume pearlite dapat mempengaruhi besarnya nilai kekerasan di daerah lasan maupun di daerah HAZ.

**3.4 Pengujian Impact Metode Charpy**

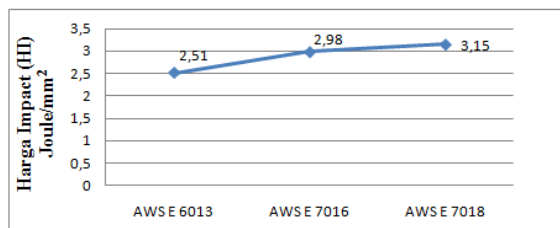
Sebuah alat uji tes ketangguhan material yang dimana spesimen mendapatkan beban kejut secara tiba-tiba dari suatu pendulum yang akan menunjukkan hasil ketangguhan dari spesimen tersebut. Data pengujian dapat dilihat pada tabel 3.2.

**3.4.1 Data Pengujian Impact**

Pengujian sampel uji dibuat dengan tiga variasi elektroda (AWS E6013, E7016, E7018), serta masing-masing sampel dibuat lima spesimen. Sampel uji yang telah diuji dicantumkan pada tabel 3.2 data uji *impact*.

Tabel 3.2 Data pengujian *impact charpy*

Bahan Uji Materials	Nomor Sampel	a (mm)	b (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	E (Joule)	HI (Joule/mm <sup>2</sup> )
Elektroda E6013	1	8	10	80	190	2,38
	2	8	10	80	220	2,75
	3	8	10	80	204	2,55
	4	8	10	80	192	2,40
	5	8	10	80	198	2,48
<b>Rata-rata</b>					<b>201</b>	<b>2,51</b>
Elektroda E7016	1	8	10	80	264	3,30
	2	8	10	80	228	2,85
	3	8	10	80	224	2,80
	4	8	10	80	222	2,78
	5	8	10	80	252	3,15
<b>Rata-rata</b>					<b>238</b>	<b>2,98</b>
Elektroda E7018	1	8	10	80	264	3,20
	2	8	10	80	256	3,20
	3	8	10	80	274	3,43
	4	8	10	80	202	2,53
	5	8	10	80	264	3,30
<b>Rata-rata</b>					<b>252</b>	<b>3,15</b>



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Variasi Elektroda Dengan HI

### 3.4.2 Analisa Dan Pembahasan Hasil Pengujian Impact

Berdasarkan gambar 3.4 grafik hubungan variasi diatas menunjukkan bahwa pengujian *impact* dimana elektroda AWS E6013 memiliki Harga Impact (HI) sebesar 2,51 Joule/mm<sup>2</sup>. Pada pengelasan dengan elektroda AWS E7016 memiliki Harga Impact (HI) sebesar 2,98 Joule/mm<sup>2</sup>. Dan pada elektroda AWS E7018 memiliki Harga Impact (HI) terbesar diantara kedua varian yakni 3,15 Joule/mm<sup>2</sup>. Dari nilai energi grafik diatas pengelasan beda jenis baja ST 37 dengan baja ST 40 memiliki nilai HI tertinggi pada pengelasan elektroda AWS E7018.

Besarnya kuat arus akan mempengaruhi masukan panas yang diterima oleh logam induk. Besarnya masukan panas akan mengakibatkan reskristalisasi butir logam sehingga ukuran butir logam akan semakin besar. Ukuran butir yang besar akan meningkatkan kekuatan *impact* lasan, tetapi hal tersebut dapat mengurangi nilai kekerasan lasan dan daerah HAZ. Hal ini dapat dibuktikan dengan energi *impact* yang cenderung menurun pada pengelasan dengan menggunakan elektroda E6013 maupun pengelasan dengan elektroda E7016 dikarenakan pengelasan yang dilakukan menggunakan arus 100 Amp. Pertumbuhan butir yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya nilai kekuatan dan meningkatkan inisiasi dan pertumbuhan retak pada logam. Hal tersebut dapat mempengaruhi ketangguhan retak yang mungkin timbul karena siklus pemanasan dan pendinginan.

### 3.5 Korelasi Kekerasan dan Ketangguhan

Nilai untuk daerah las elektroda E6013 dengan nilai kekerasan 53,60 HRC dan memiliki Harga *Impact* (HI) sebesar 2,51 Joule/mm<sup>2</sup>. Pada elektroda E7016 terdapat nilai kekerasan pada daerah las dengan nilai kekerasan 77,40 HRC dan memiliki Harga *Impact* sebesar 2,98 Joule/mm<sup>2</sup>, dimana kedua pengujian tersebut memiliki peningkatan yang sama. Pada elektroda E7018 terdapat nilai kekerasan pada daerah las dengan nilai kekerasan 73,30 HRC dan memiliki Harga *Impact* (HI) sebesar 3,15 Joule/mm<sup>2</sup>, terlihat terjadinya penurunan pada nilai kekerasan dan mengalami peningkatan pada nilai ketangguhan *impact*.

Tabel 3.3 Korelasi Kekerasan dan Ketangguhan

No	Jenis Variasi	Kekerasan (HRC)	Ketangguhan (Joule/mm <sup>2</sup> )
Daerah			
1	Las E6013	53,60	2,51
2	Las E7016	77,40	2,98
3	Daerah Las E7018	73,30	3,15
Hasil Korelasi			0,91263152

Dari data tabel korelasi diatas didapat koefisien korelasi antara kekerasan dengan ketangguhan adalah 0,9. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang kuat antara kekerasan dengan ketangguhan.

Hasil pengujian menunjukkan adanya korelasi antara harga kekerasan dengan kemampuan menahan beban kejut *impact*, dimana semakin rendah nilai kekerasan maka semakin tinggi kemampuan menahan beban *impact* dari material tersebut.

### 4 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan yaitu pengaruh variasi elektroda terhadap pengelasan beda jenis Baja ST 37 dengan Baja ST 40 dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai hasil uji kekerasan elektroda AWS E6013 memiliki nilai kekerasan HAZ Baja ST 40 yaitu 58,30 HRC, akan tetapi memiliki nilai kekerasan pada daerah las paling rendah dengan nilai 53,60 HRC sedangkan nilai rata-rata tertinggi uji kekerasan ialah pengelasan menggunakan elektroda AWS E7016 dengan nilai kekerasan mencapai 77,40 HRC.
2. Dari hasil pengujian *impact* dalam satuan energi (Joule) dan HI telah didapat nilai paling tinggi dihasilkan oleh pengelasan

dengan elektroda AWS E7018 yaitu 252 untuk satuan energi (Joule) dan 3,15 untuk HI.

3. Dari hasil pengujian menunjukkan adanya korelasi antara harga kekerasan dengan kemampuan menahan beban impact, dimana semakin rendah nilai kekerasan maka semakin tinggi kemampuan menahan beban impact dari material tersebut.

### 5 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan, peneliti mengajukan beberapa saran :

1. Menambah proses hardening untuk meningkatkan kekerasan pada spesimen setelah proses pengelasan.
2. Sebaiknya materi siklus thermal las dimasukkan kedalam materi perkuliahan dengan porsi yang memadai.

### 6 Daftar Pustaka

- [1] Parekke Simon. 2017. "Pengaruh Variasi Arus pada Pengelasan SMAW dan GTAW Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis pada Logam Berbeda Baja Karbon Sedang Dengan Baja Tahan Karat Austenit. Jurnal Ilmiah Teknik, 9(1).
- [2] Anshori F. M., & Estriyanto Yuyun. 2019. "Pengaruh Variasi Besar Sudut Kampuh V Tunggal Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Kekuatan Tarik Material Baja SS400 dengan Metode Pengelasan SMAW. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, 1(4), 301-311.
- [3] Nurdin, 2020, Job Sheet. *Pengujian Impact Metode Charpy*, Lhokseumawe : Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- [4] Yunus Azwar, 2016, *Pengujian Kekerasan*. Buku ajar Teknologi Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.