

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data Pengujian *Impact*

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui besar kekuatan *impact* (*impact strength*) suatu bahan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *impact* terhadap baja SS41 hasil pengelasan SMAW dengan variasi posisi pengelasan dan jenis elektroda. Hasil dari pengujian *impact* dapat dilihat pada tabel 4.1 :

**Tabel 4.1** Hasil uji *impact*

Spesimen	l	b	t	h	Luas	$\alpha$	$\beta$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(°)	(°)
P1	55	10	10	8	80	120	74
	55	10	10	8	80	120	97
	55	10	10	8	80	120	89
P2	55	10	10	8	80	120	90
	55	10	10	8	80	120	88
	55	10	10	8	80	120	100
P3	55	10	10	8	80	120	32
	55	10	10	8	80	120	33
	55	10	10	8	80	120	50,5
P4	55	10	10	8	80	120	56
	55	10	10	8	80	120	55
	55	10	10	8	80	120	39
TP	55	10	10	8	80	120	30
	55	10	10	8	80	120	22,5
	55	10	10	8	80	120	5

#### 4.1.2 Perhitungan Hasil Pengujian *Impact*

Kerja yang dilakukan untuk mematahkan benda kerja adalah:

$$W = G \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dimana : W = kerja patah dalam Joule

G = beban yang digunakan dalam kg (G = 26,32 kg)

L = panjang lengan ayun dalam m (L = 0,647 m)

$\beta$  = sudut jatuh dalam derajat

$\alpha$  = sudut awal dalam derajat

Bila diketahui luas penampang di bawah takikan = (A) mm<sup>2</sup>, dapat disimpulkan perolehan nilai ketangguhan batang uji dihitung sebagai berikut:

$$\text{Nilai impact} = \frac{\text{kerja patah (W)}}{\text{luas penampang (A)}} \text{Joule/mm}^2$$

- Contoh Perhitungan:

$$G = 26,32 \text{ kg}; L = 0,647 \text{ m}; \alpha = 120^\circ; \beta = 74^\circ; A = 80 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} W &= G \times L(\cos \beta \\ &\quad - \cos \alpha) = 26,32 \times 0,647(\cos 74 - \cos 120) = 17,02904(0,275 \\ &\quad + 0,5) = 17,02904 \times 0,775 = 13,1975 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\text{Nilai impact} = \frac{W}{A} = \frac{13,1975}{80} = 0,1649 \text{ Joule/mm}^2$$

Dari perhitungan di atas maka diperoleh besar kekuatan *impact* dan ketangguhan untuk masing – masing posisi pengelasan dan jenis elektroda, seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.2** Hasil Perhitungan uji *impact*

Pengulangan	Jenis Elektroda	Posisi Pengelasan	
		Mendatar (1G)	Vertikal (3G)
1	E 6013	0,1651	0,1064
2		0,0805	0,1139
3		0,1101	0,0695
Rata – Rata		<b>0,3557</b>	<b>0,2898</b>
1	E 7016	0,2869	0,225
2		0,285	0,2285
3		0,2418	0,2719
Rata – Rata		<b>0,8137</b>	<b>0,7254</b>

#### 4.1.3 Analisa Pengujian Statistik Hasil Pengujian *impact*

Hipotesa:

Ho: Tidak ada pengaruh signifikan antara jenis elektroda dan posisi pengelasan terhadap hasil uji *impact* sambungan las

H1: Ada pengaruh signifikan antara jenis elektroda dan posisi pengelasan terhadap hasil uji *impact* sambungan las

**Tabel 4.3** Data statistika induk perhitungan anova hasil uji *impact*

Variabel		Pengulangan	Jenis Elektroda		$\Sigma_b$
			E6013	E7016	
Posisi Pengelasan	Mendatar	1	0,1651	0,1064	
		2	0,0805	0,1139	
		3	0,1101	0,0695	
	$\Sigma_k$		<b>0,3557</b>	<b>0,2898</b>	<b>0,6455</b>
	Vertikal	1	0,2869	0,225	
		2	0,285	0,2285	
		3	0,2418	0,2719	
	$\Sigma_k$		<b>0,8137</b>	<b>0,7254</b>	<b>1,5391</b>
$\Sigma_{total}$			<b>1,169</b>	<b>1,0152</b>	<b>2,1846</b>

Pengulangan (n) = 3

Baris (b) = 2

Kolom (k) = 2

- Jangkauan kuartil tengah

$$JKT = \sum_{i=1}^b T_i^2 \sum_{j=1}^k T_j^2 \sum_{k=1}^n T_{ijk}^2 - \frac{T^2}{bkn} = 0473 - \frac{(2,184)^2}{12} = 0,076$$

- Jangkauan kuartil atas

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^b T_i^2}{kn} - \frac{T^2}{bkn} = \frac{2,785}{6} - \frac{(2,184)^2}{12} = 0,0665$$

- Jangkauan kuartil bawah

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{bn} - \frac{T^2}{bkn} = \frac{2,398}{6} - \frac{(2,184)^2}{12} = 0,00198$$

- Jangkauan kuartil atas bawah

$$JKAB = \frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^b T_i^2}{kn} - \frac{\sum_{j=1}^k T_j^2}{bn} + \frac{T^2}{bkn}$$

$$= \frac{1,398}{3} - \frac{2,785}{6} - \frac{2,398}{6} + \frac{(2,184)^2}{12} = 0,0000418$$

- Jangkauan kuartil galat

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB = 0,076 - 0,0665 - 0,00198 - 0,0000418$$

$$= 0,00748$$

$$db_A (\text{BARIS}) = 2 - 1 = 1$$

$$db_B (\text{KOLOM}) = 2 - 1 = 1$$

$$db_{AB} (\text{INTERAKSI}) = 1 \times 1 = 1$$

$$db_G (\text{GALAT}) = 12 - (2 \times 2) = 12 - 4 = 8$$

$$db_T (\text{TOTAL}) = 12 - 1 = 11$$

$$KRA = \frac{0,067}{1} = 0,0665$$

$$KRB = \frac{0,002}{1} = 0,00198$$

$$KRAB = \frac{0,0000418}{1} = 0,0000418$$

$$KRG = \frac{0,00748}{8} = 0,000935$$

$$FA = \frac{0,0665}{0,000935} = 71,147$$

$$FB = \frac{0,00198}{0,000935} = 2,118$$

$$FAB = \frac{0,0000418}{0,000935} = 0,0447$$

$F_{\text{Tabel}}$  dengan  $\alpha = 5\%$

$$F_{A\text{Tabel}}(5\%, 1, 8) = 5,31$$

$$F_{B\text{Tabel}}(5\%, 1, 8) = 5,31$$

$$F_{AB\text{Tabel}}(5\%, 1, 8) = 5,31$$

Dari perhitungan statistik menggunakan analisa varian dua arah, maka akan didapatkan data seperti yang terlihat pada tabel 4.4 di bawah ini:

**Tabel 4.4** Analisa varian dua arah

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	f hitung	f tabel
Posisi pengelasan	0,0665	1	0,0665	71,147	5,31
Jenis elektroda	0,00198	1	0,00198	2,118	5,31
interaksi	0,0000418	1	0,0000418	0,0447	5,31
Galat	0,00748	8	0,000935		
Total	0,07604	11			

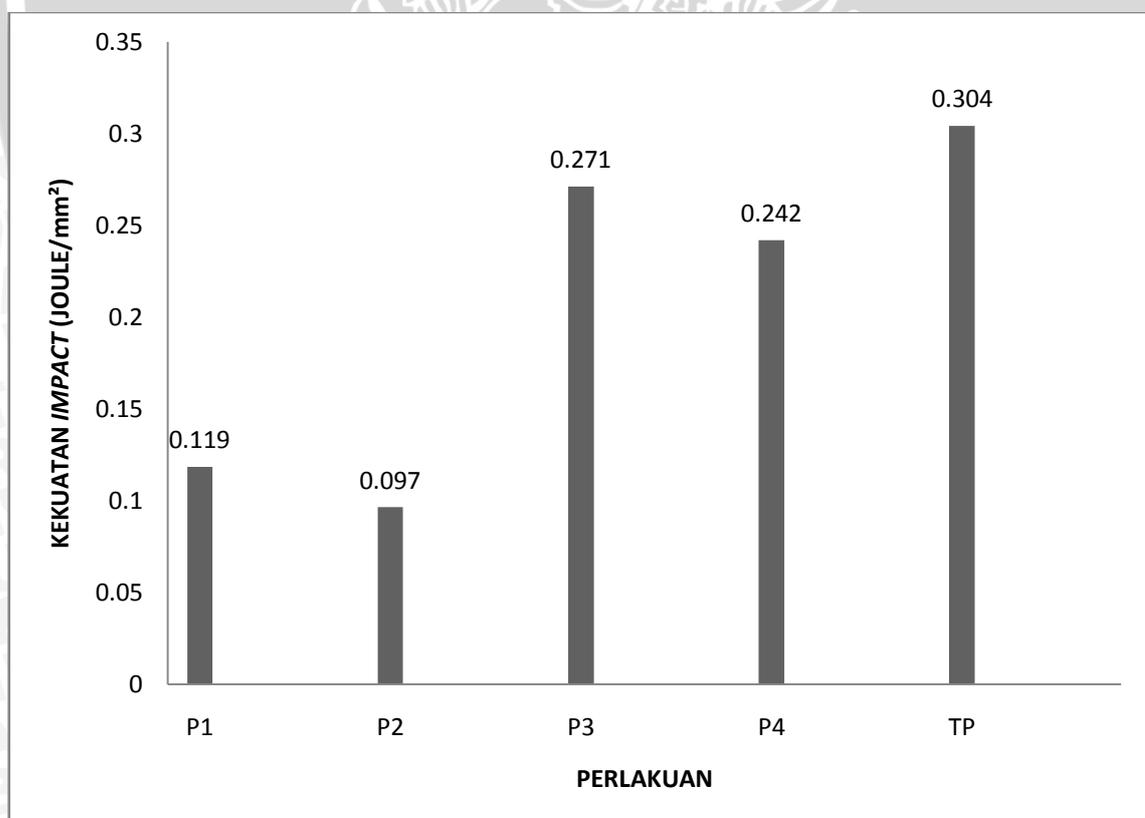
Kesimpulan:

- $F_A (\text{hitung}) > F_A (\text{tabel})$  atau  $71,657 > 5,31$ . Karena harga  $F_A (\text{hitung})$  lebih besar dari  $F_A (\text{tabel})$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima artinya ada pengaruh signifikan antara posisi pengelasan terhadap hasil uji *impact* sambungan las.
- $F_B (\text{hitung}) < F_B (\text{tabel})$  atau  $2,139 < 5,31$ . Karena harga  $F_B (\text{hitung})$  lebih kecil dari  $F_B (\text{tabel})$  maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak artinya tidak ada pengaruh signifikan antara jenis elektroda terhadap hasil uji *impact* sambungan las.
- $F_{AB} (\text{hitung}) < F_{AB} (\text{tabel})$  atau  $0,0447 < 5,31$ . Karena harga  $F_{AB} (\text{hitung})$  lebih kecil dari  $F_{AB} (\text{tabel})$  maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak artinya tidak ada interaksi pengaruh signifikan antara posisi pengelasan dan jenis elektroda terhadap hasil uji *impact* sambungan las.

## 4.2 Pembahasan

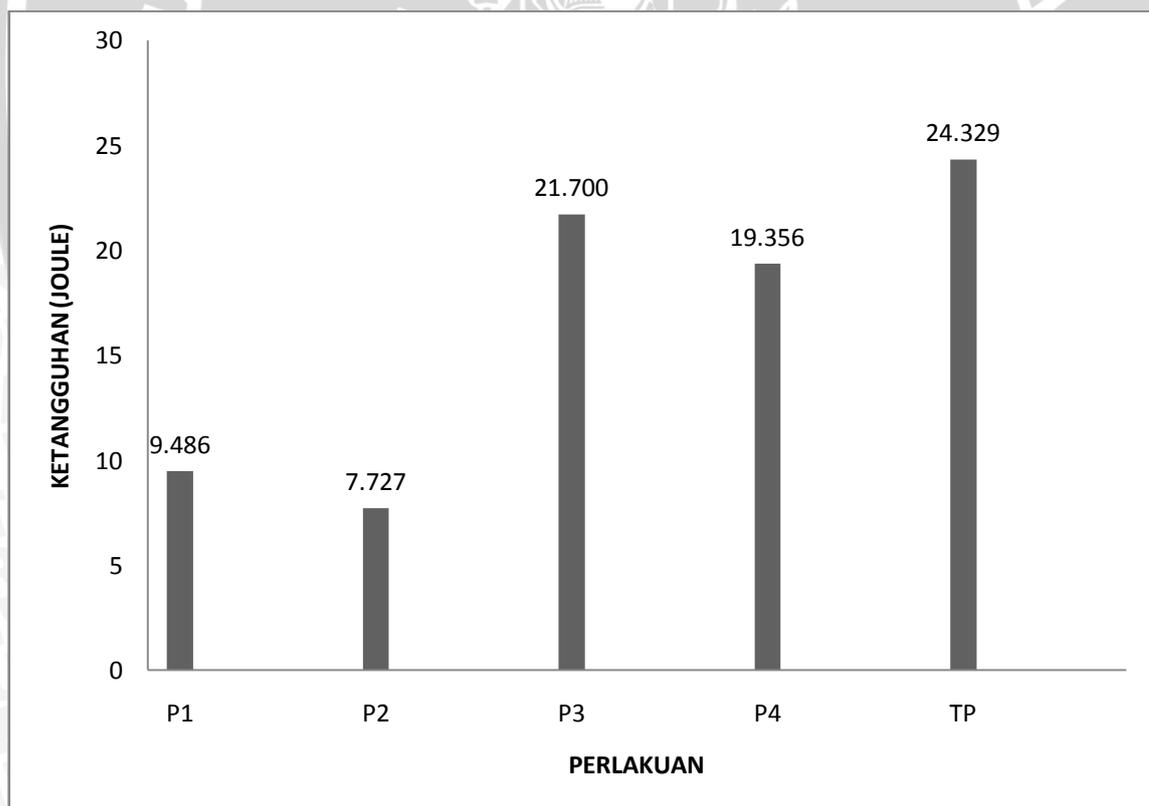
### 4.2.1 Analisa Grafik

Setelah dilakukan penelitian dan pengolahan data dari hasil uji *impact* maka diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik hubungan posisi pengelasan dan jenis elektroda terhadap nilai *impact*.

Dari gambar 4.1 menunjukkan bahwa posisi pengelasan vertikal (3G) memiliki nilai *impact* lebih tinggi dari seluruh perlakuan pada posisi mendatar (1G), sementara nilai *impact* hasil pengelasan dengan elektroda E 6013 lebih besar daripada nilai *impact* hasil pengelasan dengan elektroda E 7016. Perlakuan dengan nilai *impact* minimum yaitu terjadi pada variasi posisi pengelasan mendatar (1G) dengan elektroda E 7016 (perlakuan P2) yaitu sebesar 0,097 Joule/mm<sup>2</sup>. Perlakuan dengan nilai *impact* maksimum yaitu terjadi pada variasi posisi pengelasan vertikal (3G) dengan elektroda E 6013 (perlakuan P3) yaitu sebesar 0,271 Joule/mm<sup>2</sup>. Tanpa perlakuan (*raw material*) memiliki nilai *impact* lebih tinggi dari seluruh perlakuan yaitu sebesar 0,304 Joule/mm<sup>2</sup>. Dari perlakuan posisi pengelasan mendatar (1G) dengan elektroda E 6013 memiliki nilai *impact* sebesar 0,119 Joule/mm<sup>2</sup>, sedangkan dengan elektroda E 7016 memiliki nilai *impact* sebesar 0,097 Joule/mm<sup>2</sup>. Dari perlakuan posisi pengelasan vertikal (3G) dengan elektroda E 6013 memiliki nilai *impact* sebesar 0,271 Joule/mm<sup>2</sup>, sedangkan dengan elektroda E 7016 memiliki nilai *impact* sebesar 0,242 0,271 Joule/mm<sup>2</sup>.



Gambar 4.2 Grafik hubungan posisi pengelasan dan jenis elektroda terhadap ketangguhan.

Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa posisi pengelasan vertikal (3G) memiliki ketangguhan lebih tinggi dari seluruh perlakuan pada posisi mendatar (1G), sementara

ketangguhan hasil pengelasan dengan elektroda E 6013 lebih besar daripada ketangguhan hasil pengelasan dengan elektroda E 7016. Perlakuan dengan ketangguhan minimum yaitu terjadi pada variasi posisi pengelasan mendatar (1G) dengan elektroda E 7016 (perlakuan P2) yaitu sebesar 7,727 Joule. Perlakuan dengan ketangguhan maksimum yaitu terjadi pada variasi posisi pengelasan vertikal (3G) dengan elektroda E 6013 (perlakuan P3) yaitu sebesar 21,700 Joule. Tanpa perlakuan (*raw material*) memiliki ketangguhan lebih tinggi dari seluruh perlakuan yaitu sebesar 24,329 Joule. Dari perlakuan posisi pengelasan mendatar (1G) dengan elektroda E 6013 memiliki ketangguhan sebesar 9,486 Joule, sedangkan dengan elektroda E 7016 memiliki ketangguhan sebesar 7,727 Joule. Dari perlakuan posisi pengelasan vertikal (3G) dengan elektroda E 6013 memiliki ketangguhan sebesar 21,700 Joule, sedangkan dengan elektroda E 7016 memiliki ketangguhan sebesar 19,356 Joule.

#### 4.2.2 Analisa Hubungan Posisi Pengelasan dengan Hasil Uji *impact*

Dari grafik di atas posisi pengelasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil uji *impact*. Hal ini juga didasarkan pada hasil analisa pengujian statistika yang menunjukkan adanya pengaruh signifikan antara posisi pengelasan terhadap hasil uji *impact* sambungan las.

Pada posisi pengelasan vertikal (3G), elektroda cenderung mencair ke bawah, maka untuk meminimalisir hal tersebut dibuat busur las lebih pendek atau setengah dari pada diameter elektroda. Oleh karena itu arus yang dibutuhkan lebih kecil dari pada pengelasan mendatar (1G). Semakin kecil arus, maka suhu input pada logam semakin kecil. Hal ini sesuai dengan rumus *heat* input di bawah ini:

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{v} \text{ (J/mm)}$$

Keterangan :

H = *Heat input* (J/mm)

E = Tegangan Busur (Volt)

I = Arus Pengelasan (Ampere)

V = Kecepatan Pengelasan (mm/s)

$\eta$  = Efisiensi Las SMAW sebesar 0,8

Dimana *heat input* berbanding lurus dengan arus pengelasan, yaitu semakin kecil arus maka suhu input (*heat input*) semakin kecil juga.

Dalam kasus posisi pengelasan, dengan masukan panas (*heat input*) yang semakin tinggi maka akan terbentuk struktur butiran yang tidak homogen. Struktur butiran yang tidak homogen ini akan mempengaruhi kekuatan hasil pengelasan. Struktur logam pada daerah HAZ berubah dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada daerah HAZ semakin tinggi masukan panas (*heat input*) maka daerah HAZ akan semakin lebar dan akan tumbuh kristal dengan cepat yang membentuk butir – butir kasar. Besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termalnya, karena siklus termal yang terjadi bervariasi dengan panas yang masuk berbeda maka kekuatannya pun akan berbeda. Butir yang tumbuh menjadi lebih besar seiring meningkatnya *heat input*. Semakin besar butir yang tumbuh maka mengakibatkan kekuatan *impact* semakin tinggi.

Selain itu, dari kajian literatur dapat dijelaskan bahwa selama proses pengelasan terjadi siklus termal yaitu pemanasan  $900\pm^{\circ}\text{C}$  sampai  $1300\pm^{\circ}\text{C}$  dan pendinginan. Setelah proses pemanasan dan mengalami pendinginan, besi-gamma atau austenit mulai bertransformasi menjadi besi-alpha atau ferrit, dimana ferrit memiliki daya larut karbon yang sangat sedikit mengendap terus di sepanjang batas-batas butir austenit yang terjadi pada suhu dibawah  $A_3$  dan proses berlanjut sampai pada temperatur  $A_1$ , pada temperatur di bawah  $A_1$  austenit akan bertransformasi menjadi perlit dan berakhir pada temperatur sekitar pada  $500\pm^{\circ}\text{C}$ , dibawah temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  austenit akan bertransformasi menjadi bainit dan berakhir pada temperatur  $\pm 300^{\circ}\text{C}$ , selanjutnya pada temperatur di bawah  $300^{\circ}\text{C}$  sisa austenit akan bertransformasi menjadi martensit. Sehingga diperkirakan struktur akhir yang terbentuk adalah ferrit, perlit, bainit dan martensit. Struktur ini mempunyai kekerasan yang cukup baik, kemudian dengan meningkatnya persentase kandungan perlit dibandingkan dengan ferrit akibat meningkatnya masukan panas las akan menaikkan sifat kekerasan suatu bahan. Namun, secara teori kekerasan akan berbanding terbalik dengan kekuatan *impact*. Menurut Kou (1999), struktur mikro pada logam las yang terbentuk pada saat transformasi fasa dari austenit ke ferrit dipengaruhi oleh banyak faktor seperti komposisi kimia logam pengisi (*filler*) dan logam induk, inklusi, masukan panas, dan laju pendinginan.

#### 4.2.3 Analisa Hubungan Jenis Elektroda dengan Hasil Uji *impact*

Elektroda yang digunakan dalam pengujian ini adalah elektroda E 6013 dan E 7016. Dari hasil penelitian diperoleh nilai *impact* untuk hasil pengelasan elektroda E

6013 lebih besar daripada menggunakan elektroda E 7016 seperti yang terlihat pada gambar 4.1 dimana grafik batang untuk pengelasan dengan E 6013 berada di atas kurva pengelasan dengan E 7016. Jika dilihat dari kode kedua elektroda yang berbeda, dimana untuk elektroda E 6013 dengan kode 60 memiliki *Ultimate Tensile Strength* (UTS) sebesar 60000 psi sedangkan E 7016 dengan kode 70 memiliki *Ultimate Tensile Strength* (UTS) sebesar 70000 psi, maka berdasarkan teori yaitu kekuatan tarik akan berbanding terbalik dengan nilai *impact* maka grafik di atas menunjukkan ada pengaruh dengan adanya jenis elektroda walaupun tidak signifikan. Selain itu komposisi kimia dari kedua jenis elektroda ini juga berbeda seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 4.5** Perbandingan komposisi bahan elektroda E 6013 dan E7016

Elektroda	C	Si	Mn	P	S
<b>E 6013</b>	0,08	0,18	0,45	0,012	0,009
<b>E 7016</b>	0,08	0,53	1,00	0,011	0,008

Dari tabel diatas diperoleh data bahwa persentase komposisi Mn (mangan) dan Si (silikon) pada elektroda E 7016 lebih tinggi dibandingkan elektroda E 6013, dimana komposisi Mn dan Si dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan sambungan las. Sedangkan untuk persentase komposisi P (fosfor) dan S (sulfur) pada elektroda E 6013 lebih tinggi dibandingkan E 7016 dimana komposisi P dan S yang tinggi dapat menimbulkan kecenderungan retak lebih tinggi dan menurunkan mampu las. Persentase komposisi C (karbon) pada kedua jenis elektroda sama.

Jenis fluks yang digunakan pada elektroda E 6013 berbeda dengan yang digunakan pada E 7016. Elektroda E 6013 menggunakan tipe *high cellulose* sebagai bahan fluks dengan bahan utama adalah zat organik sedangkan elektroda E 7016 menggunakan tipe *low hydrogen* sebagai bahan fluks dengan bahan utama adalah kapur dan fluorat. Kedua jenis fluks ini memiliki fungsi utama yang sama yaitu sebagai pelindung selama proses pengelasan agar tidak ada reaksi dengan udara luar seperti oksigen yang masuk ke dalam proses pengelasan dikarenakan dapat menyebabkan cacat seperti terjadinya retak (*cracking*) pada sambungan las.

#### 4.2.4 Analisa hubungan perlakuan *temper bead welding* (TBW) dengan hasil uji *impact*

Melalui *temper bead welding* secara tidak langsung telah dilakukan usaha penurunan penggetasan melalui perbaikan struktur mikro yang terjadi dengan cara pemanasan kembali menggunakan panas las. Dalam hal ini lapisan las yang ada di bawah dipanaskan oleh lapisan di atasnya sehingga dicapai temperatur di atas titik transformasi  $A_3$  yang menyebabkan terbentuknya butir-butir kristal yang halus. Perubahan ketangguhan dan kekuatan *impact* diatas berkorelasi dengan perubahan struktur mikro yang terjadi pada logam las. Pemanasan yang berulang-ulang pada logam las memungkinkan terbentuknya struktur *columnar* dan struktur yang terkena pemanasan kembali (*reheat*). Struktur *columnar* ini biasanya berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las (Sonawan, 2004).

