

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengaruh Komposisi *Flux* E420-13 Lokal dan E6013 Impor

Pada pengujian XRF ini digunakan untuk mengetahui komposisi dari masing-masing elektroda, dimana elektroda E6013 Impor sebagai acuan untuk elektroda E420-13 Lokal agar elektroda tersebut dapat terstandarisasi. Pada komposisi elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor memiliki 4 senyawa yang berbeda yaitu  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$  dan  $Fe_2O_3$ .

**Tabel 4.1** Komposisi Elektroda E420-13 Lokal

No.	Senyawa	Persentase (%)	No.	Senyawa	Persentase (%)
1.	$Na_2O$	6,6368	17.	$CuO$	0,0051
2.	$MgO$	1,3377	18.	$ZnO$	0,0254
3.	$Al_2O_3$	12,831	19.	$Ga_2O_3$	0,0000
4.	$SiO_2$	35,0485	20.	$As_2O_3$	0,0096
5.	$P_2O_5$	0,2905	21.	$Rb_2O$	0,0049
6.	$SO_3$	0,0619	22.	$SrO$	0,0090
7.	$Cl$	0,1406	23.	$Y_2O_3$	0,0006
8.	$K_2O$	0,4527	24.	$ZrO_2$	0,0361
9.	$CaO$	9,4822	25.	$Nb_2O_5$	0,0188
10.	$Sc_2O_3$	0,0632	26.	$SnO_2$	0,0177
11.	$TiO_2$	14,1020	27.	$HfO_2$	0,0000
12.	$V_2O_5$	0,2958	28.	$Ta_2O_5$	0,0182
13.	$Cr_2O_3$	1,2784	29.	$HgO$	0,0044
14.	$MnO$	0,4284	30.	$PbO$	0,0000
15.	$Fe_2O_3$	18,0190	31.	$Bi_2O_3$	0,0085
16.	$NiO$	0,0113		Total	100

**Tabel 4.2** Komposisi Elektroda E6013 Impor

No.	Senyawa	Persentase (%)	No.	Senyawa	Persentase (%)
1.	Na <sub>2</sub> O	4,4616	16.	NiO	0,0076
2.	MgO	1,0361	17.	CuO	0,0007
3.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,1906	18.	ZnO	0,0098
4.	SiO <sub>2</sub>	36,1320	19.	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0021
5.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0272	20.	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0085
6.	SO <sub>3</sub>	0,0632	21.	Rb <sub>2</sub> O	0,0329
7.	Cl	0,1274	22.	SrO	0,0050
8.	K <sub>2</sub> O	4,9128	23.	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0012
9.	CaO	6,6628	24.	ZrO <sub>2</sub>	0,3697
10.	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0050	25.	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1658
11.	TiO <sub>2</sub>	19,7392	26.	HfO <sub>2</sub>	0,0262
12.	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4322	27.	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0285
13.	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0311	28.	PbO	0,0051
14.	MnO	7,7532	29.	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0052
15.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,7569		Total	100

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 hasil komposisi elektroda E420-13 Lokal memiliki komposisi *flux* K<sub>2</sub>O sebesar 0,4527%, TiO<sub>2</sub> sebesar 14,1020%, MnO sebesar 0,4284% dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 18,0190%. Sedangkan, hasil komposisi elektroda E6013 Impor memiliki komposisi *flux* K<sub>2</sub>O sebesar 4,9128%, TiO<sub>2</sub> sebesar 19,7392%, MnO sebesar 7,7532% dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 5,7569%. Pada komposisi tersebut memiliki fungsi yang berbeda sehingga akan mempengaruhi kualitas dari sambungan lasan.

Menurut Jon Affi, paduan TiO<sub>2</sub> (*Titanium Dioksida*) merupakan suatu oksida logam yang digunakan sebagai *flux* yang berfungsi sebagai penghasil slag

yang baik. Slag yang oleh *flux* ini sangat baik dalam melindungi lasan dari kontaminasi udara luar dan mencegah udara masuk ke dalam lasan. Selain itu fungsi dari  $\text{TiO}_2$  berfungsi sebagai penstabil busur yang baik, sehingga dapat memperbaiki penetrasi pengelasan. Karakteristik dari *flux* ini dapat meningkatkan kualitas sambungan las yang diindikasikan dengan meningkatnya sifat mekanik logam.

Fungsi utama dari fluks  $\text{MnO}$  adalah penghasil slag yang baik, lapisan slag dari fluks  $\text{MnO}$  melindungi logam lasan dari kontak dengan udara luar sehingga dapat mencegah masuknya hidrogen maupun oksigen ke dalam logam lasan. *Weld bead* dari fluks  $\text{MnO}$  juga halus sehingga kekuatan dari logam lasan meningkat. Fluks  $\text{MnO}$  juga berperan sebagai deoksidator yang baik.

Kalium oksida ( $\text{K}_2\text{O}$ ) berfungsi sebagai penstabil elektroda dalam proses pengelasan selain berfungsi sebagai penstabil laju elektroda, elektroda ini berfungsi sebagai mencegah banyak percikan saat proses pengelasan. Oleh sebab itu, senyawa ini memiliki fungsi yang sangat penting pada komposisi *flux* elektroda.

Menurut Syamsul Rizal, Paduan *flux*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dapat digunakan sebagai bahan dari elektroda pengelasan, terutama dalam jenis pengelasan yang menggunakan elektroda berlapis *flux* (*flux-coated electrodes*) fungsi utama flux ini dapat melindungi logam cair, mengurangi oksidasi, stabilisasi busur serta dapat membentuk slag yang baik.

## 1.2 Pengujian Radiografi E420-13 Lokal dan E6013 Impor

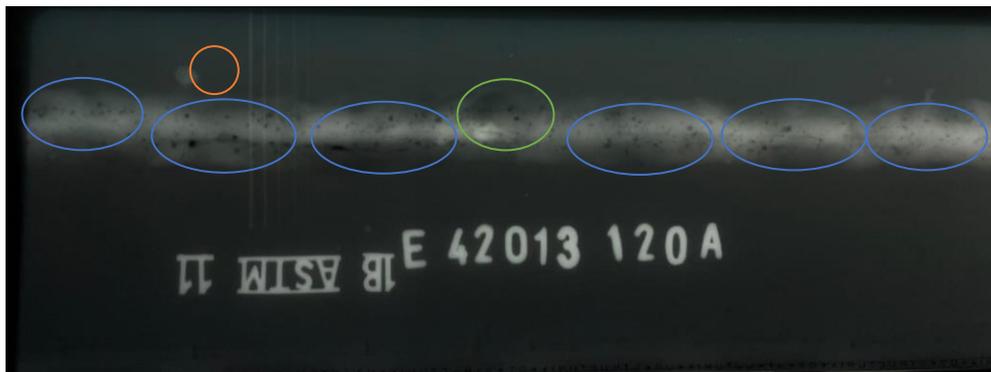
Pengujian radiografi ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan banyaknya cacat yang ada setelah dilakukan pengelasan, *Standard* yang digunakan untuk

pengujian ini adalah SNI 07-0049-1987 Pada penelitian ini menggunakan standar *Image Quality Indicator (IQI) 1B ASTM 11*.

**Tabel 4.3** Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 120 A

Jarak Inspeksi Cacat (mm)	Kuat Arus E420-13 Lokal 120 A			<i>Accepted criteria</i>
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	10	-	1	No Acc
21-40	11	-	-	No Acc
41-60	12	-	-	No Acc
61-80	10	-	-	No Acc
81-100	9	1	-	No Acc
101-120	11	-	-	No Acc
121-140	20	-	-	No Acc
141-160	5	-	-	No Acc
Total	68	1	1	
Hasil Inspeksi				No Acc

Dapat dilihat pada Tabel 4.3 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 120 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 120 A sebanyak 68 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 1 buah dan cacat *spatter* sebanyak 1 buah. Berdasarkan standar SNI 07-0049-1987 Tingkat porositas II, porositas ukuran maksimum sebesar 44 buah namun pada variasi arus 120 A memiliki total cacat porositas sebanyak 68 dan tidak masuk kedalam *accepted criteria* SNI 07-0049-1987.



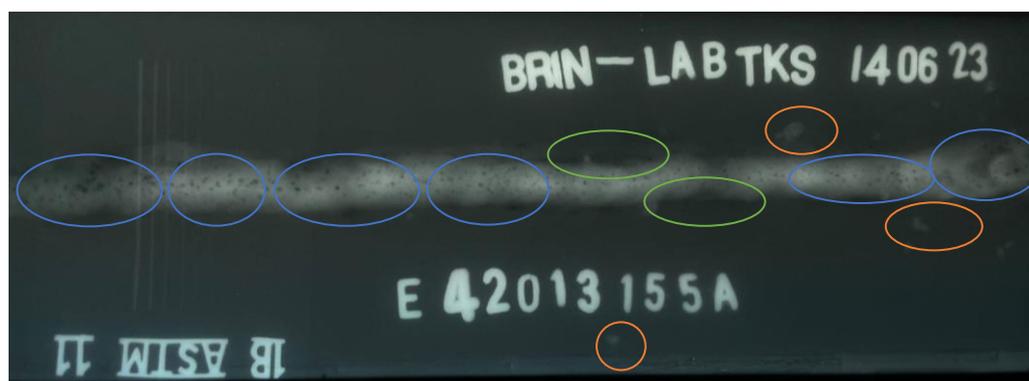
**Gambar 4.1** Hasil Radiografi E420-13 120 A

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 120 A dengan memiliki cacat porositas, *incompleted fusion*, dan *spatter*. Pada cacat porositas ditandai lingkaran berwarna biru dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 120 A ini disebabkan oleh adanya udara masuk, kerusakan pada elektroda dan material yang kotor dan tidak bersih. Pada cacat *incompleted fusion* ditandai warna lingkaran hijau disebabkan oleh ketidakstabilan tangan, sudut *bevel* terlalu sempit dan kecepatan pengelasan terlalu tinggi. Sedangkan pada cacat *spatter* ditandai lingkaran berwarna *orange* disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembab dan juga lapuk.

Dapat dilihat pada Tabel 4.4 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 155 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 155 A sebanyak 104 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 2 buah dan cacat *spatter* sebanyak 11 buah. Berdasarkan standar SNI 07-0049-1987 Tingkat porositas II, porositas ukuran maksimum sebesar 44 buah namun pada variasi arus 155 A memiliki total cacat porositas sebanyak 104 dan tidak masuk kedalam *accepted criteria* SNI 07-0049-1987.

**Tabel 4.4** Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 155 A

Jarak Inspeksi Cacat (mm)	Kuat Arus E420-13 Lokal 155 A			<i>Accepted criteria</i>
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	12	1	5	No Acc
21-40	15	-	-	No Acc
41-60	12	-	-	No Acc
61-80	16	-	-	No Acc
81-100	14	1	-	No Acc
101-120	11	-	2	No Acc
121-140	10	-	1	No Acc
141-160	14	-	3	No Acc
Total	104	2	11	
Hasil Inspeksi				No Acc

**Gambar 4.2** Hasil Radiografi E420-13 I55 A

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 155 A dengan memiliki cacat porositas, *incompleted fusion*, dan *spatter*. Pada cacat porositas ditandai lingkaran berwarna biru dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 155 A ini disebabkan oleh

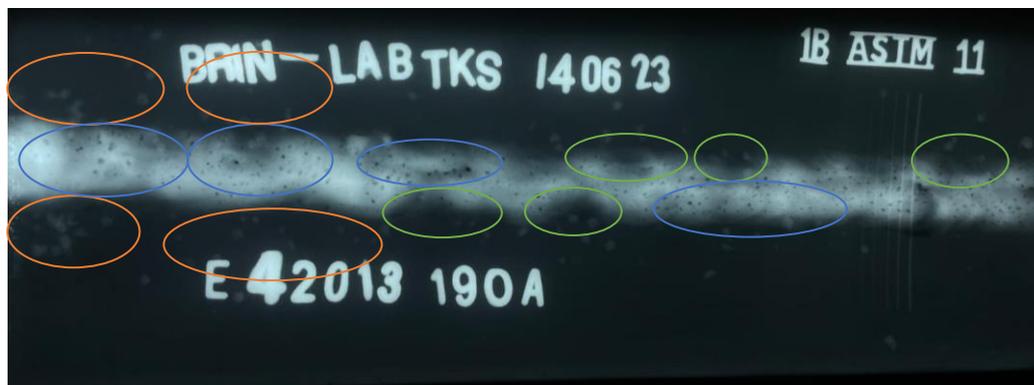
adanya udara masuk, kerusakan pada elektroda dan material yang kotor dan tidak bersih. Pada cacat *incompleted fusion* ditandai lingkaran berwarna hijau yang disebabkan oleh ketidakstabilan tangan, sudut *bevel* terlalu sempit dan kecepatan pengelasan terlalu tinggi. Sedangkan pada cacat *spatter* ditandai lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembab dan juga lapuk.

**Tabel 4.5** Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 190 A

Jarak Inspeksi Cacat (mm)	Kuat Arus E420-13 Lokal 190 A			Accepted criteria
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	9	-	11	No Acc
21-40	16	-	11	No Acc
41-60	15	-	6	No Acc
61-80	25	1	7	No Acc
81-100	13	1	8	No Acc
101-120	21	1	6	No Acc
121-140	22	1	6	No Acc
141-160	26	1	3	No Acc
Total	147	5	58	
Hasil Inspeksi				No Acc

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 data cacat pengelasan menggunakan E420-13 Lokal dengan arus 190 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 190 A sebanyak 147 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 5 buah dan cacat *spatter* sebanyak 58 buah. Berdasarkan standar SNI 07-0049-1987 Tingkat porositas II, porositas ukuran maksimum sebesar 44 buah namun pada variasi arus 190 A memiliki total cacat porositas sebanyak 147 dan tidak masuk kedalam

*accepted criteria* SNI 07-0049-1987.



**Gambar 4.3** Hasil Radiografi E420-13 190 A

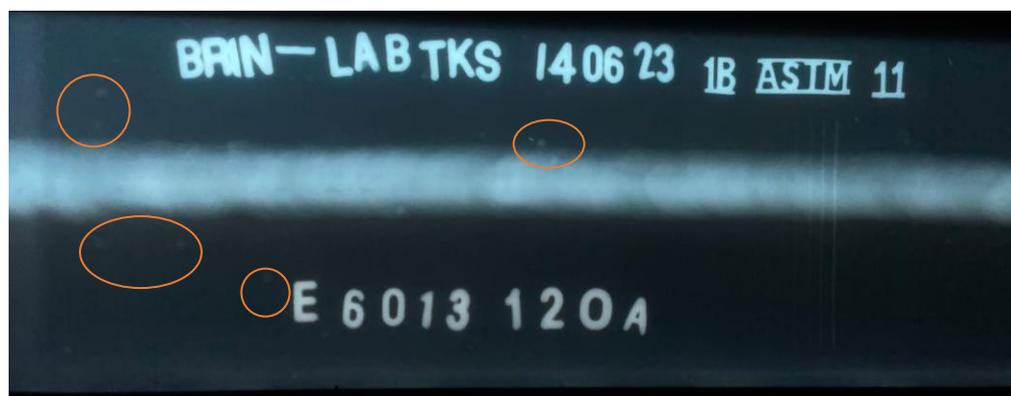
Dapat dilihat pada Gambar 4.3 menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 190 A dengan memiliki cacat porositas, *incompleted fusion*, dan *spatter*. Pada cacat porositas ditandai lingkaran berwarna biru dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 190 A ini disebabkan oleh adanya udara masuk, kerusakan pada elektroda dan material yang kotor dan tidak bersih. Pada cacat *incompleted fusion* ditandai dengan lingkaran berwarna hijau yang disebabkan oleh ketidakstabilan tangan, sudut *bevel* terlalu sempit dan kecepatan pengelasan terlalu tinggi. Sedangkan pada cacat *spatter* ditandai lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembab dan juga lapuk.

Dapat dilihat pada Tabel 4.6 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E6013 Impor dengan arus 120 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 120 A sebanyak 0 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 0 buah dan cacat *spatter* sebanyak 11 buah. Berdasarkan SNI 07-0049-1987 dengan *accepted criteria* Tingkat II, hasil pengelasan dapat dinyatakan *accepted* dikarenakan pada standar SNI 07-0049-1987 dengan porositas ukuran kecil maksimum berjumlah 44

buah.

**Tabel 4.6** Data Hasil Cacat Pengelasan E6013 Impor 120 A

Jarak Indikasi Cacat (mm)	Kuat Arus E6013 Impor 120 A			Accepted criteria
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	-	-	5	Acc
21-40	-	-	2	Acc
41-60	-	-	1	Acc
61-80	-	-	1	Acc
81-100	-	-	2	Acc
101-120	-	-	-	Acc
121-140	-	-	-	Acc
141-160	-	-	-	Acc
Total	0	0	11	
Hasil Inspeksi				Acc



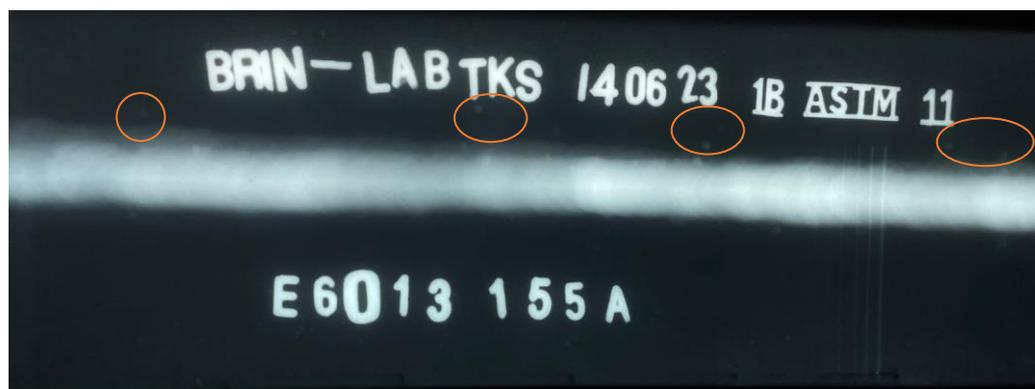
**Gambar 4.4** Hasil Radiografi E6013 Impor 120 A

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 menggunakan elektroda E6013 impor dengan arus 120 A. Pada cacat *spatter* ditandai dengan lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembap dan juga lapuk.

Dapat dilihat pada Tabel 4.7 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E6013 Impor dengan arus 155 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 120 A sebanyak 0 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 0 buah dan cacat *spatter* sebanyak 11 buah. Berdasarkan SNI 07-0049-1987 dengan *accepted criteria* Tingkat II, hasil pengelasan dapat dinyatakan *accepted* dikarenakan pada standar SNI 07-0049-1987 dengan porositas ukuran kecil maksimum berjumlah 44 buah.

**Tabel 4.7** Data Cacat Pengelasan E6013 Impor 155 A

`Jarak Inspeksi Cacat (mm)	Kuat Arus E6013 Impor 155 A			<i>Accepted criteria</i>
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	-	-	2	Acc
21-40	-	-	-	Acc
41-60	-	-	-	Acc
61-80	-	-	1	Acc
81-100	-	-	-	Acc
101-120	-	-	1	Acc
121-140	-	-	1	Acc
141-160	-	-	1	Acc
Total	0	0	6	
Hasil Inspeksi				Acc



**Gambar 4.5** Hasil Radiografi E6013 155 A

Dapat dilihat pada gambar 4.5 menggunakan elektroda E6013 impor dengan arus 155 A. Pada cacat *spatter* ditandai dengan lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembap dan juga lapuk.

**Tabel 4.8** Data Cacat Pengelasan E6013 Impor 190 A

Jarak Indikasi Cacat (mm)	Kuat Arus E6013 Impor 190 A			<i>Accepted criteria</i>
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	-	-	11	Acc
21-40	-	-	10	Acc
41-60	-	-	2	Acc
61-80	-	-	3	Acc
81-100	-	-	3	Acc
101-120	-	-	6	Acc
121-140	-	-	-	Acc
141-160	-	-	1	Acc
Total	0	0	36	
Hasil Inspeksi				Acc

Dapat dilihat pada Tabel 4.8 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E6013 Impor dengan arus 190 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 190 A sebanyak 0 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 0 buah dan cacat *spatter* sebanyak 36 buah. Berdasarkan SNI 07-0049-1987 dengan *accepted criteria* Tingkat II, hasil pengelasan dapat dinyatakan *accepted* dikarenakan pada standar SNI 07-0049-1987 dengan porositas ukuran kecil maksimum berjumlah 44 buah.



**Gambar 4.6** Hasil Radiografi E6013 190 A

Dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.8 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E6013 impor dengan arus 190 A dengan memiliki cacat *spatter*. Pada cacat *spatter* ditandai dengan lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang digunakan terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembap dan juga lapuk.

### 4.3 Pengujian Tarik E420-13 Lokal dan E6013 Impor

Pengujian tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan dengan arah dalam satu garis lurus. Hasil yang didapatkan dari

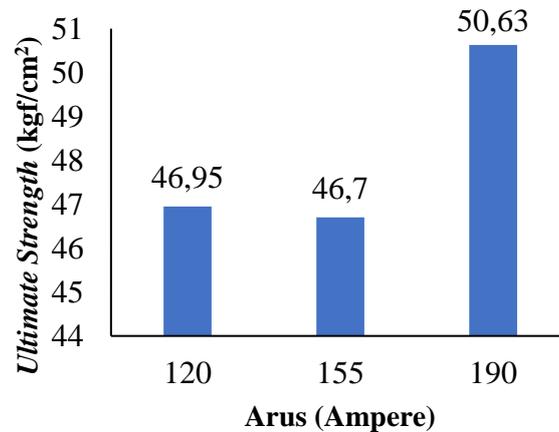
pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain suatu produk karena menghasilkan data kekuatan suatu bahan atau material.

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian Tarik E420-13 Lokal dan E6013 Impor

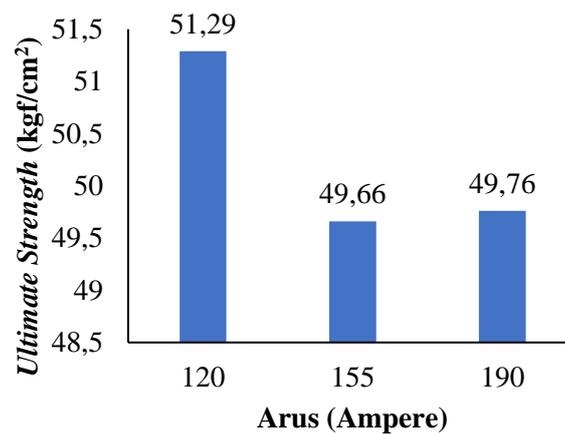
Sampel	Arus	A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>m</sub> (kN)	σ <sub>y</sub>		σ <sub>u</sub>	
					(N/mm <sup>2</sup> )	(kgf/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kgf/mm <sup>2</sup> )
E420-13	120	184,55	60,0	85,0	325	33,14	461	46,95
E420-13	155	179,15	60	82,0	335	34,16	458	46,70
E420-13	190	181,29	72,5	90,0	400	40,77	496	50,61
E6013	120	178,88	67,5	90,0	377	38,44	503	51,29
E6013	155	189,93	67,5	92,5	355	36,19	487	49,66
E6013	190	179,38	60	87,5	334	34,05	488	49,76

Dapat dilihat pada Tabel 4.9 Pengujian tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu bahan atau material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Benda yang diuji tarik diberikan pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua sumbunya diberi beban yang di uji ditransmisikan pada pegangan beban yang di uji.

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 bahwa berdasarkan standar SNI 07-0049-1987 menjelaskan bahwa untuk seri E 420-13 kuat tariknya diperkenankan sebesar 450 MPa (45,9 kgf/mm<sup>2</sup>) dan batas alur minimum sebesar 365 MPa (37,2 kgf/mm<sup>2</sup>). Pada elektroda E420-13 Lokal dengan arus 120 A memiliki nilai kuat tariknya sebesar 46,95 kgf/mm<sup>2</sup>. Pada arus 155 A memiliki nilai kuat tarik sebesar 46,70 kgf/mm<sup>2</sup>. Dan pada arus 190 A memiliki nilai kuat tarik sebesar 50,61 kgf/mm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.7** Pengaruh Arus Terhadap *Ultimate Strength* E420-13 Lokal



**Gambar 4.8** Pengaruh Arus Terhadap *Ultimate Strength* E6013 Impor

Dapat dilihat pada Gambar 4.8 Pada elektroda E6013 impor dengan arus 120 A memiliki nilai kuat tariknya sebesar 51,29 kgf/mm<sup>2</sup>. Hal ini tidak sesuai dengan literatur dikarenakan pada arus 120 A memiliki ketidakseragaman pada material sehingga nilai kekuatan tariknya berbeda dengan arus 155 dan 190 A. Pada arus 155 A memiliki nilai kuat tarik sebesar 49,66 kgf/mm<sup>2</sup>. Dan pada arus 190 A memiliki nilai kuat tarik sebesar 49,76 kgf/mm<sup>2</sup>. Dari hasil pengujian dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor masih termasuk standar SNI 07-0049-1987.

Menurut Baghel P.K, Selama proses pengelasan, ketika terjadi pada periode pengelasan, arus yang digunakan untuk menghasilkan busur untuk pemanasan dan peleburan disebut arus pengelasan. Arus memiliki fungsi dalam mengendalikan masukan panas. Semakin tinggi arus, semakin tinggi masukan panas. Tingkat arus yang optimal membuat masukan panas optimal yang menghasilkan struktur yang lebih homogen (Baghel, 2022).

Dari hasil pengujian tarik dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan elektroda E6013 Impor, bahwa hasil perbandingan pengujian tarik menggunakan elektroda E6013 Impor lebih baik dibandingkan dengan elektroda E420-13 Lokal. Hal ini disebabkan oleh komposisi *flux* yang berbeda antara kedua elektroda tersebut. Salah satu faktor penyebab hasil pengujian tarik dengan menggunakan elektroda E6013 Impor lebih baik dibandingkan dengan elektroda E420-13 Lokal adalah komposisi *flux*  $TiO_2$  yang digunakan pada elektroda E6013 Impor lebih baik dibandingkan dengan elektroda E420-13 Lokal. Oleh sebab itu, hasil dari sifat mekanik dengan menggunakan elektroda E6013 Impor lebih baik.

#### **4.4 Pengujian Impak E420-13 Lokal dan E6013 Impor**

Pengujian impak merupakan salah satu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Hal ini yang membedakan pengujian impak dan pengujian tarik, dimana beban diberikan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan salah satu uji mekanik yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik mekanik bahan seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik ulet-getas terhadap perubahan suhu

Berikut adalah data hasil pengujian impak pada plat ASTM A36

menggunakan elektroda E6013 Impor dan E420-13 Lokal. Pada penelitian ini menggunakan beberapa variasi suhu yaitu sebesar -20, 0 dan 20. Hal ini dilakukan mengetahui kekuatan impak dengan variasi suhu yang berbeda yang digunakan untuk sebagai perbandingan antara energi yang diserap dan nilai impak yang didapatkan.

**Tabel 4.10** Hasil Pengujian Impak Suhu -20

Sampel	Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Energi (J)	Nilai Impak (J/cm <sup>2</sup> )
E 420-13	120	-20	0,7958	10	12,57
E 420-13	155	-20	0,7873	25	31,75
E 420-13	190	-20	0,7405	15	20,26
E 6013	120	-20	0,7699	35	45,46
E 6013	155	-20	0,7865	110	139,86
E 6013	190	-20	0,8015	47	58,64

Dapat dilihat pada Tabel 4.10 hasil pengujian impak pada suhu -20°C didapatkan energi terserap yang tertinggi sebesar 110 *Joule* pada elektroda E6013 impor dengan menggunakan arus 155 A sehingga mendapatkan nilai harga impak sebesar 139,86 J/cm<sup>2</sup>. Dan energi terserap yang terkecil sebesar 10 *Joule* pada elektroda E420-13 Lokal dengan menggunakan arus 120 A sehingga mendapatkan nilai impak sebesar 12,57 J/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 4.11** Hasil Pengujian Impak Suhu 0

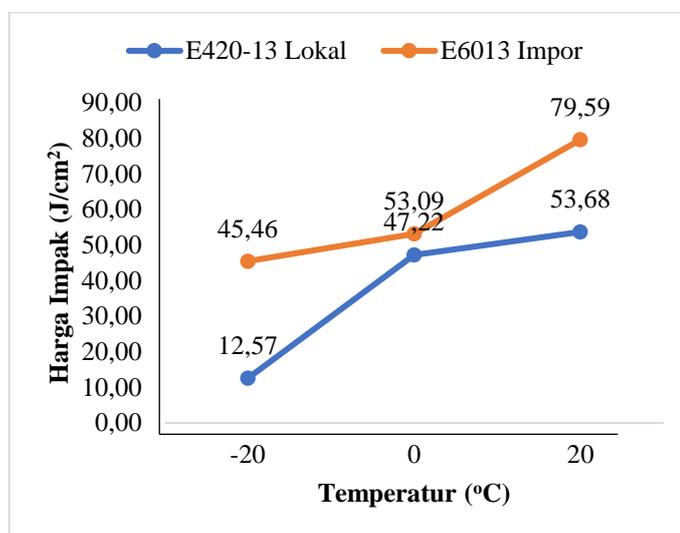
Sampel	Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Energi (J)	Nilai Impak (J/ cm <sup>2</sup> )
E 420-13	120	0	0,8047	38	47,22
E 420-13	155	0	0,7988	40	50,08
E 420-13	190	0	0,7935	17	21,42
E 6013	120	0	0,8099	43	53,09
E 6013	155	0	0,8015	121	150,97
E 6013	190	0	0,8078	32	39,61

Dapat dilihat pada Tabel 4.11 hasil pengujian impak pada suhu 0°C didapatkan energi terserap yang tertinggi sebesar 121 *Joule* pada elektroda E6013 impor dengan menggunakan arus 155 A sehingga mendapatkan nilai harga impak sebesar 150,97 J/cm<sup>2</sup>. Dan energi terserap yang terkecil sebesar 17 *Joule* pada elektroda E420-13 Lokal dengan menggunakan arus 190 A sehingga mendapatkan nilai impak sebesar 21,42 J/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 4.12** Hasil Pengujian Impak Suhu 20

Sampel	Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Energi (J)	Nilai Impak (J/ cm <sup>2</sup> )
E 420-13	120	20	0,7824	42	53,68
E 420-13	155	20	0,7943	38	47,84
E 420-13	190	20	0,8165	54	66,14
E 6013	120	20	0,8041	64	79,59
E 6013	155	20	0,8195	84	102,50
E 6013	190	20	0,8161	81	99,25

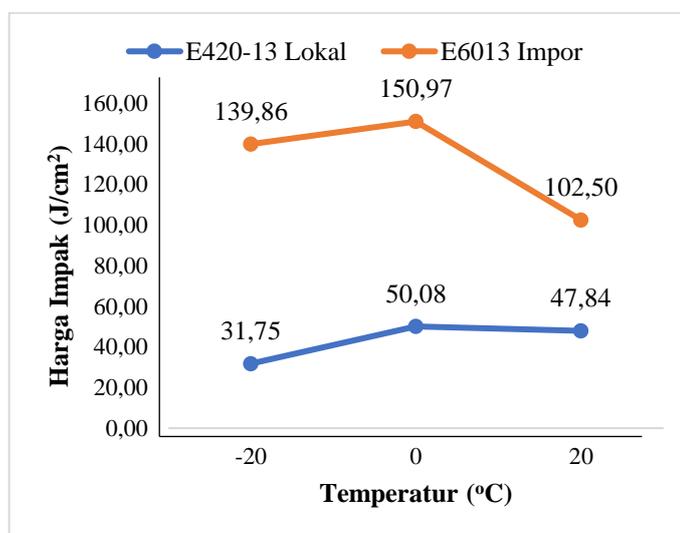
Dapat dilihat pada Tabel 4.12 hasil pengujian impact pada suhu 20°C didapatkan energi terserap yang tertinggi sebesar 84 *Joule* pada elektroda E6013 impor dengan menggunakan arus 155 A sehingga mendapatkan nilai harga impact sebesar 102,50 J/cm<sup>2</sup>. Dan energi terserap yang terkecil sebesar 38 *Joule* pada elektroda E420-13 Lokal dengan menggunakan arus 155 A sehingga mendapatkan nilai impact sebesar 47,84 J/cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.9** Grafik Harga Impact Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 120 A

Dari Gambar 4.9 dapat dijelaskan bahwa semakin besar temperatur perlakuan, semakin besar pula harga kekuatan impact atau dengan kata lain harga impact meningkat seiring dengan naiknya temperatur. Kenaikan tersebut, terjadi secara *linear*. Pada elektroda E6013 Impor memiliki jenis patahan ulet yang dapat dilihat pada temperatur -20°C sampai dengan 20°C. Sedangkan pada elektroda E420-13 Lokal mulai dari temperatur -20°C memiliki jenis patahan getas dan mulai pada temperatur 0°C naik secara signifikan sampai dengan temperatur 20°C yang memiliki jenis patahan ulet. Hal ini menjelaskan bahwa untuk bahan baja

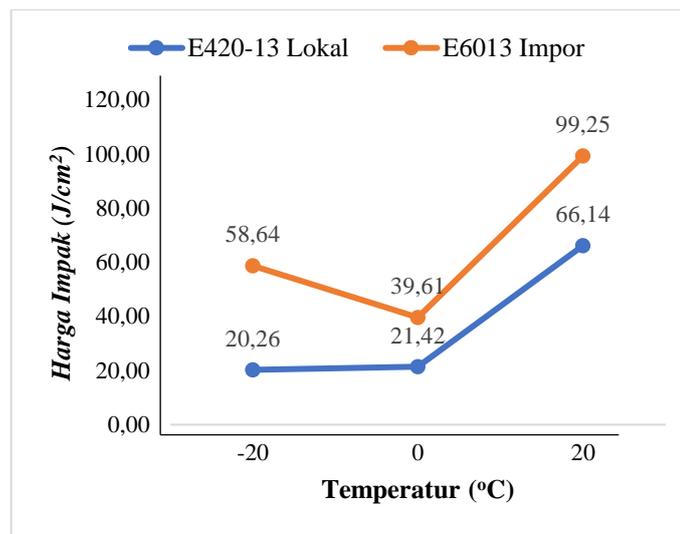
karbon rendah seperti ASTM A36 dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal akan menjadi sangat getas pada temperatur dibawah 0°C atau pada temperatur ekstrim. Dan sampai pada temperatur 20°C bahan bersifat ulet karena dibutuhkan energi yang besar untuk mematahkan spesimen akibat vibrasi atom yang juga meningkat pada suhu tinggi.



**Gambar 4.10** Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 155 A

Dari Gambar 4.10 dapat dijelaskan bahwa semakin besar temperatur perlakuan, semakin besar kekuatan impact atau dengan kata lain harga impact akan meningkat seiring naiknya temperatur. Kenaikan tersebut, terjadi secara tidak *linear* pada elektroda E6013 Impor dikarenakan pada temperatur -20°C dan 0°C spesimen uji impact tidak mengalami patah. Hal ini disebabkan beberapa faktor seperti peletakan spesimen tidak berada diposisi tengah arah bandul. Pada elektroda E6013 Impor memiliki jenis patahan ulet pada masing-masing temperatur. Sedangkan pada elektroda E420-13 pada temperatur -20°C memiliki patahan getas dan pada temperatur 0°C sampai 20°C memiliki jenis patahan yang ulet. Hal in menjelaskan

bahwa untuk bahan baja karbon rendah seperti ASTM A36 dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal akan getas pada temperatur  $-20^{\circ}\text{C}$ . dan sampai temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  bahan bersifat ulet karena dibutuhkan energi yang besar untuk mematahkan spesimen akibat vibrasi atom yang meningkat pada suhu tinggi.



**Gambar 4.11** Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 190 A

Dari Gambar 4.11 dapat dijelaskan bahwa semakin besar temperatur perlakuan, semakin besar kekuatan impak atau dengan kata lain harga impak akan meningkat seiring naiknya temperatur. Kenaikan tersebut, terjadi secara tidak *linear* pada elektroda E6013 Impor jenis patahan yang didapatkan yaitu patahan ulet pada temperatur  $-20^{\circ}\text{C}$  dan  $20^{\circ}\text{C}$ . Namun pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  spesimen uji impak mengalami patah getas. Hal ini disebabkan beberapa faktor seperti peletakan spesimen tidak berada diposisi tengah arah bandul. Sedangkan pada elektroda E420-13 pada temperatur  $-20^{\circ}\text{C}$  memiliki patahan getas dan pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $20^{\circ}\text{C}$  memiliki jenis patahan yang ulet. Hal in menjelaskan bahwa untuk bahan baja karbon rendah seperti ASTM A36 dengan menggunakan elektroda

E420-13 Lokal akan getas pada temperatur  $-20^{\circ}\text{C}$ . dan sampai temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  bahan bersifat ulet karena dibutuhkan energi yang besar untuk mematahkan spesimen akibat vibrasi atom yang meningkat pada suhu tinggi.

Ketangguhan suatu bahan dapat diperkirakan dengan dengan mengamati bentuk patahan yang terjadi. Semakin banyak persentase perpatahan berserat atau berbentuk *dimple* menandakan bahan tersebut semakin ulet yang berarti semakin tangguh. Sebaliknya, semakin halus dan datar permukaannya, maka material tersebut akan semakin getas dan rapuh (Zuhaimi. 2016). Berikut ini ditunjukkan permukaan perpatahan pada bahan dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor.



**Gambar 4.12** Permukaan Patahan Pada Elektroda E420-13 Lokal

Dapat dilihat pada Gambar 4.12 merupakan salah satu sampel hasil dari pengujian impak dengan menggunakan temperatur ekstrim  $-50^{\circ}$ , pada temperatur ini dapat dilihat bahwa patahan yang terjadi pada bahan dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal adalah patah getas. Dikarenakan patahannya halus pada bagian permukaan. Menurut Ahmad (Ahmad. 2009), perpatahan getas dihasilkan oleh mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir dari bahan yang rapuh (*brittle*) ditandai dengan permukaan patahan yang datar dan mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi.



**Gambar 4.13** Permukaan Patahan Pada Elektroda E6013 Impor

Dapat dilihat pada Gambar 4.13 merupakan salah satu sampel hasil pengujian impak dengan temperatur ekstrim sebesar  $-50^{\circ}$ , pada temperatur ini dapat dilihat patahan yang terjadi pada bahan menggunakan elektroda E6013 Impor adalah patah ulet. Dikarenakan, pada bagian permukaan patahan terdapat serat. Namun, pada arus 155 A sampel tidak patah dikarenakan pada saat pengujian ini, letak *weld metal* tidak berada ditengah takikan, hal ini diketahui ketika proses etsa pada proses pengujian metalografi sehingga pada arus 155 A mengalami patahan campuran.

Menurut Ahmad (Ahmad. 2009), perpatahan ulet, berserat yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal didalam bahan yang ulet (*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk *dimple* yang menyerap cahaya. Sedangkan, perpatahan campuran (berserat dan *granular*) merupakan kombinasi dari dua jenis perpatahan ulet dan getas.

#### 4.5 Pengujian *Bending* E420-13 Lokal dan E6013 Impor

Pengujian *bending* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekuatan hasil sambungan las pada bagian daerah las (Airin. 2019). Pengujian *bending* pada

penelitian ini menggunakan standar SNI 07-0049-1987 untuk mengetahui kekuatan lentur (*bending*) suatu material dapat dilakukan dengan pengujian lentur terhadap specimen tersebut. Kekuatan *bending* merupakan tegangan *bending* yang terbesar akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar. Besar kekuatan *bending* tergantung pada jenis spesimen dan pembebanan.

Dapat dilihat pada tabel 4.13 pada pengujian *bending* dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal mengalami retak pada arus 120 A, 155 dan 190 A dengan diberikan beban dengan sudut tekuk sebesar 120°C. Sedangkan pada arus 120 A dan 150 A dengan menggunakan elektroda E6013 Impor tidak mengalami retak. Namun pada arus 190 A mengalami retak dengan dengan sudut tekuk 120°C.

**Tabel 4.13** Hasil Pengujian *Bending*

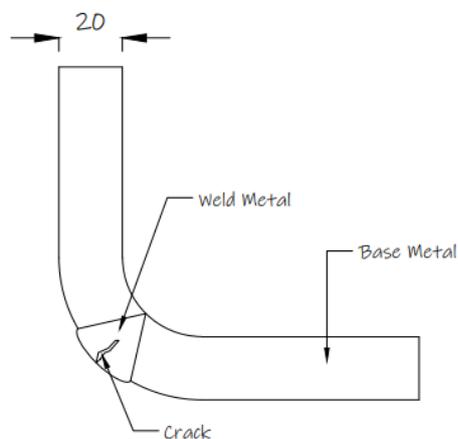
Benda Uji	Arus (Ampere)	Dimensi (mm)		Sudut Tekuk (°)	Keterangan
		Panjang	Tebal		
E6013 Impor	120	38,49	9,75	120	Tidak Retak
E6013 Impor	155	38,60	9,80	120	Tidak Retak
E6013 Impor	190	38,80	9,83	120	Retak
E420-13 Lokal	120	38,87	9,34	120	Retak
E420-13 Lokal	155	38,31	9,42	120	Retak
E420-13 Lokal	190	38,96	9,46	120	Retak

Dapat dilihat pada Gambar 4.14 pengaruh arus pada sudut tekuk. Pada elektroda E6013 Impor. Pada gambar ini dijelaskan dengan menggunakan arus 120 A dengan panjang spesimen sebesar 38,49 cm dengan ketebalan material 9,75 mm tidak mengalami retak pada bagian yang diberikan tegangan pada daerah las.

Dengan menggunakan arus 155 A dengan panjang spesimen sebesar 38,60 cm dan ketebalan material sebesar 9,8 mm tidak mengalami retak pada bagian daerah las. Sedangkan, pada arus 190 A dengan panjang spesimen 38,80 cm dan ketebalan material sebesar 9,83 mm mengalami retak akibat pembebanan pada bagian daerah las. Dengan menggunakan elektroda E6013 Impor pada arus 190 A mengalami retak. Hal ini disebabkan adanya cacat pengelasan pada permukaan hasil sambungan lasan sehingga akan menurunkan kekuatan sifat mekanik material tersebut



**Gambar 4.14** Retak Pada E420-13 Lokal



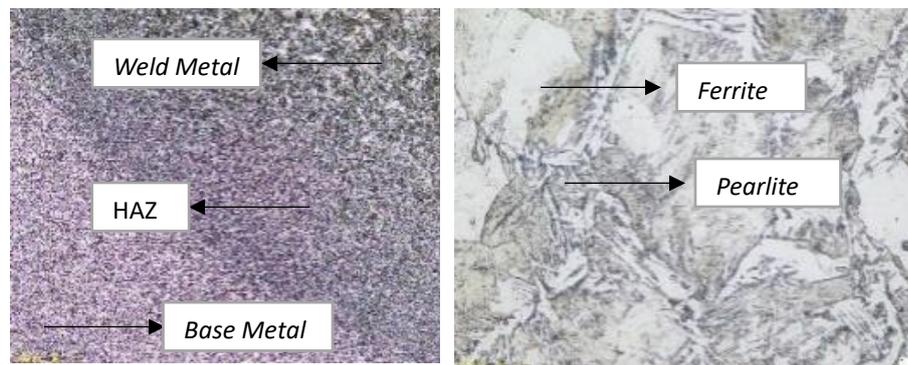
**Gambar 4.15** Sketsa Retak Pada E6013 Impor 190 A.

Dapat dilihat pada Gambar 4.15 pengaruh arus terhadap sudut tekuk. Pada arus 120 A dengan panjang spesimen sebesar 38,87 cm dan ketebalan material sebesar 9,34 mm mengalami tidak retak pada bagian dasar las. Pada arus 155 A dengan panjang spesimen sebesar 38,31 cm dan ketebalan material sebesar 9,42 mm mengalami tidak retak pada bagian dasar las. Sedangkan, pada arus 190 A dengan panjang spesimen sebesar 38,96 cm dan ketebalan material sebesar 9,46 mm mengalami retak pada bagian dasar las. Dengan menggunakan elektroda E6013 Impor mengalami tidak retak pada arus 120 A dan 155 A. Namun pada arus 190 A mengalami retak dikarenakan dipengaruhi oleh proses pengelasan sehingga penetrasi tidak mencapai logam induk.

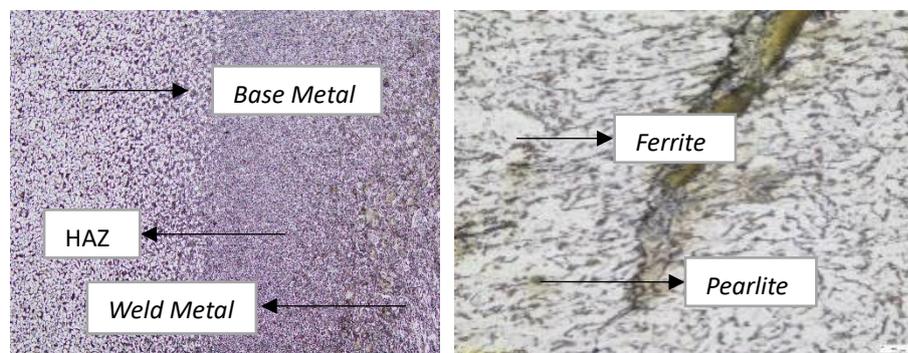
Menurut Rosidi (Rosidi, 2019), dari hasil pengujian lengkung tekan untuk mengidentifikasi bahwa keretakan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh pengelasan dimana arus yang diberikan cukup besar dengan kecepatan *relative* cepat, sehingga penetrasi yang terjadi tidak mencapai dasar logam induk.

#### **4.6 Pengujian Metalografi E420-13 Lokal dan E6013 Impor**

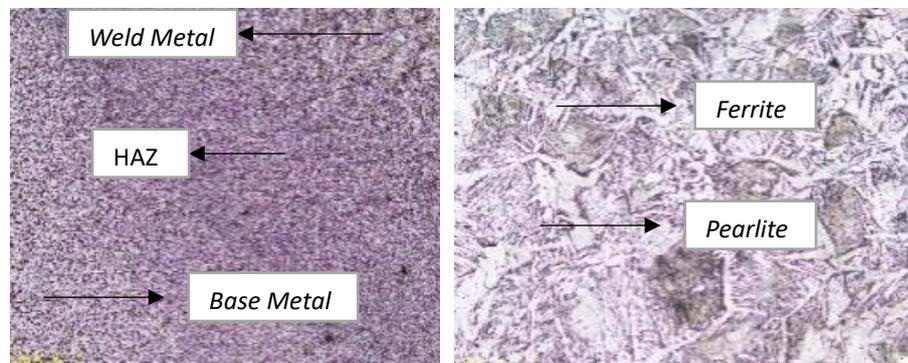
Pengujian metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada Baja A36 dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor pada suhu ekstrim  $-50^{\circ}$ . Sampel uji metalografi ini menggunakan sampel pengujian impact dengan variasi arus 120 A, 155 dan 190 A. Pada pengujian metalografi dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor fasa yang terbentuk adalah fasa *ferrite* dan *pearlite*. Dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 hasil pengujian metalografi.



(a) Hasil metalografi E6013 Impor 120 A



(b) Hasil metalografi E6013 Impor 155 A

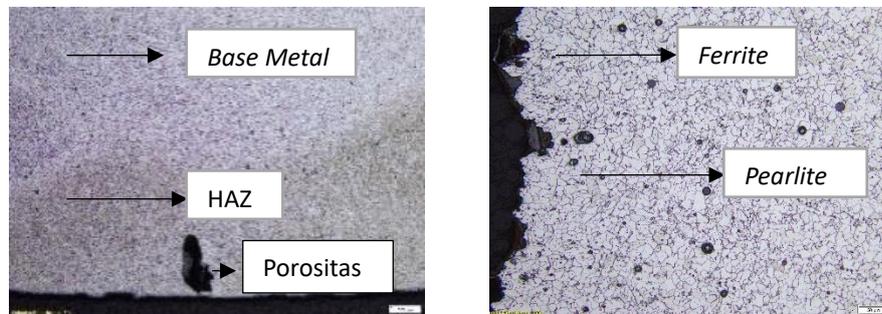


(c) Hasil metalografi E6013 Impor 190 A

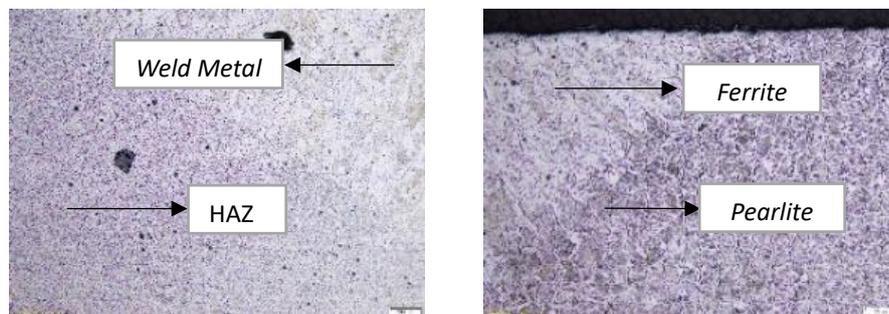
**Gambar 4.16** Hasil pengujian metalografi E6013 Impor

Pengamatan yang dilakukan pada material dengan polaritas arus DC diketahui bahwa logam induk memiliki struktur mikro yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* adalah fase larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). Pengamatan fasa-fasa pada *weld metal* diperoleh fasa *ferrite* lebih dominan dibanding *pearlite*. *Pearlite* merupakan fasa *ferrite* dan *cementite* terjadi

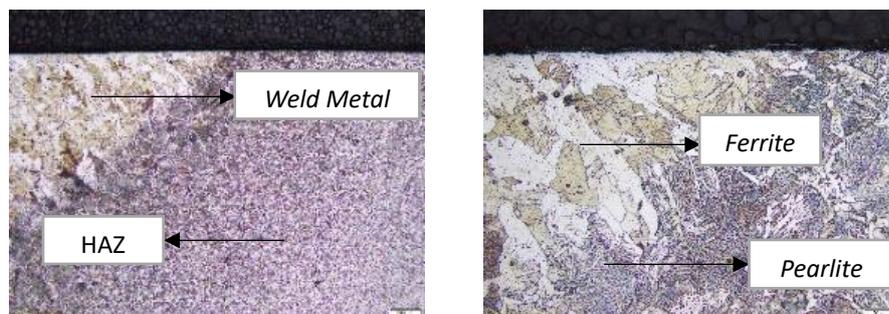
dengan reaksi tiga fasa *eutectoid*. Semakin sedikit jumlah *pearlite* menunjukkan kandungan karbon yang semakin rendah dari logam



(a) Hasil metalografi E420-13 Lokal 120 A



(b) Hasil metalografi E420-13 Lokal 155 A

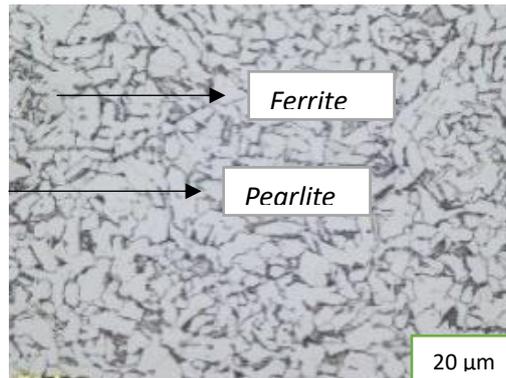


(c) Hasil metalografi E420-13 Lokal 190 A

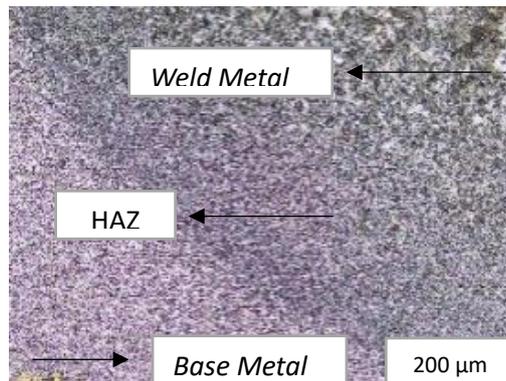
**Gambar 4.17** Hasil Metalografi E420-13 Lokal

Dapat dilihat pada Gambar 4.17 hasil metalografi dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal pengamatan yang dilakukan pada material dengan polaritas arus DC diketahui bahwa logam induk memiliki struktur mikro yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* adalah fase larutan padat yang memiliki

struktur BCC (*body centered cubic*). Pengamatan fasa-fasa pada *weld metal* diperoleh fasa *pearlite* lebih dominan dibanding *ferrite*. *Pearlite* merupakan fasa *ferrite* dan *cementite* terjadi dengan reaksi tiga fasa *eutectoid*. Semakin sedikit jumlah *pearlite* menunjukkan kandungan karbon yang semakin rendah dari logam



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.18** (a) Daerah *Base Metal* (b) Daerah *HAZ* (c) Daerah *Weld Metal*

Dapat dilihat pada gambar 4.18 Struktur mikro dengan menggunakan elektroda E6013 Impor. Pengamatan struktur mikro ini untuk melihat perubahan struktur yang terjadi pada material baja ASTM A36. Pengamatan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x pada *base metal*, 50x pada daerah HAZ dan 500x pada daerah *weld metal* Pengamatan dilakukan pada titik yang sama. Pengamatan dilakukan pada tiga titik yang berbeda yaitu pada daerah *base metal*, daerah HAZ dan daerah *weld metal*.

*Ferrite* ( $Fe\alpha$ ) yaitu larutan padat dengan prosentase karbon 0,008% C pada suhu kamar dan kelarutan 0,025% C pada suhu 723°C. *Ferrit* bersifat lunak dan keuletan nya tinggi. *Cementite* adalah senyawa Fe + C  $Fe_3C$  (karbida besi) yang merupakan senyawa dengan kadar karbon 6,67%, bersifat sangat keras ( $\pm 650$  BHN), getas, dan kekuatan sangat rendah ( $\pm 350$  kg/cm<sup>2</sup>). Oleh karena itu semakin banyak *cementite* dan *Pearlite* adalah *eutectoid mixture* dari *cementite* dan *ferrite* pada karbon 0,8%. Dan struktur mikronya berlapis – lapis antara *ferrite* dan *cementite*. Oleh karena itu sifat *pearlite* adalah gabungan antara sifat *ferrite* dan *cementite* yaitu agak keras dengan keuletan yang tinggi

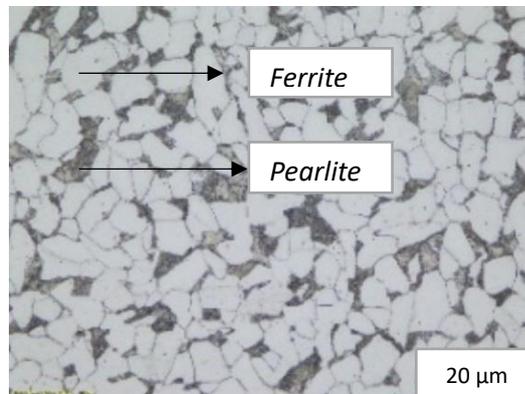
Pengamatan pada fasa-fasa pada hasil pengelasan menggunakan elektroda E6013 Impor diperoleh fasa *ferrite* lebih dominan dibandingkan dengan *pearlite*. Semakin sedikit jumlah *pearlite* menunjukkan kandungan karbon yang semakin rendah dari logam (Affi, J. 2007). Efek paling besar diberikan oleh paduan  $TiO_2$  pada elektroda jenis kalium titania tinggi dengan ukuran butir paling kecil. Paduan  $TiO_2$  mempunyai pengaruh yang signifikan pembentuk *ferrite* dan menekan jumlah *austenite*. Dengan kata lain, transformasi dari *austenite* ke *ferrite* dipercepat oleh *flux*

TiO<sub>2</sub>. Jika proses transformasi difasilitasi oleh *flux* ini berarti kemungkinan pengintian fasa *ferrite* yang lebih banyak dan fasa menghasilkan fasa *ferrite*.

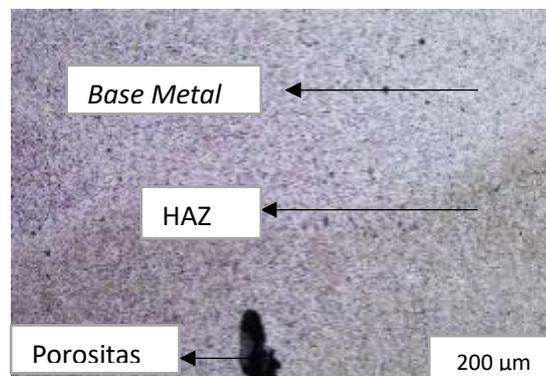
Menurut Rihyat, *ferrite* dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperature ruang, yaitu *alpha-ferrite* atau pada temperature tinggi, yaitu *delta-ferrite*. Secara umum fase ini bersifat lunak (*soft*), ulet (*ductile*), dan magnetik (*magnetic*) hingga temperature tertentu. Kelarutan karbon di dalam fase ini temperature lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase *Austenite*. Pada temperature ruang, kelarutan karbon di dalam *alpha-ferrite* hanyalah sekitar 0,05%. *Pearlite* adalah suatu campuran *lamellar* dari *ferrite* dan *cementite*. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi *Austenite* melalui reaksi *eutectoid* pada keadaan setimbang, dimana lapisan *ferrite* dan *cementite* terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi *eutectoid*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras daripada *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fase *cementite* dalam bentuk lamel.

Dapat dilihat pada gambar 4.19 Struktur mikro dengan menggunakan eletkroda E420-13 Lokal. Pengamatan struktur mikro ini untuk melihat perubahan stuktur yang terjadi pada material baja ASTM A36. Pengamatan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x pada *base metal*, 50x pada daerah HAZ dan 500x pada daerah *weld metal* Pengamatan dilakukan pada titik yang sama. Pengamatan dilakukan pada tiga titik yang berbeda yaitu pada daerah *base metal*, daerah HAZ dan daerah *weld metal*. Pada hasil pengamatan struktur mikro pada hasil sambungan lasan menggunakan elektroda E420-13 Lokal terdapat cacat

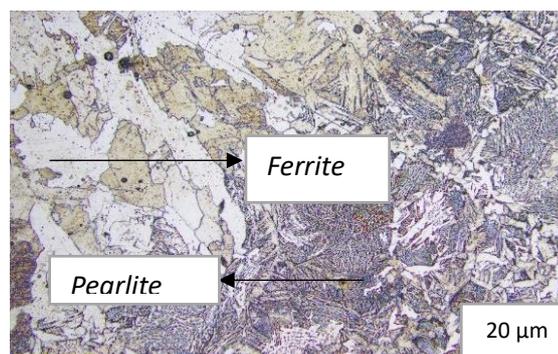
porositas terlihat pada hasil metalografi dengan perbesaran 50x pada daerah HAZ.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.19** (a) Daerah *Base Metal* (b) Daerah HAZ (c) Daerah *Weld Metal*

E420-13 Lokal

Ferit ( $Fe\alpha$ ) yaitu larutan padat dengan prosentase karbon 0,008% C pada suhu kamar dan kelarutan 0,025% C pada suhu  $723^{\circ}C$ . Ferit bersifat lunak dan

keuletannya tinggi. *Cementite* adalah senyawa  $Fe + C \rightarrow Fe_3C$  (karbida besi) yang merupakan senyawa dengan kadar karbon 6,67%, bersifat sangat keras ( $\pm 650$  BHN), getas, dan kekuatan sangat rendah ( $\pm 350$  kg/cm<sup>2</sup>). Oleh karena itu semakin banyak *cementite* dan *Pearlite* adalah eutektoid *mixture* dari *cementite* dan ferit pada karbon 0,8%. Dan struktur mikronya berlapis – lapis antara ferit dan *cementite*. Oleh karena itu sifat perlit adalah gabungan antara sifat ferit dan *cementite* yaitu agak keras dengan keuletan yang tinggi.

Menurut Rihyat *ferrite* dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperature ruang, yaitu *alpha-ferrite* atau pada temperature tinggi, yaitu *deltaferrite*. Secara umum fase ini bersifat lunak (*soft*), ulet (*ductile*), dan magnetik (*magnetic*) hingga temperature tertentu. Kelarutan karbon di dalam fase ini temperature lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase *Austenite*. Pada temperature ruang, kelarutan karbon di dalam *alpha-ferrite* hanyalah sekitar 0,05%. Sementara *Pearlite* adalah suatu campuran lamellar dari *ferrite* dan *cementite*. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi *Austenite* melalui reaksi *eutectoid* pada keadaan setimbang, di mana lapisan *ferrite* dan *cementite* terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi *eutectoid*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras daripada *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fasa *cementite* atau *carbide* dalam bentuk lamel-lamel.