

Analisis *Mechanical Properties* API 5L X52 Pengelasan SMAW Pada Subsea Pipeline

Bernard Christian Situmorang¹, Djoko W Karmiadji¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta
Email: situmorangbernard@gmail.com, djokow@univpancasila.ac.id

ABSTRAK

Berdasarkan hasil pengujian *tensile test* pada sembilan variasi pengelasan maka didapat nilai rata-rata untuk elektroda kawat las E7016/7018 dengan nilai rata-rata 606 N/mm² dan sembilan variasi pengelasan dengan elektroda kawat las E6010/7010 dengan nilai rata-rata 578 N/mm². Pengujian *Vickers test* dengan sembilan variasi pengelasan didapatkan hasil untuk elektroda kawat las E6010/7010 dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 168 HV dan untuk sembilan variasi pengelasan menggunakan elektroda kawat las E7016/7018 mendapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 182 HV. Pengujian *charpy test* menggunakan variasi sembilan pengelasan dengan menggunakan elektroda kawat las E6010/7010 nilai rata-rata *impact value* nya sebesar 117 *Joule* dan untuk sembilan variasi pengelasan dengan menggunakan elektroda kawat las E7016/7018 nilai rata-rata *impact value* nya sebesar 173 *Joule*. Sedangkan untuk hasil pengujian *macro test* untuk sembilan variasi pengelasan elektroda kawat las E6010/7010 dan elektroda kawat las E7016/7018 tidak ditemukan ada nya *internal crack*, *undercut* dan *incomplete fusion*.

Kata kunci: SMAW ; *Tensile Test* ; *Vickers Test* ; *Charpy Test* ; *Macro Test*

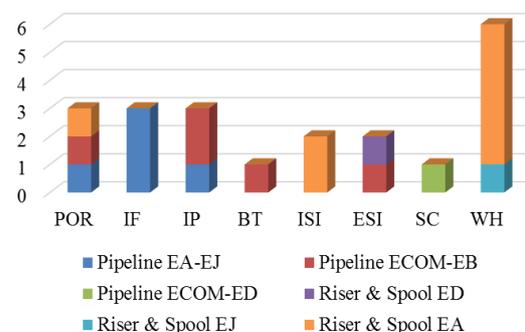
ABSTRACT

Based on the *tensile test* results on nine welding variations, the average value for the welding wire electrode is E7016/7018 with an average value of 606 N/mm² and nine variations of welding with the welding wire electrode E6010/7010 with an average value of 578 N/mm². The *Vickers test* with nine variations of welding obtained results for the welding wire electrode E6010/7010 with an average hardness value of 168 HV and for nine variations of welding using the welding wire electrode E7016/7018 the average hardness value was 182 HV. The *charpy test* used nine variations of welding using welding wire electrodes E6010/7010 the average *impact value* was 117 *Joules* and for nine variations of welding using welding wire electrodes E7016/7018 the average *impact value* was 173 *Joules*. Meanwhile, the results of the *macro test* for nine variations of welding electrode welding wire E6010/7010 and welding wire electrode E7016/7018 were not found to have *internal cracks*, *undercuts* and *incomplete fusion*.

Keywords: SMAW ; *Tensile Test* ; *Vickers Test* ; *Charpy Test* ; *Macro Test*

PENDAHULUAN

PT. BCS adalah suatu kontraktor EPCI (*Engineering Procurement Construction and Installation*) yang sudah sering mengerjakan pekerjaan pemasangan pipa penyalur minyak dan gas di bawah laut. Adapun jenis pengelasan yang sering digunakan adalah metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dimana pengelasan tersebut rentan akan cacat las (*defect*) yang diakibatkan dari kesalahan *Welder* atau lingkungan sekitar pengelasan. Adapun cacat las yang sering ditemukan adalah *Porosity*, *Incomplete Fusion*, *Burn Through*, *Incomplete Penetraion*, *Worm Hole*, *Internal Slag Inclusion*, dan *External Slag Inclusion* yang ditunjukkan pada grafik (Gambar1) [1].



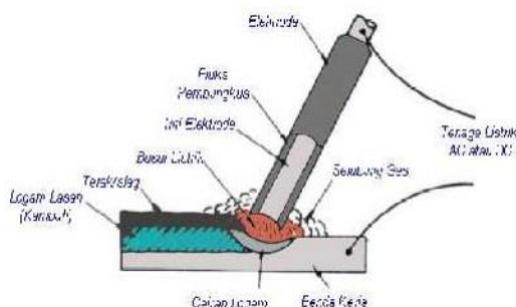
Gambar 1 Grafik Cacat Las (*Defect*)

Proses penelitian ini menggunakan landasan dalam penelitian melalui teori-teori dari jurnal-jurnal penelitian nasional dan internasional yang berkaitan dengan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) untuk mengurangi cacat las dan karakteristik sifat mekanis dari hasil pengelasan tersebut [2]-[6]. Hasil pengelasan yang baik diperoleh dengan menjaga jarak busur, menggerakkan elektroda pada kecepatan yang sama, dan memakamkan elektroda ke benda kerja dengan kecepatan konstan seraya elektroda tersebut mencair. Beberapa penelitian dalam usaha mengurangi cacat las telah dilakukan antara lain ssebagai berikut, H. Yamamoto [7] dalam penelitiannya tentang pengembangan Sistem Pengendali Arus *Welding* untuk mengurangi *porosity*, dengan merubah bentuk *pulse* dari *trapezoidal wave* menjadi *square wave*, menunjukkan hasil signifikan dalam mengurangi jumlah *porosity* yang muncul.

Permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini antara lain mengatasi cacat las proses pengelasan SMAW dengan kombinasi setting parameter optimum dan karakteristik sifat mekanis terhadap elektroda yang berbeda, dan pengaruh pengaturan arus listrik, kecepatan pengelasan, dan kawat elektroda yang berbeda dengan material pipa yang sama terhadap cacat las yang muncul. Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain mengetahui cacat las yang terjadi pada hasil pengelasan, mengetahui nilai kekerasan pada hasil pengelasan, dan mengetahui karakteristik sifat mekanis pada material

METODE PENELITIAN

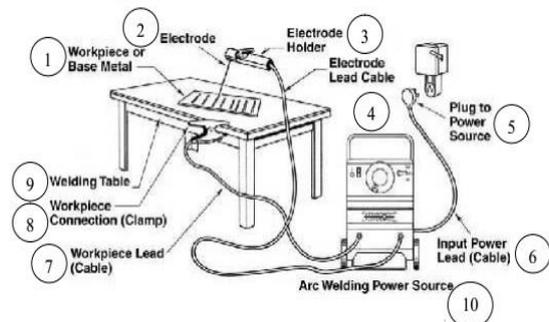
Proses pengelasan SMAW ketika ujung elektroda didekatkan pada logam induk akan terjadi busur api listrik yang akan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mencairkan ujung elektroda (kawat las) dan benda kerja secara setempat. Dengan adanya pencairan ini maka kampuh las akan terisi oleh logam cair yang berasal dari elektroda dan logam induk. Hal ini menyebabkan kawah cair membeku dan membentuk logam lasan (*weldment*) dan terak (*slag*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.



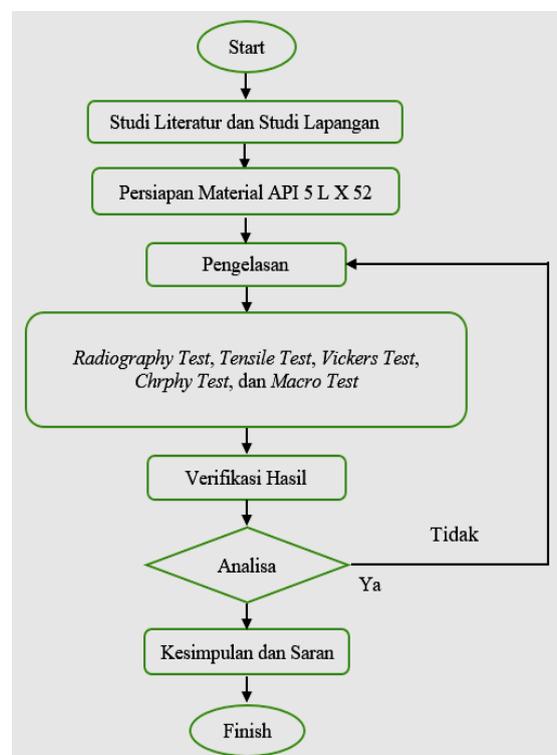
Gambar 2. Skema proses pengelasan SMAW

Skematik dari proses las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau las elektroda terbungkus adalah suatu proses penyambungan dua keping logam atau lebih,

menjadi suatu sambungan yang tetap, dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah/pengisi berupa elektroda terbungkus (*fluks*) yang ditunjukkan pada Gambar 3 [8]-[11].



Gambar 3. Peralatan pengelasan SMAW



Gambar 4. Diagram alir penelitian Tahapan penelitian ini berdasarkan diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Persiapan Benda Kerja

1. Mempersiapkan benda uji yang akan dilas dan mempersiapkan kawat las sesuai tujuan penelitian yaitu E6010/7010 dan E7016/7018 [12], [13].
2. Melakukan pengelasan benda kerja sseperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Proses pengelasan SMAW pada pipa size 6 inci

Agar penelitian yang dilaksanakan bisa terarah dan tidak meluas, maka perlu adanya batasan masalah yang dilakukan antara lain objek penelitian ini terpusat pada variasi penggunaan elektroda (kawat las) yang digunakan, yaitu antara elektroda E6010/E7010 dengan E7016/E7108 dengan menggunakan pipa size 6 inci, dan pengujian yang dilakukan meliputi *radiography test, tensile test, vickers test, hardness test, charphy test dan makro test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Uji Radiography

Uji Radiografi (*Radiography Test*) yang dilakukan dengan memakai alat *Gamma-Ray Portable*. Hasil Uji Radiografi (*Radiography Test*) yang dilakukan memunculkan data sebagaimana dapat dilihat dalam data Tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Uji Radiography

No.	Variasi Pengelasan (P)	Jenis Elektroda	Kuat Arus (A)	Kecepatan Las (mm/m)	Display Gamma Ray Viewer	Result
1.	1-1-1	E6010 atau E7010	80	62		No Defect
2.	1-1-2			104		No Defect
3.	1-1-3			127		No Defect
15.	2-2-3		127		No Defect	
16.	2-3-1		100	62		No Defect
17.	2-3-2			104		No Defect
18.	2-3-3			127		No Defect

Dari Tabel 1 terlihat bahwa baik pada 9 (Sembilan) variasi pengelasan dengan penggunaan variabel Elektroda (Kawat Las) jenis E6010/E7010 maupun pada 9 (Sembilan) variasi pengelasan dengan penggunaan variabel Elektroda (Kawat Las) jenis E7016/E7018 dimana masing-masing dikombinasikan penggunaannya dengan penerapan tiga parameter kuat arus dan kecepatan pengelasan yang berbeda-beda, semuanya menunjukkan hasil 'No Defect' pada material di daerah pengelasannya masing-masing. Berdasarkan data yang ada tersebut dapat dinyatakan bahwa untuk pengelasan metode SMAW pada pipa *seamless* ukuran 6 Inchi API 5L X52, antara penggunaan variabel elektroda (Kawat Las) jenis E6010/E7010 yang masing-masing dikombinasikan penggunaannya dengan penerapan tiga parameter kuat arus dan kecepatan pengelasan yang berbeda-beda, maupun penggunaan variabel elektroda (Kawat Las) jenis E7016/E7018 yang masing-masing dikombinasikan juga penggunaannya dengan penerapan tiga parameter kuat arus dan kecepatan pengelasan yang berbeda-beda, keduanya sama-sama terbukti tidak berpengaruh terhadap potensi terjadinya cacat las atau *Defect*.

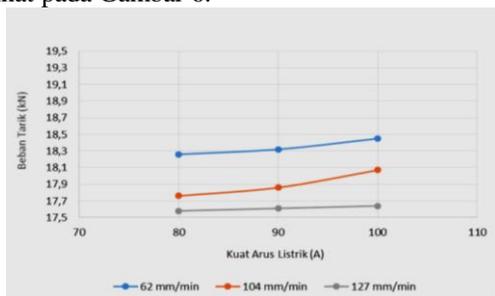
Data Hasil Uji Tarik

Berdasarkan sembilan variasi pengelasan dengan penggunaan variabel elektroda (Kawat Las) jenis E6010/E7010 dan pada sembilan variasi pengelasan dengan penggunaan variabel elektroda (Kawat Las) jenis E7016/E7018 dimana masing-masing dikombinasikan penggunaannya dengan penerapan tiga parameter kuat arus dan kecepatan pengelasan yang berbeda-beda, masing-masing menunjukkan tegangan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength*) yang berbeda beda dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Hasil Uji Tarik

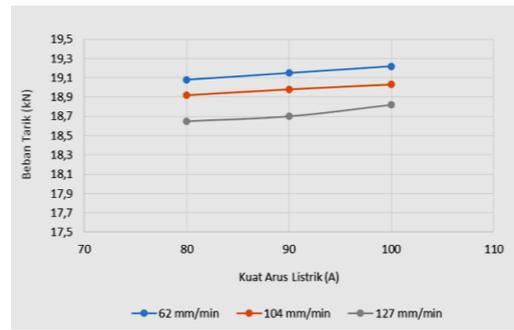
No	Variasi Pengelasan (P)	Jenis Elektroda	Kuat Arus (A)	Kecepatan Las (mm/min)	Ultimate Tensile Load (kN)	Ultimate Tensile Strength (N/mm ²)	Gauge Length (mm)	Final Gauge Length (mm)	Regangan Strain (mm)
1.	1-1-1	E6010 / E7010	80	62	18.26	588	25,00	29.48	0.18
2.	1-1-2			104	17.76	572	25,00	28.68	0.15
3.	1-1-3			127	17.58	566	25,00	28.38	0.14
4.	1-2-1		90	62	18.32	590	25,00	29.58	0.18
5.	1-2-2			104	17.86	575	25,00	28.83	0.15
6.	1-2-3			127	17.61	572	25,00	28.43	0.14
7.	1-3-1		100	62	18.45	594	25,00	29.78	0.19
8.	1-3-2			104	18.07	582	25,00	29.18	0.17
9.	1-3-3			127	17.64	568	25,00	28.48	0.14
10.	2-1-1	E7016	80	62	19.08	610	25,00	34.09	0.36
11.	2-1-2			104	18.92	605	25,00	33.81	0.35
12.	2-1-3			127	18.65	596	25,00	33.32	0.33
13.	2-2-1	E7018	90	62	19.15	612	25,00	34.22	0.37
14.	2-2-2			104	18.98	607	25,00	33.91	0.36
15.	2-2-3			127	18.70	598	25,00	33.41	0.34
16.	2-3-1	100	100	62	19.22	615	25,00	34.34	0.37
17.	2-3-2			104	19.03	609	25,00	34.00	0.36
18.	2-3-3			127	18.82	602	25,00	33.63	0.35

Pada variasi pengelasan dengan variabel elektroda E6010/E7010, Beban Tarik Maksimumnya ada pada variasi pengelasan dengan kombinasi Kuat Arus Listrik 100 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, sedangkan Beban Tarik Minimumnya ada pada variasi pengelasan dengan kombinasi Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 127 mm/min yang dapat terlihat pada Gambar 6.



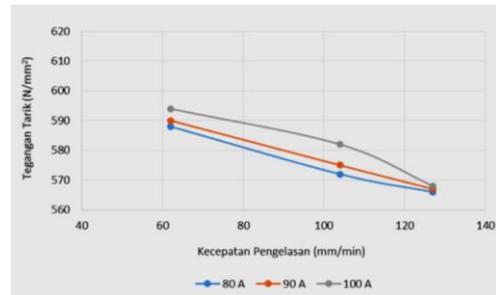
Gambar 6 Grafik Beban tarik E6010/7010

Pada variasi pengelasan dengan variabel elektroda E7016/E7018, Beban Tarik Maksimumnya ada pada variasi pengelasan dengan kombinasi Kuat Arus Listrik 100 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, sedangkan Beban Tarik Minimumnya ada pada variasi pengelasan dengan kombinasi Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 127 mm/min yang dapat terlihat pada Gambar 7.



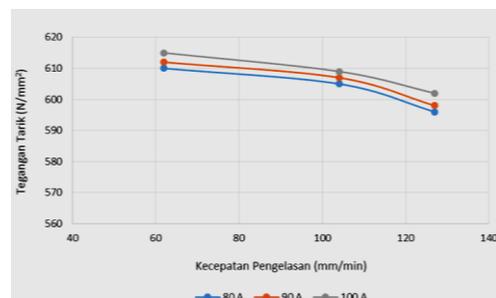
Gambar 7. Grafik Beban tarik E7016/7018

Pada variasi pengelasan dengan variabel elektroda E6010/E7010, Tegangan Tarik Maksimumnya ada pada variasi pengelasan dengan kombinasi Kuat Arus Listrik 100 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, sedangkan Tegangan Tarik Minimumnya ada pada variasi pengelasan dengan kombinasi Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 127 mm/min. yang terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Tegangan tarik E6010/7010

Pada variasi pengelasan dengan variabel elektroda E7016/E7018, Tegangan Tarik Maksimumnya ada pada variasi pengelasan dengan kombinasi Kuat Arus Listrik 100 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, sedangkan Beban Tarik Minimumnya ada pada variasi pengelasan dengan kombinasi Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 127 mm/min. yang terlihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Tegangan Tarik E7016/7018

Data Hasil Uji Kekerasan

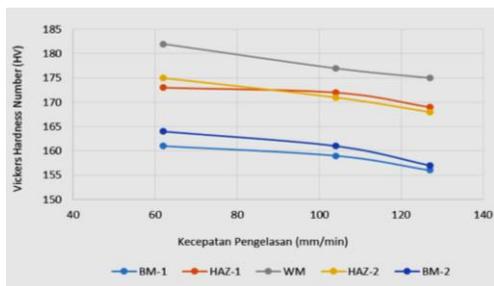
Uji Kekerasan (*Hardness Test*) terhadap 18 hasil pengelasan dengan variasi pengelasannya masing-masing, dilakukan di laboratorium dengan

menggunakan alat *The Mitutoyo Vickers Hardness Testing Machine*, Model: HV-113, S/N: 500261112. Uji Kekerasan (*Hardness Test*) terhadap 18 hasil pengelasan dengan variasi pengelasannya masing-masing tersebut, memunculkan data sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Data Hasil Uji Kekerasan

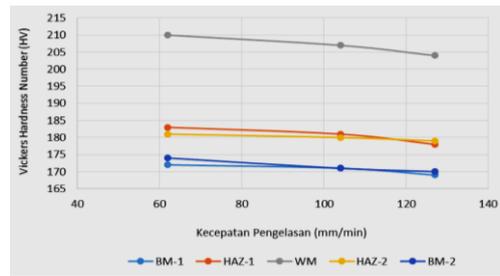
No.	Variasi Pengelasan (P)	Jenis Elek Troda	Kuat Arus (A)	Kecepatan Las (mm/m)	Rata-Rata Vickers Hardness Number (HV)				
					Pada Titik BM 1	Pada Titik HAZ 1	Pada Titik Weld Metal	Pada Titik HAZ 2	Pada Titik BM 2
01.	1-1-1	E6010 / E7010	80	62	161	173	182	175	164
02.	1-1-2			104	159	172	177	171	161
03.	1-1-3			127	156	169	175	168	157
04.	1-2-1		62	165	175	183	176	166	
05.	1-2-2		104	158	171	177	172	157	
06.	1-2-3		127	156	166	173	167	158	
07.	1-3-1		62	164	176	181	176	163	
08.	1-3-2		104	162	170	179	173	161	
09.	1-3-3		127	157	161	179	162	156	
10.	2-1-1	E7016 / E7018	80	62	172	183	210	181	174
11.	2-1-2			104	171	181	207	180	171
12.	2-1-3			127	169	178	204	179	170
13.	2-2-1		62	174	182	214	182	173	
14.	2-2-2		104	172	179	206	180	173	
15.	2-2-3		127	169	176	203	177	170	
16.	2-3-1		62	173	181	207	182	172	
17.	2-3-2		104	172	180	205	181	172	
18.	2-3-3		127	171	180	204	180	170	

Pada pengelasan dengan variabel Elektroda E6010/E7010 pada parameter Kuat Arus Listrik 80 A yang dikombinasikan dengan 3 (tiga) Kecepatan Pengelasan yang berbeda, *Vickers Hardness Number* tertinggi-nya ada di Titik *Weld Metal* (WM) yaitu sebesar 182 HV, sedangkan yang terendah ada di Titik Base Metal 1 (BM-1), yaitu sebesar 156 HV yang terlihat pada Gambar 10.



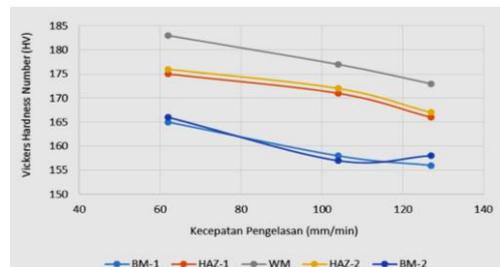
Gambar 10. Grafik Kekerasan E6010/7010 pada Kuat Arus Listrik 80 A

Pada pengelasan dengan variabel Elektroda E7016/E7018 pada parameter Kuat Arus Listrik 80 A yang dikombinasikan dengan 3 (tiga) Kecepatan Pengelasan yang berbeda, *Vickers Hardness Number* tertinggi-nya ada di Titik *Weld Metal* (WM) yaitu sebesar 210 HV, sedangkan yang terendah ada di Titik Base Metal 1 (BM-1), yaitu sebesar 169 HV yang terlihat pada Gambar 11.



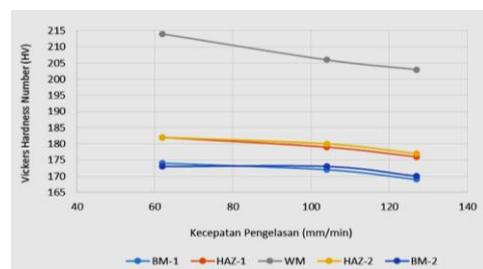
Gambar 11 Grafik Kekerasan E7016/7018 pada Kuat Arus Listrik 80 A

Pada pengelasan dengan variabel Elektroda E6010/E7010 pada parameter Kuat Arus Listrik 90 A yang dikombinasikan dengan 3 (tiga) Kecepatan Pengelasan yang berbeda, *Vickers Hardness Number* tertinggi-nya ada di Titik *Weld Metal* (WM) yaitu sebesar 183 HV, sedangkan yang terendah ada di Titik Base Metal 1 (BM-1), yaitu sebesar 156 HV yang terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Kekerasan E6010/7010 pada Kuat Arus Listrik 90 A

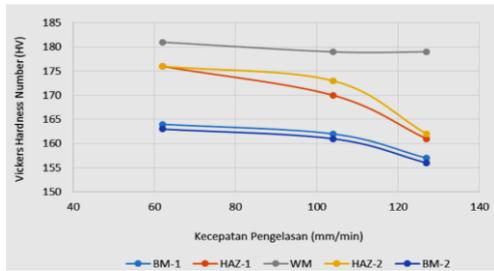
Pada pengelasan dengan variabel Elektroda E7016/E7018 pada parameter Kuat Arus Listrik 90 A yang dikombinasikan dengan 3 (tiga) Kecepatan Pengelasan yang berbeda, *Vickers Hardness Number* tertinggi-nya ada di Titik *Weld Metal* (WM) yaitu sebesar 214 HV, sedangkan yang terendah ada di Titik Base Metal 1 (BM-1), yaitu sebesar 169 HV yang terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Kekerasan E7016/7018 pada Kuat Arus Listrik 90 A

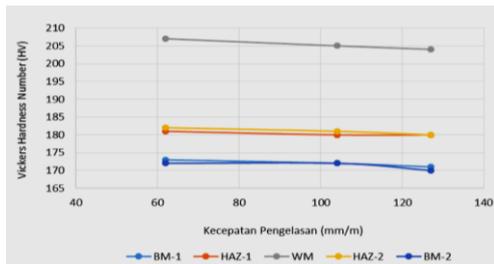
Pada pengelasan dengan variabel Elektroda E6010/E7010 pada parameter Kuat Arus Listrik 100 A yang dikombinasikan dengan 3 (tiga) Kecepatan Pengelasan yang berbeda, *Vickers Hardness Number* tertinggi-nya ada di Titik *Weld Metal* (WM) yaitu sebesar 181 HV, sedangkan yang terendah ada di Titik

Base Metal 1 (BM-1), yaitu sebesar 157 HV yang terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Kekerasan E6010/7010 pada Kuat Arus Listrik 100 A

Pada pengelasan dengan variabel Elektroda E7016/E7018 pada parameter Kuat Arus Listrik 100 A yang dikombinasikan dengan 3 (tiga) Kecepatan Pengelasan yang berbeda, Vickers Hardness Number tertingginya ada di Titik Weld Metal (WM) yaitu sebesar 207 HV, sedang-kan yang terendah ada di Titik Base Metal 1 (BM-1), yaitu sebesar 171 HV yang terlihat pada Gambar 15.



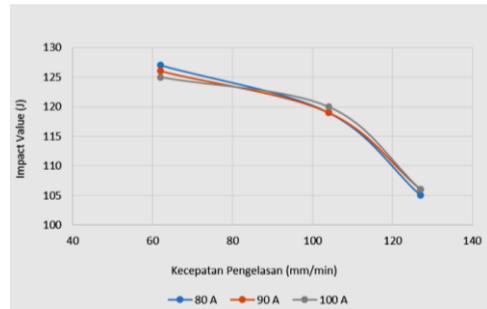
Gambar 15. Grafik Kekerasan E7016/7018 pada Kuat Arus Listrik 100 A

Data Hasil Uji Tumbuk

Uji Tumbuk (*Charpy Impact Test*) terhadap 18 hasil pengelasan dengan variasi pengelasannya masing-masing, dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat Zwick Roell RKP 450, S/N: 215240. Uji Tumbuk (*Charpy Impact Test*) yang dilakukan terhadap 18 hasil pengelasan dengan variasi pengelasannya masing-masing, memunculkan data sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 4.

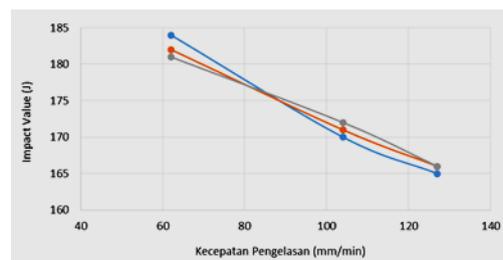
No.	Variasi Pengelasan (P)	Jenis Elektroda	Kuat Arus (A)	Kecepatan Las (mm/m)	Impact Value (J)					
					V-Notch Position WCL		V-Notch Position FL		Rata Rata	
					12.00	03.00	12.00	03.00		
1.	1-1-1	E6010 / E7010	80	62	84	75	182	167	127	
2.	1-1-2				104	67	73	174	162	119
3.	1-1-3				127	59	67	154	140	105
4.	1-2-1			62	85	76	179	168	126	
5.	1-2-2			104	66	74	174	162	119	
6.	1-2-3			127	58	65	156	145	106	
7.	1-3-1		62	82	73	179	166	125		
8.	1-3-2		104	67	76	173	164	120		
9.	1-3-3		127	57	64	155	148	106		
10.	2-1-1		62	124	111	267	234	184		
11.	2-1-2		104	118	105	236	221	170		
12.	2-1-3		127	115	102	225	218	165		
13.	2-2-1		62	125	112	259	232	182		
14.	2-2-2		104	117	104	239	224	171		
15.	2-2-3		127	116	101	228	219	166		
16.	2-3-1		62	123	110	265	226	181		
17.	2-3-2		104	119	106	239	224	172		
18.	2-3-3		127	115	102	231	216	166		

Pengelasan dengan variabel Elektroda E6010/E7010 yang dikombinasikan dengan 3 (Tiga) parameter Kuat Arus Listrik dan 3 (Tiga) Parameter Kecepatan Pengelasan, rata-rata Impact Value tertingginya ada pada variasi pengelasan dengan parameter Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, yaitu sebesar 127 J. Sedangkan rata-rata Impact Value terendah ada pada variasi pengelasan dengan parameter Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 127 mm/min, yaitu sebesar 105 J yang terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Impact Value pada Variasi E6010/7010

Pengelasan dengan variabel Elektroda E7016/E7018 yang dikombinasikan dengan 3 (Tiga) parameter Kuat Arus Listrik dan 3 (Tiga) Parameter Kecepatan Pengelasan, rata-rata Impact Value tertingginya ada pada variasi pengelasan dengan parameter Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, yaitu sebesar 184 J yang terlihat pada Gambar 17.



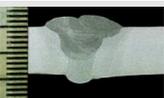
Gambar 17. Grafik Impact Value pada Variasi E7016/7018

Tabel 4. Data Hasil Uji Tumbuk

Data Hasil Uji Makro

Uji Makro (*Macro Examination*) terhadap 18 hasil pengelasan dengan variasi pengelasannya masing-masing dilakukan di laboratorium dengan memakai alat Macro Photography. Uji Makro (*Macro Examination*) yang dilakukan terhadap 18 hasil pengelasan dengan variasi pengelasannya masing-masing memunculkan data sebagaimana tercantum dalam Tabel 5.

Tabel 5. Data Hasil Uji Makro

No.	Variasi Pengelasan (P)	Jenis Elektroda	Kuat Arus (A)	Kecepatan Las (mm/m)	Macro-Photography	Result
1.	1-1-1	E6010 / E7010	80	62		Accepted
2.	1-1-2			104		Accepted
3.	1-1-3			127		Accepted
4.	1-2-1			62		Accepted
16.	2-3-1	E6010 / E7010	100	62		Accepted
17.	2-3-2			104		Accepted
18.	2-3-3			127		Accepted

Dari Tabel 5 terlihat bahwa baik pada 9 (Sembilan) variasi pengelasan dengan penggunaan variabel Elektroda (Kawat Las) jenis E6010/E7010 maupun pada 9 (Sembilan) variasi pengelasan dengan penggunaan variabel Elektroda (Kawat Las) jenis E7016/E7018 dimana masing-masing dikombinasikan penggunaannya dengan penerapan tiga parameter Kuat Arus dan Kecepatan Pengelasan yang berbeda-beda, semuanya menunjukkan hasil tidak ada cacat pada area HAZ.

Rangkuman

Berikut ini adalah pokok-pokok rangkuman atas pelaksanaan pengelasan yang dilakukan dalam penelitian:

- 1) Obyek Pengelasan, yaitu 1 (satu) batang pipa seamless 6 inchi API 5L X52 berukuran panjang 6m dipotong menjadi 18 (delapanbelas) potongan pipa yang masing-masing berukuran panjang 300 mm. Tiap-tiap potongan pipa tersebut kemudian dipotong lagi menjadi 2 (dua) bagian yang sama

panjang, sehingga total seluruhnya terdapat sebanyak 36 (tigapuluh enam) potongan pipa dengan panjang masing-masing 150 mm sebagai obyek pengelasan.

- 2) Variasi Pengelasan, yaitu kombinasi penggunaan 2 (dua) variabel utama berupa elektroda atau kawat las jenis E6010/E7010 dan E7016/E7018 dengan masing-masing 3 (tiga) alternatif pada parameter Kuat Arus dan Kecepatan Pengelasannya, sehingga total seluruhnya terdapat sebanyak 18 (delapanbelas) macam variasi pengelasan.
- 3) Resume Hasil Uji Radiografi Test, dari 18 (delapanbelas) variasi pengelasan dengan 2 (dua) variabel Elektroda yang masing-masing dikombinasikan dengan 3 (Tiga) parameter Kuat Arus Listrik dan 3 (Tiga) Parameter Kecepatan Pengelasan, tidak satupun yang memperlihatkan adanya Cacat Las karena semuanya menunjukkan hasil 'No Defect' dalam bacaan Alat Gamma Ray Portable.
- 4) Resume Hasil Uji Tarik (Tensile Test), dari 18 (delapanbelas) variasi pengelasan dengan 2 (dua) variabel Elektroda yang masing-masing dikombinasikan dengan 3 (Tiga) parameter Kuat Arus Listrik dan 3 (Tiga) Parameter Kecepatan Pengelasan, Tensile Strength tertingginya ada pada variasi pengelasan dengan variabel Elektroda E7016/E7018 pada parameter Kuat Arus Listrik 100 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, yaitu sebesar 615 N/mm² dengan Beban Tarik sebesar 19,22 kN. Sedangkan Tensile Strength terendah ada pada variasi pengelasan dengan variabel Elektroda E6010/E7010 pada parameter Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 127 mm/min, yaitu sebesar 566 N/mm² dengan Beban Tarik sebesar 17,58 kN.
- 5) Resume Hasil Uji Kekerasan Vickers, dari 18 (delapanbelas) variasi pengelasan dengan 2 (dua) variabel Elektroda yang masing-masing dikombinasikan dengan 3 (Tiga) parameter Kuat Arus Listrik dan 3 (Tiga) Parameter Kecepatan Pengelasan, Vickers Hardness Number tertingginya muncul di Titik Weld Metal (WM) pada variasi pengelasan dengan variabel Elektroda E7016/E7018 serta parameter Kuat Arus Listrik 90 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, yaitu sebesar 214 HV. Sedangkan Vickers Hardness Number terendahnya muncul di Titik Base Metal-1 (BM-1) pada variasi pengelasan dengan variabel Elektroda E6010/E7010 pada parameter Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 127 mm/min, yaitu sebesar 156 HV.
- 6) Resume Hasil Uji Tumbuk Charpy, dari 18 (delapanbelas) variasi pengelasan dengan 2 (dua) variabel Elektroda yang masing-masing dikombinasikan dengan 3 (Tiga) parameter Kuat Arus Listrik dan 3 (Tiga) Parameter Kecepatan Pengelasan, rata-rata Impact Value tertingginya ada pada variasi pengelasan dengan variabel Elektroda

E7016/E7018 pada parameter Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, yaitu sebesar 184 J. Sedangkan rata-rata Impact Value terendah ada pada variasi pengelasan dengan variabel Elektroda E6010/E7010 pada parameter Kuat Arus Listrik 80 A dan Kecepatan Pengelasan 127 mm/min, yaitu sebesar 105 J.

- 7) Resume Hasil Uji Makro, dari 18 (delapanbelas) variasi pengelasan dengan 2 (dua) variabel Elektroda yang masing-masing dikombinasikan dengan 3 (Tiga) parameter Kuat Arus Listrik dan 3 (Tiga) Parameter Kecepatan Pengelasan, tidak satupun yang tidak memenuhi kualifikasi standar hasil pengelasan karena semuanya menunjukkan hasil tidak ada cacat pada area HAZ.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pernyataan yang bersesuaian dengan batasan masalah dalam penelitian sehingga karenanya dapat diambil sebagai suatu kesimpulan dalam penelitian:

- Pada 9 (sembilan) variasi pengelasan dengan menggunakan variabel Elektroda (Kawat Las) jenis E6010/E7010 dan 9 (sembilan) variasi pengelasan dengan menggunakan variabel Elektroda (Kawat Las) jenis E7016/E7018 yang dilakukan dalam penelitian, semuanya tidak menunjukkan adanya cacat las, maka kedua jenis variabel Elektroda tersebut layak untuk digunakan.
- Pada 6 (enam) variasi pengelasan dengan menggunakan parameter Kuat Arus Listrik 80 A, dan 6 (enam) variasi pengelasan dengan menggunakan parameter Kuat Arus Listrik 90 A, serta 6 (enam) variasi pengelasan dengan menggunakan parameter Kuat Arus Listrik 100 A, menunjukkan tren bahwa semakin besar Kuat Arus Listrik-nya maka semakin bertambah kualitas hasil pengelasannya. Sementara pada 6 (enam) variasi pengelasan dengan menggunakan parameter Kecepatan Pengelasan 62 mm/min, dan 6 (enam) variasi pengelasan dengan menggunakan parameter Kecepatan Pengelasan 104 mm/min, serta 6 (enam) variasi pengelasan dengan menggunakan parameter Kecepatan Pengelasan 127 mm/min, menunjukkan tren bahwa semakin besar Kecepatan Pengelasannya maka semakin berkurang kualitas hasil pengelasannya.
- Diantara 18 (delapanbelas) variasi pengelasan yang dilakukan dalam penelitian, setting paling optimum didapatkan pada variasi pengelasan P-2-1-3 yaitu pengelasan dengan menggunakan variabel Elektroda jenis E7016/E7018 yang dikombinasikan penggunaannya dengan parameter Kuat Arus Listrik 100 A dan Kecepatan Pengelasan 62 mm/min.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kou. "Welding Metallurgy". 2nd Edition, Wiley-Interscience. 2003.
- [2] K. Tokihiko, I. Rinsei, H. Yoshinori. "Development of Low Spatter CO₂ Arc Welding Process with High

Frequency Pulse Curr". Science and Technology of Welding and Joining, vol. 14, no. 8, pp. 740-746. 2009.

- [3] Amstead, B. H., Djaprie, S. (Alih Bahasa). "Teknologi Mekanik - Jilid I". Erlangga, Jakarta, 1995.
- [4] PT. Gearindo Prakarsa. "Procedure Qualification Record". ASME Section IX Edition 2004, Jakarta, 2007.
- [5] Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, Toshie. "Teknologi Pengelasan Logam". PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.
- [6] Sri Widharto. "Welding Inspection". Mitra Wacana Media, Jakarta, 2013.
- [7] H. Yamamoto, S. Harada, T. Yasuda. "The Development of Welding Current Control System for Spatter Reduction". Welding International, vol. 4-5, pp. 398-407. 1990
- [8] Siswanto. "Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktek)". PT. Prestasi Pustakarya. Jakarta. 2011.
- [9] Wiryosumarto H. dan Toshie Okumura. "Teknologi Pengelasan Logam". PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1979.
- [10] Wiryosumarto H. "Teknologi Pengelasan Logam". Erlangga, Jakarta, 2001.
- [11] Sonawan, H, Suratman, R. "Pengantar untuk Memahami Pengelasan Logam". Alfa Beta, Bandung, 2004.
- [12] ASME Section IX Boile and Pressure Vessel Code, Welding and Brazing Qualifications, New York, 2004.
- [13] Suharto. "Teknologi Pengelasan Logam". Rineka Cipta, Jakarta, 1991.