

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap jenis dan kuantitas dari cacat pengelasan sesuai standar kriteria SNI 07-0049-1987 dengan pengelasan SMAW. Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh variasi arus terhadap sifat mekanik sambungan las dan struktur mikro dengan pengelasan SMAW dengan melakukan pengujian *destructive test* dan *non-destructive test*. Tahapan pertama pada prosedur percobaan adalah pembuatan sampel yang terdiri atas 6 pelat dengan standar ASTM A36, dengan ukuran masing-masing sebesar 300 x 200 x 10 (mm) dan sudut kampuhnya sebesar 60° dengan lebar *root gap* 3 mm. Tahap selanjutnya melakukan karakterisasi XRF yang bertujuan untuk mengetahui komposisi awal dari sampel sebelum dilakukan pengelasan. Tahap selanjutnya yaitu melakukan pengelasan SMAW untuk *Root* dengan posisi pengelasan 3G dengan dua elektroda yang berbeda. Elektroda yang digunakan yaitu jenis lokal dan elektroda impor, dikarenakan dua elektroda tersebut merupakan jenis elektroda *low hydrogen* maka dilakukan proses *pre-heating* pada suhu 425°C. Pada proses pengelasan dengan menggunakan elektroda yang berbeda divariasikan 2 elektroda yaitu jenis elektroda lokal dan impor dengan variasi arusnya yaitu sesuai standar AWS A5.1.

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan selanjutnya dilakukan proses karakterisasi. Proses karakterisasi pertama yaitu radiografi. Radiografi bertujuan untuk mengetahui jenis dan banyaknya cacat yang ada setelah dilakukan

pengelasan, selain itu pengujian ini dapat menemukan cacat yang ada didalam pengelasannya. Hasil cacat yang didapat pada pengujian radiografi akan dibandingkan dengan komposisi sampel elektroda yang digunakan. Karakterisasi kedua adalah pengujian impak. Pengujian uji impak dilakukan bertujuan untuk mengetahui ketangguhan dari material yang diuji dan pada penelitian ini pengujian impak dilakukan untuk mengetahui ketangguhan pada *weld metal* dari masing – masing sampel elektroda yang diuji dengan membandingkan komposisi kimianya. Pengujian ketiga adalah pengujian *bending*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan retak geser yang terjadi pada *weld metal*, dengan mempersiapkan sampel sesuai standard SNI 07-0049-1987 lalu diberi pembebanan dari *root*, *face* dan *capping* dari *weld metal*. Pengujian ketiga adalah pengujian tarik. Pengujian uji tarik dilakukan bertujuan untuk menarik bahan untuk mengetahui sejauh mana material ini bertambah panjang dengan membandingkan komposisi dari setiap sampel. Pengujian keempat adalah metalografi atau pengamatan OM (*Optical Microscope*). Pengujian OM ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari suatu material dengan perbesaran pada OM ini 10X sampai 1000X perbesaran.

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai komposisi unsur dasar dan karbon sebagai komposisi unsur paduannya. Kandungan karbon pada baja berfungsi sebagai unsur penguat. Kandungan karbon pada baja berkisar antara 0,2%-1,7% berat sesuai dengan gradenya. Pada penelitian ini membahas tentang perbandingan jenis elektroda yaitu elektroda lokal dan impor terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja paduan. Dengan menggunakan metode pengelasan SMAW

dan variasi kuat arus. Keterangan material, *filler* dan posisi pengelasan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Spesifikasi Pengelasan

Nama	Jenis/Keterangan
<i>Material specification</i>	ASTM A36
Tebal	10 mm
<i>AWS standar classification</i>	standard AWS A5.1
Kuat arus	120 A, 155 A dan 190 A
Posisi pengelasan	3G (<i>up-hill</i>)

4.1 Hasil Karakterisasi Pengujian X-Ray Fluorescence

Teknologi XRF (*X-Ray Fluorescence*) mendeteksi perubahan tingkat energi tinggi (sinar-X karakteristik, sekitar 10 keV) pada sampel yang dilelehkan. Ketika suatu sinar-X dengan energi yang lebih tinggi (sekitar 30 keV) bertemu dengan permukaan dan menyebabkan berbagai atom pada sampel memancarkan kembali energi tersebut (fluoresensi) dalam panjang gelombang sinar-X yang khas dari struktur elektronik atom tersebut. Proses ini tidak merusak sampel, sehingga dapat digunakan secara berulang. Intensitas sinar-X diambil dan diteruskan ke dalam program komputer untuk mengoreksi fluks oksida terhadap sensitivitas dan interaksi antar unsur yang berbeda. Hasil akhirnya adalah pengukuran kuantitatif dari berbagai oksida dalam fluks.

Pengamatan fasa dilakukan sebelum proses pengelasan untuk mengidentifikasi komposisi pada dua elektroda yang digunakan. Jenis elektroda

yang digunakan antara lain adalah elektroda lokal dan elektroda impor. Menurut (Gandy, 2007) komposisi kimia dari baja karbon ditentukan oleh spesifikasi untuk setiap jenis atau *grade* material. Secara umum komposisi unsur itu sendiri terdiri atas *carbon* (C), *manganese* (Mn), *silicon* (Si), *sulfur* (S), *phosphorus* (P), *chromium* (Cr), *molybdenum* (Mo), *nickel* (Ni), *vanadium* (Vn), *columbium* (Cm) dan lain-lain. Secara umum elektroda mengandung senyawa-senyawa kimia yang menyusun logam las menjadi unsur untuk menyambung *base metal* pada proses pengelasan. Unsur-unsur tersebut antara lain *carbon* (C), *manganese* (Mn), *phosphorus* (P), *sulfur* (S) dan *silicon* (Si) (Boumerzoug et al., 2010).

Tabel 4.2 Tabel XRF Elektroda Lokal

No	Senyawa	(%)	No	Senyawa	(%)	No	Senyawa	(%)
1	Na ₂ O	6,3	6	TiO ₂	14,4	11	Cl	0,1
2	MgO	1,0	7	V ₂ O ₅	0,3	12	K ₂ O	0,5
3	Al ₂ O ₃	8,9	8	Cr ₂ O ₃	1,3	13	CaO	9,9
4	SiO ₂	31,6	9	MnO	0,5	14	K ₂ O	0,3
5	P ₂ O ₅	0,3	10	Fe ₂ O ₃	24,6	Total		100

Berdasarkan Tabel 4.2 mengidentifikasi komposisi senyawa yang terkandung dalam elektroda lokal. Komposisi senyawa SiO₂ lebih dominan diantara senyawa lain yaitu sebesar 31,6 %. Silikon oksida termasuk dalam komposisi fluks untuk pengelasan baja karbon dan baja paduan rendah. Aktivitas termodinamika silikon oksida dalam *slag* selama proses pengelasan, dan, akibatnya, proses reduksi silicon dan pembentukan inklusi non-logam dalam sambungan las (Dmitry MishchenkoIgor et al., 2019). Senyawa-senyawa lain seperti Fe₂O₃, TiO₂, Al₂O₃

dan Na_2O juga memiliki persentase yang dominan. Senyawa-senyawa tersebut dapat berpengaruh pada hasil slag dan sifat mekanik pada hasil las.

Tabel 4.3 Tabel Senyawa XRF Elektroda Impor

No	Senyawa	(%)	No	Senyawa	(%)
1	Na_2O	1,2	8	MnO	5,0
2	MgO	0,8	9	TiO_2	6,5
3	Al_2O_3	3,1	10	Fe_2O_3	8,0
4	SiO_2	22,9	11	V_2O_5	0,1
5	Sc_2O_3	0,9	12	Cl	0,1
6	K_2O	3,8	13	ZrO_2	0,1
7	CaO	47,4	14	ZrO_2	0,1
Total					100

Berdasarkan Tabel 4.3 mengidentifikasi komposisi senyawa yang terkandung dalam elektroda impor. Berdasarkan Tabel 4.3 komposisi unsur dan senyawa yang terdapat pada elektroda lokal dan elektroda impor berbeda dimana pada elektroda impor memiliki beberapa unsur dan senyawa yang tidak dimiliki elektroda lokal diantaranya adalah K_2O_3 , CaO dan MnO . CaO sendiri menjadi sebuah senyawa dominan pada elektroda impor. Komposisi tertinggi terdapat pada senyawa CaO sebesar 47,4%. Oksida dasar seperti CaO , MgO , Na_2O berperan sebagai pemecah jaringan silika yang mengurangi viskositas, sedangkan oksida asam berperan sebagai pembentuk jaringan yang mengurangi fluiditas slag. Kombinasi oksida-oksida ini mempengaruhi sifat fisikokimia dan termofisika seperti densitas, konduktivitas termal, suhu peleburan, koefisien termal, dan

viskositas. Indeks kebasaaan dari fluks pengelasan juga memengaruhi sifat mekanik pengelasan. Ditemukan bahwa dengan peningkatan kebasaaan, inklusi non-logam lebih sedikit dalam pengelasan karena kebasaaan fluks yang tinggi mengurangi tingkat oksigen logam pengelasan dan meningkatkan ketangguhan. Hal ini juga mengurangi penyerapan hidrogen selama pengelasan. Fluks dasar yang mengandung CaO memiliki kemampuan penghilangan belerang yang lebih tinggi, dan terlihat bahwa dalam komposisi fluks, jika kandungan CaO digantikan dengan CaF₂, membantu mengurangi kandungan oksigen dalam pengelasan (Mahajan & Chhibber, 2019). Komposisi pada logam las dapat mempengaruhi sifat mekanik, komposisi ini dapat dihitung dengan persamaan *basicity index*. *Basicity index* dapat menunjukkan apakah logam tersebut bersifat asam dan pengaruhnya. Berikut merupakan persamaan umum pada *basicity index* (Datta & Parekh, 1989).

$$\text{Basicity index} = \frac{\text{sum of basic oxides}}{\text{sum of acidic oxides}}$$

Persamaan *basicity index* diturunkan dari teori oksida molekuler yang tersosiasi. Jika tidak ada oksida yang terdisosiasi maka persamaan ini tidak dapat digunakan. Industri pengelasan mengadaptasi persamaan tersebut sebagai standarisasi dari ukuran keasaman dan kebasaaan fluks. Pada hasil karakterisasi XRF terdapat beberapa unsur yang komposisinya dominan antara lain SiO, CaO, TiO₂ dan Fe₂O₃. Komposisi tersebut mempunyai sifat asam dan basa, adanya sifat asam dan basa mempengaruhi keseimbangan pada suatu material. SiO bersifat asam, CaO bersifat basa, TiO₂ bersifat asam kuat dan Fe₂O₃ atau besi (III) tidak bersifat asam maupun basa atau bias disebut netral. TiO (*Titanium Oxide*) berpengaruh pada sifat

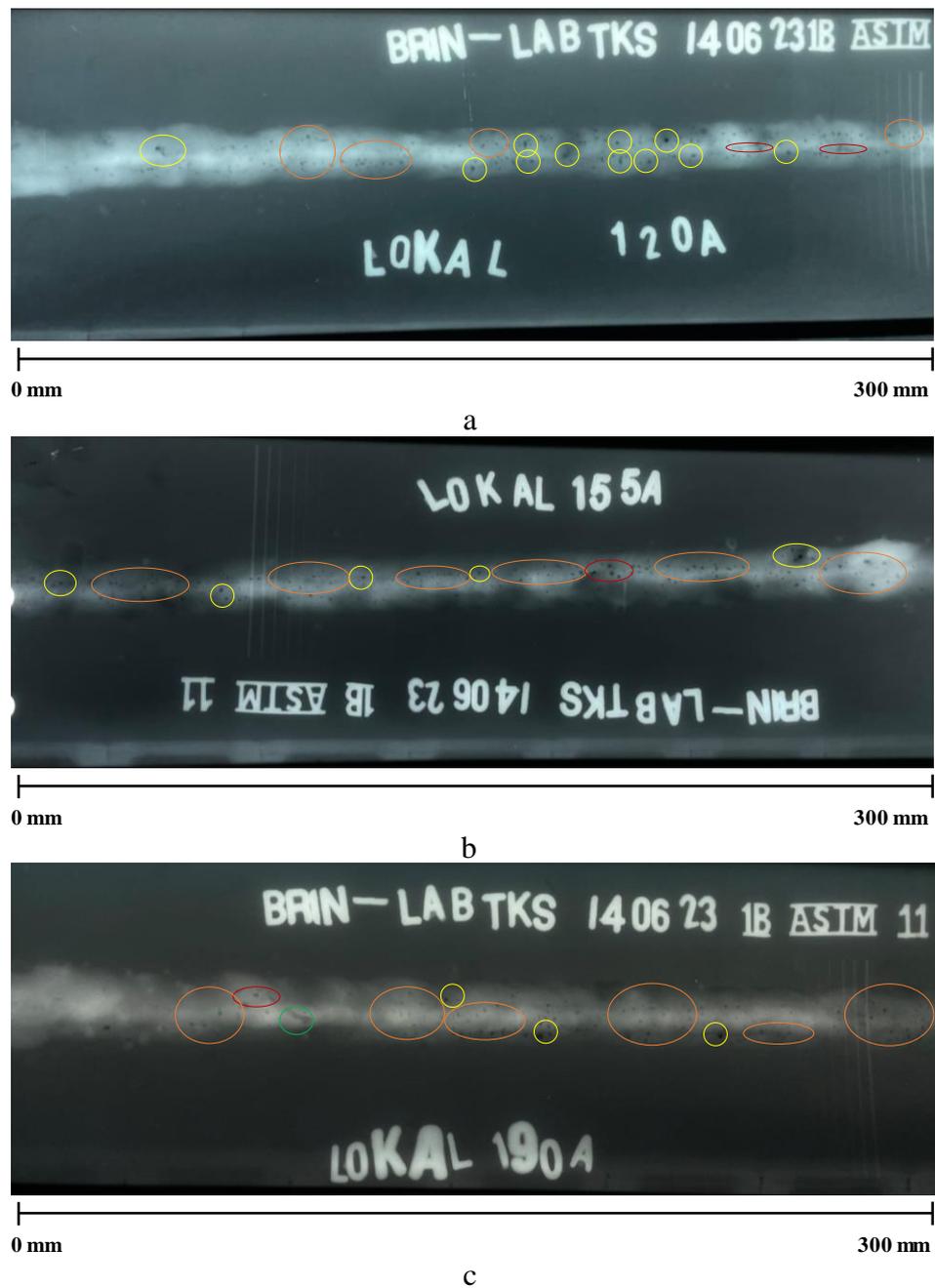
mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah dimana TiO memiliki persentase ferit yang tinggi kandungan TiO pada baja karbon dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan keuletan pada hasil las (Paniagua-Mercado et al., 2009). Komposisi Fe_2O_3 pada kandungan fluks akan meningkatkan kandungan oksigen pada logam las, kandungan oksigen pada logam las mampu mempengaruhi sifat ketangguhan impak logam las serta sifat kekerasan logam las (Li et al., 2021). SiO_2 (*Silicon Carbonoxide*) dan CaO (*Carbon Oxide*) berpengaruh pada sifat mekanik pada hasil las dimana SiO_2 dikenal dapat menurunkan nilai kekerasan, selain itu paduan SiO_2 dan CaO memiliki ketangguhan serta sifat tahan korosi yang dikenal baik dan sesuai dengan spesifikasi AWS A5.1 (Wang et al., 2016). Pada *slag* hasil pengelasan SMAW mengandung sekitar 80-85% CaO, CaF_2 dan SiO_2 dari total berat *slag* dan 15-20% mengandung unsur lain seperti Na_2O , MnO, Cr_2O_3 , Nb_2O_5 , TiO dll. CaO dan SiO_2 dalam *slag* dapat bertindak sebagai penstabil busur las dan dapat mengontrol viskositas *slag*, selain itu CaO dapat bertindak sebagai agen pemurnian pada *slag* pada proses desulfurisasi dan *dephosphorization* (Wang et al., 2016).

4.2 Hasil Karakterisasi Pengujian Radiografi

Setelah dilakukan proses pengelasan dan pengujian XRF selanjutnya dilakukan pengujian radiografi. Pengujian radiografi pada sambungan las pelat baja ASTM A36 yang bertujuan untuk mengetahui adanya cacat pada sambungan las. Jenis baja dengan standar ASTM A36 biasa digunakan pada berbagai konstruksi dan sambungan pada bagian pengelasan pada berbagai industri manufaktur (ASTM A36 *Steel.*, 2023).

4.2.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian Radiografi Jenis Elektroda Lokal

Gambar 4.1 menunjukkan hasil karakterisasi radiografi dari jenis elektroda lokal.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian Radiografi Elektroda Lokal (a) 120 A, (b) 155 A, (c) 190 A

Tabel 4.4 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Lokal 120 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Lokal 120 A				Acc/No
	<i>Porosity</i>	<i>Worm hole</i>	<i>Slag inclusion</i>	<i>Cluster porosity</i>	
0-10	1	-	-	-	<i>Acc</i>
11-20	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
21-30	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
31-40	-	-	-	-	<i>No Acc</i>
41-50	1	-	-	-	<i>Acc</i>
51-60	1	-	-	-	<i>Acc</i>
61-70	1	-	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	-	1	-	<i>No Acc</i>
81-90	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
91-100	-	-	1	-	<i>No Acc</i>
Kesimpulan (Acc/No)					<i>No Acc</i>

Tabel 4.5 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Lokal 155 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Lokal 155 A				Acc/No
	<i>Porosity</i>	<i>Worm hole</i>	<i>Slag inclusion</i>	<i>Cluster porosity</i>	
0-10	1	-	-	-	<i>Acc</i>
11-20	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
21-30	-	-	-	-	<i>Acc</i>
31-40	1	-	-	1	<i>No Acc</i>
41-50	1	-	-	1	<i>Acc</i>
51-60	-	-	-	1	<i>Acc</i>

61-70	1	-	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	1	-	-	<i>No Acc</i>
81-90	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
91-100	1	-	-	1	<i>No Acc</i>
Kesimpulan (<i>Acc/No</i>)					<i>No Acc</i>

Tabel 4.6 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Lokal 190 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Lokal 190 A				<i>Acc/No</i>
	<i>Porosity</i>	<i>Worm hole</i>	<i>Slag inclusion</i>	<i>Cluster porosity</i>	
0-10	-	-	-	-	<i>Acc</i>
11-20	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
21-30	-	1	-	-	<i>No Acc</i>
31-40	-	-	1	-	<i>No Acc</i>
41-50	1	-	-	1	<i>No Acc</i>
51-60	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
61-70	1	-	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
81-90	1	-	-	1	<i>No Acc</i>
91-100	-	-	-	1	<i>No Acc</i>
Kesimpulan (<i>Acc/No</i>)					<i>No Acc</i>

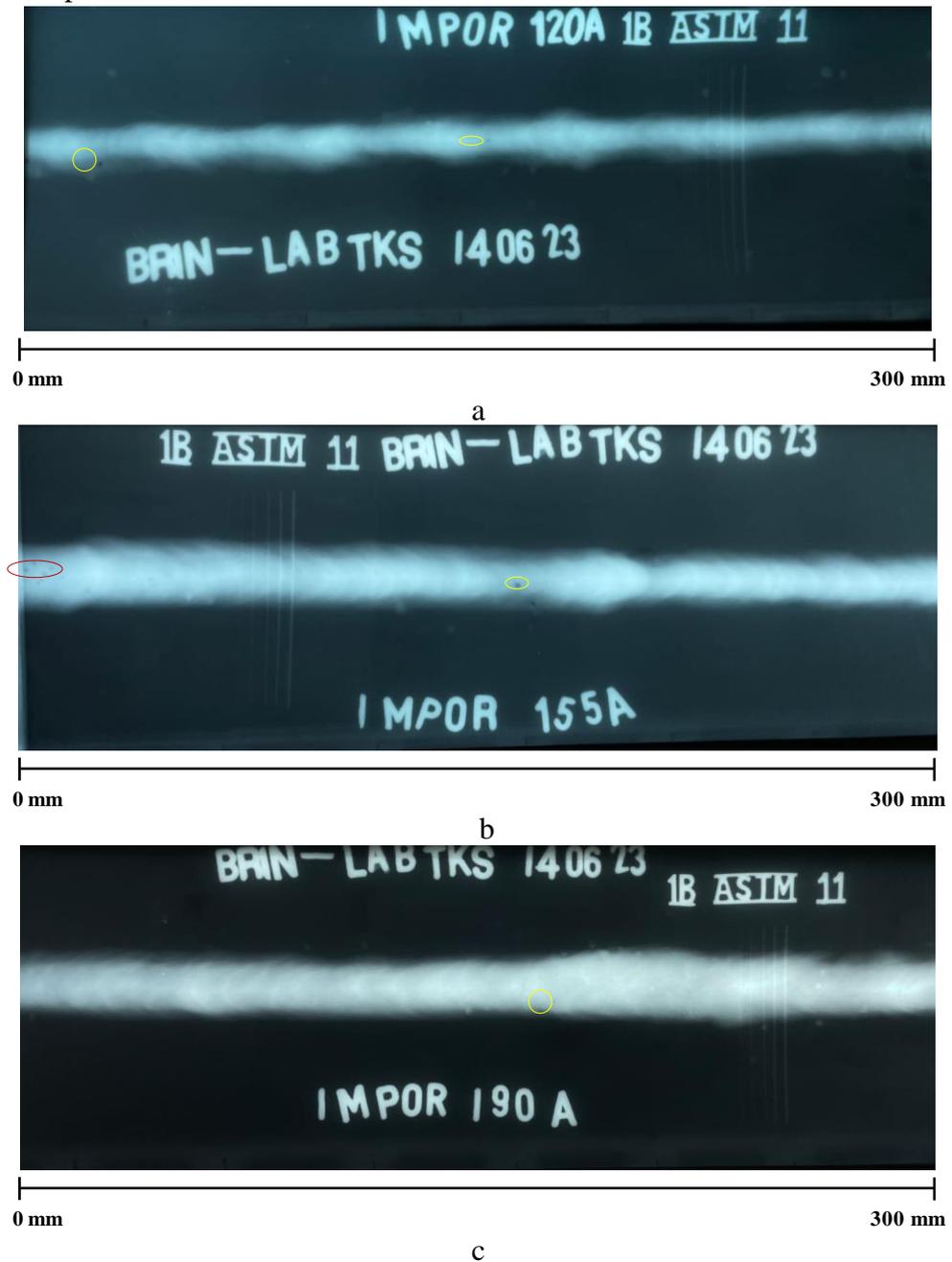
Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pada lingkaran berwarna kuning menunjukkan cacat porositas dan garis oranye merupakan cacat *cluster porosity*. Cacat porositas terjadi karena hilangnya gas pelindung karena pengaruh faktor lain seperti udara atau karena reaksi kimia

dan terciptanya hidrogen dan terperangkap pada permukaan hasil las. Sedangkan lingkaran merah menunjukkan cacat *slag inclusion*. Cacat *slag inclusion* membentuk garis cekung berwarna hitam atau sebuah gabungan cacat porositas yang sejajar dan berdekatan. Dan lingkaran hijau menunjukkan jenis cacat *worm hole*, cacat las yang disebabkan karena tertangkapnya gas pada proses pengelasan, sehingga berbentuk rongga memanjang seperti tabung. Pada kuat arus 120 Ampere menunjukkan cacat porositas paling banyak yaitu dengan jenis cacat porositas dan *cluster porosity*. Pada kuat arus 155 Ampere menunjukkan cacat porositas, cacat *worm hole* dan *cluster porosity*. Pada kuat arus 190 Ampere menunjukkan cacat porositas, cacat *worm hole* dan *cluster porosity*. Hasil dari sambungan las ASTM A36 menggunakan jenis elektroda lokal pada pengujian ini tidak dapat diterima atau masuk ke dalam *reject criteria* berdasarkan SNI yang dibantu oleh standar AWS D1.1 dan ASME IX dengan kuat arus elektroda lokal 120 Ampere, 155 Ampere dan 190 Ampere masuk ke dalam *reject criteria*, hal ini sudah dipertimbangkan berdasarkan banyaknya cacat yang ada pada setiap 10 mm sepanjang 300 mm pelat. *Reject criteria* tersebut didapatkan karena jumlah cacat porositas dalam satu pelat dengan ukuran 300 x 100 x 10 (mm) dan lebar *root gap* 3 mm memiliki jumlah cacat porositas dan cacat *slag inclusion* yang jumlahnya cukup banyak dengan jarak yang berdekatan. Dimana jarak bebas minimum yang diperbolehkan antara tepi antar cacat minimal 16 *inch* dengan ukuran cacat maksimal 2 mm.

4.2.2 Pembahasan dan Analisis Pengujian Radiografi Jenis Elektroda

Impor

Gambar 4.1 menunjukkan hasil karakterisasi radiografi dari jenis elektroda impor.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian Radiografi Elektroda Impor (a) 120 A, (b) 155 A, (c) 190 A

Setelah dilakukan pengamatan terhadap cacat pada elektroda lokal. Dapat disimpulkan bahwa jenis elektroda lokal tersebut rentan terjadinya cacat jika tidak menggunakan kuat arus yang sesuai. Untuk melakukan suatu perbandingan maka digunakan elektroda jenis impor. Gambar 4.3 menunjukkan hasil karakterisasi elektroda impor.

Tabel 4.7 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 120 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Impor 120 A		Acc/No
	Porositas	slag inclusion	
0-10	1	-	Acc
11-20	-	-	Acc
21-30	-	-	Acc
31-40	-	-	Acc
41-50	-	-	Acc
51-60	1	-	Acc
61-70	-	-	Acc
71-80	-	-	Acc
81-90	-	-	Acc
91-100	-	-	Acc
Kesimpulan (Acc/No)		Acc	

Tabel 4.8 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 155 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Impor 155 A		Acc/No
	Porositas	slag inclusion	
0-10	-	1	No Acc

11-20	-	-	<i>Acc</i>
21-30	-	-	<i>Acc</i>
31-40	-	-	<i>Acc</i>
41-50	-	-	<i>Acc</i>
51-60	1	-	<i>Acc</i>
61-70	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	-	<i>Acc</i>
81-90	-	-	<i>Acc</i>
91-100	-	-	<i>Acc</i>
Kesimpulan (<i>Acc/No</i>)		<i>Acc</i>	

Tabel 4.9 Data Jumlah Cacat pada Elektroda Impor 190 Ampere

Jarak Pengukuran (mm)	Jumlah Cacat Kuat Arus Elektroda Impor 190 A		<i>Acc/No</i>
	Porositas	<i>slag inclusion</i>	
0-10	-	-	<i>Acc</i>
11-20	-	-	<i>Acc</i>
21-30	-	-	<i>Acc</i>
31-40	-	-	<i>Acc</i>
41-50	-	-	<i>Acc</i>
51-60	1	-	<i>Acc</i>
61-70	-	-	<i>Acc</i>
71-80	-	-	<i>Acc</i>
81-90	-	-	<i>Acc</i>
91-100	-	-	<i>Acc</i>

Kesimpulan
(Acc/No)

Acc

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada lingkaran berwarna kuning menunjukkan cacat porositas. Cacat porositas terjadi karena hilangnya gas pelindung karena pengaruh faktor lain seperti udara atau karena reaksi kimia dan terciptanya hidrogen dan terperangkap pada permukaan hasil las. Sedangkan lingkaran merah menunjukkan cacat *slag inclusion*. Cacat *slag inclusion* membentuk garis cekung berwarna hitam atau sebuah gabungan cacat porositas yang sejajar dan berdekatan. Pada kuat arus 120 Ampere menunjukkan cacat porositas paling banyak dimana jumlah cacat porositas adalah 2. Pada kuat arus 155 Ampere menunjukkan cacat porositas paling banyak dimana jumlah cacat porositas adalah 1 dan cacat *slag inclusion* berjumlah 1. Pada kuat arus 190 Ampere menunjukkan cacat porositas paling banyak dimana jumlah cacat porositas adalah 1. Hasil dari sambungan las ASTM A36 menggunakan jenis elektroda lokal pada pengujian ini tidak dapat diterima atau masuk ke dalam *accepted criteria* berdasarkan SNI yang dibantu oleh standar AWS D1.1 dan ASME IX.

4.3 Hasil Karakterisasi Pengujian Impak

Pengujian material merupakan suatu metode yang digunakan untuk menilai kekuatan suatu bahan dengan menerapkan beban aksial. Pengujian impak bertujuan untuk mengukur kemampuan sampel untuk menyerap energi. Pengujian impak adalah salah satu proses yang digunakan untuk mengukur tingkat kerapuhan suatu bahan. Meskipun dua bahan memiliki sifat serupa, pengujian impak dapat mengungkap perbedaan yang tidak terlihat melalui pengujian lainnya. Pengujian

impak berguna untuk menilai sejauh mana suatu bahan tahan terhadap guncangan, seperti kerapuhan yang disebabkan oleh perlakuan panas atau fragilitas produk hasil cor dan pengaruh bentuk produk. Pengujian impact merespons beban guncangan atau beban mendadak, dan dilakukan dengan menggunakan mesin uji yang dirancang khusus dengan pendulum bermassa tertentu yang berayun dari ketinggian untuk memberikan beban guncangan. Terdapat dua metode pengujian yang digunakan, yaitu metode "Izod" dan metode "Charpy," yang berbeda tergantung pada arah beban yang diterapkan pada sampel uji dan posisi sampel uji. Dalam pengujian standar *Charpy* dan *Izod*, dirancang dan digunakan untuk mengukur energi impact yang dikenal sebagai keuletan *notch*. Spesimen *Charpy* memiliki bentuk batang dengan penampang segi empat dan alur V yang dibuat melalui proses permesinan. Beban dalam proses pengujian dampak diberikan melalui ayunan pendulum dengan massa G dan jarak dari sumbu rotasi R yang bergerak dari ketinggian h_1 dengan sudut awal α . Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh arus terhadap sifat mekanik menggunakan pengujian impact. Perhitungan Harga Impact (HI) berdasarkan hukum Newton dimana gaya merupakan hasil pembagian dari energi dan luas permukaan bidang (Swain et al., 2014). Jika luas permukaan memiliki bentuk bidang panjang seperti pada hasil las, maka energi yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan hukum gravitasi Newton, berikut merupakan persamaannya.

$$HI = \frac{\sigma}{A}$$

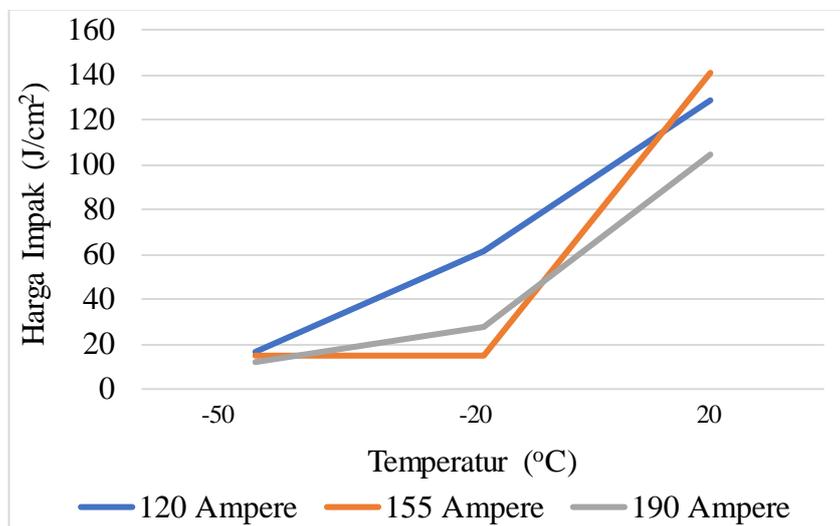
$A = \text{takik} \times \text{lebar}$

Dimana, HI : Merupakan harga impact (J/cm^2), σ : Merupakan gaya (*Joule*) dan A : Luas Permukaan (cm^2). Pada pengujian impact dilakukan dengan suhu yang berbeda pada setiap elektroda maka didapatkan pembahasan yang berbeda.

4.3.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian Impact Elektroda Lokal

Pada Gambar 4.4 grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda lokal menunjukkan grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda. Pada suhu $-50^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $16,5 J/cm^2$ pada arus 120 Ampere. Pada suhu $-20^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $64,4 J/cm^2$ pada arus 120 Ampere. Pada suhu $20^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $123,3 J/cm^2$ pada arus 120 Ampere. Pada suhu $-50^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $13 J/cm^2$ pada arus 155 Ampere. Pada suhu $-20^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $21,6 J/cm^2$ pada arus 155 Ampere. Pada suhu $20^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $132,1 J/cm^2$ pada arus 155 Ampere. Pada suhu $-50^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $11,2 J/cm^2$ pada arus 190 Ampere. Pada suhu $-20^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $29 J/cm^2$ pada arus 190 Ampere. Pada suhu $20^\circ C$ memiliki harga impact sebesar $93 J/cm^2$ pada arus 190 Ampere. Maka rata-rata energi impact pada elektroda impor pada kuat arus 120 Ampere adalah $69 J/cm^2$. Rata-rata energi impact pada elektroda lokal pada kuat arus 155 Ampere adalah $59 J/cm^2$. Rata-rata energi impact pada elektroda impor pada kuat arus 190 Ampere adalah $48 J/cm^2$. Diketahui bahwa standar pengujian Impact untuk jenis baja karbon rendah pada hasil pengelasan SMAW adalah sebesar J/cm^2 . Maka energi impact yang dapat diterima pada semua kuat arus. Maka didapatkan Gambar 4.4. dan Tabel

4.10 berikut yang menunjukkan pengaruh suhu terhadap energi pada jenis elektroda lokal.



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Energi pada Elektroda Lokal

Tabel 4.10 Data Pengaruh Suhu Terhadap Energu pada Elektroda Lokal

Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm ²)	Energi (Joule)	Harga Impak (J/cm ²)
120	-50	0,9	14,5	16,
120	-20	0,9	53	61,6
120	20	0,8	99	128,6
155	-50	0,7	11	14,9
155	-20	0,8	18	21,6
155	20	0,7	105	140,8
190	-50	0,6	7,5	12
190	-20	0,8	22	27,5
190	20	0,7	76	104,4

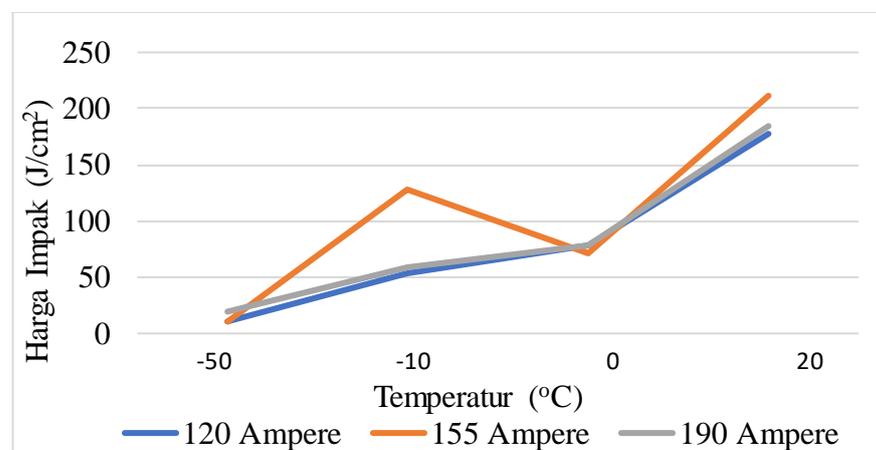
Kuat arus berperan pada pembentukan struktur mikro yang dihasilkan. Kuat arus yang tinggi dapat menyebabkan meratanya penetrasi yang dilakukan saat proses pengelasan. Namun kuat arus yang terlalu tinggi akan mengakibatkan panas yang terbentuk juga tinggi sehingga ukuran butir yang terbentuk tidak merata (Mansjur et al., 2019). Pada gambar di atas juga

menunjukkan adanya kenaikan HI ketika temperaturnya naik mendekati suhu ruang. Hal ini sesuai dengan literatur dimana semakin tinggi temperatur maka keuletan pada material akan semakin besar dan material akan semakin tangguh, sehingga HI yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dibuktikan pada Gambar 4.4 yang menunjukkan dimana pada temperatur 20°C pada semua variasi kuat arus mengalami kenaikan sampai dengan 70% dari temperatur -20°C.

4.3.2 Pembahasan dan Analisis Pengujian Impak Elektroda Impor

Pada Gambar 4.5 grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda lokal menunjukkan grafik pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda. Pada suhu -50°C memiliki harga impak sebesar 178 J/cm² pada arus 120 Ampere. Pada suhu -10°C memiliki harga impak sebesar 65 J/cm² pada arus 120 Ampere. Pada suhu 0°C memiliki harga impak sebesar 168 J/cm² pada arus 120 Ampere. Pada suhu 20°C memiliki harga impak sebesar 10,3 J/cm² pada arus 120 Ampere. Pada suhu -50°C memiliki harga impak sebesar 43,9 J/cm² pada arus 155 Ampere. Pada suhu -10°C memiliki harga impak sebesar 77,2 J/cm² pada arus 155 Ampere. Pada suhu 0°C memiliki harga impak sebesar 220,8 J/cm² pada arus 155 Ampere. Pada suhu 20°C memiliki harga impak sebesar 173,9 J/cm² pada arus 155 Ampere. Pada suhu -50°C memiliki harga impak sebesar 173,9 J/cm² pada arus 190 Ampere. Pada suhu -10°C memiliki harga impak sebesar 75,7 J/cm² pada arus 190 Ampere. Pada suhu 0°C memiliki harga impak sebesar 187,7 J/cm² pada arus 190 Ampere. Pada suhu 20°C memiliki harga impak sebesar 114,0

J/cm² pada arus 190 Ampere. Maka rata-rata energi impak pada elektroda impor pada kuat arus 120 Ampere adalah 80 J/cm². Rata-rata energi impak pada elektroda impor pada kuat arus 155 Ampere adalah 205,5 J/cm². Rata-rata energi impak pada elektroda impor pada kuat arus 190 Ampere adalah 85,5 J/cm². Maka didapatkan Gambar 4.5. dan Tabel 4.10 menunjukkan pengaruh suhu terhadap energi pada elektroda impor.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Energi pada Elektroda Impor

Tabel 4.10 Data Pengaruh Suhu Terhadap Energi pada Elektroda Impor

Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm ²)	Energi (Joule)	Harga Impak (J/cm ²)
120	-50	0,8	8,5	10,7
120	-10	0,8	44	53,9
120	0	0,7	52	77,9
120	20	0,7	120	177,6
155	-50	0,7	7,5	10,6
155	-10	0,7	96	128,6
155	0	0,7	53	71,5
155	20	0,7	146	128,6
190	-50	0,9	18	19,4
190	-10	0,7	42	59,2
190	0	0,7	53	78,8
190	20	0,7	123	184,5
190	20	0,7	76	104,4

Diketahui bahwa standar pengujian Impak untuk jenis baja karbon rendah pada hasil pengelasan SMAW adalah $42,5 \text{ J/m}^2$. Berdasarkan standar tersebut dapat disimpulkan bahwa elektroda impor yang lulus uji impak ada pada semua kuat arus. Pada hasil uji impak ini juga membuktikan bahwa nilai uji impak elektroda impor lebih unggul. Pengaruh suhu pada pengujian impak adalah dimana semakin tinggi suhu maka nilai HI akan semakin tinggi, hal ini dibuktikan pada hasil pengujian impak dimana pada suhu -10°C memiliki nilai rata-rata HI sebesar $80,6 \text{ J/cm}^2$ pada suhu 20°C memiliki nilai rata-rata HI sebesar $191,2 \text{ J/cm}^2$. Pengaruh komposisi unsur pada hasil impak juga berperan. Oksida CaO dan SiO bersifat basa dimana kandungan oksida basa pada elektroda berperan untuk membatasi sudut kontak sehingga tegangan permukaan yang terjadi relatif kecil (Kumar et al., 2023). Tegangan permukaan lebih rendah dan gradien termal positif ini memicu aliran cairan logam menuju interior kolam lasan yang dengan demikian cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam (Shahab, 2010). Oksida TiO_2 juga berperan dalam hasil pengelasan SMAW dimana dengan adanya unsur TiO_2 unsur lain (misalnya SiO_2 , Al dan Zr) pada logam las akan terdeposisi semakin merata, komposisi unsur tersebut dapat berpindah dari *slag* ke hasil lasan (Bang et al., 2009).

4.4 Hasil Karakterisasi Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengukur kekuatan material terhadap beban yang diberikan dengan penekanan sudut yang dilakukan untuk mengetahui cacat retak geser pada sampel. *Bending test* dilakukan untuk mengetahui kekuatan

ductile pada material. Secara umum sifat *ductile* pada material dipengaruhi oleh komposisi unsur dari material itu sendiri dan jenis perlakuan yang dilakukan (Acarer et al., 2003). Pada pengujian *bending* yang dilakukan diberikan penekanan dengan sudut tekuk 120°. Pengujian ini dilakukan dengan standar SNI 07-0049-1987 lalu diberi pembebanan dari *root*, *face* dan *capping* dari *weld metal*. Selain itu komposisi unsur juga berpengaruh pada hasil pengujian *bending*. TiO berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah dimana TiO memiliki persentase ferit yang tinggi kandungan TiO pada baja karbon dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan keuletan pada hasil las (Paniagua-Mercado et al., 2009). Komposisi SiO₂ perbaikan sifat mekanik. SiO₂ berpengaruh pada penurunan slag tegangan antarmuka dengan dikarenakan unsur oksida, selain itu sifat antarmuka secara langsung dipengaruhi oleh struktur ionik terak (Jung et al., 2010). Sedangkan pengaruh senyawa CaO pada elektroda impor adalah pada *slag* yang dihasilkan dimana kandungan karbon pada CaO dapat berpengaruh pada kekerasan hasil las. Hasil pengujian *bending* menampakan terjadinya retak atau tidak retak pada sampel uji. Dimana jika tidak terjadi retak maka masuk ke dalam *accepted criteria* dan jika tidak terjadi retak maka masuk ke dalam kategori *no accepted criteria* dan masuk ke dalam proses perbaikan. Analisis ini dibagi berdasarkan jenis elektroda lokal dan impor untuk dilakukan perbandingan, berikut merupakan pembahasan dari analisis pengujian *bending*.

4.4.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian *Bending* Elektroda Lokal

Gambar 4.5. dan Tabel 4.10 menunjukkan pengaruh hasil dari karakterisasi *bending* pada elektroda lokal.

Tabel 4.12 Hasil dari Karakterisasi *Bending* Elektroda Lokal

No	Sampel Elektroda Lokal	Dimensi (mm)	Sudut Tekuk (°)	<i>Test Result</i>	
				Penampilan (Retak/Tidak Retak)	Result
1	120 A	38,98/9,48	120	Tidak retak	Acc
2	155 A	37,96/9,48	120	Tidak retak	Acc
3	190 A	38,75/9,43	120	Tidak retak	Acc

Dari Tabel 4.12 menunjukkan bahwa hasil pengujian *bending* tidak terjadi retak dan masuk dalam kategori *accepted criteria*. Pengujian ini menggunakan sudut 120° hal ini dikarenakan sudut tersebut efisien memungkinkan logam dibentuk menjadi bagian bagian baru. Menurut literatur mengatakan bahwa tingginya arus listrik yang diterima oleh logam induk dapat merubah panas dalam jumlah yang besar ke daerah lasan, oleh karena itu semakin besar arus pengelasan yang digunakan maka akan mengakibatkan penetrasi semakin besar (Nata et al., 2021). Maka hasil pengujian *bending* dipengaruhi oleh faktor semakin besar arus listrik dan jenis kawat las yang digunakan saat proses pengelasan maka hasil kekuatan nilai uji *bending* semakin besar (Nata et al., 2021). Komposisi pada dua jenis elektroda memiliki jumlah unsur dan senyawa yang berbeda, hal ini akan berpengaruh pada sifat mekanik hasil las. Untuk melakukan sebuah perbandingan maka dilakukan pengujian *bending* pada elektroda impor sebagai berikut.

4.4.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian *Bending* Elektroda Impor

Tabel 4.11 menunjukkan hasil karakterisasi dari uji *bending* elektroda impor.

Tabel 4.13 Hasil dari Karakterisasi *Bending* Elektroda Impor

No	Sampel	Dimensi (mm)	Sudut Tekuk (°)	Test Result	
	Elektroda Impor			Penampilan (Retak/Tidak Retak)	Result
1	120 A	39,39/9,50	120	Tidak retak	Acc
2	155 A	38,31/9,40	120	Tidak retak	Acc
3	190 A	37,73/9,54	120	Tidak retak	Acc

Dari Tabel 4.13 menunjukkan bahwa hasil pengujian *bending* tidak terjadi retak dan masuk dalam kategori *accepted criteria*. Pengujian ini menggunakan sudut 120° hal ini dikarenakan sudut tersebut efisien memungkinkan logam dibentuk menjadi bagian bagian baru. Diketahui bahwa semakin tinggi arus listrik yang digunakan pada saat proses pengelasan maka hasil kekuatan uji *bending* semakin besar (Nata et al., 2021). Menurut standar ASW D1.1 hasil pengujian *bending* tersebut masuk ke dalam *accepted criteria* jika dilihat dari jumlah retakan pada permukaan pada hasil radiografi. Dimana, jumlah cacat terbesar ukurannya tidak melebihi dari 10 mm dan ukuran cacat lainnya antara 1 mm sampai 3 mm (AWS D1.1, 1981).

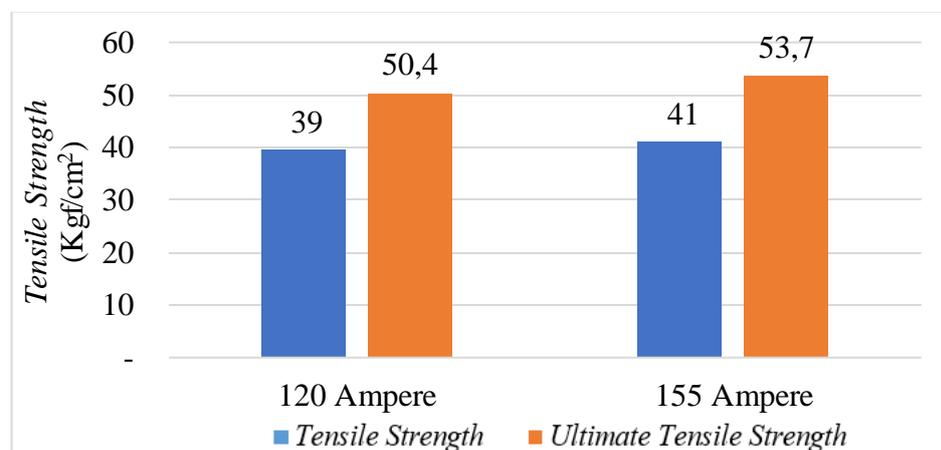
4.5 Hasil Karakterisasi Pengujian Tarik

Hasil struktur mikro yang dihasilkan setelah dilakukannya proses pengelasan dan *pre heat* pada temperatur 425°C mempengaruhi sifat mekanik baja ASTM A 36. Namun sifat dari baja itu sendiri tergantung pada komposisi unsur didalamnya. Jenis elektroda yang berbeda memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda pula, hal ini mengakibatkan sifat mekanik yang berbeda pula. Dengan

memvariasikan arus akan mengakibatkan perubahan pada sifat mekanik elektroda lokal dan impor.

4.5.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian Tarik Jenis Elektroda Lokal

Gambar 4.7 dan Tabel 4.12 menunjukkan grafik dan tabel hasil karakterisasi uji tarik pengaruh kuat arus terhadap UTS dan Tegangan pada elektroda lokal.



Gambar 4.7 Grafik Uji Tarik Kuat Arus Terhadap Tegangan Pada Elektroda Lokal

Tabel 4.14 Hasil dari Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Lokal

Arus (Ampere)	Luas penampang (cm ²)	F _y (kN)	F _m (kN)	σ_y		σ_u	
				N/cm ²	Kgf/cm ²	N/cm ²	Kgf/cm ²
120	0,2	72,5	92,5	390,5	39,5	498,2	120
155	0,2	72,5	95	405,3	41	531,1	155

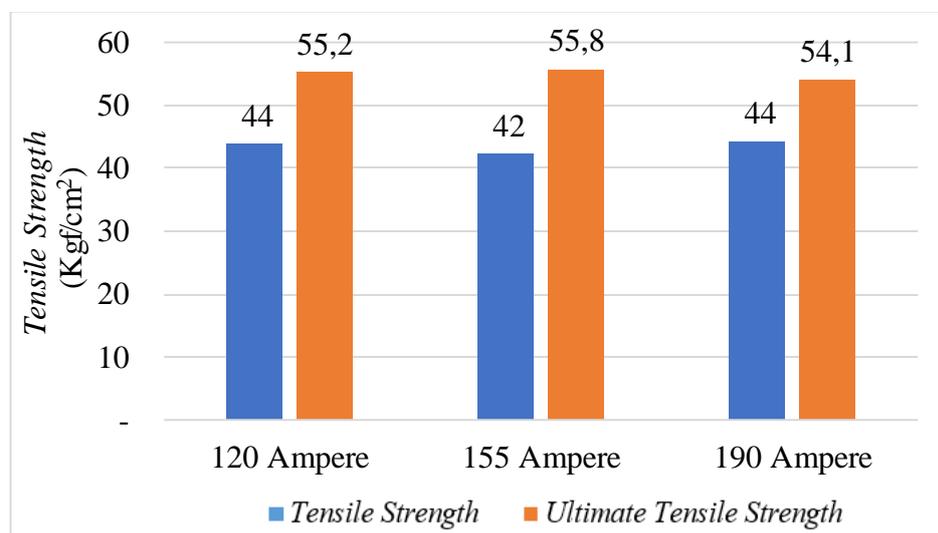
Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan grafik uji tarik pada spesimen elektroda lokal dengan variasi arus 120 A dan 155 A. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar juga gaya yang dibutuhkan untuk membuat spesimen tersebut mengalami patah. Perpatahan pada spesimen dengan arus 120 A memiliki *ultimate*

tensile strength sebesar 92,5 kN dan *tensile strength* sebesar 72,5 kN. dan pada spesimen dengan arus 155 A berada di 95 kN dengan nilai tegangan tertinggi ada pada kuat arus 155 Ampere yaitu 531 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memvariasikan arus akan mengakibatkan perubahan sifat mekanik pada spesimen elektroda lokal. Berdasarkan literatur dijelaskan bahwa nilai tegangan di area logam las mengalami peningkatan dibandingkan dengan logam dasar pada semua arus pengelasan. Oleh karena itu, kekuatan sambungan las sangat baik karena nilai tegangan uji tarik lebih tinggi daripada kekuatan logam dasar. Nilai tegangan pada jenis baja ASTM A 36 sendiri ada pada 160 Mpa (Sulistiyo et al., 2019). Peningkatan ini dipengaruhi oleh penggunaan arus yang sesuai dan bahan *filler* (Azwinur & Syukran, 2021). Pada hasil pengujian Uji tarik didapatkan nilai tertinggi gaya uji tarik pada 53,7 Kgf/cm² pada kuat arus 155 Ampere. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah komposisi dari elektroda dimana komposisi TiO berpengaruh pada *strength* pada hasil. TiO (*Titanium Oxide*) berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah dimana TiO memiliki persentase ferit yang tinggi kandungan TiO pada baja karbon dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan keuletan pada hasil las (Paniagua-Mercado et al., 2009). Selain itu komposisi SiO₂ perbaikan sifat mekanik dan slag yang terbentuk. SiO₂ berpengaruh pada penurunan slag tegangan antarmuka dengan dikarenakan unsur oksida, selain itu sifat antarmuka secara langsung dipengaruhi oleh struktur ionik terak (Jung et al., 2010). Maka, dapat disimpulkan bahwa

meningkatnya nilai tegangan pada sampel menggunakan elektroda lokal disebabkan oleh kuat arus yang digunakan dan komposisi pada elektroda lokal itu sendiri.

4.5.2 Pembahasan dan Analisis Pengujian Tarik Jenis Elektroda Impor

Gambar 4.8 menunjukkan grafik hasil karakterisasi uji tarik pengaruh kuat arus terhadap UTS dan Tegangan pada elektroda impor.



Gambar 4.8 Grafik Uji Tarik Kuat Arus Terhadap Tegangan Pada Elektroda Impor

Tabel 4.15 Hasil dari Karakterisasi Uji Tarik Elektroda Impor

Arus (Ampere)	Luas penampang (cm ²)	F _y (kN)	F _m (kN)	σ_y		σ_u	
				N/cm ²	Kgf/cm ²	N/cm ²	Kgf/cm ²
120	0,2	77,5	97,5	434	43,9	545,9	55,2
155	0,2	75	97,5	418	42,2	543	54,9
190	0,2	77,5	95	437	44,2	535,6	54,2

Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan grafik uji tarik pada spesimen elektroda impor dengan variasi arus 120 A, 155 A, dan 190 A. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar arus yang digunakan maka

semakin berkurangnya juga gaya yang dibutuhkan untuk membuat spesimen tersebut mengalami patah. Perpatahan pada spesimen dengan arus 120 A berada di 97,5 kN, pada spesimen dengan arus 155 A berada di 97,5 kN, dan pada spesimen dengan arus 190 A berada di 95 kN. Hal ini menunjukkan bahwa pada spesimen dengan elektroda impor memiliki sifat mekanik yang baik pada arus 155 A. Pada hasil pengujian Uji tarik didapatkan nilai tertinggi gaya uji tarik pada 97,5 kN pada kuat arus 120 dan 190 Ampere dengan nilai UTS tertinggi ada pada kuat arus 155 Ampere yaitu 55,8 Kgf/cm². Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah komposisi dari elektroda dimana komposisi TiO berpengaruh pada *strength* pada hasil. TiO (*Titanium Oxide*) berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan rendah dimana TiO memiliki persentase ferit yang tinggi kandungan TiO pada baja karbon dapat meningkatkan sifat ketangguhan dan keuletan pada hasil las (Paniagua-Mercado et al., 2009). Oksida CaO dan SiO bersifat basa dimana kandungan oksida basa pada elektroda berperan untuk membatasi sudut kontak sehingga tegangan permukaan yang terjadi relatif kecil (Kumar et al., 2023). Tegangan permukaan lebih rendah dan gradien termal positif ini memicu aliran cairan logam menuju interior kolam lasan yang dengan demikian cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam (Shahab, 2010).

4.6 Hasil Karakteriasi Pengujian *Optical Microscope*

Optical Microscop atau mikroskop digital biasanya diartikan sebagai mikroskop tanpa lensa mata atau alat penghelihatan secara langsung. OM

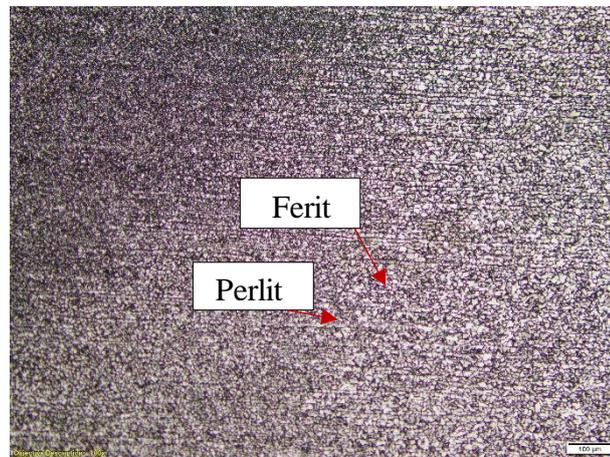
menggunakan komputer untuk menampilkan hasil karakteristik yang berupa sktruktur mikro (Grubb, 2012). Struktur mikro yang ditampilkan berupa jens fasa yang terbentuk pada hasil pengelasan menggunakan elektroda lokal dan impor dengan variasi kuat arus. Jenis fasa yang terbentuk akan berpengaruh pada sifat mekaniknya. Analisa hasil struktur mikro yang dilakukan menggunakan OM (*Optical Microscop*) dengan lensa perbesaran yang digunakan adalah 200x sampai dengan 500x. Analisa ini menggunakan sistem lensa dan cahaya tampak untuk memperbesar sampel agar dapat diketahui struktur mikronya secara rinci. Pada penelitian ini pengujian OM dilakukan untuk mengetahui perbedaan struktur mikro yang terbentuk. Hal ini dikarenakan pembentukan struktur mikro berpengaruh pada sifat mekanik hasil lasan.

4.6.1 Pembahasan dan Analisis Pengujian *Optical Microscope* Jenis Elektroda Lokal

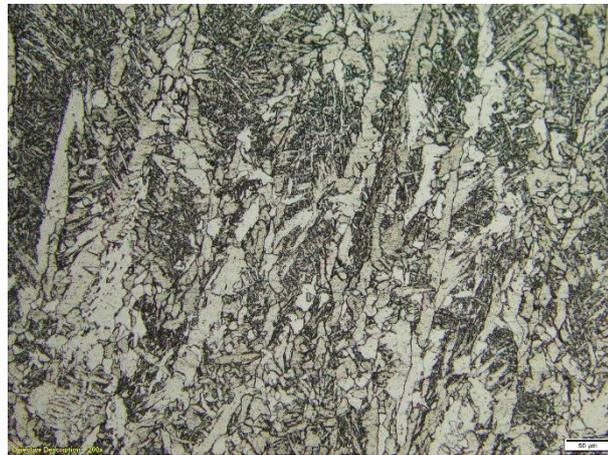
Gambar 4.9 sampai dengan 4.11 menunjukkan hasil pengujian OM pada elektroda lokal pada variasi kuat arus 120 Ampere, 155 Ampere dan 190 Ampere.



a

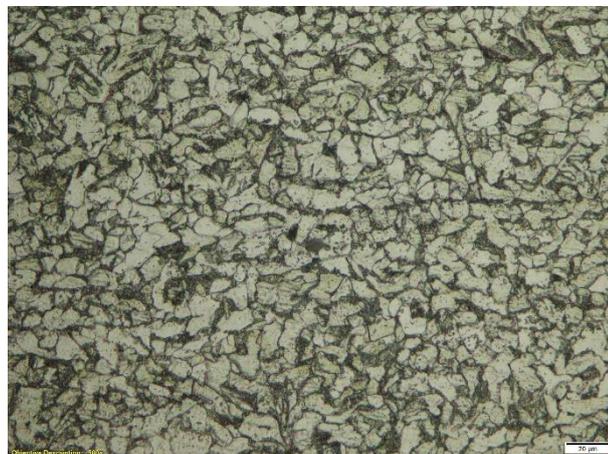


b

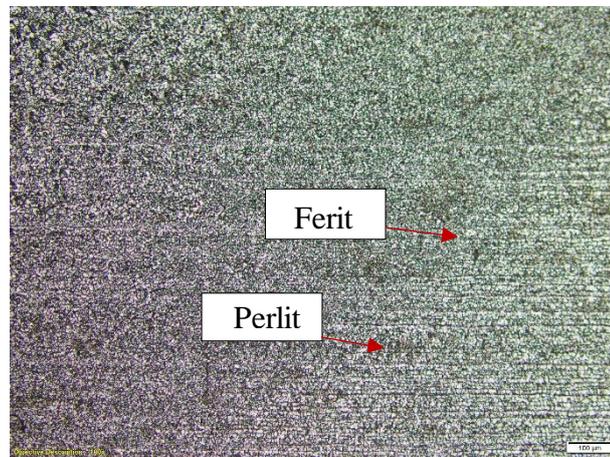


c

Gambar 4.9 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 120 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM



a

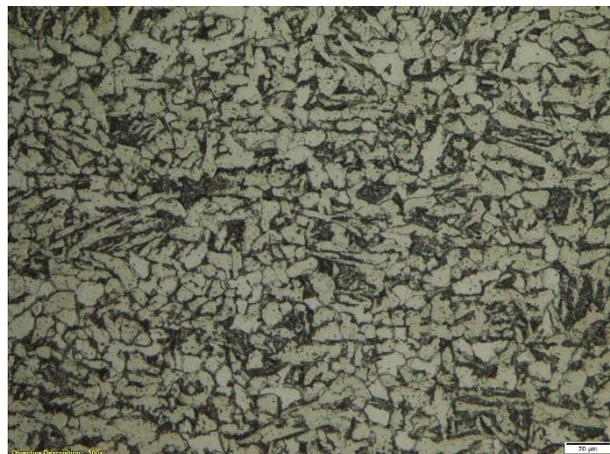


b

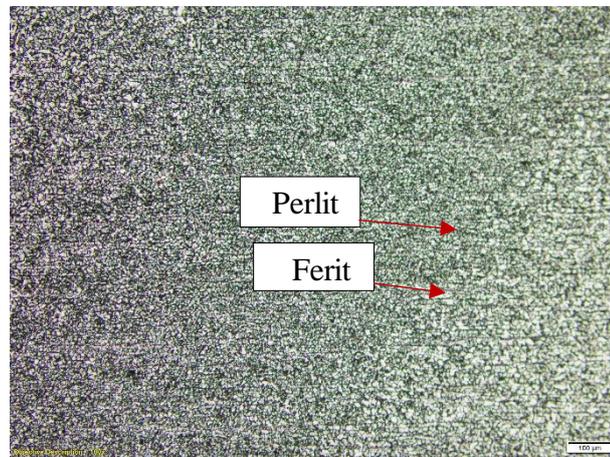


c

Gambar 4.10 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 155 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM



a



b



c

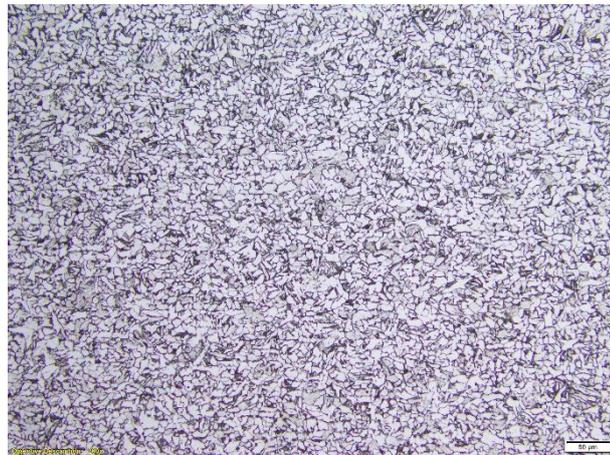
Gambar 4.11 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Lokal 190 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM

Analisa hasil struktur mikro yang dilakukan menggunakan alat mikroskop optic dengan lensa perbesaran yang digunakan adalah 200-500x pada tiga daerah yang berbeda. Daerah pertama adalah *Base Metal* (BM), yang kedua adalah daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan yang ketiga adalah daerah *Weld Metal* (WM). Analisa ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* pada baja ASTM A36. Diketahui ukuran batang baja yaitu (37,5 x

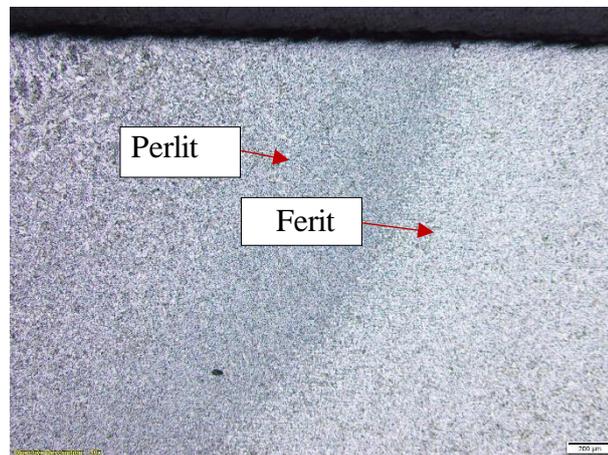
100 x 10) mm. Maka didapatkan hasil pengujian karakterisasi OM pada Gambar 4.9. Pada Gambar 4.9 menunjukkan fasa ferit dan perlit sama dominan. Dimana fasa ferit ditunjukkan pada bidang dengan warna terang dan fasa perlit pada bidang dengan warna gelap kehitaman. Terbentuknya struktur fasa terjadi karena adanya kandungan unsur, Fe dapat menyebabkan parameter kisis berubah dan berakibat pada munculnya fasa baru pada pelat. Ferit memiliki sifat yang lebih lunak dibandingkan dengan perlit. Dimana kekerasan karbon perlit ada pada nilai 180 hingga 250 HV (Aji Prabowo, et al., 2019). Fasa perlit masih banyak ditemukan pada jenis elektroda lokal. Fasa ferit memiliki sifat yang ulet. Pada elektroda lokal terdapat fasa perlit yang terbentuk. Fasa perlit terdiri atas fasa ferit dan sementit. Fasa ini memiliki sifat yang ulet, kuat dan keras (Callister Jr & Rethwisch, 2018) namun lebih mudah berkarat hal ini dikarenakan pada setiap fasa perlit memiliki titik kecil yang merupakan hasil reaksi oksidasi dari *flux* dan pelat logam. Adanya keseimbangan fasa ferit dan perlit yang terbentuk menjadikan jenis elektroda lokal baik berdasarkan struktur fasa. Namun tetap perlunya dilakukan perbandingan dengan menggunakan metode pengujian lainnya terutama metode pengujian *destructive test*.

4.6.2 Pembahasan dan Analisis Pengujian *Optical Microscope* Jenis Elektroda Impor

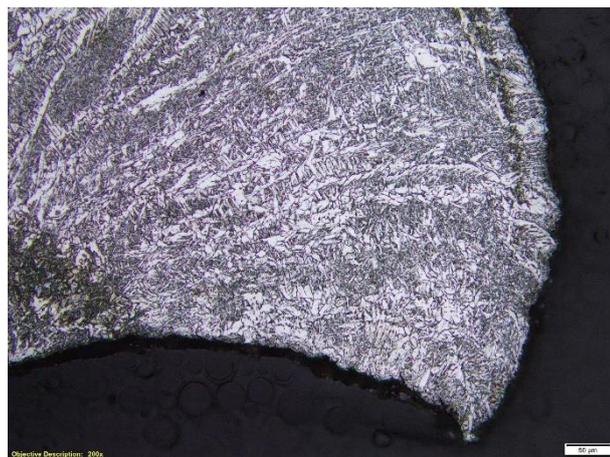
Gambar 4.12 sampai dengan 4.14 menunjukkan hasil pengujian OM pada elektroda impor pada variasi kuat arus 120 Ampere, 155 Ampere dan 190 Ampere.



a

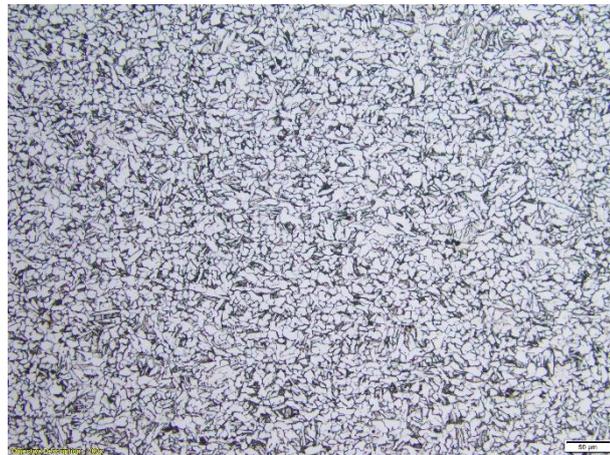


b

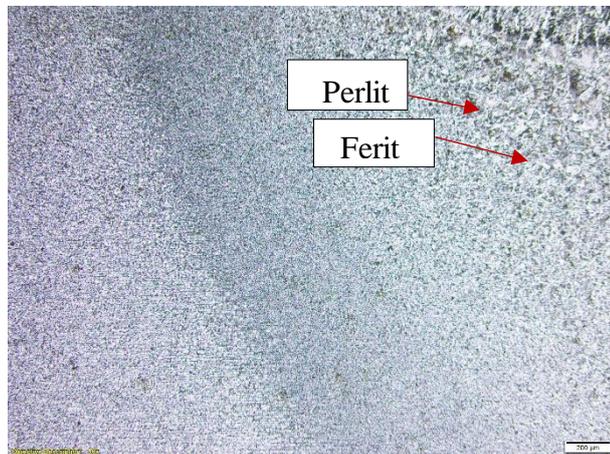


c

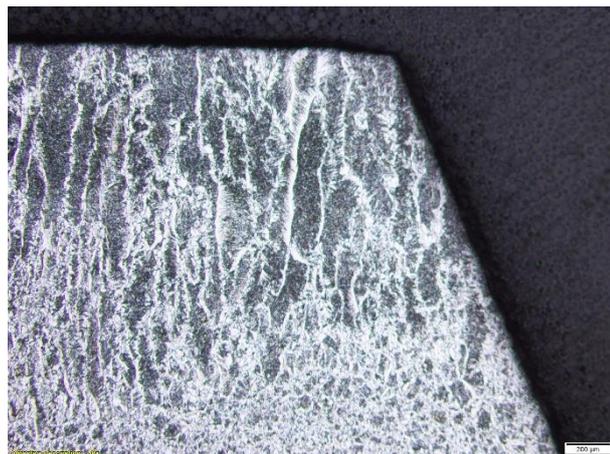
Gambar 4.12 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 120 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM



a

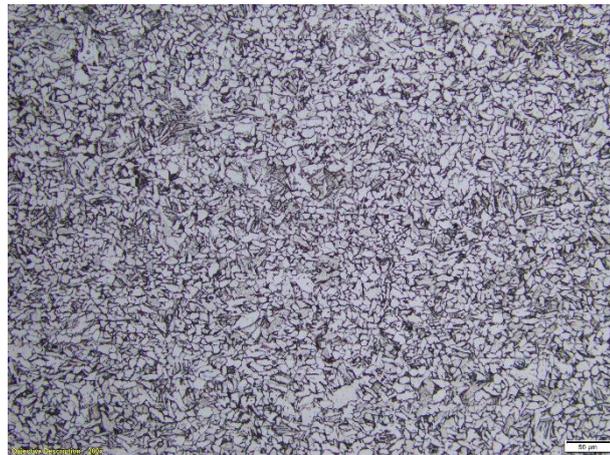


b

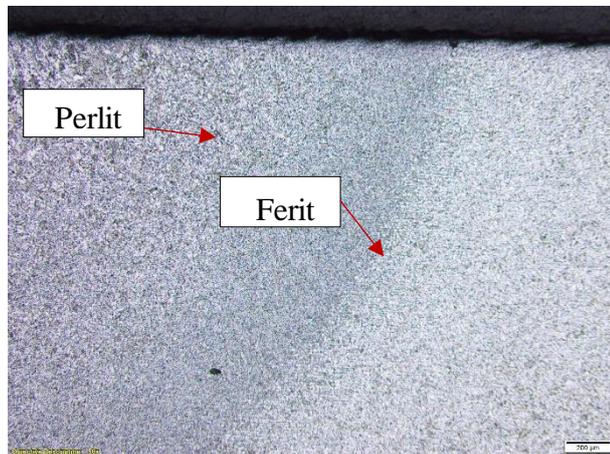


c

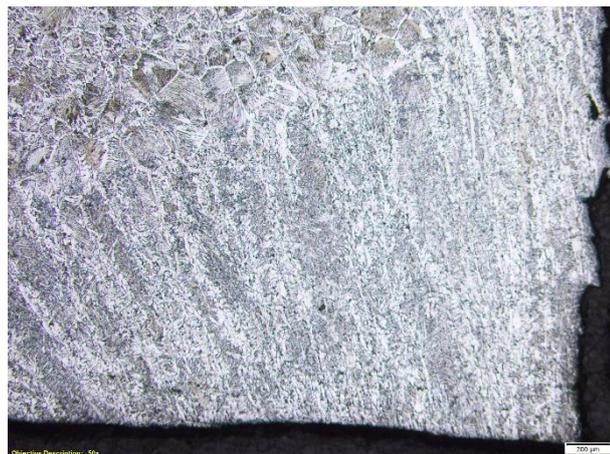
Gambar 4.13 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 155 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM



a



b



c

Gambar 4.14 Gambar Hasil Pengujian Metalografi Pada Elektroda Impor 190 Ampere (a) Daerah BM (b) Daerah HAZ (c) Daerah WM

Analisa hasil struktur mikro yang dilakukan menggunakan alat mikroskop optic dengan lensa perbesaran yang digunakan adalah 200-500x pada tiga daerah yang berbeda. Daerah pertama adalah *Base Metal* (BM), yang kedua adalah daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan yang ketiga adalah daerah *Weld Metal* (WM). Analisa ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* pada baja ASTM A36. Diketahui ukuran batang baja yaitu (37,5 x 100 x 10) mm. Maka didapatkan hasil pengujian karakterisasi OM pada Gambar 4.14. Pada Gambar 4.14 menunjukkan fasa ferit mendominasi dari pada fasa perlit. Dimana fasa ferit ditunjukkan pada bidang dengan warna terang dan fasa perlit pada bidang dengan warna gelap kehitaman. Pada hasil las menggunakan elektroda impor struktur ferit yang terbentuk merupakan struktur ferit halus. Struktur ini terbentuk akibat perlakuan panas sehingga terbentuknya ferit. Struktur ferit yang melebar merupakan struktur ferit halus. Berdasarkan literatur semakin kasar fasa ferit maka tingkat kekerasan menurun, dan semakin halus ferit yang terbentuk maka tingkat keuletannya akan semakin meningkat (Aji Prabowo, et al., 2019).