

**PENGARUH VARIASI ARUS DAN JENIS ELEKTRODA HASIL PROSES
PENGELASAN SMAW TERHADAP CACAT LAS MENGGUNAKAN PENGUJIAN
ULTRASONIK PHASED ARRAY**

I WAYAN PRADNYA PRASTITA

S1 Pendidikan Teknik Mesin Produksi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: wayanpradnya@gmail.com

YUNUS

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: brilian818@yahoo.com

Abstrak

Pada proses pengelasan SMAW terdapat bermacam – macam jenis elektroda dengan berbagai ukuran diameter, kesemuanya itu dilakukan untuk menyesuaikan ketebalan plat dan jenis baja karbon, serta mengurangi permasalahan utama pada proses pengelasan yaitu terjadinya cacat pada proses pengelasan. Proses pengelasan ini menggunakan bahan baja paduan rendah SS 400 pada spesimen dengan ukuran 200 x 100 x 10 mm. Proses pengelasan dengan posisi bawah tangan (1G), menggunakan kampuh V. Jenis Elektroda yang digunakan adalah Elektroda E7016 dan E7018 berdiameter 3,2 mm dengan variasi arus 80 A, 100 A, dan 120 A. Kajian penelitian ini dititikberatkan pada analisa hasil cacat las yang terjadi pada proses pengelasan SMAW dengan menggunakan pengujian *Ultrasonik Phased Array*. Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu metode eksperimen, yaitu pengumpulan data langsung dan metode literatur, yaitu pengumpulan data yang diperoleh secara tidak langsung, yaitu pada buku, bahan bacaan, modul, atau media cetak yang berhubungan dengan obyek yang diteliti dan dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya. Hasil pada pengelasan E7016 dan E7018 arus 80 ampere dan 100 ampere banyak ditemukan cacat las jenis *slag inclusion* dan *lack of fusion* dengan volume cacat *slag* terbesar yaitu 155 mm³ dan volume cacat *lack of fusion* terbesar yaitu 140 mm³. Sedangkan pada arus 120 ampere tidak ditemukan cacat didalam area logam las. Namun semua benda kerja hasil las telah terindikasi cacat las jenis *incomplete penetration* dan *undercut* pada daerah *root* dan permukaan las. Sesuai data tersebut dapat diketahui hasil las dengan menggunakan elektroda E7016 dan E7018 diameter 3.2 mm pada arus 120 ampere adalah parameter las dengan hasil lasan terbaik.

Kata Kunci: Variasi Arus Listrik, Jenis Elektroda, SMAW, Cacat Las, Pengujian *Ultrasonik Phased Array*.

Abstract

On SMAW process there are various types of electrodes with the diameter size, all of which was done to adjust the thickness of the plate and the type of carbon steel, as well as reduce the main problems in the welding process, namely the occurrence of defects in welding processes. This welding process using low alloy steel SS 400 on specimens with a size of 200 x 100 x 10 mm. Welding processes with lower hand position (1 G), using the seam-type V. Electrodes used is the electrode E7018 and E7016 diameter 3.2 mm with the variation of electricity current is 80 A, 100 A, and 120 A. Study of this research is concern on analysis result disability which occurred in SMAW process using Ultrasonic Phased Array testing. This study uses two methods, namely experimental method, i.e. direct data collection and methods of data collection, the literature is obtained indirectly, i.e. on books, reading materials, modules, or print media that is associated with the object is examined and can be accountable. Results on the welding current E7018 and E7016 with variation of electricity current 80 ampere and 100 ampere are founded defects in weld type slag inclusions and lack of fusion with the volume of slag defect that is 155 mm³ and lack of fusion is 140 mm³. But in the current 120 ampere is not found defects in the metal area. However all workpiece welding results have been alleged incomplete penetration of welding defects and undercut at the root area and the surface of the weld. According to the data may be aware that the results use a welding electrode E7018 and E7016 diameter 3.2 on 120 ampere is the parameter with the best result..

Keywords: *Variation of Electricity Current, The Type Of Electrode, SMAW, Weld Defects, Ultrasonic Testing Of Phased Array.*

PENDAHULUAN

Perkembangan jaman sekarang ini banyak kebutuhan dalam pembangunan konstruksi, yang mana dalam pembangunan tersebut membutuhkan suatu mekanisme dalam pengerjaannya yang berfungsi dalam menyambung logam, yang saat ini sering disebut dengan pengelasan. Salah satu dari fungsi pengelasan diantaranya adalah sebagai penyambung dua komponen yang berbahan logam. Selain itu fungsi pengelasan adalah sebagai media atau alat pemotongan. Kelebihan lain dari pengelasan diantaranya biaya murah, proses relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif.

Pada teori, mesin las *SMAW* termasuk salah satu mesin las yang paling sering digunakan atau diaplikasikan dalam suatu pengerjaan proses pengelasan. Mesin las *SMAW* menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current (DC)*, mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current (AC)* dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (*DC*) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (*AC*). Mesin Las arus *DC* dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las *DC* polaritas lurus (*DC-*) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las *DC* polaritas terbalik (*DC+*) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif (Sunairi, 2007 : 7-8).

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang

dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan (Arifin dalam Joko Santoso, 2006).

Proses pengelasan merupakan masalah yang kompleks. Dalam melakukan pengelasan perlu dilakukan perencanaan sambungan las. Perencanaan ini meliputi beberapa faktor antara lain jenis logam yang akan dilas, perubahan mekanis setelah material mendapat siklus panas, jenis mesin las, jenis elektroda, arus las, cara pengelasan dan parameter pengelasan. Faktor-faktor ini harus dipenuhi selama proses pengelasan, jika tidak dipenuhi akan menghasilkan sambungan las yang tidak baik seperti banyaknya cacat las yang timbul.

Inspeksi terhadap struktur material logam seperti baja sangat penting untuk mengetahui kondisi material dan melakukan tindakan preventif sebelum terjadinya kegagalan fungsi peralatan pada saat digunakan. Penurunan fungsi terjadi akibat keretakan, korosi, penyambungan, kelelahan penggunaan material dalam kurun waktu yang lama. Ada terdapat banyak metode pengujian dan pemeriksaan baik itu pengujian dengan merusak atau *Destructive Testing (DT)*, ada juga pengujian dengan tidak merusak material atau spesimen yang disebut *Non Destructive Testing (NDT)*. Pengujian material dengan metode *Non Destructive Testing (NDT)* adalah pengujian material tanpa menyebabkan kerusakan pada material tersebut. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi dan menentukan lokasi, ukuran dan karakteristik cacat.

Dengan semakin berkembangnya teknologi di bidang *NDT* terutama dalam pengujian Ultrasonik, kini telah berkembang sebuah alat yang terkini yaitu penggunaan pengujian *Ultrasonik Phased Array*. Secara sederhana prinsip kerja dari Metode *Phased Array* pada pengujian Ultrasonik *NDT* diadopsi dari bidang medis yaitu *USG (Ultrasonografi)* yang

digunakan untuk mendeteksi bayi di dalam kandungan.

Ultrasonic NDT merupakan salah satu teknik yang digunakan secara luas dan lebih efektif untuk pengujian cacat dalam (*internal defect*) material. Sebuah sistem *Phased Array* biasanya berbasis sebuah transduser ultrasonik khusus yang mengandung berbagai element pada transduser yang dapat berdenyut secara terpisah dalam pola terprogram. Bentuknya persegi, persegi panjang, atau bulat, dan frekuensi pengujian yang paling sering dalam kisaran dari 1 sampai 10 MHz yang akan menembus material dan dipantulkan atau disebarkan oleh retakan (cacat) yang ada didalam material. Propagasi dari sinyal pantul tersebut akan memberikan informasi tentang lokasi cacat atau retakan yang ada di dalam material (Lilik Subiyanto, 2012).

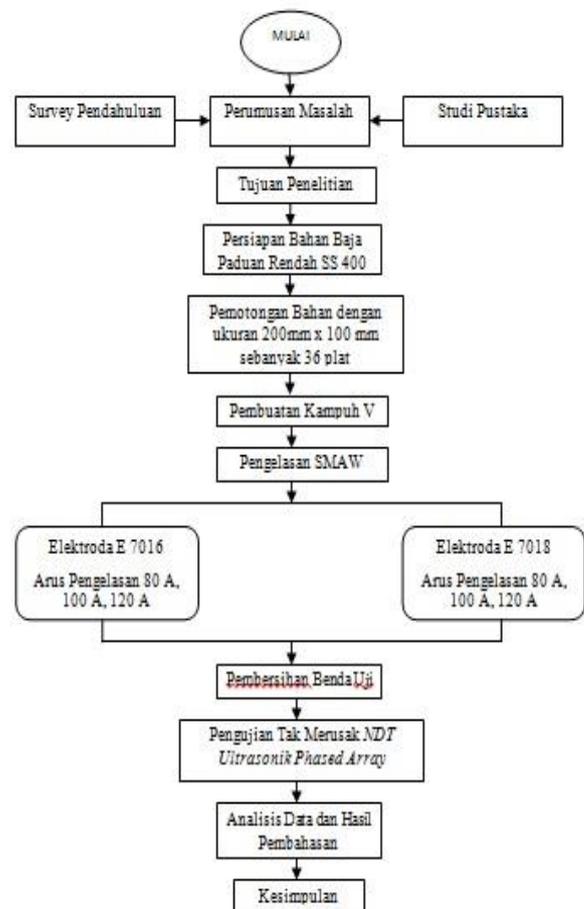
Dengan menggunakan pengujian Ultrasonik *NDT Phased Array* ini akan semakin memudahkan untuk dapat mendeteksi cacat pada hasil las, karena tampilan cacat dapat dilihat dalam bentuk secara nyata. Dalam Ultrasonik *NDT Phased Array* akan ditampilkan dengan tampilan *A-Scan*, *B-Scan*, dan *C-Scan*. Ini merupakan salah satu kelebihan pengujian Ultrasonik *NDT Phased Array* dalam pendeteksian lokasi cacat.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik cacat las yang terjadi pada bahan baja SS 400 dengan elektroda E7016 dan E7018 hasil pengelasan SMAW dengan variasi arus 80 A, 100 A, dan 120 A menggunakan pengujian *NDT Ultrasonik Phased Array*.

Manfaat Penelitian ini adalah sebagai literatur pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khususnya bidang pengelasan dan bidang *NDT (Non Destructive Testing)*, sebagai informasi bagi juru las untuk meningkatkan kualitas hasil pengelasan, sebagai informasi penting guna meningkatkan pengetahuan bagi peneliti dalam bidang pengujian bahan, pengelasan dan bahan teknik dan sebagai pembelajaran mahasiswa tentang ilmu pengelasan dan pengujian *Non Destructive Testing*.

METODE

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari – Februari 2014. Penelitian dilakukan di dua tempat, yaitu pengerjaan benda uji dan pengelasan SMAW di Laboratorium Las Teknik Mesin Unesa, sedangkan pengujian *Ultrasonik Phased Array* dilaksanakan di PT. Deptha Utama – Bekasi, Jakarta Timur.

Variabel Penelitian

▪ Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pengaruh variasi arus pengelasan (80 A, 100 A, dan 120 A) dan jenis elektroda yang digunakan dalam pengelasan SMAW (E7016 dan E7018).

▪ Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang dimaksud adalah semua faktor yang dapat mempengaruhi hasil dari pengelasan SMAW terhadap cacat las, adalah : mesin las, operator las, kecepatan pengelasan, jenis kampuh las, elektroda, arus, dan bahan.

▪ Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil pengujian cacat las pada hasil pengelasan SMAW dengan menggunakan pengujian *Non Destructive Testing (NDT)* metode *Ultrasonik Phased Array*.

Prosedur Penelitian

- Mempersiapkan bahan dan peralatan penelitian.
- Benda kerja dengan ukuran baja SS 400 panjang = 200 mm, lebar = 100 mm, tebal = 10 mm
- Elektroda E7016 dan E7018 diameter 3.2 mm
- Mempersiapkan mesin las SMAW
- Mempersiapkan peralatan pengelasan
- Pengujian komposisi bahan
- Pembuatan kampuh V
- Pengoperasian pengelasan benda uji dengan mesin las SMAW DCRP :
 - Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka 80 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk spesimen dengan arus 80 A, bersamaan dengan hal itu dilakukan pencatatan waktu pengelasan
 - Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka 100 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk spesimen dengan arus 100 A, bersamaan dengan hal itu dilakukan pencatatan waktu pengelasan.
 - Menyetel ampere meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya

dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. Ampere meter diatur pada angka 100 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk spesimen dengan arus 100 A, bersamaan dengan hal itu dilakukan pencatatan waktu pengelasan.

- Benda kerja dibersihkan
- Dilakukan pengujian menggunakan uji *Non Destructif Testing Ultrasonik Phased Array*.

Teknik Analisis Data

Setelah data diperoleh selanjutnya adalah menganalisa data dengan cara mengolah data yang sudah terkumpul. Data dari hasil pengujian dimasukkan sehingga diperoleh data yang bersifat deskripsi kuantitatif, untuk menerjemahkan dalam bentuk deskripsi, hasil penelitian ditafsirkan dengan metode kualitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil Uji Komposisi

Tabel 1. Komposisi Material Kimia

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Fe
0.20	0.09	0.27	0.04	0.01	0.03	0.03	0.33

Menurut Wiryosumarto (2000), baja paduan rendah adalah sekelompok baja paduan yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak, tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Baja karbon rendah mengandung kurang dari 0,5 % karbon. Kebanyakan dari produk baja ini berbentuk pelat hasil pembentukan roll dingin dan proses *anneal*. Kandungan karbonnya yang rendah dan mikro strukturnya yang terdiri dari fasa *ferit* dan *pearlit* menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah, namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan mikrostruktur *martensit* maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan dari baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses roll dingin maupun karburisasi. Hasil pengujian komposisi kimia material diatas menunjukkan kadar karbonnya adalah 0,20 %, dan terdapat

unsur-unsur paduan dengan % berat yang rendah, maka baja ini diklasifikasikan menjadi baja paduan rendah (*low alloy steel*).

Hasil Uji Cacat Las dengan UT Phased Array

Pengujian *Ultrasonik Phased Array* merupakan salah satu metode pengujian tak merusak dengan menggunakan getaran ultrasonik untuk dapat melihat dan mengidentifikasi jenis cacat las. Pengujian tak merusak (*NDT*) adalah aktivitas pengujian atau inspeksi terhadap suatu benda atau material untuk mengetahui adanya cacat, retak atau *discontinuity* lain tanpa merusak benda yang kita uji. Hasil dari pengujian ini berupa display gambar yang terliput dalam tampilan A-scan, B-scan dan C-scan dan juga analisis atau *report* yang diberikan oleh inspector *NDT Ultrasonik Phased Array*.

Pada data hasil elektroda E7016 dengan variasi arus 80 A, 100 A, 120 A yang ditemukan cacat terbanyak dengan ukuran terpanjang pada arus 80 ampere yaitu 12 mm dengan tinggi 3 mm pada kedalaman 4.3 mm, jenis cacat yang diidentifikasi adalah cacat jenis *slag inclusion* dan cacat jenis *porosity* dengan ukuran panjang sekitar 2 – 3 mm dengan tinggi 2.7 mm pada kedalaman 1.6 – 2.3 mm. Pada arus 100 ampere hanya ditemukan cacat jenis *slag inclusion* dengan ukuran terpanjang 10 mm dengan tinggi 1.7 mm pada kedalaman 1.2 mm. Arus yang optimum berdasarkan data diatas terdapat pada arus 120 A. Selain jenis cacat yang disebutkan diatas, semua benda uji dinyatakan terkena cacat las jenis *incomplete penetration* pada *root* las dan beberapa *undercut* pada permukaan las.

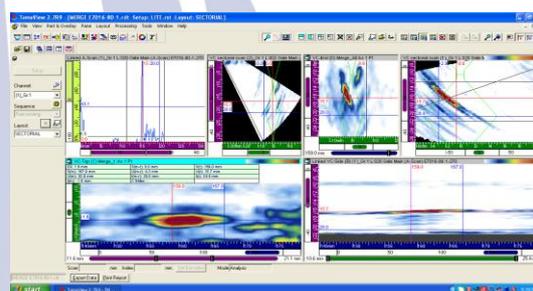
Tabel 2. Batas izin cacat las berdasarkan ASME SEC. IX

Jenis Cacat Las	Ketentuan Umum
Cacat bidang : <i>Incomplete penetration, undercut, crack.</i>	Tidak mengizinkan atau ditolak berapa pun besarnya.
Cacat volume : <i>Porosity, slag, inklusi, void, lack of fusion.</i>	Ukuran total maksimal 20 % dari ketebalan material di tiap 6 in panjang pengelasan, atau ukuran total maksimal 1/8 in di tiap 6 in panjang pengelasan.

Data dari hasil pengujian tak merusak (*NDT Ultrasonik Phased Array*) dengan jenis elektroda dan kelompok variasi arus pengelasan yang sudah diperoleh kemudian dimasukkan kedalam tabel yang ada.

Tabel 3. Hasil pengujian *UT Phased Array E7016*

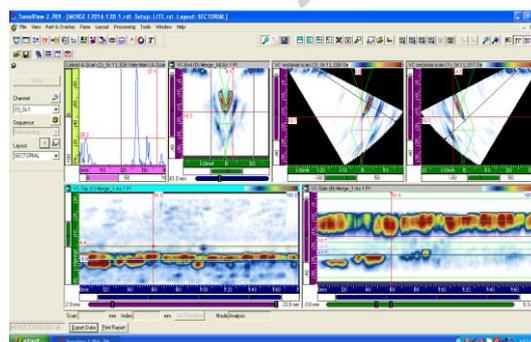
E 7016	SPESIMEN PENGUJIAN			
	Jenis Cacat Las	High	Depth	Length
Arus 80 A (I)	1. <i>Slag Inclusion</i>	3 mm	4.3 mm	12 mm
	2. <i>Porosity</i>	2.7 mm	1.6 - 2.3 mm	2 - 3 mm
Arus 80 A (II)	1. <i>Slag Inclusion</i>	2.1 mm	2.2 mm	2 mm
Arus 80 A (III)	1. <i>Slag Inclusion</i>	1 mm	1.4 mm	6 mm
Arus 100 A (I)	1. <i>Slag Inclusion</i>	1.4 mm	1 mm	4 mm
Arus 100 A (II)	1. <i>Slag Inclusion</i>	1.4 mm	0.6 mm	4 mm
Arus 100 A (III)	1. <i>Slag Inclusion</i>	1.7 mm	1.2 mm	10 mm
Arus 120 A (I)	Tidak ditemukan cacat	-	-	-
Arus 120 A (II)	Tidak ditemukan cacat	-	-	-
Arus 120 A (III)	Tidak ditemukan cacat	-	-	-



Gambar 2. Gambar Display *Phased Array 80 A*



Gambar 3. Gambar Display *Phased Array 100 A*

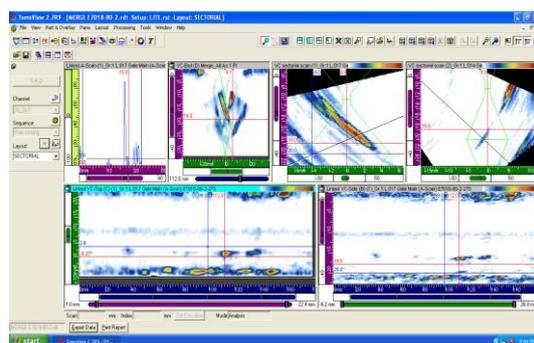
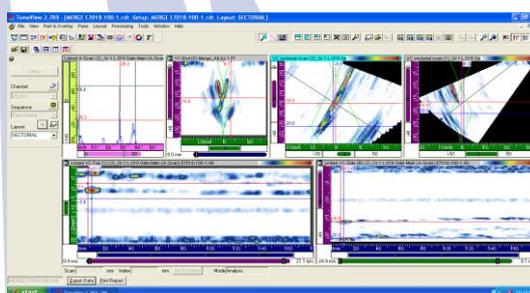
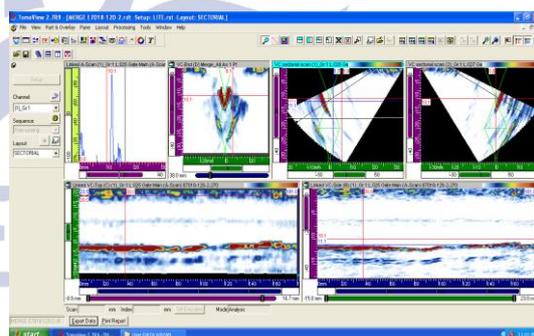


Gambar 4. Gambar Display *Phased Array 100 A*

Tabel 4. Hasil pengujian *UT Phased Array* E7018

E 7018	SPESIMEN PENGUJIAN			
	Jenis Cacat Las	High	Depth	Length
Arus 80 A (I)	1. <i>Lack of fusion</i>	2 mm	3 mm	8 mm
Arus 80 A (II)	1. <i>Lack of fusion</i>	2 mm	3.5 mm	20 mm
	2. <i>Slag inclusion</i>	2 mm	3.5 mm	8 mm
Arus 80 A (III)	1. <i>Lack of fusion</i>	1.4 mm	4.2 mm	6 mm
	2. <i>Lack of fusion</i>	2.1 mm	2.4 mm	8 mm
Arus 100 A (I)	1. <i>Slag inclusion</i>	1.5 mm	1 mm	6 mm
	2. <i>Lack of fusion</i>	2.5 mm	4.5 mm	11 mm
Arus 100 A (II)	1. <i>Slag Inclusion</i>	2 mm	1.4 mm	8 mm
Arus 100 A (III)	Tidak ditemukan cacat	-	-	-
Arus 120 A (I)	Tidak ditemukan cacat	-	-	-
Arus 120 A (II)	Tidak ditemukan cacat	-	-	-
Arus 120 A (III)	1. <i>Slag Inclusion</i>	2 mm	1.5 mm	2 mm

Pada data hasil elektroda E7018 dengan variasi arus 80 A, 100 A, 120 A yang ditemukan cacat terbanyak dengan ukuran terpanjang pada arus 80 ampere yaitu 20 mm dengan tinggi 2 mm pada kedalaman 3.5 mm, jenis cacat yang diidentifikasi adalah cacat jenis *lack of fusion*, sedangkan cacat jenis lainnya yaitu *slag inclusion* ditemukan dengan ukuran terpanjang 8 mm dengan tinggi 2 mm pada kedalaman 3.5 mm. Pada arus 100 ampere juga ditemukan cacat jenis *lack of fusion* dengan ukuran terpanjang 11 mm dengan tinggi 2.5 mm pada kedalaman 4.5 mm dan cacat jenis *slag inclusion* dengan ukuran terpanjang 8 mm dengan tinggi 2 mm pada kedalaman 1.4 mm pada area logam las. Arus yang optimum berdasarkan data diatas terdapat pada arus 120 A, karena tidak terdapat cacat las pada benda kerja ke 1 dan ke 2, akan tetapi pada benda kerja ke 3 ditemukan sedikit jenis cacat *slag* dengan ukuran 2 mm dengan tinggi 2 mm pada kedalaman 1.5 mm. Selain jenis cacat yang disebutkan diatas, semua benda uji dinyatakan terkena cacat las jenis *incomplete penetration* pada *root* las dan beberapa *undercut* pada permukaan las.

Gambar 5. Gambar Display *Phased Array* 80 AGambar 6. Gambar Display *Phased Array* 100 AGambar 7. Gambar Display *Phased Array* 120

Berbagai jenis serta ukuran cacat las berdasarkan data diatas, semua dapat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las. Kegagalan pada suatu konstruksi sambungan las dapat terjadi karena berbagai sebab seperti misalnya salah *design*, beban operasional, dan juga cacat material. Cacat las dapat menyebabkan kegagalan akibat beban mekanis. Kegagalan akibat beban mekanis adalah berhubungan dengan tegangan yang terjadi pada suatu konstruksi sambungan las. Mekanika

patah menyajikan studi struktural yang memandang perambatan cacat las sebagai fungsi beban kerja. Pada saat konstruksi sambungan las mendapat beban maka kemungkinan kegagalan fatigue adalah merupakan pertimbangan utama dalam perancangannya. Berdasarkan data yang didapat jenis cacat las yang ditemukan pada *weld metal* adalah cacat *slag inclusion* dan *lack of fusion*, adanya cacat las ini pada sambungan las memberikan efek yang tidak terlalu signifikan pada beban statik, tetapi menurunkan kekuatan fatigue secara signifikan.

Beberapa buku menyarankan tidak menggunakan sambungan las untuk komponen yang mendapat beban fatigue. Hal ini tidak membantu engineer dalam perancangan karena suatu komponen konstruksi pada umumnya mendapat beban dinamik. *Slag inclusion, lack of fusion, cracking* adalah salah satu dari jenis cacat mikroskopik yang secara normal muncul pada permukaan atau bagian dalam material. Tidak ada material atau proses manufaktur yang menghasilkan struktur kristal yang bebas cacat. Pada tegangan kerja, *defect* bergerak disepanjang material, hal ini dapat menyebabkan slip pada bidang gerakannya. Sehingga pada lokasi yang teridentifikasi cacat akan lebih mudah terjadi kerusakan. Kegagalan patah sambungan las terjadi dibawah tegangan luluh material solid. Mekanika patah memfokuskan pada panjang cacat yang kritis yang menyebabkan elemen gagal. Pengawasan terhadap patah terbagi atas menjaga tegangan nominal dan menjaga ukuran cacat las agar dibawah level kritis untuk material yang telah digunakan pada suatu konstruksi sambungan las. Kekuatan patah digunakan sebagai kriteria desain dalam pencegahan patah material karena cacat las, seperti halnya kekuatan luluh digunakan sebagai kriteria desain dalam pencegahan luluh material ulet pada pembebanan statis.

Karena tegangan dekat ujung cacat las dapat didefinisikan dalam faktor intensitas tegangan, nilai kritis kekuatan patah K_{ci} menyatakan besaran yang dapat menentukan keadaan material. Secara umum persamaan untuk kekuatan patah adalah :

$$K_{ci} = Y\sigma_{nom}\sqrt{\pi a} \dots\dots\dots(1)$$

dimana : σ_{nom} = Tegangan nominal pada saat patah
 a = Setengah panjang cacat las
 Y = faktor koreksi

Pada arus 80 A jenis elektroda E 7016 dengan ukuran cacat terpanjang 12 mm, tinggi 3 mm pada kedalaman 4.3 mm, dengan menggunakan rumus didapati kekuatan patah sambungan sebesar 786.4 MPa. Pada arus 100 A jenis elektroda E 7016 dengan ukuran cacat terpanjang 10 mm, tinggi 1.7 mm pada kedalaman 1.2 mm, dengan menggunakan rumus didapati kekuatan patah sambungan sebesar 717.9 MPa.

Pada arus 80 A jenis elektroda E 7018 dengan ukuran cacat terpanjang 20 mm, tinggi 2 mm pada kedalaman 3.5 mm, dengan menggunakan rumus didapati kekuatan patah sambungan sebesar 1015.3 MPa. Pada arus 100 A jenis elektroda E 7018 dengan ukuran cacat terpanjang 11 mm, tinggi 2.5 mm pada kedalaman 4.5 mm, dengan menggunakan rumus didapati kekuatan patah sambungan sebesar 753 MPa.

PENUTUP

Simpulan

- Karakteristik hasil pengujian cacat las dengan *Ultrasonik Phased Array* pada jenis elektroda E7016 :
 - Pada arus 80 A ditemukan cacat las jenis *slag inclusion* dan *porosity* pada area *weld metal* dengan volume cacat *slag* terbesar 155 mm³ dan volume cacat *porosity* 9 mm³. Dengan kekuatan patah pada konstruksi sambungan las sebesar 786.4 MPa.
 - Pada arus 100 A ditemukan cacat jenis *slag inclusion* pada area *weld metal* dengan volume cacat terbesar 20 mm³. Dengan kekuatan patah pada konstruksi sambungan las sebesar 717.9 MPa
 - Pada arus 120 A tidak ditemukan cacat las pada area *weld metal*.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa arus yang optimum adalah pada 120 A, dan semakin besar ukuran volume cacat las sangat mempengaruhi kekuatan patah pada konstruksi sambungan las, kekuatan patah terbesar pada E7016 terdapat pada arus 80 A sebesar 786.4 MPa. Berdasarkan tabel ASME SEC. IX,

semua benda kerja yang teridentifikasi *slag inclusion* dan *porosity* pada arus 80 A dan 100 A tidak diizinkan atau ditolak, karena *range* ukuran total cacat tidak memenuhi ukuran yang diizinkan.

- Karakteristik hasil pengujian cacat las dengan *Ultrasonik Phased Array* pada jenis elektroda E7018 :

- Pada arus 80 A ditemukan cacat las jenis *lack of fusion* dengan volume cacat sebesar 140 mm^3 dan cacat las jenis *slag inclusion* dengan volume cacat sebesar 56 mm^3 pada area *weld metal*. Dengan kekuatan patah pada konstruksi sambungan las sebesar 1015.3 MPa.
- Pada arus 100 A ditemukan cacat las jenis *lack of fusion* dengan volume cacat terbesar 124 mm^3 dan cacat las jenis *slag inclusion* dengan volume cacat terbesar 22 mm^3 pada area *weld metal*. Dengan kekuatan patah pada konstruksi sambungan las sebesar 753 MPa.
- Pada arus 120 A benda kerja 1 dan 2 tidak ditemukan cacat las, namun pada benda kerja ke 3 ditemukan sedikit cacat jenis *slag* dengan volume cacat sebesar 4 mm^3 , namun cacat ini masih dapat diterima.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa arus yang optimum adalah pada 120 A, dan semakin besar ukuran volume cacat las sangat mempengaruhi kekuatan patah pada konstruksi sambungan las, kekuatan patah terbesar pada E7018 terdapat pada arus 80 A sebesar 1015.3 MPa. Berdasarkan tabel ASME SEC. IX, semua benda kerja yang teridentifikasi *slag inclusion* dan *lack of fusion* pada arus 80 A dan 100 A tidak diizinkan atau ditolak, karena *range* ukuran total cacat tidak memenuhi ukuran yang diizinkan.

- Karakteristik hasil pengujian cacat las dengan *Ultrasonik Phased Array* pada jenis elektroda E7018 dan E7016 dengan variasi arus teridentifikasi terdapat cacat las *incomplete penetration* pada *root* las dan juga beberapa *undercut* dipermukaan las. Jadi, berdasarkan tabel ASME SEC. IX, semua benda kerja yang teridentifikasi *incomplete penetration* dan *undercut* tidak diizinkan atau ditolak.

Saran

- Perlu dilakukan penelitian lanjutan lagi, agar lebih dapat melihat secara detail angka dan nilai dari pengujian *destruktif testing* untuk digunakan sebagai pembanding.

- Jika mengelas dengan elektroda E7016 dan E7018 berdasarkan hasil penelitian ini antara rentang arus 80 – 120 A sebaiknya menggunakan arus yang paling tinggi, karena jika kurang maka penembusan yang terjadi akan kecil, namun jika arus yang digunakan terlalu tinggi juga dapat menyebabkan pencairan logam induk yang besar.
- Hendaknya seorang *welder* telah memiliki sertifikasi pengelasan sesuai dengan bidang keahliannya dan melaksanakan prosedur pengelasan sesuai dengan WPS (*Welding Procedure Specification*) agar cacat las dapat diminimalisir sehingga hasil las menjadi berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjawa, Ketut. 2013. *Petunjuk Pelaksanaan Proses Operasional dan Kalibrasi UT Phased Array – Omniscan MX*. Jakarta : PT. Deptha Utama.
- Chairul, M. Anwar. 2003. *Pengaruh Arus Pengelasan Pada Baja SS 400 Dengan Uji Tak Merusak Melalui Metode Ultrasonik Dan Radiografi*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- Pamungkas, Bayu. 2009. *Perbandingan Elektroda 7016 dan 7018 Proses SMAW Pada Plat ASTM A36 dengan Tipe Butt Joint Terhadap Kekuatan Tarik dan Lebar HAZ*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- Pujo, Imam, & Sarjito. 2008. *Analisis Kekuatan Sambungan Las SMAW Pada Marine Plat ST 42 Akibat Faktor Cacat Porositas dan Incomplete Penetration*. Universitas Diponegoro.
- Rizzaldi. 2010. *Cacat – Cacat Dalam Pengelasan*. (Online), diakses 20 November 2013.
- Santoso, Joko. 2006. *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW dengan Elektroda E7018*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Setyadi, Arif, ASNT. 2008. *NDT Training Program (Ultrasonic Method)*. Jakarta : PT. Multi Spec Sinergindo.
- Sevilla, Consuelo G ; penerjemah, Tuwu Amiluddin. 2006. *Pengantar Metode*

Penelitian. Jakarta : Universitas Indonesia (UI – Press).

Subiyanto, Lilik, & Arif, Tri. 2012. *Deteksi Cacat Pada Material Baja Menggunakan Ultrasonik Non-Destructive Testing dengan Metode Continuous Wavelet Transform.* Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.

Sunairi. 2007. *Teknik Pengelasan Logam.* Jakarta : GANECA EXACT.

Sunaryo, Heri. 2008. *Teknik Pengelasan Kapal.* Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Wiryo Sumarto, Harsono & Okumura, Toshie. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam.* Jakarta : PT PRADNYA PARAMITA.

