

**PENGARUH VARIASI *REPAIR WELDING* PADA  
PENGELASAN *SHIELDED METAL ARC WELDNG*  
TERHADAP SIFAT MATERIAL *WELD JOINT* PIPA API 5L  
GRADE B SCH. 40**

**JURNAL ILMIAH**

**TARA LYDWINA  
123.16.007**



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI  
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN  
INSTITUT TEKNOLOGI SAINS BANDUNG  
KOTA DELTAMAS  
AGUSTUS 2020**

**PENGARUH VARIASI *REPAIR WELDING* PADA  
PENGELASAN *SHIELDED METAL ARC WELDING*  
TERHADAP SIFAT MATERIAL *WELD JOINT* PIPA API 5L  
GRADE B SCH. 40**

**JURNAL ILMIAH**

**TARA LYDWINA  
123.16.007**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Metalurgi

Menyetujui

Kota Deltamas, 17 Agustus 2020

**Dosen Pembimbing**



Dr. Eng. Asep Ridwan Setiawan, S.T., M. Sc.

NIP. 198003242009121004

# PENGARUH VARIASI REPAIR WELDING PADA PENGELASAN SHIELDED METAL ARC WELDING TERHADAP SIFAT MATERIAL WELD JOINT PIPA API 5L GRADE B SCH. 40

Tara Lydwina<sup>[1]</sup>, Asep Ridwan Setiawan<sup>[2]</sup>

Program Studi Teknik Metalurgi, Institut Teknologi dan Sains Bandung<sup>[1]</sup>

Email: [lydwinat@gmail.com](mailto:lydwinat@gmail.com)<sup>[1]</sup>

## Abstrak

*Shielded Metal Arc Welding (SMAW) menggunakan elektroda dilapisi fluks untuk logam pengisi. Fakta di lapangan sering dijumpai pekerjaan pengelasan tidak sempurna. Ketika terjadi cacat pengelasan, maka dilakukan pengelasan perbaikan untuk menghilangkan cacat tersebut. Dalam penelitian ini, dilakukan pengelasan SMAW pada Pipa API 5L Grade B PSL 2 dengan variasi repair welding terhadap pengaruh struktur makro dan mikro serta kekerasan pada hasil pengelasan. Pengaruh struktur makro pada daerah lasan dari variasi repair welding tidak mengalami perubahan. Terdapat cacat crack dan excessive root pada spesimen weld original. Struktur mikro pada hasil pengelasan SMAW dengan variasi repair welding terdapat fasa ferrite dan pearlite. Distribusi kekerasan semua spesimen variasi repair welding pada daerah pengelasan masih memasuki kriteria penerimaan berdasarkan acuan API 1104 (Welding of Pipelines and Related Facilities) yaitu  $\leq 250$  HV10. Pada daerah logam las mengalami perubahan yang signifikan, repair welding 2x memiliki nilai kekerasan rata-rata yang sangat tinggi yaitu 192,2 HVN sedangkan repair welding 5x memiliki nilai kekerasan rata-rata yang sangat rendah yaitu 147,2 HVN. Hal ini menunjukkan bahwa daerah logam las pada repair welding 2x memiliki sifat yang lebih keras dan getas sedangkan daerah logam las pada repair welding 5x memiliki sifat yang lebih ulet dan tangguh. Nilai kuat tarik pada hasil pengelasan variasi repair welding dapat diterima dan sesuai dengan persyaratan yang sudah ditentukan oleh acuan standar API Specification 5L (Specification for Line Pipe) yaitu 415 MPa – 655 MPa. Repair Welding 5x memiliki nilai kuat tarik tertinggi yaitu 568 MPa, sedangkan repair welding 2x dan repair welding 7x memiliki nilai kuat tarik terendah yaitu 549 MPa.*

**KATA KUNCI:** SMAW, Pipa API 5L Grade B PSL 2, Pengelasan perbaikan, Struktur makro, Struktur mikro, Kekerasan, Uji Tarik

## I. PENDAHULUAN :

Pengelasan adalah proses penggabungan logam yang paling dapat diandalkan, efisien dan praktis yang secara luas digunakan dalam industri seperti *aerospace*, otomotif, nuklir, dan *off-shore*. Pengelasan sering dilakukan dengan melelehkan potongan benda kerja dan menambahkan material pengisi untuk membentuk *pool* material cair (*weld pool*) yang ketika dingin akan menjadi gabungan lasan yang kuat, penggabungan digunakan dengan tekanan, panas, atau dengan sendirinya membentuk lasan. Karena proses ini, maka didaerah sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan

terjadinya perubahan – perubahan metalurgi, deformasi dan tegangan – tegangan termal. Akibat terjadinya perubahan struktur maka sifat mekanik yang dimilikinya akan berubah juga.

*Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* juga dikenal sebagai *Manual Metal Arc Welding (MMAW)*, yang menggunakan elektroda *consumable* yang dilapisi fluks untuk diletakkan pada lasan. Arus listrik dalam bentuk arus bolak – balik atau arus searah dari *power supply* pengelasan digunakan untuk membentuk busur listrik antara elektroda dengan logam yang akan digabungkan. Lasan diletakkan oleh lapisan fluks dari lelehan

elektroda dan memberikan perlindungan gas dan lapisan fluks untuk melindungi daerah lasan dari kontaminasi udara (Moarrefzadeh, 2012).

Pada proses perencanaan struktur, pemilihan prosedur pengelasan mempunyai peranan yang sangat penting. *Welding Procedure Specification* (WPS) bertujuan untuk menentukan dimulai dari jenis kawat las, material dan parameter lainnya yang akan digunakan untuk menyambung struktur sesuai dengan perencanaan struktur secara keseluruhan. Fakta di lapangan sering dijumpai pekerjaan pengelasan tidak sempurna. Banyak terjadi cacat las dikarenakan faktor dari juru las, lingkungan pengelasan serta cuaca. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka dibuat prosedur pengelasan perbaikan (*Welding Procedure Specification Repair*). Akibat dari *repair* yang dilakukan akan berpengaruh besar terhadap daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan *weldability* dari *base metal* itu sendiri.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah pipa API 5L Grade B PSL 2 Sch. 40 dengan *Outside Diameter* (OD): 273 mm, *Inside Diameter* (ID): 254.46 mm dan *wall thickness*: 9.27 mm. Material dilakukan pengujian komposisi kimia dengan menggunakan metode uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) yang bertujuan untuk mengetahui persentase komposisi kimia yang terdapat pada material.

### 2.1. Proses Pengelasan

Pengelasan dilakukan dengan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Jenis penggabungan yang digunakan yaitu *butt joint* dan jenis kampuhnya yaitu *single v groove*. Posisi pengelasan yang dilakukan yaitu 5G. Elektroda yang digunakan yaitu E6010 untuk pengelasan daerah *root pass* dan E7010-P1 untuk pengelasan daerah *hot, fill, dan cap pass*. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu *multiple repair welding*. Prosedur pengelasan mengacu pada WPS *weld original*

dan WPS *repair welding* berdasarkan standar API 1104 (*Welding of Pipelines and Related Facilities*).

## 2.2. Pengujian Spesimen

### 2.2.1 NDT Radiography

Pengujian tak merusak radiography dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya cacat yang terdapat pada hasil lasan internal yang tidak dapat dilihat secara makroskopik. Teknik pengujian radiografi yang digunakan yaitu *double wall single image* (DWSI). Sensitivitas yang digunakan yaitu 2%. Cacat yang terdapat pada film radiografi memiliki kriteria penerimaan cacat berdasarkan standar API 1104 (*Welding of Pipelines and Related Facilities*).

### 2.2.2 Uji Metalografi

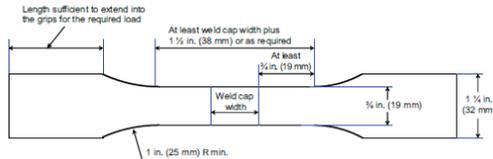
Metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur makro dan mikro yang terdapat pada material. Prosedur metalografi mengacu pada ASTM E3 (*Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*). Tahapan metalografi yang dilakukan yaitu: pemotongan spesimen, pembedaan (*mounting*) dengan menggunakan resin epoksi dan katalis, pengamplasan (*grinding*) dengan menggunakan kertas amplas grit 120 hingga 2000, pemolesan (*polishing*) dengan menggunakan pasta gigi zact, pengetsaan (*etching*) dengan menggunakan Nital 2% (2 ml HNO<sub>3</sub> + 100 ml alkohol 95%) yang mengacu pada standar ASTM E407-99 (*Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*), dan terakhir yaitu dilakukan pengujian mikroskop optik untuk mengetahui struktur makro dan mikro yang terdapat pada material.

### 2.2.3 Uji Keras (*Macroickers Hardness*)

Uji *macroickers hardness* merupakan salah satu metode pengujian kekerasan yang bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada material. Pada penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan beban 10kgf. Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah pengelasan yaitu logam induk, *heat affected zone* (HAZ), dan logam lasan. Pada spesimen *weld original* terdapat 17 titik indentasi. Sedangkan pada spesimen *multiple repair welding* terdapat 9 titik indentasi.

### 2.2.4 Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian merusak yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dan mengenali karakteristik pada suatu material. Pengujian tarik perlu dilakukan pada material lasan untuk mengetahui kekuatan tarik dan daerah patahan yang terjadi pada sambungan las. Pengukuran spesimen mengacu pada standar API 1104 (*Welding of Pipelines and Related Facilities*) seperti pada **gambar 2.1**.



**Gambar 2.1** Ukuran spesimen uji tarik



**Gambar 2.2** Spesimen Uji Tarik

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Perbandingan Hasil Uji Komposisi Kimia Pipa API 5L Grade B PSL 2

Berikut perbandingan komposisi kimia pipa API 5L Grade B PSL 2 dari spesifikasi data berdasarkan standar API *Specification 5L (Specification for Line Pipe)* pada **tabel 3.1** dan hasil pengujian *Optical Emission Spectroscopy (OES)* pada **tabel 3.2**. Komposisi kimia dari hasil pengujian OES menunjukkan bahwa persen komposisi kimia material pada penelitian ini sesuai dengan kriteria pada spesifikasi data berdasarkan standar API *Specification 5L*. Berdasarkan hasil OES, dapat dihitung nilai *carbon equivalent (CE)* yaitu sebesar 0.30%.

Tipe Baja	% maksimum				
	C	Si	Mn	P	S
L245M atau BM	0,22	0,45	1,2	0,025	0,015
	V	Nb	Ti	Lainnya	
	0,05	0,05	0,04	Kecuali ada persetujuan lain, Cu ≤ 0,50% ; Ni ≤ 0,30% ; Cr ≤ 0,30% dan Mo ≤ 0,15%	

**Tabel 3.1** Komposisi Kimia Berdasarkan Standar API *Specification 5L (Specification for Line Pipe)*

Tipe Baja	% maksimum				
	C	Si	Mn	P	S
API 5L Grade B PSL 2	0,15	0,20	0,92	0,012	0,004
	V	Nb	Ti	Lainnya	
	0,0019	0,0013	0,0007	0,0070% Cu ; 0,0027% Ni ; 0,0098% Cr dan 0,0010% Mo	

**Tabel 3.2** Komposisi Kimia Hasil Pengujian *Optical Emission Spectroscopy (OES)*

### 3.2. Pengamatan Hasil Lasan pada Film Radiografi



**Gambar 3.1** Film radiografi hasil lasan pada *weld original* (tanpa repair)



**Gambar 3.2** Film radiografi hasil lasan pada *repair welding 2x*



**Gambar 3.3** Film radiografi hasil lasan pada *repair welding 5x*

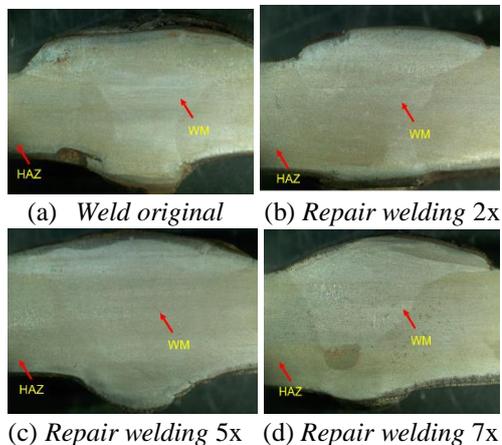


**Gambar 3.4** Film radiografi hasil lasan *repair welding 7x*

Pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2**, terlihat bahwa hasil lasan cukup baik dan tidak ada terjadinya cacat sehingga tidak dilakukan perbaikan pengelasan (*repair*

welding). Sedangkan pada **Gambar 3.3** dan **Gambar 3.4**, terdapat beberapa cacat yang terjadi yaitu *spatter*, *excessive reinforcement*, dan *incomplete penetration*. Cacat *spatter* merupakan percikan logam las yang menempel pada logam induk. Pada film radiografi, cacat *spatter* berbentuk bintik-bintik di daerah luar lasan. Cacat *excessive reinforcement* merupakan hasil lasan pada daerah *capping* yang terlalu tinggi, terlihat pada film radiografi bentuk cacat berbentuk tonjolan pada daerah *capping*. Cacat *incomplete penetration* merupakan cacat yang dikarenakan kurangnya penetrasi pada daerah *root*, pada film radiografi terlihat bagian yang berwarna lebih gelap pada jalur lasan *root*.

### 3.3. Pengamatan Struktur Makro pada Hasil Lasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)



**Gambar 3.5** Struktur makro hasil lasan variasi *repair welding*

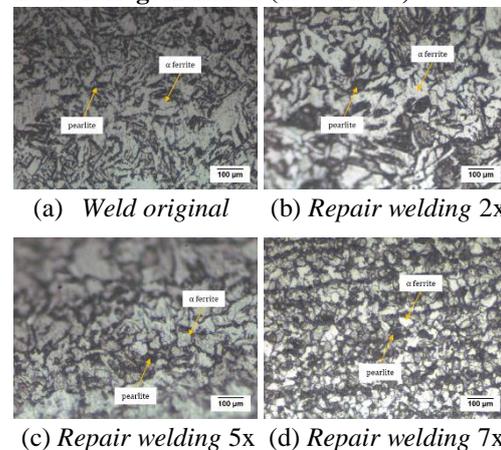
Pada **Gambar 3.5**, menunjukkan bahwa struktur makro pada semua hasil lasan tidak terlalu jelas tampak daerah pengelasannya. Khususnya pada *repair welding 5x* tidak ada tampak daerah pengelasan yang terlihat. Pada *weld original*, *repair welding 2x*, dan *repair welding 7x* terlihat bahwa batasan antara wilayah *weld metal* dan HAZ tidak tampak jelas. Akan tetapi, seiring dengan semakin banyaknya pengelasan berulang, struktur makro pada daerah lasan hampir tidak mengalami perubahan. Struktur makro pada *weld original* terdapat *crack* atau retak pada daerah *root layer* pada logam lasan, hal ini

disebabkan pada saat proses pemotongan spesimen. *Root layer* pada *weld original* dan *repair welding 5x* adanya cacat *excessive root penetration* yaitu hasil pengelasan pada daerah *root layer* terlalu tinggi, penyebabnya dapat dikarenakan gap terlalu lebar, arus pengelasan terlalu tinggi dan elektroda terlalu dalam.

### 3.4. Pengaruh Variasi *Repair Welding* terhadap Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui fasa yang terjadi pada daerah las akibat pengaruh dari variasi pengelasan perbaikan (*repair welding*). Pengamatan struktur mikro hasil pengelasan SMAW dilakukan pada daerah logam dasar (*base metal*), *heat affected zone* (HAZ), dan logam las (*weld metal*). Pengambilan foto struktur mikro pada daerah las diambil dengan perbesaran 500x.

#### Daerah Logam Induk (*Base Metal*)

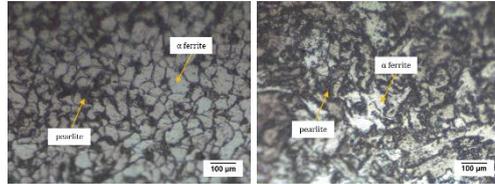


**Gambar 3.6** Struktur mikro hasil lasan variasi *repair welding* pada logam induk

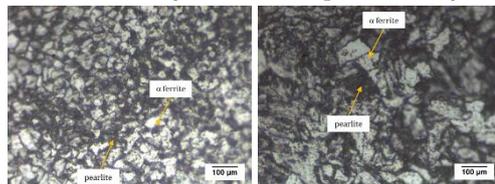
Daerah logam induk (*base metal*) merupakan daerah pengelasan atau logam yang tidak terpengaruh panas akibat proses pengelasan dan tidak mengalami perubahan pada struktur mikro. Pada **Gambar 3.6**, terdapat fasa yang terjadi pada *base metal* yaitu fasa *ferrite* dan *pearlite*. Struktur mikro *weld metal* pada *repair welding 7x* mempunyai ukuran butir yang lebih besar dibandingkan *weld metal* pada variasi *repair welding* lainnya, hal ini menunjukkan bahwa *weld metal* pada *repair welding 7x* mengalami pengaruh panas pada saat pengelasan akibatnya mengalami laju pendinginan yang

lambat sehingga membentuk ukuran butir yang lebih besar dan memiliki sifat yang lebih ulet dan tangguh.

**Daerah Heat Affected Zone (HAZ)**



(a) Weld original (b) Repair welding 2x

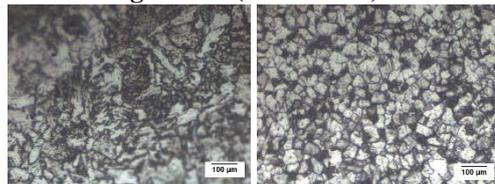


(c) Repair welding 5x (d) Repair welding 7x

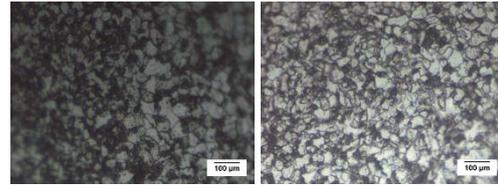
**Gambar 3.7** Struktur mikro hasil las variasi *repair welding* pada HAZ

Daerah HAZ merupakan daerah pengelasan atau logam yang mengalami siklus termal atau pemanasan akibat proses pengelasan yang menyebabkan perubahan pada struktur mikro. Pada **Gambar 4.14**, terdapat fasa *ferrite* dan *pearlite* yang terjadi pada daerah HAZ. Struktur mikro HAZ pada *weld original* dan *repair welding 5x* memiliki ukuran butir yang lebih besar dibandingkan HAZ pada *repair welding 2x* dan *repair welding 7x*, hal ini menunjukkan bahwa *weld original* dan *repair welding 5x* mengalami pemasukan panas yang cukup tinggi saat pengelasan dan mengakibatkan laju pendinginan yang lambat sehingga membentuk ukuran butir yang lebih besar sehingga memiliki sifat yang lebih ulet dan tangguh.

**Daerah Logam Las (Weld Metal)**



(a) Weld original (b) Repair welding 2x

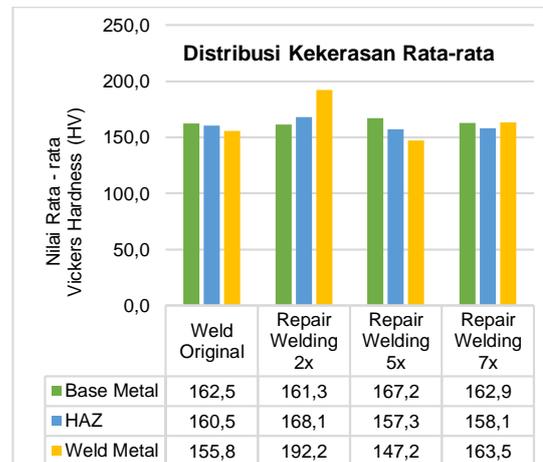


(c) Repair welding 5x (d) Repair welding 7x

**Gambar 3.8** Struktur mikro hasil las variasi *repair welding* pada logam las

Daerah logam las (*weld metal*) merupakan daerah pengelasan yang terdiri dari cairan elektroda dan logam induk yang menyatu pada saat proses pengelasan. Dibandingkan dengan struktur mikro pada *base metal* dan HAZ, struktur mikro pada *weld metal* memiliki ukuran butir yang lebih besar. Hal ini dipengaruhi karena pengaruh panas yang terjadi pada saat proses pengelasan.

**3.5. Pengaruh Variasi Repair Welding terhadap Kekerasan MacroVickers**

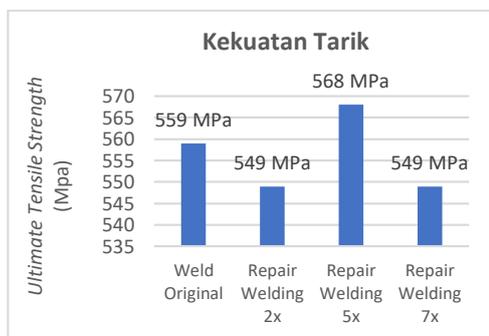


**Gambar 3.9** Distribusi kekerasan rata-rata hasil las variasi *repair welding*

Pada **gambar 3.9** menunjukkan perbandingan nilai kekerasan rata-rata hasil pengelasan SMAW menggunakan variasi *repair welding* pada daerah las yaitu logam induk (*base metal*), *heat affected zone* (HAZ), dan logam las (*weld metal*). Nilai kekerasan rata-rata daerah *base metal* pada variasi *repair welding* tidak mengalami perubahan yang cukup signifikan, sehingga memiliki sifat keras dan getas yang hampir sama. Begitupun pada daerah HAZ yang

tidak mengalami perubahan yang cukup signifikan pada semua variasi *repair welding*. Akan tetapi, terjadi perubahan nilai kekerasan rata-rata yang signifikan pada daerah *weld metal*. *Weld metal* pada hasil lasan *repair welding 2x* memiliki nilai kekerasan rata-rata tertinggi, sehingga sifatnya lebih keras dan getas. Sedangkan *weld metal* pada hasil lasan *repair welding 5x* memiliki nilai kekerasan rata-rata terendah, sehingga sifatnya lebih ulet dan tangguh. Kekerasan pada *weld metal* dapat meningkat karena laju pendinginannya cepat sehingga dampaknya pada struktur mikro yaitu adanya *martensite* atau fasa yang mempunyai sifat keras lainnya seperti *bainite* atau *pearlite* yang halus. Jika tidak mengalami transformasi fasa maka akan terjadi pengecilan ukuran butir. Sedangkan kekerasan pada *weld metal* dapat menurun karena memungkinkan adanya hidrogen pada *weld metal*, hal ini disebabkan karena elektroda yang lembab. Laju pendinginan yang lambat juga mempengaruhi menurunnya sifat kekerasan serta terjadi pembesaran ukuran butir. Seluruh nilai kekerasan hasil pengelasan pada variasi *repair welding* dapat diterima karena nilai kekerasannya  $\leq 250$  HV10 berdasarkan acuan API 1104 (*Welding of Pipelines and Related Facilities*).

### 3.6. Pengaruh Variasi *Repair Welding* terhadap Kekuatan Tarik



**Gambar 3.10** Kekuatan tarik terhadap variasi *repair welding*

Pada **Gambar 3.10**, menunjukkan perbandingan kekuatan tarik terhadap variasi *repair welding*. *Repair welding 5x*

memiliki nilai kuat tarik yang paling besar, yaitu 568 MPa. *Repair welding 2x* dan *repair welding 7x* memiliki nilai kuat tarik yang paling rendah dan sama nilainya yaitu 549 MPa. Menurunnya kekuatan tarik terjadi karena adanya siklus termal yang tinggi pada daerah patah yang mengubah sifatnya menjadi lebih ulet sehingga mempengaruhi kuat tariknya. Berdasarkan kriteria penerimaan material terhadap kuat tarik pada acuan standar API 1104 (*Welding of Pipelines and Related Facilities*), jika spesimen patah di luar zona las dan fusi (yaitu dalam logam induk) pada kekuatan tarik tidak kurang dari 95% dari kekuatan tarik minimum yang sudah ditentukan pada material pipa, maka pengelasan dapat diterima dan memenuhi persyaratan. Nilai kuat tarik material pipa API 5L Grade B PSL 2 ditentukan berdasarkan acuan standar API *Specification 5L (Specification for Line Pipe)*, yaitu 415 MPa – 655 MPa. Hasil kuat tarik pada spesimen uji tarik pada variasi *repair welding* dapat diterima dan sesuai dengan persyaratan pada standar yang sudah ditetapkan.

## IV. KESIMPULAN

1. Seiring dengan semakin banyaknya pengelasan berulang, struktur makro pada daerah lasan tidak mengalami perubahan. Terdapat cacat *crack* dan *excessive root* pada spesimen *weld original*. Struktur mikro pada hasil pengelasan SMAW dengan variasi *repair welding* terdapat fasa *ferrite* dan *pearlite*.
2. Nilai kuat tarik pada hasil pengelasan variasi *repair welding* dapat diterima dan sesuai dengan persyaratan yang sudah ditentukan oleh acuan standar API *Specification 5L (Specification for Line Pipe)* yaitu 415 MPa - 655 MPa. *Repair welding 5x* memiliki nilai kuat tarik tertinggi yaitu 568 MPa, sedangkan *repair welding 2x* dan *repair welding 7x* memiliki nilai kuat tarik terendah yaitu 549 MPa. Distribusi kekerasan semua spesimen variasi *repair welding* pada daerah pengelasan masih memasuki

kriteria penerimaan berdasarkan acuan API 1104 (*Welding of Pipelines and Related Facilities*) yaitu  $\leq 250$  HV10. Catatan: untuk daerah *weld metal* pada *repair welding 2x* memiliki nilai kekerasan rata-rata yang sangat tinggi yaitu 192,2 HVN sedangkan daerah *weld metal* pada *repair welding 5x* memiliki nilai kekerasan rata-rata yang sangat rendah yaitu 147,2 HVN.

## V. DAFTAR PUSTAKA

1. API *Specification 5L (Standard Specification for Line Pipe)*
2. ASM International (*Alloying: Understanding the Basics*)
3. Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering An Introduction 7th edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
4. Phillips, David H. 2016. *Welding Engineering An Introduction*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
5. Groover, Mikell P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing 4th edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
6. Kou, Sindo. 2003. *Welding Metallurgy 2nd edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
7. Jeffus, Larry. 2012. *Welding Principles and Applications 7th edition*. United States of America: Delmar, Cengage Learning.
8. Easterling, Kenneth. 1992. *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding 2nd edition*. United Kingdom: Butterworth-Heinemann Ltd.
9. Wiryosumarto, Harsono dan Toshie Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
10. Djaja, Yuhani. 2011. Studi Komparasi Hasil Pengelasan Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Sesudah Perbaikan Ditinjau dari Sifat Mekanik.
11. Sidhu, G.S., and Sukhpal S.C. 2012. Role of Shielded Metal Arc Welding Consumables on Pipe Weld Joint. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology (IJERMT)* Vol. 2 Issue 12, December 2012 ISSN : 2250 – 2459, ISO 9001:2008.
12. Akca, E dan Erwin Trgo. 2015. Metallographic Procedures and Analysis - A review. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences* Vol. 3 No.2.
13. Amin, A. 2015. Analisis Struktur Mikro dan Fraktografi Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper Bead Welding dengan Variasi Temperatur Interpass pada Baja Karbon Sedang. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*.
14. Ardiansyah, M. R. 2016. Pengaruh Heat Input terhadap Distorsi dan Sifat Mekanis pada Sambungan Las MIG Aluminium Paduan AA 5083.
15. Baskoro, A. S dan Usman Munandar. 2016. Analisis Pengaruh Kuat Arus dan Kecepatan Pengelasan terhadap Distorsi Baja SS400 menggunakan Las Tungsten Inert Gas (TIG). *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (SNTTM XV)*.
16. E.O, Olafimihan., et al. 2015. Failure Analysis of The Flowline of Crude Oil in Pipes. *International Journal of Mechanical Engineering (IJME)* ISSN(P): 2319-2240; ISSN(E): 2319-2259 Vol. 4, Issue 6.
17. Farhani, M. I. 2019. Analisa Heat Input pada Sambungan Pipa 5L X65 dengan Proses Pengelasan Kombinasi STT SMAW terhadap Struktur Makro Mikro dan Sifat Mekanik.

18. Hakim, B. N. 2018. ANALISA KEKUATAN DAN KETANGGUHAN PADA PENGELASAN BERULANG PADA PIPA A350 LF2CL1 DAN API 5L X52. *DIMENSI*, VOL. 7, NO. 1 : 78-86 ISSN: 2085-9996.
19. Hermawan, M. 2016. Pengaruh Arus terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Produk Las Tembaga dan Baja Karbon dengan Metode Tungsten Inert Gas (TIG).
20. Hidayat, S. 2017. Analisis Pengaruh Variabel Tegangan, Arus, Dan Waktu Terhadap Hasil Uji Radiografi. Seminar Nasional – XVI, 6 ISSN : 16693-3168
21. Selvam, R and Surjith Jacob. 2018. Experimental Investigation and Analysis of SMAW Processed Carbon Steel Pipes. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)* ISSN (P): 2249-6890; ISSN (E): 2249-8001 Vol. 8.
22. P, Dipo. Wirarchi. 2010. Analisa Pengaruh Multiple Repair Welding pada Material Properties Weld Joint Material Pipa ASTM A106 GR.B SCH 80.
23. Wijoyo dan Bayu Kartiko Aji. 2015. Kajian Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW Baja Karbon Tinggi dengan Variasi Masukan Arus Listrik. *SIMETRIS*, Vol. 6 No.2 ISSN : 2252-4983.