

## Pengaruh debit gas pelindung dan tegangan listrik terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW pada baja karbon sedang EMS-45

Alfian Wahyu Prasetya<sup>1</sup>, Rusiyanto<sup>2</sup>, dan Pramono<sup>3</sup>

Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
aprasetya48@gmail.com

**Abstrak** : Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW pada baja karbon sedang EMS-45. Penelitian ini berjenis eksperimental menggunakan teknik analisis data deskriptif. Variasi debit gas yang digunakan adalah 12 liter/menit, 15 liter/menit, dan 18 liter/menit, sedangkan tegangan listrik yang digunakan adalah 25 Volt, 28 Volt, dan 31 Volt. Hasil penelitian menunjukkan mayoritas tingkat kekerasan dan struktur mikro mengalami perubahan pada daerah *weld metal* dan HAZ, semakin banyak kandungan fasa perlit maka tingkat kekerasan akan meningkat. Tingkat kekerasan *weld metal* dan HAZ meningkat seiring dengan bertambahnya debit gas pelindung pada tingkat voltase yang sama seperti pada spesimen 1,2,3 voltase sebesar 245 kg/mm<sup>2</sup>, 260 kg/mm<sup>2</sup>, 277 kg/mm<sup>2</sup> (*weld metal*) dan 270 kg/mm<sup>2</sup>, 273 kg/mm<sup>2</sup>, 311 kg/mm<sup>2</sup> (HAZ). Tingkat kekerasan menurun seiring peningkatan tegangan listrik pada debit gas yang sama seperti pada spesimen 3, 6, 9 sebesar 277 kg/mm<sup>2</sup>, 266 kg/mm<sup>2</sup>, 261 kg/mm<sup>2</sup> (*weld metal*) dan 311 kg/mm<sup>2</sup>, 300 kg/mm<sup>2</sup>, 296 kg/mm<sup>2</sup> (HAZ). Tingkat kekerasan naik seiring dengan kenaikan voltase dan debit gas seperti pada spesimen 1, 5, 9 sebesar 245, 260, 261 (*weld metal*) dan 270 kg/mm<sup>2</sup>, 290 kg/mm<sup>2</sup>, 296 kg/mm<sup>2</sup> (HAZ).

**Kata Kunci**: debit gas pelindung, tegangan listrik, tingkat kekerasan, struktur mikro

### 1. Pendahuluan

Pengelasan mempunyai peranan yang sangat penting dalam bidang konstruksi dan industri karena sering di pergunakan dalam usaha rekayasa dan reparasi logam. Proses pembangunan sebuah konstruksi dengan bahan logam mayoritas dilakukan dengan proses pengelasan. Pengelasan dapat didefinisikan sebagai sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan energi panas (Wiryosumarto Harsono dan Okumura Toshie, 2000). Pengelasan di bagi menjadi 3 kelompok berdasarkan cara kerjanya yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian.

Las Gas Metal Arc Welding (GMAW) merupakan suatu proses pengelasan yang masuk dalam kategori pengelasan cair. Las GMAW merupakan suatu metode pengelasan yang menyambungkan logam dengan cara memanaskan kedua logam tersebut dengan busur listrik yang terjadi

diantara logam induk dan kawat elektroda, pergerakan kawat elektroda terjadi secara kontinyu (Kou Sindo, 2003: 19). Las GMAW menggunakan gas pelindung (*shielding gas*) untuk melindungi logam cair saat proses pengelasan berlangsung supaya tidak teroksidasi oleh oksigen yang ada di lingkungan sekitar. Logam cair yang teroksidasi oksigen akan membentuk lubang-lubang kecil yang disebut cacat porositas. Gas yang digunakan sebagai gas pelindung pada las GMAW adalah gas mulia seperti argon dan helium (las MIG) atau gas CO<sub>2</sub> (las MAG). Gas mulia sering digunakan sebagai gas pelindung karena tidak bereaksi dengan logam cair pada kampuh las sehingga tidak berdampak pada sambungan las yang dihasilkan (Armao, Frank, 2014). Kualitas sambungan las GMAW di pengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya tegangan listrik (*voltage*) dan debit aliran gas pelindung (*gas flow rate*).

Baja EMS-45 merupakan baja yang termasuk dalam golongan baja karbon sedang. Baja EMS-45 memiliki kadar karbon sebanyak 0,52%. Sambungan las yang berkualitas pada baja EMS-45 dapat dihasilkan jika sifat fisis dan mekanis sambungan las sesuai dengan tujuan penggunaan. Sambungan las GMAW yang memiliki sifat fisis dan mekanis yang sesuai dengan kebutuhan pada bahan baja EMS-45 dapat dihasilkan jika parameter-parameter pengelasan di pilih secara tepat. Debit gas pelindung dan tegangan listrik yang di gunakan memiliki pengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis sambungan las karena mempengaruhi pembentukan busur listrik yang terjadi antara elektroda dan benda kerja. Debit gas yang semakin besar akan berakibat busur listrik yang dihasilkan semakin stabil sehingga efek panas yang di timbulkan semakin tinggi (Junus Salahudin, 2011). Efek panas yang ditimbulkan berpengaruh pada pembentukan struktur mikro yang berkontribusi pada sifat fisis dan mekanis sambungan las yang dihasilkan. Tegangan listrik (*voltage*) yang semakin tinggi

berakibat pada bertambahnya panjang dan pancaran busur listrik (Wibowo, et.al., 2015), hal ini berpengaruh pada kestabilan busur dan panas yang dicapai saat proses pengelasan. Panas yang dicapai saat proses pengelasan mempengaruhi pembentukan struktur mikro yang berkontribusi pada sifat fisis dan mekanis sambungan las yang dihasilkan.

Pengelasan GMAW dapat berjalan lebih efisien jika pengaturan parameter las disesuaikan dengan sifat fisis dan mekanis sambungan las yang dibutuhkan. Sifat fisis dan mekanis sambungan las di tentukan berdasarkan beberapa faktor seperti tujuan penggunaan, pembebanan yang di terima, faktor keamanan, dan lain sebagainya. Juru las dapat menentukan sifat fisis dan mekanis diantaranya tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las dengan menentukan debit gas pelindung dan tegangan listrik yang dipergunakan, hal ini berdampak pada penggunaan gas pelindung dan energi listrik yang lebih efisien dan dapat menghasilkan sambungan las yang berkualitas.

**Tabel 1. Kandungan unsur kimia pada baja EMS-45**

Material	C	Si	Mn	P	S	CR	Ni	Mo	V	Al	Cu
EMS-45	0,520	0,310	0,850	0,19	0,02						0,01

**2. Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan desain *one-shot case study*. Eksperimen dilaksanakan di laboratorium pemesinan fakultas teknik Universitas Negeri Semarang. Peralatan yang digunakan diantaranya perlengkapan pengelasan, mesin las ESAB warrior 500i, pengukur sudut, mesin frais, gergaji mesin, kikir, mikroskop meiji techno IM7200, penggaris, alat uji kekerasan future tech FM-800, dan gerinda. Bahan yang digunakan baja EMS-45 dan elektroda ER 70S.

Variabel dalam penelitian ini di bagi menjadi 3 jenis yaitu (1) variabel bebas yang terdiri dari variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik. (2)

variabel terikat yaitu tingkat kekerasan dan struktur mikro. (3) Variabel kontrol antara lain kecepatan pengelasan dan teknik pengelasan yang baik dan benar.

Proses pengelasan menggunakan mode transfer spray dengan variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik yang berada dalam rentang parameter yang direkomendasi pabrikan mesin las. Besar debit gas yang digunakan sebesar 12 liter/menit, 15 liter/menit, 18 liter/menit dan variasi tegangan listrik 25Volt, 28Volt, 31Volt (Esab, 2012). Pengujian kualitas sambungan yang dihasilkan menggunakan metode pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro. Pengujian kekerasan dapat didefinisikan sebagai satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang

kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi (Surdia Tata, 1999). Pengujian kekerasan dilakukan pada 3 daerah yang ada pada sambungan las yaitu *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Setiap daerah dilakukan pengujian kekerasan sebanyak 3 kali pada 3 titik yang berbeda, hal ini bertujuan untuk mendapatkan data yang bisa mewakili kekerasan setiap daerah tersebut. Pengujian kekerasan yang digunakan adalah uji kekerasan mikro Vickers dengan pembebanan 100gf, dwell time 10s, dan indentor piramida intan dengan sudut 1360 (An American National Standard, 2012). Tingkat kekerasan mikro *vickers* dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Dieter, 1996):

$$VHN = \frac{2F \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{(1,854)F}{L^2}$$

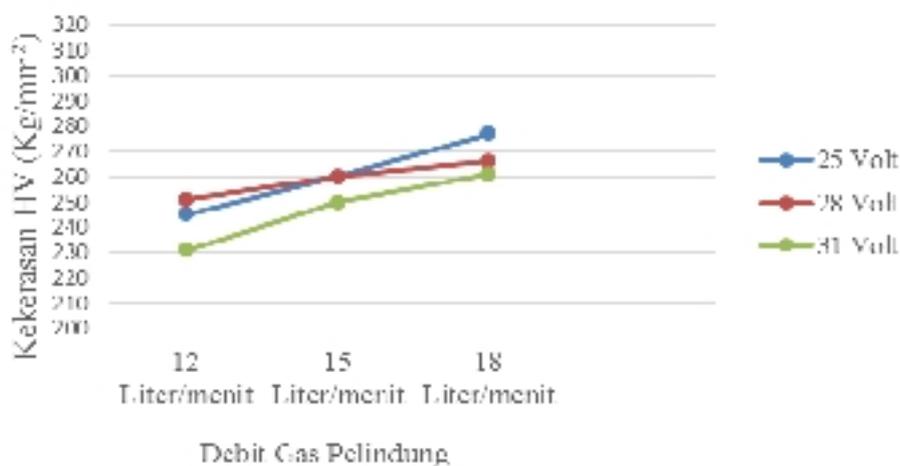
Pengamatan struktur mikro menggunakan perbesaran 200x. Sambungan las diampelas untuk menghilangkan goresan kemudian dietsa menggunakan larutan kimia yang terdiri dari alcohol 95% dan HNO<sub>3</sub>. Larutan etsa berfungsi untuk menampilkan susunan dan ukuran butir, morfologi fasa, gradient komposisi (Shallman, 1999:138). Spesimen yang sudah jadi kemudian diamati menggunakan mikroskop dan selanjutnya diambil gambarnya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

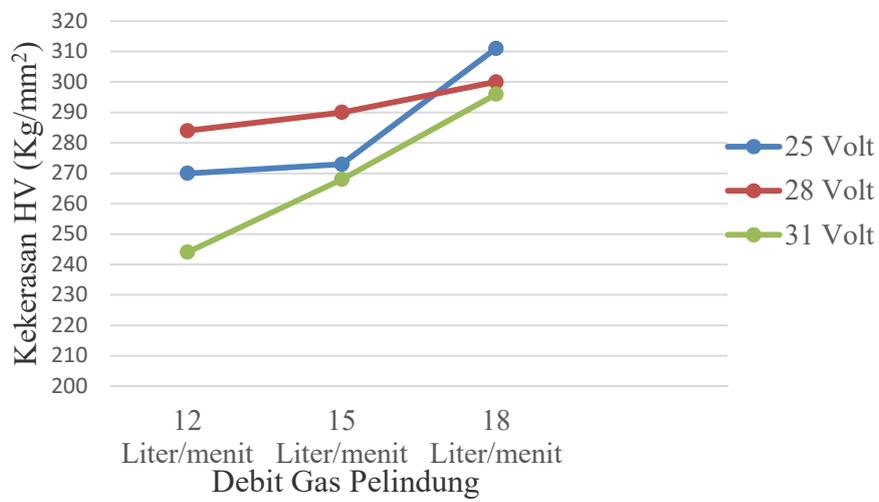
#### 3.1. Hasil Pengujian Kekerasan

**Tabel 2. Hasil perhitungan tingkat kekerasan sambungan las GMAW dengan variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik**

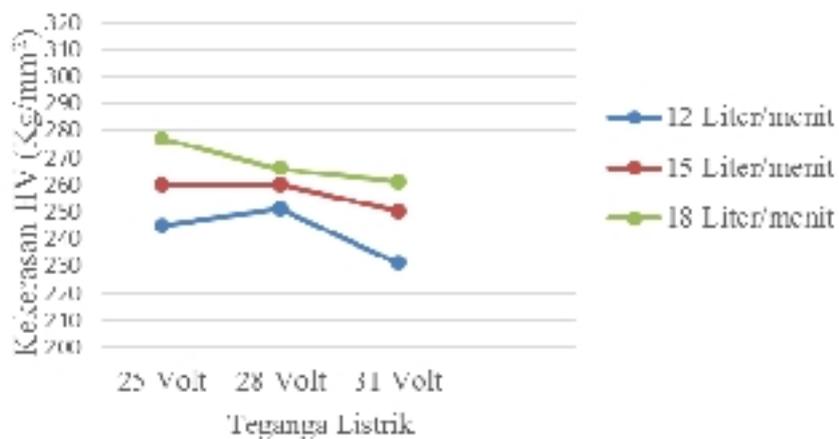
Tegangan Listrik	Debit Gas	Spesimen	Kekerasan (Kg/mm <sup>2</sup> )		
			Weld	HAZ	Base
25 Volt	12 Liter/menit	1	245	270	206
	15 Liter/menit	2	260	273	219
	18 Liter/menit	3	277	311	228
28 Volt	12 Liter/menit	4	251	284	193
	15 Liter/menit	5	260	290	231
	18 Liter/menit	6	266	300	196
31 Volt	12 Liter/menit	7	231	244	203
	15 Liter/menit	8	250	268	221
	18 Liter/menit	9	261	290	203



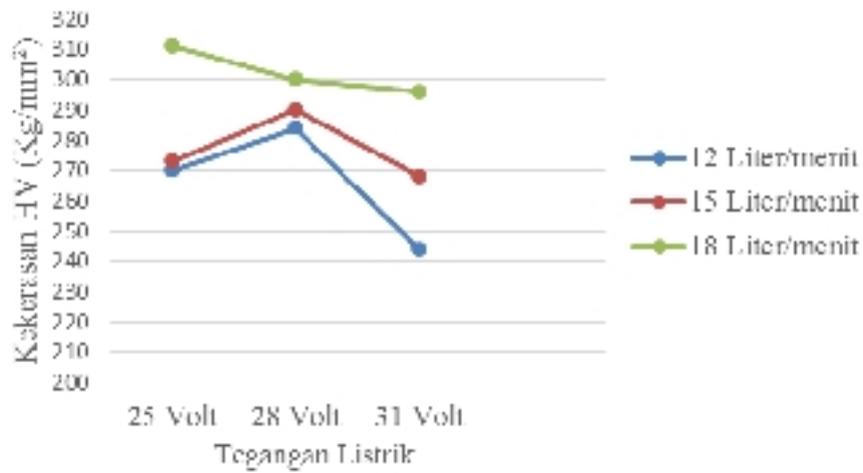
**Gambar 1. Tingkat kekerasan daerah *weld metal* dengan variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik**



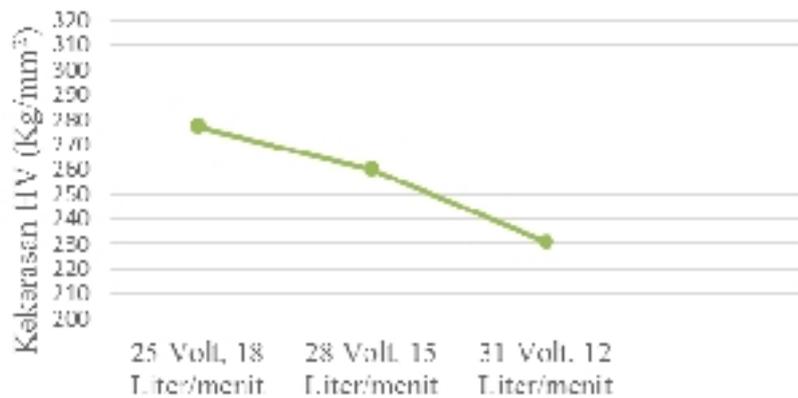
**Gambar 2. Tingkat kekerasan daerah HAZ dengan variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik**



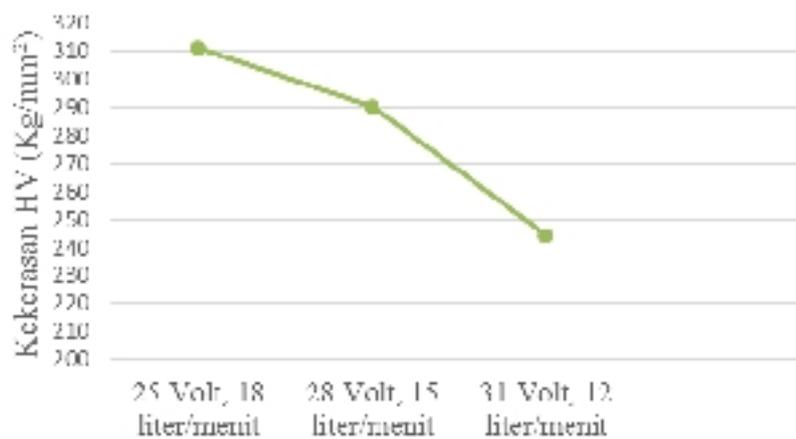
**Gambar 3. Tingkat kekerasan daerah weld metal dengan variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik**



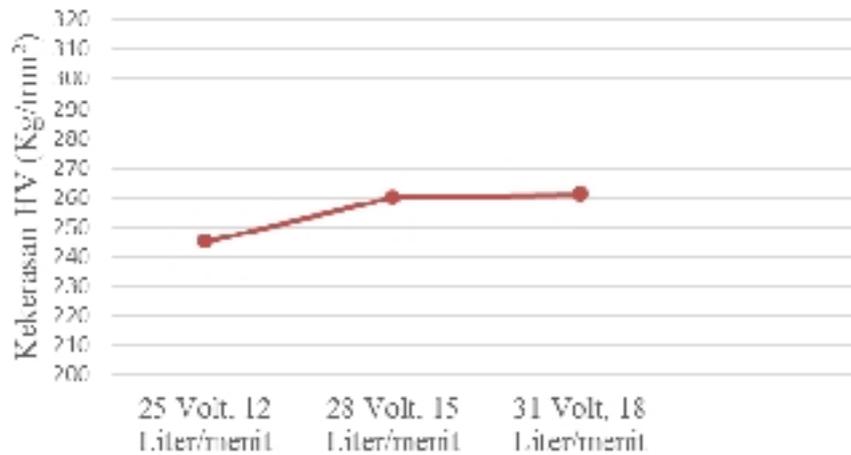
Gambar 4. Tingkat kekerasan daerah HAZ dengan variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik



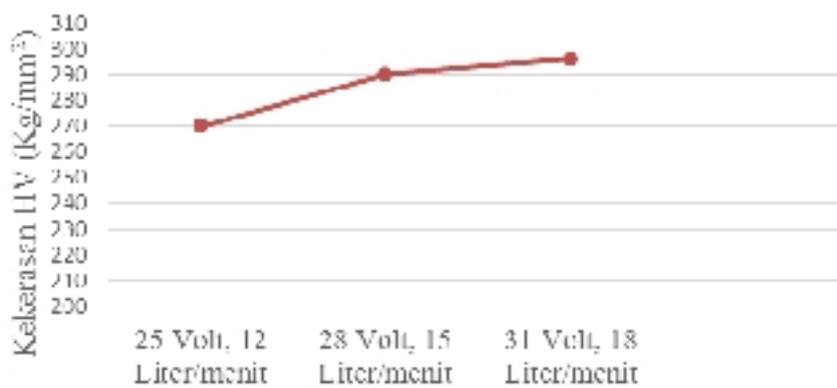
Gambar 5. Tingkat kekerasan daerah *weld metal* dengan penurunan debit gas pelindung dan peningkatan tegangan listrik



Gambar 6. Tingkat kekerasan daerah HAZ dengan penurunan debit gas pelindung dan peningkatan tegangan listrik



Gambar 7. Tingkat kekerasan daerah *weld metal* dengan peningkatan debit gas pelindung dan peningkatan tegangan listrik



Gambar 8. Tingkat kekerasan daerah HAZ dengan peningkatan debit gas pelindung dan peningkatan tegangan listrik

### 3.2. Pembahasan Tingkat Kekerasan Sambungan Las GMAW

Gambar 1 dan gambar 2 menunjukkan grafik hubungan antara variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik terhadap tingkat kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ. Tingkat kekerasan naik seiring dengan bertambahnya debit gas pelindung yang digunakan pada voltase yang sama, hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Chaudari Pradip P. dan More Nitin N., 2014), semakin tinggi gas pelindung maka kestabilan dan intensitas pembentukan plasma dan suhu busur listrik yang dihasilkan semakin meningkat dan merubah struktur mikro yang mengakibatkan tingkat kekerasan meningkat.

Gambar 3 dan gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara variasi tegangan listrik dan debit gas pelindung terhadap tingkat kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ. Tingkat kekerasan menurun seiring dengan bertambahnya tegangan listrik yang digunakan pada debit gas yang sama, hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan (Kumar Praveen, et.al., 2014). Berkurangnya tingkat kekerasan disebabkan karena suhu yang dicapai saat proses pengelasan mengalami penurunan, hal ini dikarenakan busur yang dihasilkan kurang stabil, semakin tinggi tegangan listrik maka panjang busur listrik yang dihasilkan akan bertambah (Soeb et.al., 2013), hal ini cenderung mengurangi kestabilan busur listrik. Kestabilan busur berkurang karena

semakin tinggi tegangan listrik maka intensitas partikel gas pelindung (argon) yang dibutuhkan untuk menstabilkan busur listrik semakin banyak, hal ini menyebabkan suhu pada busur menurun. Penurunan suhu merubah struktur mikro yang berakibat tingkat kekerasan menurun.

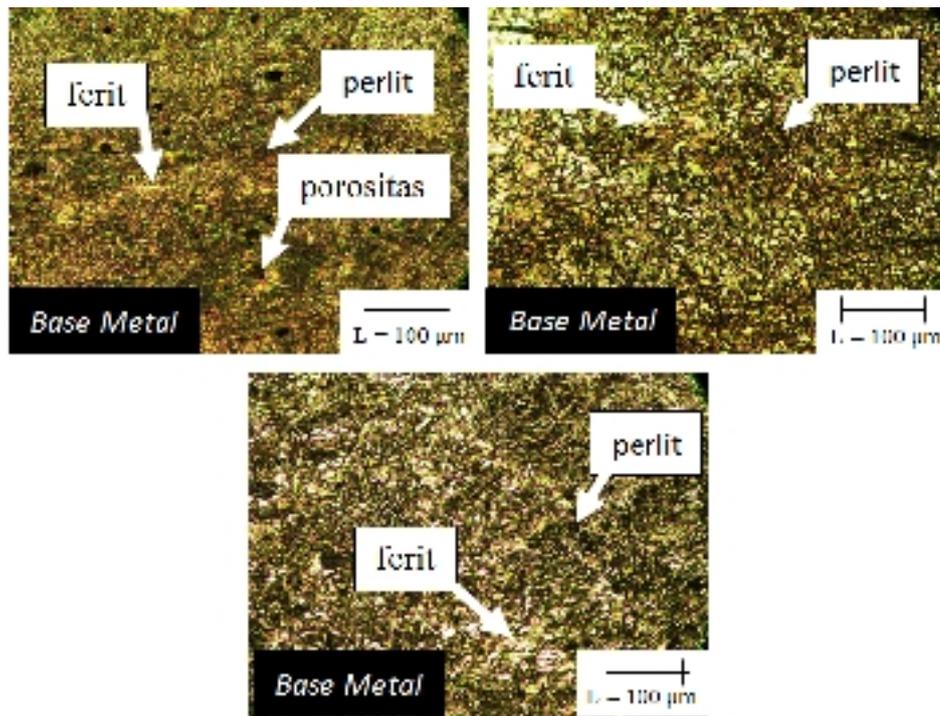
Gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara variasi tegangan listrik dan debit gas pelindung terhadap tingkat kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ. Tingkat kekerasan menurun seiring dengan menurunnya debit gas pelindung dan peningkatan tegangan listrik yang digunakan hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan (Bhatt Darsan, dan Mehta Hardik, 2015). Tingkat kekerasan menurun disebabkan adanya penurunan suhu pada busur listrik akibat berkurangnya kestabilan. Kestabilan busur listrik menurun karena peningkatan intensitas busur diiringi dengan penurunan debit gas pelindung, hal ini berdampak pada berkurangnya reaksi ionisasi pada busur listrik. Reaksi ionisasi adalah reaksi lepasnya elektron terluar dari atom gas pelindung (argon) akibat tumbukan dengan elektron yang ada pada busur listrik dan menghasilkan electron bebas, electron bebas ini bersama dengan busur listrik membentuk plasma (Praxair, 1998), dengan berkurangnya reaksi ionisasi maka suhu pada busur akan menurun, penurunan suhu merubah struktur mikro yang berakibat tingkat kekerasan menurun.

Gambar 7 dan gambar 8 menunjukkan grafik hubungan antara variasi tegangan listrik dan debit gas pelindung terhadap tingkat kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ. Tingkat kekerasan meningkat seiring dengan peningkatan debit gas pelindung dan tegangan listrik yang digunakan, hal ini dikarenakan busur listrik semakin panjang karena tegangan listrik

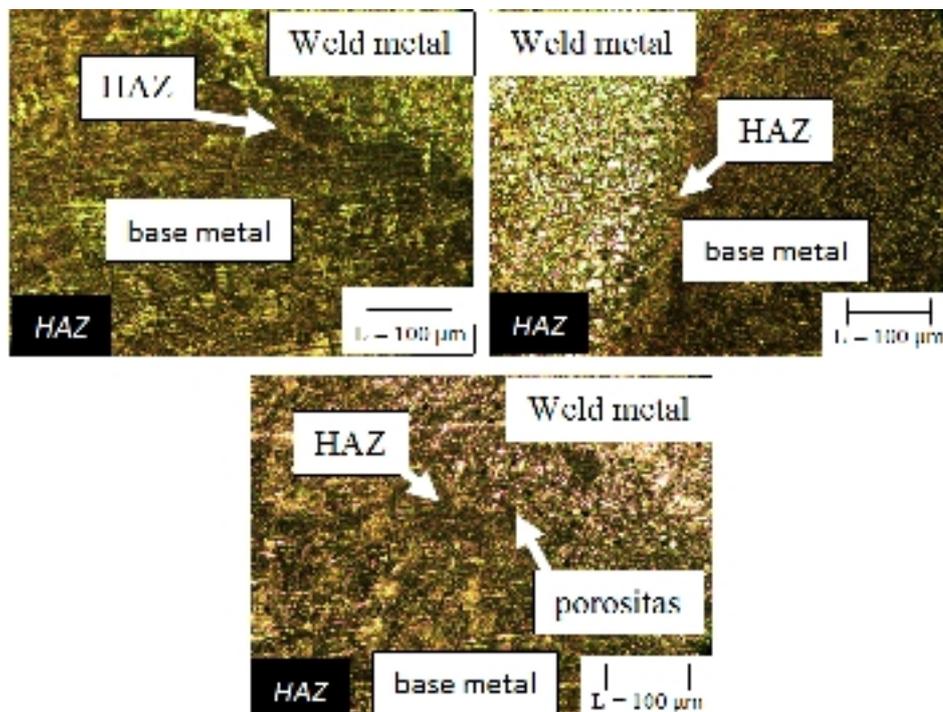
yang semakin besar (Shoeb, Pervez, dan Kumari Pratibha, 2013) dan pembentukan plasma yang semakin intensif sehingga panas yang dihasilkan meningkat. Busur listrik bisa tetap stabil dikarenakan kenaikan tegangan listrik diimbangi dengan kenaikan debit gas pelindung, hal ini mengakibatkan reaksi ionisasi yang terjadi pada busur listrik meningkat. Reaksi ionisasi dapat meningkat karena penambahan elektron pada busur listrik diikuti dengan penambahan partikel gas pelindung (argon). Reaksi ionisasi yang semakin meningkat menyebabkan pembentukan plasma semakin intensif sehingga suhu pada busur meningkat. Peningkatan suhu menyebabkan perubahan struktur mikro dan meningkatkan tingkat kekerasan.

### 3.3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro pada *weld metal* dan HAZ terdiri dari dua fasa yaitu ferit dan perlit, hal ini dikarenakan sambungan las mengalami pendinginan secara perlahan menggunakan suhu ruang. Fasa ferit memiliki warna terang mempunyai sifat ulet. Fasa perlit memiliki warna gelap karena banyak mengandung unsur C, mempunyai sifat yang keras, dan getas. Fasa perlit pembentukannya dipengaruhi lamanya waktu pendinginan di daerah austenit ( $\gamma$  iron), semakin lama siklus pendinginan pada daerah ini maka pembentukan fasa perlit akan semakin intensif. Lama pendinginan pada daerah austenite dipengaruhi suhu yang dicapai saat proses pengelasan, hal ini dipengaruhi oleh dimensi dan kestabilan busur listrik yang terbentuk. Busur listrik yang semakin besar dan stabil akan meningkatkan suhu yang dicapai saat proses pengelasan dan memperpanjang siklus pendinginan pada daerah austenite, semakin lama siklus pendinginan maka fasa perlit akan semakin banyak dan berpengaruh pada peningkatan tingkat kekerasan sambungan las.



Gambar 9. Struktur mikro *weld metal* pengelasan 25 volt debit 12 liter/menit, 25 volt 15 liter/menit, dan 25 volt 18 liter/menit.



Gambar 10. Struktur mikro HAZ pengelasan 25 volt debit 12 liter/menit, 25 volt 15 liter/menit, dan 25 volt 18 liter/menit.

### 3.4. Pembahasan Struktur Mikro

Struktur mikro *weld metal* pengelasan 25 volt debit gas 12 liter/menit, 25 volt debit gas 15 liter/menit, dan 25 volt debit gas 18 liter/menit mengalami peningkatan fasa perlit. Peningkatan debit gas pelindung menghasilkan fasa perlit yang lebih banyak, hal ini dikarenakan suhu yang dicapai saat proses pengelasan meningkat. Fasa perlit mempunyai sifat keras dan getas, peningkatan fasa perlit berkontribusi meningkatkan kekerasan pada sambungan las. Semakin tinggi debit gas pelindung yang digunakan maka panas yang dicapai akan meningkat (Suheni, Harijanto Isnani, dan Permana Ekky, 2015), dan meningkatkan pembentukan fasa perlit.

Fasa perlit paling sedikit terdapat pada *weld metal* dengan variasi 25 volt debit gas 12 liter/menit, hal ini disebabkan karena busur listrik yang terjadi kurang stabil karena debit gas pelindung yang kecil. Busur yang kurang stabil berakibat pada panas yang dicapai saat pengelasan rendah sehingga siklus pendinginan pada daerah austenit berlangsung singkat, pada variasi 25 volt debit gas 12 liter/menit juga terdapat lubang-lubang kecil akibat porositas, hal ini terjadi karena adanya oksigen yang masuk ke kampuh las karena debit gas pelindung yang terlalu kecil. Daerah HAZ memiliki ukuran butir yang paling halus dan lebih keras dari *weld metal*, hal ini dikarenakan daerah HAZ mengalami pendinginan yang paling cepat, pada daerah HAZ juga terdapat lubang porositas akibat debit gas yang kecil sehingga tidak bisa melindungi kampuh las dari oksidasi.

*Weld metal* dengan variasi pengelasan 25 volt debit gas 15 liter/menit memiliki fasa perlit yang lebih banyak dari variasi sebelumnya, hal ini disebabkan busur listrik yang dihasilkan lebih stabil. Debit gas yang lebih besar dari variasi sebelumnya berakibat reaksi ionisasi pada busur listrik berjalan lebih baik sehingga busur listrik yang dihasilkan lebih stabil. Busur listrik yang lebih stabil berakibat panas yang dicapai saat proses

pengelasan meningkat dan memperpanjang siklus pendinginan di daerah austenit ( $\gamma$  iron). Siklus pendinginan yang lebih lama akan memperbanyak intensitas pembentukan fasa perlit. Daerah HAZ memiliki ukuran butir yang paling halus sama dengan variasi sebelumnya namun tidak ditemukan lubang porositas karena debit gas yang dipakai sudah memadai.

Fasa perlit pada *weld metal* dengan variasi 25 volt debit gas 18 liter/menit memiliki intensitas paling banyak dibandingkan dengan variasi pertama dan kedua, hal ini disebabkan karena memiliki busur listrik yang paling stabil. Busur listrik yang stabil disebabkan pemakaian debit gas pelindung yang besar namun pada daerah *weld metal* yang berdampingan dengan HAZ terdapat lubang porositas. Lubang porositas disebabkan debit gas yang terlalu besar yang tidak diimbangi dengan voltase, hal ini menyebabkan gas pelindung menarik oksigen dari luar. Daerah HAZ memiliki ukuran butir yang paling halus sama seperti variasi sebelumnya namun memiliki fasa perlit yang lebih banyak, hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan (Prasetyo Sanuri, Triyono, dan Muhayat Nurul, 2016).

## 4. Penutup

### 4.1. Kesimpulan

- 1) Debit gas pelindung yang semakin besar akan meningkatkan tingkat kekerasan sambungan las. Tingkat kekerasan paling tinggi terdapat pada spesimen 3 dengan tegangan 25 Volt debit gas pelindung 18 liter/menit sebesar  $277 \text{ kg/mm}^2$  pada *weld metal* dan  $311 \text{ kg/mm}^2$  pada HAZ, sedangkan tegangan listrik yang semakin besar akan mengurai tingkat kekerasan sambungan las. Tingkat kekerasan terendah terdapat pada spesimen 7 dengan tegangan listrik 31 Volt debit gas pelindung 12 liter/menit sebesar  $231 \text{ kg/mm}^2$  pada *weld metal* dan  $244 \text{ kg/mm}^2$  pada HAZ. Debit gas pelindung yang turun diiringi dengan kenaikan

tegangan listrik akan menurunkan tingkat kekerasan sambungan las. Tingkat kekerasan terendah terdapat pada spesimen spesimen 7 dengan tegangan listrik 31 Volt debit gas pelindung 12 liter/menit sebesar 231 kg/mm<sup>2</sup> pada *weld metal* dan 244 kg/mm<sup>2</sup> pada HAZ. Debit gas pelindung yang naik diiringi dengan kenaikan tegangan listrik akan meningkatkan kekerasan sambungan las. Tingkat kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen 9 dengan tegangan listrik 31 Volt dan debit gas pelindung 18 liter/menit sebesar 261 kg/mm<sup>2</sup> pada *weld metal* dan 296 kg/mm<sup>2</sup> pada HAZ.

- 2) Debit gas pelindung yang semakin besar akan meningkatkan pembentukan fasa perlit yang lebih banyak, intensitas fasa perlit paling banyak terdapat pada spesimen 3 dengan tegangan listrik 25 Volt debit gas pelindung 18 liter/menit. Tegangan listrik yang semakin besar akan mengurangi intensitas terbentuknya fasa perlit, intensitas fasa perlit paling rendah terdapat pada spesimen 7 dengan tegangan listrik 31 Volt debit gas 12 liter/menit. Debit gas pelindung yang turun diiringi kenaikan tegangan listrik akan mengurangi intensitas terbentuknya fasa perlit, intensitas fasa perlit paling rendah terdapat pada spesimen 7 dengan tegangan listrik 31 Volt debit gas 12 liter/menit. Debit gas pelindung dan tegangan listrik yang naik secara bersamaan akan meningkatkan intensitas terbentuknya fasa perlit, intensitas fasa perlit paling banyak terdapat pada spesimen 9 dengan tegangan listrik 31 Volt debit gas pelindung 18 liter/menit.

#### 4.2. Saran

- 1) Debit gas pelindung yang semakin meningkat harus diimbangi dengan peningkatan *voltase* yang digunakan begitu juga sebaliknya, hal ini dilakukan untuk menjaga kestabilan busur listrik.
- 2) Perlu dilakukan proses perlakuan panas seperti *normalizing* untuk mengurangi perbedaan tingkat

kekerasan yang tinggi antara *weld metal*, HAZ, dan *base metal*.

- 3) Gas pelindung yang digunakana diganti dengan jenis yang lain sehingga dapat mengetahui pengaruh gas yang lain terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW.

#### 5. Daftar Pustaka

An American National Standard. 2012. *Standard Test Methods for Knoop and Vickers Hardness of Material*. Barr Harbour: ASTM International.

Armao, Frank.(Eds). 2014. *Gas Metal Arc Welding: Product and Procedure Selection*. Cleveland: Lincoln global Inc.

Bhatt, Dharsan., Mehta, Hardik. 2015. *Analyzing Effect of Weld Parameters For Increasing the Strenght of Welded Joint on Mild Steel Material by Using the MIG Welding Process*. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. (online) 3 (1): 250-253, (<https://www.ijedr.org>), diakses 20 februari 2017.

Chaudari, Pradip., More Nitin. 2014. *Effect of Welding Process Parameters on Micro Hardness and Microstructure*. International Journal of Research & Technology. (online) 3 (5) : 1937-1942, (<http://www.ijert.org>) , diakses 7 maret 2017.

Dieter, G, E. 1986. *Metalurgi Mekanik*. Translated by Djaprie, S. 1993, Jakarta: Penerbit Erlangga.

Esab. 2012. *Welder Guide Book*. Gothenburg: esabna.

Junus Salahuddin. 2011. Pengaruh Besar Aliran Gas Terhadap Cacat Porositas dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan MIG pada Paduan Aluminium 5083. Jurnal ROTOR, (online) 4 (1) : 22-31, (<http://download.portalgaruda.org>), diakses 6 januari 2017.

- Kou, Sindo. 2003. *Welding Metallurgi*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Kumar, Praveen., Abbas., Patel Shishir. 2014. *Analysis of Heat Affected Zone of Mild Steel Specimen Development Due to MIG Welding*. International Journal of Mechanical Engineering and robotic research. (online) 3 (3): 399-404, (<http://www.ajol.info>), diakses 3 maret 2017.
- Prasetyo Sanuri, Triyono, Muhayat Nurul. 2016. Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Laju Aliran Gas Pelindung Terhadap struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik-Geser Sambungan Las TIG Logam Tak Sejenis Aluminium Paduan 5052-Baja Galvanis Dengan Filler Al-Si 4043. *Jurnal mekanika*, (online) 15 (1):1-8, (<http://ejournal.unesa.ac.id>), diakses 20 januari 2017.
- Praxair. 1998. *Shielding Gases Selection Manual*. Singapore: Praxair Technology, Inc.
- Shallman. Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Translated by Lameda Silvester S.T,Wibi Hillarius S.T.. Jakarta: Gelora Aksara Pratama.
- Shoeb, Pervez, Kumari Pratibha. 2013. *Effect of MIG Welding Input Process Parameters on Weld Bead Geometry on HSLA Steel*. *Journal of Engineering Science and Technology*, (online) 5 (1): 200-2012, (<https://www.ijert.org>), diakses 3 januari 2017.
- Suheni, Harijanto Isnain, Permana Ekky P. 2012. Analisis Pengaruh Kecepatan Gas Pelindung dan Arus Terhadap Kekerasan Pada Proses Las MIG Dengan Material Stainless Steel AISI 304. *Seminar Nasional SAINS dan Teknologi Terapan III 2015*. (online) 3: 261-268, (<http://jurnal.itats.ac.id>), diakses 8 januari 2017.
- Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wibowo, Andi., Nur Muhammad., Muhlisin Zaenul. 2015. Karakterisasi Plasma Jet Argon Menggunakan Kolom Dielectric Barrier Discharge (DBD) Pada Tekanan Atmosfer. *Youngster Physic Journal*, (online) 4 (4) : 273-278, (<https://www.researchgate.net>) , diakses 8 maret 2017.
- Wiryosumarto, Harsono. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.