

Analisis Pengaruh Variasi *Flow Rate* Gas Pelindung pada Pengelasan FCAW-G terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanik Sambungan Material Grade A

Nabelah Khiyaarul A., Nur Syahroni, dan Yoyok S. Hadiwidodo

Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: nabelahka@gmail.com

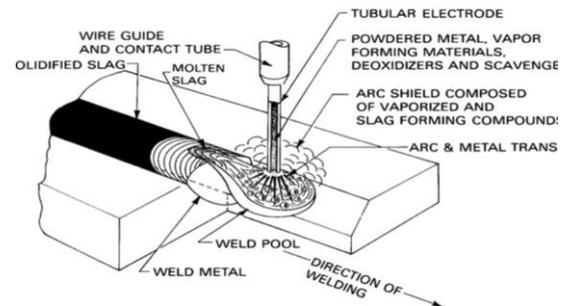
Abstrak—Pengelasan merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dari dunia industri maritim terutama perkapalan karena hampir keseluruhan konstruksi badan kapal disambung dengan cara dilas. Salah satu metode pengelasan yang paling sering digunakan adalah FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). Pengelasan FCAW sering digunakan karena produktivitasnya yang tinggi. Dalam penerapannya, pengelasan FCAW dapat digunakan dengan atau tanpa gas pelindung. Gas pelindung berfungsi sebagai pelindung logam las agar tidak terjadi interaksi dengan udara sekitar juga mempengaruhi kestabilan nyala busur yang dapat memengaruhi kinerja dari *welder* pada saat mengelas. Dalam penelitian ini akan dianalisis bagaimana pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarikannya. Variasi *flow rate* gas pelindung yang digunakan adalah 14 L/menit, 16 L/menit, dan 18 L/menit. Dari hasil pengujian akan didapatkan hasil pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik.

Kata Kunci—Pengelasan, Fcaw, *Flow Rate*, Gas Pelindung, Struktur Mikro, Kekerasan, Uji Tarik.

I. PENDAHULUAN

PENGELASAN adalah suatu teknik penyambungan logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan hal yang penting dan tidak bisa dipisahkan dalam dunia industri maritim terutama perkapalan karena hampir keseluruhan konstruksi badan kapal disambung dengan cara dilas. Salah satu metode pengelasan yang paling sering digunakan adalah FCAW (*Flux Cored Arc Welding*). FCAW merupakan salah satu jenis las busur listrik dengan elektroda tubular. Pengelasan FCAW sering digunakan karena produktivitasnya yang tinggi. Pasokan elektroda diumpankan secara kontinu melalui sebuah gulungan. Berdasarkan metode pelindung, pengelasan FCAW dibedakan menjadi dua yaitu FCAW-SS (*Shelf Shielding*) dan FCAW-G (*Gas*). Kedua metode tersebut sama-sama menghasilkan terak atau yang biasa disebut *slag*. FCAW-SS perlingungannya berasal dari gas hasil penguapan reaksi inti fluks sedangkan FCAW-G perlingungannya tidak hanya dari penguapan reaksi inti fluks juga mendapatkan tambahan gas pelindung dari luar sistem.

Gas pelindung atau *shielding gas* merupakan komponen penting dalam proses pengelasan. Gas pelindung berfungsi sebagai pelindung logam las agar tidak terjadi interaksi dengan udara sekitar. Selain itu, gas pelindung juga



Gambar 1 Skema Las FCAW.

mempengaruhi kestabilan nyala busur yang dapat memengaruhi kinerja dari *welder* pada saat mengelas. Ketidaktepatan pada gas pelindung akan memengaruhi hasil pengelasan dan kemungkinan terjadinya cacat las tinggi. Pengelasan FCAW umumnya menggunakan gas CO₂ atau dapat dengan campuran CO₂ dengan Argon sebagai gas pelindung. Tetapi untuk menghindari logam las terkontaminasi udara luar atau menghindari porositas maka harus dilakukan pemilihan fluks yang mengandung atau mempunyai sifat pengikat oksigen atau *deoxidizer*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. *Flux Cored Arc Welding*

Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu [1].

Flux Cored Arc Welding (FCAW) adalah las busur listrik dengan fluks terinti di dalam kawat las (tubular). Las FCAW adalah kombinasi antara proses pengelasan SMAW dan GMAW. Proses las FCAW mirip dengan proses las GMAW, yaitu dengan melelehkan logam induk menggunakan elektroda yang diumpankan secara kontinu melalui sebuah gulungan. Elektroda yang digunakan mengandung fluks yang pada saat proses pengelasan ikut terbakar dan menghasilkan terak las atau *slag* seperti proses pengelasan SMAW. Visualisasi pengelasan FCAW ditunjukkan pada Gambar 1.

Berdasarkan jenis pelindungnya, FCAW dibedakan menjadi dua jenis:

1. *Self-Shielding* (FCAW-SS), yaitu perlingkungannya berasal dari penguapan reaksi inti fluks tanpa adanya tambahan pelindung.
2. *Shielding Gas* (FCAW-G), perlingkungannya berasal dari penguapan reaksi inti fluks dan dengan tambahan gas pelindung. Pada umumnya menggunakan gas CO₂ atau menggunakan campuran CO₂ dan Argon dengan perbandingan 70:30 atau 80:20.

B. Material Baja Grade A

Material baja Grade KI-A termasuk baja dengan kandungan karbon rendah atau *mild steel* dengan jumlah karbon maksimum 0,21 % dari rentang 0,025 % - 0,25 %. Sifat mekanik dari baja grade KI-A dapat dilihat pada Tabel 1 dan komposisi kimia baja grade KI-A dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1.
Sifat Mekanik Baja Grade A (BKI Vol. V, 2014)

Grade	Yield strength [N/mm ²] min.	Tensile strength [N/mm ²]	Elongation [%] min.
KI-A	235	400-520	22

Tabel 2.
Komposisi Kimia Baja Grade A (BKI Vol. V, 2014)

Komposisi Kimia (%)	Grade KI-A
C _{max}	0,21
Mn _{min}	2,5 x C
Si _{max}	0,50
P _{max}	0,035
S _{max}	0,035

Elemen yang selalu terdapat dalam baja yaitu karbon, mangan, fosfor, sulfur, dan silikon. Selain itu elemen lain juga ditambahkan untuk mendapatkan karakteristik baja yang berbeda. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur peneras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

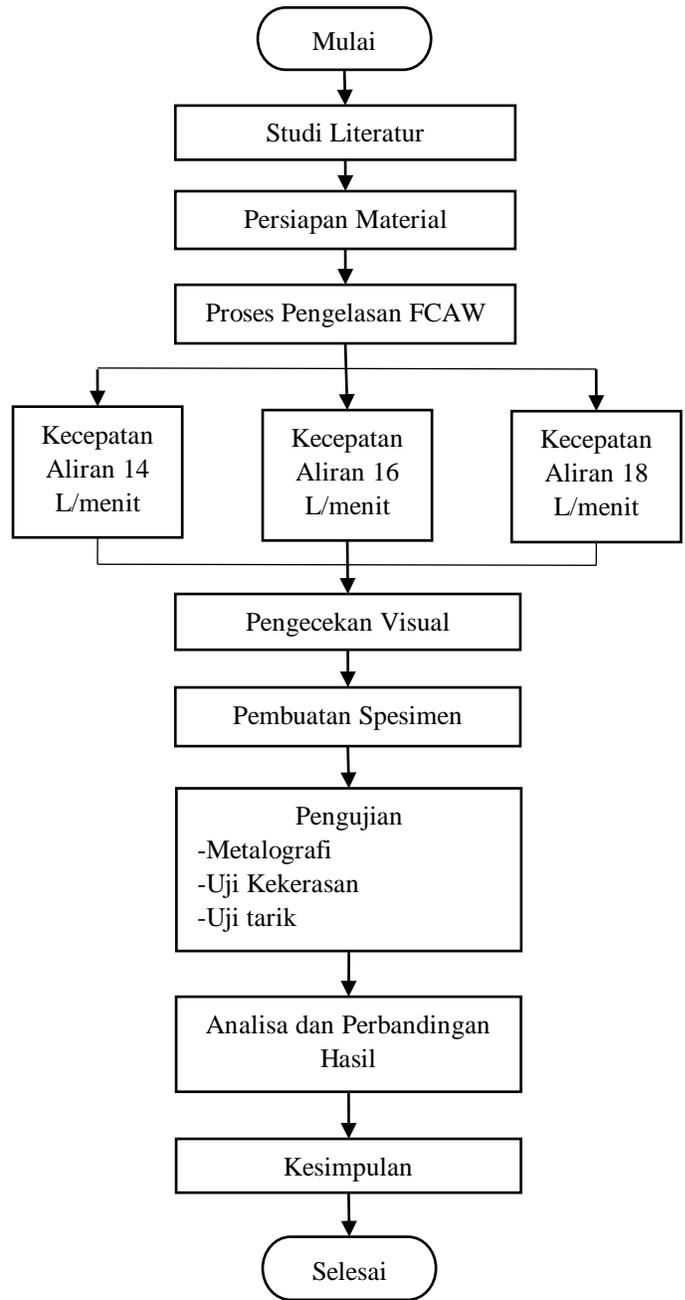
C. Struktur Mikro Daerah Pengelasan

Sebagaimana diketahui bahwa logam pada hasil pengelasan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian, yaitu: *base metal* (benda kerja awal), *heat affected zone* (daerah terpengaruh panas) dan *weld zone* (logam las).

1. *Base metal* adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur maupun sifat pada logam tersebut.
2. *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las.
3. *Weld metal* adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku,

komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda.

III. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Langkah awal dalam pengerjaan penelitian ini adalah dengan mencari literatur yang relevan dan mendukung baik secara teori maupun teknis. Kemudian melakukan persiapan material meliputi jenis, jumlah, ukuran material baja maupun elektroda, dan komponen-komponen pendukung lainnya seperti *backing material* dan *stopper*. Setelah itu dilakukan pengelasan sesuai parameter yang ditentukan. Setelah dilakukan pengelasan, hasil pengelasan dicek secara visual

untuk memeriksa kondisi baik atau tidaknya hasil pengelasan tersebut. Kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap struktur mikro dan kekuatan mekanik. Langkah terakhir adalah dengan melakukan analisa terhadap hasil pengujian dan penarikan kesimpulan. Urutan pengerjaan penelitian yang dilaksanakan mengikuti diagram alir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengelasan yang dilakukan adalah dengan memvariasikan *flow rate* gas pelindung dengan besar 14 L/menit, 16 L/menit, dan 18 L/menit pada sambungan material baja Grade A dengan ketebalan 8 mm. Elektroda yang digunakan adalah tipe E71T-1 dengan gas pelindung CO₂ 99,99%. Arus (Ampere) dan Tegangan (Volt) yang digunakan sama.

Pada tahap persiapan material dilakukan pemotongan spesimen sebanyak enam buah pelat dengan ukuran masing-masing 400 × 250 mm. kemudian dilakukan pembuatan kampuh, pembersihan material, pemasangan *stopper* dan *backing material*.

Pada tahap pembuatan spesimen, bentuk serta ukuran ditentukan oleh standard dan kapasitas mesin uji. Digunakan satu spesimen yang sama pada pengujian mikro dan kekerasan. Pertama dilakukan pemotongan spesimen dengan ukuran 60mm × 20 mm × tebal material. Permukaan yang akan diamati dihaluskan dengan menggunakan kertas gosok dari yang paling kasar sampai yang paling halus. Proses ini disebut dengan proses *grinding*. Kemudian permukaan spesimen yang akan diuji dipoles dengan menggunakan pasta alumina hingga benar-benar halus.

Untuk uji mikro setelah permukaan spesimen dipoles dilakukan pengetsaan yaitu dengan mencelupkan atau meneteskan reaktan selama 1-5 detik kemudian dibilas dan dikeringkan. Tujuan dari pengetsaan adalah untuk mengkorosikan permukaan yang telah halus akibat proses *grinding* dan *polishing* agar dapat diamati.

Pembuatan spesimen uji tarik dimensinya berdasarkan BKI Vol. VI *Rules for Welding*. Yaitu dengan panjang 400 mm, panjang parallel 62 mm, lebar parallel 25 mm, dan radius 25mm.

Proses pengujian metalografi dilakukan pengambilan foto mikro dari spesimen yang telah dipersiapkan sebelumnya. Pengambilan foto dilakukan pada daerah *weld metal* dan *fusion line* dengan menggunakan mikroskop optik.

Proses pengujian kekerasan Vickers dilakukan dengan penekanan indenter intan dengan alas berbentuk persegi. Penekanan dilakukan dengan beban 10 kgf selama 15 detik. Pengujian dilakukan pada tiga daerah pengelasan yaitu: *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Pada masing-masing daerah pengelasan dilakukan sebanyak tiga kali penekanan untuk mengetahui distribusi kekerasan sehingga diperoleh gambaran perubahan kekerasan akibat proses pengelasan.

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* yang langsung dihubungkan dengan *plotter* sehingga dapat diperoleh grafik hubungan beban tarikan (kN) dan regangan (mm) yang memberikan informasi data berupa tegangan *yield*, tegangan *ultimate* dan *elongation* atau pertambahan panjang spesimen uji yang telah dilakukan

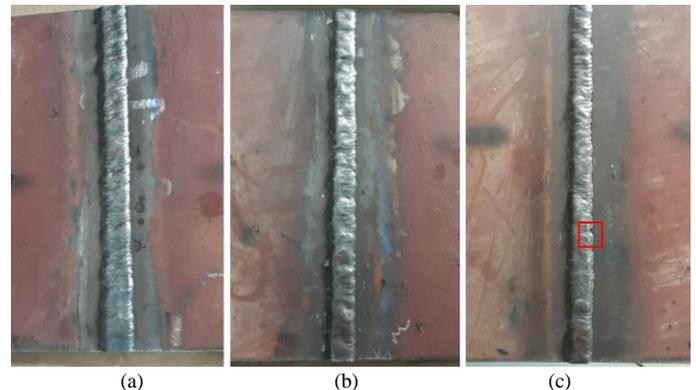
pengujian. Pengujian dilakukan dengan menaikkan beban tarik hingga spesimen uji tersebut patah.

IV. ANALISIS HASIL PENELITIAN

A. Analisis Hasil Pengamatan Visual

Analisa Visual dilakukan untuk memeriksa kualitas hasil pengelasan, ada atau tidaknya cacat las, perlu atau tidaknya dilakukan perbaikan ataupun pengulangan. Kriteria penerimaan cacat las berdasarkan ISO 5817.

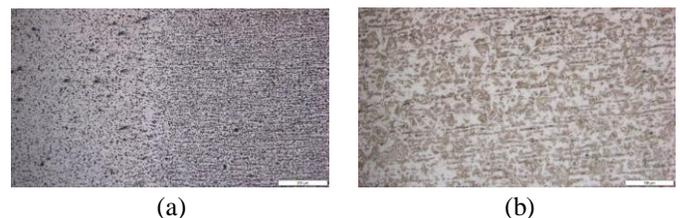
Setelah dilakukan analisa secara visual, terdapat adanya cacat las *incompletely filled groove* (Gambar 3c) pada hasil pengelasan yang ketiga yaitu dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit dan dalam batas yang masih dapat diterima yaitu $h \leq 0.25 t$ atau maksimal 2 mm.



Gambar 3. Hasil pengelasan dengan variasi gas pelindung, (a) 14 L/menit, (b) 16 L/menit, (c) 18 L/menit.

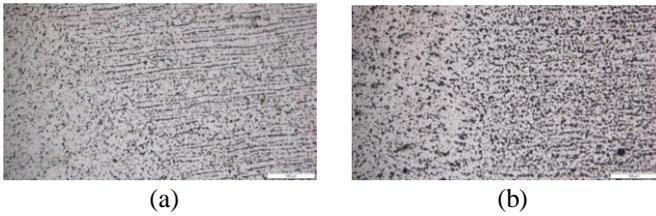
B. Analisis dan Hasil Uji Mikro

Pada baja karbon rendah, struktur mikro didominasi oleh ferit dan perlit. Pada hasil foto mikro ferit berwarna putih atau terang sedangkan perlit berwarna kelabu atau lebih gelap. Hasil foto mikro untuk pengelasan FCAW-G dengan variasi *flow rate* gas pelindung adalah ditunjukkan pada Gambar 4 hingga Gambar 6.



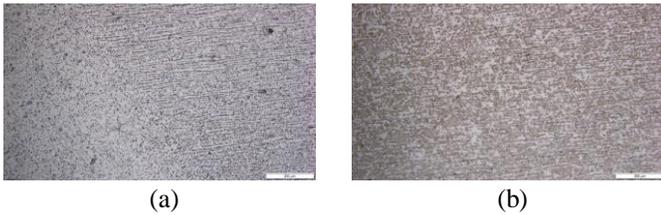
Gambar 4. Hasil foto mikro pengelasan dengan *flow rate* 14 L/menit (a) pada *fusion line*, (b) *weld metal*.

Pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit garis *fusion line* atau garis gabungan antara *weld metal* dengan HAZ terlihat dengan jelas. Struktur perlit terlihat halus.



Gambar 5. Hasil foto mikro pengelasan dengan *flow rate* 16L/menit (a) pada *fusion line*, (b) *weld metal*.

Pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 16 L/menit garis *fusion line* terlihat jelas namun lebih samar dari sebelumnya (pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit). Terlihat terjadi peningkatan jumlah perlit.



Gambar 6. Hasil foto mikro pengelasan dengan *flow rate* 18 L/menit (a) pada *fusion line*, (b) *weld metal*.

Pada pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit garis *fusion line* terlihat paling samar dari dua pengelasan sebelumnya (pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit dan 16 L/menit). Terlihat terjadi peningkatan jumlah struktur perlit.

C. Analisa Hasil Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan Vickers dilakukan penekanan sebanyak tiga kali pada tiap daerah. Dengan beban sebesar 10 kgf selama 15 detik. Setelah dilakukan uji kekerasan pada ketiga spesimen didapatkan data sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 hingga Gambar 9 dan Tabel 3 hingga Tabel 6.



Gambar 7. Hasil uji kekerasan pada spesimen 1 *flow rate* 14 L/menit

Tabel.3.
Hasil uji kekerasan pada spesimen 1 *flow rate* 14 L/menit

Area	Hardness Vickers			
	1	2	3	Rata-Rata
BM	139,51	144,26	141,99	141,92
HAZ	151,61	150,92	147,47	150,00
WM	166,44	172,91	171,81	170,39

Dari pengujian kekerasan yang dilakukan pada spesimen 1 yaitu pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 14 L/menit menunjukkan adanya peningkatan kekerasan dari daerah *base metal* terhadap HAZ dan *weld metal*. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* adalah 141,92 HV, pada daerah HAZ adalah 150,00 HV, dan pada daerah *weld metal* kekerasan rata-ratanya adalah 170,39 HV.



Gambar 8. Hasil uji kekerasan pada spesimen 2 *flow rate* 16 L/menit

Tabel.4.
Hasil uji kekerasan pada spesimen 2 *flow rate* 16 L/menit

Area	Hardness Vickers			
	1	2	3	Rata-Rata
BM	142,58	145,11	148,50	145,40
HAZ	154,29	154,82	153,09	154,07
WM	188,76	188,94	190,30	189,33

Berdasarkan pengujian kekerasan pada spesimen 2, yaitu pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan pada daerah HAZ dan *weld metal* terhadap daerah *base metal*. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* adalah 145,40 HV. Sedangkan pada daerah HAZ nilai kekerasan rata-ratanya adalah 154,07 HV dan pada daerah *weld metal* nilai kekerasan rata-ratanya adalah 189,33 HV.



Gambar 9. Hasil uji kekerasan pada spesimen 3 *flow rate* 18 L/menit

Tabel.5.
Hasil uji kekerasan pada spesimen 3 *flow rate* 18 L/menit

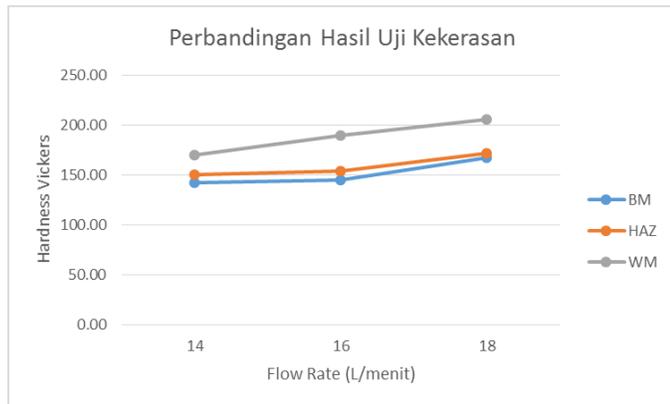
Area	Hardness Vickers			
	1	2	3	Rata-Rata
BM	162,38	171,81	167,19	167,13
HAZ	170,14	173,81	172,54	172,16
WM	203,96	206,27	207,10	205,78

Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen 3 yaitu pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit menunjukkan terjadi peningkatan kekeasan pada daerah HAZ dan *weld metal* terhadap daerah *base metal*. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* adalah 167,13 HV. Nilai kekerasan rata-rata pada daerah HAZ adalah 172,16 HV dan pada daerah *weld metal* nilai kekerasan rata-ratanya adalah sebesar 205,78 HV.

Kemudian dihitung rata-rata kenaikan nilai kekerasan pada tiap-tiap hasil pengelasan untuk mengetahui seberapa besar presentase pengaruh kenaikan *flow rate* gas pelindung terhadap nilai kekerasan material pada tiap-tiap daerah seperti yang telah disajikan pada Tabel 6.

Tabel.6. Nilai Kekerasan Rata-Rata dan Presentase Peningkatan

Area	Flow Rate (L/menit)				
	14	16	18	16	18
BM	141.92	145.40	167.13	2.45%	17.76%
HAZ	150.00	154.07	172.16	2.71%	14.78%
WM	170.39	189.33	205.78	11.12%	20.77%



Gambar 10. Perbandingan hasil uji kekerasan.

Berdasarkan hasil uji kekerasan Vickers yang ditunjukkan pada Gambar 10, kekerasan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya *flow rate* gas pelindung baik pada BM (*Base Metal*), HAZ (*Heat Affected Zone*), maupun WM (*Weld Metal*). Berdasarkan hasil uji kekerasan dapat diketahui nilai kekerasan sebagai berikut:

1. Pada daerah *base metal* nilai kekerasan dari 141,92 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit. Pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit meningkat sebanyak 2,45 % menjadi 145,40 HV dan pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 18 L/menit meningkat sebanyak 17,76 % menjadi 167,13 HV.

2. Pada daerah HAZ memiliki nilai kekerasan 150,00 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit. Meningkat sebanyak 2,71 % menjadi 154,07 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit dan meningkat sebanyak 14,78 % menjadi 172,16 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 18 L/menit.

3. Pada daerah *Weld Metal* memiliki nilai kekerasan 170,39 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit. Meningkat sebanyak 11,12 % menjadi 205,78 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit dan meningkat sebanyak 20,77 % menjadi 205,78 HV pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 18 L/menit.

Peningkatan nilai kekerasan tertinggi yaitu pada daerah *weld metal* karena daerah ini terjadi peleburan logam induk dengan elektroda atau *filler metal* dan mengalami perubahan struktur maupun sifat. Komposisi *weld metal* terdiri dari komponen *base metal* dengan tambahan dari elektroda.

D. Analisa Hasil Uji Tarik

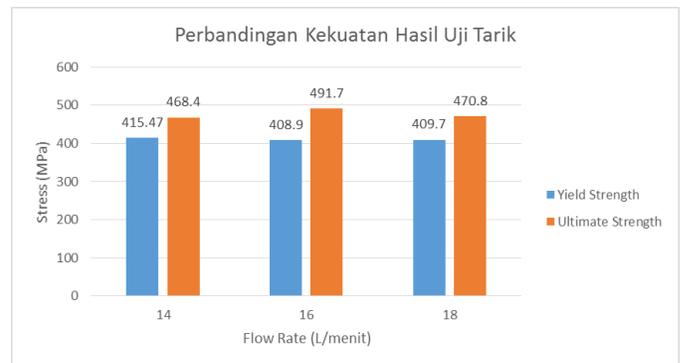
Setelah dilakukan uji tarik terhadap ketiga spesimen, didapatkan data sebagai mana pada Tabel 7.

Tabel.7. Hasil Uji Tarik

Test Piece	Flow Rate	Area	Yield Strength	Ultimate Strength	Elongation
	L/menit	mm ²	Mpa	Mpa	%
1	14	201.10	415.47	468.40	22.12
2	16	198.60	408.90	491.70	24.71
3	18	202.00	409.70	470.80	22.86

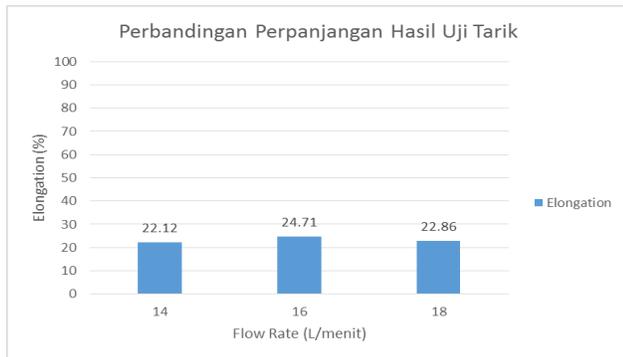
Ketiga hasil pengujian tarik tersebut patah pada bagian logam induk (*base metal*). Dari ketiga hasil tersebut selisih nilai *yield*, *ultimate*, dan *elongation* tidak jauh berbeda dikarenakan patahan terjadi di daerah logam induk yang menjauhi daerah lasan.

Berdasarkan hasil pengujian tarik nilai tegangan *yield*, tegangan *ultimate*, dan *elongation* memenuhi *rules* BKI Vol. V *Rules for Materials* (Tabel.1). Dimana nilai tegangan *yield* minimal 235 N/mm², nilai tegangan *ultimate* antara 400-520 N/mm², dan nilai *elongation* minimal sebesar 22%.



Gambar 11. Perbandingan kekuatan hasil uji Tarik.

Berdasarkan perbandingan kekuatan hasil uji Tarik (Gambar 11), hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit memiliki tegangan *yield* tertinggi yaitu sebesar sebesar 415,47 MPa. hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit memiliki tegangan *yield* terendah yaitu sebesar 408,90 MPa. Dan hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit memiliki tegangan *yield* sebesar 409,70 MPa.



Gambar 12. Perbandingan perpanjangan hasil uji tarik.

Tegangan *ultimate* adalah tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh benda uji ketika mengalami tarikan sebelum bahan uji tersebut patah. Pada *hasil pengelasan* dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit memiliki nilai tegangan *ultimate* terendah yaitu sebesar 468,40 MPa. Sedangkan pada hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 16 L/menit memiliki nilai tegangan *ultimate* tertinggi yaitu sebesar 491,70 MPa. Dan hasil pengelasan dengan *flow rate* 18 L/menit memiliki nilai tegangan *ultimate* sebesar 470,80 MPa.

Berdasarkan perbandingan perpanjangan hasil uji Tarik (Gambar 12), hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung 14 L/menit memiliki nilai terendah yaitu sebesar 22,12 %. Hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 16 L/menit memiliki nilai perpanjangan tertinggi yaitu sebesar 24,71 %. Sedangkan hasil pengelasan dengan *flow rate* gas pelindung sebesar 18 L/menit memiliki nilai perpanjangan sebesar 22,86%.

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan serangkaian percobaan dan analisa, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1) Pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap struktur mikro adalah dengan naiknya *flow rate* gas pelindung terlihat semakin meningkatnya jumlah struktur perlit. Hal ini disebabkan karena bertambah besarnya *flow rate* gas pelindung, semakin kuat tekanan hembusan gas pelindung maka semakin cepat pula laju pendinginan.

2) Pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap kekerasan, semakin besar *flow rate* gas pelindung semakin besar pula nilai kekerasan material las. Dan kenaikan nilai kekerasan terbesar terdapat pada *weld metal* karena pada area tersebut terjadi peleburan logam induk dengan elektroda atau *filler metal*.

3) Pengaruh variasi *flow rate* gas pelindung terhadap kekuatan tarik adalah pada saat dilaksanakan uji tarik patahan terjadi di daerah *base* metal dikarenakan daerah *weld metal* maupun HAZ lebih keras daripada *base metal*. Setelah dilaksanakan uji tarik, nilai kekuatan tarik yang tidak jauh berbeda pada masing-masing tegangan *yield*, tegangan *ultimate*, maupun *elongation* dikarenakan mengikuti sifat dasar dan kekuatan dari dari logam induk dan tidak lebih rendah dari kekuatan tarik minimum logam induk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. dan O. Wiryosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.