



CINIA

The 2nd Conference on Innovation and Industrial Applications (CINIA 2016)

Analisa Pengaruh Variasi Komposisi Gas Pelindung Terhadap Hasil Pengelasan GMAW-Short Circuit dengan Penggunaan Mesin Khusus Regulated Metal Deposition (RMD)

Zakwan Hilmy¹, Nur Syahroni², Yoyok S. Hadiwidodo³
1 Mahasiswa Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya
2&3 Staf Pengajar Teknik Kelautan ITS, FTK ITS Surabaya
e-mail: zakwanhilmy13@gmail.com

Abstrak

Salah satu faktor yang menentukan hasil pengelasan adalah gas pelindung (*Shielding Gas*). Jenis dan komposisi gas pelindung pada pengelasan memberikan hasil yang berbeda antara satu dengan lainnya. Moda transfer GMAW- *short circuit* sering tidak dilakukan karena memiliki tingkat kesukaran yang tinggi. Oleh sebab itu perusahaan listrik Miller membuat terobosan dengan menciptakan RMD (*Regulated Metal Deposition*). Oleh karena itu diadakan penelitian yang bertujuan mengetahui bagaimana pengaruh variasi gas pelindung elektroda yang digunakan pada proses pengelasan GMAW dengan menggunakan mesin RMD (*Regulated Metal Deposition*) dengan *transfer moda* secara *short circuit* terhadap hasil pengelasan pipa baja ASTM A106 dengan komposisi Ar+CO₂ (90%+10%, 80%+20%, 75%+15%, 0%+100%) pada posisi *Flat, horizontal, vertical, dan overhead* di bagian *root*. Analisa terhadap hasil pengelasan menunjukkan bahwa kriteria yang diamati seperti *hardness*, level *spatter*, tebal *weld metal*, serta bentuk dan konsistensi hasil pengelasan (*weld bead*) mengalami perubahan terhadap penambahan komposisi gas CO₂. 100% gas CO₂ menghasilkan nilai kekerasan terendah yaitu 186.46 HV dan level *spatter* tertinggi yaitu 12.27%. Bentuk *weld bead* yang tidak konsisten dihasilkan seiring bertambahnya gas CO₂, hal ini karena busur las yang dihasilkan menjadi tidak stabil sehingga menyulitkan *welder*.

Kata Kunci: GMAW-*short circuit*, gas pelindung argon, baja ASTM 106, gas pelindung CO₂, *regulated metal deposition*

1 PENDAHULUAN

Pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan secara: dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), hanya dengan tekanan (*pressure*), atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). Sebagai teknik penyambungan logam pengelasan pada dasarnya merupakan ikatan metalurgi pada sambungan antar logam paduan yang dilaksanakan pada keadaan lumer atau cair [1].

Gas pelindung adalah komponen penting pada proses pengelasan dimana gas berperan sebagai pelindung pada *weld metal* agar tidak terjadi interaksi dengan atmosfer sekitar. Tiap-tiap gas pelindung memberikan hasil yang berbeda pada hasil pengelasan. Hal ini menyebabkan gas campuran (*mixing gas*) argon dan CO₂ mulai diminati [1] karena memberikan hasil pengelasan yang lebih optimal.

Proses pengelasan GMAW memiliki banyak moda transfer seperti *spray, pulse, globular, dan short circuit*. Moda transfer yang biasanya tidak digunakan oleh perusahaan fabrikasi dan pengelasan dalam *short circuit* karena memberikan resiko tinggi terhadap *spatter* dan busur yang tidak stabil sehingga berdampak pada menurunnya tingkat efisiensi pekerjaan karena membutuhkan perbaikan dan proses *grinding* ekstra pada *spatter*. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakukan pematenan software oleh Miller yaitu *Regulated Metal Deposition* (RMD) untuk mengatasi permasalahan ketika *welder* menggunakan moda transfer *short circuit* pada pengelasan GMAW.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengelasan GMAW dengan menggunakan mesin RMD (*Regulated Metal Deposition*) dengan *transfer moda* secara *short circuit* terhadap hasil pengelasan pipa baja ASTM A106 dengan komposisi Ar+CO₂ (90%+10%, 80%+20%, 75%+15%, 0%+100%) pada posisi *Flat, horizontal, vertical, dan overhead* di bagian *root* untuk melihat pengaruh dari penambahan persentase karbon dioksida terhadap hasil pengelasan.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu cara menyambungkan dua buah logam dengan cara pemanasan [2]. Pengelasan adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan dan atau menggunakan tekanan untuk mendapatkan sebuah sambungan yang kontinyu.

1.2. Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Gas metal arc welding (GMAW) adalah proses pengelasan sebagai upaya penyambungan dua buah material logam dengan menggunakan busur listrik (*electrical arc*) yang tercipta akibat interaksi wire (elektroda) dengan benda kerja (logam yang akan dilas) [3]. Selama proses pengelasan berlangsung, gas pelindung akan disalurkan secara otomatis dari tabung gas menuju *gas nozzle* yang terdapat pada *welding gun* yang kemudian akan disempatkan untuk melindungi *weld metal*.

1.3. Penjelasan Tentang *Short Circuit*

Short circuit adalah salah satu jenis moda transfer pada pengelasan GMAW yang menggunakan arus dan ampere yang rendah untuk menciptakan busur las yang pendek (15-22 V dan 50-220 A) [3]. *Droplet* atau lelehan elektroda yang dihasilkan pada pengelasan *short circuit* memiliki tingkat viskositas yang tinggi serta laju transfer hingga 50-200 *droplet* per detik. Metode *short circuit* memberikan keuntungan pada nilai heat input yang tergolong rendah sehingga menghasilkan *weld metal* yang cukup tipis dan memiliki tingkat distorsi yang rendah dan cepat mendingin [4].

1.4. Penjelasan Gas Pelindung (*Shielding Gas*)

Gas pelindung adalah komponen dari proses pengelasan yang memiliki fungsi melindungi proses pengelasan *weld metal* dan *weld pool* dari kontaminasi udara sekitar (oksigen dan nitrogen). Argon memiliki potensial ionisasi yang rendah sehingga busur las yang dihasilkan stabil serta sedikit *spatter*. Karbon dioksida menghasilkan konduktivitas termal yang tinggi dan penetrasi yang dalam hal ini dikarenakan karbon dioksida memiliki potensial ionisasi yang tinggi sehingga busur yang dihasilkan tidak stabil dan menimbulkan banyak *spatter* [5]. Perhatikan Tabel 1 pada tabel tersebut dapat dilihat karakteristik pada jenis-jenis gas pelindung [6].

Tabel 1 Karakteristik dari jenis gas pelindung

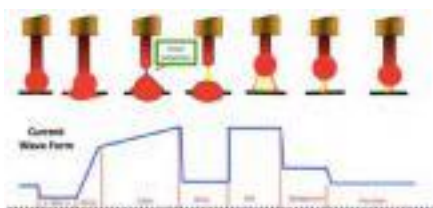
GAS	CHEMICAL SYMBOL	MOLECULAR WEIGHT	SPECIFIC GRAVITY ^(A)	DENSITY		IONIZATION POTENTIAL	
				g/ft ³	g/l	aj ^(B)	eV
ARGON	AR	39.95	1.38	0.1114	1.784	2.52	15.7
CARBON DIOXIDE	CO ₂	44.01	1.53	0.1235	1.978	2.26	14.4
HELIUM	HE	4.00	0.1368	0.0111	0.178	3.92	24.5
HYDROGEN	H ₂	2.016	0.0695	0.0056	0.090	2.16	13.5
NITROGEN	N ₂	28.01	0.967	0.782	12.5	2.32	14.5
OXYGEN	O ₂	32.00	1.105	0.0892	1.43	2.11	13.2

1.5 Penjelasan *Spatter*

Spatter adalah percikan yang terjadi selama proses pengelasan. *Spatter* disebabkan pengaturan arus yang dan gas pelindung yang tidak tepat. Semakin besar kadar CO₂ maka *spatter* akan semakin banyak namun biaya produksi akan berkurang sedangkan penggunaan Argon dapat mereduksi tingkat *spatter* namun biaya produksi akan bertambah karena gas Argon lebih mahal.

2.6. Penjelasan *Regulated Metal Deposition* (RMD)

Regulated Metal Deposition (RMD) adalah software yang telah dipatenkan oleh Miller. Sistem kerja dari RMD adalah memodifikasi cara kerja dari proses pengelasan GMAW dengan mode transfer *short circuit*. Arus dan tegangan pada elektroda selama proses pengelasan dikontrol dengan detail (perhatikan Gambar 1) [7] sehingga tingkat kestabilan arus pada elektroda terkontrol.



Gambar 1 Prinsip kerja RMD (Dokumen SIKB-STT vs RMD *Welding Process Investigation*, 2015)

2.7. Penjelasan Kekerasan (*Hardness*)

Pada hasil pengelasan terdapat beberapa metode pengujian nilai kekerasan material, salah satunya adalah *Vickers hardness testing*. Metode ini menggunakan luasan yang terbentuk oleh tekanan mesin dengan gaya tertentu yang kemudian dikalkulasi menggunakan computer sehingga didapat nilai kekerasan material tersebut [8].

3. METODE PENELITIAN

1.1. Material Properties

Properties dari material ditunjukkan oleh Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Properties material las

Diameter pipa	8 Inch
Jenis material	ASTM A106
Jenis elektroda	REVOFIL 80S-Ni1
Diameter elektroda	1 mm
Ketebalan material	12.7 mm
Panjang jalur las	150 mm per position
Bevel	30° tiap sisi (60° total keseluruhan)
Gap	3-4 mm

Pipa yang akan dilas berjumlah 3 pipa per komposisi gas dengan kecepatan elektroda yang sama yaitu 105 IPM

1.2. Proses Pengelasan

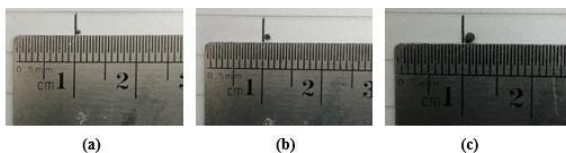
Pengelasan dilakukan pada 4 posisi, yaitu *flat*, *vertical*, *overhead*, dan *horizontal*. Tiap-tiap komposisi gas dilakukan pengelasan sebanyak 3 kali (3 pipa) pada bagian *root phase*.

3.3 Pengecekan Hasil Pengelasan Secara Visual

Pengecekan hasil pengelasan secara visual untuk menganalisa bentuk *weld bead* (*convex*, *Concave*, *flat*). Pengecekan diikuti dengan proses mempersentasikan tingkat konsisten dari ketinggian *weld bead* pada bagian *outer* dan penghitungan dengan menggunakan *welding gauge* pada bagian *root penetration*.

3.4 Proses Penghitungan Jumlah Spatter

Perhitungan jumlah spatter dilakukan secara manual dengan mengelompokkan *spatter* pada beberapa kelompok berdasarkan diameter (lihat Gambar 2).



Gambar 2 Contoh pengelompokan *spatter* berdasarkan diameter, ≤ 1.3 mm (gambar a), 1.3 mm-2 mm (gambar b), dan ≥ 2 mm (gambar c)

3.5 Uji Kekerasan

Uji kekerasan yang dilakukan adalah *Vickers hardness testing* yang terdapat di PT. Hi-Test Batam. Titik pengujian berada pada bagian *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Posisi pengelasan yang diuji adalah posisi *flat* dan *overhead* (posisi *start-stop*).

3.6 Analisa Data

Setelah data terkumpul selanjutnya dilakukan analisa data. Adapun yang dianalisa adalah sebagai berikut:

1. Analisa profil hasil pengelasan secara visual dilakukan untuk melihat bentuk *weld bead* dan tinggi *root pass* yang dihasilkan.
2. Penghitungan jumlah *spatter* dilakukan secara manual dengan mengelompokkan jumlah *spatter* berdasarkan diameter dan membandingkan berat total *spatter* terhadap *weld deposition*.
3. Analisa data kekerasan untuk melihat apakah terdapat perbedaan nilai kekerasan yang signifikan pada hasil pengelasan tiap-tiap komposisi gas
4. Menghitung biaya yang dikeluarkan terhadap gas pelindung yang digunakan.

5. Pemberian nilai/score (range 1-4) untuk tiap-tiap hasil analisa sebagai acuan dalam memilih komposisi gas mana yang memberikan hasil pengelasan yang baik (secara keseluruhan).

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Profil Weld Bead

Persentase konsisten tidaknya pada weld bead hasil pengelasan dilihat dari bentuk weld bead (ketinggian weld bead) pada tiap-tiap posisi pengelasan dengan persentase 0% -95%). Adapun hasil analisa ditampilkan pada Tabel 3 berikut

Tabel 3 Persentase tingkat konsistensi weld bead

Komposisi Gas (Ar+CO2)	Posisi	Persentase Tingkat Konsisten Weld Bead (%)		Rata-Rata Per Posisi	Rata-rata Total
		Root Pass Outer Profile	Root Pass Penetration Profile		
		Persentase	Persentase		
90%+10%	H	90%	90%	90%	90%
	F	90%	95%	93%	
	V	90%	95%	93%	
	OH	85%	85%	85%	
80%+20%	H	85%	90%	88%	87%
	F	80%	90%	85%	
	V	85%	90%	88%	
	OH	85%	90%	88%	
75%+25%	H	85%	80%	83%	83%
	F	80%	85%	83%	
	V	80%	80%	80%	
	OH	80%	90%	85%	
100% CO2	H	75%	80%	78%	71%
	F	75%	75%	75%	
	V	80%	70%	75%	
	OH	50%	60%	55%	

Pengukuran dilakukan pada 4 titik jalur pengelasan (per posisi atau setiap 37.7 mm). Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk Tabel 4 sebagai berikut:

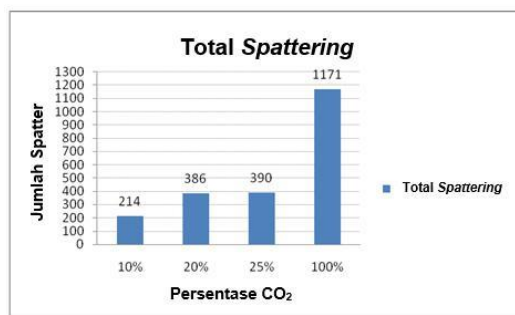
Tabel 4 Ketinggian root pass penetration

Komposisi Gas (Ar+CO2)	Posisi	Ketinggian root pass penetration (mm)															Rata-Rata Per Posisi	Rata-rata Total
		COUPON A					COUPON B					COUPON C						
		1	2	3	4	AVG	1	2	3	4	AVG	1	2	3	4	AVG		
90%+10%	H	1	0.8	0	0.8	0.7	0.5	0.5	1	1	0.8	1	1	0.8	0.2	0.8	0.72	0.67
	F	1.2	1	0	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5	0.2	0.4	1	1.2	1	1	1.1	0.74	
	V	0.8	0.8	1	1	0.9	0	0	0	0.5	0.1	1	1	0.5	0.8	0.8	0.62	
	OH	1	0.8	0	0.8	0.7	0	0.5	1	0	0.4	1	2	0	0.2	0.8	0.61	
80%+20%	H	1	2	1	1	1.3	0.2	1	0.8	0.5	0.6	1.5	2	1	1	1.4	1.08	0.74
	F	1	0.8	0	0.2	0.5	2	1	1.2	0.5	1.2	2	1.8	2	2.5	2.1	1.25	
	V	0	0	1	0	0.3	0	0	0	0.5	0.1	0.8	1	0.8	0.2	0.7	0.36	
	OH	0.8	0.8	-0.2	0.5	0.5	0.2	0.2	0	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.26	
75%+25%	H	0.5	0.5	1	1	0.8	0.2	0.8	0.2	0	0.5	2.5	1.2	0.8	0.5	1.3	0.77	0.67
	F	0.8	1	1.5	0.8	1	1	1.5	0.5	0	0.8	0.5	0.8	1	3	1.3	1.03	
	V	1.8	0	0.8	0.5	0.8	0	0	0.5	1	0.4	0.2	0.2	-0.2	0	0.1	0.40	
	OH	0.5	2	0.2	0.5	0.8	0	0	0	0	0.0	0	0.8	0.8	0.8	0.6	0.47	
100% CO2	H	1	1.8	0.8	0	0.9	0.2	0.8	0.8	1.3	0.8	0.5	0.8	0.5	0	0.5	0.73	0.76
	F	0.5	0.2	0.2	-0.2	0.2	0.8	2.8	1.8	1	1.6	0	2.2	1.2	0.8	1.1	0.94	
	V	-0.2	0	1	0.5	0.3	0.8	1	0.8	0	0.7	1.5	0.8	0	0	0.6	0.52	
	OH	0.8	0.8	0	0	0.4	0.5	0.8	0	0.5	0.5	0	0.5	1.5	3	1.8	0.87	

Pada Tabel 4 terlihat bahwa ketinggian root pass penetration tiap-tiap komposisi gas pelindung tergolong baik (sesuai AWS maksimum ketinggian tidak lebih dari 3 mm).

4.2 Analisa Tingkat Spatter

Perhitungan spatter dilakukan secara manual dan dilakukan beberapa kali sebagai validasi. Hasil perhitungan digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4:



Gambar 4 Grafik total spattering

Dengan menggunakan data Tabel 4 dapat dicari persentase tingkat *spatter* dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\frac{(\pi \times r^3 \times \rho_{cs} \times \text{Jumlah Spatter})}{\text{Weld deposition}}$$

Dimana:

π = 3.14

r = Jari-jari *spatter* (mm)

ρ_{cs} = Densitas *carbon steel* (0.00785 g/mm)

DR = *Weld deposition rate* (334.335 g) per komposisi gas

* Jari-jari *spatter* yang dihitung 1.3 mm, 2 mm, and 2.3 mm

Deposition rate dihitung menggunakan rumus :

$$DR = \frac{1}{2} \times a \times t \times l \times \rho_{cs}$$

Dimana:

DR = *Weld deposition rate*

T = Tebal plat (12.7 mm)

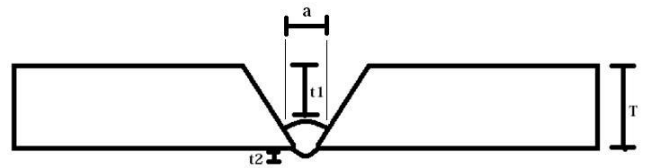
$t = (T-t_1)+t_2 = 5.94 \text{ mm}$

a = Lebar weld bead (3.98 mm)

l = Panjang jalur las (600 mm)

ρ_{cs} = Densitas *carbon steel*

DR = $\frac{1}{2} \times a \times t \times l \times \rho_{cs}$
 = $\frac{1}{2} \times 3.98 \times 5.94 \times 600 \times 0.00785$
 = 111.4453 g per coupon



Untuk mendapatkan *Weld deposition* per komposisi gas maka:

DR = 111.4453 x 3
 = 334.335 g

Dengan menggunakan persamaan di atas maka dapat dibuat tabel perhitungan persentase *spattering* pada Tabel 5:

Tabel 5 Persentase *spattering*

Komposisi Gas (Ar+CO2)	Diameter Spatter	Total Kuantitas Spatter per Diameter	$\pi \times r^3 \times \rho_{carbon\ steel} \times$ Jumlah Spatter Weld deposition	Persentase Spattering per Diameter	Persentase Spattering Total per Komposisi Gas
90%+10%	≤ 1.3 mm	204	0.0130	1.30%	1.54%
	1.3mm-1.5mm	9	0.0021	0.21%	
	≥ 2mm	1	0.0004	0.04%	
80%+20%	≤ 1.3 mm	330	0.0210	2.10%	3.53%
	1.3mm-1.5mm	45	0.0104	1.04%	
	≥ 2mm	11	0.0039	0.39%	
75%+25%	≤ 1.3 mm	326	0.0207	2.07%	3.78%
	1.3mm-1.5mm	45	0.0104	1.04%	
	≥ 2mm	19	0.0067	0.67%	
100% CO2	≤ 1.3 mm	933	0.0593	5.93%	12.27%
	1.3mm-1.5mm	169	0.0391	3.91%	
	≥ 2mm	69	0.0243	2.43%	

4.3 Analisa Tebal *Weld Deposition* dan Nilai Kekerasan

Analisa tebal *weld bead* dilakukan dengan menggunakan *macroetch* dan foto *macro* (lihat Gambar 6).



Gambar 6 Cara menghitung tebal *weld deposition* pada hasil *macroetch*

Berdasarkan hasil foto *macro* dapat dihitung ketebalan dari *weld deposition* yang kemudian dirangkum pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6 Tabel ketebalan *weld deposition*

Komposisi Gas (Ar+CO ₂)	Posisi pengelasan	Tebal <i>Weld Deposition</i> (T)	Posisi Pengelasan	Tebal <i>Weld Deposition</i> per Posisi	Tebal <i>Weld Deposition</i> per Komposisi Gas
90%+10%	Flat-coupon A	4 mm	FLAT	4 mm	3.4 mm
	Overhead-coupon A	2.5 mm			
	Flat-coupon B	4 mm	OVERHEAD	2.8 mm	
	Overhead-coupon B	3 mm			
80%+20%	Flat-coupon A	4 mm	FLAT	3.5 mm	3.6 mm
	Overhead-coupon A	4.5 mm			
	Flat-coupon B	3 mm	OVERHEAD	3.8 mm	
	Overhead-coupon B	3 mm			
75%+25%	Flat-coupon A	2.5 mm	FLAT	2.8 mm	2.6 mm
	Overhead-coupon A	2.5 mm			
	Flat-coupon B	3 mm	OVERHEAD	2.8 mm	
	Overhead-coupon B	3 mm			
100% CO ₂	Flat-coupon A	3 mm	FLAT	3.5 mm	4 mm
	Overhead-coupon A	5 mm			
	Flat-coupon B	4 mm	OVERHEAD	4.5 mm	
	Overhead-coupon B	4 mm			

Pada penelitian ini pengujian *Vickers hardness test* dilakukan pada 2 line dengan 2 titik (per line) pengujian pada BM (*base metal*) dan 3 titik (per line) pada HAZ (*heat affected zone*) dan WM (*weld metal*) sesuai ASTM. Nilai kekerasan yang ditampilkan pada table 7 berikut:

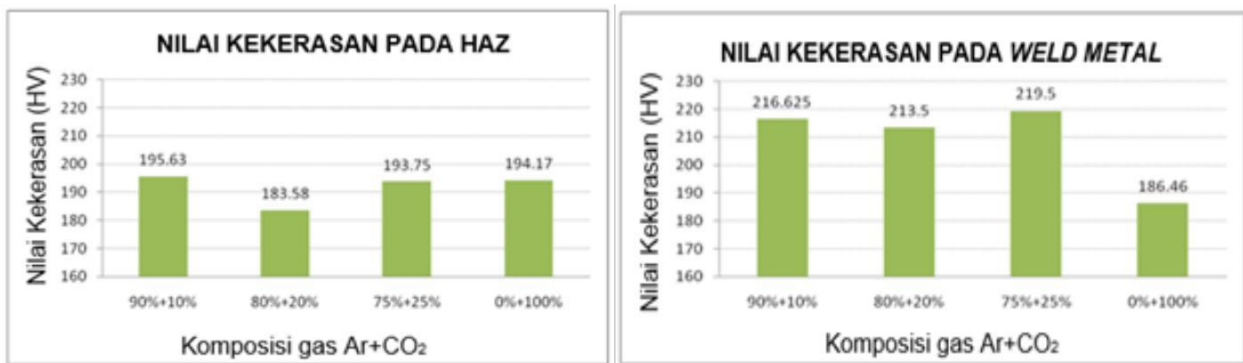
Tabel 7 Nilai kekerasan (tabel a) dan Nilai kekerasan rata-rata pada *weld bead* dan HAZ (tabel b)

KOMPOSISI GAS (Ar+CO ₂)	POSISI PENGLASAN	NILAI KEKERASAN (HV 10)									RATA-RATA PER COUPON (HV)	RATA-RATA TOTAL		
		BASE METAL			HAZ			WELDMETAL				HAZ	Weld metal	
		MIN	MAX	RATA-RATA	MIN	MAX	RATA-RATA	MIN	MAX	RATA-RATA				
90%+10%	FLAT	145	164	154	180	270	199	211	238	220	195.63	216.63		
	OVERHEAD	138	162	149	173	241	192	216	226	214				
80%+20%	FLAT	143	167	151	171	235	186	210	230	213			183.58	213.50
	OVERHEAD	141	163	151	178	243	181	213	227	214				
75%+25%	FLAT	148	166	157	171	246	202	203	270	228	193.75	219.50		
	OVERHEAD	130	159	149	160	233	186	202	227	211				
100% CO ₂	FLAT	144	193	162	183	248	192	196	206	195			194.17	186.46
	OVERHEAD	144	192	161	175	235	196	177	190	178				
	Flat - coupon A	217.33	222.33											
	Overhead - coupon A	200.92	221.17											
90%+10%	Flat - coupon B	181.00	217.17											
	Overhead - coupon B	183.25	205.83											
80%+20%	Flat - coupon A	199.17	205.67											
	Overhead - coupon A	201.58	220.00											
80%+20%	Flat - coupon B	173.58	220.67											
	Overhead - coupon B	160.00	207.67											
75%+25%	Flat - coupon A	206.50	216.50											
	Overhead - coupon A	208.25	214.00											
75%+25%	Flat - coupon B	197.08	239.50											
	Overhead - coupon B	163.17	208.00											
100% CO ₂	Flat - coupon A	203.92	190.00											
	Overhead - coupon A	197.33	170.50											
100% CO ₂	Flat - coupon B	180.33	200.50											
	Overhead - coupon B	195.08	184.83											

(a)

(b)

Berdasarkan Tabel 7 (b) didapat grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7 Grafik nilai kekerasan pada HAZ dan *Weld Metal*

Berdasarkan Gambar 7 terlihat nilai kekerasan pada *weld metal* yang menggunakan komposisi gas Ar+CO₂ (90%+10%, 80%+20%, dan 75%+25%) memiliki perbedaan nilai kekerasan yang tidak berbeda jauh (selisih ±3 HV), sedangkan penggunaan gas CO₂ menghasilkan nilai kekerasan yang lebih kecil dibandingkan komposisi gas yang lainnya yaitu 186.46.

4.4 Analisa Biaya (*Cost*)

Analisa biaya dilakukan dengan membandingkan biaya pengelasan perjam. Berikut data tabung gas yang digunakan pada penelitian ini (sumber harga dari Airliquid) ditunjukkan Tabel 8:

Tabel 8 Data tabung gas pelindung dan Perhitungan biaya

Gas cylinder	Volume (liter/cylinder)	Cost (per cylinder)	Cost (per liter)	Composition (Ar+CO ₂)	Volume Ar (liter/min)	Volume CO ₂ (liter/min)	Cost Ar (per minutes)	Cost CO ₂ (per minutes)	Total cost per minutes	Total cost per hour
Ar	10400	\$ 40.46	\$ 0.0039	90%+10%	16.98	1.89	\$ 0.07	\$ 0.004	\$ 0.07	\$ 4.18
CO ₂	15000	\$ 28.75	\$ 0.0019	80%+20%	15.10	3.77	\$ 0.06	\$ 0.007	\$ 0.07	\$ 3.96
				75%+25%	14.15	4.72	\$ 0.06	\$ 0.009	\$ 0.06	\$ 3.85
				0%+100%	0.00	18.87	\$ -	\$ 0.036	\$ 0.04	\$ 2.17

Kecepatan aliran gas pelindung yang digunakan pada penelitian ini adalah 40 SCFH (18.87 lpm).

4.5 Analisa Pemilihan Komposisi Gas Terbaik

Adapun hasil penilaian dimasukkan pada Tabel 11 *Score Card* untuk semua penilaian sebagai berikut:

Tabel 10 *Score card* akhir

Parameter	Bobot (%)	Komposisi Gas (Argon+CO ₂)			
		90%+10%	80%+20%	75%+25%	0%+100%
		(Bobot X Score)	(Bobot X Score)	(Bobot X Score)	(Bobot X Score)
Nilai Kekerasan	30%	0.9	0.9	0.9	0.6
<i>Weld Bead</i> :					
Tingkat Konsistensi	15%	0.6	0.6	0.45	0.3
Tinggi Root Pass Penetration	10%	0.4	0.4	0.4	0.4
Ketebalan Weld Deposition	10%	0.3	0.3	0.2	0.4
Tingkat Spatter	10%	0.4	0.3	0.3	0.1
Biaya (cost)	25%	0.25	0.5	0.75	1
Total		2.85	3	3	2.8

Berdasarkan hasil *scoring* dapat disimpulkan bahwa komposisi gas terbaik adalah Ar+CO₂ (80%+20% dan 75%+25%). Hal ini disebabkan tidak terdapatnya perbedaan yang signifikan pada penambahan 5% CO₂ pada hasil pengelasan.

5 KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Komposisi gas pelindung (Ar dan CO₂) menghasilkan bentuk *weld bead* yang berbeda-beda. Komposisi Ar+CO₂ (90%+10%, 80%+20%, dan 75%+25%) menghasilkan bentuk *weld bead* yang baik (*convex* dan *flat*) dikarenakan nyala busur yang stabil. Sedangkan gas pelindung CO₂ 100% menghasilkan bentuk *weld bead* yang buruk (*concave*) dan tidak konsisten dikarenakan nyala busur yang tidak stabil.
2. Pada bagian *weld metal* nilai kekerasan terendah dihasilkan oleh gas pelindung CO₂ 100% yaitu 186.46 HV dan komposisi gas pelindung Ar+CO₂ (90%+10%, 80%+20%, dan 75%+25%) tidak terdapat perbedaan yang signifikan.
3. Bertambahnya jumlah CO₂ pada komposisi gas pelindung menghasilkan jumlah *spatter* yang lebih banyak. Komposisi Ar+CO₂ (90%+10%) menghasilkan level *spatter* terendah yaitu 1.54% sedangkan level *spatter* tertinggi dihasilkan oleh pengelasan dengan gas pelindung CO₂ 100%.
4. Komposisi gas pelindung yang efektif untuk digunakan pada pengelasan GMAW *short circuit* dengan menggunakan mesin RMD untuk digunakan dan direkomendasikan oleh penulis pada pengelasan GMAW *short circuit* dengan menggunakan mesin RMD adalah Ar+CO₂ (80%+20%) atau Ar+CO₂ (75%+25%).

6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. dan O. Wiryosumarto, *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [2] S. Widharto, *Petunjuk Kerja Las*. 2001.
- [3] TWI, *Welding Inspection WIS5*. TWI Ltd, 2006.
- [4] S. Kou, *Welding Metallurgy Handbook, 2nd ed.* New York, USA: John Wiley and Sons, 2002.
- [5] W. F. G. L. Kevin dan Stapon, "7 Effects Of Shielding Gas, Arc welding article," 2007. [Online]. Available: thefabricator.com.
- [6] A. K. Lyttle, *The ASM Handbook, vol 6, Welding, Brazing, and Soldering*. PRAXAIR Inc, 1993.
- [7] SAIPEM, "STT vs RMD Welding Process Investigation Report," 2015.

- [8] Zwick/Role, "Vickers Hardness Test, Hardness Testing." [Online]. Available: http://www.indentec.com/downloads/info_vickers_tes.