

## Analisis Variasi Sudut Kampuh V Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Baja ASTM A36

Meryanalinda<sup>1</sup>, Muchammad Sochib<sup>2</sup>, Ahmad Habibullah<sup>3</sup>

<sup>1 2 3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

Email: <sup>1</sup>[meryanalinda.anharmi@gmail.com](mailto:meryanalinda.anharmi@gmail.com), <sup>2</sup>[sochib03pg@gmail.com](mailto:sochib03pg@gmail.com), <sup>3</sup>[id.ahmadhabibullah@gmail.com](mailto:id.ahmadhabibullah@gmail.com)

### Abstract

*In the book AWS D1.1 the allowable open weld angle is between 60° to 75°, then is there a difference in mechanical strength between the 60° angle and the 75° angle?. This will be studied in this study and aims to compare the effect of variations in the V 60° joint angle with the V 75° joint angle on the mechanical properties of ASTM A36 carbon steel welded joints with a width of 180 mm and a thickness of 16 mm. This research method using tensile test and vickers test. Tensile test process used to measure the resistance of a material to static forces given slowly. The obtained mechanical properties are known as strength and elasticity of metal. In the tensile test the load is given continuously and slowly increases in size, at the same time observations are made about the elongation experienced by the test object and a stress-strain curve is produced. Hardness testing using the vickers method aims to determine hardness of a material. Based on research that has been carried out, the conclusions are as follows: a) in welding the V 60° seam angle requires a welding electrode of 0.20 kg and in welding a 75° V seam angle requires a welding electrode of 0.27 kg, b) variation of the angle of V 75° has the largest stress value on specimen B2 with a value of 444.25 Mpa, c) specimens with variations in the V 60° joint angle have a higher hardness value than the specimen with a 75° V joint angle variation.*

**Keywords:** Analysis, Angle, ASTM A36, Joints, Mechanical, Properties, Steel, Welded, Variation.

### 1. Pendahuluan

Proses penyambungan pelat ataupun logam dengan cara pengelasan pada saat ini banyak sekali digunakan, hal ini dikarenakan proses penyambungannya cepat dan penyatuan sambungannya kuat. Proses pengelasan dengan busur listrik atau elektrode terbungkus, sering disebut *shielded metal arc welding* (SMAW), merupakan proses pengelasan yang sering digunakan karena proses pengelasan dengan cara ini dapat menghasilkan sambungan yang kuat dan juga mudah untuk digunakan.

Pada dunia industri bidang konstruksi, baja merupakan logam yang penting dan paling banyak digunakan sebagai material teknik. Terdapat beberapa jenis logam baja yang dapat dipilih sebagai bahan material konstruksi maupun komponen mesin, salah satunya adalah baja karbon ASTM A36. Baja karbon jenis ini bersifat mudah dibentuk. Aplikasi baja karbon antara lain untuk membuat lembaran, *strip*, pelat, kawat, batangan, baja struktur, dan baja profil (*section*). Selain kekuatannya yang baik, jenis logam baja ini memiliki keunggulan yaitu sifat mekaniknya dapat ditingkatkan melalui perlakuan panas. Akan tetapi juga memiliki kelemahan yaitu mudah mengalami retak.

**Tabel 1. Komposisi kimia pelat baja ASTM A36**

C	Mn	P	S	Si	Cu
0,25	...	0,04	0,05	0,04	0.20

Proses penyambungan logam dengan cara pengelasan diharapkan dapat diperoleh sambungan yang kuat sehingga saat pengujian tarik tidak terjadi putus pada sambungan lasnya melainkan pada logam induk atau HAZ (*Heat Affected Zone*). HAZ, biasa disebut daerah terpengaruh panas, adalah daerah dengan jarak tertentu dari sambungan las yang mengalami pemanasan akibat adanya panas pengelasan. Luas daerah HAZ dipengaruhi beberapa faktor, antara lain pemilihan logam pengisi dan parameter las (arus, tegangan, kecepatan pengelasan, kecepatan pengumpanan bahan pengisi).

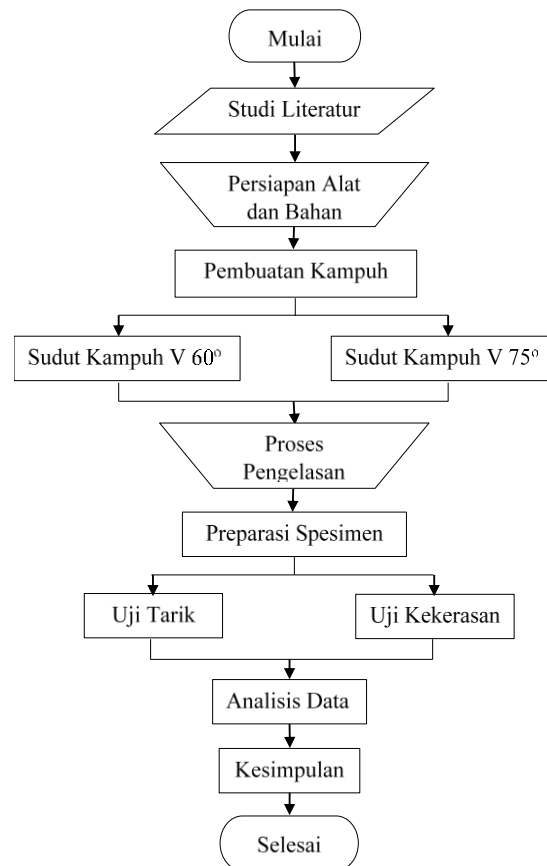
Akibat penyambungan dengan cara pengelasan, logam akan mengalami pemuaihan saat pemanasan dan penyusutan saat pendinginan. Fenomena ini menyebabkan adanya ekspansi dan kontraksi pada logam yang dilas, atau sering disebut dengan distorsi. Temperatur 200° C hingga 1.100°

C menyebabkan perubahan struktur mikro pada logam dasar baik ukuran maupun bentuknya. Semakin besar sudut kampuh V maka semakin besar terjadi distorsi pada pengelasan begitu sebaliknya [1]. Dalam buku AWS D1.1 [2] sudut kampuh las terbuka yang diijinkan antara  $60^\circ$  sampai dengan  $75^\circ$ , lantas apakah ada perbedaan kekuatan mekanik antara sudut  $60^\circ$  dengan sudut  $75^\circ$ ?. Hal tersebut akan dikaji dalam penelitian ini dan bertujuan untuk membandingkan sejauh mana pengaruh variasi sudut kampuh V  $60^\circ$  dengan sudut kampuh V  $75^\circ$  terhadap sifat mekanik pada sambungan las baja karbon ASTM A36 dengan tebal 16 mm.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Eksperimen dilaksanakan di laboratorium dengan kondisi dan peralatan yang disesuaikan guna memperoleh data tentang pengaruh perbedaan variasi sudut kampuh V  $60^\circ$  dan  $75^\circ$  terhadap kekuatan tarik serta kekerasan las SMAW pada pelat baja ASTM A36 tebal 16 mm. Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode dokumentasi, observasi dan eksperimen langsung. Metode ini berupa pengumpulan data penelitian secara sengaja dan sistematis dengan mengadakan perlakuan atau tindakan pengamatan terhadap suatu variabel.

Subjek yang akan ditinjau pada penelitian ini adalah material yang berbentuk pelat dengan tebal 16 mm dan diperlakukan pengelasan SMAW. Pada proses pengelasan tersebut sering terjadi perubahan bentuk yang dipengaruhi oleh kurangnya perhatian pada jenis kampuh dan besarnya sudut alur yang digunakan. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian mengenai sudut alur yang digunakan agar logam pengisi dapat masuk di antara logam sambungan sehingga dapat menyatukan seluruh material yang akan dilas secara sempurna. Hasil pengelasan ini diharapkan dapat menghasilkan sambungan yang memiliki sifat mekanis (kuat tarik dan kekerasan) yang baik. Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Flowchart penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan di *workshop* PT. PJB Gresik. Pengelasan dilakukan pada material baja ASTM A36 dengan sudut kampuh 60° (spesimen A) dan 75° (spesimen B). Dimensi bahan uji pengelasan adalah sebagai berikut:

Panjang	: 500 mm
Lebar	: 180 mm
Tebal	: 16 mm



**Gambar 2. Spesimen baja A36 sebelum pengelasan**

Siklus termal pengelasan melibatkan pemanasan yang berasal dari panas busur listrik. Pada pengelasan busur listrik, panas yang diserap oleh benda kerja sebenarnya merupakan hasil perkalian tegangan dan arus las, biasa disebut dengan masukan panas (*heat input*). Pemanasan tidak hanya terjadi pada satu titik melainkan berlangsung di sepanjang pelat, dan melibatkan satu parameter lagi yaitu kecepatan pengelasan. Dengan demikian masukan panas tersebut dapat disebut sebagai laju masukan panas yang didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$HI = \frac{(V \times I \times 60)}{TS}$$

$$TS = \frac{L}{s} \times 60$$

Sehingga,

$$HI = \frac{(V \times I \times 60)}{\left(\frac{L}{s} \times 60\right)}$$

$$HI = \frac{(V \times I \times s)}{L}$$

dimana:

HI = *heat input* (Joule/mm)

V = tegangan las (volt)

I = arus las (Ampere)

TS = kecepatan pengelasan (mm/menit)

s = durasi pengelasan (detik)

L = jarak pengelasan (mm)

Proses pengelasan dilakukan dengan mematuhi AWS B2. 1-1-011-2002, *Standard Welding Procedure* [3].

### **Welding Procedure Specification (WPS) pada sudut kampuh 60°**

Berdasarkan *welding procedure specification*, pengelasan baja ASTM A36 dengan sudut kampuh V terbuka 60° didapatkan 5 lapis (*layer*) pengelasan. Karakteristik masing–masing *layer* tersebut adalah:

- 1) *Layer 1* adalah *root pass* atau pengelasan dasar pada material. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7016 dengan diameter 2,6 mm. Arus yang digunakan pada *layer root pass* ini sebesar 80 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas *direct current electrode negative* (DCEN). Tujuannya agar panas lebih banyak pada benda kerja sehingga penetrasi *root pass*/tembusan lebih mudah, karena 2/3 panas ada di kutub positif dan 1/3 di kutub negatif. Pengelasan ini mencatat waktu yang dibutuhkan adalah 162 detik, dengan gerakan maju mundur posisi 3G *uphill*. Berdasar data tersebut maka dapat dicari masukan panas (*heat input*), yaitu sebesar 5,76 kJ/mm.
- 2) *Layer 2* adalah *fill* atau daerah isian elektrode pertama. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7016 dengan diameter 2,6 mm. Arus yang digunakan sebesar 85 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas *direct current electrode positive* (DCEP). Pada pengelasan *layer 2* ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 154 detik dengan gerakan ayunan segitiga posisi 1G. Berdasar data tersebut maka dapat dicari masukan panas (*heat input*), yaitu sebesar 5,82 kJ/mm.
- 3) *Layer 3* adalah *fill* atau daerah isian elektrode kedua. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan sebesar 90 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas DCEP. Pada pengelasan *layer 3* ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 156 detik, dengan gerakan ayunan segitiga posisi 1G. Berdasar data tersebut maka dapat dicari masukan panas (*heat input*), yaitu sebesar 6,24 kJ/mm.
- 4) *Layer 4* adalah *fill* atau daerah isian elektrode ketiga. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan pada sebesar 100 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas DCEP. Pada pengelasan *layer 4* ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 154 detik dengan gerakan ayunan segitiga posisi 1G. Berdasar data tersebut maka dapat dicari masukan panas (*heat input*), yaitu sebesar 6,84 kJ/mm.
- 5) *Layer 5* adalah *capping* atau pengelasan daerah atas lasan. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan pada *layer root weld* sebesar 100 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas DCEP. Pada pengelasan *layer 5* ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 157 detik dengan gerakan ayunan segitiga posisi 1G. Berdasar data tersebut maka dapat dicari masukan panas (*heat input*), yaitu sebesar 6,98 kJ/mm.

Berat spesimen sebelum pengelasan adalah 10,94 kg dan setelah pengelasan adalah 11,14 kg. Jadi dalam pengelasan sudut kampuh V 60° dengan lebar 180 mm dan ketebalan 16 mm membutuhkan elektrode las sebanyak 0,20 kg.

### **Welding Procedure Specification (WPS) pada sudut kampuh 75°**

Berdasarkan *welding procedure specification* pengelasan baja ASTM A36 dengan sudut kampuh V terbuka 75° didapatkan 5 *layer* pengelasan. Karakteristik masing–masing *layer* tersebut adalah:

- 1) *Layer 1* adalah *root pass* atau pengelasan dasar pada material. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7016 dengan diameter 2,6 mm. Arus yang digunakan pada *layer root pass* sebesar 80 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas *direct current electrode negative* (DCEN). Tujuannya agar panas lebih banyak pada benda kerja sehingga penetrasi *root pass*/tembusan lebih mudah, karena 2/3 panas ada di kutub positif dan 1/3 di kutub negatif. Pada pengelasan *layer 1* tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 165 detik, dengan

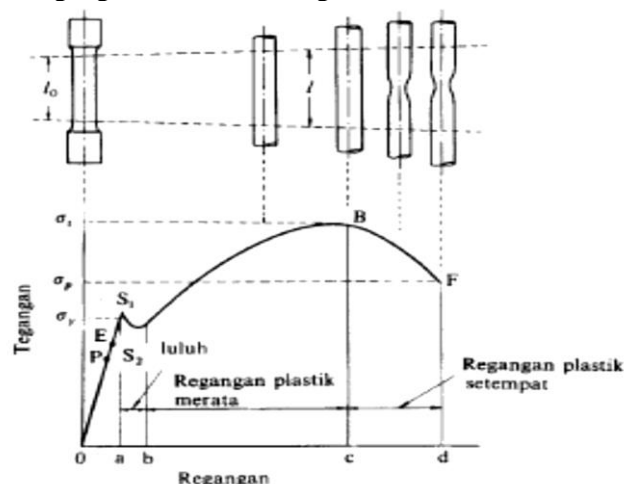
gerakan maju mundur posisi 3G *uphill*. Sehingga dapat diketahui masukan panas (*heat input*) sebesar 5,87 kJ/mm.

- 2) *Layer 2* adalah *fill* atau daerah isian elektrode. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7016 dengan diameter 2,6 mm. Arus yang digunakan sebesar 85 A dan tegangan 80-87 Volt dengan polaritas *direct current electrode positif* (DCEP). Pada pengelasan *layer 2* ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 155 detik dengan gerakan ayunan segitiga posisi 1G. Sehingga dapat diketahui masukan panas (*heat input*) sebesar 5,86 kJ/mm.
- 3) *Layer 3* adalah *fill* atau daerah isian elektrode kedua. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan pada *layer 3* sebesar 90 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas DCEP. Pada pengelasan *layer* ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 157 detik dengan gerakan ayunan segitiga posisi 1G. Sehingga dapat diketahui masukan panas (*heat input*) sebesar 6,28 kJ/mm.
- 4) *Layer 4* adalah *fill* atau daerah isian elektrode ketiga. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan pada *layer 4* sebesar 100 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas DCEP. Pada pengelasan *layer* ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 161 detik dengan gerakan ayunan segitiga posisi 1G. Sehingga dapat diketahui masukan panas (*heat input*) sebesar 7,16 kJ/mm.
- 5) *Layer 5* adalah *capping* atau pengelasan daerah atas lasan. Pada pengelasan ini elektrode yang digunakan adalah elektrode tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan pada *layer root weld* sebesar 100 A dan tegangan 80–87 Volt dengan polaritas DCEP. Pada pengelasan *layer* ini tercatat waktu yang dibutuhkan adalah 163 detik dengan gerakan ayunan segitiga posisi 1G. Sehingga dapat diketahui masukan panas (*heat input*) sebesar 7,24 kJ/mm.

Berat spesimen sebelum pengelasan adalah 10,92 kg dan setelah pengelasan adalah 11,19 kg. Jadi dalam pengelasan sudut kampuh V 75° dengan lebar 180 mm dan ketebalan 16 mm membutuhkan elektrode las sebanyak 0,27 kg.

### Pengujian Tarik

Pengujian tarik atau *tensile test* bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik suatu benda uji. Pengujian tarik ini dilakukan pada daerah las. hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah bahan las mempunyai kekuatan yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw materials*. Selain itu pengujian tarik ini juga untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Dalam sambungan las, sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las, dan sifat dinamik dari sambungan. Sifat dinamik ini berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan.



Gambar 3. Kurva tegangan regangan

Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda uji berupa gaya tarik berlawanan arah yang dilakukan pada salah satu ujung benda uji. Gaya tarik tersebut akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) pada benda uji. Proses terjadinya deformasi

pada bahan uji adalah proses pergeseran butiran kristal logam yang mengakibatkan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam sehingga akan menyebabkan terlepasnya ikatan antar atom.

Pada pengujian tarik, beban diberikan secara kontinu dan perlahan bertambah besar nilainya. Beban tarik akan menghasilkan nilai tegangan pada benda uji, yang merupakan fungsi dari gaya terhadap area. Bersamaan dengan itu dilakukan pula pengamatan mengenai pertambahan perpanjangan yang dialami benda uji. Pertambahan panjang akan menghasilkan nilai regangan pada benda uji, yang merupakan fungsi dari pertambahan panjang terhadap panjang semula. Dari kedua nilai yang diamati tersebut, yaitu tegangan dan regangan, akan menghasilkan kurva tegangan-regangan seperti gambar 3.

Hasil pengujian tarik mekanik pada setiap spesimen sudut 60° dilambangkan dengan huruf A, dan spesimen sudut 75° dilambangkan dengan huruf B. Masing-masing perlakuan menggunakan 3 benda uji.

**Tabel 2. Data pengujian uji tarik**

Spesimen	Dimensi awal (mm)			Dimensi saat patah (mm)			Beban maksimum (kgf)
	P	L	T	P	L	T	
A1	200,00	40,06	15,72	251,64	27,34	8,46	28.197
A2	200,00	40,25	15,70	216,50	35,32	13,27	25.252
A3	200,00	40,10	15,72	247,82	27,26	8,81	27.868
B1	200,00	39,66	15,73	246,16	27,50	9,77	27.694
B2	200,00	39,51	15,75	246,84	27,66	9,67	28.190
B3	200,00	40,17	15,77	252,54	27,88	9,07	28.290

Berdasarkan tabel 2, dapat dilakukan perhitungan untuk masing-masing spesimen dengan variasi sudut kampuh pengelasan. Adapun perhitungan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

dimana:

$\sigma_u$  = Tegangan nominal (kg/mm<sup>2</sup>)

$F_u$  = Beban maksimal (kg)

$A_o$  = Luas penampang mula dari penampang batang (mm<sup>2</sup>)

2. Regangan (persentase pertambahan panjang) dapat diperoleh dengan membagi pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) dengan panjang ukur mula-mula.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\% = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100\%$$

dimana:

$\epsilon$  = Regangan

$L$  = Panjang akhir (mm)

$L_o$  = Panjang awal (mm)

3. Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda uji berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan. Hal ini akan mengakibatkan kepatahan pada benda uji saat beban maksimum bekerja. Persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$RA = \frac{\Delta A}{A_o} \times 100\% = \frac{A_o - A_1}{A_o} \times 100\%$$

dimana:

$RA$  = Reduksi penampang

$A_o$  = Luas penampang mula (mm<sup>2</sup>)

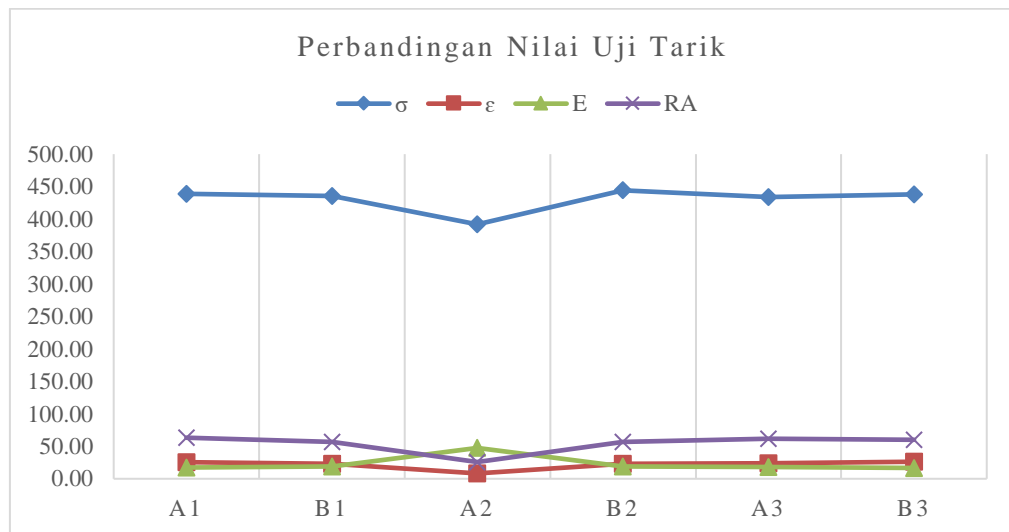
$A_1$  = Luas penampang akhir (mm<sup>2</sup>)

Nilai tegangan, regangan, reduksi penampang, dan modulus elastisitas dapat dilihat pada tabel di bawah.

**Tabel 3. Nilai tegangan, regangan, reduksi penampang, dan modulus elastisitas**

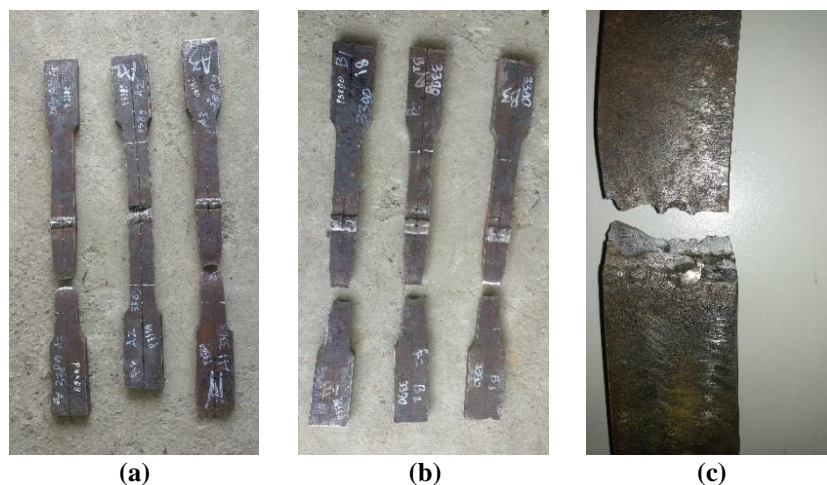
Spesimen	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	RA (%)	E
A1	439,09	25,82	63,27	17,01
A2	391,88	8,25	25,83	47,50
A3	433,54	23,91	61,90	18,13
B1	435,33	23,08	56,93	18,86
B2	444,25	23,42	57,02	18,97
B3	437,94	26,27	60,08	16,67

Dari tabel 3 diperoleh grafik perbandingan antara spesimen A (60°) dengan spesimen B (75°).



**Gambar 4. Grafik perbandingan karakteristik tiap spesimen**

Berdasarkan gambar 4, diketahui bahwa spesimen B2 (75°) memiliki tegangan terbesar dengan nilai 444,25 MPa. Nilai karakteristik spesimen 60° dan 75° tidak menunjukkan hasil yang signifikan dan cenderung sama rata. Sesuai AWS D1.1, sudut kampuh V tunggal 60° masih dapat diterima dengan toleransi maksimal 75°.



**Gambar 5. (a) Spesimen A 60° (b) Spesimen B 75° (c) Patahan spesimen A2**

Pada spesimen A2 terjadi cacat las *incomplete penetration* dan *incomplete fusion* pada sambungan las, hal ini terjadi karena logam las dan benda uji gagal menyatu. Kegagalan ini disebabkan

karena benda uji kurang panas dan *travel speed* terlalu tinggi, sehingga saat dilakukan pengujian tarik benda uji patah pada sambungan las.

**Pengujian Hardness Vickers**

Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal dan permukaan material [4]. Untuk material logam, deformasi yang dimaksud adalah deformasi plastis. Sedangkan kekuatan adalah ketahanan material terhadap deformasi plastis secara global [5]. Pengujian kekerasan pada logam sangat diperlukan dalam bidang manufaktur. Dengan melakukan pengujian kekerasan dapat diketahui karakteristik dan mutu suatu material.

Uji kekerasan ini menggunakan metode pengujian kekerasan *vickers* yang dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan  $136^\circ$  [5]. Penekanan oleh indenter akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.

*Diamond pyramid hardness number* (DPH), atau *vickers hardness number* (VHN), didefinisikan sebagai beban dibagi dengan luas permukaan lekukan. Dalam praktiknya, area ini dihitung dari pengukuran mikroskopis dari panjang diagonal dari kesan tersebut [5]. Untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji, maka diagonal rata-rata dari jejak tersebut harus diukur terlebih dahulu dengan memakai mikroskop. Angka kekerasan *vickers* dapat diperoleh dengan membagi besar beban uji yang digunakan dengan luas permukaan jejak.

$$HV = \frac{P}{A}$$

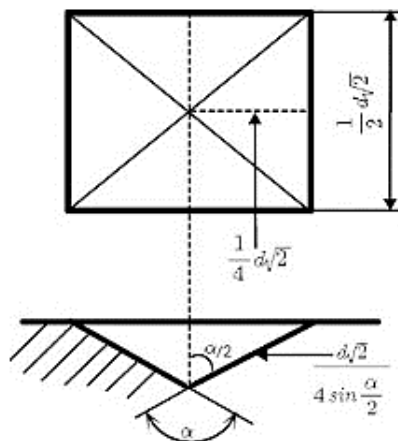
dimana:

HV = Nomer kekerasan *vickers* (HV)

A = Luas permukaan jejak ( $mm^2$ )

P = Beban tekan (kgf)

Jika *d* merupakan diagonal rata-rata dari jejak, maka luas permukaan jejak dapat ditentukan sebagai berikut:



Gambar 6. Spesimen uji *hardness vickers*

$$A = 4 \times \frac{1}{2} d\sqrt{2} \times \frac{1}{2} \left( \frac{d\sqrt{2}}{4 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

atau,

$$A = \frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}$$

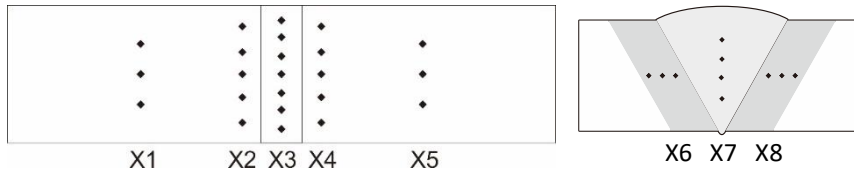
Jadi angka kekerasan *vickers* dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$HV = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}}$$

atau,

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Pengujian *hardness vickers* ini dilakukan pada 33 titik untuk setiap spesimen.



**Gambar 7. Titik pengujian *hardness vickers***

Dari pengujian 33 titik *hardness vickers* diperoleh data sebagai berikut:

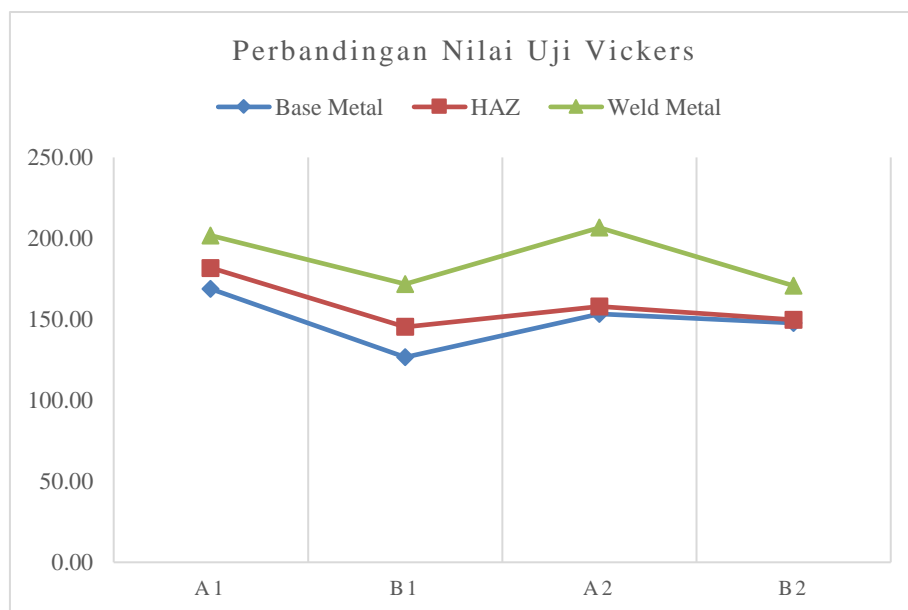
**Tabel 4. Hasil pengujian *hardness vickers* spesimen variasi sudut kampuh V60°**

Spesimen	Base metal	HAZ	Weld metal	HAZ	Base metal	HAZ	Weld metal	HAZ
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
A1	155,0	181,5	201,7	181,8	168,8	171,9	166,3	167,0
A2	144,7	164,1	206,6	158,1	153,5	172,0	188,5	179,6

**Tabel 5. Hasil pengujian *hardness vickers* spesimen variasi sudut kampuh V75°**

Spesimen	Base metal	HAZ	Weld metal	HAZ	Base metal	HAZ	Weld metal	HAZ
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
B1	123,5	155,6	171,7	145,3	126,6	184,2	177,4	159,0
B2	149,5	137,4	170,8	149,7	147,7	159,0	160,0	168,7

Nilai uji *hardness vickers* di atas dapat dibuat grafik sebagai berikut.



**Gambar 8. Grafik hasil uji *hardness vickers* spesimen 60° dan 75°**

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa spesimen A2 dengan variasi sudut kampuh V 60° mempunyai nilai kekerasan paling tinggi pada daerah *weld metal* (X3) yaitu sebesar 206,6 HV. Akan tetapi jika dilihat berdasarkan *weld metal* sisi samping (X7), rata-rata HVN tidak jauh berbeda dimana B2 (160,0) < A1 (166,3) < B1 (177,4) < A2 (188,5). Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa spesimen A2 (60°) memiliki nilai kekerasan tertinggi baik dari permukaan atas maupun sisi samping. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut kampuh V 60° mengalami pendinginan lebih cepat terhadap *base metal* daripada sudut kampuh V 75°.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan variasi sudut kampuh V 60° dan 75° terhadap sifat mekanik sambungan las baja karbon ASTM A36 dengan tebal 16 mm menggunakan pengelasan metode SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Berat spesimen sudut kampuh V 60° sebelum pengelasan adalah 10,94 kg dan setelah pengelasan adalah 11,14 kg. Jadi dalam pengelasan sudut kampuh V 60° dengan lebar 180 mm dan ketebalan 16 mm membutuhkan elektrode las sebanyak 0,20 kg. Dan berat spesimen sudut kampuh V 75° sebelum pengelasan adalah 10,92 kg dan setelah pengelasan adalah 11,19 kg. Jadi dalam pengelasan sudut kampuh V 75° dengan lebar 180 mm dan ketebalan 16 mm membutuhkan elektrode las sebanyak 0,27 kg.
- b. Dari data hasil uji tarik diperoleh nilai tegangan A2 (391,88 MPa) < A3 (433,54 MPa) < B1 (435,33 MPa) < B3 (437,94 MPa) < A1 (439,09 MPa) < B2 (444,25 MPa). Variasi sudut kampuh V 75° memiliki nilai tegangan terbesar pada spesimen B2 dengan nilai 444,25 MPa. Namun hasil pengujian tarik tidak menunjukkan hasil yang signifikan dan cenderung memperlihatkan hasil yang relatif sama rata. Sehingga sesuai AWS D1.1 sudut kampuh V tunggal 60° masih dapat diterima dengan toleransi maksimal 75°.
- c. Dari data uji *hardness vickers* diperoleh nilai HVN B2 (170,8) < B1 (171,7) < A1 (201,7) < A2 (206,6). Variasi sudut kampuh V 60° pada spesimen A2 mempunyai nilai kekerasan paling tinggi pada daerah *weld metal* yaitu sebesar 206,6 HV. Dan dari nilai rata-rata HVN pada lokasi *weld metal* atau daerah las, spesimen dengan variasi sudut kampuh V 60° mempunyai nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan spesimen dengan variasi sudut kampuh V 75°. Hal ini menunjukkan bahwa sudut kampuh V 60° mengalami pendinginan lebih cepat terhadap *base metal* daripada sudut kampuh V 75°.

#### Referensi

- [1] S. J. N. J. Kou, USA, "Welding metallurgy," vol. 431, no. 446, pp. 223-225, 2003.
- [2] P. W. Marshall, *Design of welded tubular connections: basis and use of AWS code provisions*. Elsevier, 2013.
- [3] M. K. Harris, *Welding health and safety: a field guide for OEHS professionals*. AIHA, 2002.
- [4] R. R. Putra, S. Jokosisworo, and A. W. B. J. J. T. P. Santosa, "Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja ST 60 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering," vol. 6, no. 1, 2018.
- [5] E. Budiyanto, *Pengujian Material*. Laduny Alifatama.